



**UNIVERZA V LJUBLJANI**  
**Fakulteta za elektrotehniko**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko  
*University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering*



**26. SEMINAR RADIJSKE KOMUNIKACIJE**

Ljubljana, 31 januarja. do 2. februarja 2024

Z B O R N I K

**26TH SEMINAR ON RADIO COMMUNICATIONS**

*Ljubljana, 31 January to 2 February 2024*

P R O C E E D I N G S

UREDILA/EDITORS:

Tomi Mlinar, Boštjan Batagelj

---

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in  
univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 182859267  
ISBN 978-961-243-461-8 (PDF)

---

URL: <https://srk.fe.uni-lj.si/zborniki/>

Copyright © 2024 Založba FE. All rights reserved. Razmnoževanje (tudi  
fotokopiranje) dela v celoti ali po delih brez predhodnega dovoljenja Založbe FE  
prepovedano.

Založnik: Založba FE, Ljubljana  
Izdajatelj: Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana  
Urednik: prof. dr. Sašo Tomažič  
Kraj in leto izida: Ljubljana, 2024  
1. elektronska izdaja



Gradivo za interno uporabo na 26. seminarju Radijske komunikacije SRK 2024.  
*Material for internal use at the 26th Seminar on Radio Communications SRK 2024.*

Uredila / *Editors:* Tomi Mlinar, Boštjan Batagelj



## Uvodnik

Spoštovana bralka, spoštovani bralec zbornika 26. seminarja Radijske komunikacije!

Vabiva vas k branju tega izjemnega gradiva, ki zajema vrsto vrhunskih prispevkov s področja radijskih komunikacij, digitalnih sistemov, inovativnih tehnologij in razvoja brezžičnih omrežij. Avtorji prispevkov so priznani strokovnjaki in raziskovalci, ki že vrsto let delujejo na tem obsežnem področju.

Radijske komunikacije so ključne za globalno povezovanje in izmenjavo informacij, saj omogočajo brezžičen prenos podatkov na velike razdalje. Marconi, eden izmed pionirjev radiokomunikacij, je leta 1901 prvi prenesel radijski signal preko Atlantskega oceana. Razvoj tehnologije je omogočil izjemne dosežke, od prvih radijskih postaj do današnjih kompleksnih mobilnih omrežij, ki oblikujejo sodoben svet. Pomembna dejstva vključujejo tudi uporabo radijskih valov v satelitskih komunikacijah, navigaciji (GNSS), ter vedno pomembnejšo vlogo v razvoju brezžičnih tehnologij za internet stvari (IoT) in prihajajočih generacijah mobilne tehnologije, kot sta 5G in 6G. Radijske komunikacije tako ostajajo gonilo tehnološke in družbene inovacije.

Prvo poglavje tega gradiva je posvečeno povzetkom iz Svetovne radijske konference WRC-23, ki jih predstavljata Janja Varšek in Meta Pavšek Taškov iz Agencije za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije. Ti povzetki nam nudijo vpogled v ključne odločitve ter smernice na področju svetovne radijske regulative. Sledi zanimiv prispevek o digitalnih sistemih za pokrivanje notranjih prostorov, ki ga predstavlja Marko Grebenc iz podjetja Huawei. Profesor Tomaž Zwitter iz Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani nas popelje v fascinantni svet radioastronomije. Prispevek nam ponuja vpogled v najnovejše raziskave in dogodke na področju opazovanja vesolja s pomočjo radijskih valov. Nadalje sledi prispevek o georadarjih, ki ga predstavljajo Dušan Gleich, Blaž Pongrac, Primož Smogavec in Danijel Šipoš iz Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Naslednje poglavje obravnava integrirano zaznavanje in komunikacijo v omrežjih TSCH, predstavljeno s strani Grege Morana, Aleša Simončiča, Andreja Hrovata in Tomaža Javornika z Instituta Jožef Stefan. Sledita prispevka o digitalnem predpopačenju (DPD) signala na oddajniku frekvenčnem področju E, ki ga predstavi Andrej Osterman iz podjetja Aviat Networks, ter o metodah za merjenje šumnega števila, predstavljenih s strani Mirka Ivančiča iz podjetja AMITEH.

Prvi februarski dan nam prinaša vrsto izjemnih prispevkov, ki nam razkrivajo najnovejše tehnološke dosežke in smernice na področju mobilnih komunikacij. Sledijo si prispevki o časovni sinhronizaciji v 5G omrežjih, razvoju jedra 5G, produkcijskem jedru 5G v Industriji 4.0, poti od 5G do 6G ter možnih izvedbah zasebnih mobilnih kampus omrežij. Avtorji naštetih prispevkov so Božo Mišovič, Urban Burnik, Urban Zaletel, Janez Strle in predstavniki Telekoma Slovenije, Matjaž Beričič, Kristijan Melinc in Vesna Prodnik. V drugem delu tega dne si sledijo prispevki o zgodovini GPS, sodobnih GNSS sistemih in motnjah signalov GNSS v državnem omrežju stalnih postaj SIGNAL. Avtorji Matjaž Vidmar, Aljaž Blatnik in Polona Pavlovič Prešeren ponujajo vpogled v razvoj in izzive globalnih satelitskih navigacijskih sistemov.

Drugi februarski dan je namenjen prispevkom o standardizaciji brezžičnih tehnologij IoT, satelitski povezljivosti IoT, avtomatiziranem upravljanju spektra, izboljššanemu 5G in poti proti 6G ter prihodnosti odprtega RAN. Dragoceni vpogledi v tehnološki razvoj nam predstavljajo izkušeni strokovnjaki: Drago Majcen, Luka Mustafa, Rubén Perdiz, Ivan Lesić in Csaba Novak.

Verjameva, da gradivo iz 26. seminarja Radijske komunikacije predstavljalo neprecenljiv vir znanja za vse, ki se ukvarjate z raziskavami in razvojem na področju sodobnih tehnologij. Zahvaljujema se vsem avtorjem za njihov prispevek in vam želiva prijetno in poučno branje.

Ljubljana, 31. januarja 2024

Tomi Mlinar in Boštjan Batagelj  
urednika

## Foreword

Dear reader, esteemed participant of the 26th Seminar on Radio Communications!

We invite you to delve into this exceptional compilation, encompassing a series of outstanding contributions in the field of radio communications, digital systems, innovative technologies, and wireless network development. The authors of these contributions are renowned experts and researchers who have dedicated numerous years to this expansive domain.

Radio communications are pivotal for global connectivity and information exchange, enabling wireless data transmission over vast distances. Marconi, one of the pioneers of radio communications, transmitted the first radio signal across the Atlantic Ocean in 1901. Technological advancements have led to remarkable achievements, from the inception of radio stations to the complex mobile networks shaping the modern world. Notable facts include the use of radio waves in satellite communications, navigation (GNSS), and an increasingly significant role in the development of wireless technologies for the Internet of Things (IoT) and upcoming mobile technology generations such as 5G and 6G. Radio communications remain a driving force for technological and societal innovation.

The first chapter of this compilation is dedicated to summaries from the World Radiocommunication Conference WRC-23, presented by Janja Varšek and Meta Pavšek Taškov from the Agency for Communication Networks and Services of the Republic of Slovenia. These summaries offer insights into key decisions and guidelines in the field of global radio regulations. Following is an engaging contribution on digital systems for indoor coverage presented by Marko Grebenc from Huawei. Professor Tomaž Zwitter from the Faculty of Mathematics and Physics at the University of Ljubljana guides us into the fascinating world of radio astronomy, providing insights into the latest research and events in observing the universe through radio waves. Subsequently, there is a contribution on ground-penetrating radar presented by Dušan Gleich, Blaž Pongrac, Primož Smogavec, and Danijel Šipoš from the Faculty of Electrical Engineering, Computer Science, and Informatics at the University of Maribor. The next chapter explores integrated sensing and communication in TSCN networks, presented by Grega Morano, Aleš Simončič, Andrej Hrovat, and Tomaž Javornik from the Jožef Stefan Institute. This is followed by contributions on digital pre-distortion (DPD) of signals on E-band transmitters, presented by Andrej Osterman from Aviat Networks, and methods for measuring noise figure, presented by Mirko Ivančič from AMITEH.

The first day of February brings a series of exceptional contributions revealing the latest technological achievements and trends in mobile communications. Contributions follow on time synchronization in 5G networks, the development of 5G core, 5G production core in Industry 4.0, the path from 5G to 6G, and possible implementations of private mobile campus networks. The authors of these contributions include Božo Mišovič, Urban Burnik, Urban Zaletel, Janez Strle, and representatives from Telekom Slovenije, Matjaž Beričič, Kristijan Melinc, and Vesna Prodnik. In the second part of this day, contributions follow on the history of GPS, modern GNSS systems, and disruptions of GNSS signals in the state network of permanent SIGNAL stations. Authors

Matjaž Vidmar, Aljaž Blatnik, and Polona Pavlovič Prešeren provide insights into the development and challenges of global satellite navigation systems.

The second day of February is dedicated to contributions on the standardization of wireless IoT technologies, satellite connectivity for IoT, automated spectrum management, enhanced 5G, the path to 6G, and the future of Open RAN. Experienced experts Drago Majcen, Luka Mustafa, Rubén Perdiz, Ivan Lesić, and Csaba Novak offer valuable insights into technological development.

We believe that the material from the 26th Seminar on Radio Communications will serve as an invaluable source of knowledge for all engaged in research and development in the field of modern technologies. We express our gratitude to all authors for their contributions and wish you an enjoyable and enlightening reading experience.

Ljubljana, January 31, 2024

Tomi Mlinar and Boštjan Batagelj

Editors

## Seznam prispevkov

	<b>Avtor(ji)</b>	<b>Naslov predavanja</b>	<b>Stran</b>
1	<b>Janja Varšek, Meta Pavšek Taškov</b>	Povzetki iz svetovne radijske konference WRC-23	<b>8</b>
2	<b>Marko Grebenc</b>	Digitalni sistem za notranje pokrivanje	<b>23</b>
3	<b>Tomaž Zwitter</b>	Radijska astronomija	<b>45</b>
4	<b>Dušan Gleich, Blaž Pongrac, Primož Smogavec, Danijel Šipoš</b>	Georadar	<b>61</b>
5	<b>Grega Morano, Aleš Simončič, Andrej Hrovat, Tomaž Javornik</b>	Integrirano zaznavanje in komunikacija v omrežjih TSCH	<b>86</b>
6	<b>Andrej Osterman</b>	Digitalno predpopačenje signala na oddajniku za frekvenčno področje E	<b>103</b>
7	<b>Mirko Ivančič</b>	Metode za merjenje šumnega števila	<b>120</b>
8	<b>Božo Mišović</b>	Časovna sinhronizacija v omrežju 5G	<b>137</b>
9	<b>Urban Burnik</b>	Razvoj jedra 5G	<b>159</b>
10	<b>Urban Zaletel</b>	Producijsko jedro 5G v Industriji 4.0	<b>191</b>
11	<b>Janez Sterle</b>	Evolucija od 5G do 6G: Tehnologije za trajnostne in prožne komunikacijske sisteme	<b>218</b>
12	<b>Matjaž Beričič, Kristijan Melinc</b>	Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij	<b>238</b>
13	<b>Matjaž Vidmar</b>	Zgodovina GPS	<b>263</b>
14	<b>Aljaž Blatnik</b>	Sodobni globalni navigacijski satelitski sistemi	<b>277</b>
15	<b>Polona Pavlovčič Prešeren</b>	Motnje signalov GNSS v državnem omrežju stalnih postaj SIGNAL	<b>289</b>
16	<b>Drago Majcen</b>	Standardizacija brezžičnih tehnologij IoT	<b>314</b>
17	<b>Luka Mustafa</b>	Satelitska povezljivost IoT	<b>399</b>
18	<b>Rubén Perdiz</b>	Automated Spectrum Management Lifecycle: a dedicated tool for each need	<b>413</b>
19	<b>Ivan Lesić</b>	5G Advanced and path towards 6G	<b>431</b>
20	<b>Csaba Novak</b>	Future of the Open RAN	<b>444</b>
P1	<b>Andrej Lavrič, Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar, UL FE</b>	Učinki faznega šuma v radijskih komunikacijah	<b>453</b>
P2	<b>Tomi Mlinar, Andrej Štern Andrej Kos</b>	5G koridorji - čezmejna povezljivost Italije, Slovenije in Hrvaške	<b>454</b>
P3	<b>Vid Vrh, Rok Marko Šter, Luka Kavcic, Jaša Vid Meh Peer, Mihael Zeme, Jan Luka Verček, Neja Flogie, Luka Mlakar, Andraž Pavliha, Grega Blatnik, Marko Jankovec, Polona Pavlovčič Prešeren, Boštjan Batagelj</b>	Trajnostni telekomunikacijski port za satelitske povezave	<b>455</b>
P4	<b>Luka Zmrzlak, Luka Podbregar, Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar, Aljaž Blatnik</b>	Uporaba resonančno-induktivnega sklopa za prenos podatkov na daljše razdalje	<b>456</b>
P5	<b>Luka Zmrzlak, Aljaž Blatnik, Boštjan Batagelj</b>	Radiofrekvenčna stopnja za radar na osnovi tehnologije mikrovalovne fotonike	<b>457</b>
P6	<b>Luka Podbregar, Boštjan Batagelj</b>	Razdeljevanje signala lokalnega oscilatorja za radarske sisteme	<b>458</b>
P7	<b>Nejc Bertonec, Krištof Frelih in Aljaž Blatnik</b>	DSP obdelava GNSS signala	<b>459</b>
P8	<b>Gašper Leskovec, Nikola Sekulovski, Vid Vrh in Aljaž Blatnik</b>	Zajem in analogna obdelava GNSS signala	<b>460</b>
P9	<b>Roman Novak, Andrej Hrovat, Boštjan Batagelj, Tomi Mlinar, Andrej Kolar-Požun, Gregor Kosec, Tomaž Javornik</b>	Modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brez mrežnimi metodami	<b>461</b>
P10	<b>Matej Bažec, Franc Dimc</b>	Sprejem signalov GNSS v pristanišču Koper	<b>462</b>
P11	<b>Žiga Andrejc, Boštjan Batagelj</b>	Izkušnja uporabe Starlinka v Sloveniji	<b>463</b>

## Table of contents

	Author(s)	Article	Page
1	Janja Varšek, Meta Pavšek Taškov	Abstracts from the World Radio Conference WRC-23	8
2	Marko Grebenc	Digital Indoor System	23
3	Tomaž Zwitter	Radio astronomy	45
4	Dušan Gleich, Blaž Pongrac, Primož Smogavec, Danijel Šipoš	Ground-penetrating radar	61
5	Grega Morano, Aleš Simončič, Andrej Hrovat, Tomaž Javornik	Integrated Sensing and Communication in TSCH networks	86
6	Andrej Osterman	Digital predistortion (DPD) of the signal on the E-band transmitter	103
7	Mirko Ivančič	Methods for noise figure measurements	120
8	Božo Mišović	Time synchronization in 5G networks	137
9	Urban Burnik	5G core development	159
10	Urban Zaletel	5G production core for Industry 4.0	191
11	Janez Sterle	Evolution from 5G to 6G: Technologies for Sustainable and resilient communication systems	218
12	Matjaž Beričič, Kristijan Melinc	Possible implementations of private mobile campus networks	238
13	Matjaž Vidmar	History of the GPS	263
14	Aljaž Blatnik	Modern Global Navigation Satellite Systems	277
15	Polona Pavlovčič Prešeren	GNSS interference in the national continuously operating reference station network SIGNAL	289
16	Drago Majcen	Standardization of wireless IoT technologies	314
17	Luka Mustafa	IoT Satellite Connectivity	399
18	Rubén Perdiz	Automated Spectrum Management Lifecycle: a dedicated tool for each need	413
19	Ivan Lesić	5G Advanced and path towards 6G	431
20	Csaba Novak	Future of the Open RAN	444
P1	Andrej Lavrič, Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar, UL FE	Consequences of phase noise in radio communications	453
P2	Tomi Mlinar, Andrej Štern Andrej Kos	5G corridors - cross-border connectivity of Italy, Slovenia and Croatia	454
P3	Vid Vrh, Rok Marko Šter, Luka Kavcic, Jaša Vid Meh Peer, Mihael Zeme, Jan Luka Verček, Neja Flogie, Luka Mlakar, Andraž Pavliha, Grega Blatnik, Marko Jankovec, Polona Pavlovčič Prešeren, Boštjan Batagelj	Sustainable telecommunication port for satellite communications	455
P4	Luka Zmrzlak, Luka Podbregar, Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar, Aljaž Blatnik	Using a resonant-inductive circuit for data transmission over longer distances	456
P5	Luka Zmrzlak, Aljaž Blatnik, Boštjan Batagelj	Radio frequency stage for radar based on microwave photonics technology	457
P6	Luka Podbregar, Boštjan Batagelj	Local oscillator signal distribution for radar systems	458
P7	Nejc Bertoneclj, Krištof Frelih in Aljaž Blatnik	DSP processing of the GNSS signal	459
P8	Gašper Leskovec, Nikola Sekulovski, Vid Vrh in Aljaž Blatnik	Capture and analog processing of the GNSS signal	460
P9	Roman Novak, Andrej Hrovat, Boštjan Batagelj, Tomi Mlinar, Andrej Kolar-Požun, Gregor Kosec, Tomaž Javornik	Modeling of radio channels using ray-optical and numerical gridless methodsezmrežnimi metodami	461
P10	Matej Bažec, Franc Dimc	Reception of GNSS signals in the port of Koper	462
P11	Žiga Andrejc, Boštjan Batagelj	The experience of using Starlink in Slovenia	463

PRISPEVKI

*ARTICLES*

**I.**

# Povzetki iz svetovne radijske konference WRC-23

## *Results of World Radio Conference WRC-23*

**Janja Varšek, Meta Pavšek Taškov**

Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije

[janja.varsek@akos-rs.si](mailto:janja.varsek@akos-rs.si), [meta.pavsek-taskov@akos-rs.si](mailto:meta.pavsek-taskov@akos-rs.si)

### **Povzetek**

V prispevku so predstavljeni rezultati svetovne radijske konference WRC-23 ki je potekala v Dubaju od 20. 11. do 15. 12. 2023. Poudarjeni so:

- strateški cilji Vlade RS za WRC-23,
- rezultati konference, glede na strateške cilje Vlade RS,
- rezultati glede na pričakovanje EC in CEPT,
- novi pasovi za javne mobilne storitve (IMT),
- ostale novosti,
- kaj rezultati pomenijo za razvoj radijskih storitev v Republiki Sloveniji.

### **Abstract**

*This article presents the results of World Radio Conference WRC-23, which was held in Dubai from 20 November to 15 December 2023. The presentation provides:*

- *the Government of Republic of Slovenia strategic goals for WRC-23,*
- *WRC-23 results in comparison to the Government's strategic goals,*
- *WRC-23 results in comparison to EC and CEPT expectations,*
- *new frequency bands for public mobile services (IMT),*
- *other news,*
- *what impact will the WRC-23 results have on implementation of radio services in Republic of Slovenia.*

### **Biografije avtorjev**



**Meta Pavšek Taškov** je diplomirala leta 1990 in magistrirala leta 1993 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Od leta 1989 je bila zaposlena v Iskri Hipot – Šentjernej, v mešanem razvojno raziskovalnem oddelku Inštituta Jožef Stefan in Iskre Hipot v Ljubljani.

Od leta 1995 je zaposlena na Agenciji za komunikacijska omrežja in storitve RS, na področju za radiokomunikacije oz. upravljanje radiofrekvenčnega spektra. Vodila je projekt za pripravo javnega razpisa za LTE, in bila podpredsednica razpisne komisije za javni razpis z javno dražbo za radiofrekvenčne pasove 800/900/1800/2100/2600 MHz. Od leta 2016 na AKOSu vodi oddelek za mobilne komunikacije. Na svetovnih radijskih konferencah WRC-15 in WRC-19 je bila namestnica vodje delegacije, na WRC-23 je sodelovala kot članica delegacije.



**Janja Varšek** je diplomirala leta 1989 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani in magistrirala leta 2016 na Fakulteti za Organizacijske vede, univerze Maribor. Od leta 1992 je zaposlena

na Agenciji za komunikacijska omrežja in storitve RS in sicer najprej na področju telekomunikacijske opreme, elektromagnetne kompatibilnosti, kasneje pa je vodila sektor za regulacijo trgov. Nato je kot inšpektorica za telekomunikacije delala v sektorju za nadzor



telekomunikacij. Leta 2014 je bila vodja komisije za javni razpis z javno dražbo za radiofrekvenčne pasove 800/900/1800/2100/2600 MHz in postala tudi vodja sektorja za upravljanje radiofrekvenčnega spektra. Je aktivna članica skupin RSPG in ECC ter članica RSCom in RSPG podskupin.

#### ***Authors' biographies***

***Meta Pavšek Taškov*** received her BSEE and MSEE from University of Ljubljana, Slovenia in 1990 and 1993 respectively. First employment was 1989 in mixed research and development laboratory located at Jožef Stefan Institute in Ljubljana as member of industry and employee of Iskra Hipot, Šentjernej. Since 1995 she was employed at Agency for communication networks and services of the Republic of Slovenia in the RF Spectrum management department. She was leading LTE project and was a Deputy of Tender Commission's chairperson for 2014 Auction of frequency bands 800/900/1800/2100/2600 MHz. Since 2016 she is head of Mobile department. She was a Deputy Head of Delegation at WRC-15, WRC-19 and at WRC-23 she was member of delegation.

***Janja Varšek*** received her BSEE in 1989 at University in Ljubljana, in Electronic Engineering and received a MSc. at the Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor in 2016. She joined the Administration for Telecommunications of the Republic of Slovenia predecessor of national regulator in 1992. She dealt with telecommunications equipment, electromagnetic compatibility and market regulation. She worked as market supervisor and inspector for telecommunications for four years. She was chair of the big bang auction in 2014 and after successfully finished auction, she was appointed as head of radiofrequency spectrum management department. She is an active member of RSPG and ECC



Povzetki iz svetovne  
radijske konference  
WRC-23

Mag. Janja Varšek,  
Mag. Meta Pavšek Taškov,  
AKOS

Informacije in stališča te predstavitev so informativnega značaja in nimajo regulatorne veljave Ljubljana, 2.2.2024



## Uvod

- 🕒 Namen svetovne radijske konference
- 🕒 Osnovni pojmi
- 🕒 Točke dnevnega reda WRC-23
- 🕒 Točke dnevnega reda WRC-27
- 🕒 Točke dnevnega reda WRC-31
- 🕒 Rezultati konference glede na strateške cilje Vlade
- 🕒 Kaj rezultati pomenijo za razvoj radijskih storitev v Republiki Sloveniji
- 🕒 Sklep



AKOS

## Namen svetovne radijske konference

- Svetovne konference o radiokomunikacijah (WRC) določajo najširšo strategijo na področju radiokomunikacij in obravnavajo celotno problematiko radiokomunikacij svetovnega pomena.
- WRC-23, 20. november - 15. december 2023, Dubaj, Združeni arabski emirati

- Revizija Pravilnika o radiokomunikacijah - frekvenčnih načrtov za razdelitve in dodelitve radiofrekvenčnih pasov,
- Obravnava katerekoli radiokomunikacijske zadeve svetovnega pomena in obsega,
- Navodila Odboru za radijsko regulativo in Uradu za radiokomunikacije ter pregled njihovih aktivnosti,
- Določitev vprašanj za študij Skupščini o radiokomunikacijah in njenim študijskim skupinam za pripravo naslednjih Svetovnih konferenc o radiokomunikacijah.

3000+  
Participants

4 weeks

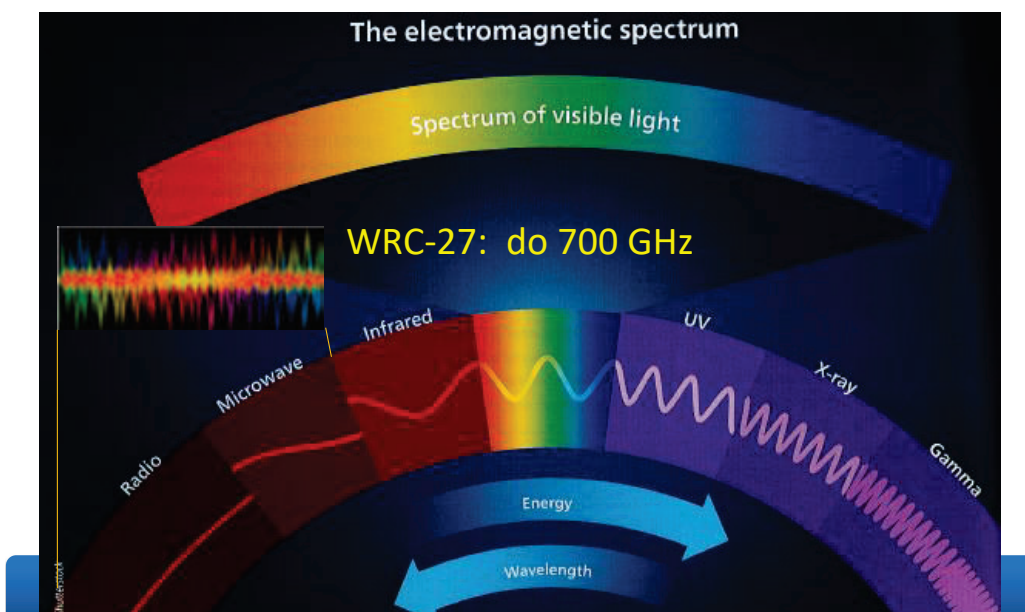
Connect &  
Unite

# Namen WRC



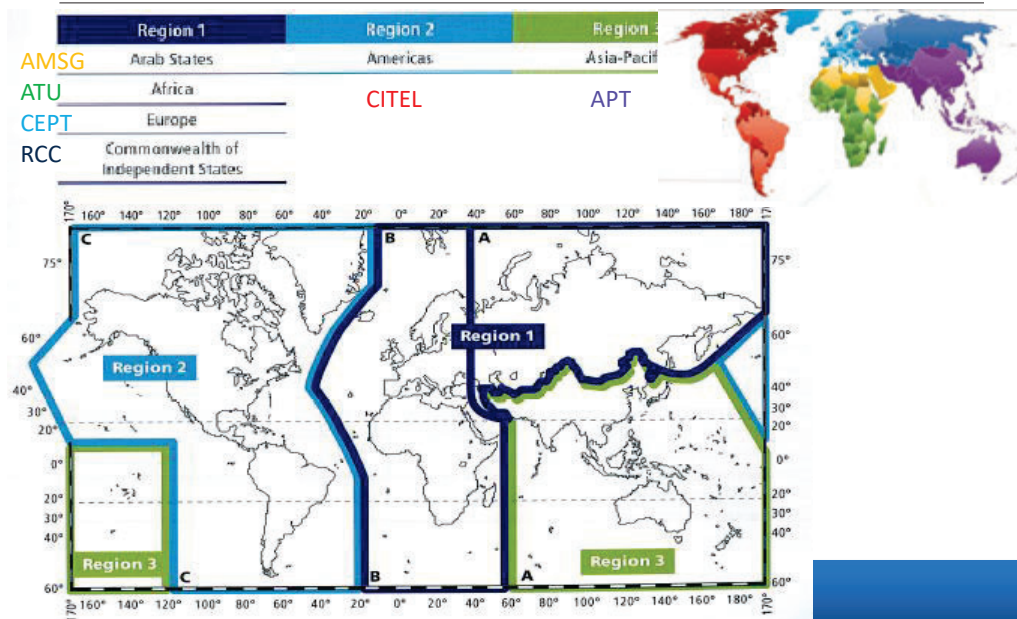
AKOS

## Osnovni pojmi – frekvenčni spekter





## ITU Regije in regionalne skupine



## Strateški cilji Vlade RS za WRC-23





AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

- AI1.1: IMT 4800-4990 MHz zmanjšanje omejitev
  - -> SVN, CEPT: Ni sprememb oziroma zaščita RaAlt
- AI1.2: Novi pasovi za IMT
  - A: 3300-3400 MHz R1 -> SVN, CEPT: Ni sprememb oziroma zaščita radarjev
  - B: 3300-3400 MHz R2 -> SVN, CEPT : Ni sprememb oziroma zaščita radarjev
  - C: 3600-3800 MHz R2 -> SVN, CEPT: SVN IMT, CEPT nima mnenja
  - D: 6425-7025 MHz R1 -> SVN, CEPT : dodelitev za IMT pod 5 pogoji
  - E: 7025-7125 MHz (globalno) -> SVN, CEPT: dodelitev za IMT pod 5 pogoji
  - F: 10.0-10.5 GHz R2 > CEPT, SVN: Ni sprememb oziroma zaščita EESS
- AI1.3: 3600-3800 MHz R1 nadgradnja statusa alokacije za mobilno storitev v primarno -> CEPT, SVN: primarna
- AI1.4: uporaba HAPS kot IMT bazno postajo HIBS v IMT pasovih pod 2,7 GHz -> CEPT, SVN: dodelitev možnosti v pasovih 700, 800, 900, 1800, 2100 in 2600 MHz
- AI1.5: Revizija uporabe spektra v pasu 470-960 MHz v Regiji 1 -> CEPT, SVN: sekundarna mobilna dodelitev in možnost nadgradnje v primarno 2031
- Člen 21: v tabelo 21-2 dodati pas 24.45-29.5 GHz
- AI 9.1.c – Uporaba IMT za FBWA v pasovih za FS na primarni osnovi -> SVN, CEPT: Ni sprememb, ker se lahko uporablja skladno z ITU-R F.1401



AKOS

### AI1.2 – 6 GHz

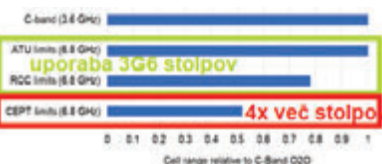
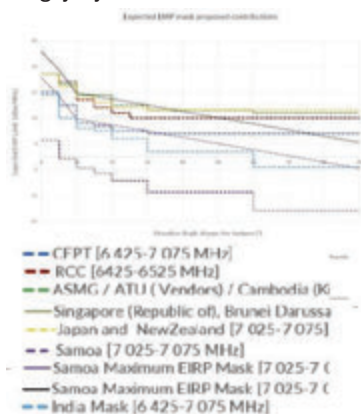
6425-7025 MHz R1 in 7025-7125 MHz (globalno) -> SVN, CEPT: dodelitev za IMT pod 5 pogoji:

- 1) zagotovljena zaščita ustreznih primarnih storitev (FS, FSS)
- 2) nadaljevanje delovanja drugih storitev (RR št. 5.458 za EESS (pasivno) in RR št. 5.149 za radioastronomijo) + WRC-27: novi EESS (pasivno) primarno v pasovih 4,2-4,4 GHz in 8,4-8,5 GHz za meritve temperature morske površine (SST)
- 3) delovanje obstoječih storitev in njihov neomejen prihodnji razvoj,
- 4) da resolucija o IMT jasno opisuje priložnosti za druge širokopasovne aplikacije v mobilnih storitvah (tj. WAS/RLAN)
- 5) da WRC-23 ne odobri točke dnevnega reda za WRC-27, ki preučuje dodatne identifikacije IMT v frekvenčnih pasovih med 7-30 GHz, v pasovih, v katerih bi lahko IMT ogrozil delovanje in razvoj pomembnih evropskih vesoljskih in vojaških storitev.

Če ti pogoji ne bodo izpolnjeni, bo CEPT podprl NOC (podčrtano).  
Rezultat: pogoji izpolnjeni: IMT identifikacija, kompromisna maska

CEPT maska je temeljila na pretiranem številu BS (na 2100 MHz UMTS mreži namesto na 2600 MHz LTE mreži)

Pogajanja okoli EIRP maske







AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

- AI1.6: Proučitev regulaivnih določb, ki bi omogočile radiokomunikacije za suborbitalna vozila



<https://images.app.goo.gl/hYjAXuFjSGVAscVH6>



AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23









- AI 1.7 - Nova razporeditev letalskih mobilnih satelitskih storitev - 117,975-137 MHz
- AI 1.8- Možni regulatorni ukrepi za prilagoditev uporabe brezpilotnih zrakoplovov brez
- AI 1.9- Regulatorni ukrepi v obstoječih HF pasovih, dodeljenih letalski mobilni (R) storitvi ter zagotovitev soobstoja trenutnih VF sistemov
- AI 1.10.- proučiti potrebe po spektru, souporaba z radiokomunikacijskimi storitvami in regulatorni ukrepi za morebitne nove dodelitve za letalsko mobilno storitev





AKOS







## Točke dnevnega reda WRC-23

-  **AI1.11: Posodobitve globalnega pomorskega sistema za pomoč v stiski (GMDSS) in možna uvedba dodatnega GMDSS sistema BEIDOU**
-  **AI1.12: nova sekundarno dodelitev (aktivni) storitvi EESS za vesoljske radarske sondirne naprave v frekvenčnem pasu okoli 45 MHz**
-  **AI1.13 uporaba pasu 14.8-15.35 GHz za namen vesoljskih raziskav - SRS**
-  **AI1.14: Satelitsko raziskovanje Zemlje EESS 231.5-252 GHz**
-  **AI 1.15: Zemeljske postaje na letalih oz. plovilih (ESIM), ki komunicirajo z geostacionarnimi vesoljskimi postajami v fiksni satelitski storitvi v pasu 12.75-13.25 GHz**
-  **AI1.16: ESIM v pasu 17.7-18.6 GHz, 18.8-19.3 GHz in 19.7-20.2 GHz**
-  **AI1.18: potrebe po spektru in morebitne nove dodelitve za ozkopasovne MSS v 1695-1710 MHz, 2010-2025 MHz, 3300-3315 MHz in 3385-3400 MHz**
-  **AI1.19: Nova primarna dodelitev fiksnim satelitskim storitvam v frekvenčnem pasu 17.3-17.7 GHz v regiji 2**

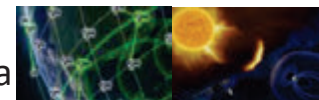


AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

-  AI1.17: Medsatelitske povezave v frekvenčnih pasovih 11,7–12,7 GHz, 18,1–18,6 GHz, 18,8–20,2 GHz in 27,5–30 GHz in dodatna alokacija
-  AI 9.1.a – Senzorji vesoljskega vremena
-  AI 9.1.b - Amaterske storitve in amaterske satelitske storitve v frekvenčnem pasu 1 240 – 1 300 MHz - dodatni ukrepi za zagotovitev zaščite RNSS-Galileo
-  AI 9.1d Zaščita EESS (pasivno) v frekvenčnem pasu 36–37 GHz pred NGSO vesoljskimi postajami FSS
-  AI 9.1 Resolucija 427 o posodabljanju letalskih določb
-  AI 9.1 Resolucija 655 o UTC

Univerzalni koordinirani čas (UTC): časovna lestvica, ki temelji na sekundah (SI)





AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

- AI2: Pregled ITU-R priporočil, ki jih je Radio Assembly (RA) vključil v Pravilnik o radijskih komunikacijah RR ali je potrebno v RR dodati sklice nanje
- AI3: Spremembe RR v povezavi z 2
- AI4: Revizija ITU Resolucij in priporočil
- AI5: Pregledati poročilo RA
- AI6: določitev točk, ki zahtevajo takojšnje ukrepanje
- AI8: Izbris in sprememba opomb v RR



AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

- AI7: Postopki za poenostavljeno koordinacijo in notifikacijo satelitskih zvez: (1)**
  - A1: Tolerance (dovoljena odstopanja) za značilnosti ne-GSO orbite
  - B1: NGSO postopek sporočanja, da so se sateliti začeli uporabljati (BIU) - sledi postopku z mejniki
  - C: Zaščita GSO MSS pred sevanje NGSO satelitov v pasovih 7/8 in 20/30 GHz.
  - D1: Spremembe Dodatka 1 k Prilogi 4, Dodatka 30B - Popravek izračuna skupnega C/I na podlagi zmanjšanja koordinacijskega loka
  - D2: Novi parametri za Dodatek 4 - Posodobitev Priporočila S.1503 z naslovom »Funkcionalni opis, ki se uporablja pri razvoju programskih orodij za ugotavljanje skladnosti negeostacionarne satelitske orbite s fiksno satelitskih storitvenih sistemov ali omrežij z omejitvami iz člena 22 Pravilnika o radiokomunikacijah«
  - D3: BR opomniki za začetek uporabe (BIU) in začetek ponovne uporabe (BBIU)





AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

- A17: Postopki za poenostavljeno koordinacijo in notifikacijo satelitskih zvez: (2)**
- E: Izboljšani postopki v okviru RR AP30B za nove države članice ITU
- Razdelitev bivše jugoslovanske pozicije XYU00000.43.04E:
- Slovenija je dobila svojo razporeditev SVN00000, 43.04E

MOD

4 500-4 800 MHz, 6 725-7 025 MHz

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
MNE	-36.6	19.22	42.65	1.6	1.6	0	-9.6	-42.3	
BIH00000	46.00	18.07	44.19	1.60	1.60	90.00	-5.1	-38.3	7
HRV00000	63.00	17.60	44.10	1.60	1.60	90.00	-9.6	-42.0	7
MKD00000	-16.70	21.80	41.62	1.60	1.60	90.00	0.1	-33.1	7
SRB00000	-26.70	20.57	44.07	1.60	1.60	90.00	-9.6	-41.9	7
SVN00000	43.04	18.70	44.40	1.60	1.60	90.00	-10.0	-40.5	
XYU00000	43.04	18.70	44.40	1.60	1.60	90.00	-9.6	-40.5	

MOD

10.70-10.95 GHz, 11.20-11.45 GHz, 12.75-13.25 GHz

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BIH00000	46.00	18.07	44.19	1.60	1.60	90.00	-5.1	-38.3	7
HRV00000	63.00	17.60	44.10	1.60	1.60	90.00	-9.6	-42.0	7
MKD00000	-16.70	21.80	41.62	1.60	1.60	90.00	0.1	-33.1	7
MNE	-36.6	19.22	42.65	0.8	0.8	0	-10.2	-30.8	
SRB00000	-26.70	20.57	44.07	1.60	1.60	90.00	-9.6	-41.9	7
SVN00000	43.04	18.70	44.40	1.10	1.00	161.00	-7.1	-27.3	
XYU00000	43.04	18.70	44.40	1.10	1.00	161.00	-5.6	-27.3	



AKOS

## Točke dnevnega reda WRC-23

- A17: Postopki za poenostavljeno koordinacijo in notifikacijo satelitskih zvez: (3)**
- F1 V AP 30A za R1&3 in v AP 30B izzetje območja storitev za navzgorne povezave
- G1 Resolucija 770 (WRC 19): zaščita GSO v Q/V pasovih pred NGSO, ki imajo le en vpis v MR
- H1 Izboljšana zaščita zapisov iz dodatkov 30/30A v regiji 1 in 3 ter dodatka 30B: »implicitni dogovor« in »toleranca degradacije EPM«
- I: Preučitev možnosti nove vrste sporazumov v AP30B za nacionalne dodelitve, za katere veljajo dogovori v skladu s § 6.15 RR AP30B, da se obnovijo ustrezne skupne zaščitne vrednosti C/I brez spreminjanja orbitalne lege za nacionalne dodelitve
- J1 Spremembe Resolucije 76, ki vsebuje skupne omejitve EPFD za več NGSO satelitskih sistemov, ki jih je treba upoštevati za zaščito GSO satelitskih omrežij
- K: Spremembe Resolucije 553 (Rev. WRC 15), ki bi omogočila, da jo lahko uporabijo administracije, ki imajo čakajoče omrežje pod RR št. 9.6, in sicer za eno svoje omrežje



## Točke dnevnega reda WRC-23

### 9.2: Težave pri izvajanju in nekonsistentnosti RR

- 9.2 - 1: sprememba člena ITU RR 21.16.6 ("Faktor skaliranja"), za NGSO, katerih skupno število vesoljskih postaj > 1000
- 9.2 - 2: novi člen 19.1.2: vsako oddajanje identificirati bodisi z identifikacijskimi signali bodisi z drugimi sredstvi skladno z opombo 1
- 9.2 - 3: učinkovitost omejitev epfd iz člena 22 za zaščito geostacionarnih sistemov
- 9.2 – 4: §4.1.24 člena 4 dodatkov 30 in 30A
- 9.2 – 5: Škodljivo motenje sistemov RNSS v pasovih 1 164–1 215, 1 559–1 610 MHz



## AI10: točke za WRC-27

AI	Vsebina	AI	Vsebina
1.1	GSO in NGSO FSS ESIM v 47,2–50,2 GHz in 50,4–51,4 GHz (Zemlja-vesolje)	1.6	FSS: 37,5–42,5 GHz (vesolje-Zemlja), 42,5–43,5 GHz (Zemlja-vesolje), 47,2–50,2 GHz (Zemlja-vesolje) in 50,4–51,4 GHz (Zemlja-vesolje)
1.2	Sprememba pogojev souporabe v 13,75–14 GHz za možnost uporabe zemeljskih postaj z manjšimi velikostmi anten za FSS UL	1.7	IMT v pasovih: – 4 400–4 800 MHz ali del v R1 in R3; – 7 125–8 400 MHz ali del v R2 in R3; – 7 125–7 250 MHz, 7 750–8 400 v R1; – 14,8–15,35 GHz globalno.
1.3	51,4–52,4 GHz za povezovalne zemeljske postaje, ki povezujejo sisteme v NGSO FSS (Zemlja-vesolje)	1.8	Dodatni spekter za radiolokacijsko storitev na primarni osnovi v frekvenčnem območju 231,5–275 in 275–700 GHz za slikanje z mm in sub-mm valovi
1.4	GSO FSS (vesolje-Zemlja) v 17,3–17,7 GHz in nova primarna dodelitev za BSS (vesolje-Zemlja) v 17,3–17,8 GHz v R3, in omejitev pfd za R1 in R3 za NGSO FSS (vesolje-Zemlja)	1.9	Modernizacija visokofrekvenčnih letalskih mobilnih storitev (OR) in posodobitev Dodatka 26 RR
1.5	omejitev nepooblaščenega delovanja zemeljskih postaj v NGSO FSS in MSS - vprašanja v zvezi z območjem pokrivanja	1.10	Omejitve dovoljene gostote pretoka moči za FSS, MSS, BSS in vključitev v člen 21, za zaščito FS in MS v 71–76 GHz in 81–86 GHz



## AI10: točke za WRC-27

AI	Vsebina	AI	Vsebina
1.11	Vesoljske povezave med NGSO in GSO v 1518–1544 MHz, 1545–1 59 MHz, 1610–1645,5 MHz, 1646,5– 660 MHz, 1670–1675 MHz in 2483,5–2500 MHz	1.15	Prihodnji razvoj komunikacij na lunini površini ter med lunino orbito in lunino površino
1.12	NGSO MSS z nizko hitrostjo prenosa podatkov v 1427–1432 MHz, 1645,5–1646,5 MHz, 1880–1920 MHz, 2010–2025 MHz (vesolje–Zemlja) ter 1645,5–1646,5 MHz, 1880–1920 MHz, 2010–2025 MHz (Zemlja- vesolje)	1.16	Zaščita RAS, ki deluje v posebnih tihih radijskih območjih, kjer je RAS globalno na primarni osnovi, pred agregiranimi motnjami NGSO
1.13	MSS za za neposredno povezljivost med vesoljskimi postajami in uporabniško opremo IMT, za NTN	1.17	Regulatorne določbe za sprejemne vesoljske vremenske senzorje
1.14	Dodatne dodelitve za MSS	1.18	Zaščita EESS (pasivno) in RAS nad 76 GHz pred neželenimi sevanji
		1.19	EESS (pasivno) v pasovih 4,2–4,4 GHz in 8,4–8,5 GHz za SST



## AI10: točke za WRC-31

AI	Vsebina	AI	Vsebina
2.1	FZ, MZ, radiolokacija, amaterske, amaterske satelitske, RAS, EESS (pasivno in aktivno) in vesoljske raziskave (pasivno) v 275–325 GHz	2.8	Pomorske radijske komunikacije v MF in HF pasovih
2.2	Možni frekvenčni pasovi za nežarkovni in žarkovni brezžični prenos energije	2.9	RNSS (vesolje-Zemlja) v 5030-5150 in 5150-5250 MHz ali delih pasov
2.3	ESIM, ki komunicirajo z FSS NGSO (Zemlja-vesolje) v 12,75–13,25 GHz	2.10	EESS (Zemlja-vesolje) primarno v frekvenčnem pasu 22,55–23,15 GHz
2.4	Medsatelitske storitve v frekvenčnih pasovih 3700–4200 MHz in 5925–6425 MHz	2.11	EESS (vesolje-Zemlja) 37,5–40,5 GHz ali del pasu 40,5–52,4 GHz primarno
2.5	Iz primarnih alokacij za mobilno in IMT identifikacijo umik „except aeronautical mobile“ v pasu 694-960 v R1, 890–942 MHz v R2 in 3400-3700 MHz v R3	2.12	EESS (aktivno) v 3000–3100 MHz in 3300–3400 MHz na sekundarni osnovi
2.6	Identifikacija za IMT pasov 102–109,5 GHz, 151,5–164 GHz, 167–174,8 GHz, 209–226 GHz in 252–275 GHz	2.13	Vesoljski radarji s sintetično aperturo, v storitvi EESS (aktivno) in v storitvi radiodeterminacije v 9,2–10,4 GHz
2.7	izboljšanje uporabe VHF pomorskih radijskih komunikacij	2.14	Pregled spektra 470–694 MHz ali njegovih delov za nekatere države v R1



## Rezultati konference glede na strateške cilje Vlade



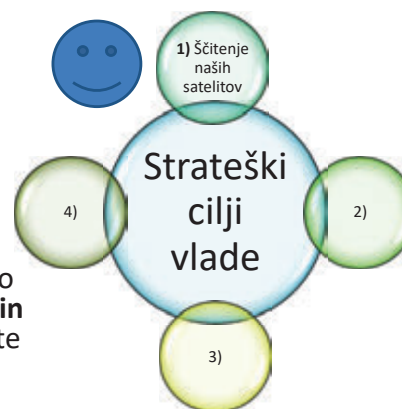
- Svoja satelitska pozicija, zaščita satelita GALILEO
- Nov spekter za IMT
  - Spodnji srednji pasovi in 2031 THz pasovi
- Povečana varnost
- Razvoj novih tehnologij

**Glavni cilji vlade doseženi**



## Rezultati konference 1) ščitenje SAT

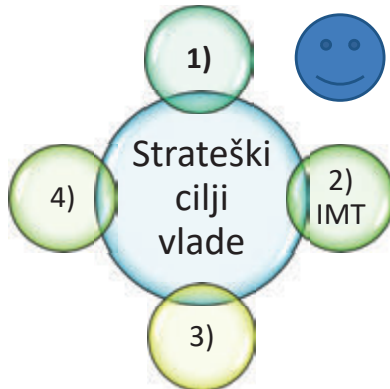
- **A17E** v dodatku 30B (Plan za **FSS**) namesto razporeditve (ang. allotment) XYU00000 43.04E dobila svojo razporeditev **SVN00000, 43.04E** v pasovih 4 500-4 800 MHz, 6 725-7 025 MHz, 10.70-10.95 GHz, 11.20-11.45 GHz in 12.75-13.25 GHz
- Za satelit **TRISAT** postopek za **primarno uporabo**
- **9.1.B satelit GALILEO** - cilj EU in Slovenije je bil dosežen skozi novo opombo 5.A91B, ki pravi, da morajo administracije, ki uporabljajo pas 1240 – 1300 MHz za **amaterske storitve in amaterske satelitske storitve zagotoviti**, da te storitve **ne povzročajo škodljivih motenj** sprejemnikom radionavigacijskih satelitskih storitev (vesolje – Zemlja), kamor sodi tudi Galileo (HAS, CAS in PRS).





## Rezultati konference

### 2) IMT



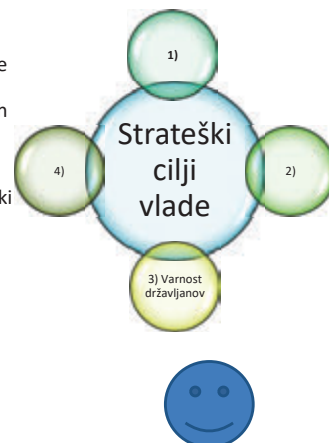
- Nov pas za IMT 6425-7125 MHz (FN. 5.6A12) z možnostjo tudi WiFi uporabe (RES [A2-6GHz])
- SST 4,2-4,4 GHz in 8,4-8,5 GHz-AI1.19 za WRC-27
- Primarna mobilna alokacija 3600-3800 MHz
- HIBS v 700/800/900/1800/2100/2600 MHz
- Sekundarna mobilna alokacija v pasu 470 – 694 MHz, možna nadgradnja na WRC-31 v primarno (AI2.14)
- **AI 1.7** za WRC-27 IMT v pasovih:
  - 4 400–4 800 MHz ali del v R1 in R3;
  - 7 125–8 400 MHz ali del v R2 in R3;
  - 7 125–7 250 MHz, 7 750–8 400 v R1;
  - 14,8–15,35 GHz globalno.
- **AI 2.6** za WRC-31 IMT v pasovih: 102–109,5 GHz, 151,5–164 GHz, 167–174,8 GHz, 209–226 GHz in 252–275 GHz



## Rezultati konference

### 3) Varnost

- **AI 1.7 do 1.11** - večja varnost v ladijskem in letalskem prometu.
  - **AI 1.7** - Nova razporeditev letalskih mobilnih satelitskih storitev v pasu 117,975-137 MHz –dodeljena nova alokacija za letalske mobilne satelitske storitve v pasu 117,975-137 MHz (opomba 5.A17).
  - **AI 1.8** - Možni regulatorni ukrepi za prilagoditev uporabe brezpilotnih zrakoplovov brez tovora – brez sprememb, ukinitve resolucije 171. Uporaba brezpilotnih zrakoplovov brez tovora še vedno mogoča skladno z Resolucijo 155 in opombo 5.484B.
  - **AI 1.9** - Regulatorni ukrepi v obstoječih HF pasovih, dodeljenih letalski mobilni (R) storitvi ter zagotoviti soobstoj trenutnih VF sistemov – sprejete predlagane spremembe dodatka 27.
  - **AI 1.10** - Potrebe po spektru in regulatorne določbe za uvedbo in nove dodelitve spektra za letalsko mobilno storitev –spremenjena Resolucija 673 o pomenu radiokomunikacijskih aplikacij za opazovanje Zemlje, ki poziva administracije, da ščitijo spekter za te storitve.
  - **AI 1.11** - Regulatorni ukrepi za posodobitev GMDSS sistema:
    - nove frekvence za sistem NAVDAT
    - nova primarna pomorska mobilna satelitska storitev 1 614.4225-1 618.725 MHz ali 1 616.3-1 620.38 MHz (Zemlja-vesolje) in 2 483.59-2 499.91 MHz (vesolje-Zemlja). Če se uporabljajo za GMDSS, je uporaba omejena na GSO omrežja iz Resolucije COM4/5 (WRC-23) in njihove zemeljske postaje locirane med 75°E do 135°E in od 10°N do 55°N. Velja resolucija COM4/5 (WRC-23).
    - Ostale spremembe RR.

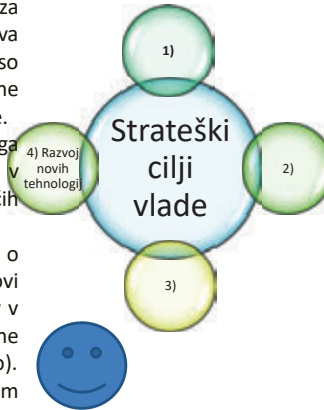




## Rezultati konference

### 4) Razvoj novih tehnologij

- **AI 1.6.** - proučiti določbe za omogočanje radiokomunikacij za suborbitalna plovila, je bilo ugotovljeno, da je obravnava preuranjena, ker ni bilo enotnega pogleda udeležencev, kaj so suborbitalna vozila, oziroma je bilo ocenjeno, da se lahko za različne vrste uporabljajo obstoječe določbe pravilnika za radiokomunikacije.
- **AI 1.12** - nova sekundarna dodelitev (aktivni) storitvi satelitskega raziskovanja Zemlje za vesoljske radarske sondirne naprave v frekvenčnem pasu okoli 45 MHz, ob upoštevanju zaščite obstoječih storitev skladno z opombo 5.A112 in resolucijo COM5/6.
- **AI 1.14** - Pregled frekvenčnega pasu 231.5-252 GHz ter razmisliti o morebitni prilagoditvi obstoječih frekvenc ali o možnosti novi dodelitvi za namen raziskovanja Zemlje (pasivno) – nova dodelitev v pasovih: 235-238 GHz (kjer ne sme zahtevati zaščite in motiti fiksne in mobilne storitve), 239.2-242.2 GHz in 244.2-247.2 GHz (primarno).
- **AI 7** – spremembe Pravilnika o radiokomunikacijah z namenom olajšanja racionalne, učinkovite in varčne uporabe radijskih frekvenc in vseh povezanih orbit, vključno z geostacionarno satelitsko orbito, so bili sprejeti vsi predlogi iz točke 7: 7.A, 7.B, 7.C, 7.D.1, 7.D.2, 7.D.3, 7.E, 7.F, 7.G, 7.H, 7.I, 7.J, 7.K.



Hvala za pozornost

JANJA VARŠEK  
Vodja sektorja za upravljanje z  
radiofrekvenčnim spektrom  
Tel: +386 1 583 63 43  
Fax: + 386 1 511 1101  
e-mail: [janja.varsek@akos-rs.si](mailto:janja.varsek@akos-rs.si)

META PAVŠEK TAKOV  
Vodja oddelka za mobilne zveze  
Tel: +386 1 583 63 63  
Fax: + 386 1 511 1101  
e-mail: [meta.pavsek-taskov@akos-rs.si](mailto:meta.pavsek-taskov@akos-rs.si)





# Digitalni sistem za notranje pokrivanje

## *Digital Indoor System*

Marko Grebenc

Huawei

[marko.grebenc@huawei.com](mailto:marko.grebenc@huawei.com)

### **Povzetek**

Večina prometa mobilnih omrežij poteka v notranjih prostorih. Zaradi višjih frekvenc, s tem pa slabšega prodiranja signala 5G v notranje prostore, je zagotavljanje kvalitete storitve z zunanjimi baznimi postajami 5G težje kot v prejšnjih generacijah. Obstoječe stavbe, ki imajo nameščen sistem za pokrivanje notranjih prostorov, so večinoma pokrite z uporabo pasivnih sistemov distribuiranih anten (pasivni DAS). Ti sistemi so bili zgrajeni za potrebe prejšnjih generacij javnih mobilnih omrežij in večinoma niso primerni za uvedbo 5G, saj praviloma ne omogočajo višjih frekvenc in tehnologij, ki pomembno prispevajo h kapaciteti in hitrosti prenosa podatkov. Vpogled v trenutne trende na področju pokrivanja notranjih prostorov pokaže, da je v dobi 5G smiselno uvesti digitalni sistem. V prispevku bo predstavljen digitalni sistem pokrivanja notranjih prostorov LampSite, možni načini uvedbe ter souporaba sistema med različnimi mobilnimi operaterji.

### **Abstract**

*Most mobile network traffic takes place indoors. Due to higher frequencies, and thus poorer penetration of the 5G signal into indoor spaces, ensuring the quality of service with external 5G base stations is more difficult than in previous generations. Existing buildings that have an indoor coverage system installed are mostly*

*covered using passive distributed antenna systems (passive DAS). These systems were built for the needs of previous generations of public mobile networks and are mostly not suitable for the introduction of 5G, as they generally do not allow for higher frequencies and technologies that significantly contribute to the capacity and speed of data transmission. An insight into the current trends in the field of indoor coverage shows that it makes sense to introduce a digital system in the 5G era. The article will present the LampSite digital indoor coverage system, possible ways of introduction and sharing of the system between different mobile operators.*

### **Biografija avtorja**



**Marko Grebenc** je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Prve izkušnje s področja mobilnih komunikacij je začel pridobivati leta 2011 v oddelku Radijskega planiranja, optimizacije in upravljanja omrežja pri mobilnem operaterju, kjer se je ukvarjal predvsem z optimizacijo radijskega omrežja. Poklicno pot je leta 2015 nadaljeval kot Inženir za brezžična omrežja v podjetju Huawei, kjer je skrbel za tehnično vpeljavo produktov in storitev na področju mobilnih omrežij. Od leta 2021 je kot Regionalni vodja operative in vzdrževanja v podjetju Huawei odgovoren za vodenje vzdrževanja vseh produktov operaterskih omrežij v

Sloveniji. Poleg tega je tudi tehnični vodja na projektih radijskih dostopovnih omrežij, kjer pripravlja izvedbene rešitve in vodi tehnično izvedbo tako pilotnih kot tržnih projektov, predvsem s področja 5G.

#### ***Author's biography***

*Marko Grebenc graduated from the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana. His first experience in the field of mobile communications began in 2011 in the department of Radio planning, optimization and network management of the mobile operator, where he was mainly involved in optimizing the radio network. He continued his career in 2015 as a Wireless Network Engineer at Huawei, where he was responsible for technical implementation of mobile network products and services. Since 2021, as the Regional Operations and Maintenance Manager at Huawei, he is responsible for managing the maintenance of all carrier network products in Slovenia. In addition, he is a technical leader in radio access network projects, where he prepares implementation solutions and manages the technical implementation of both pilot and commercial projects, particularly in the field of 5G.*



# Digital Indoor System

Marko Grebenc  
Regional O&M Manager  
marko.grebenc@huawei.com



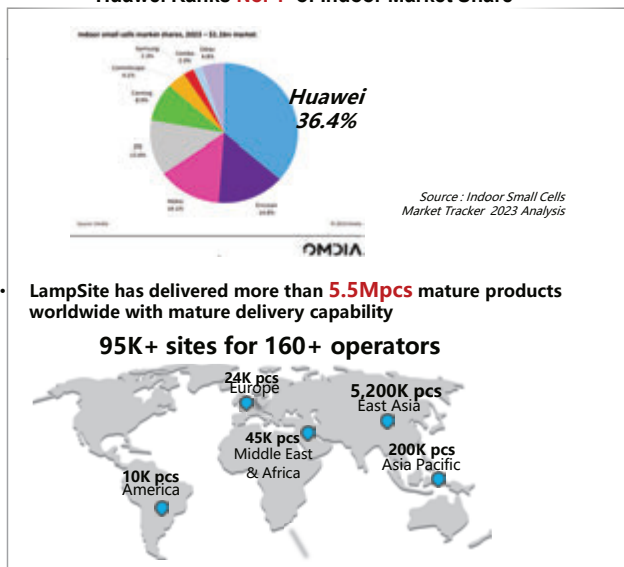
## Content

- 1 Indoor Industry Insight**
- 2 Huawei 5G LampSite Pro Solution**
- 3 Legacy Evolution Solution**
- 4 Huawei 5G LampSite Sharing Solution**



## Huawei LampSite Ranks No. 1 in Indoor Market Share Globally

Huawei Ranks **No. 1** of Indoor Market Share



Huawei won 3 times GLOMO Award in latest years

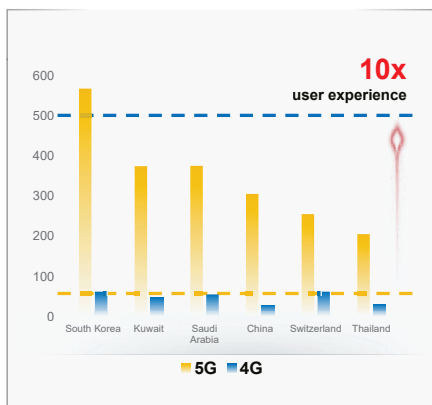
- ◆2023: **"5G Industry Partner Award"**  
--Media, China Mobile and Huawei indoor small cells for world largest 5G fully-connected factory
- ◆2021: **"Best Anti-Epidemic Technology Innovation Award"**  
--China-Japan Friendship Hospital & Huawei indoor small cells for 5G Telemedicine Solution for COVID-19
- ◆2020: **"Best Enterprise Mobility Innovation"**  
--China Eastern Airlines, China Unicom & Huawei indoor small cells for 5G smart travel in Airport

3

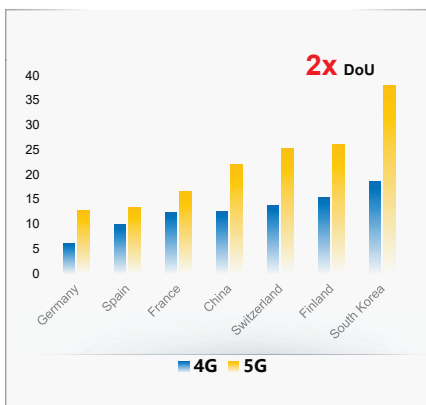


## 5G is Leading the Industry Stride

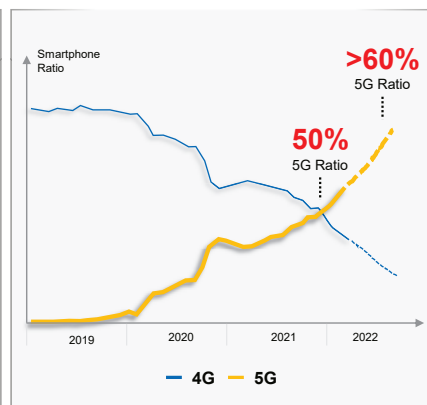
Towards Gigabit-level Speeds



20 GB of DoU



Mandatory of Smartphone

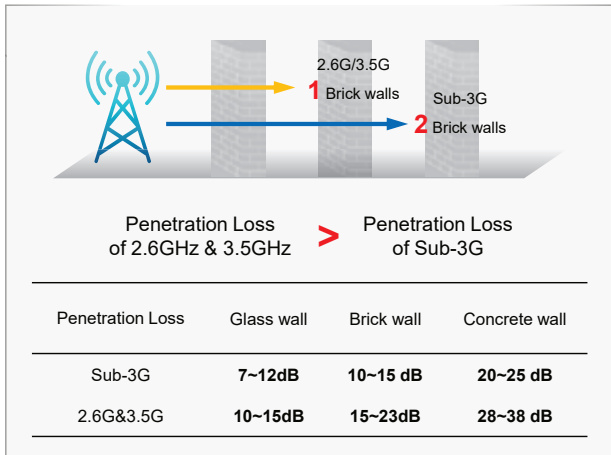


4

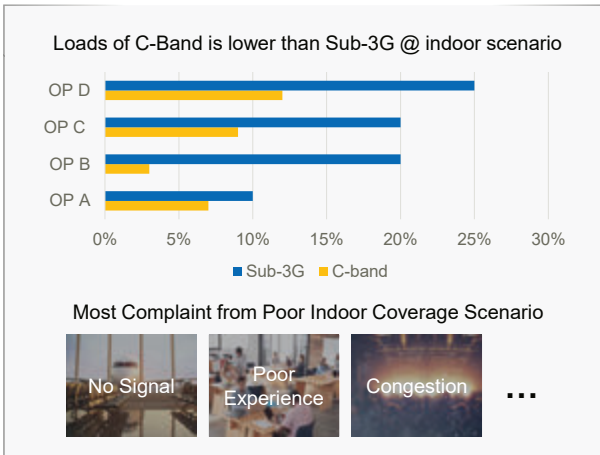


## Insight #1 Higher Band of 5G Leads to Poor Indoor Coverage

Higher penetration loss of 2.6G & 3.5G



Macro can't provide solid indoor coverage

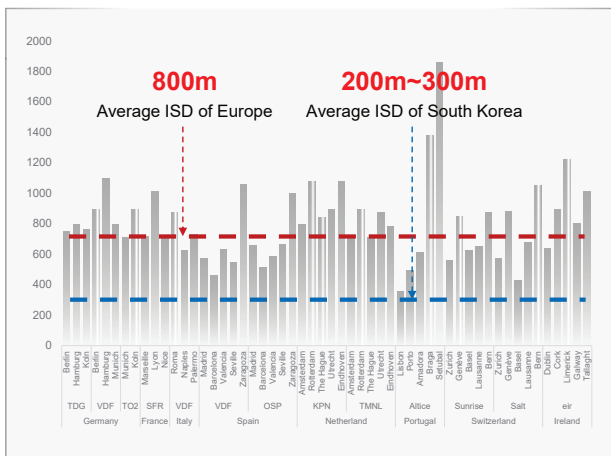


5

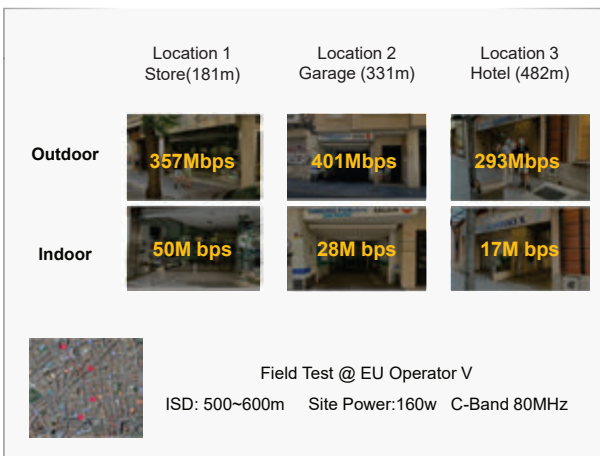


## Insight #2 Large ISD in Europe Leads to Indoor Poor Experience

Average ISD in Europe = 3~4x of China & Korea



Huge experience gap between outdoor and indoor

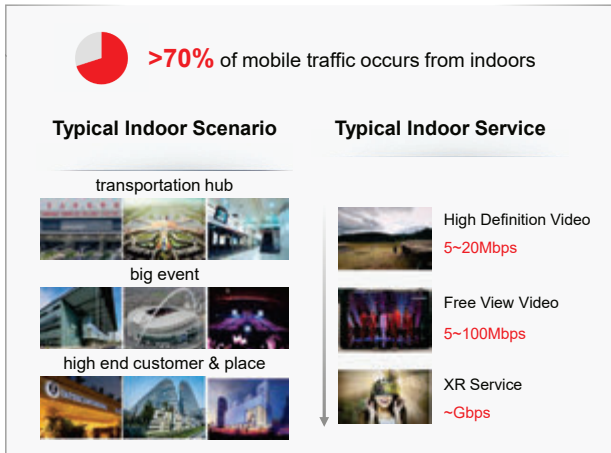


6

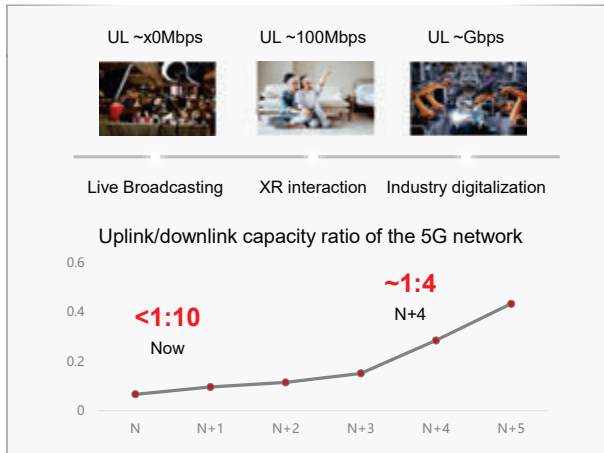


### Insight #3 5G Use Cases Need Cross-generation Indoor UL & DL Experience

70+% DL mobile traffic occurs from indoors



UL traffic ratio increase due to high demands

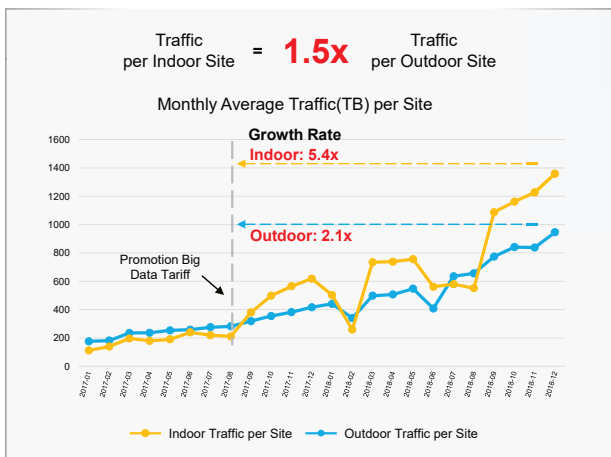


7

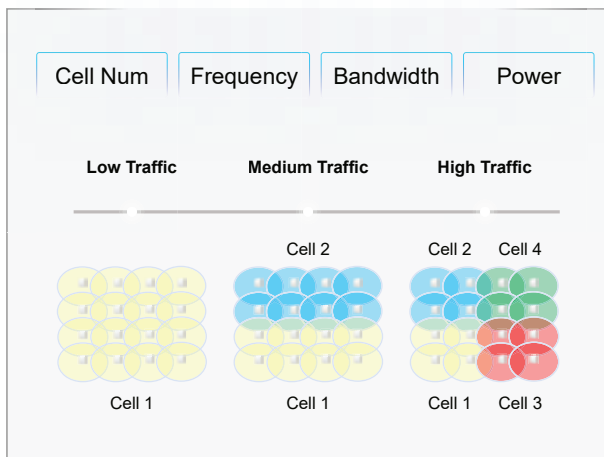


### Insight #4 5G Indoor Need Flexible Capacity Expansion Based on Traffic

Indoor has higher traffic & growth rate



Flexible capacity expansion to support traffic increase





8





# Insight #5 Local Campus Bring High Quality 5G Service Requirements



**Different connection objects**


Traditional <b>People</b>	Local Campus <b>Things</b>
	





**Different connection requirement**

Traditional <b>Best effort</b>	Local Campus <b>Consistent Experience</b>
	


**Different traffic model**

Traditional <b>DL</b>	Local Campus <b>DL &amp; UL</b>
	









...




...

Hospital
Factory
Mine
Port



9

## Indoor Network Solutions

<p style="text-align: center;"><b>DAS</b></p> <div style="text-align: center;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Limited Experience</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>No Expansion Requirement – No future Evolution</p> </div> </div> <p style="text-align: center; color: red;"><b>Traditional DAS Buildings with Small Capacity</b></p> <p>Standard:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existing passive DAS</li> <li>• Moderate Speed requirement.</li> <li>• Limited subscriber's number</li> <li>• No future Evolution requirement.</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>Residential/Commercial</p> </div>	<p style="text-align: center;"><b>LampSite Pro</b></p> <div style="text-align: center;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>High Capacity - Distributed MM</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Flexible Capacity Expansion</p> </div> </div> <p style="text-align: center; color: red;"><b>Digitized Large capacity, Timely 5G Indoor Readiness</b></p> <p>Standard:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategic 5G Leading.</li> <li>• No Network Sharing requirement.</li> <li>• 5G Indoor Digital Network with high capacity.</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>High Value / Important Areas</p> </div>	<p style="text-align: center;"><b>LampSite Sharing</b></p> <div style="text-align: center;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ultra wide Bandwidth 400MHz</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Flexible Capacity Expansion</p> </div> </div> <p style="text-align: center; color: red;"><b>Digitized Large capacity – Supporting Sharing Scenarios</b></p> <p>Standard:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategic CAPEX Sharing.</li> <li>• Network Sharing supported - Other vendor Connectivity with DCU .</li> <li>• Wide Band Radio - 400MHz.</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>High Value Areas</p> </div>
--	--	--

10



## Content

- 1 Indoor Industry Insight
- 2 Huawei 5G LampSite Pro Solution
- 3 Legacy Evolution Solution
- 4 Huawei 5G LampSite Sharing Solution



### LampSite: Baseband Unit (BBU)

The BBU processes baseband signals. It provides the following functions:

- Manages the entire base station system in terms of operation and maintenance (O&M), signaling processing, and system clock.
- Processes uplink and downlink data, and provides common public radio interface (CPRI) ports for the communication with RF modules.
- Provides physical ports for connecting to transmission equipment.
- Provides an operation and maintenance channel (OMCH) between the base station and the operation and maintenance center (OMC).
- Provides ports for receiving and transmitting signals from environment monitoring devices.



12

CPRI

FE/GE

XGE

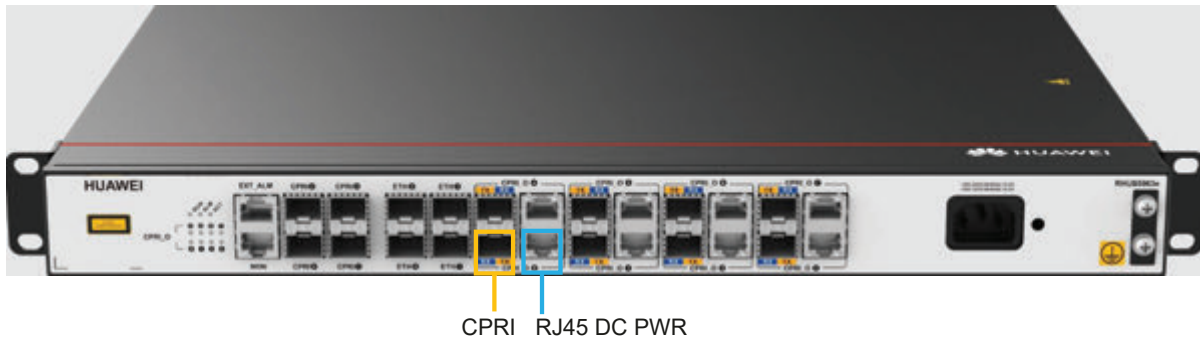
GPS(CLK)



## LampSite: Radio HUB (RHUB)

RF signals converge on an RHUB, which provides the following functions:

- Works with the BBU/DCU and pRRU to provide indoor coverage.
- Receives downlink data from the BBU/DCU and forwards the data to pRRUs, and forwards uplink data of pRRUs to the BBU/DCU.
- Supplies power to pRRUs using DC.
- Connects to pRRUs through optical fibers.



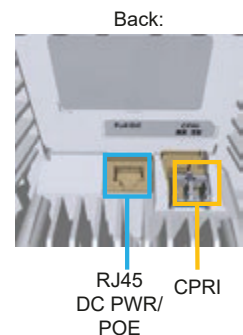
13



## LampSite: pico Remote Radio Unit (pRRU)

The pRRU processes RF signals. It provides the following functions:

- Modulates baseband signals to a transmit frequency band, filters and amplifies these signals, and sends them to the antenna for transmission.
- Receives RF signals from antennas over the RX channel, filters and amplifies these signals, down-converts the signals using the zero IF technology, converts them into digital signals, and sends them to the DCU/BBU for processing.
- Transmits CPRI data over optical fibers or Ethernet cables.
- Supports internal antennas.
- Supports PoE/DC power supply.
- Supports flexible configuration for multimode multiband operation.



14





### Lampsite: Optical - Electrical Hybrid Cable

Used for RHUB-pRRU CPRI and DC Power connection. It contains:

- 2 x optical fiber (TX,RX)
- 2 x electrical cable(+,-)

Benefits:

- Similar appearance and bending radius to CAT6A cable.
- Similar weight to CAT6A and more than 50% less weight compared to 1/2"RF feeder.
- Long Term evolution: Easy upgrade to higher speed SFP.

LC connector

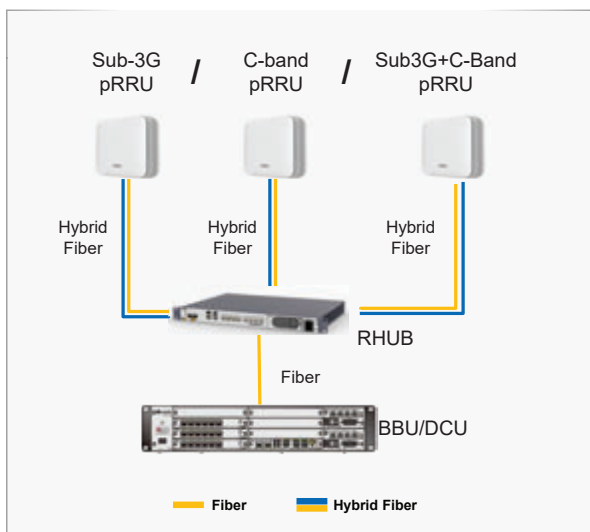


RJ45 Power connector

15



### LampSite: Indoor Ubiquitous Gbps Experience Solution



**Distributed M-MIMO**

Industry's Only    Gbps Everywhere

**Smooth Evolution Towards 5G**

Multi-antenna 2T2R/4T4R...    Multi-band C-band/mmWave...

Branding Scenario    5GtoB Scenario

Office    Hotel    Hospital    Factory    Mine

16





# LampSite Pro: Indoor Ubiquitous Gbps Experience Solution

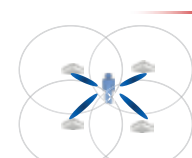
**LampSite Pro**  
One Step 4G+5G in High Value Indoor Scenarios



**All-in-One Module**  
**pRRU5961/5633GR**

- 1.8G+2.1G+C-Band(3420-3700/3600~3800)
- C-band 4x500mW
- C-band 4T4R

**Distributed Massive MIMO**  
Sets a New Benchmark for Indoor Experience



**30%**  
Average User Throughput Increase

**4 Times**  
Cell Capacity Increase

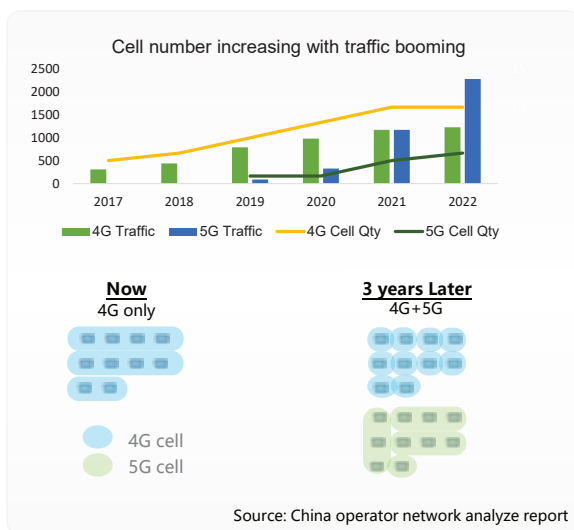
- Gigabit Everywhere by Coordinated Scheduling
- Capacity Increase by Spatial Multiplex

17

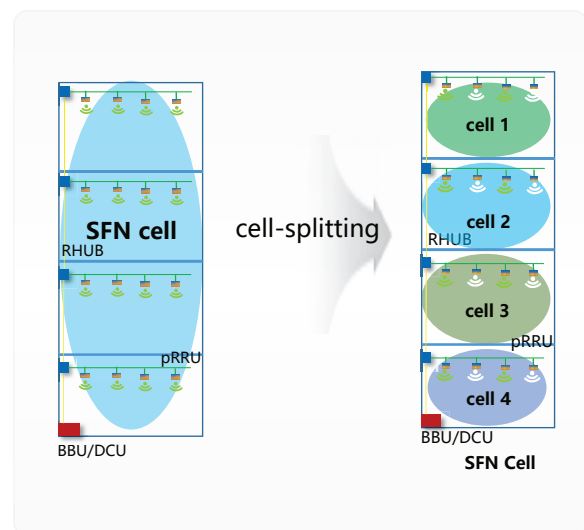


# DIS Flexible Cell-splitting for Easy Smooth Expansion

Capacity requirement during last 5 years



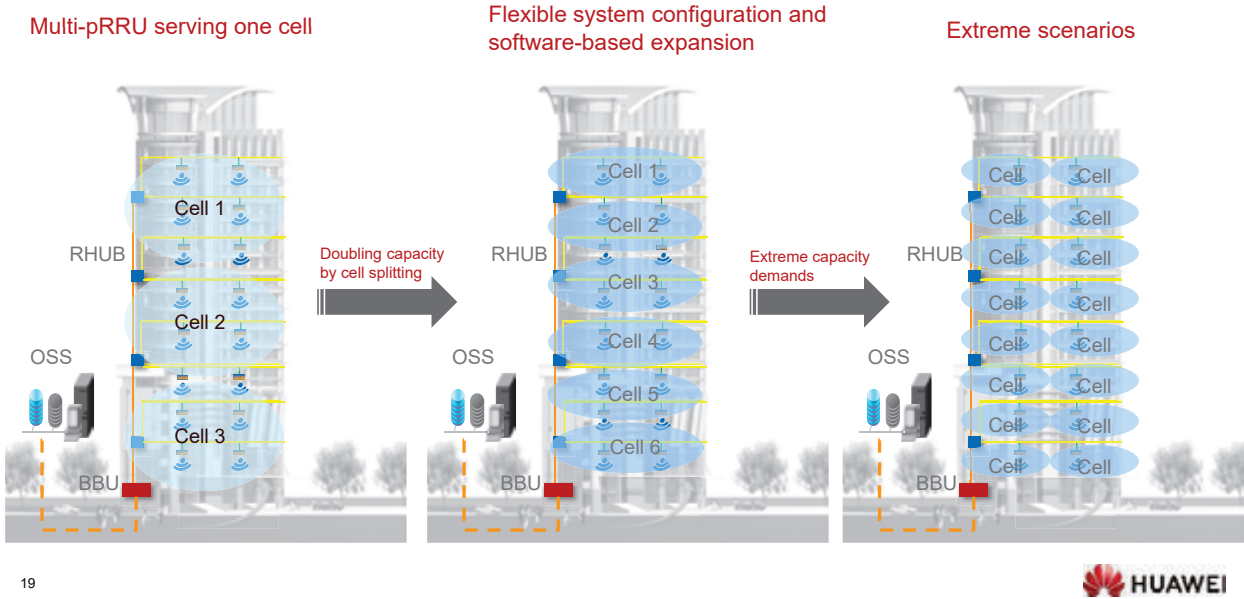
Indoor digitalization enables soft capacity expansion



18

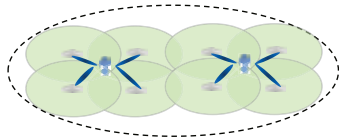


# Multi-RRU in One Cell and Remote Cell Split through Software



# Indoor Ubiquitous Giga Experience Powered by Distributed Massive MIMO

## Distributed Massive MIMO

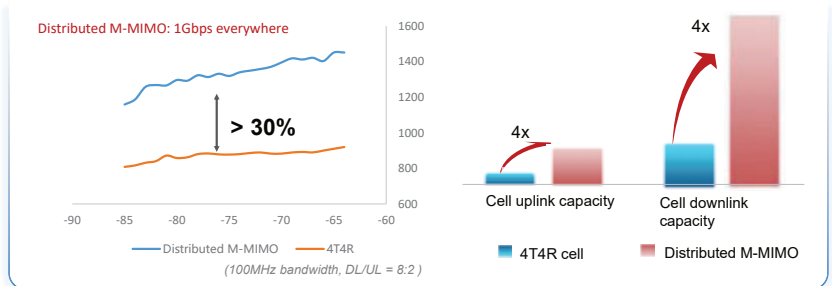


- joint beamforming gains are obtained, greatly improving user experience.
- spatial multiplexing MU-MIMO provides gains and greatly increases cell capacity.

## Distributed Massive MIMO Sets a New Benchmark for Indoor Experience

User experience : + 30% average user rate

Capacity : 4x the cell capacity



Become Standard Solution in Key Scenarios **3000+** Sites

72	81	90	297	252	18	145	54
Airport	Train Station	Metro	Stadium	Shopping Mall	Hospital	Campus	Factory

## Key Technology for Distributed Massive MIMO

**Joint Beamforming convert interference into experience gains**

Traditional cell splitting causes serious interference

**interference**

cell1 cell2

**Impact user experience:**

- User experience in the overlapping area is poor and the data rate is low.
- The cell capacity decreases due to interference

collaborative beam

Distributed M-MIMO

SINR(dBm)

**SINR Improved**

Distributed M-MIMO

Cell split

**Experience: +50%~300%@overlapping area**

**MU-MIMO improves spectral efficiency and achieves 3~4x cell capacity**

UE1 UE3 UE4 UE2

**MU-MIMO gains:**

- Each pRRU forms a beam, and spatial isolation is used to implement multi-beam spatial multiplexing.
- pRRU in different TRP(transmission receive point) can be paired to reuse the same RB resource.

**Uplink and downlink MU-MIMO**

layer layer

Downlink Uplink

3 2 1 RB0 RBn

2 1 RB0 RBn

UE pairing improves cell capacity in Uplink and downlink

21



## Intelligent Energy Saving Features: '3 shut down + 1 deep dormancy'

**① Symbol Shut Down Saving ~2%**

Shut Down PA when no effective signal (Public signal, Ref signal or Service signal) sent in symbol periods.

Shut Down PA in symbol periods 1/2/3/5/6 within one slot.

0 1 2 3 4 5 6 0 1 2 3 4 5 6

**④ pRRU Deep Dormancy Saving ~4%**

**Timing Mode**

No traffic

**AI Mode**

Assistant Power Saving

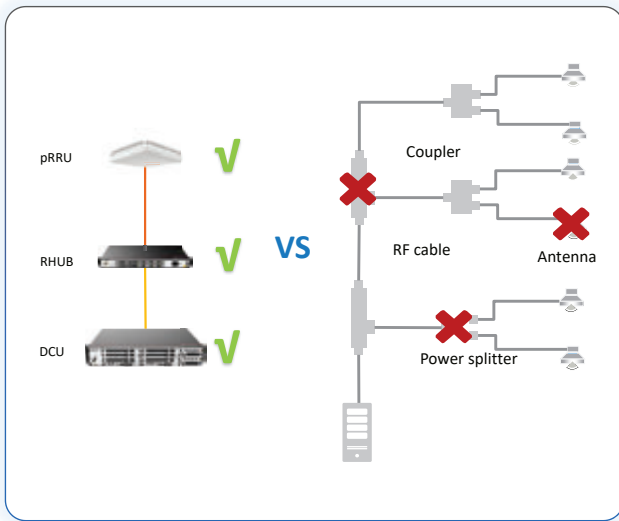
Reduce ~10% Power Consumption managed by PowerStar Smart Platform

22



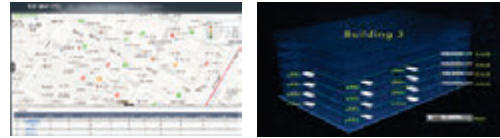
# Intelligent O&M: Efficient Operation and Maintenance System

## All DIS equipment E2E Monitoring



## Efficient management at pRRU level

### Visualized fault locating and handling



Device running status is visualized in 3D buildings to accurately and efficiently locate faults.

### Elastic capacity management and optimization



Based on the traffic distribution, cell division is optimized



# Intelligent O&M: Efficient Network Planning and Optimization

## pRRU Level visualized O&M

### Fault Visible

- One fault and one alarm
- Fault root cause self-diagnosis

### Coverage Visible

- Visualized coverage
- performance optimization

### Traffic Visible

- Elastic capacity management
- Customized expansion Solution

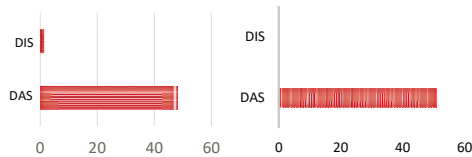


Issue Detect Duration

Unit: Hours

6 Month Complaints

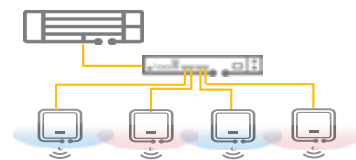
Unit: Times



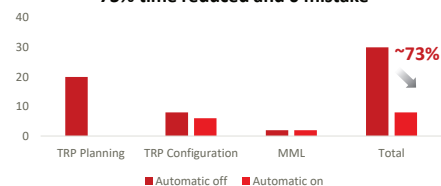
#Source: China Telecom

## Automatic planning and configuration

- Transmit and receive signals between pRRUs to determine the neighbor relationship and automatically planning and configure the TRPs



73% time reduced and 0 mistake



Source: Chengdu Sports Center



# Content

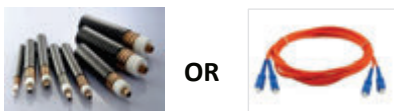
- 1 Indoor Industry Insight
- 2 Huawei 5G LampSite Pro Solution
- 3 Legacy Evolution Solution
- 4 Huawei 5G LampSite Sharing Solution



## Indoor Digitalization is a MUST for Future Network Evolution

### Higher Frequency Arouse Higher Feeder Loss

As the traditional indoor system, such as DAS, can't add new spectrum directly, DIS might be a better option.

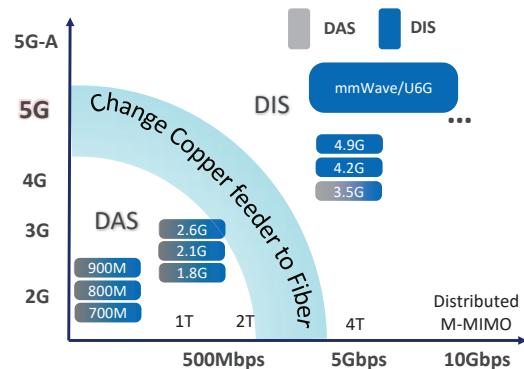


Band	Feeder loss (1/2") -dB/100m	Feeder loss (7/8") -dB/100m
1.8G	10.3	6
2.1G	11.2	7
3.5G	15	9
6G	~20	~12
mmWave	~270	~80

Source: Huawei Lab Test Result

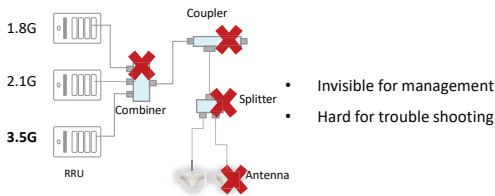
### Fiber is Recommended to Deploy indoor system

Future All Bands Evolve to 5G, Fiber supports all bands

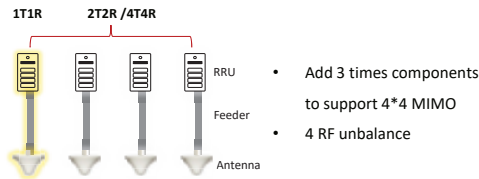


# Traditional Indoor System Face Difficulty to Support Long-term Evolution

## Existing components don't support C-Band



## 3x investment required to support 4T4R



## DAS 5G monetization can not be deployed



### Antennas & passive components need to be replaced

- Property companies won't allow large-scale construction on the ceiling.
- Components to be replaced cannot be found because the drawing is missing.



### SISO to xTxR MIMO need new DAS

- Add four feeders and ensure that the delay of the four feeders is the same.



### Need more than 3x RRU

- No space
- No electricity
- No transmission supporting

27



# Passive DAS Architecture is Hard to Evolve, 5G Era Requires Digital System

**2T2R Passive DAS is already complex**  
**4T4R Passive DAS would be more complex**

4x2 MIMO  
Antenna  
Coupler  
Coax  
Splitter  
Feeder/Jumper  
Combiner  
1.8 GHz RRU  
2.1 GHz RRU  
B42 RRU  
x N MNOs On Site

- ✗ 16 passive components, 20 feeders, 4x2 MIMO, double components for 4x4 MIMO
- ✗ Limited capacity, difficult capacity expansion, difficult maintenance
- ✗ Evolution to C-band is limited, 5G-A is not supported.

**Digital Indoor System**  
**100% Digital**

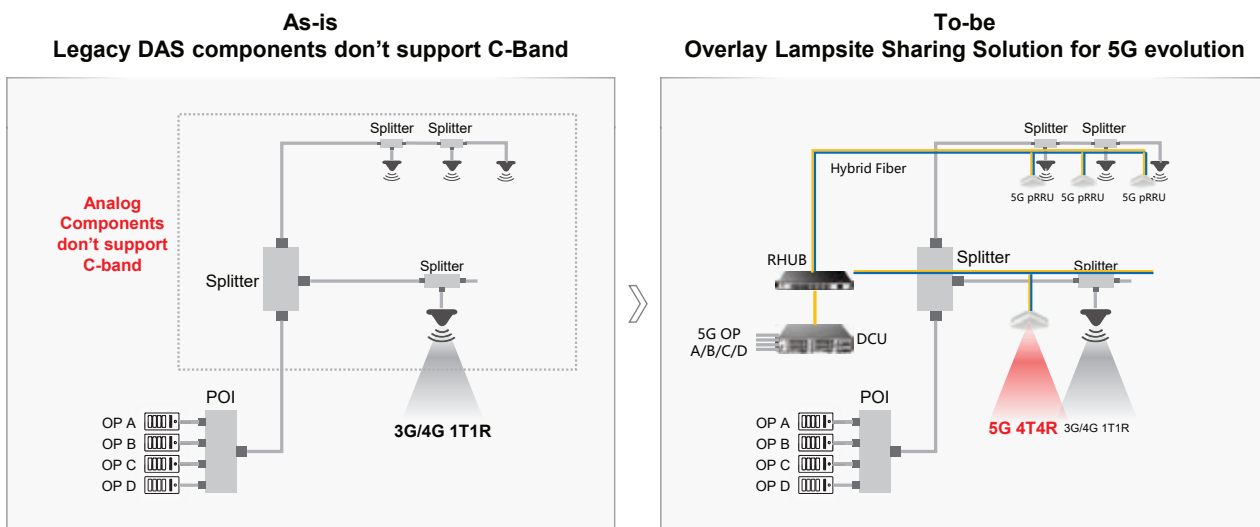
pRRU  
4x4 MIMO  
Hybrid fiber  
RHUB  
Optical fiber  
BBU/DCU  
MNO A  
MNO D  
IT ROOM

- ✓ 0 passive component, 0 feeder, 4x4 MIMO@C-band
- ✓ Large capacity, flexible scale-up, manageable and controllable
- ✓ Evolution to 5G with the reuse of existing sites and cables

28



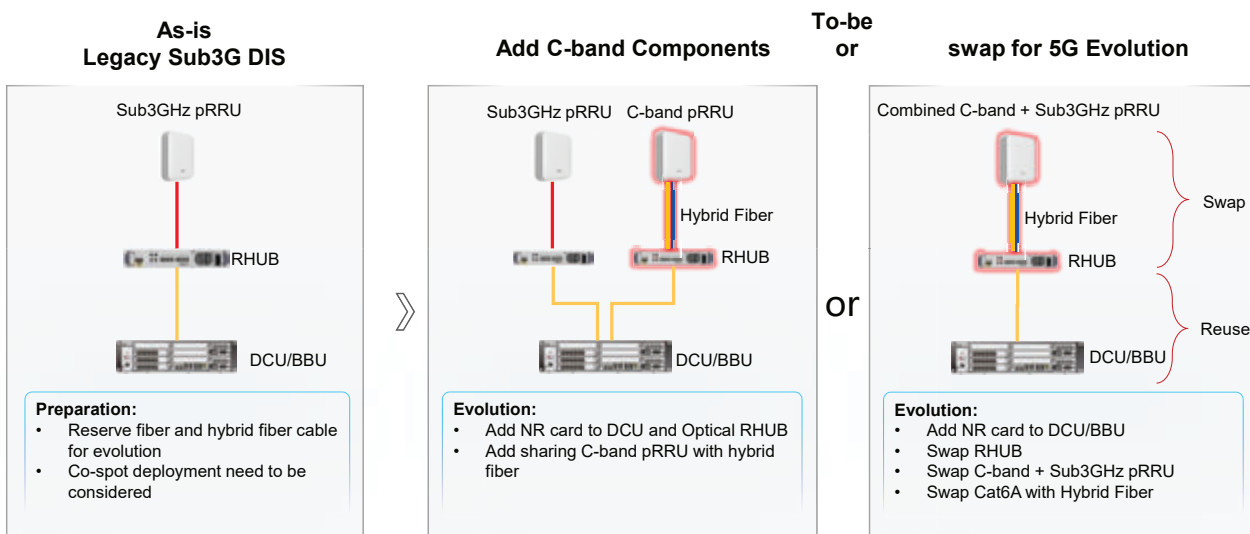
## Legacy DAS Scenario: Evolution to 5G by Overlay Lampsite Sharing



29



## Legacy DIS pRRU Scenario: Add C-band Component or Swap for 5G Evolution



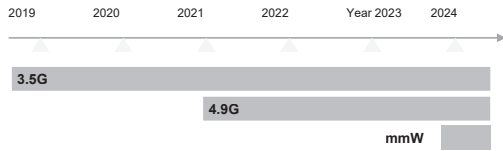
30



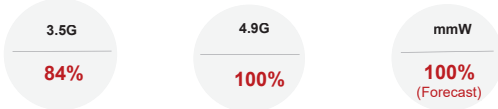
# Smooth Evolution to 6GHz and mmWave

## The 4.9 GHz band has achieved 100% DIS

- New frequency construction will take 2-3 years, and mmW will be started in year 2024.



- Medium- and high-frequency indoor distributed systems are no longer supported by 4.9 GHz DAS and will become 100% DIS.



- Mainstream chips have been supported, and terminals have been put into commercial use.
  - ✓ Mainstream chips: Qualcomm X55, Samsung Exynos, and HiSilicon Balong5000
  - ✓ Over 80 mmWave terminals have been released worldwide and 17 have been put into commercial use.

31

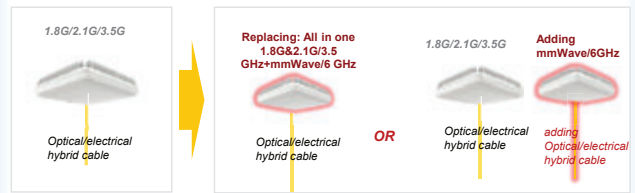
## Future Evolution Oriented Architecture Design

- High-frequency feeder loss, DAS is unable to evolve to 6 GHz/mmWave.

Frequency band	Feeder loss (1/2-inch)-dB/100m
1.8G	10.3
2.1G	11.2
2.6G	12
3.5G	15
4.9G	18
6G	20
mmWave	270



- With unified architecture, DIS supports evolution to mmWave and 6GHz with quick deployment.



## Content

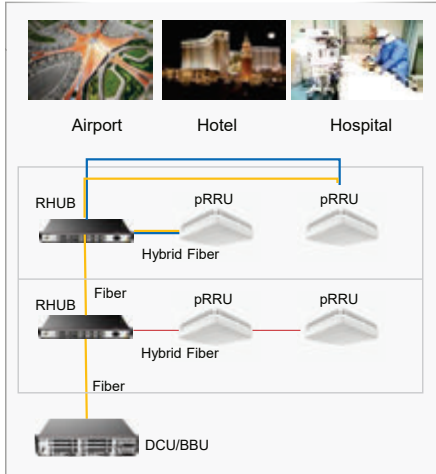
- 1 Indoor Industry Insight
- 2 Huawei 5G LampSite Pro Solution
- 3 Legacy Evolution Solution
- 4 Huawei 5G LampSite Sharing Solution



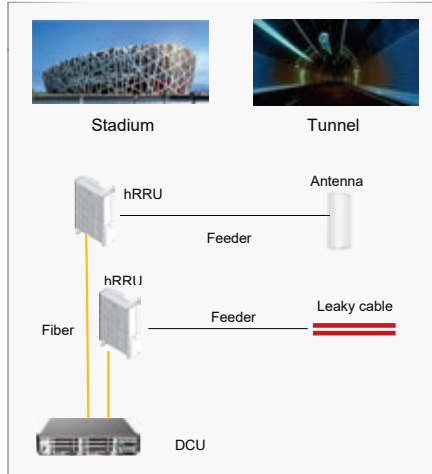


### Satisfy Different Scenarios with Flexible Solutions

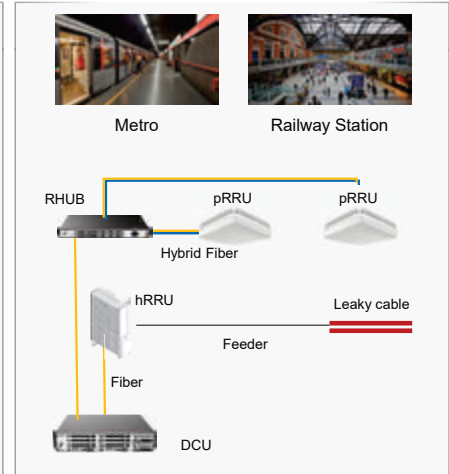
#### ① Low Output Power



#### ② High Output Power



#### ③ Hybrid Scenario

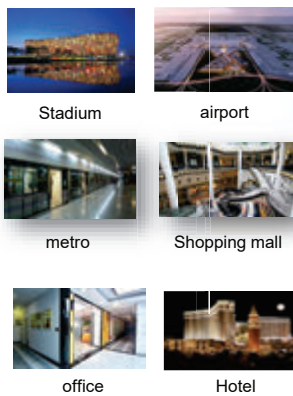


33

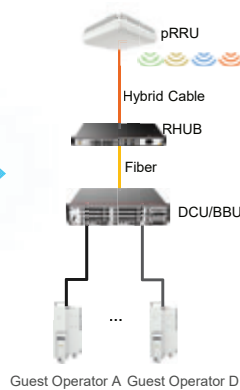


### LampSite Sharing Bring Digitization to Multi-operator

#### Diversified Scenarios



#### DIS (digital indoor system)



#### Experience On Demand

Cell Split, Cell Combination, 256QAM...

#### Mode On Demand

Host, Neutral, RF Feed in ...

#### Evolution On Demand

Sub3G evolve to 5G, Overlay C-Band ...


#### Visualized O&M On Demand

Fault Visible, Traffic Visible ...

34





## Lampsite Sharing DCU5900: Unified Master of LampSite Sharing Solution



F A N	MERC	MERC	UPEU
	UBBP	MERC	
	UBBP	MERC	UPEU
		UMPT(master)	

- DCU: Distributed Control Unit
- MERC: Multi-mode Extended Radio frequency Card
- UMPT: Same as Macro-BTS
- UBBP\*: Only used as Interface board


	MERCe	UBBPg2a/UBBPg3
Function	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RF Interface</li> <li>• Convert RF to CPRI</li> <li>• Multi-band</li> <li>• 2T2R for Sub3G band</li> <li>• 4T4R for N78 band</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Only used as Interface board</li> </ul>
Frequency Band (MHz)	700+800+2300 900+1800+2100+2600 3.5G (3300~3800)	-
IBW&OBW (MHz)	Full Bandwidth for each Band	-
Interface to Signal source	RF: 8*RF_QMA to BTS Band Configurable for each pair of ports	-
Interface to RHUB	NA	• Optical: 6*10.1/25Gbps
TR5	2023Q1	Ready
SW Release	SRAN19.1	SRAN15.1

35




## Lampsite Sharing Sub3G and C-Band pRRU Specification

NR Only

pRRU5731GR  Industry First Full-bandwidth Module

	pRRU5731GR
Frequency Band (MHz)	3400~3800
Carrier number	NR 4*100MHz
IBW&OBW (MHz)	400
Antenna	internal
Output Power	2*4*500mW
Port	Optical*1
Volume/weight	~3L / 3kg
Environment Temperature	-5°C~40°C
Protection	IP20
TR5	2023Q1
SW Release	SRAN19.1

Sub 3G

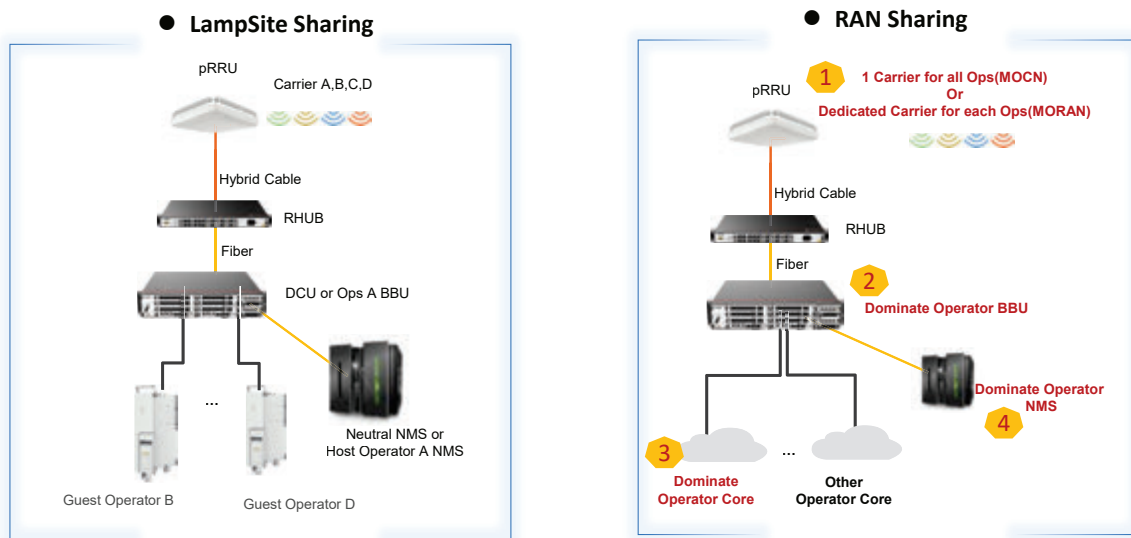
pRRU5733GR 

	pRRU5733GR
Frequency Band (MHz)	1800+2100+2600
Carrier number	LTE_BBU: 12L, UMTS_BBU: 8U, 12G/U_DCU
IBW&OBW (MHz)	Full Bandwidth for each Band
Antenna	internal
Output Power	1800/2100 : 2*250mW
Port	Optical*1
Volume/weight	~2.3L / 2.5kg
Environment Temperature	-5°C~40°C
Protection	IP20
TR5	2023Q1
SW Release	SRAN19.1

36



### Architecture Difference between LampSite Sharing and RAN Sharing



37



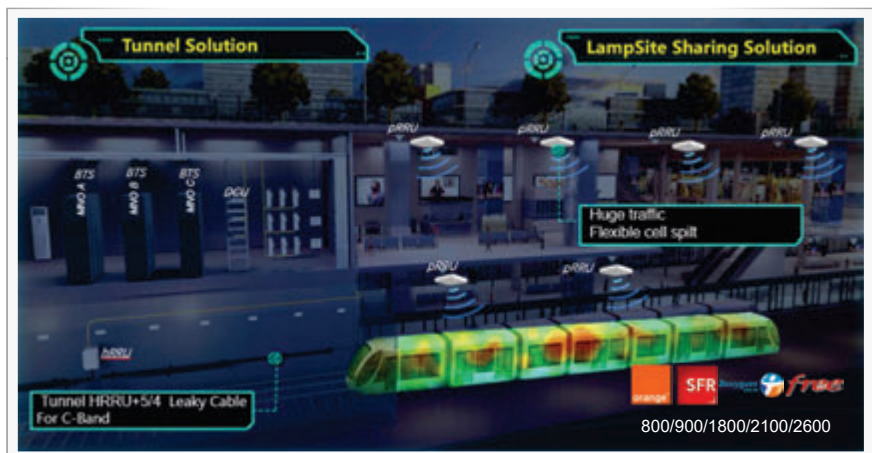
### LampSite Sharing Solution Deployed in French Metros

#### Challenge



- Limit installation space due to old tunnel
- Difficult to control interference among networks
- Difficult of delivery due to only 4 hours deployment per day
- TCO pressure

#### Lampsite Sharing Solution for Different Areas

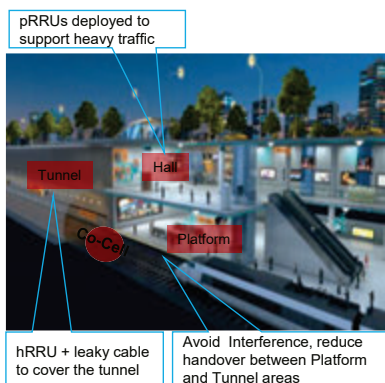


38



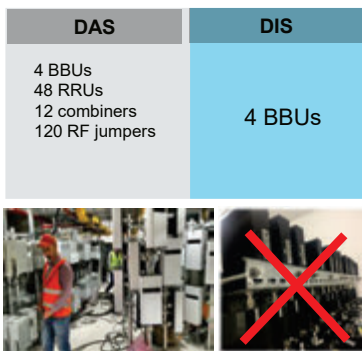
## LampSite Sharing Solution Deployed in French Metros

### Different Headend Co-Cell match with all sharing Scenarios



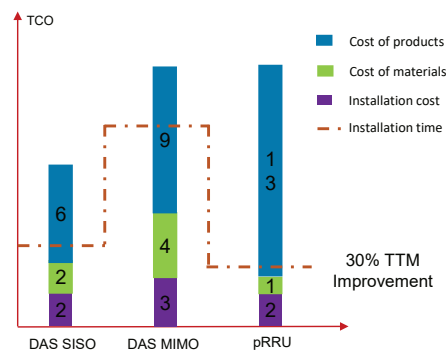
### 1 Cabinet to replace the equipment room full of signal source

Typical scenario: 3 sectors \* 4 bands \* 4 MNOs



### Fiber to replace feeder, 30% TTM improvement

Typical scenario: 500 antennas or pRRUs

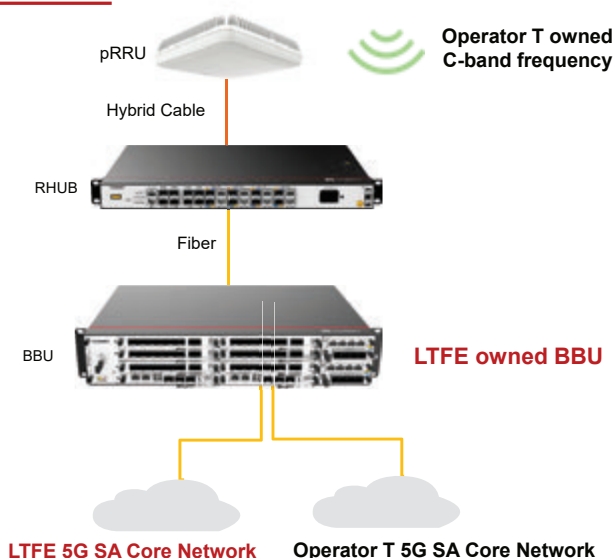


39



## LampSite Sharing Demo: 5G SA Solution Deployed at LTFE LAB

- MOCN scenario.
- One Carrier/NR cell@100MHz BW shared by 2 operators.
- BBU connected to 2 different Standalone 5GC.
- Simultaneous UE registration and access, through same 5G cell, but to different standalone 5GC based on different SIM.



40



# Radijska astronomija

## *Radio astronomy*

**Tomaž Zwitter**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

[tomaz.zwitter@fmf.uni-lj.si](mailto:tomaz.zwitter@fmf.uni-lj.si)

### **Povzetek**

V predavanju bomo najprej utemeljili, zakaj navadno opazujemo z Zemlje, nato pa predstavili radijske meritve razdalje, radialne hitrosti in kotne velikosti. Na kratko bomo omenili problem rekonstrukcije slike izvorov ter ga ponazorili z opazovanjem okolice črne luknje v aktivni galaksiji M87. Nato bomo govorili o motnjah zaradi radijskih komunikacij na Zemlji in bližnji okolici in problemih, ki jih predstavljajo konstelacije komunikacijskih satelitov. Na koncu bomo osvetlili zanimiv plan radijskih opazovanj z Lune in to s tiste njene strani, ki je vedno obrnjena proč od Zemlje.

### **Abstract**

*In the lecture, we will first justify why we usually observe from Earth, and then present radio measurements of distance, radial velocity and angular size. We will briefly mention the problem of image reconstruction of sources and illustrate it by observing the surroundings of the black hole in the active galaxy M87. Next, we will talk about interference from radio communications on Earth and the surrounding area and the problems posed by constellations of communication satellites. Finally, we will shed light on an interesting plan of radio observations from the Moon, from that side of it that always faces away from the Earth.*

### **Biografija avtorja**



**Tomaž Zwitter** je redni profesor za astronomijo in astrofiziko na Fakulteti za matematiko in fiziko. Predava predmete povezane z astronomskimi opazovanji in fiziko zvezd ter planetov. Sodeluje v več mednarodnih spektroskopskih pregledih neba, že 20 let deluje v projektu Gaia Evropske vesoljske agencije. Leta 2021 je prejel Zoisovo nagrado za vrhunske dosežke pri utemeljevanju mnogodimenzionalne slike lokalnega vesolja. Aktiven je tudi v popularizaciji znanosti.

### **Author's biography**

*Tomaž Zwitter is a full professor of astronomy and astrophysics at the Faculty of Mathematics and Physics. He teaches subjects related to astronomical observations and the physics of stars and planets. He participates in several international spectroscopic surveys of the sky, and has been working in the Gaia project of the European Space Agency for 20 years. In 2021, he received the Zois Award for outstanding achievements in establishing a multidimensional picture of the local universe. He is also active in the popularization of science.*

# Radijska astronomija

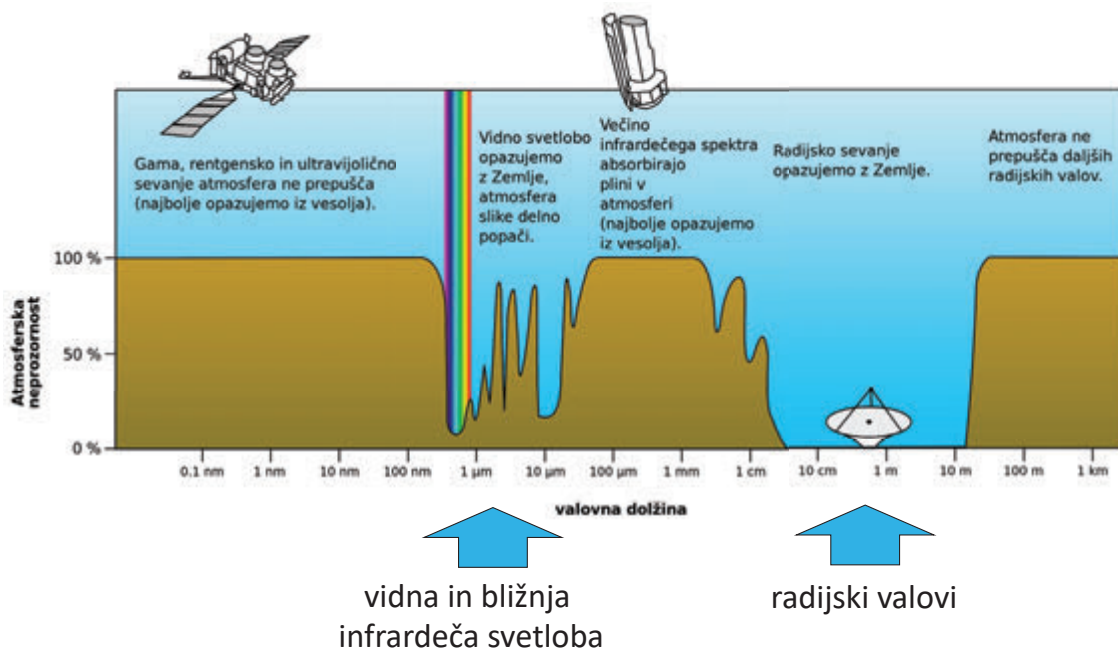
Tomaž Zwitter

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

- Opazovanje z Zemlje ali iz vesolja,
- meritev razdalje, radialne hitrosti, kotne velikosti,
- rekonstrukcija slike izvorov,
- vrste izvorov,
- motnje zemeljskih radijskih komunikacij,
- Starlink in druge konstelacije,
- radijska astronomija iz vesolja.



## Prosojnost Zemljine atmosfere



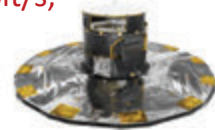


## Radijska komunikacija v Osončju

- intenziteta pada s kvadratom razdalje,
- velikosti anten na satelitih v splošnem omejene z debelino raket,
- velikosti anten na Zemlji imajo manjše omejitve.

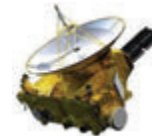
Primer praktične implementacije: **satelit Gaia Evropske vesoljske agencije:**

- oddaljenost 1,5 milijona km,
- kljub maksimizaciji prenosa podatkov tipični downlink 1Mbit/s,
- v 5 letih preneseno 60 TB kompresiranih podatkov,
- to ustreza  $\approx 200$  TB nekomprimiranim podatkom.



Nasin satelit New Horizons:

- ko je 28.2.2007 letel mimo Jupitra: oddaljenost 780 milijonov km, 38 kbit/s
- ko je 14.7.2015 letel mimo Plutona: oddaljenost 4,8 milijarde km, 1 kbit/s.
- kot pričakovano, hitrost pada s kvadratom razdalje.

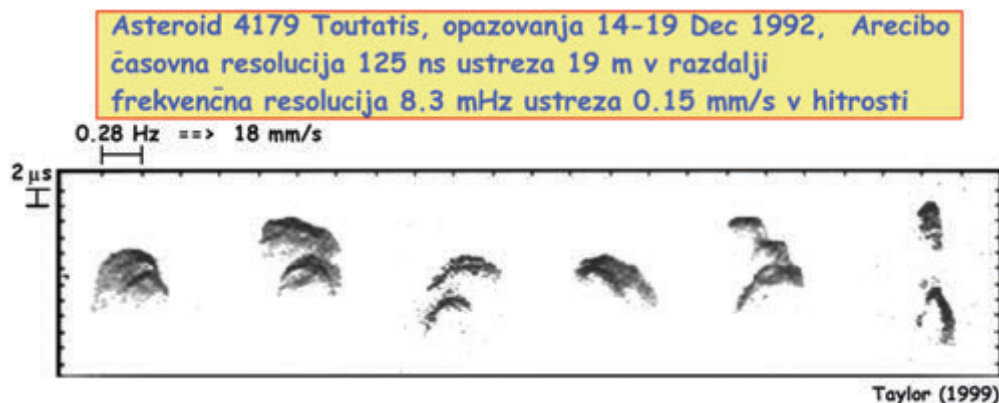


Smer razvoja: laserski link do Zemljine tirnice, radio na Zemljo.

## Aktivno merjenje razdalje in oblike

Z odboji radarskih valov merijo razdalje do asteroidov, Venere in Merkurja in medplanetarnih sond.

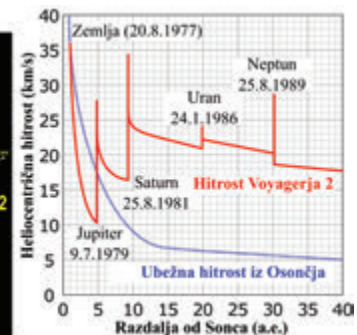
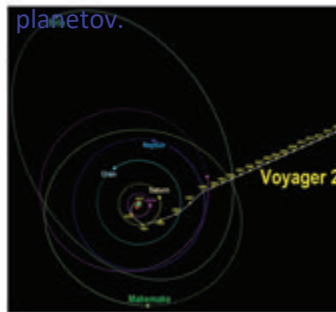
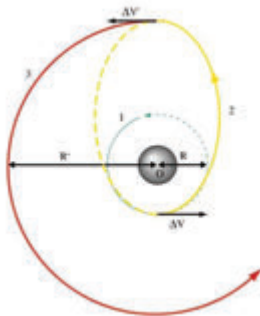
Tako so določili astronomsko enoto na  $149.597.870.691 \pm 3$  m.



## Aktivno merjenje radialne hitrosti

- Dopplerjev efekt: komponenta hitrosti vzdolž zveznice z Zemljo.
- Čas potovanja signala nam da trenutno razdaljo.
- Zaporedne meritve oddaljenosti in radialne hitrosti omogočijo rešitev enačb tirnice.
- To je praktični način meritev potrebnih korekcij tirnice po manevrih za sonde v Osončju.

Hoffmanova tirnica do Marsa. Voyager 2 mimo planetov.



## Pasivno merjenje (kotne) velikosti

Na vidno svetlobo vpliva spremenljiva gostota in z njo lomni količnik pri prehodu skozi Zemljino atmosfero. Na radijske signale enak vpliv spremenljive gostote in lomnega količnika elektronov in protonov v Sončevem vetru v medplanetarnem prostoru in neenakomerna gostota medzvezdnega prostora.

Intenziteta radijskega signala točkastega izvora se zato v prvem primeru spreminja na nekaj sekund, medtem ko objekti s kotno velikostjo večjo od nekaj ločnih sekund takih sprememb nimajo.

V primeru medzvezdnih scintilacij lahko zgornjo mejo kotne velikosti spremenljivega izvora postavimo celo na manj od tisočinke ločne sekunde.

V zgodovini pomembno raziskovanje kotne velikosti kvazarjev, to je jeder aktivnih galaksij.

Možna omejitev velikosti izvora iz njegove spremenljivosti in časa preleta svetlobe. Primer je odkritje pulzarjev Jocelyn Bell Burnell pred 56 leti.



## Ocena razdalje iz disperzije

Pri pulzirajočih izvori je čas prihoda odvisen od frekvence.

Če signala frekvence  $\nu_1$  pride ob času  $t_1$ , frekvence  $\nu_2$  pride ob času  $t_2$ , lahko zapišemo zvezo

$$t_2 - t_1 = 4.15 \text{ ms } (n_e / \text{cm}^3) (D / \text{pc}) [(\nu_1 / \text{GHz})^{-2} - [(\nu_2 / \text{GHz})^{-2}]$$

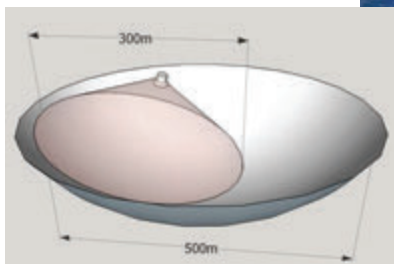
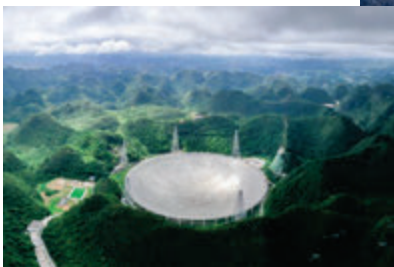
Tu je  $n_e$  številska gostota elektronov v medzvezdnem prostoru in  $D$  razdalja do objekta v parsekih ( $1 \text{ pc} = 3 \cdot 10^{16} \text{ m}$ ).

**Primer:** pulzarju PSR J0437-4715 so razdaljo  $D = 156 \text{ pc}$  izmerili z natančno meritvijo prihoda pulzov (točnost 500 ns, kar ustreza času, v katerem svetloba preleti 150 metrov).

Meritev disperzije nam z zgornjo zvezo da prostorsko gostoto elektronov  $n_e = 0.017 \text{ elektronov/cm}^3$ . To ustreza  $\approx 10^6$  elektronov v tej sobi, kar lahko primerjamo s  $\approx 4 \cdot 10^{27}$  molekulami zraka.

## Rekonstrukcija slike izvorov

$$\theta_{\min} = 1,22 \lambda / D$$



Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope  
Valovne dolžine: 0.10 m – 4.3 m



70-m radijski teleskop Parkes, Avstralija.

## Radijska interferometrija

Posamezni sprejemnik (krožnik) ima lahko veliko površino, ima pa zelo slabo kotno ločljivost in zato z njim ni mogoče delati slik izvorov.

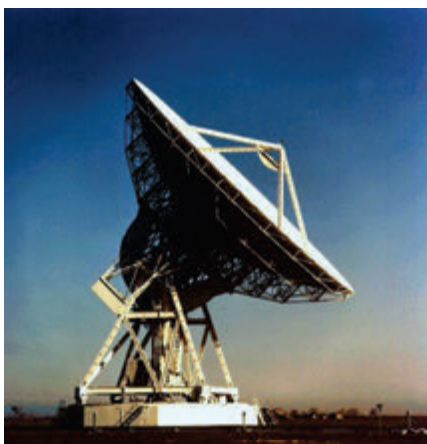
**Rešitev:** zlaganje signalov z več krožnikov, ki hkrati opazujejo isti izvor.

Pristopu rečemo radijska interferometrija.

Lahko dosega izjemne ločljivosti, vendar nam sama po sebi ne daje slik izvorov, ampak moramo sliko rekonstruirati.

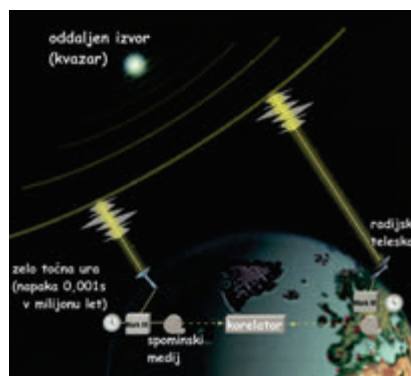
## Razdalje na Zemlji in radijski teleskopi

Primerjava signalov z dveh oddaljenih radijskih teleskopov (anten) omogoča določiti smer izvora... ali pa razdaljo med antenama na Zemlji.



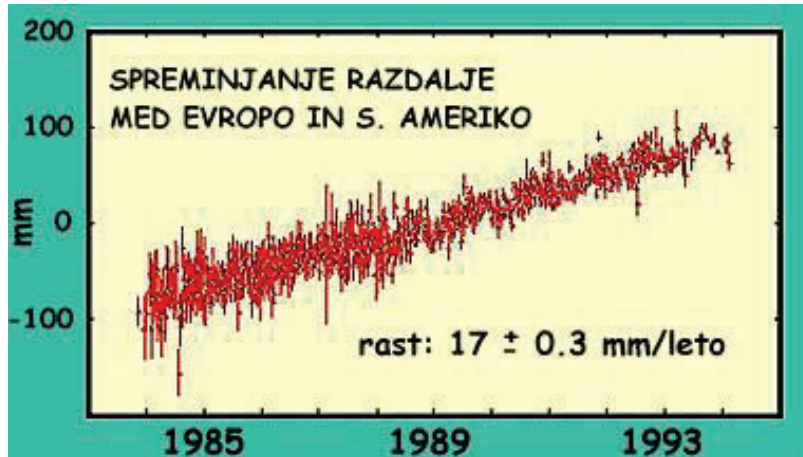
VLBI radijski teleskop v Medicini pri Bologni  
 $D = 32 \text{ m}$ ,  $1.3 \text{ cm} \leq \lambda \leq 21 \text{ cm}$

$\theta_{\min} \approx \lambda / D$ , kjer je  $D$  razdalja med antenama.

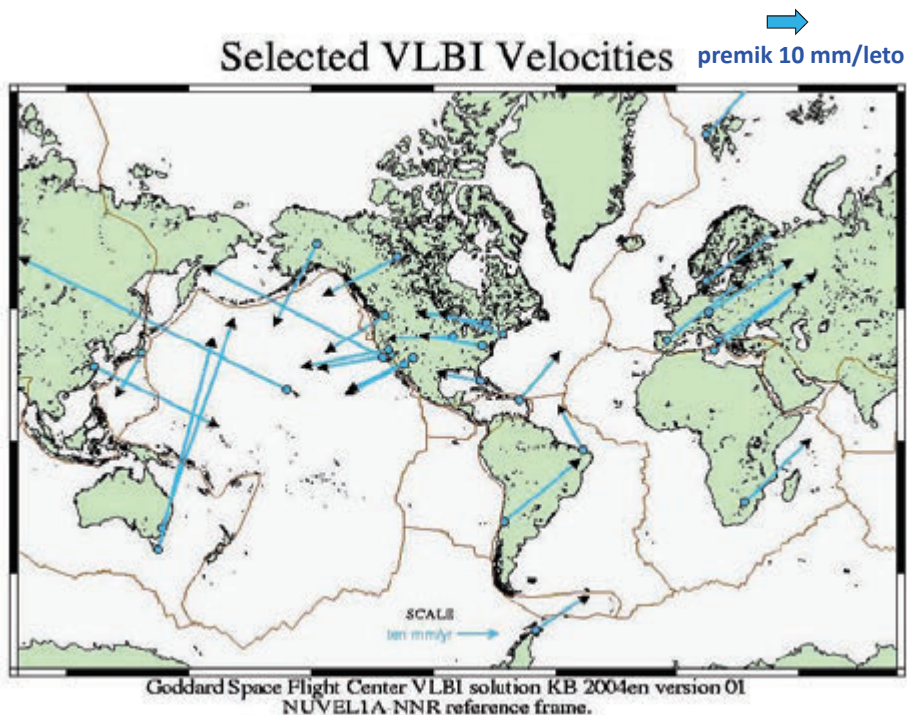


## Razdalje na Zemlji in radijski teleskopi

Primerjava signalov z dveh oddaljenih radijskih teleskopov (anten) omogoča določiti smer izvora... ali pa razdaljo med antenama na Zemlji.



## Razdalje na Zemlji in radijski teleskopi



## Very Large Array (VLA)

Valovne dolžine 30 cm do 410 cm (1 GHz do 50 GHz).  
Kotna resolucija 40 - 200 mas (tisočink ločne sekunde).  
Zbiralna površina 13.000 m<sup>2</sup>.

Slika polja teleskopov.



Curka iz aktivnega jedra galaksije Hercules A.



## Very Long Baseline Interferometry (VLBI)

Sestavljanje evropske + ameriške mreže VLBI lahko doseže kotno ločljivost pod 1 mas za  $\nu > 5$  GHz.

V zadnjih letih sinhronizacija preko širokopasovnih optičnih povezav ( $> 1$  Gbit/s).

Ker je teleskopov manj, je pri zapletenih virih težko doseči enoličnost rešitve.

Evropska mreža VLBI

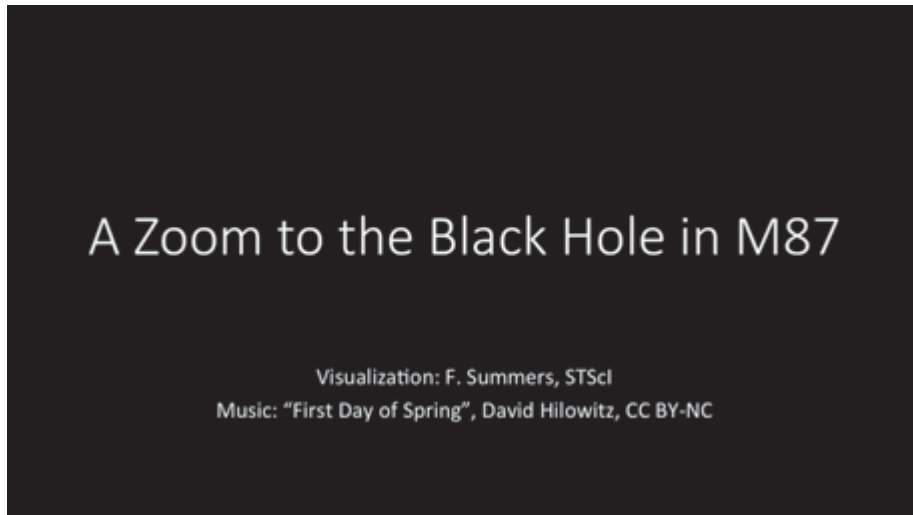




## Proti ekstremnim kotnim ločljivostim

$\theta_{\min} \approx \lambda / D$ , kjer je D razdalja med antenami.

https://www.youtube.com/watch?v=C628xyDN40o

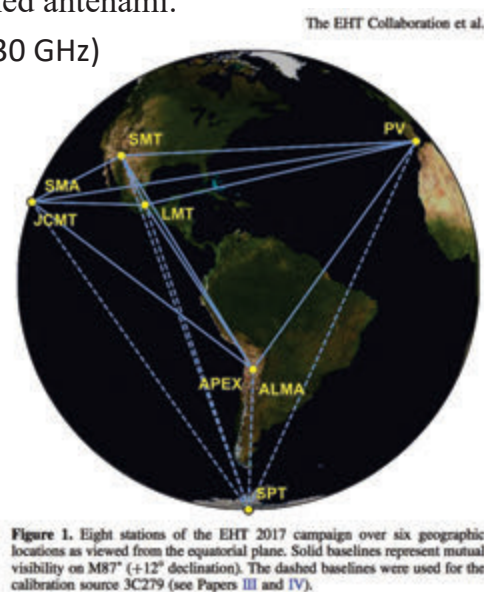


Zoomiranje v jedro aktivne galaksije M 87.

## Earth Horizon Telescope (EHT) Teleskop dogodkovnega horizonta

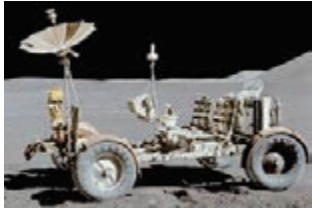
$\theta_{\min} \approx \lambda / D$ , kjer je D razdalja med antenami.

$\lambda = 1,3 \text{ mm}$ , a  $\sim 2 R_{\text{Zemlje}}$  ( $\nu = 230 \text{ GHz}$ )



## Kaj vidimo?

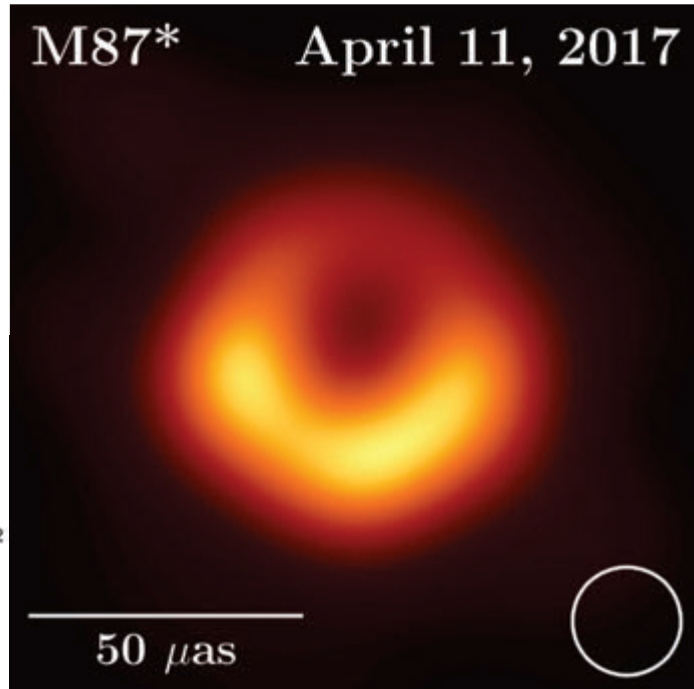
Obroč pri  $r = 2,6 r_G$



**l<sub>z</sub>**  
 $\alpha = 24$  milijonink ločne sekunde  
 $d_{M87} = 55$  milijonov sv. let

**in**  
 $d_{M87} \tan(\alpha) = 2,6 r_G = 5,2 GM/c^2$

**dobimo**  
 $M = 6.5 \times 10^9 M_{\odot}$



## Asimetrija



Vrtenje črne luknje v smeri urnega kazalca.

Približno 90% kritične hitrosti vrtenja.

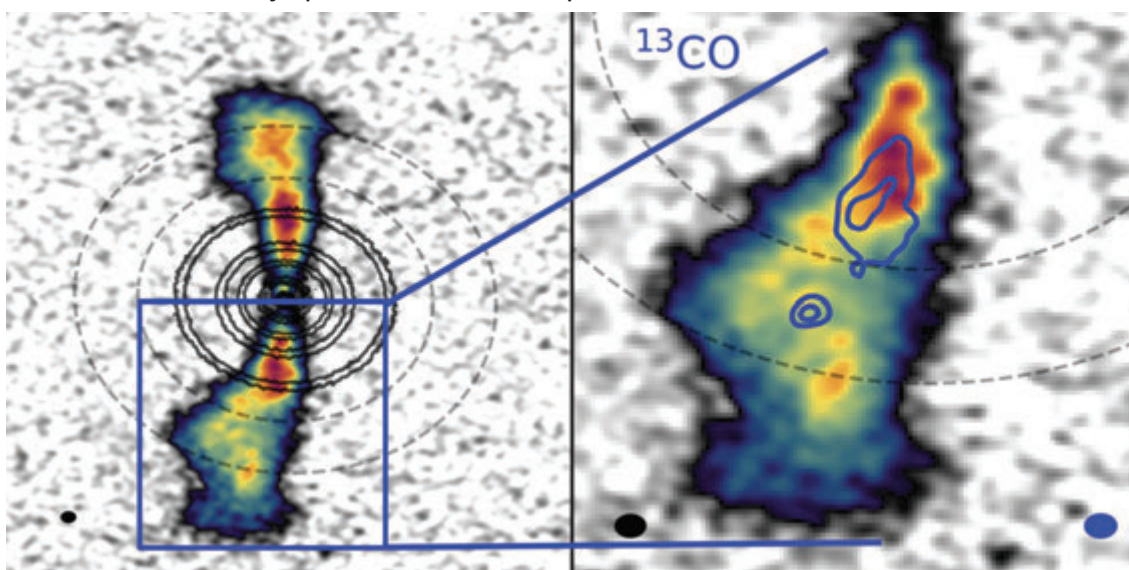


## Problem enoličnosti rešitev



## Molekule v medzvezdnem prostoru

Primer: odkritje planeta velikosti Jupitra okoli zelo mlade zvezde AS 209



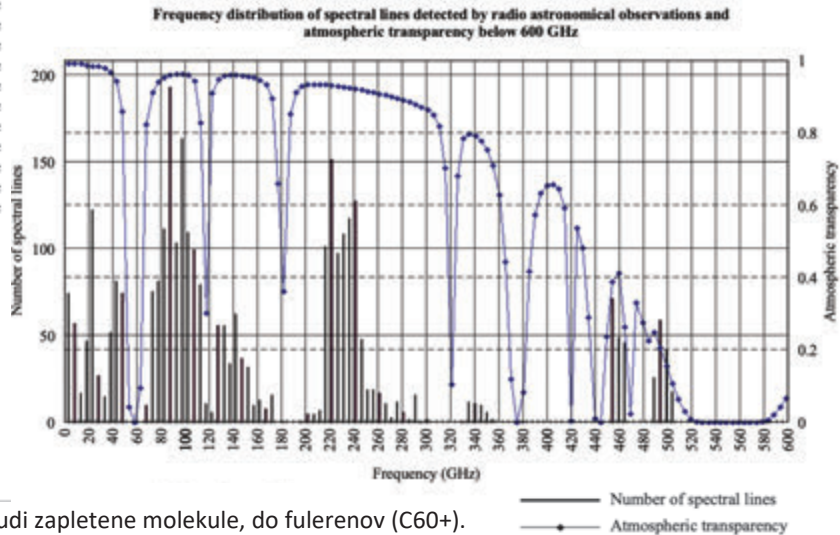
Instrument: ALMA @ ESO.

Bae et al. 2022, The Astrophysical Journal Letters, 934:L20

## Zemeljske interference in zaščitene frekvence (in primer Iridiuma)

Substance	Rest frequency
Deuterium (D <sub>2</sub> )	327.384 MHz
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	1 420.406 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1 612.231 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1 665.402 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1 667.359 MHz
Hydroxyl radical (OH)	1 720.530 MHz
Methylidyne (CH)	3 263.794 MHz
Methylidyne (CH)	3 335.481 MHz
Methylidyne (CH)	3 349.193 MHz
Formaldehyde (H <sub>2</sub> CO)	4 829.660 MHz
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	6 668.518 MHz
Helium ( <sup>3</sup> He)	8 665.650 MHz
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	12.178 GHz
Formaldehyde (H <sub>2</sub> CO)	14.488 GHz
Cyclopropenylidene (C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> )	18.343 GHz
Water vapour (H <sub>2</sub> O)	22.235 GHz
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	23.694 GHz
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	23.723 GHz
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	23.870 GHz
Sulphur monoxide (SO)	30.002 GHz
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	36.169 GHz
Silicon monoxide (SiO)	42.519 GHz
Silicon monoxide (SiO)	42.821 GHz
Silicon monoxide (SiO)	43.122 GHz
Silicon monoxide (SiO)	43.424 GHz
Dicarbon monosulphide (CCS)	45.379 GHz

International Telecommunications Union, RA.314-10



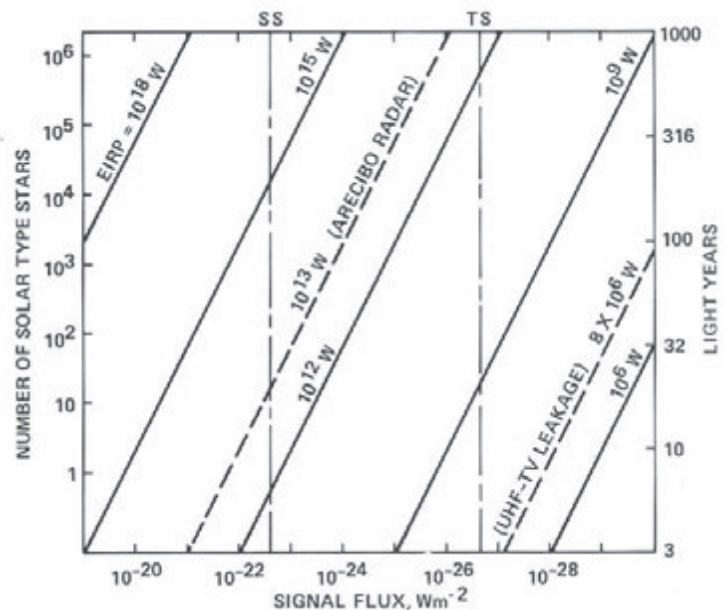
...to je le začetek tabele, tudi zapletene molekule, do fulerenov (C<sub>60</sub>+).

## Iskanje zunajzemeljskih civilizacij (SETI)

Občutljivost in doseg iskanj SETI. Diagonalne črte označujejo oddajnike različnih efektivnih moči. Vodoravna os je zahtevana občutljivost opazovanj, navpična pa oddaljenost izvora v sv. letih (desno) in število Soncu podobnih zvezd do te razdalje (levo).

Navpični črti sta tipični občutljivosti: SS za preglede celotnega neba, TS pa za usmerjena iskanja.

Pri usmerjenih iskanjih lahko vemo kam gledati po izbruhih supernov.





## Sateliti Starlink

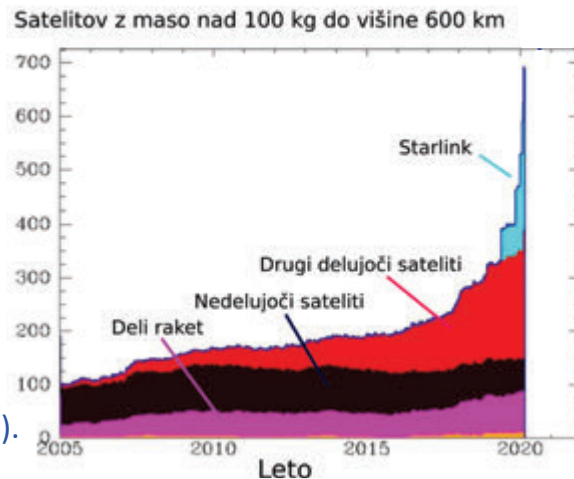
Starlink is a satellite internet constellation operated by American aerospace company SpaceX, providing coverage to over 70 countries. It also aims for global mobile phone service after 2023.

**November 2023:**

≈4500 delujočih  
Starlink satelitov.

**Planirano:**

12000 ali celo 40000  
satelitov v nizkih tirnicah (!).



## Namen konstelacij, kot je Starlink

Uradno: omogočiti internet ljudem, kjer ga ni.

To ni res, saj je enostavno izračunati, da imamo kjerkoli vedno vsaj po en satelit vsaj  $30^\circ$  nad obzorjem,

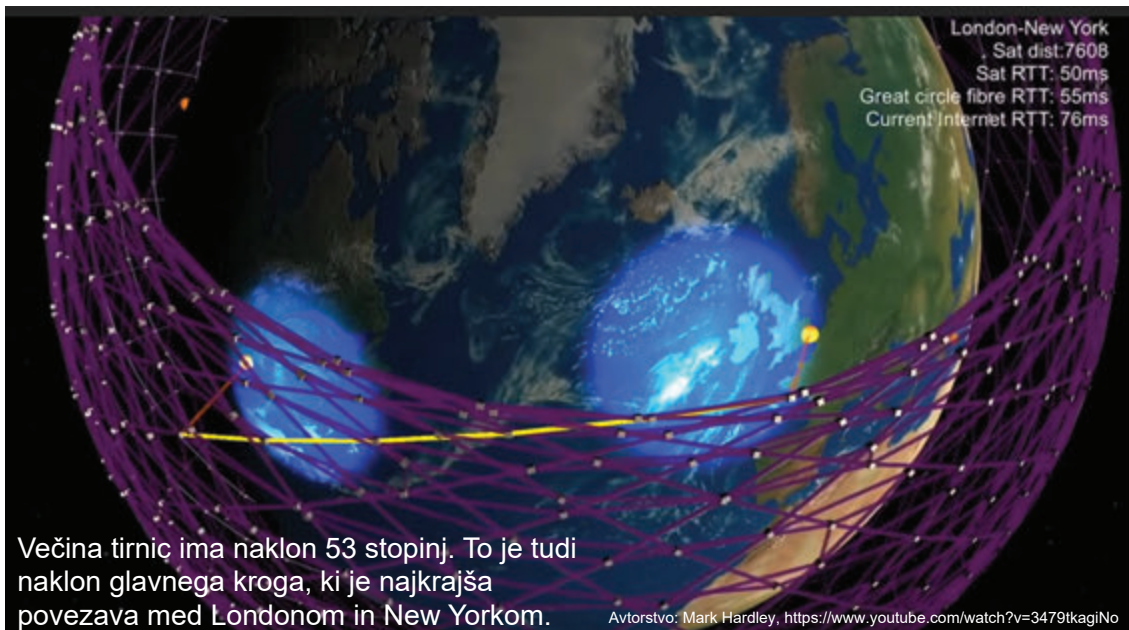
- če imamo 50 ravnin s po 50 sateliti, ki krožijo 550 km visoko, ali
- če imamo 30 ravnin s po 30 sateliti, ki krožijo 1100 km visoko.

Torej potrebujemo le 900 satelitov, ki so višje od običajnih in jih zato ne motijo.

**Zakaj** torej načrtujejo 12.000 ali celo 40.000 satelitov?

## Namen konstelacij, kot je Starlink

Dejansko: nekoliko pohitriti hitro trgovanje med borzami.

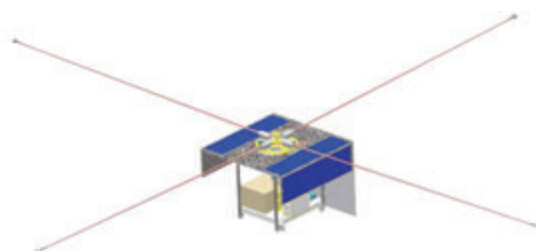


## Radioastronomija iz vesolja: zadnja stran Lune

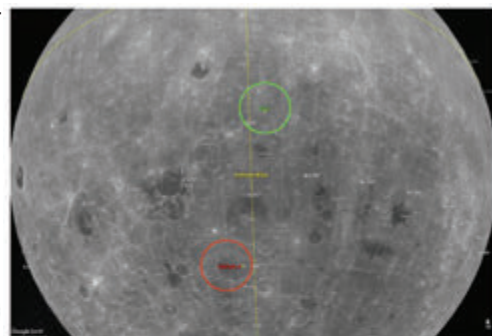
Znanstveni vodja Nasinega projekta je dr. Anže Slosar, po rodu iz Kopra.

The Lunar Surface Electromagnetics Explorer 'LuSEE Night' is a low frequency radio astronomy experiment that will be delivered to the farside of the Moon by the NASA Commercial Lunar Payload Services (CLPS) program in early 2026. The payload system is being developed jointly by NASA and the US Department of Energy (DOE) and consists of a 4 channel, 50 MHz Nyquist base-band receiver system and 2 orthogonal  $\sim 6\text{m}$  tip-to-tip electric dipole antennas. LuSEE Night will enjoy standalone operations through the lunar night, without the electromagnetic interference (EMI) of an operating lander system and antipodal to our noisy home planet.

<https://arxiv.org/pdf/2301.10345.pdf>



**Figure 1.** A CAD drawing of the LuSEE Night system showing the dipole antennas on the carousel, solar arrays (blue) and the large battery (gold box below). The dipole antennas are  $\sim 6\text{m}$  tip-to-tip, the upper deck is approximately  $1\text{m} \times 1\text{m}$  and the system is  $\sim 70\text{cm}$  tall, but will be mounted atop the lander.



**Figure 3.** The LuSEE Night landing site (within green circle) on the lunar farside at  $(23.813^{\circ}\text{S}, 182.258^{\circ}\text{E})$ . This site was chosen to minimize terrestrial RFI, provide relatively uniform sky coverage, optimize payload thermal design, and provide favorable downlink with the relay satellite. The landing site of the Chang'e 4 mission is shown in the red circle and yellow vertical line is the anti-meridian.

## Merske enote

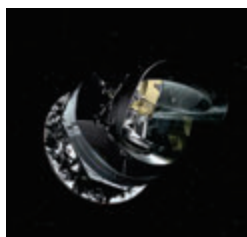
V radijski astronomiji signal izražamo s spektralno gostoto  $S(\nu)$ , v  $\text{W}/\text{m}^2/\text{Hz}$ . Moč, ki jo sprejema radijski teleskop s površino  $dA$ , ki deluje v intervalu  $d\nu$  z efektivno občutljivostjo  $f\nu$  je enaka

$$P = \iint S(\nu) f\nu d\nu dA$$

Enota za spektralno gostoto  $S(\nu)$  je Jansky.

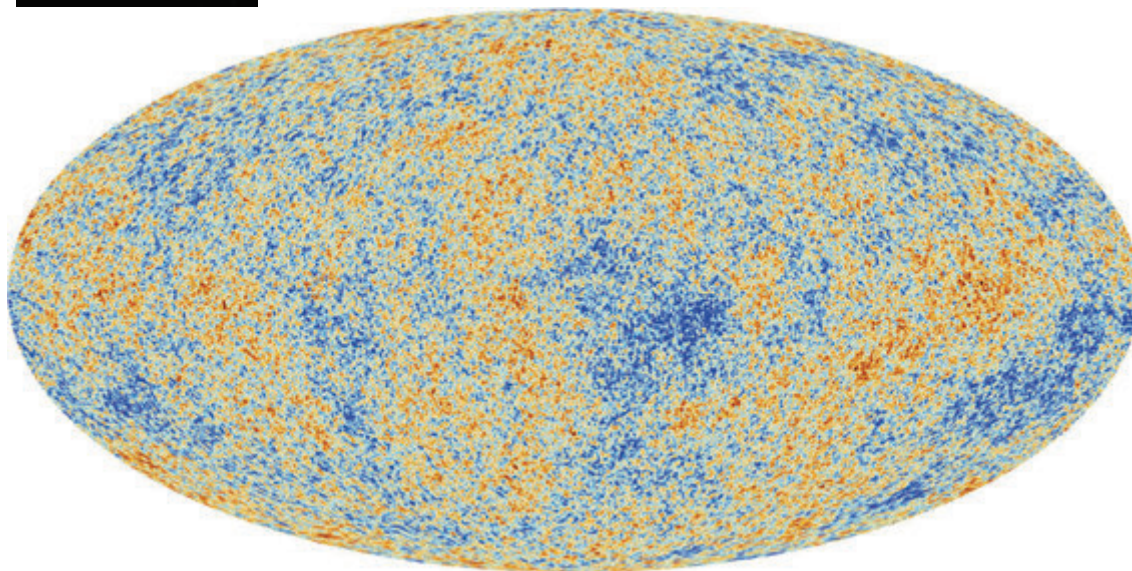
$$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} = 10^{-23} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$$

pogosta izvedena enota mJy.



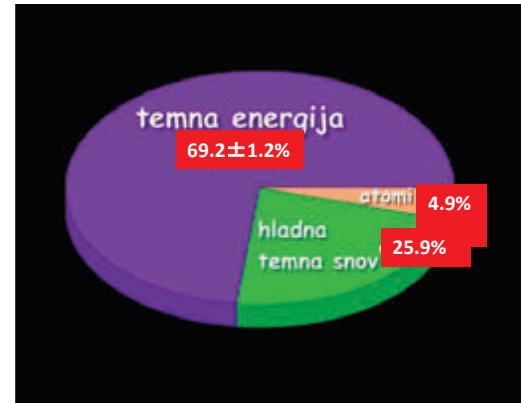
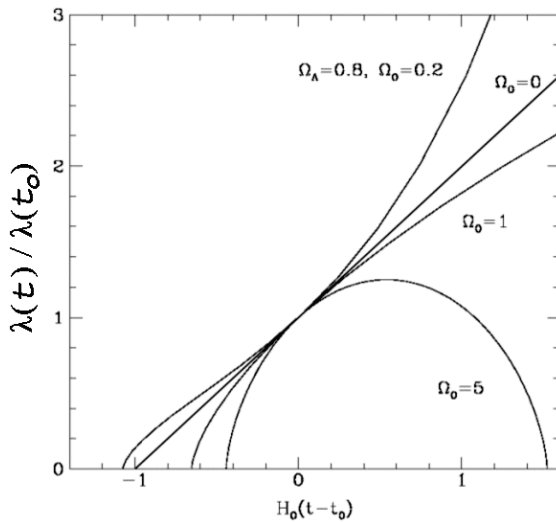
## Mikrovalovno sevanje ozadja

Satelit Planck (ESA)



## Struktura vesolja

Hubblova konstanta  $H_0 = 67.8 \pm 0.9 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$   
 starost =  $13.799 \pm 0.021$  milijarde let.



## Težave: komunikacija

Potencialno uničujejo preučevanje vesolja v radijski svetlobi.

Komunikacija satelit → Zemlja:  $\lambda \leq 2,802 \text{ cm}$ , kar je blizu  $2,815 \text{ cm}$ .  
 Pri tej valovni dolžini delujejo visokoresolucijski radijski interferometri (VLBI).

Komunikacija Zemlja → satelit:  $\lambda \geq 2,068 \text{ cm}$ , kar vključuje  $2,069 \text{ cm}$ .  
 Pri tej valovni dolžini seva molekula formaldehida ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) v medzvezdnem prostoru.

Laserji med sateliti bodo verjetno delali pri  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ , kar je v infrardečem pasu H in znotraj opazovanj projekta APOGEE.

Vir: ECC Report 271, 25. januar 2019:

Compatibility and sharing studies related to NGSO satellite systems operating in the FSS bands 10.7-12.75 GHz (space-to-Earth) and 14-14.5 GHz (Earth-to-space)



# Georadar

## Ground-penetrating radar

Dušan Gleich, Blaž Pongrac, Primož Smogavec, Danijel Šipoš

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

[dusan.gleich@um.si](mailto:dusan.gleich@um.si)

### Povzetek

Predavanje predstavlja študijo za odkrivanje predmetov pod površino z uporabo georadarja. Predstavili bomo principe generiranja in načrtovanja georadarja v frekvenčnem in časovnem prostoru. Nato bomo predstavili zračno sklopljen radarski sistem, ki je zasnovan na radarju SFCW, ki lahko ustvari 200 vzorcev v frekvenčnem območju med 500 MHz in 2,5 GHz v 150 ms. V ta namen uporabljamo antene TEM za oddajanje in sprejemanje signalov. Predstavili bomo naslednje konfiguracije zračno sklopljenega georadarja: (i) mono-statičen radar s pogledom navzdol in (ii) stransko usmerjen radar, (iii) bistatično konfiguracijo radarja, kjer sta anteni ločeni za 2 metra, (iv) platformo, ki se vrti vzdolž svoje navpične osi in (v) platformo, ki se premika po krožnici. Predstavili bomo poskuse, ki so bili izvedeni na poligonu velikosti  $3 \times 3 \times 0,5$  metra z mivko. Eksperimenti so pokazali, da je mogoče uporabiti bistatično konfiguracijo in krožno skeniranje za opazovanje površja v velikosti  $1,5 \text{ m}^2$ , ko je platforma postavljena  $0,75 \text{ m}$  nad površino.

### Abstract

*The lecture presents a study on the detection of sub-surface objects using ground-penetrating radar (GPR). We will present the principles of GPR generation and planning in frequency and*

*time space. Next, we will present an air-coupled radar system based on the SFCW radar, which can generate 200 samples in the frequency range between 500MHz and 2.5GHz in 150ms. For this purpose, we use TEM antennas to transmit and receive signals. We will present the following air-coupled GPR configurations: (i) a mono-static down-looking radar and (ii) a side-looking radar, (iii) a bi-static radar configuration where the antennas are separated by 2 meters, (iv) a platform that rotates along its vertical axes and (v) a platform that moves on a circle. We will present the experiments that were carried out on a  $3 \times 3 \times 0.5$ -meter polygon with sand. Experiments have shown that it is possible to use a bistatic configuration and a circular scan to observe a surface of  $1.5 \text{ m}^2$  when the platform is placed  $0.75 \text{ m}$  above the surface.*

### Biografija avtorja



Dušan Gleich je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, v letih 1997, 2000 in 2002. Je redni profesor in aktivni raziskovalec na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko. Je vodja Laboratorija za obdelavo signalov in daljinska vodenja. Je vodja ali član

raziskovalnih projektov, ki jih podpira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).

***Author's biography***

***Dušan Gleich*** graduated from the Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Informatics of the University of Maribor in 1997, 2000 and 2002. He is a full professor and active researcher at the Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Informatics. He is the head of the Laboratory for signal processing and remote control. He is the leader or member of research projects supported by the Public Agency for Scientific Research and Innovation of the Republic of Slovenia (ARIS).



### Georadar

#### Univerza v Mariboru Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Laboratorij za obdelavo signalov in daljinska vodjenja  
Dušan Gleich, Blaž Pongrac, Primož Smogavec, Danijel Šipoš

Radijske komunikacije 2024, 31.1.2024

---

#### • Vsebina

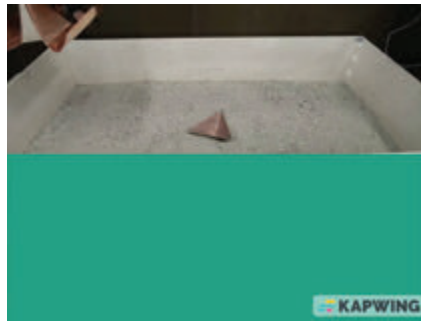
- Motivacija
  - Uporaba georadarja
  - Uporaba SAR
- Princip generiranja EM signalov
  - Pulzni radar
  - Frekvenčno moduliran radar
  - OFDM radar
- Zajem signalov
  - Zračno sklopljen radar
  - Različne pozicije oddajnika in sprejemnika za zajem signalov
- Zaključek



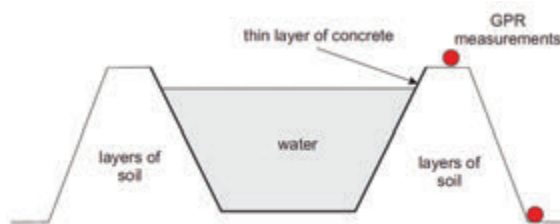
### Motivacija

#### Georadar

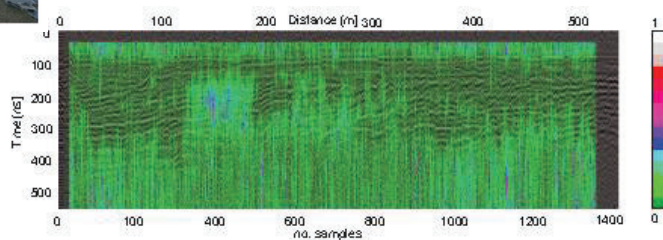
- Radar
- Antena
- Sklopljen z zemljo
- Zračno sklopljen



### Monitoring Hydro-power station's canal

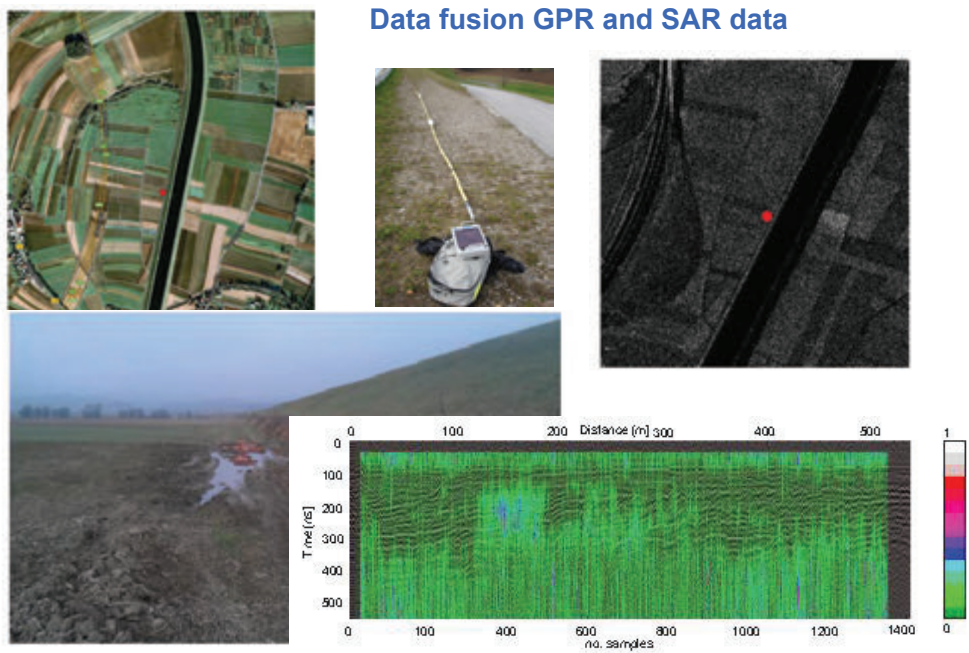


Slika s terena



University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

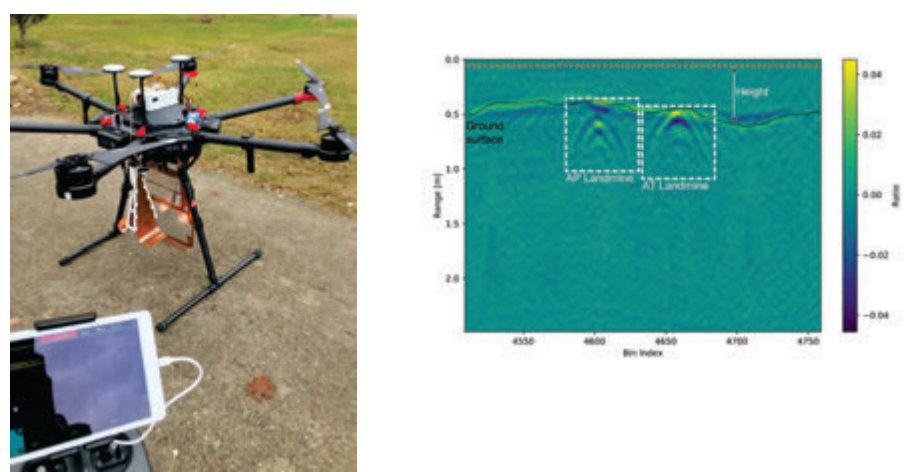
### Data fusion GPR and SAR data



### Motivacija

Razvoj radarjev za brezpilotne letalnike  
Detekcija pehotnih min

University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science





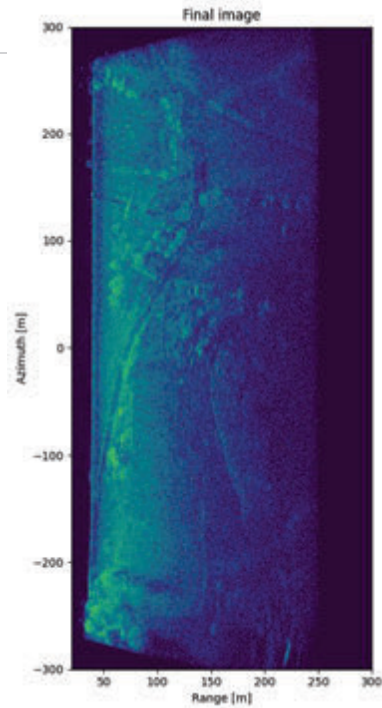
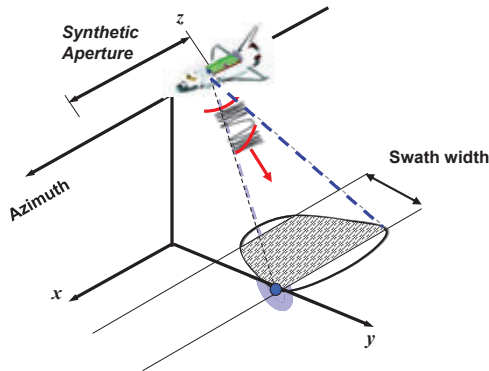
### Motivacija

Razvoj radarjev za brezpilotne letalnike

Detekcija pehotnih min

Radar z umetno odprtino SAR

Pasovna širina 600 MHz, višina 40m, hitrost 5m/s



### Motivation

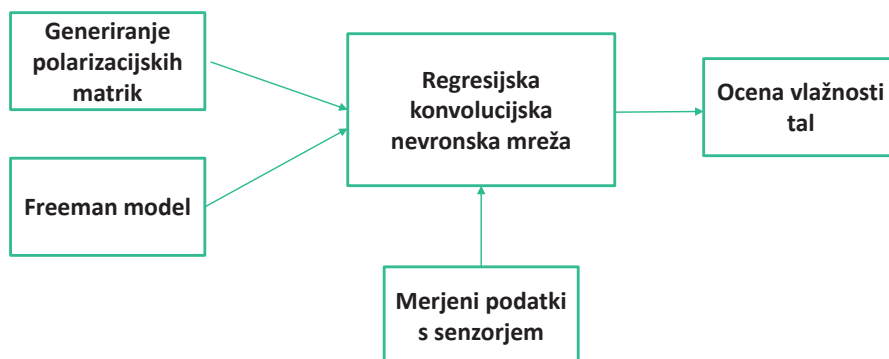
Razvoj radarjev za brezpilotne letalnike

Detekcija pehotnih min

Radar z umetno odprtino SAR

- Satelitski sistemi

ALOS-2 satelit: Detekcija namočenih con



Razvo

- 

Generiranje polarizacijskih matrik

Freeman



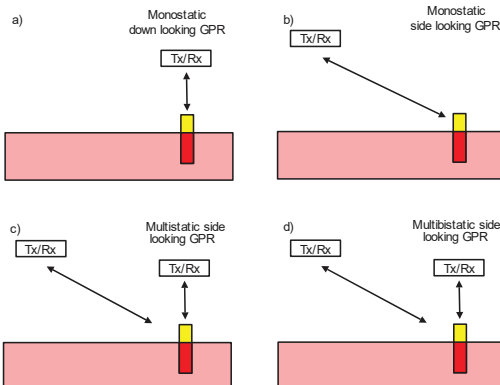
Ocena vlažnosti tal

### Motivation: Regression convolutional network

#### Razvoj radarjev za brezpilotne letalnike

- Detekcija pehotnih min
- Radar z umetno odprtino SAR
- Satelitski sistemi

#### Napredne metode za zajemanje podatkov z georadarjem

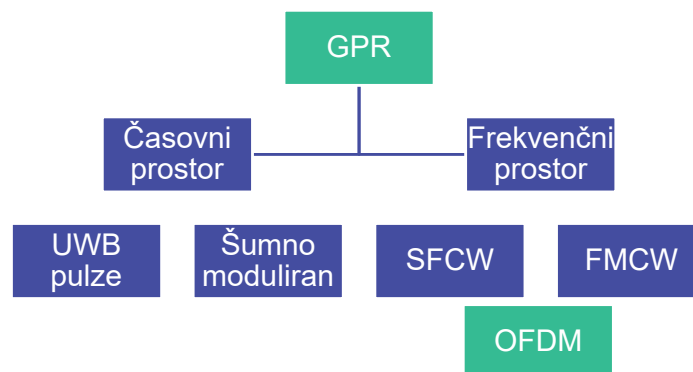


Različne postavitve oddajnika in sprejemnika.  
 (a) Monostatična konfiguracija: pogled navzdol  
 (b) Monostatična konfiguracija: stranski pogled  
 (c) Multi statična: stranski pogled  
 (d) Multi statična: stranski pogled

## Princip generiranja EM signalov

## Georadar

- Radar lahko načrtamo v časovnem ali frekvenčnem prostoru



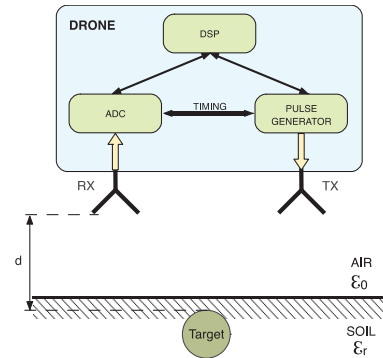
University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

### UWB pulzni georadar

#### Use of UWB pulse technique

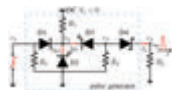
#### Glavni sestavni deli

- Pulzni generator
- Antene UWB
- Visokohotrostni ADC
- Digitalni signalni processor (DSP)



### UWB pulse GPR: Design

- Pulse generator with use of a SRD diode



- Designed PCB board



Developed UWB pulse radar system



- D1 = Blocking negative input voltage
- R1 = Current limiter
- R0,L = impedance matching
- D2,3 = SRD
- D4 = pulse formation switch



University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

### Detekcija pulzov UWB

- Mešalnik za vzorčenje
  - Za zaznavanje impulzov s pasovno širino 5 GHz je potrebna vsaj frekvenca vzorčenja 10 GHz

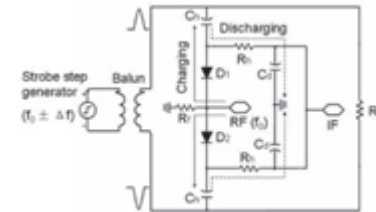
- Vhodni RF signal,  $f_c$
- Stroboskopski signal  $(f_0 \pm \Delta f)$
- Čas rekonstrukcije  $1/\Delta f$
- primer:

$$f_0 = 10\text{MHz}$$

$$\Delta f = 1\text{kHz}$$

$$f_0/\Delta f = 10,000$$

$$300\text{ps} = 3\mu\text{s}$$



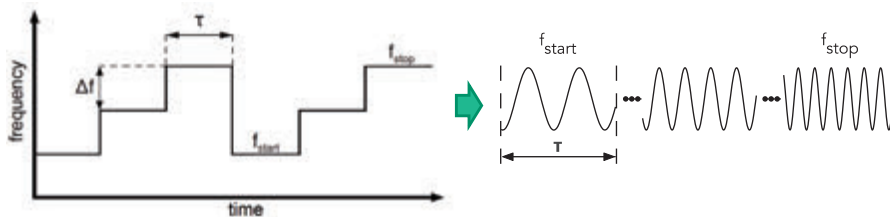
Impulzi vezja baluna odprejo mostič in RF signal napolni Ch. Ko je most mostič, se izvede praznjenje skozi Rh in Cd. Na vratih IF se pojavi raztegnjen RF signal.

### SFCW GPR: princip

Izhodna frekvenca  $f_n = f_0 + n\Delta f \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$

Maksimalna razdalja  $R_{max} = N\Delta R$

Resolucija  $\Delta R = \frac{c}{2B}$



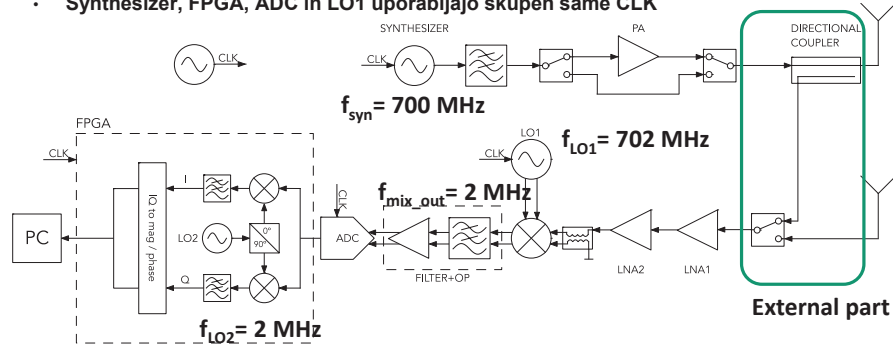
University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science



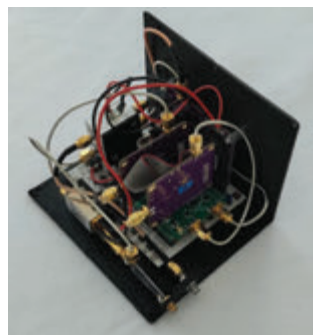
### SFCW GPR: design

• heterodinska struktura (SFCW RADAR V2)

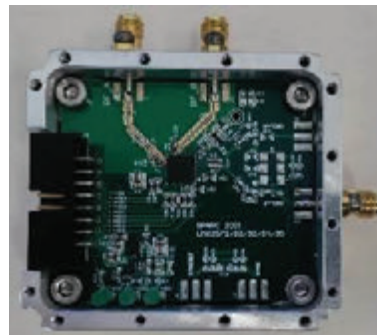
- Synthesizer, FPGA, ADC in LO1 uporabljajo skupen same CLK



### Implementacija modularnega radarja



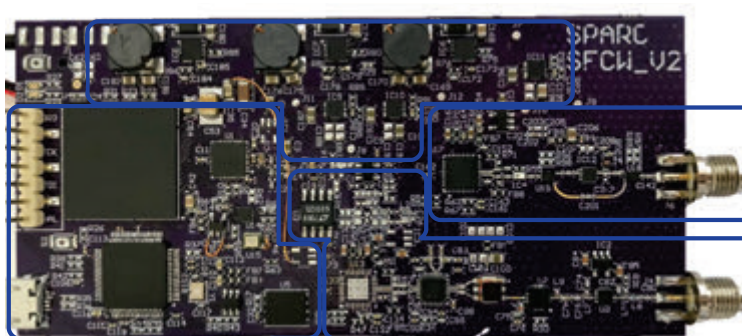
- Modularni radar**
- FPGA
  - Tx generator
  - 2MHz TX generator
  - Rx, LNA



**TX generator, 500 MHz-6GHz**

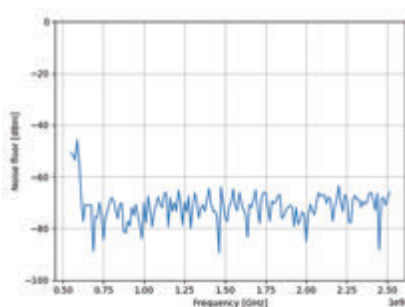
## Implementacija kompaktnega radarja

- Sestavni deli
  - Napajanje
  - Procesiranje
  - Oddajnik
  - Sprejemnik

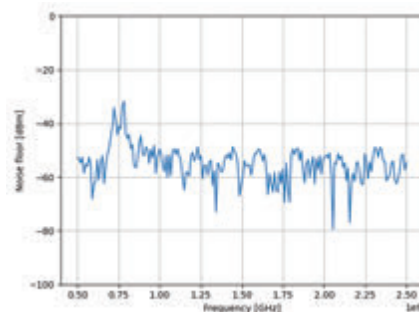


## Primerjava kompaktnega in modularnega radarja

### Nivo šuma

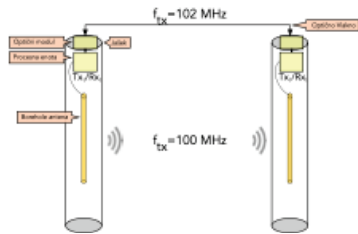


**Kompaktni**

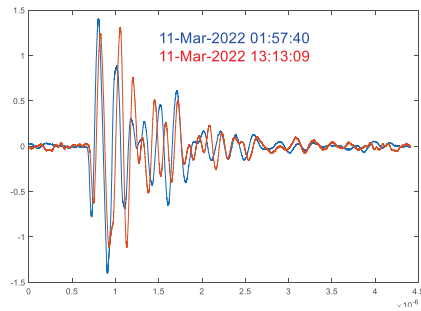
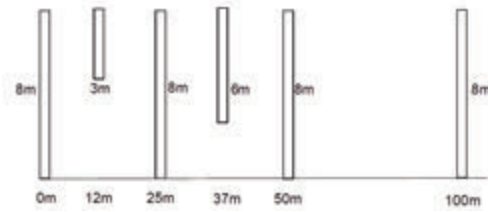


**Modularni**

### Merjenje vlažnosti tal z georadarjem

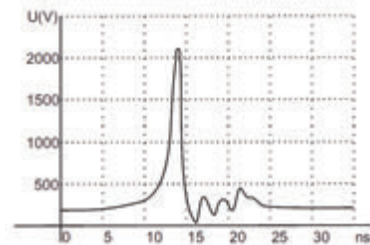
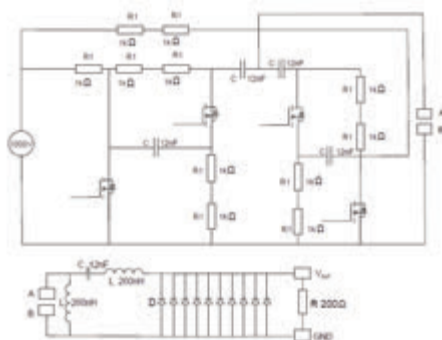


### Testne vrtnine

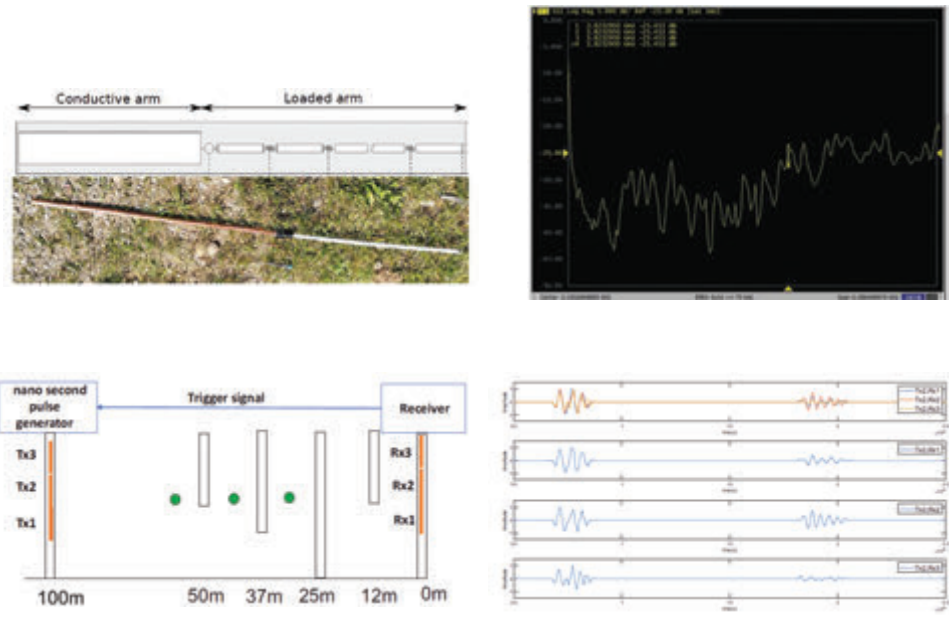


**Nalivanje vode ob 12.30**

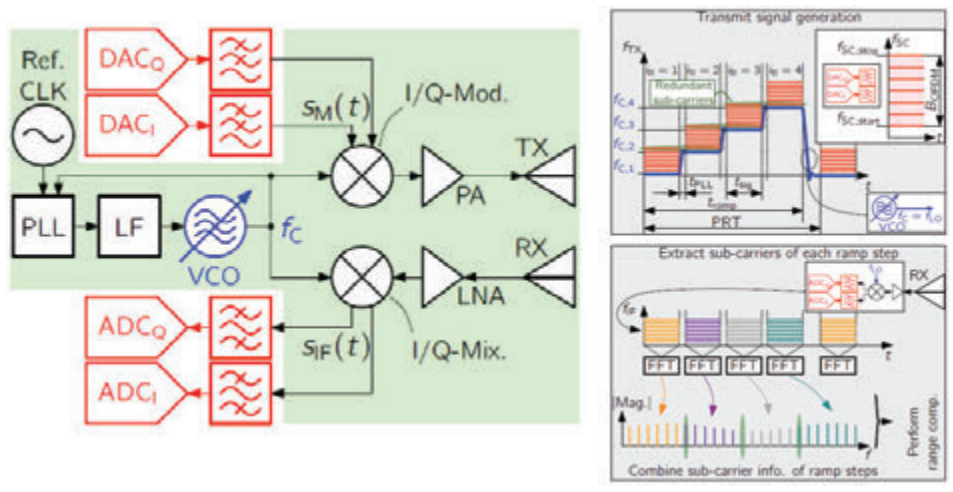
**Sprememba sprejetega signala, faza, frekvenca**



- [Pirc, Eva ; Reberšek, Matej \(mentor\), Nanosekundni elektrogenerator z diodnim odpiralnim stikalom in silicij karbidnim MOSFET-om : magistrsko delo, magistrsko delo, 2015](#)

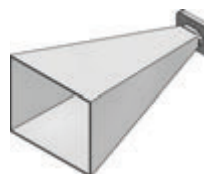


### OFDM radar – v nastajanju



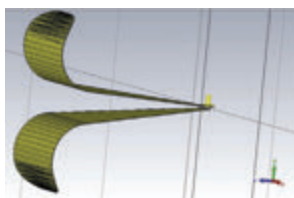
## Antena za UWB GPR

- **Mnogo različnih anten**
  - Dipolna antena
  - Antena Bow-tie
  - Spiralna antena
  - Horn antenna
  - Log-periodična antena



## Antena za UWB GPR

- **Antena TEM:**
  - **Kombinacija Horn in Vivaldi antene**



3D model

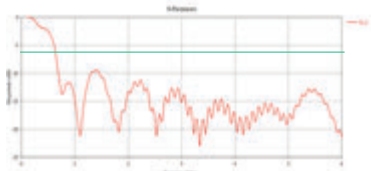


Implementacija

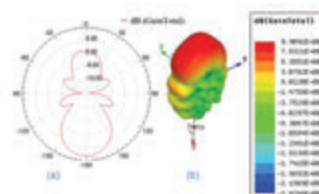
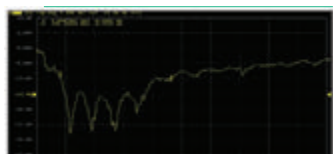
A. Ahmed, Y. Zhang, D. Burns, D. Huston, and T. Xia, "Design of uwb antenna for air-coupled impulse ground-penetrating radar," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 13, no. 1, pp. 92–96, Jan 2016.

## Simulacijski rezultati

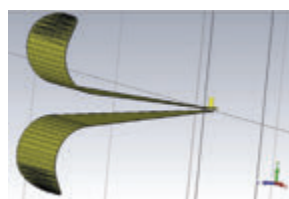
### Rezultati simulacije



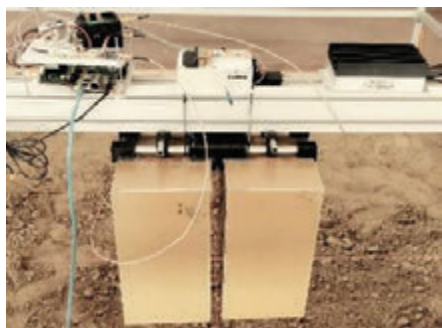
Maritev na VNA (650 MHz – 3.9 GHz)



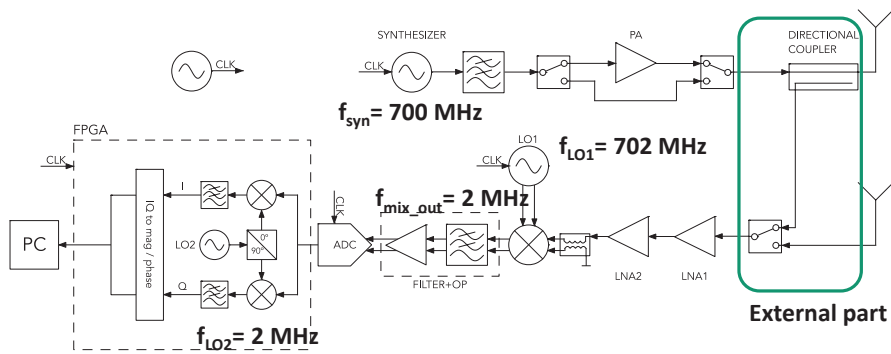
Antenski dobitek pri 2.7 GHz  
(Max. 9.9 dBi)



## Implementacija anten

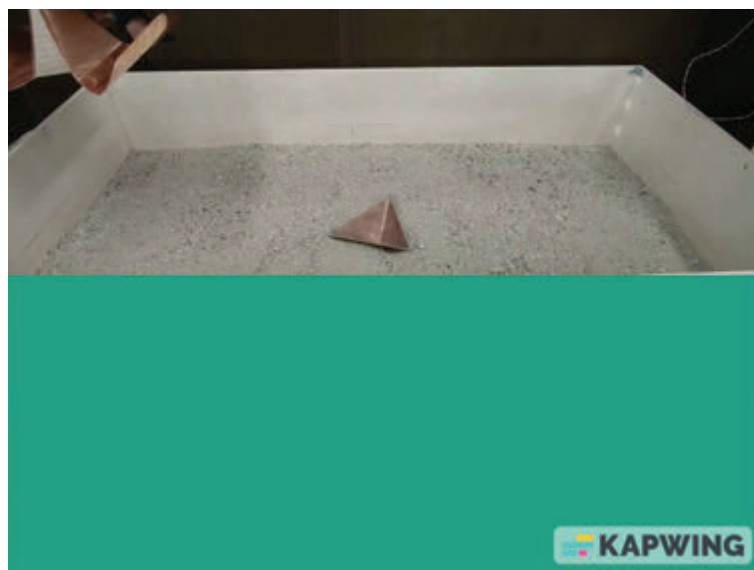


### Zajemanje signalov

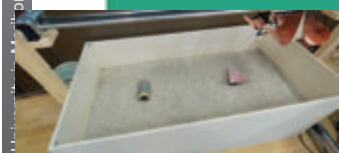
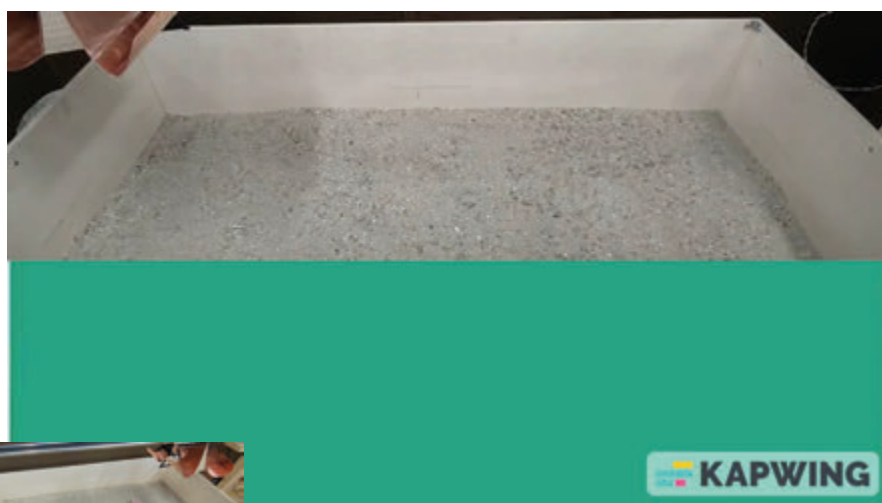




University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science



University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

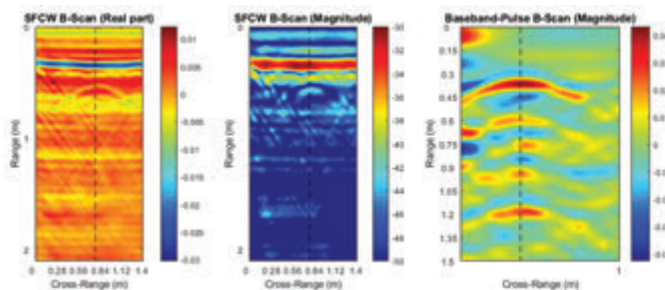




### Testiranje radarja

### Primerjava SFCW & UWB pulznega radarja

- B-sken kovinske protipehotne mine 12 cm pod površino tal
- Obseg mine: 7 cm
- Višina mine: 17 cm
- Razdalja antene do površine tal: 10 cm



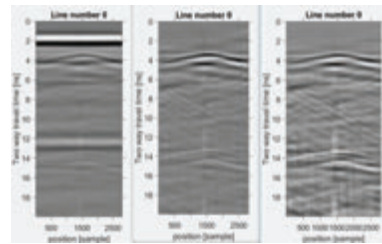
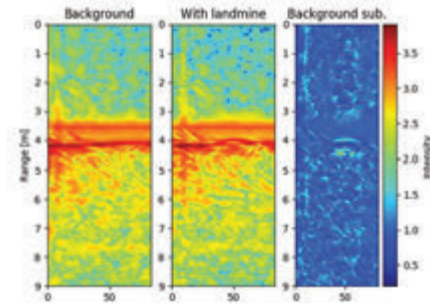
University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

### Primerjava SFCW & UWB pulznega radarja

- B-sken protipehotne mine nad zemeljsko površino
  - Obseg mine: 27 cm
  - Višina mine: 13 cm
  - Razdalja antene od tal: 75 cm



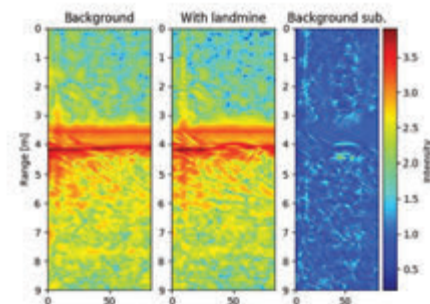
AT protipehotna mina



Orig      Ozadje OD      Ojačana

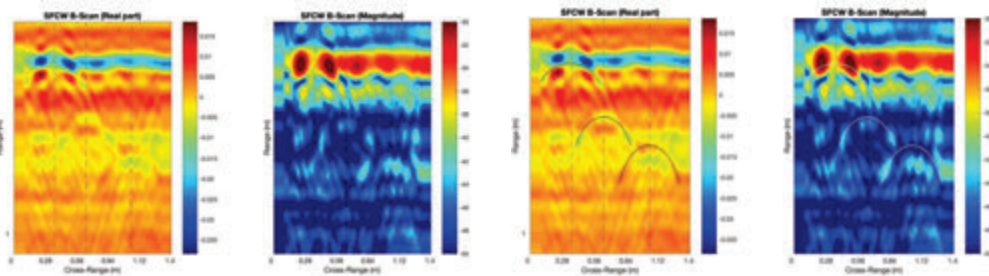
### Primerjava SFCW & UWB pulznega radarja

- B-sken kovinske protipehotne mine nad zemeljsko površino
- Obseg mine: 7 cm
- Višina mine: 17 cm
- Razdalja antene od tal: 75 cm



## Zračno sklopjen radar

- B-sken 3 zakopanih protiprhotnih min (5 cm, 15 cm, 25 cm)



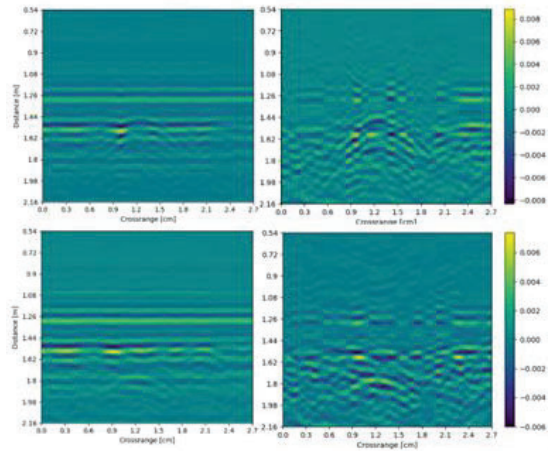
## Konfiguracije

- Pogled navzdol
- Bistatičen
- Stranski pogled z rotacijo
- Krožni zajem

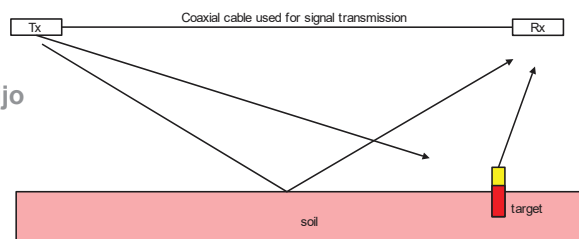


Testni polygon 3×3×0.5 metre napolnjen z mivko  
2D pomični sistem na ALU profilih.

- **Pogled navzdol**
- **Bistatičen**
- **Stranski pogled z rotacijo**
- **Krožni zajem**

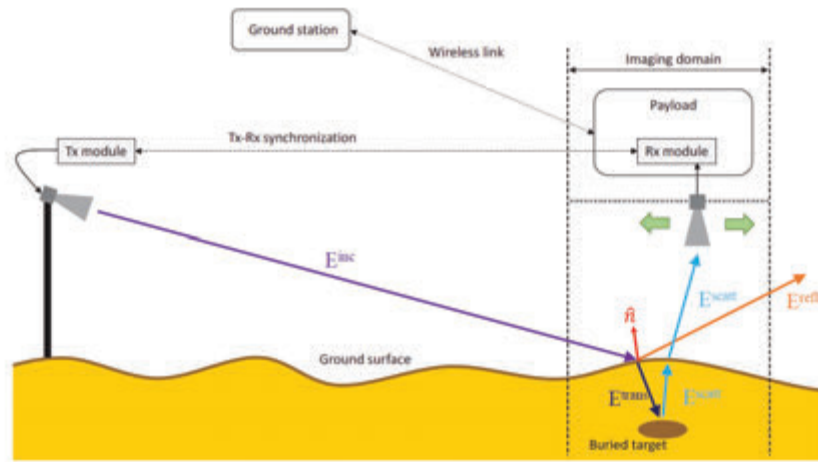


- **Pogled navzdol**
- **Bistatičen**
- **Stranski pogled z rotacijo**
- **Krožni zajem**

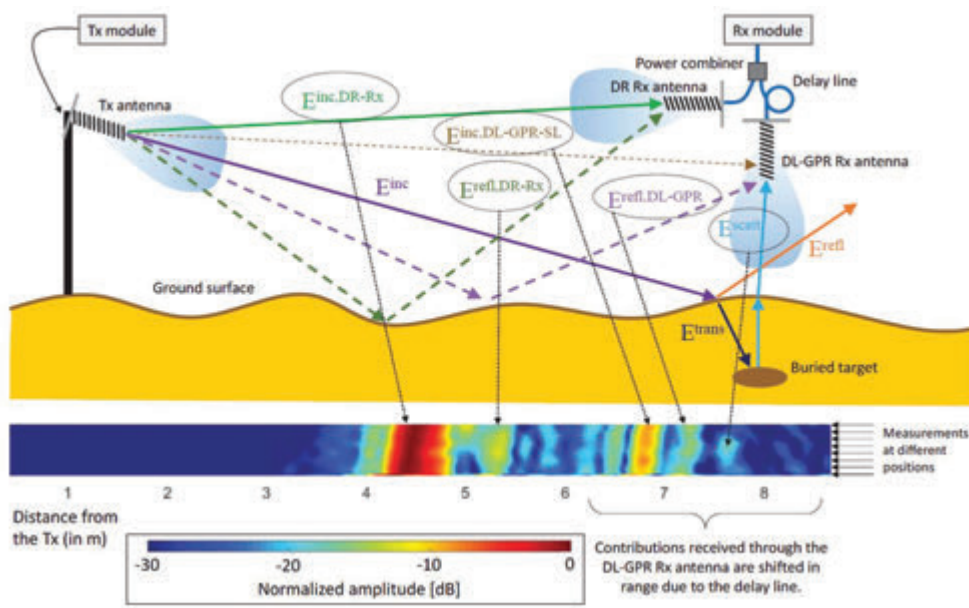


TX and RX anteni sta povezani s koaksialnim kablom. Oddajnik je SFCW radar, sprejemnik zbira podatke.

University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science



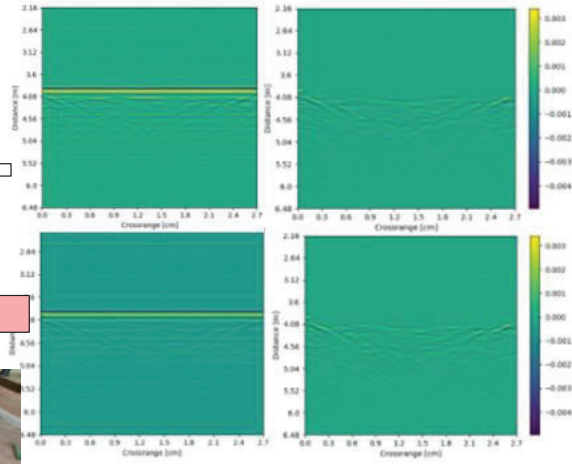
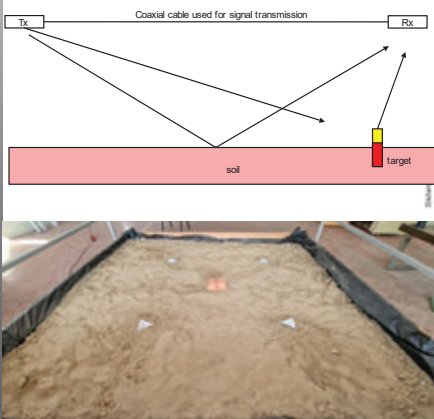
Universit



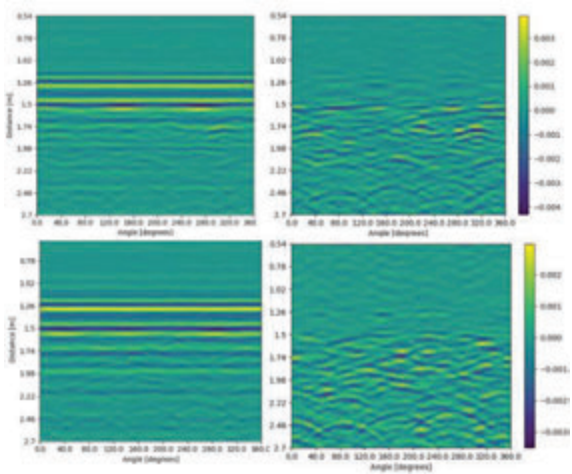
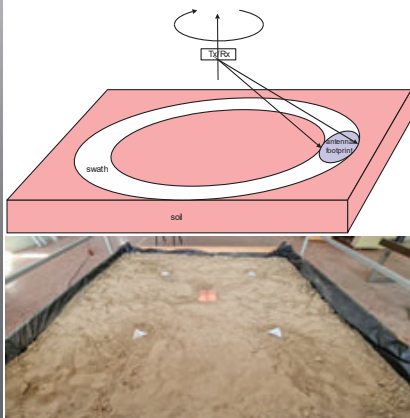


University in Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science

- Pogled navzdol
- Bistatičen
- Stranski pogled z rotacijo
- Krožni zajem

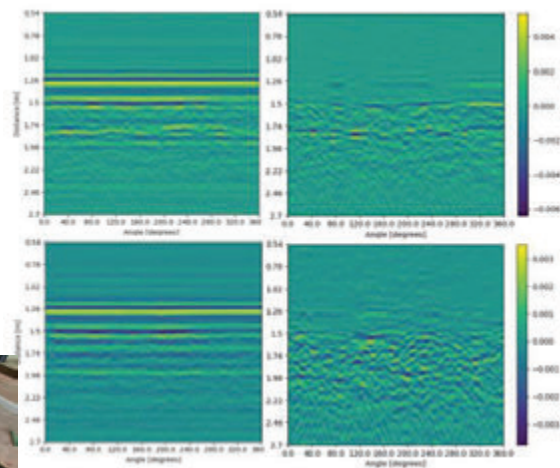
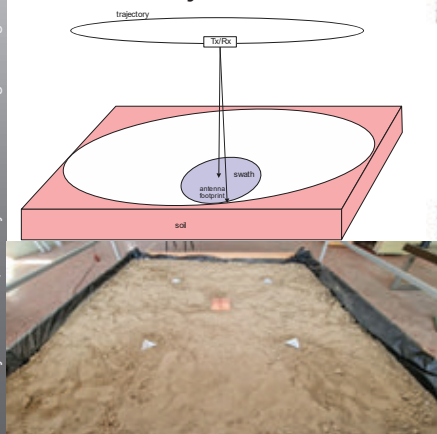


- Pogled navzdol
- Bistatičen
- Stranski pogled z rotacijo
- Krožni zajem





- Pogled navzdol
- Bistatičen
- Stranski pogled z rotacijo
- Krožni zajem



## Zaključek

- **Predstavili smo**
  - Principe generiranja EM valov z različnimi radarji
  - Raziskali vpliv geometrijske postavitve oddajnika in sprejemnika georadarja na B-scan
  - Ugotovili, da lahko povečamo opazovano območje z različnimi geometrijskimi postavitvami radarja
- **Nadaljne delo**
  - Metode za fokusiranje
  - Implementacija algoritmov za geometrijsko postavitev TX in RX s pomočjo zrakoplovov

# Integrirano zaznavanje in komunikacija v omrežjih TSCH

## *Integrated Sensing and Communication in TSCH networks*

Grega Morano, Aleš Simončič, Andrej Hrovat, Tomaž Javornik

Inštitut Jožef Stefan

[grega.morano@ijs.si](mailto:grega.morano@ijs.si)

### Povzetek

Vhodi za lokalizacijo in zaznavanje omogočajo nove in izboljšane aplikacije interneta stvari (IoT) in so bili v zadnjem desetletju obsežno raziskani. Na žalost se veliko rešitev osredotoča predvsem na izboljšanje zmogljivosti lokalizacije, kar posledično zmanjšuje komunikacijske zmogljivosti. Na podlagi vidikov integriranega zaznavanja in komunikacije (ISAC) raziskujemo, kako je mogoče funkcionalnost lokalizacije neopazno integrirati v komunikacijski protokol IEEE 802.15.4 TSCH. Predstavljamo dve novi metodi faznega določanja razdalje, ki ocenjujeta razdaljo med dvema napravama z vsakim prenesenim podatkovnim paketom. Nadalje analiziramo vplive uvedenih sprememb na komunikacijo, njihovo porabo energije in operativnost dosega. Izboljšamo najsodobnejši algoritem faznega ocenjevanja razdalje z zmanjšanjem števila zahtevanih faznih vzorcev, ne da bi zmanjšali njegovo natančnost in občutljivost, hkrati pa povečamo energetske učinkovitost.

### Abstract

*Localization and sensing inputs are enabling new and improved Internet of Things (IoT) applications and have been studied extensively over the past decade. Unfortunately, many solutions focus primarily on improving localization performance, which in turn reduces*

*communication capabilities. Driven by the Integrated Sensing and Communication (ISAC) aspects, we investigate how localization functionality can be seamlessly integrated into a IEEE 802.15.4 TSCH communication protocol. We present two new methods of phase-based ranging that estimate the distance between two devices with each transmitted data packet. We further analyze the effects of introduced changes on communication, their power consumption, and ranging operability. We improve the state-of-the-art algorithm of phase-based distance estimation by reducing the number of phase samples required, without reducing its accuracy and sensitivity while increasing the energy efficiency.*

---

### Biografije avtorjev



**Grega Morano** je magistriral iz elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani leta 2021. Trenutno je zaposlen kot asistent na Odseku za komunikacijske sisteme na Inštitutu »Jožef Stefan« v

Ljubljani in doktorski študent na »Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana« smer »Informacijske in komunikacijske tehnologije«. Njegova raziskovalna področja so komunikacijski protokoli v sistemih interneta stvari, integrirano zaznavanje in komunikacija, brezžična senzorska omrežja in brezžične eksperimentalne naprave.



**Andrej Hrovat** je pridobil naziv dipl. in mag. elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani leta 2004 in 2008 ter doktoriral na Mednarodni šoli Jožefa Stefana leta 2011.

Zaposlen je na Odseku za komunikacijske sisteme, Instituta »Jožef Stefan« od leta 2004, trenutno na mestu višjega znanstvenega sodelavca. Njegove raziskovalne in delovne izkušnje so na področju telekomunikacij, s poudarkom na razvoju in analizi delovanja fiksnih in mobilnih sistemov, vključno s prizemnimi, stratosferskimi in satelitskimi sistemi ter modeliranje radijskih kanalov za fiksne in mobilne ozkopasovne in širokopasovne komunikacije sisteme. Sodeloval je na več projektih, povezanih s profesionalnimi mobilnimi komunikacijskimi sistemi, tehnologijami 2/3/4G/5G, WiFi in WiMAX, satelitskimi in senzorskimi omrežji, vključno z več akcijami COST, projekti okvirnega programa, projekti H2020, projekti Evropske vesoljske agencije (ESA) in številnimi nacionalni raziskovalni in aplikativni projekti. Je avtor ali soavtor več kot 80 recenziranih člankov v revijah in konferencah, deluje kot član uredniškega odbora revij in gostujoči urednik, recenzent za več mednarodnih revij o faktorju vpliva in je član TCP za različne mednarodne konference in delavnice.



**Aleš Simončič** je diplomiral in magistriral iz elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani v letu 2019 oziroma 2022. Njegovo magistrsko delo je bilo osredotočeno na oceno prihodnega

kota radijskega signala z uporabo BLE tehnologije. Trenutno je zaposlen kot mladi raziskovalec na Odseku za komunikacijske sisteme na Institutu »Jožef Stefan« v Ljubljani. Ukvarja se s področjem radijskih komunikacijskih sistemov. Še posebej s protokoli, polji anten, metodami ocenjevanja smeri prihoda signala, vgrajeni sistemi in zaznavanjem radijskega okolja.



**Tomaž Javornik** je diplomiral, magistriral in doktoriral iz elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani leta 1987, 1990 in 1993. Je znanstveni svetnik Odseka za komunikacijske

sisteme na Institutu »Jožef Stefan« v Ljubljani in izredni profesor na »Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana« v Ljubljani. Sodeloval je pri več projektih COST in okvirnih programih financiranih s strani evropske skupnosti. Je soavtor več kot 100 referatov v revijah in konferencah ter več knjig in poglavij v knjigah s področja mobilnih in brezžičnih komunikacij. Ima dva mednarodna patenta. Njegove raziskovalne izkušnje so na področju telekomunikacij, s poudarkom na razvoju in analizi delovanja fiksnih in mobilnih sistemov, meritvah radijskih kanalov, modeliranju in simulacijah ter lokalizaciji v zaprtih prostorih. Deluje kot član TPC ali recenzent za več konferenc in revij IEEE.



# Integrated Sensing and Communication in TSCH networks

Seminar Radijske Komunikacije 2024

Grega Morano<sup>1,2</sup>, Aleš Simončič<sup>1,2</sup>, Andrej Hrovat<sup>1,2</sup>,  
**Tomaž Javornik<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Communication Systems, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenija  
<sup>2</sup> Jožef Stefan International Postgraduate School, Ljubljana, Slovenija

Ljubljana, Februar 2024

## Outline

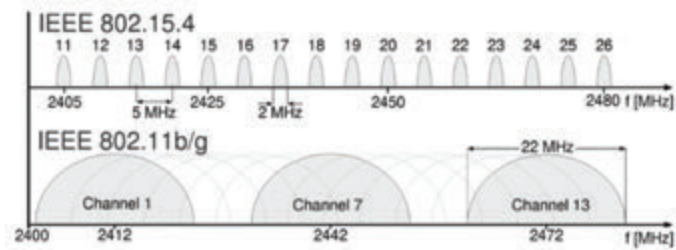
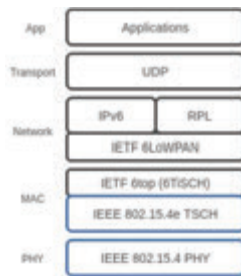


- IEEE 802.15.4 – 2015 TSCH protocol
- Industry 5.0, ISAC and localization
- Basics of phase-based ranging
- Distance estimation with TSCH protocol
- Estimation of AoA with TSCH protocol
- Practical implementation and measurement results

# IEEE 802.15.4 – 2015 TSCH



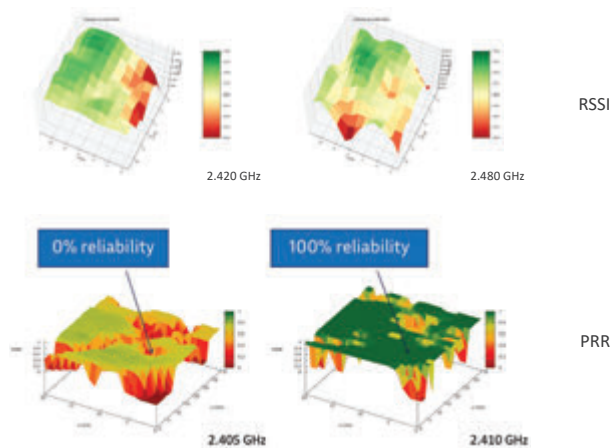
- Standard for low-rate wireless personal area networks
- Basis for many IoT protocols: Zigbee, WirelessHART, MiWi, ISA100.11a, Thread, etc.
- MAC layer: Time Slotted Channel Hopping



# Why TSCH makes sense: multipath fading



- Sender and receiver are 100 cm apart
- Sender bursts out packets while receiver measures PRR/RSSI
- Transmitter is moved around in a 24cm x 24cm square

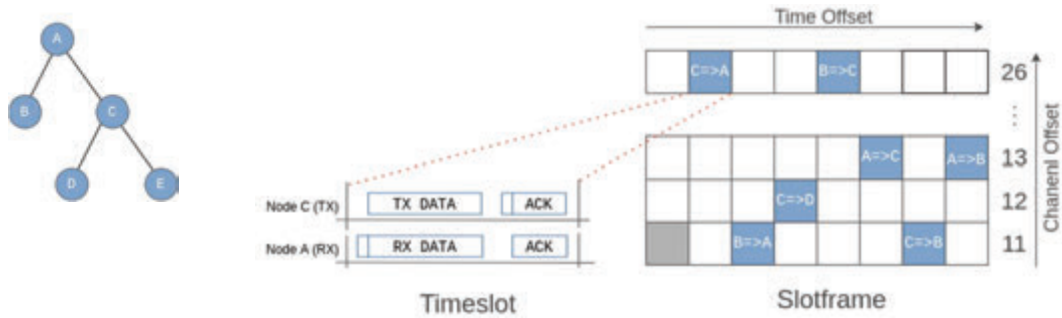


[1] The Challenges of Wireless, Thomas Watteyne

# IEEE 802.15.4 – 2015 TSCH



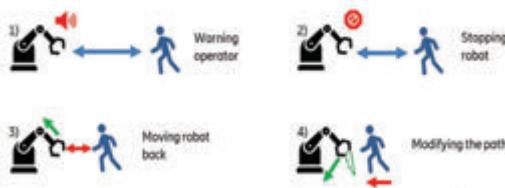
- Standard for low-rate wireless personal area networks
- Basis for many IoT protocols: Zigbee, WirelessHART, MiWi, ISA100.11a, Thread, etc.
- Reliable communication with low delay and low power consumption



# Industry 5.0 and localization



- Improved human-machine interaction (virtualized-digital world)
- Enhanced worker safety (collision avoidance, proximity detection)
- Smart warehouse robot navigation
- Real-time tracking of tools, equipment and material
- Optimized workflow and resource allocation
- Improved quality control and efficiency



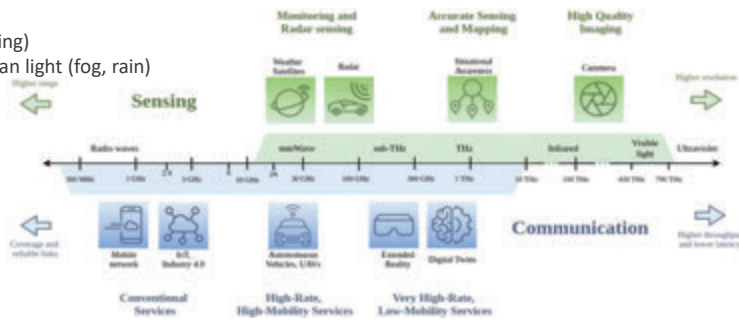


# Paradigms for future wireless networks



## Integrated Sensing and Communication (ISAC)

- Shared hardware lowers the costs of:
  - Equipment
  - Deployment
  - Maintenance
- Lower power consumption
- Efficient spectrum reuse
- Mutual assistance (beamforming)
- RF signals propagate better than light (fog, rain)

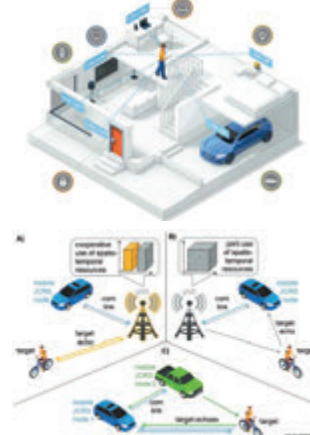


# Integrated Sensing And Communication



Joint design of communication and sensing functions enables new and improved applications:

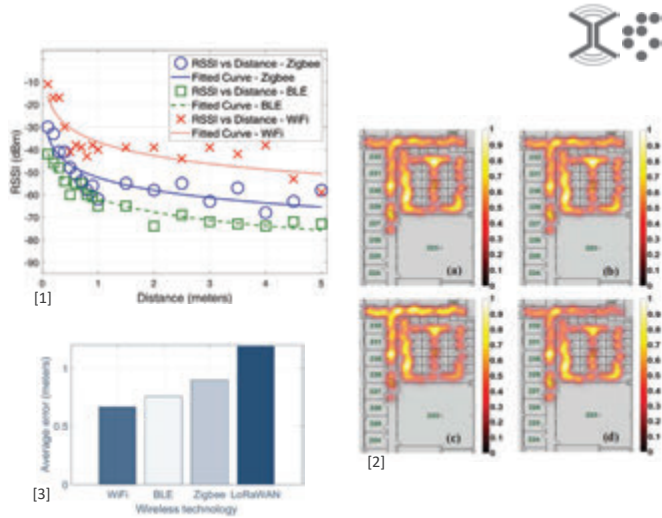
- Indoor localization:
  - navigation(museums, airports, shops), people counting
- Automotive assistance:
  - Traffic monitoring, pedestrian detection, identification of parking spots, adaptive cruise control, cross-traffic alert, detection of drones,
- Industrial IoT:
  - Parcel tracking, robot navigation, proximity detection, collision avoidance
- Extended reality:
  - Digital twin, gesture recognition in gaming
- Improved security:
  - Smart door locks, car lock proximity, intruder detection, body scanning
- ...



### Sensing with IEEE 802.15.4

Based on:

- Intensity of the received signal

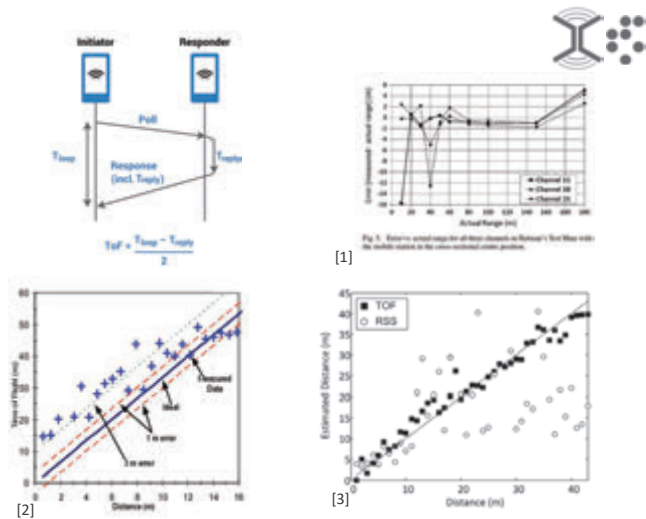


[1] Sarowski et al., Memoryless Techniques and Wireless Technologies for Indoor Localization With the IoT, 2020  
 [2] Al Marmun et al., Radio Map Building with IEEE 802.15.4 for Indoor Localization Applications, 2019  
 [3] Spachos et al., RSSI-Based Indoor Localization With the Internet of Things, 2018

### Sensing with IEEE 802.15.4

Based on:

- Intensity of the received signal
- Packet transmission timing

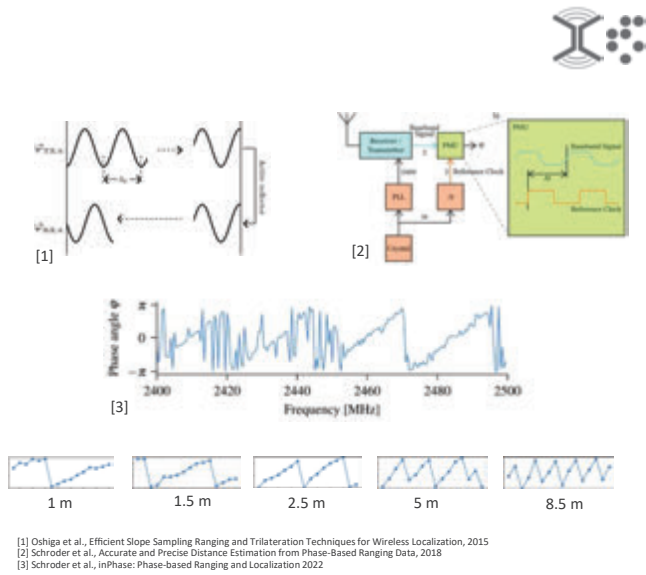


[1] Bedford et al., Evaluation of ZigBee (IEEE 802.15.4) Time-of-Flight Based Distance Measurement for Application in Emergency Underground Navigation, 2012  
 [2] Lanzisera et al., RF Time of Flight Ranging for Wireless Sensor Network Localization, 2006  
 [3] Lanzisera et al., Radio Frequency Time-of-Flight Distance Measurement for Low-Cost Wireless Sensor Localization, 2011

Sensing with IEEE 802.15.4

Based on:

- Intensity of the received signal
- Packet transmission timing
- Frequency and phase of the received signal

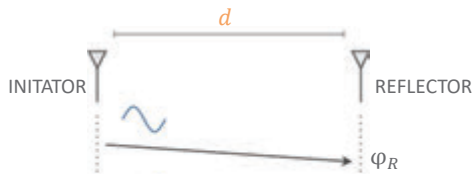
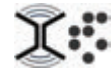


[1] Oshiga et al., Efficient Slope Sampling Ranging and Trilateration Techniques for Wireless Localization, 2015  
 [2] Schroder et al., Accurate and Precise Distance Estimation from Phase-Based Ranging Data, 2018  
 [3] Schroder et al., inPhase: Phase-based Ranging and Localization 2022



- Presented solutions manly focus on improving the localization performance but reduce the communication performance.
- Only RSSI extraction is natively supported by the IEEE 802.15.4
- Driven by the ISAC approaches we integrated phase-based distance estimation function into the TSCH communication.

# Phase based ranging



Phase angle of an incoming CW signal

$$\varphi_R = 2\pi f \left( t - \frac{d}{c_0} \right) + \varphi_{off}$$

Two-way ranging (phase rotates with the period of  $2\pi$ )

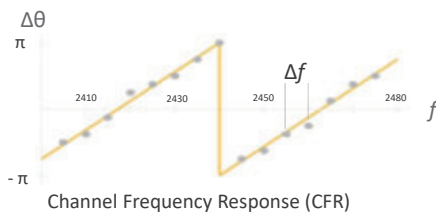
$$\theta = \varphi_R - \varphi_I = 4\pi f \cdot \frac{d}{c_0}, \quad \theta \in [-\pi, \pi)$$

Measuring the phases on multiple frequencies ( $f_2 - f_1$ )

$$\Delta\theta = \theta_{f_2} - \theta_{f_1} = 4\pi \Delta f \cdot \frac{d}{c_0} \quad d = \frac{c_0}{4\pi} \frac{\Delta\theta}{\Delta f}$$

Maximum unambiguous range depends on  $\Delta f$

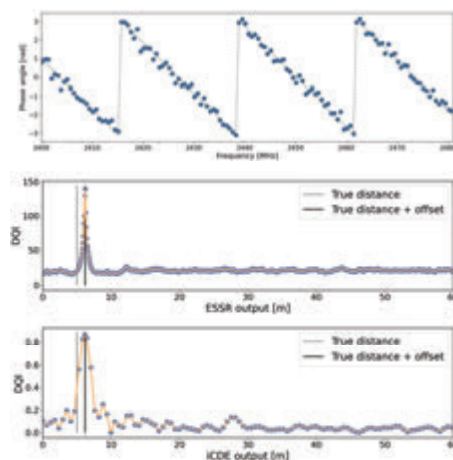
$$UR = \frac{c_0}{2\Delta f}$$



# Distance estimation



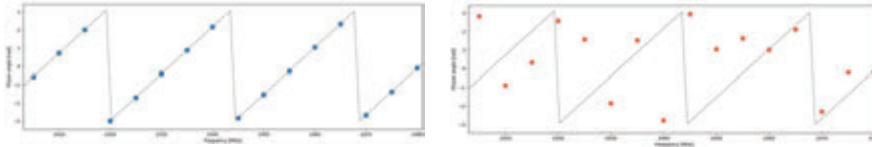
- Measured CFR can be used to estimate the distance via various algorithms:
  - Slope-based (ESSR)
  - FFT-based (RDE, iCDE)
  - MUSIC-based
  - ML-based (SVR)
- Each distance measurement result contains an additional offset due to the radio signal paths on the circuit board and the antenna, which must be compensated for.



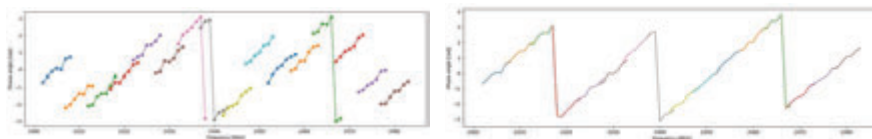
## Phase sampling – time intervals



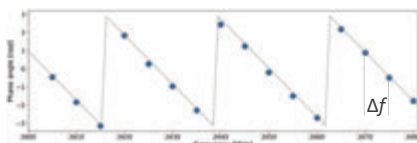
- To obtain two-way CFR, the devices must scan the RF spectrum in sequential manner.
- We could use the advantage of channel hopping:



- Another option: channel stitching and reconstruction

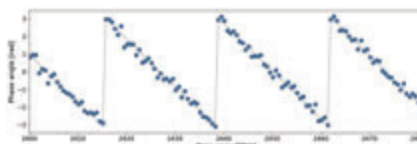


## Phase sampling – frequency selection



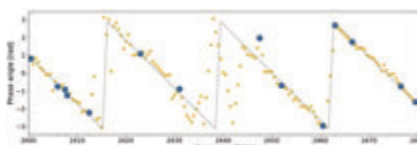
$\Delta f = 5 \text{ MHz}$   
16 samples

$$UR = \frac{c_0}{2 * 5 \text{ MHz}} = 30 \text{ m}$$



$\Delta f = 0.5 \text{ MHz}$   
160 samples

$$UR = \frac{c_0}{2 * 0.5 \text{ MHz}} = 300 \text{ m}$$



$\Delta f = 0.5 \text{ MHz}$   
15 samples

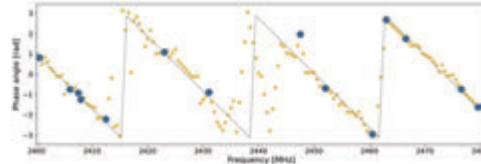
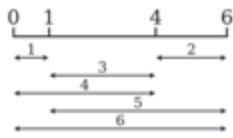
$$UR = \frac{c_0}{2 * 0.5 \text{ MHz}} = 300 \text{ m}$$

↳ Golomb set

# Phase Measurement Process



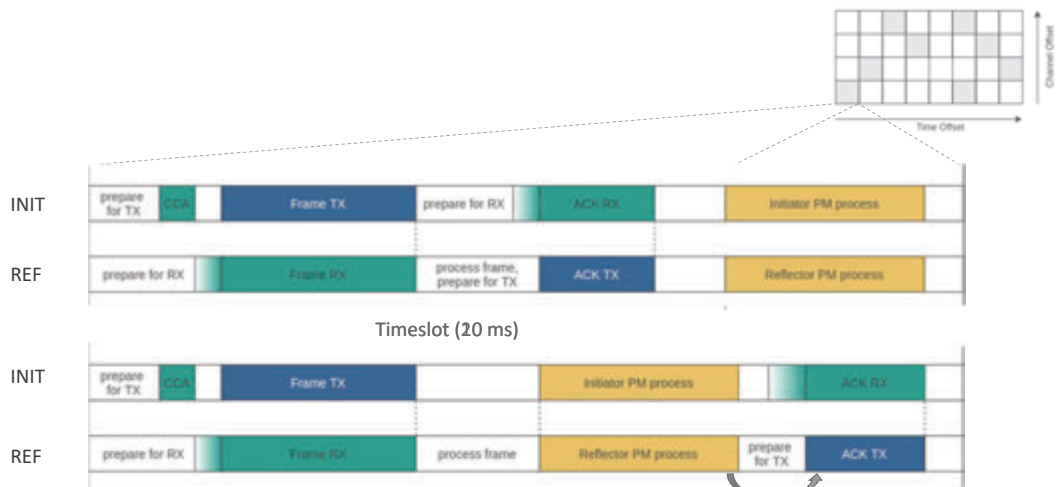
Golomb ruler – large set of phase differences can be obtained from small number of measurements



Phase Measurement Process



# Integration with TSCH





# Real-world measurement campaign

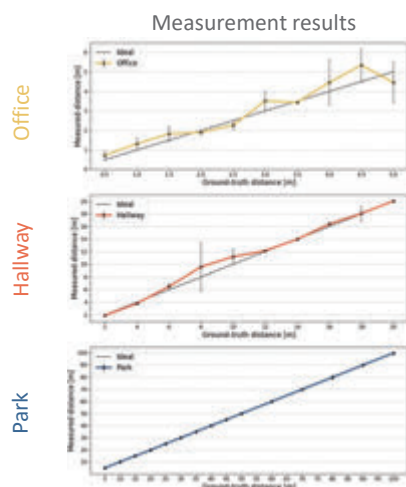


	min [m]	max [m]	# meas.
Office	0.5	5.0	3120
Hallway	2.0	20.0	3103
Park	5.0	100.0	2580



<https://github.com/9morano/contiki-ng>

# Real-world measurement campaign



## Measurement errors

\* median of 5 successive measurements

	med [m]	MAE [m]	$\sigma$ [m]
iCDE	0.254	0.527	0.950
iCDE*	0.255	0.316	0.041

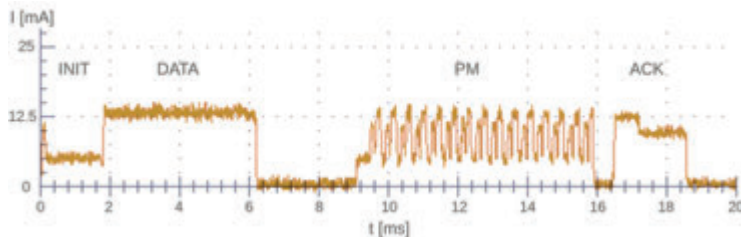
  

	med [m]	MAE [m]	$\sigma$ [m]
iCDE	0.235	0.545	0.381
iCDE*	0.217	0.393	0.061

	med [m]	MAE [m]	$\sigma$ [m]
iCDE	0.065	0.088	0.083
iCDE*	0.048	0.053	0.033

## Energy consumption



Max DATA packet transmission: 179.9 uWs

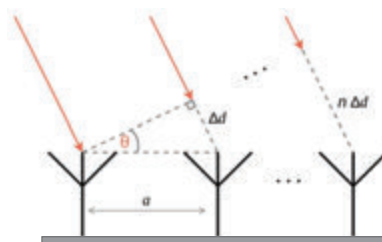
PMP energy consumption: 179.2 uWs



## Angle of Arrival estimation



- The AoA (or AoD) can be estimated using multiple antennas separated by a distance  $a$  that is less than half of a signal's wavelength  $\lambda$ .
- One device emits continuous wave while the other samples the phases
- Estimation algorithms: MUSIC, ESPRIT, PDDA, Matrix Pencil



$$\Delta d = \lambda \frac{\Delta \phi}{2\pi}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\Delta d}{a}$$

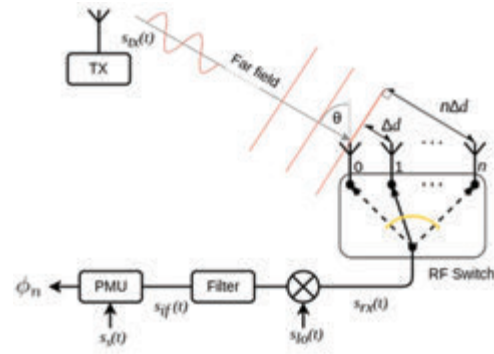
# Phase measurement imperfections



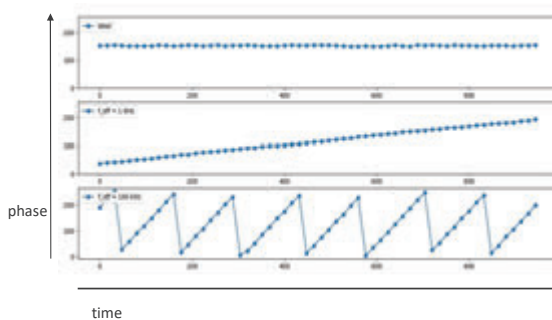
- Initial phase offsets of local oscillator (LO)
- LO crystal drift (temperature depended)
- Noise (interference, ADC conversion)
- Carrier frequency offset (CFO)
- Sampling frequency offset (SFO)

$$\phi_n = \underbrace{2\pi(f_{if} - f_s)t}_{\text{time}} - \underbrace{2\pi f_{tx} \left(\frac{d_n}{c}\right)}_{\text{space}} + \underbrace{\varphi_{tx} - \varphi_{rx} - \varphi_s}_{\text{initial}}$$

$$\Delta\phi = \phi_0 - \phi_n = \Delta\phi_{CFO} + 2\pi f_{tx} \frac{n\Delta d}{c}$$



# CFO calibration

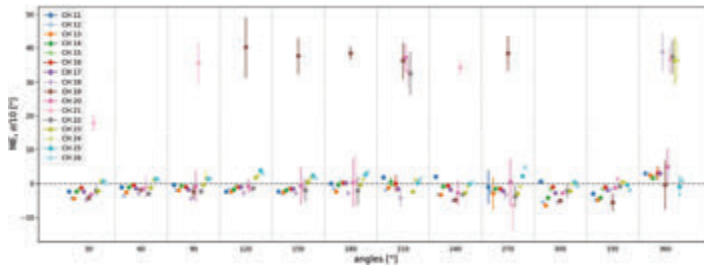
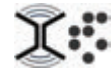


$f_{RX}$ [MHz]	$f_{TX}$ [MHz]	CFO [kHz]
2405.000	2405.000	0
2405.000	2405.001	1
2405.000	2405.100	100

COMPARISON OF AoA ESTIMATION AT AN ANGLE OF 340° WITHOUT (W/O) AND WITH (W/) CFO CALIBRATION.

CFO [kHz]	1	10	30	60	100
median AoA w/o CC [°]	342.8	97.7	155.1	324.7	127.2
median AoA w/ CC [°]	340.2	340.1	340.2	340.2	341.0

# AoA measurement results



Measurement results over RR and WFF scenarios per channel. MAE: Mean Absolute Error, STD: Standard Deviation

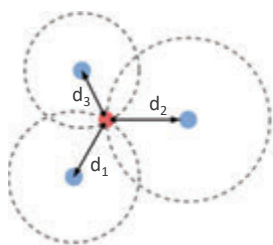
Estimated angle		30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
WFF 4 packets	MAE [°]	1.99	2.21	1.79	0.82	0.7	2.20	0.86	0.89	0.68	4.16	12.02
	STD [°]	0.17	21.78	4.87	0.82	0.84	1.22	2.26	12.3	1.07	11.14	13.79
RR 8 packets	MAE [°]	3.22	4.2	0.99	1.56	1.65	0.77	1.19	1.07	1.01	1.07	2.20
	STD [°]	0.59	0.66	1.04	0.52	0.79	1.71	2.64	0.52	1.19	0.67	0.69
WFF 16 packets	MAE [°]	1.30	0.89	0.76	0.78	0.61	2.06	1.57	2.72	2.66	1.27	0.79
	STD [°]	1.16	0.71	1.04	0.64	0.77	0.77	2.05	1.76	1.51	1.54	11.26
RR 16 packets	MAE [°]	2.24	1.21	0.95	0.92	1.07	0.54	0.64	1.76	1.81	1.99	2.1
	STD [°]	0.74	0.62	0.97	0.7	0.76	0.68	0.72	0.83	0.76	0.76	0.67



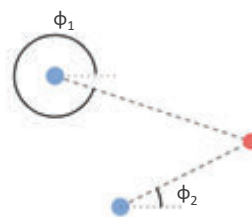
# Localization with TSCH



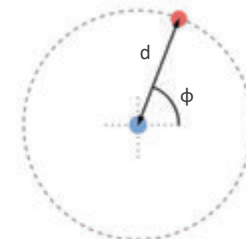
- Anchor – known location
- Target – unknown location



Distance-based Localization

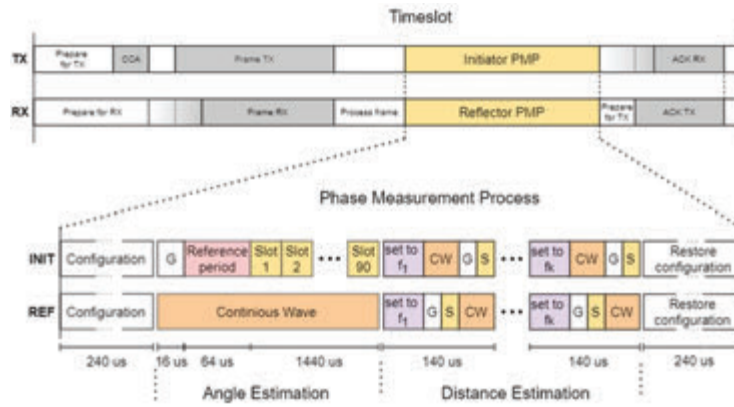


Angle-based Localization



Combined Localization

# Localization with TSCH



# Real-world measurement campaign



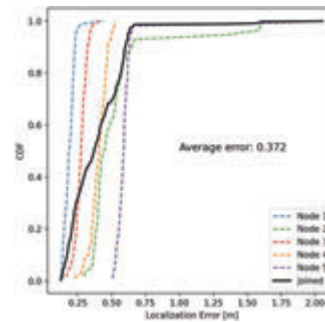
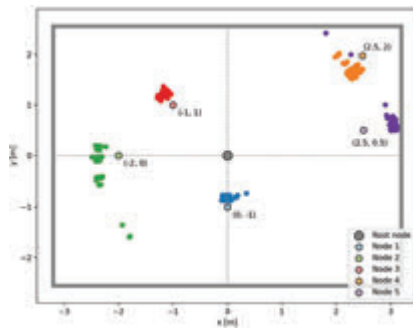
Contiki-NG Operating System  
<https://github.com/9morano/contiki-ng>



## Localization results



	No. of estimates	No. of discarded	Location errors [m]		True distance [m]	Distance estimates [m]			True angle [°]	Angle estimates [°]		
			RMSE	MAE		MED	STD	MAE		MED	STD	MAE
Node 1	451	0	0.194	0.112	1.000	0.818	0.075	0.179	270	272.0	4.10	3.01
Node 2	307	21	0.611	0.333	2.000	2.399	0.041	0.395	180	181.1	10.75	7.47
Node 3	245	0	0.278	0.185	1.500	1.678	0.044	0.178	135	133.8	2.35	2.45
Node 4	604	161	0.410	0.267	3.200	2.836	0.060	0.362	86.4	86.3	2.70	3.09
Node 5	571	3	0.628	0.361	2.500	3.133	0.056	0.587	11.3	11.5	5.03	1.90



## Conclusion



Proposed solution offers localization functionality while preserving the communication capabilities of the TSCH network.

By increasing the timeslot from default 10 ms to 15 ms, we can estimate both the distance and angle with each sent packet.

Distance estimation with: median error of 26 cm for indoor scenarios and median error of 6 cm for outdoor scenarios.

AoA estimation with 1 degree of standard deviation.

Localization error on average below 0.4 m.



# Digitalno predpopačenje signala na oddajniku za frekvenčno področje E

## *Digital Pre-distortion (DPD) on E-band transmitter*

Andrej Osterman

Aviat Networks

[andrej.osterman@aviatnet.com](mailto:andrej.osterman@aviatnet.com)

### Povzetek

Širokopasovni RF-oddajniki morajo delovati v linearnem področju, da lahko ojačijo signal v nepopačeni obliki. Če oddajnik prekrmilimo, se pokvari spektralna maska, razmerje signal - šum in popačenje se zmanjša in komunikacija degradira ali se celo prekine. Vendar pa lahko do določene mere oddajnik vzbujamo s predpopačenim signalom in tako dobimo večjo moč in večji izkoristek. Prispevek govori o digitalnem predpopačenju signala v širokopasovnem E-band oddajniku. Pokažemo možne tehnike predpopačenj, njihove prednosti in slabosti, ter omejitve zaradi velike pasovne širine in potrebne procesne moči. Prikazani so matematični modeli, izpeljani iz Volterrovih serij. Predstavljeni so merilni rezultati digitalnega predpopačanja brez povratne zanke, ki je bilo realizirano na E-band linku.

**Abstract**

*Broadband RF transmitters must operate in a linear range to amplify the signal without distortion. If the transmitter is overdriven, the spectral mask is compromised, the signal-to-noise-and-distortion ratio decreases, and communication degrades or may even be interrupted. However, to some extent, the transmitter can be driven with a pre-distorted signal to achieve greater power and efficiency. This contribution discusses digital signal pre-distortion in a broadband E-band*

*transmitter. We demonstrate possible pre-distortion techniques, their advantages and disadvantages, and limitations due to the large bandwidth and required processing power. Mathematical models derived from Volterra series are presented. Measurement results of digital pre-distortion without feedback loop, implemented on a E-band link, are also introduced.*

### Biografija avtorja



Andrej Osterman je leta 1991 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo Univerze v Ljubljani. Leta 2015 je doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je v podjetju Aviat Networks, v radijskem oddelku. Ukvarja se z radijskimi predikcijami ter razvojem in implementacijo algoritmov na področju modemov v radijskih linkih.

### Author's biography

*Andrej Osterman graduated from the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science of the University of Ljubljana in 1991. In 2015, he received his doctorate at the Faculty of Electrical Engineering of the University of Ljubljana. He is employed at Aviat Networks, in the radio department. He is engaged in radio predictions and the development and implementation of algorithms in the field of modems in radio links.*



# Digitalno predpopačenje signala na E-band oddajniku

Seminar radijske komunikacije 2024

Andrej Osterman

31. januar 2024

## Uvod

- ▶ Popačenje RF oddajnikov
- ▶ Tehnike linearizacije RF oddajnikov
- ▶ Digitalno predpopačenje
- ▶ Kako na E-bandu (60 GHz - 90 GHz) narediti predpopačenje

Vsak ojačevalnik ima nelinearna popačenja, kar povzroča:

- ▶ motnje v sosednjih kanalih
- ▶ kršitev standardov za spektralno masko
- ▶ popačenje znotraj pasu (slabši S/N)

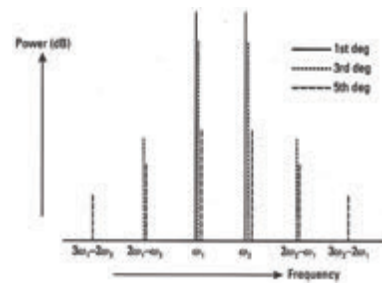
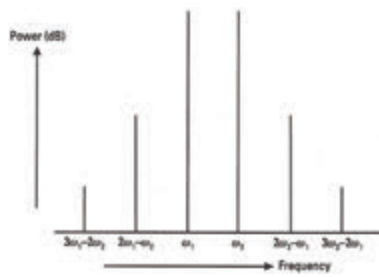
Tehnike za linearizacijo RF oddajnikov

- ▶ Povratna zanka
- ▶ Feedforward zanka
- ▶ Digitalno predpopačenje (DPD, Digital pre-distortion)

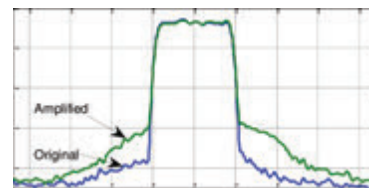
JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Nelinearno popačenje in širokopasovni signal



- ▶ V in-band in soseščino padejo popačenja lihih redov
- ▶ Popačenje nastane tudi znotraj širokopasovnega kanala (degradirani S/N)

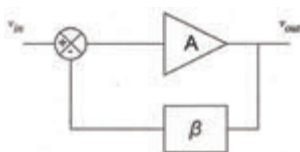


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Povratna zanka

- ▶  $\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{A}{1 + \beta A}$
- ▶ ojačanje  $\beta$  je manj kot ena, poskrbi za protifazo
- ▶ dobro deluje pri nizkih frekvencah
- ▶ naivna implementacija v RF lahko vodi v neželjeno osciliranje
- ▶ ta tehnika je predhodnica digitalnega predpopačenja

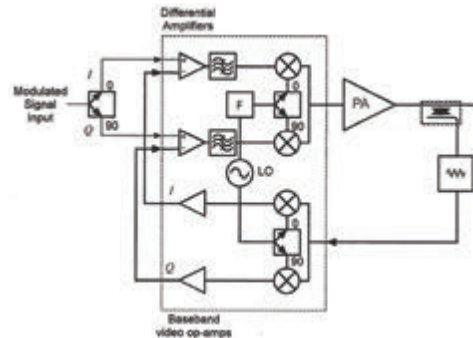
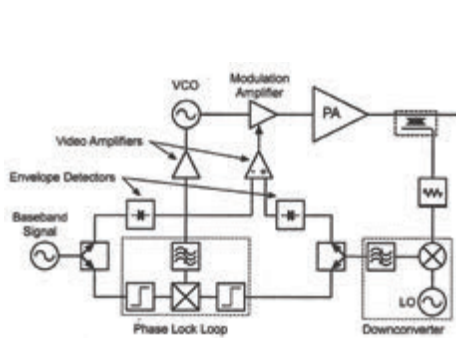


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Polarna in kartezična povratna zanka

- ▶ Signal peljemo iz izhoda na vhodna vezja
- ▶ Korekcija je na baseband-u
- ▶ Pri polarni povratni zanki izhodni signal pretvorimo v „baseband“ signal, povratna zanka ločeno primerja in spreminja fazo in amplitudo vhodnega signala
- ▶ Pri kartezični povratni zanki ločeno primerjamo I in Q, dobra AM-PM performanca, fazna napaka je eliminirana

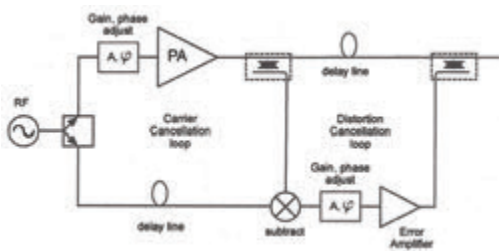


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## „Feedforward“ zanka

- ▶ Signal napake se primerja na izhodu ojačevalnika
- ▶ Korekcija je direktno na RF
- ▶ Ojačevalnik za napake (Error Amplifier) mora biti zelo linearen
- ▶ Draga rešitev

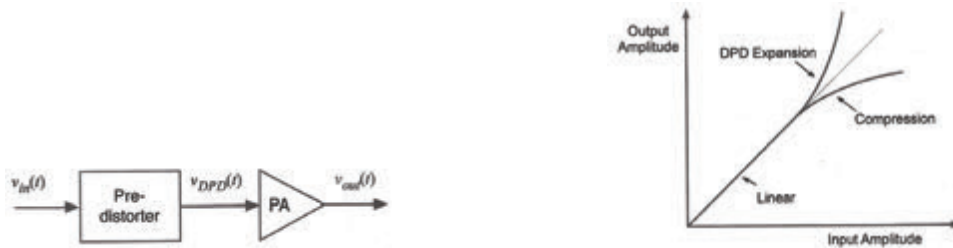


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## DPD - digitalno predpopačenje

- ▶ Pred ojačevalnikom poskušamo predpopačiti signal
- ▶ PA:  $v_{out}(t) = G(v_{in}(t)) = A v_{in}(t) + \text{nonlinear terms}$
- ▶ v DPD mora  $F$  bit izbran tako, da velja:  $v_{out}(t) = G(F(v_{in}(t))) = A v_{in}(t)$

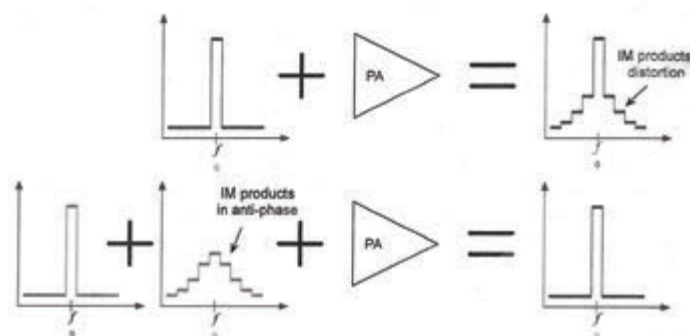


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## DPD v spektru

- ▶ Nelinearni pojavi v ojačevalniku povzročijo produkte v sosednjih kanalih
- ▶ Predpopačenje doda originalnemu signalu signal v protifazi
- ▶ V idelnih razmerah se na izhodu ojačevalnika popačenja izničijo

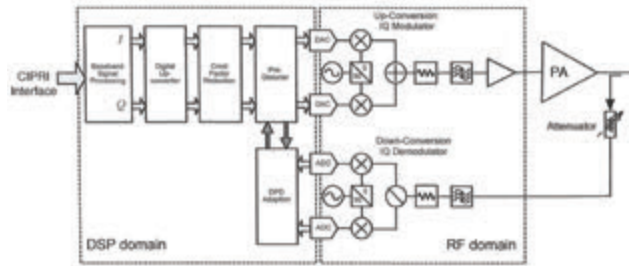


JANUAR 2024

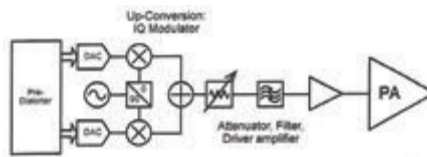
AVIAT NETWORKS

## Blok shema oddajnika s predpopačenjem

- ▶ DPD s povratno zanko



- ▶ DPD brez povratne zanke

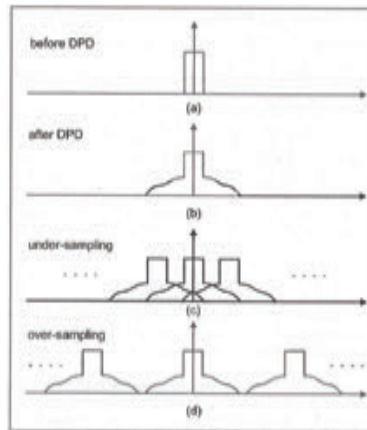


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Hitrost vzorčenja

- ▶ DPD hitrost vzorčenja (DPD sample rate) mora biti v idealnem primeru 5-x višja od hitrosti vzorčenja širokopasovnega signala



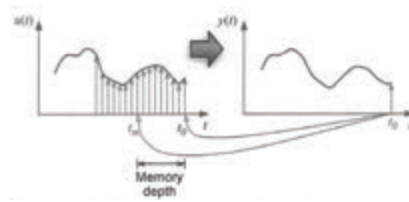
JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS



## Spominski efekti (Memory Effects)

- ▶ Izhodni signal v časovnem prostoru je odvisen od trenutnega in preteklega vhodnega signala
- ▶ Število preteklih vzorcev, ki vplivajo na izhodni signal, imenujemo tudi globina spominskega efekta (memory depth)
- ▶ Kratkoročni spominski efekt (short term memory effect): prilagoditvena vezja (matching networks), R-C členi
- ▶ Dolgotrajni spominski efekt (long term memory effect): termalni pojavi (thermal effects), ujeti naboji (charge trapping), nastavitvena vezja (bias circuit effects), kontrolna vezja (control circuitry)



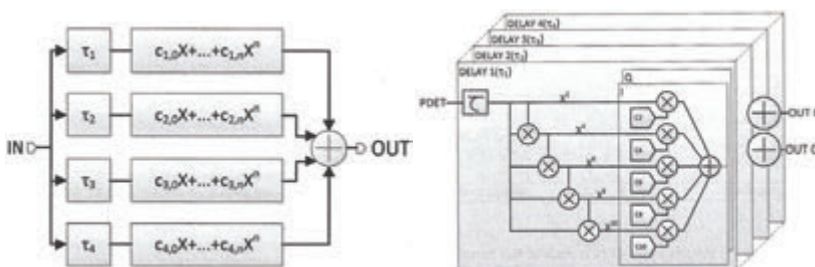
JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Volterra model nelinearnega sistema

$$y(n) = h_0 + \sum_{m=1}^M \left( \sum_{\tau_1=0}^{n_m-1} \dots \sum_{\tau_{m-1}=0}^{n_m-1} h_m(\tau_1, \dots, \tau_m) \prod_{\tau=\tau_1}^{\tau_m} u(n-\tau) \right) + e(n)$$

- ▶ Vito Volterra (1860-1940), italijanski matematik
- ▶ Volterra serije so razširjene Taylorjeve vrste (Volterra upošteva spominski efekt)
- ▶  $u(n)$  je vhodni signal,  $y(n)$  je izhodni signal,  $e(n)$  je beli šum
- ▶  $h_m(\tau_1, \dots, \tau_m)$  je Volterra kernel
- ▶ V praksi se uporablja omejeno število členov in kernelov
- ▶ Uporabljajo se tisti členi, ki prispevajo signal v in-band

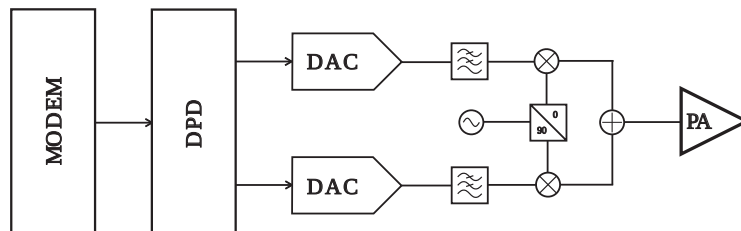


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Štartni pogoji

- ▶ E-band (60 GHz - 90 GHz), 71 GHz - 76 GHz, 81 GHz - 86 GHz
- ▶ Valovod WR12 ima dimenzije odprtine: 3,0988 mm x 1.5494 mm
- ▶ DAC sample rate: 4800 MHz
- ▶ Bandwidth: 250 MHz, 500 MHz, 750 MHz, 1000 MHz, 1500 MHz, 2000 MHz
- ▶ Modulacije: QPSK, QAM16, QAM32, QAM64, QAM128, QAM256, QAM512, (QAM1024)
- ▶ Oddajna moč: 1.5 dBm - 20.5 dBm (Peak je cca. 26 dBm)
- ▶ DPD enačba:  $y = x(g_1 + g_3|x|^2 + g_5|x|^4)$
- ▶ Ne upoštevamo spominskega efekta (oddajnik deluje v A razredu, GaAs)
- ▶ Ni povratne vezave !
- ▶ DPD koeficiente bomo morali definirati „na pamet“ ?



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Povečanje moči z DPD-jem

- ▶ Z DPD-jem želimo povečanje oddajne moči za različne vrste modulacije
- ▶ Omejitev za moč je ETSI maska za posamezno modulacijo

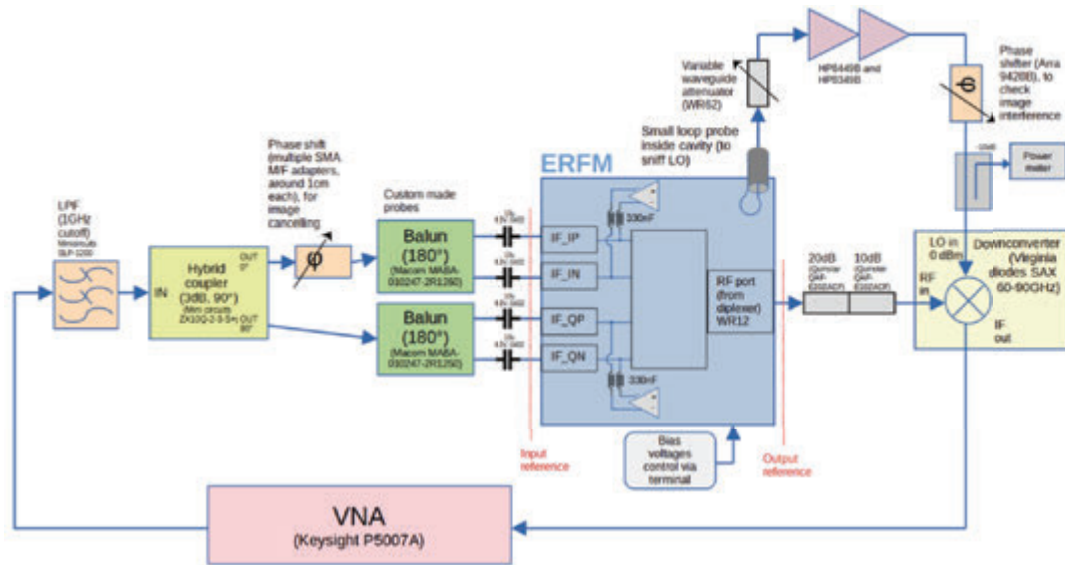
	Povečanje moči [dB]
QPSK	+ 3.5
QAM16	+ 4
QAM32	+ 4
QAM64	+ 4
QAM128	+ 4
QAM256	+ 2.5

JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Merjenje AM-AM in AM-PM

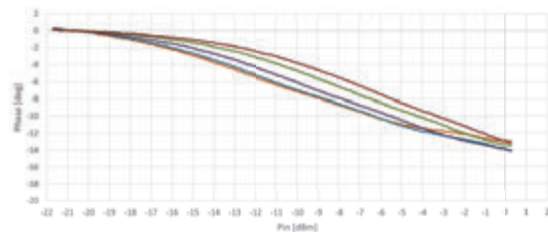
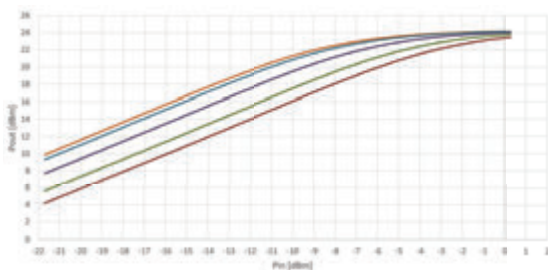
► Block diagram za merjenje AM-AM in AM-PM krivulj:



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## AM-AM in AM-PM krivulji



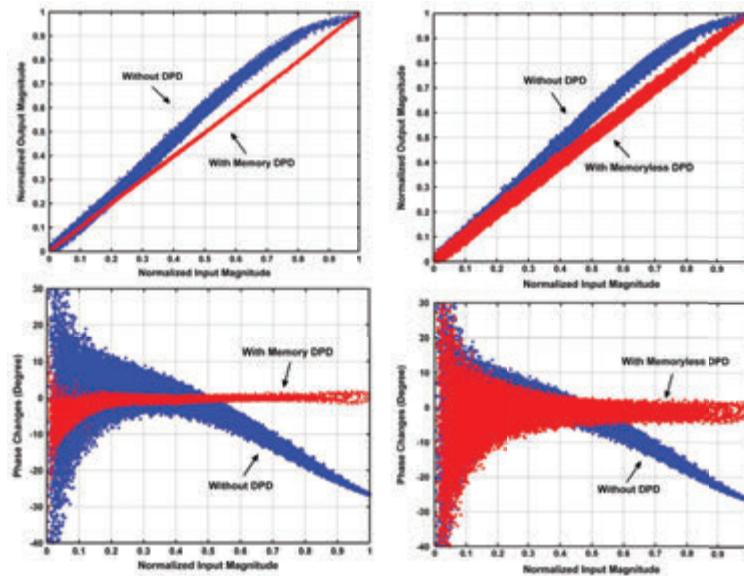
- Na slikah so krivulje za različna PA ojačenja
- Predelati smo morali link
- Dokaj nestabilna meritev
- Kako s temperaturo ?
- Kako AM-AM in AM-PM krivulje pretvoriti v DPD koeficiente ?
- Dobili smo občutek kako in koliko se amplituda in faza spreminjata z močjo !

JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## AM-AM in AM-PM s spominskim efektom

- ▶ Primer popravljanja signala z in brez upoštevanja spominksega efekta



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## DPD enačba

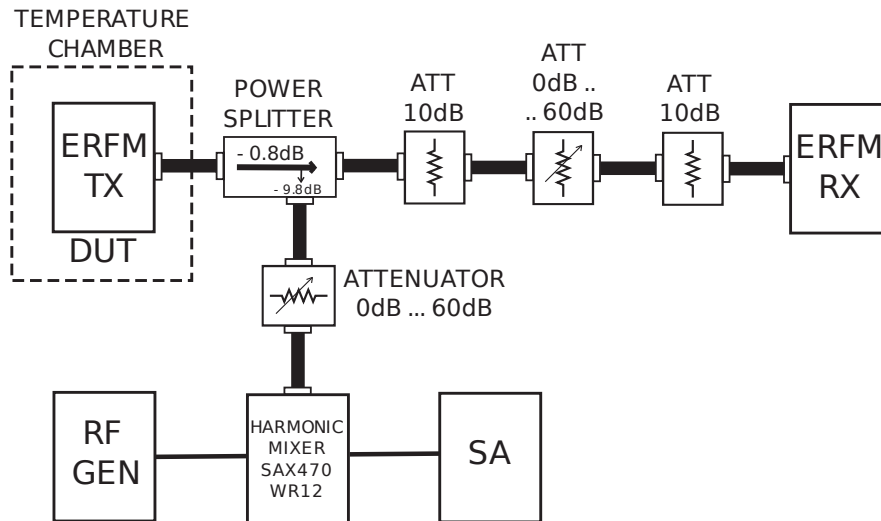
- ▶ Enačba za DPD  $y = x(g_1 + g_3|x|^2 + g_5|x|^4)$  je implementirana v modemu
- ▶  $y$  in  $x$  sta kompleksna ( $I$  in  $Q$ ), DPD parametri  $g_1$ ,  $g_3$  in  $g_5$  so kompleksni
- ▶  $g_1 = G1\_Re + jG1\_Im$
- ▶  $g_3 = G3\_Re + jG3\_Im$
- ▶  $g_5 = G5\_Re + jG5\_Im$
- ▶ V modemu vpišemo parametre v kartezični obliki skalirani za faktor 4096
- ▶ Računali bomo v polarni obliki:
- ▶  $g_1 = G1\_Am * e^{j*G1\_Ph*\pi/180}$
- ▶  $g_3 = G3\_Am * e^{j*G3\_Ph*\pi/180}$
- ▶  $g_5 = G5\_Am * e^{j*G5\_Ph*\pi/180}$
- ▶ Poenostavimo in določimo  $G1\_Am = 1$ ,  $G1\_Ph = 0$
- ▶ Za vse kombinacije (BW, frekvenca, moč, temperatura) moramo določiti  $G3\_Am$ ,  $G3\_Ph$ ,  $G5\_Am$ ,  $G5\_Ph$

JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Testbench za merjenje DPD

- ▶ Merjenje MSE z ERFM RX enoto in hkrati s spektralnim analizatorjem
- ▶ Debelejše povezave predstavljajo WR12 valovod, tanjše koaksialni kabel

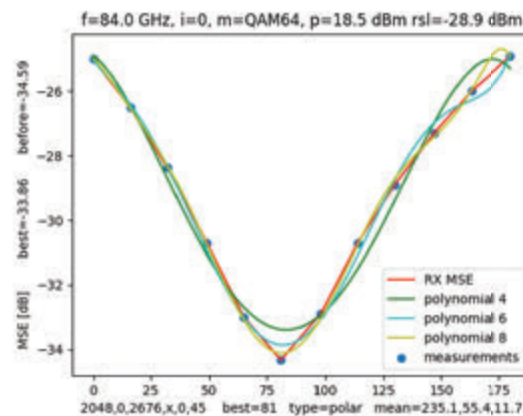
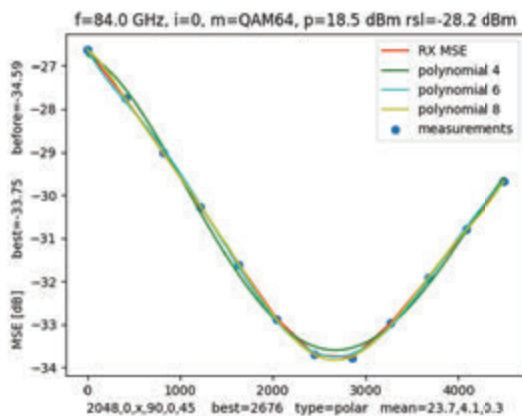


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Iskanje DPD parametrov $g3\_am$ in $g3\_ph$

- ▶ Nastavimo temperaturo komore, oddajno frekvenco, pasovno širino in oddajno moč
- ▶ Začetna vrednost  $g3\_ph = 90$  stopinj,  $g1\_am = 2048$ ,  $g1\_ph = 0$
- ▶ Merimo MSE (S/N) na RX in vrtimo DPD parametre
- ▶ Iščemo minimum s polinomske interpolacije

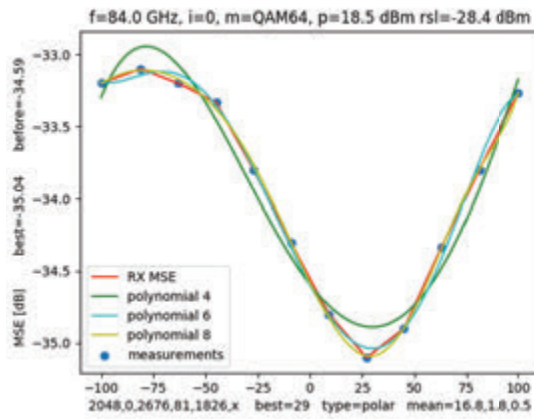
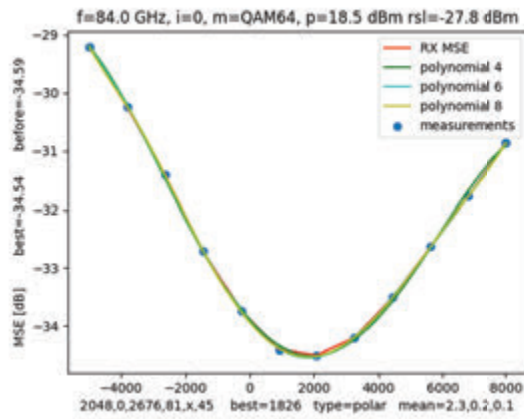


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Iskanje DPD parametrov $g5\_am$ in $g5\_ph$

- ▶ Začetna vrednost  $g5\_ph = 45$  stopinj
- ▶  $g1\_am = 2048$ ,  $g1\_ph = 0$



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Meritve po vseh kombinacijah

- ▶ Skripta v python kodi nastavlja parametre in pobira podatke
- ▶ Poskušamo dobiti vse kombinacije v štirih vgnezenih zankah:

```

for temperature in range from -33°C to 55°C:
  for frequency from 81.0 GHz to 86.0 GHz:
    for badwidth from 250 MHz to 2000 MHz:
      for power from -1.5 dBm to 20.5 dBm:
        with polynomal fit algorithm find best DPD values
  
```

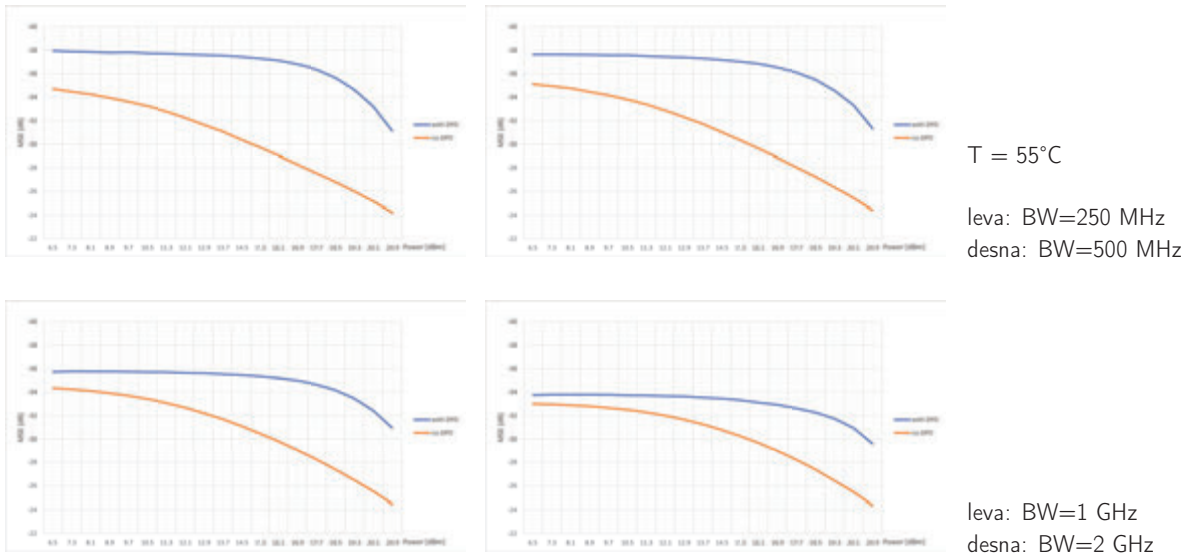
- ▶ Rezultate zapišemo v datoteko, vsaka vrstica svoja kombinacija
- ▶ Celotna meritev traja cca 30 ur

JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS



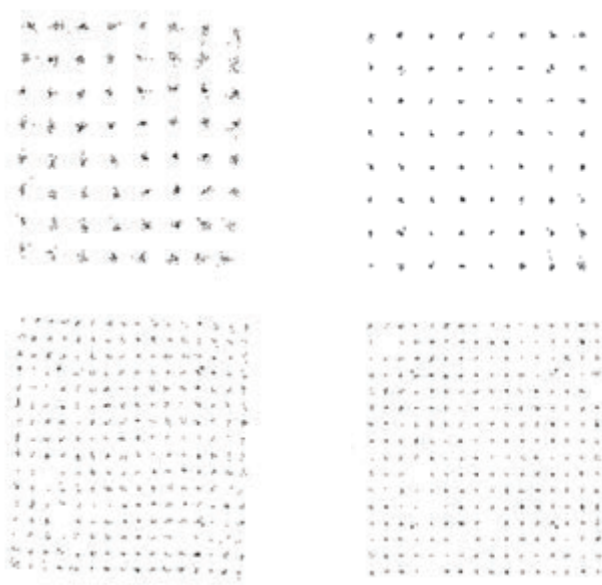
## Izoljšanje MSE modulacije z DPD-jem



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## DPD in I/Q diagram



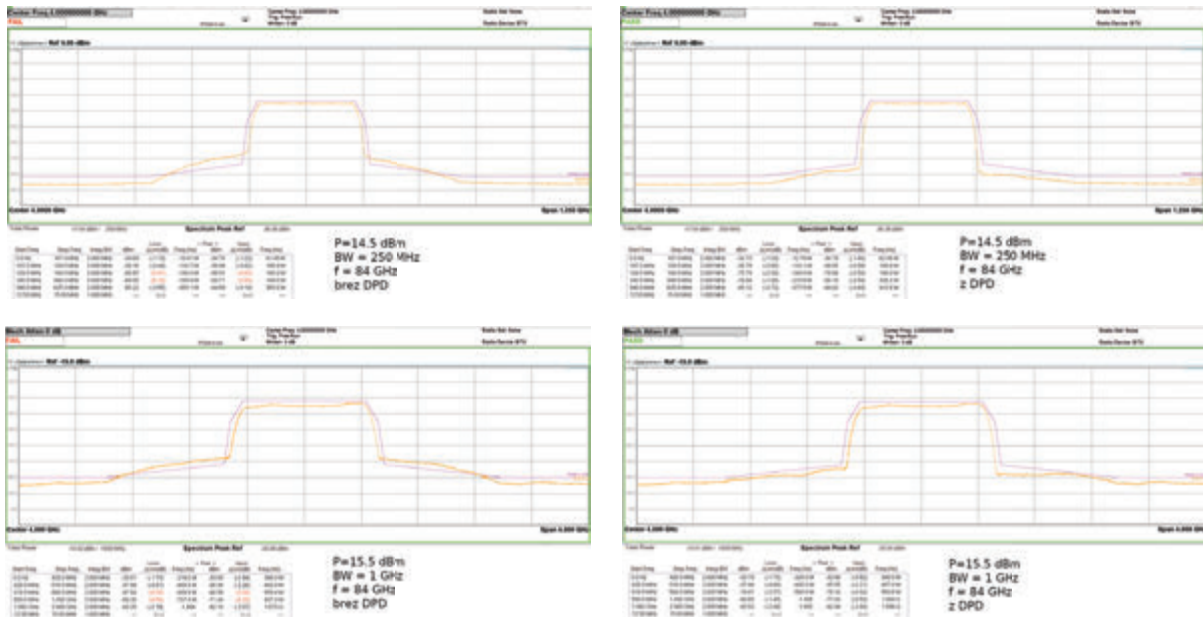
QAM64  
 $P = 20.5\text{ dBm}$   
MSE = -25 dB (brez DPD)  
MSE = -34 dB (z DPD)

QAM256  
 $P = 12.5\text{ dBm}$   
MSE = -32 dB (brez DPD)  
MSE = -38 dB (z DPD)

JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Spektralna maska ETSI QAM256 brez in z DPD-jem



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

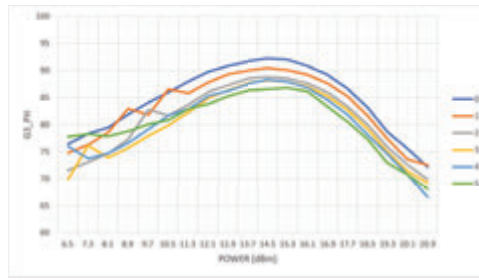
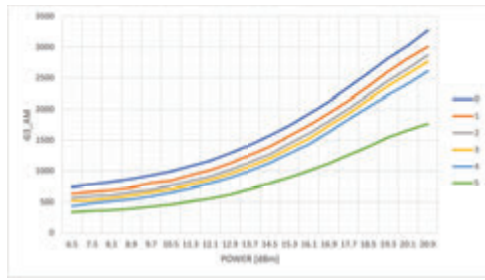
## LUT tabela

- ▶ Postopek merjenja čez vse kombinacije je za proizvodnjo predolg (cca 30ur)
- ▶ V proizvodnji si težko privoščimo meritve pri različnih temperaturah
- ▶ Naredimo LUT tabelo za 4 DPD parametre na 12 močeh in 5 frekvencah
- ▶ LUT tabelo izmerimo na sobni temperaturi pri pasovni širini 1 GHz
- ▶ Meritev take tabele je za proizvodnjo sprejemljiva, trajanje manj kot 10 minut

JANUAR 2024

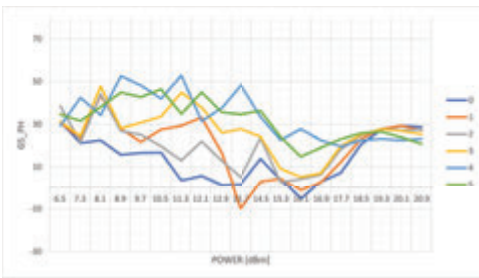
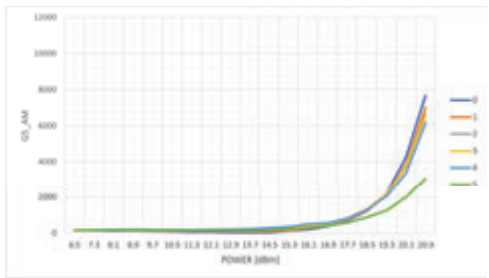
AVIAT NETWORKS

### Odvisnost DPD parametrov od pasovne širine



T = 30°C

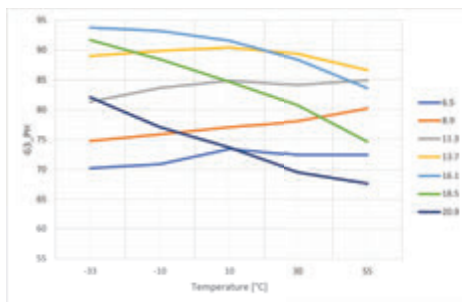
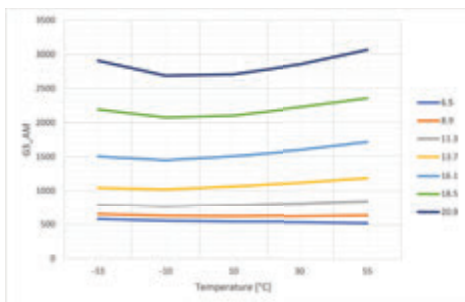
- Profil:  
0: BW=250 MHz  
1: BW=500 MHz  
2: BW=750 MHz  
3: BW=1000 MHz  
4: BW=1500 MHz  
5: BW=2000 MHz



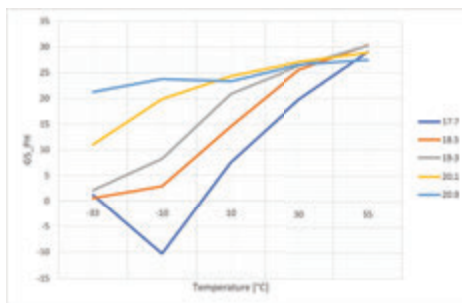
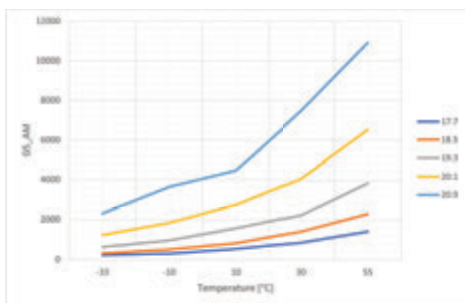
JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

### Odvisnost DPD parametrov od temperature



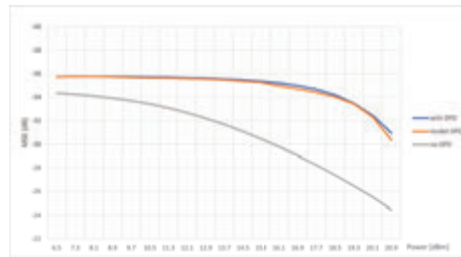
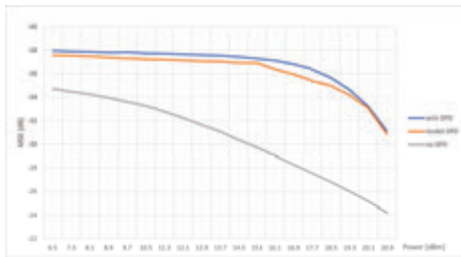
BW=1000 MHz



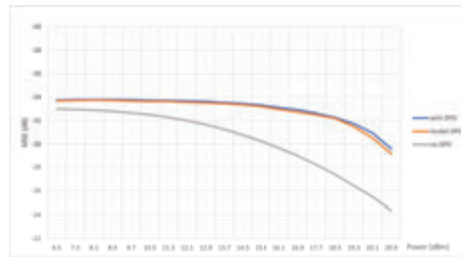
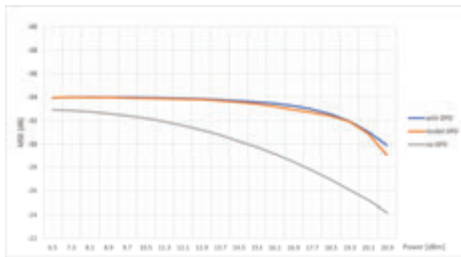
JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

# Optimalni in modelirani MSE (S/N) za temperaturo 55°C



levo: BW=250 MHz  
desno: BW=1GHz



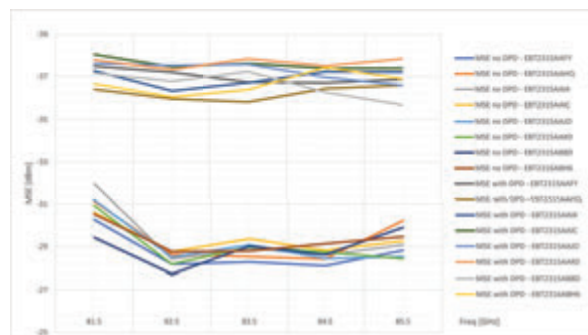
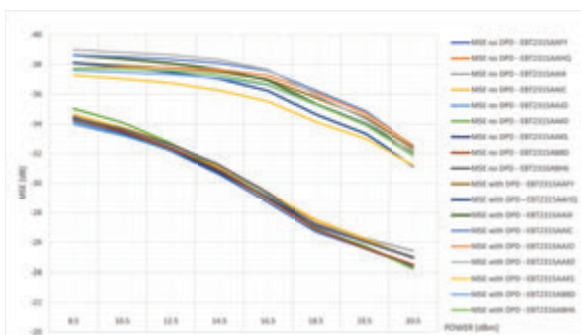
levo: BW=1.5GHz  
desno: BW=2GHz

JANUAR 2024



# Izboljšanje MSE za BW=250 MHz in temperaturo 55°C

- ▶ Grafa prikazujeta izboljšanje DPD različne enote
- ▶ Desni graf je za izhodno moč 16.5 dBm

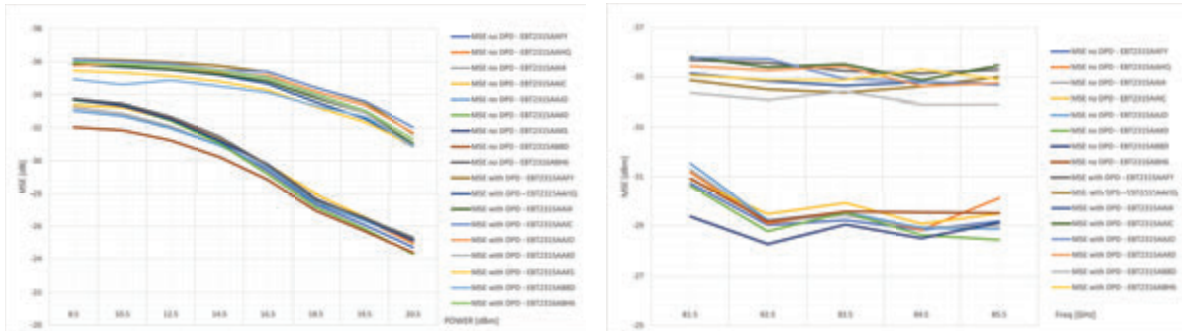


JANUAR 2024



## Izboljšanje MSE za BW=1 GHz in temperaturo 55°C

- ▶ Grafa prikazujeta izboljšanje DPD različne enote
- ▶ Desni graf je za izhodno moč 16.5 dBm

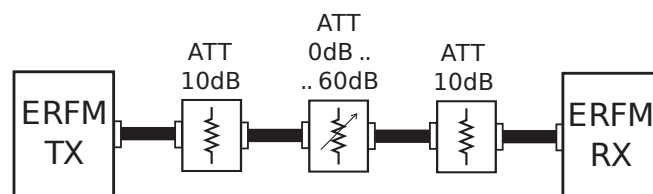


JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

## Zaključek

- ▶ LUT tabelo merimo na eni temperaturi pri eni pasovni širini
- ▶ Vse ostale kombinacije preračunamo preko empiričnih formul
- ▶ LUT tabelo izmerimo na testnem okolju, ki že sedaj obstaja
- ▶ Ni dodatnih materialnih stroškov za testno okolje
- ▶ Poveča se čas testiranja enega oddajnika za cca 10 minut
- ▶ Tveganje: dolgoročno staranje, nov tehnološki postopek izdelave čipov
- ▶ Testno okolje v proizvodnji za merjene LUT tabele:



JANUAR 2024

AVIAT NETWORKS

# Metode za merjenje šumnega števila

## *Methods for noise figure measurements*

Mirko Ivačič

Amiteh

[mirko@amiteh.com](mailto:mirko@amiteh.com)

### **Povzetek**

Sodobni sprejemni sistemi morajo pogosto obdelovati zelo šibke signale, vendar šum, ki ga dodajajo komponente sistema, ponavadi zakrije te zelo šibke signale. Občutljivost, razmerje bitnih napak (BER) in šumno število so sistemski parametri, ki označujejo sposobnost obdelave signalov nizkega nivoja. Med temi parametri je šumno število tisto, ki omogoča ne samo karakterizacijo celotnega sistema, ampak tudi posamičnih komponent sistema, kot so predojačevalniki, mešalniki in medfrekvenčni ojačevalniki. Potreba po zelo ponovljivih, natančnih in smiselnih meritvah šuma brez zapletenih ročnih meritev in izračunov je privedla do razvoja instrumentov za merjenje šumnega števila s preprostimi uporabniškimi vmesniki. Obravnavane bodo metode merjenje šumnega števila, ki jih uporabljajo instrumenti.

### **Abstract**

*Modern receiving systems must often process very weak signals, but the noise added by the system components tends to obscure those very weak signals. Sensitivity, bit error ratio (BER) and noise figure are system parameters that characterize the ability to process low-level signals. Of these parameters, noise figure is unique in that it is suitable not only for characterizing the*

*entire system but also the system components such as the pre-amplifier, mixer, and IF amplifier that make up the system. The need for highly repeatable, accurate and meaningful measurements of noise without the complexity of manual measurements and calculations has led to the development of noise figure measurement instruments with simple user interfaces. Methods for noise figure measurements used in a such instruments will be discussed.*

---

### **Biografija avtorja**



**Mirko Ivačič** je diplomiral leta 1978 na ljubljanski Fakulteti za elektrotehniko, smer telekomunikacije in se zaposlil v podjetju Iskra Elektrovezve, kjer je vodil oddelek merilne tehnologije. Leta

1984 se je kot inženir za podporo tehničnih računalnikov zaposlil v Hermesu, v sektorju zastopstva za Hewlett-Packard. Od 1986 do 1992 je bil odgovoren za prodajo testno-merilne opreme za področje Hrvaške, nato je postal vodja servisa in leta 1993 član uprave Hermes Plus, d. d. in direktor podpore za vse HP-jeve izdelke za področje Slovenije, Hrvaške, Makedonije in delno Slovaške. Leta 1996 je postal direktor merilne skupine za prodajo in podporo elektronske, medicinske in kemijsko-analitske merilne opreme. Leta 1997 je zapustil Hermes in po letu dni dela v podjetju Spes



postal direktor Venture, podjetja za razvoj, proizvodnjo in trženje plovil. Leta 2002 se je pridružil Avektisu, takratnemu slovenskemu zastopniku podjetja Agilent Technologies (bivši HP), kot vodja prodaje elektronske merilne opreme. Od leta 2010, ko je Agilentov partner za Slovenijo postal Amiteh d.o.o., pa dela pod okriljem tega podjetja, specializiranega za trženje visokokakovostne merilne opreme priznanih proizvajalcev Keysight Technologies, Rigol, Itech in ostalih.

#### ***Author's biography***

*Mirko Ivančič graduated in 1978 from the Faculty of Electrical Engineering in Ljubljana, majoring in telecommunications. After graduation he joined the company Iskra Elektrozeve, where he headed the department of measuring technology. In 1984, he took a job as a technical computer support engineer at Hermes, the Hewlett-Packard agency. From 1986 to 1992 he was responsible for the sale of test and measuring equipment for Croatia, then he became the head of the service and in 1993 a member of the Management Board of Hermes Plus, d. d. and director of support for all HP products in Slovenia, Croatia, Macedonia, and parts of Slovakia. In 1996, he became the director of the measuring group for the sale and support of electronic, medical and chemical-analytical measuring equipment. He left Hermes in 1997 and after a year at Spes company became director of Venture, a vessel development, manufacturing and marketing company. In 2002, he joined Avektis, the then Slovenian representative of Agilent Technologies (formerly HP), as head of electronic measuring equipment sales. Since 2010, when Agilent's partner for Slovenia became Amiteh d.o.o., he has been working for this company, which specializes in marketing high-quality measuring equipment from renowned manufacturers Keysight Technologies, Rigol, Itech and others.*



## Metode za merjenje šumnega števila



Mirko Ivančič  
Amitech d.o.o.



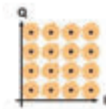
SRK 2024



## Noise In Communication Systems

### Why Do We Care About Noise?

- Noise causes system impairments
  - Limits sensitivity and therefore the range of radar systems
  - Increases bit-error rate of vector-modulated digital signals
- Ways to improve system signal-to-noise ratio (SNR)
  - Increase transmit power (use more powerful amplifiers or bigger antennas)
  - Decrease path loss (usually not possible)
  - Lower receiver-contributed noise
  - Generally **easier and less expensive** to decrease receiver noise than to increase transmitted power
- Noise figure is the most commonly used figure of merit for devices and components

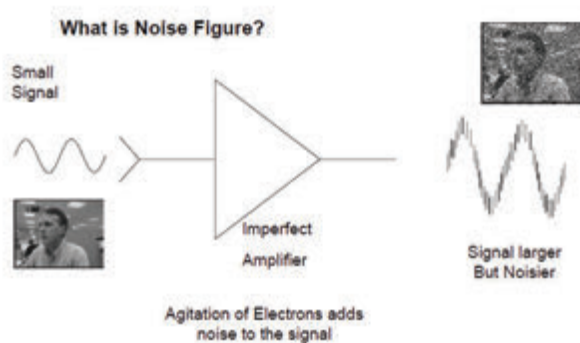


ASR-9 Radar Antenna.jpg  
Wikimedia Commons

SRK 2024



## Noise In Communication Systems



SRK 2024



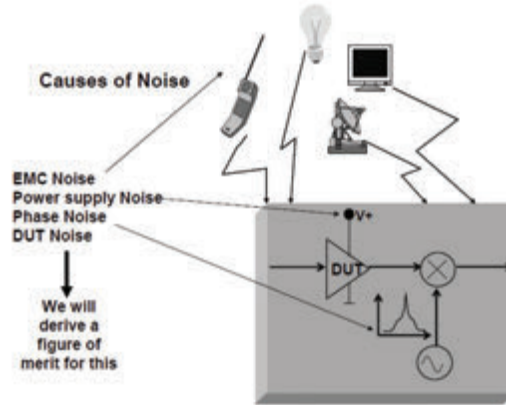
## Noise Sources

- Thermal noise  $kTB$
- Shot noise (G-R noise, partition noise)
- Flicker noise and  $1/f$  noise
- ...

SRK 2024



# Noise Sources



SRK 2024

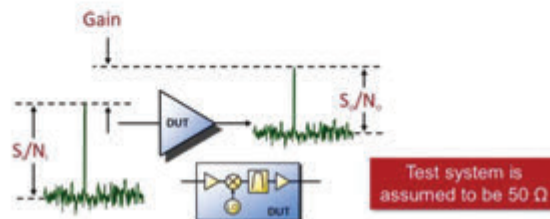


# Noise Figure Definition

Noise Figure is Defined in Terms of SNR Degradation

$$F = \frac{(S_i/N_i)}{(S_o/N_o)} = \frac{(N_o)}{(G \times N_i)} = \frac{N_a + kT_oBG}{kT_oBG} \quad (\text{noise factor})$$

$$NF = 10 \times \log (F) \quad (\text{noise figure})$$



SRK 2024



# Noise Figure Definition



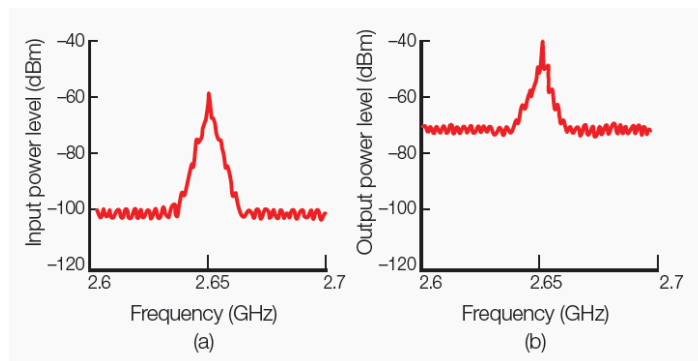
$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-2}}$$

*F1 = noise factor of DUT 1*      *G1 is the gain of device 1*  
*F2 = noise factor of DUT 2*      *G2 is the gain of device 2*  
*Fx = noise factor of DUT x*      *Gx is the gain of device x*

SRK 2024



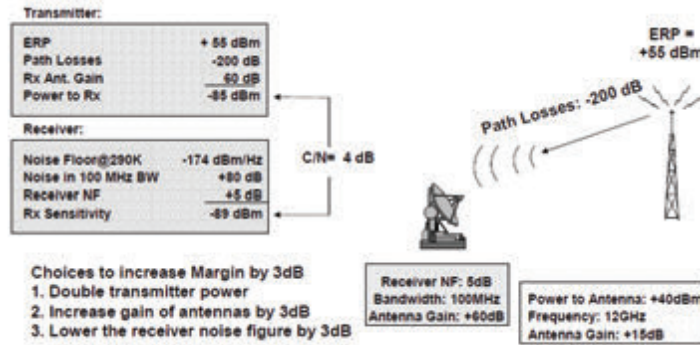
# Noise Figure Definition



SRK 2024



# Noise Figure Definition



SRK 2024



## Noise Figure Measurement Techniques

### - Y-factor (hot/cold source)

- Used by NFA and spectrum-analyzer-based solutions
- Uses noise source with specified "excess noise ratio" (ENR)
- Measures noise figure and gain of DUT



### - Cold source (direct noise)

- Used by vector network analyzers (e.g. PNA-X)
- Uses cold (room temperature) termination plus separate gain measurement
- Allows single-connection S-parameters and noise figure (and more)
- More advanced error correction yields higher measurement accuracy

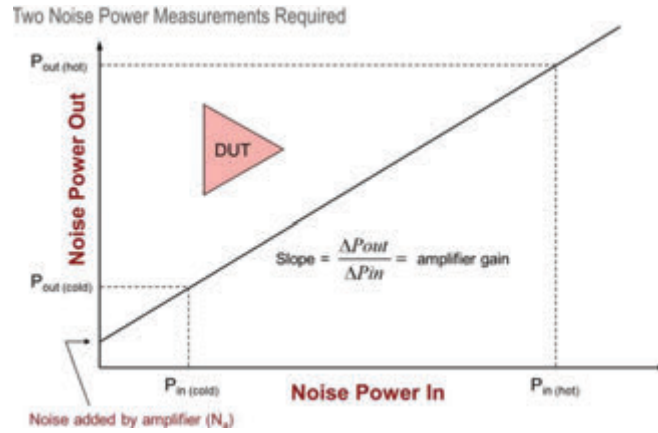
### - Signal Generator Twice-Power

SRK 2024





## Graphical Representation of Y-Factor Method

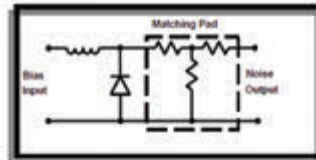


SRK 2024



## Noise Figure Measurement Techniques

Noise Source – the Avalanche Diode



Excess Noise Ratio, ENR (dB) =  $10 \log_{10} \left( \frac{T_n - 290}{290} \right)$

Frequency      ENR dB

XXX	AAA
YYY	BBB
ZZZ	CCC

SRK 2024



## Noise Figure Measurement Techniques

### Choosing the Noise Source

- 15dB ENR noise source to measure NF of up to 30dB ( eg 346B/C)
- Use 6 dB ENR for very low noise figure devices to keep noise detector linearity issues to a minimum ( eg 346A).
- Use a Noise Source with greater internal attenuation if the DUT is match sensitive (eg 346A).

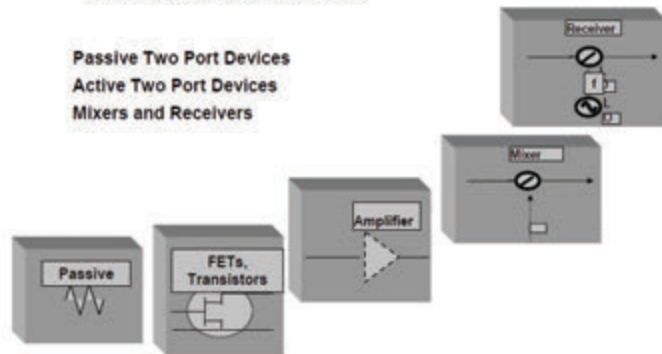
SRK 2024



## Noise Figure Measurement

### What Devices can be tested?

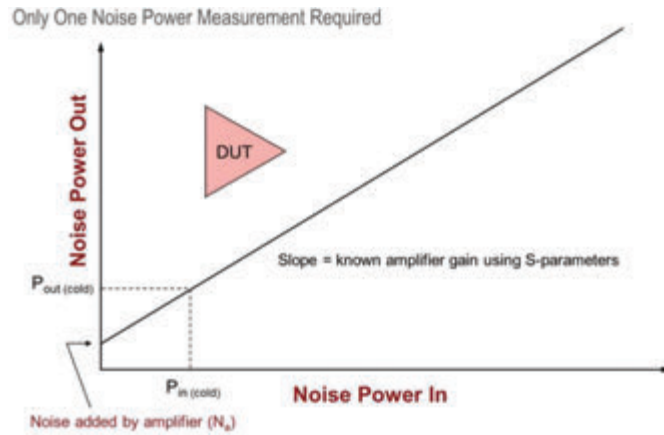
Passive Two Port Devices  
Active Two Port Devices  
Mixers and Receivers



SRK 2024



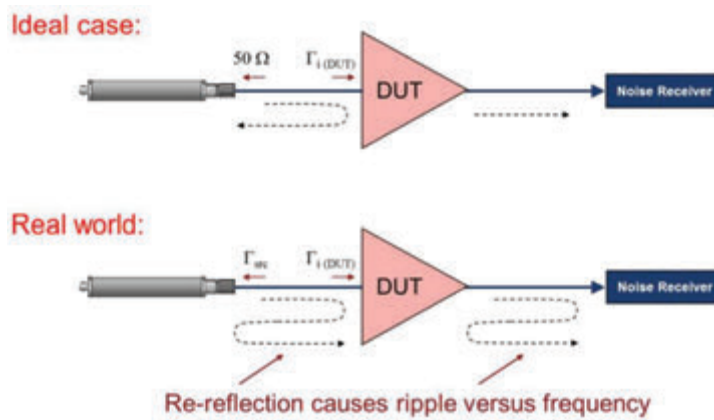
## Graphical Representation of Cold-Source Method



SRK 2024



## Noise Figure Mismatch Errors with Y-Factor Method



SRK 2024

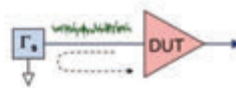
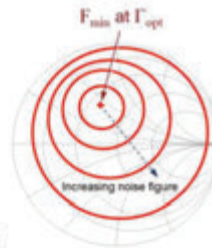


# Noise Parameter Error



Result From Device's Internal Noise Generation

- NPs characterize amount of DUT-generated noise and sensitivity to source impedance
- NPs typically plotted as noise-figure circles on a Smith chart, giving NF versus impedance (one frequency at a time)
- Re-reflection of internally-generated noise occurs when  $\Gamma_s \neq 50 \Omega$ , causing additional measurement ripple
- This source of error is independent from noise-source mismatch error



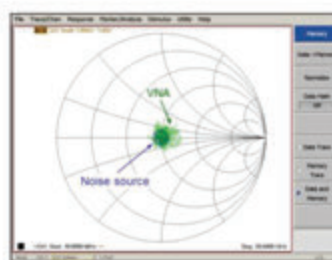
SRK 2024



# Challenge of Measuring Noise Figure

NF is Measured in a Nominal 50-ohm Environment

- Test systems don't have perfect 50-ohm source match
- Two error sources due to non-ideal system source match:
  - Mismatch error from noise source
  - Noise-parameter error from DUT noise
- Y-factor method has no way to correct for these errors, so significant error can occur in some test conditions



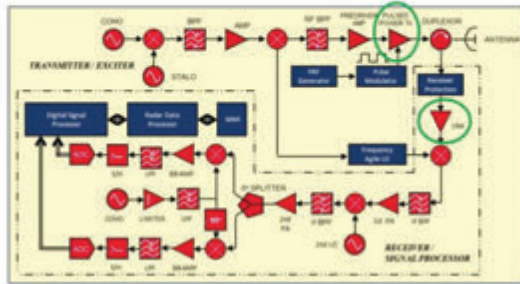
SRK 2024



# Importance of Noise Figure Measurement Accuracy

## R&D System Designers

- Enables best noise models for system simulation and optimization
- Optimization trades-off component performance for best system performance
- Lower LNA uncertainty reduces transmitter power requirement for given system SNR, yielding a smaller, lighter, cheaper output amplifier



SRK 2024



# Importance of Noise Figure Measurement Accuracy

## Manufacturing

- Lower LNA uncertainty reduces measurement guard bands, which improves the specified noise figure of components
- Better specifications means more competitive products that command higher prices or attain higher market share



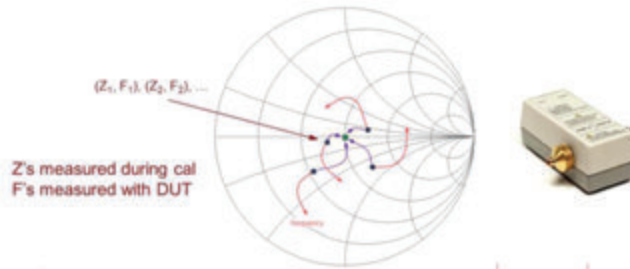
SRK 2024



# VNA Source-corrected Technique

## Vector Noise Calibration (VNC)

- PNA-X varies source match around 50 ohms using an internal or external ECal module (source-pull technique)
- With resulting impedance/noise-figure pairs and vector-error terms, very accurate 50-ohm noise figure can be calculated versus frequency



SRK 2024

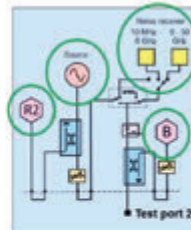


# VNA Source-corrected Technique

## Cold Source Measurement Science

Measurement is Performed in Two Parts

- **Part 1: Measure S-parameters of DUT**
  - Sinusoidal source is used with standard network analyzer receivers
  - Normal S-parameter settings apply (e.g. power levels, source attenuator, IF bandwidth)
- **Part 2: Measure output noise power(s) of DUT**
  - Sinusoidal source is turned off
  - Noise power(s) measured with low-noise receiver (four to seven measurements for vector cal, one for scalar cal)
  - Unique noise figure settings apply (e.g. noise bandwidth, noise averages, ambient temperature of input termination)

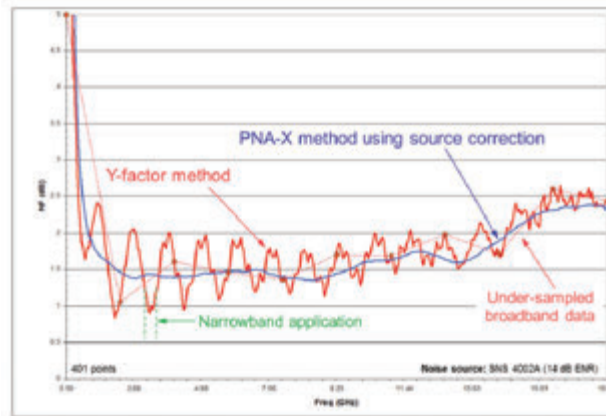


Optimization should be done for each part independently

SRK 2024



## Example NF Measurements of Unmatched Device



SRK 2024



## Noise Figure Measuring Instruments



SRK 2024





## Noise Figure Measuring Instruments



EXA X-Series signal analyzer

SRK 2024



## Noise Figure Measuring Instruments



Vector network analyzer

SRK 2024



## Noise Figure Measuring Instruments



Portable noise figure solution

SRK 2024



## Noise Figure Measuring Instruments



Power meter

SRK 2024



# Additional Resources

## Application Notes

### - PNA-X

- AN 1408-20, High-Accuracy Noise Figure Measurements Using the PNA-X Series Network Analyzer (5990-5800EN)
- Optimizing On-Wafer Noise Figure Measurements Up to 67 GHz (5991-2524EN)



### - Y-factor (spectrum analyzers, NFA)

- AN 57-1, Fundamentals of RF and Microwave Noise Figure Measurements (5952-8255E)
- AN 57-2, Noise Figure Measurement Accuracy – The Y-Factor Method (5952-3708E)
- AN 57-3, 10 Hints for Making Successful Noise Figure Measurements (5980-0288EN)
- AN 1354, Practical Noise-Figure Measurement and Analysis for LNA Designs (5980-1916EN)
- AN 1487, Noise Figure Measurements of Frequency Converting Devices Using the NFA (5989-0400EN)
- Non-Zero Noise Figure After Calibration (5989-0270EN)

- [Noise Figure Measurement Comparison Webinar](#)

SRK 2024



# Hvala za pozornost!

SRK 2024



# Časovna sinhronizacija v omrežju 5G

## *Synchronization in 5G network*

Božo Mišović

Zenlab

[bozo.misovic@zenlab.si](mailto:bozo.misovic@zenlab.si)

### Povzetek

Glede na veliko število radijskih oddajnikov in manjhnih celic, ki so potrebne za doseg ustreznega pokrivanja s signalom 5G, je vitalnega pomena časovna sinhronizacijamed vsemi elementi 5G RAN. Omrežja 5G podpirajo tehnologijo TDD, kje obe povezavi (UL in DL) delujeta na isti frekvenci in kjer oblikovanje antenskega diagrama omogoča usmerjeno komunikacijo do mobilnih uporabnikov in IoT naprav, senzorjev, strojev, robotov in povezanih avtomobilov. V 5G so vpeljane še druge tehnologije, kot je tehnologija dinamičnega delitve spektra (DSS), združevanje nosilnikov (CA) in masovni MIMO, ki vse zahtevajo izredno dobro časovno sinhronizacijo.

### Abstract

*Given the large number of radio transmitters and small cells required to achieve adequate 5G signal coverage, time synchronization between all 5G RAN elements is vital. 5G networks must support TDD technology, where both links (UL and DL) operate on the same frequency and where antenna pattern design enables targeted communication to mobile users and IoT devices, sensors, machines, robots and connected cars. 5G introduces other technologies such as Dynamic Spectrum Sharing (DSS), Carrier Aggregation (CA) and Massive MIMO, all of which require extremely good time synchronization.*

### Biografija avtorja



**Božo Mišović** je leta 1977 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, smer Telekomunikacije. Prvo delovno razmerje je nastopil v podjetju Iskra Elektrozveze, na področju domače

proizvodnje naprav za prenos podatkov. V času tržne transformacije podjetij je kot tehnični direktor pomagal pri ustanovitvi podjetja Smartcom in nadaljeval deset let v podjetju SRC.SI, kot vodja programa za WAN komunikacije. Delo je nadaljeval v podjetju Mobitel, kjer je opravljal delo tehničnega strokovnjaka. Od leta 2001 je deloval na uvajanju tehnologij GPRS/UMTS/HSPA/LTE. Od leta 2015 deluje kot zunanji svetovalec v podjetjih Projekt IP, EIMV, Stelkom in sedaj Zenlab.

### Author's biography

*Božo Mišović graduated at the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana in 1977. His first employment was at Iskra Elektrozveze in 1976. He helped to set-up the new data communications company Smartcom, where he worked as technical director. In 1992, he joined company SRC.SI as WAN support manager where he worked on Novel, Microsoft and Cisco equipment. In 2001 he started to work in company Mobitel on GPRS/UMTS/HSPA/LTE support. He retired in 2015 and then continued working in companies Projek IP, EIMV, Stelkom, and Zenlab as external associate for mobile networks.*

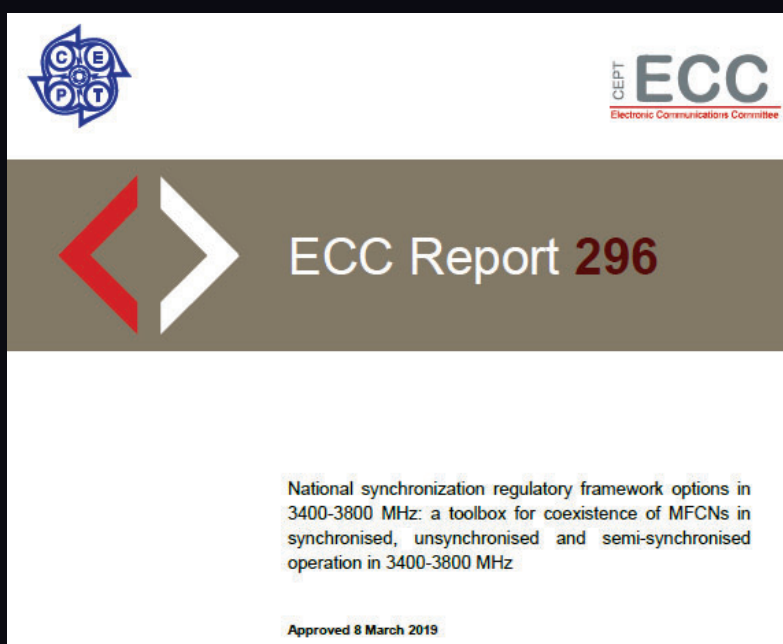
# Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



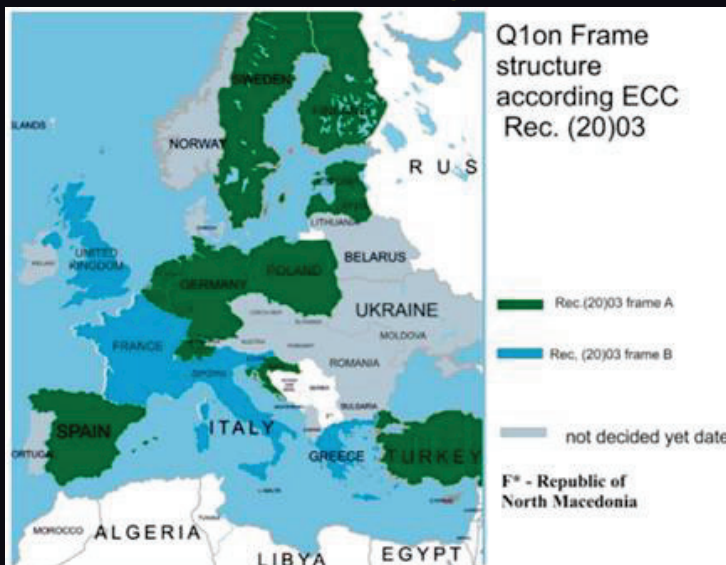
- **Božo Mišović**

- IP svetovalec za brezžične tehnologije, ZENLAB d.o.o.
- Email: [bozo.misovic@zenlab.si](mailto:bozo.misovic@zenlab.si)
- GSM: +386 41 736 830

## ECC časovna sinhronizacija za 5G omrežja:



# AKOS časovna sinhronizacija za 5G omrežja:



Sinhronizacija v sosednjih državah:

[https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/11/RSPG21-042final-progress\\_report\\_good\\_offices.pdf](https://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2021/11/RSPG21-042final-progress_report_good_offices.pdf)

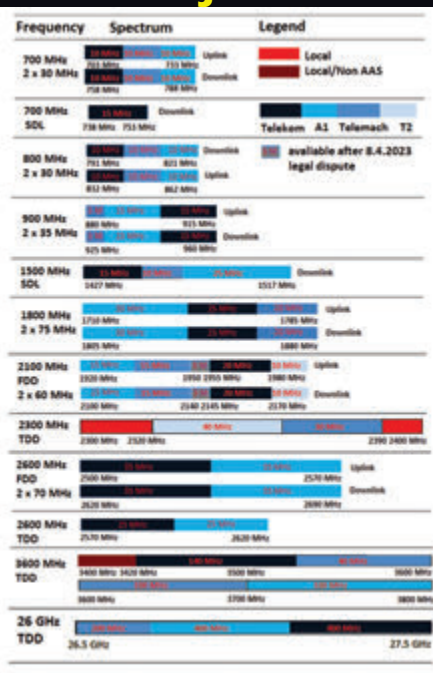


3. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

# AKOS javni razpis za dodelitev rasdijskih frekvenc:



**JAVNI RAZPIS Z JAVNO DRAŽBO  
ZA DODELITEV RADIJSKIH FREKVENC  
ZA ZAGOTAVLJANJE JAVNIH  
KOMUNIKACIJSKIH STORITEV KONČNIM  
UPORABNIKOM  
V RADIOFREKVENČNIH PASOVIH  
700 MHz, 1500 MHz, 2100 MHz,  
2300 MHz, 3600 MHz IN 26 GHz**



4. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji





Št.: 38144-5/2020/2  
Datum: 17. 12. 2020

### A.3.4 Frekvenčni pas 2300 MHz

Do 31. 12. 2025 bo obvezna sinhronizacija po privzeti sinhronizacijski shemi **okvir B (»DD DS UU DD DD«)** iz ECC Priporočila (20)03<sup>[1]</sup>, ki zagotavlja, da imata LTE in novi radio (ang. *New Radio* – NR) usklajen začetek okvirja v trajanju okvirja 5 ms. V letu 2025, ko se pričakuje, da bo implementacija 5G NR v celoti izvedena, bodo lahko imetniki ODRF-jev v tem pasu predlagali drugo usklajeno shemo. V kolikor Agencija glede tega do 30. 9. 2025 s strani imetnikov ODRF-jev v tem pasu ne bo prejela usklajenega predloga, bo po uradni dolžnosti določila okvir A iz ECC poročila (20)03. Agencija bo določila shemo in po uradni dolžnosti spremenila vse ODRF-je v tem pasu. Imetniki bodo morali prilagoditi sinhronizacijsko shemo novi shemi ali uporabljati zaščitni pas znotraj svojega pridobljenega spektra v tem radiofrekvenčnem pasu.

Privzeta časovna usklajenost omrežij<sup>[2]</sup> je preko globalnih navigacijskih satelitskih sistemov GNSS skladno s povzetkom ECC poročila 216<sup>[3]</sup> in ECC Poročila 296<sup>[4]</sup>

Če se bodo imetniki ODRF-jev drugače dogovorili, bodo lahko uporabljali drugo časovno usklajenost omrežij oziroma drugo shemo. V primeru motenj pa bodo morali preiti na privzeto shemo/časovno usklajenost omrežij.

5. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



Št.: 38144-5/2020/2  
Datum: 17. 12. 2020

### A.3.5 Frekvenčni pas 3600 MHz

Do 31. 12. 2025 bo obvezna sinhronizacija po privzeti **sinhronizacijski shemi okvir B (»DD DS UU DD DD«)** iz ECC Priporočila (20)03, ki zagotavlja, da imata LTE in NR usklajen začetek okvirja v trajanju okvirja 5 ms. V letu 2025, ko se pričakuje, da bo implementacija 5G NR v celoti izvedena, bodo lahko imetniki ODRF-jev v tem pasu predlagali drugo usklajeno shemo. Pri določitvi nove sinhronizacijske sheme bo Agencija upoštevala predlog imetnikov, ki bodo na javnem razpisu v tem radiofrekvenčnem pasu pridobili 80 MHz spektra ali več. V kolikor Agencija glede tega do 30. 9. 2025 s strani imetnikov ODRF-jev v tem pasu ne bo prejela usklajenega predloga, bo po uradni dolžnosti določila okvir A iz ECC poročila (20)03. Agencija bo določila shemo in po uradni dolžnosti spremenila vse ODRF-je v tem pasu. Imetniki bodo morali prilagoditi sinhronizacijsko shemo novi shemi ali uporabljati zaščitni pas znotraj svojega pridobljenega spektra v tem radiofrekvenčnem pasu.

Privzeta časovna usklajenost omrežij<sup>[1]</sup> je preko globalnih navigacijskih satelitskih sistemov GNSS skladno s povzetkom ECC poročila 216 in ECC Poročila 296.


Če se bodo imetniki ODRF-jev drugače dogovorili, bodo lahko uporabljali drugo časovno usklajenost omrežij oziroma drugo shemo. V primeru motenj pa bodo morali preiti na privzeto shemo/časovno usklajenost omrežij.

Sinhronizacijo/časovno usklajenost ob državni meji ureja priporočilo ECC(15)01 verzija 2020, A5.1.1 čezmejna koordinacija, ki temelji na sinhronizaciji.

6. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji







**AKOS**

Št.: 38144-5/2020/2  
Datum: 17. 12. 2020


Poročilo ECC 307, poglavje 3.3 – Struktura okvirja – zaključuje, da večina sklepov glede sinhronizacije za pas 3400 – 3800 MHz velja tudi za 26 GHz pas, npr. struktura in dolžina okvirja imata enak vpliv na zakasnitve. Razlika je v tem, da v 26 GHz pasu ni LTE opreme, zato ni potrebno upoštevati sinhronizacije LTE in NR okvirjev.

Do 31. 12. 2025 bo obvezna sinhronizacija za delovanje zunaj zgradb in izven prireditvenih prostorov po privzeti sinhronizacijski shemi okvir B (»DD DS UU DD DD«) z ECC Priporočila (20)03, ki zagotavlja, da imata LTE in NR usklajen začetek okvirja v trajanju okvirja 5 ms, ali pa sinhronizacija, ki jo bodo v soglasju predlagali vsi imetniki ODRF-jev za ta radiofrekvenčni pas. V letu 2025, ko bo implementacija 5G NR v celoti izvedena, bodo lahko imetniki ODRF-jev v tem pasu predlagali drugo usklajeno shemo. Pri določitvi nove sinhronizacijske sheme bo Agencija upoštevala predlog imetnikov, ki bodo na javnem razpisu pridobili 400 MHz spektra v tem radiofrekvenčnem pasu ali več. V kolikor Agencija glede tega do 30. 9. 2025 s strani imetnikov ODRF-jev v tem pasu ne bo prejela usklajenega predloga, bo po uradni dolžnosti določila okvir A iz ECC poročila (20)03. Agencija bo določila shemo in po uradni dolžnosti spremenila vse ODRF-je v tem pasu. Imetniki bodo morali zunaj zgradb in izven prireditvenih prostorov prilagoditi sinhronizacijsko shemo novi shemi ali uporabljati zaščitni pas znotraj svojega pridobljenega spektra v tem radiofrekvenčnem pasu. Za delovanje v notranjosti zgradb in prireditvenih prostorov sinhronizacija ni obvezna. Morebitne motnje je potrebno preprečiti. En izmed načinov je uporaba aktivnih antenskih sistemov z usmerjenimi antenskimi snopi (angl. *Beamforming*) tako na strani oddajnika kot na strani sprejemnika.

Privzeta časovna usklajenost omrežij<sup>1</sup> je preko globalnih navigacijskih satelitskih sistemov GNSS skladno s povzetkom ECC poročila 216 in ECC Poročila 296.

Če se bodo imetniki ODRF-jev drugače dogovorili, bodo lahko uporabljali drugo časovno usklajenost omrežij oziroma drugo shemo. V primeru motenj pa bodo morali preiti na privzeto shemo/časovno usklajenost omrežij.

Če bodo imetniki ODRF-jev uporabljali pol-sinhronizirana ali ne-sinhronizirana omrežja, bodo morali slediti navodilom iz ECC poročila 307, poglavje 7 – Sklep.



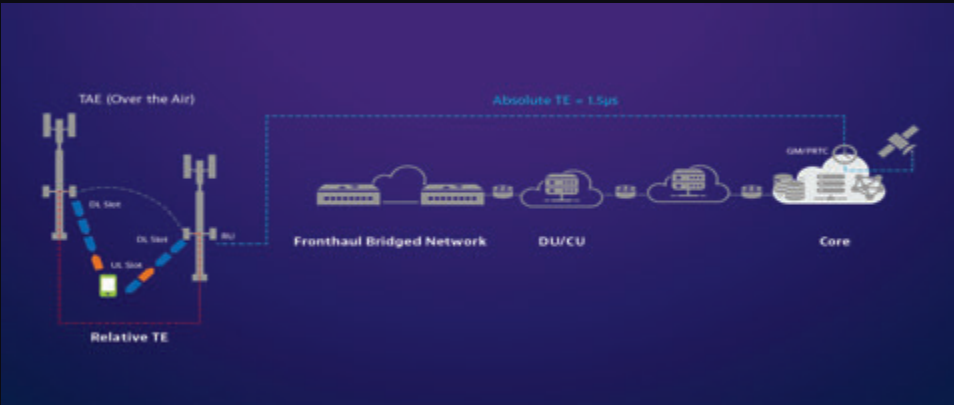
7.
SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## Zakaj je kritična časovna sinhronizacija pomembna za 4G/5G TDD omrežja:


Koncept časovne sinhronizacije ni nekaj novega v brezžičnih komunikacijah predhodnih mobilnih generacij (2G, 3G, 4G), ki so vse zahtevale neizogibno stopnjo časovne sinhronizacije za pravilno izvajanje “izročanja”/handover uporabniških brezžičnih mobilnih naprav med baznimi postajami!

5G prinaša veliko bolj striktno in strogo zahteve v brezžičnih mobilnih omrežjih, ki zahteva nanosekundne časovne intervale, med različnimi element v Radio Access Network/RAN omrežju!

TE (Time Error)  
TAE (Time Absolute Error)



8.
SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## Zakaj je časovna sinhronizacija kritična v 4G/5G TDD omrežjih (1):

Glede na večje število radijskih oddajnikov in manjših celic, potrebnih za doseg ustreznega pokrivanja 5G signalom, je vitalnega pomena časovna sinhronizacija/»in-synch« med vsemi 5G RAN elementi! 5G omrežja glede časovne natančnosti, morajo podpirati TDD/Time Division Duplex tehnologijo, kje oba UL/Uplink in DL/Downlink linka delujeta na isti frekvenci in kje oblikovanje sevalnega snopa omogoča sevanje usmerjeno do večih mobilnih uporabnikov in IoT naprav;

- senzorjev, strojev, robotov in povezanih avtomobilov!

Pri 5G so vpeljane še natanjše nove tehnologije; kot je DDS/Dynamic Spectrum Sharing tehnologija, CA/Carrier Aggregation in masivni MIMO, ki vse zahtevajo izredno dobro časovno sinhronizacijo!



9. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## Zakaj je časovna sinhronizacija kritična v 4G/5G TDD omrežjih (2):

Nove TDD tehnologije dvigujejo nivo kompleksnosti v omrežnih brezžičnih mobilnih tehnologijah, ki niso bile zaznane v predhodnih mobilnih generacijah!

Naprimera:

- TDD koristi eno frekvenco za oba Downlink in Uplink usmerjena linka. V vsaki od smeri prenosa je potrebno oddajati v določenih časovnih okvirjih, kje je potrebno zagotoviti časovno sinhronizacijo znotraj frekvenčnega in faznega delovanja, med uporabniškimi napravami!

Radijski oddajniki so kritična infrastruktura za zagotavljanje korektno časovne sinhronizacije znotraj frekvenčnega in faznega delovanja, med uporabniškimi napravami! Radijski oddajniki so kritična infrastruktura za zagotavljanje korektnega časovno usklajenega/sinhroniziranega delovanja med Downlink/Uplink smeri oddajanja in nesme prihajati do prekrivanja časovnih okvirjev med njima!



10. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## Zakaj je časovna sinhronizacija kritična v 4G/5G TDD omrežjih (3):

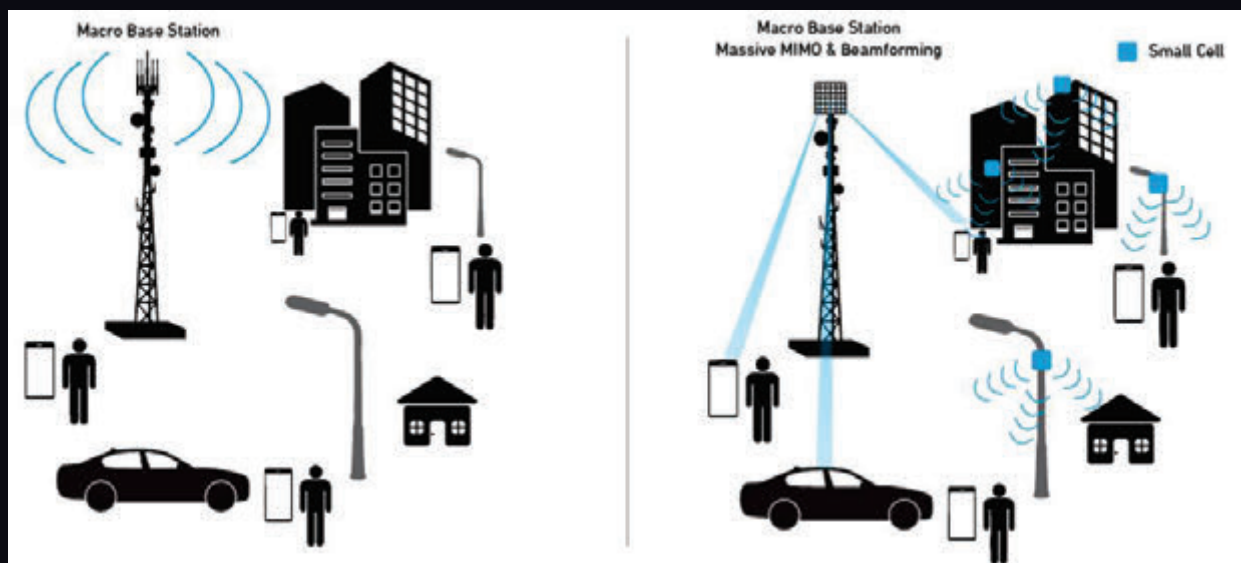
- Razvoj velikega števila majhnih 5G celic je veliki izziv in potreba po časovni sinhronizaciji. Če nebi bilo zagotovljene potrebne časovne referenčne usklajenosti, lahko pride do prekrivanja/interference radijskih signalov med celicami, ki vplivajo na radijske performace. Tematika časovne usklajenosti vpliva tudi na celični usmerjevalnik, ki vpliva na usklajenost delovanja radijskih oddajnikov.
- Neustrezna časovna sinhronizacija vpliva na povečanja napak v izročanju/handover delovanja med celicami, ter popačenju oddajnih podatkov, slabši propustnosti in zmanjvanju kvalitete govora, ter vpliva na ostala 5G omrežja.

11.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## Napredne tehnologije prinašajo kompleksnost s 4G/5G TDD omrežno sinhronizacijo:



12.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## Potreba po uveljavitvi 4G/5G TDD časovne uskladitve:

### Scenariji:

S razvojem 5G radija in uvajanjem faznega vklapljanja majhnih celic, operatorji morajo biti prepričani že od prvega dne glede časovnih uskladitev in zanesljivosti, ter pripravljenosti za nadaljnje nadgradnje in širitve. Potrebna je ustrezna propustnost za nadzor in upravljanje ter faz preverjanja, kje je potrebno s strani operaterjev eliminirati veliko število spremenljivk, potrebnih za hitro ugotavljanje usmerjevanih tematskih primerov.

Ko se začne izvajati preverjanje, na sum RF performančnih sistemov, glede na časovno tematiko, je potrebno v prvem koraku zagotoviti časovno natančnost, preden se nadaljujejo nadaljnji testi preostalih elementov v omrežju.

13.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## Načini 4G/5G TDD časovne omrežne sinhronizacije:

Obstaja več načinov zagotavljanja sinhronizacije vsakega omrežnega elementa skupno za frekvenco in fazo:

1. Prva opcija; je uporaba **GGSN** sprejemnika za vsako celico, ki je "prednostno izbrana metoda" za trenutne razmere v posameznih regijah, ki zahteva nanosekundne (ns) časovne intervale, med različnimi element v Radio Access Network/RAN omrežju!
2. Druga opcija; uvajanje **5G 1588 PTP (Precision Time Protocol)**: ki v osnovni razlagi uporablja IP/Ethernet switching/routing za distribucijo informacijsko visoke časovne natančnosti za vsak element skozi mobilno omrežje, ki zahteva sinhronizacijo s natančnostjo 1 μs, ki omogoča full-tolerance v primeru časovnih napak. (Dostop preko **NTP serverja**)! Network Time Protocol (NTP) je **internet protocol za sinhronizacijo časonega izvora v IP omrežje**, ki pripada TCP/IP protokolu.

14.

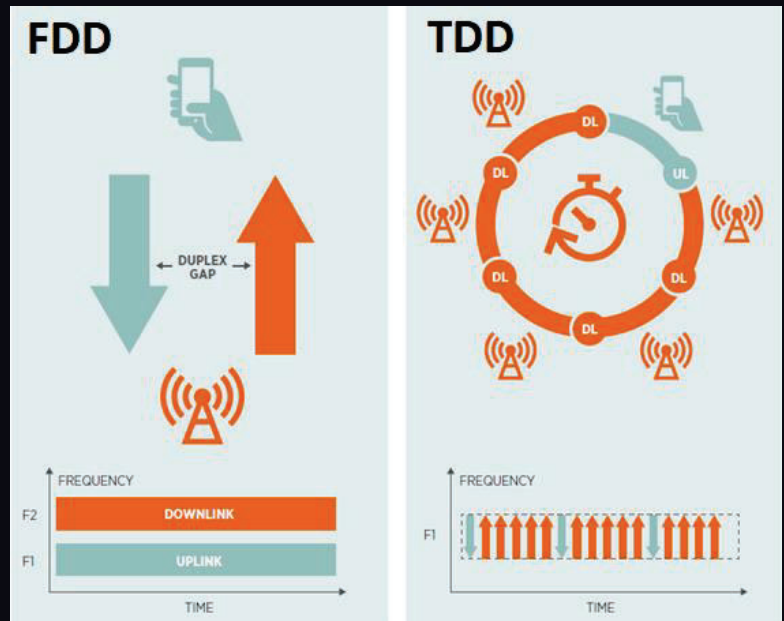
SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## 4G/5G FDD vs TDD:

Sinhronizacija med TDD mobilnimi omrežji se izvaja z namenom izogibanja interferencam s posredovanjem ustreznih parametrov, ki zagotavljajo sosednjim omrežjem istočasno pošiljanje in sprejem podatkov, s strani mobilnih in fiksnih naprav.

Brez ustrezne sinhronizacije na nacionalnem nivoju med operaterji, bi bila nemogoča postavitve omrežij brez performančnih vplivov v primerih interferenc. Ustrezna časovna sinhronizacija je najbolj pomemben in potreben pozoren razmislek pred dodelitvijo frekvenčnega spektra.



15.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## DOGOVORJENI SINHRONIZACIJSKI PARAMETRI:

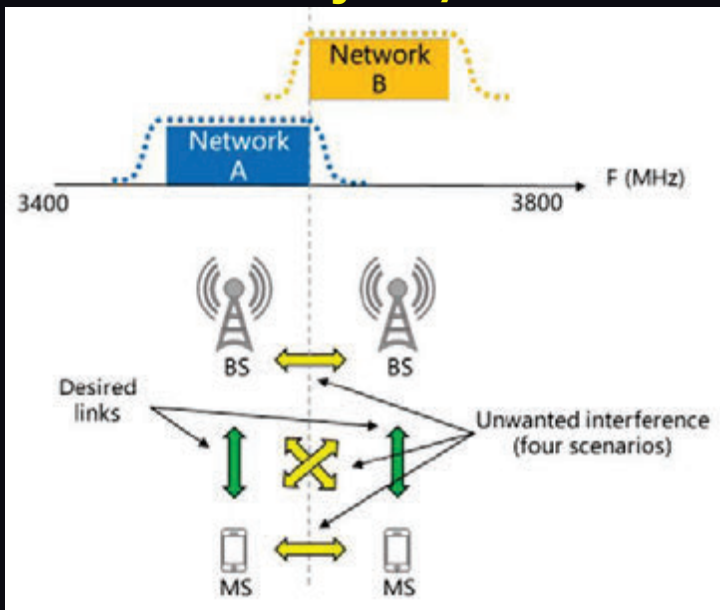
1. A common phase clock reference (e.g. UTC - Coordinated Universal Time) and its accuracy
2. A common frame structure as defined by 3GPP TS 38.211 V16.0.0 (2019-02):
  - a. Selection of a timing reference (beginning of the frame)
  - b. Selection of a frame format
  - c. Selection of SubCarrier Spacing (SCS)
  - d. Selection of normal or extended prefix
  - e. Selection of a special slot configuration

16.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

# Potreba po časovni omrežni sinhronizaciji 4G/5G TDD:

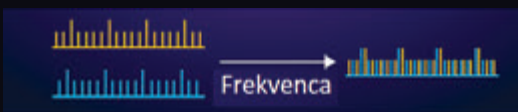
Interferenčni scenarij v primerih istočasnih UL/DL prenosov v MFCN TDD omrežjih!



# Načini časovnih sinhronizacij:

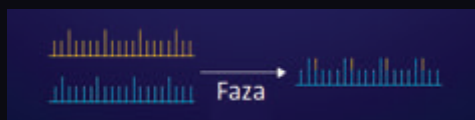
## Frekvenčna sinhronizacija:

Dve časovni uri se poravnajo v pogojih Frekvenčno ponavljajočih intervalov, toda ne v primeru faze in časa:



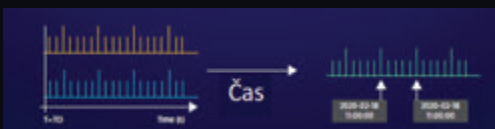
## Fazna sinhronizacija:

Dve časovni uri se poravnajo poravnajo v pogojih Frekvenčne in Fazne (v sekundnih intervalih), toda ne v časovnem primeru:



## Časovna sinhronizacija:

Dve časovni uri se poravnajo v pogojih Frekvenčno, Fazno in Časovno ponavljajočih se intervalov:





# Frekvenča in fazna MFCN sinhronizacija:

MFCN=Mobile/Fixed Communications Network

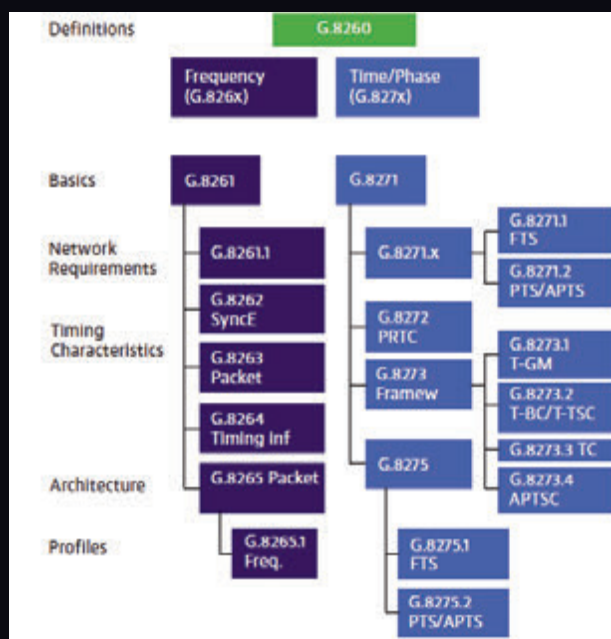
Technology	Parameter	
	Frequency accuracy relatively to the reference oscillator	Phase accuracy relatively to the reference clock
GSM, UMTS, WCDMA, LTE-FDD	50 ppb	N/A
LTE-TDD	50 ppb	±1.5 μs (for cell radius ≤ 3 km)
	50 ppb	±5 μs (for cell radius > 3 km)
5G-NR	50 ppb	±1.5 μs

Radio Technology	Frequency Sync	Time/Phase Sync
GSM	50-100 ppb	
CDMA 2000		3-10 μs
UMTS/WCDMA-FDD	50-100 ppb	
WCDMA-TDD		3 μs
LTE-FDD	50-100 ppb	
LTE-TDD	50-100 ppb	3-10 μs



# Standardi frekvenčne/časovne sinhronizacije:

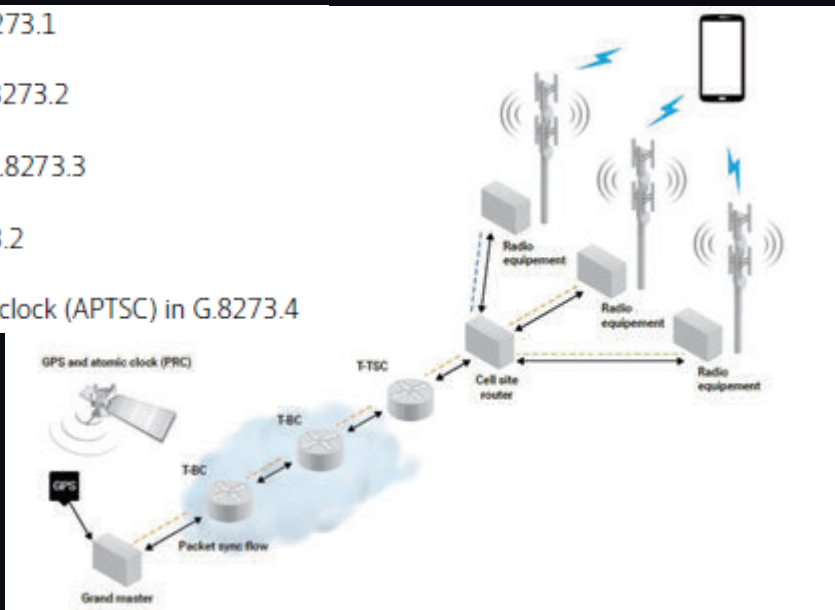




## Shema GPS 5G časovne sinhronizacije:

- Telecom grand master (T-GM) in G.8273.1
- Telecom boundary clock (T-BC) in G.8273.2
- Telecom transparent clock (T-TC) in G.8273.3
- Telecom slave clock (T-TSC) in G.8273.2
- Assisted partial timing support slave clock (APTSC) in G.8273.4

PRC: Primary Reference Clock

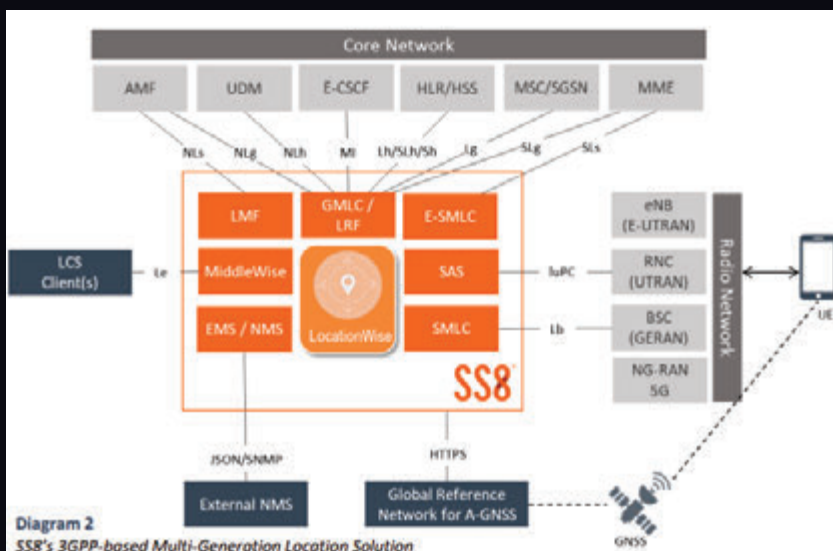


21.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## SS8 GPS časovna sinhronizacija:

SS8's LocationWise product suite offers a complete, 3GPP/ETSI-compliant Control Plane location solution. Ready out-of-the-box to fulfill emergency services or law enforcement requirements across all network generations.



22.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

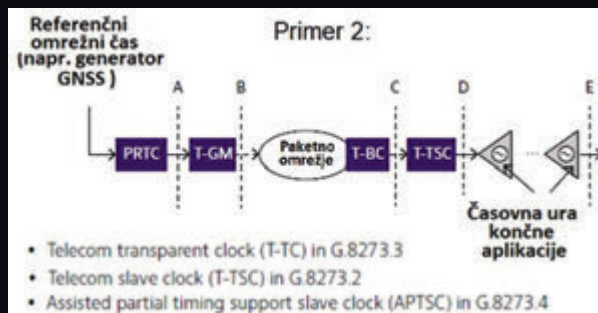
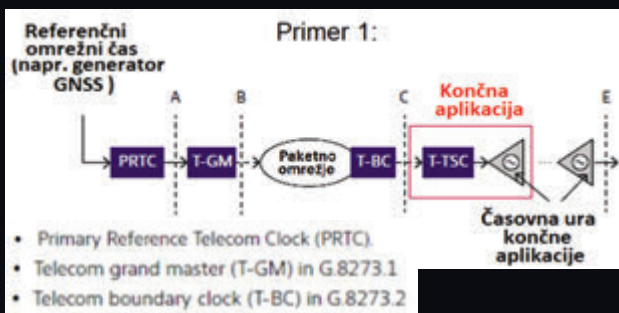
SS8 provides communication service providers compliant and scalable law interception solutions designed for real-time monitoring and extraction

Signaling System 7 (SS7) is an international telecommunication protocol standard that defines how the network elements in a public switched telephone network (PSTN) exchange information and control signals.

Location Services Acronyms	
A-GNSS	Assisted GNSS
AMF	Access & Mobility Management Function
E-CSCF	Emergency Call Session Call Function
EMS	Element Management System
E-SMLC	Enhanced SMLC
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Network
GMLC	Gateway Mobile Location Center
GNSS	Global Navigation Satellite System
HLR	Home Location Register
HSS	Home Subscriber Server
NMS	Network Management System
LMF	Location Management Function
LRF	Location Retrieval Function
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobile Switching Center
NMS	Network Management System
NG-RAN	Next Generation Radio Access Network
PSAP	Public Safety Answering Point
RNC	RAN Network Controller
SAS	Standalone SMLC
SMLC	Serving Mobile Location Center
UDM	Unified Data Management



## ITU-T G.8271.1 standard časovne sinhronizacije:



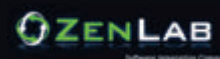
ITU-T G.8271.1 (Omrežni limiti za časovno sinhronizacijo v paketnih omrežjih) specificirajo maksimum omrežnih limitov za fazne in časovne napake. Specificira toleračni maksimum naprav do faznih in časovnih napak, ki se zgodijo na medspojih pri združevanju paketnih omrežji pri fazni in časovni sinhronizaciji. Določa tudi maksimum izhodnih zahtev sinhronizacijskih funkcij omrežnih elementov. Te naslovljene zahteve se koristijo tudi za popolno časovno podporo, pri čem je mišljeno, da vsi omrežni elementi med PTP-M in PTP-S so PTP povsod. Timing Protocol". Limiti so definirani za dva osnovna primera:

Razporeditev v primeru 1: Telekom Time Slave Clock (T-TSC) je integriran v končno aplikacijo.

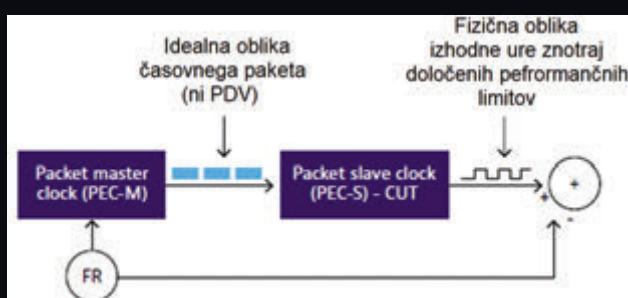
Razporeditev v primeru 2: T-TSC je nameščen zunanji končne aplikacije.

23.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## ITU-T G.8263 časovni standard frekvenčne sinhronizacije:



ITU-T G.8263 standard je zasnovan na časovnih karakteristakah paketno vsebovanih ur (clocks) na osnovi PEC-M (Master) in PEC-S (Slave) funkcionalnostih, ki opisuje minimalne zahteve časovnih funkcionalnosti na PEC-S paketih!

Zahteve so definirane v štirih merilnih kategorijah:

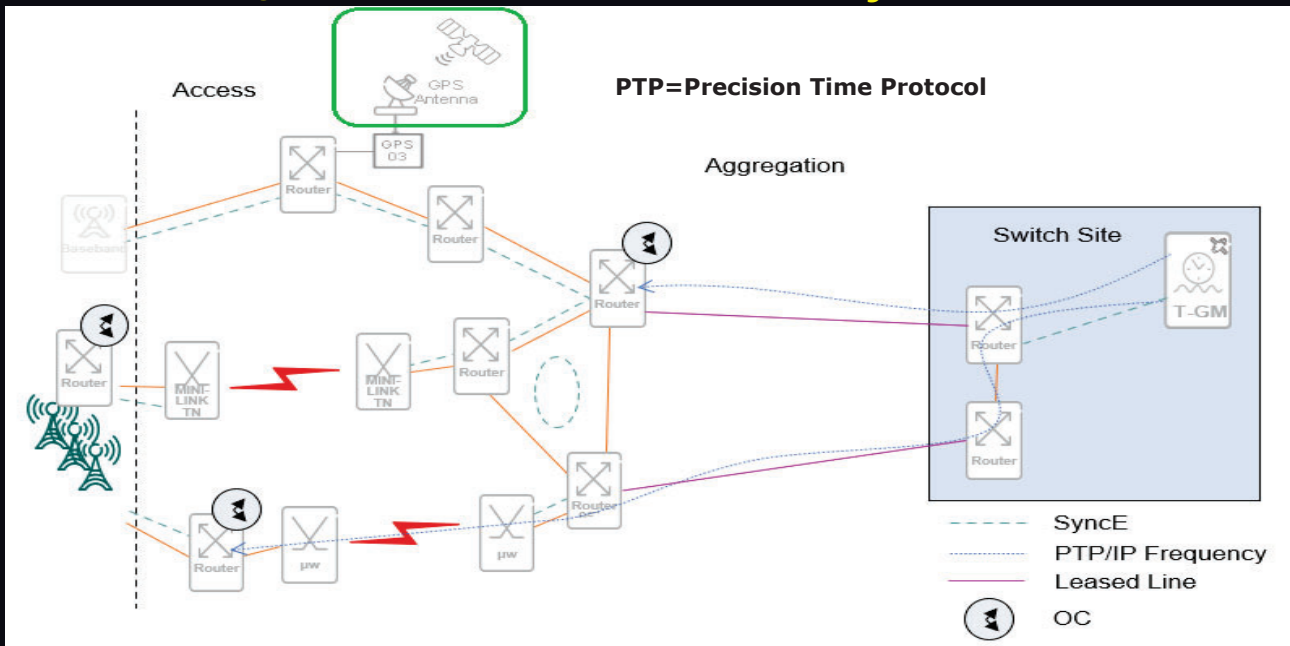
1. Natančnost izhodne frekvence < 4,6 ppm (ppm=parts per milion)/prosto tekoči pogoj
2. Generiranje izhodnega šuma
3. PDV/Packet Delay Variation toleračni šum: tolerirani nivo šuma (PEC-S-F)  
PEC-S-F Packet-based Equipment Clock – Slave – Frequency (je definiran znotraj G.8261.1 PDV limitov)
4. Long-term prehodni fazni odziv

24.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

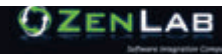


### Shema GPS 5G frekvenčne PTP sinhronizacije:

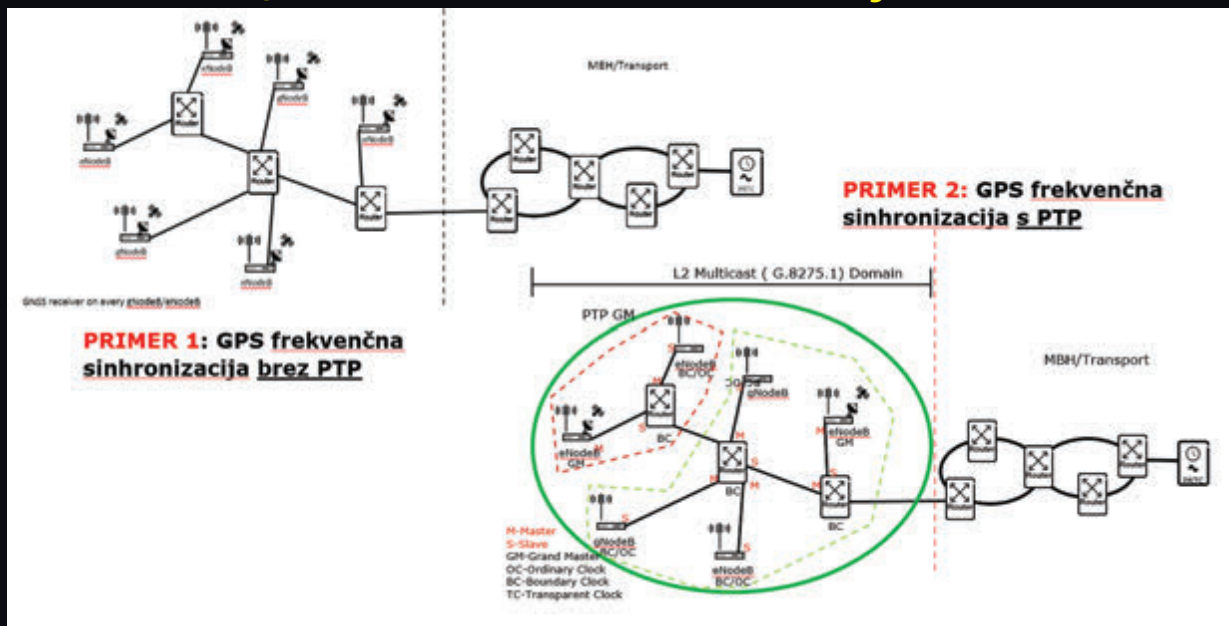


25.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



### Primeri GPS 5G frekvenčne PTP sinhronizacije:

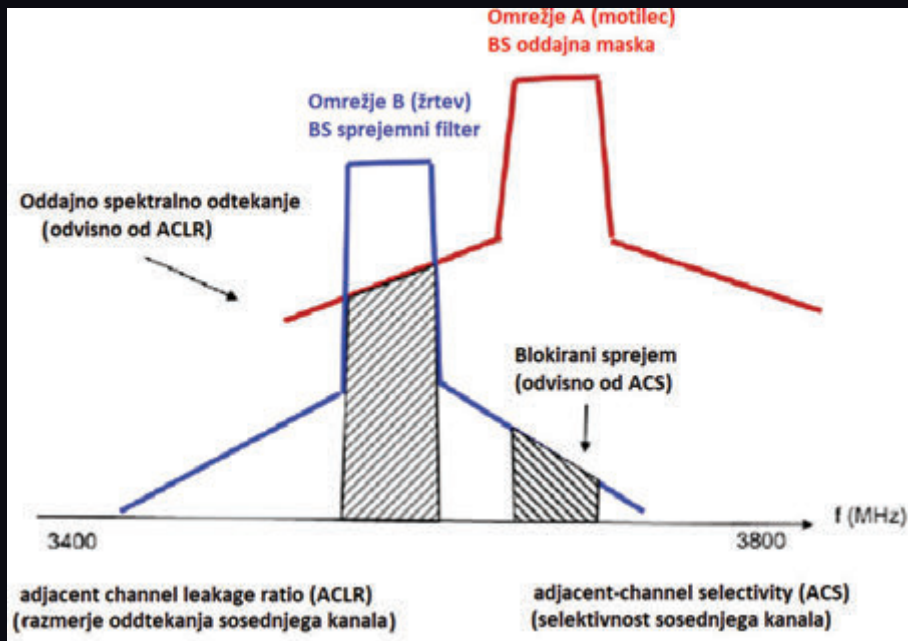


26.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## BS-BS interferenca DL/UL TDD:



27.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## Časovni Okvir-A/4:1 vs Okvir-B/8:2 TDD ECCREP(20)03:

	Frame A			Frame B		
DL/UL slot pattern	DDDSU DDOSU DDOSU DDOSU			DDOSUDDDD DDOSUDDDD		
	(see note 1)			(see notes 1, 4)		
Frame duration	10 ms			10 ms		
Slot Duration	0.5 ms			0.5 ms		
Slot pattern periodicity	2.5 ms			5 ms		
Special slot "S" configuration (i.e., DL-GP:UL symbols)	Downlink	Guard period	Uplink	Downlink	Guard period (note 5)	Uplink
	10	2	2	6	4	4
				4	6	4
Time base (see note 3)	Start of UTC second epoch (see note 2) +/- 1.5 $\mu$ s			Start of UTC second epoch (see note 2) +/- 1.5 $\mu$ s		

Note 1: D = Downlink slot, S = Special slot, U = Uplink slot  
 Note 2: UTC = Coordinated Universal Time in accordance with Recommendation ITU-R TF.460 [5]. The typical measuring signal is 1 pps (pulse-per-second) signal from the clock device with the rising-edge materializing the exact second epoch.  
 Note 3: The start of frame (defined as the beginning of the first slot in the UL/DL pattern of the Table 1) has to be phase-synchronised with the time base. The start of the radio frame on the output shall be synchronous with the input time reference, i.e., when an UTC traceable reference is required, the start of the radio frame shall be aligned with the start time of the UTC second epoch. A configurable time-offset of start frame shall be supported by all base stations in synchronized TDD-unicast areas in order to achieve interoperability in coexistence scenarios.  
 Note 4: In terms of DL/UL slot pattern DDOSUDDDD half-frame B is equivalent to the DDDDDDDOSUU half-frame when a -2 ms or +3 ms time offset is applied. This means that, instead of frame B, operators may choose to implement two consecutive DDDDDDDOSUU half-frames with proper time offset.  
 Note 5: As mentioned in considering (b), different guard period sizes can still be implemented while retaining synchronised operation. It should be noted that the size of the guard period defines a corresponding geographical area where synchronised operation is effective. Increasing this guard period also increases the size of the synchronised area at the expense of some capacity loss and may contribute to solve some specific interference issues between far-away sites in line-of-sight with exceptional propagation conditions.

**ANNEX 2: LIST OF REFERENCES**  
 This annex contains the list of relevant reference documents.

- [1] ECC Decision (11)06: "Harmonised technical and regulatory conditions for the use of the bands 3400-3600 MHz and 3600-3800 MHz for MFCN", approved December 2011, latest amended October 2018
- [2] ECC Report 296: "National synchronisation regulatory framework options in 3400-3800 MHz: a toolbox for coexistence of MFCNs in synchronised, unsynchronised and semi-synchronised operation in 3400-3800 MHz", approved March 2019
- [3] ECC Recommendation (15)01: "Cross-border coordination for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the frequency bands: 694-790 MHz, 1427-1518 MHz and 3400-3800 MHz", approved February 2016, latest amended February 2020
- [4] ECC Report 216: "Practical guidance for TDD networks synchronisation", approved August 2014
- [5] Recommendation ITU-R TF.460: "Standard-frequency and time-signal emissions"

Table 1 defines the two frame structures (Frame A and Frame B) for TDD MFCN in order to facilitate cross-border coordination in the frequency band 3400-3800 MHz. Frames are of 10 ms duration, divided into two equally-sized half-frames. Each frame consists of twenty slots. The number of consecutive symbols per slot is 14, for example, these might represent OFDM symbols in NR technology.

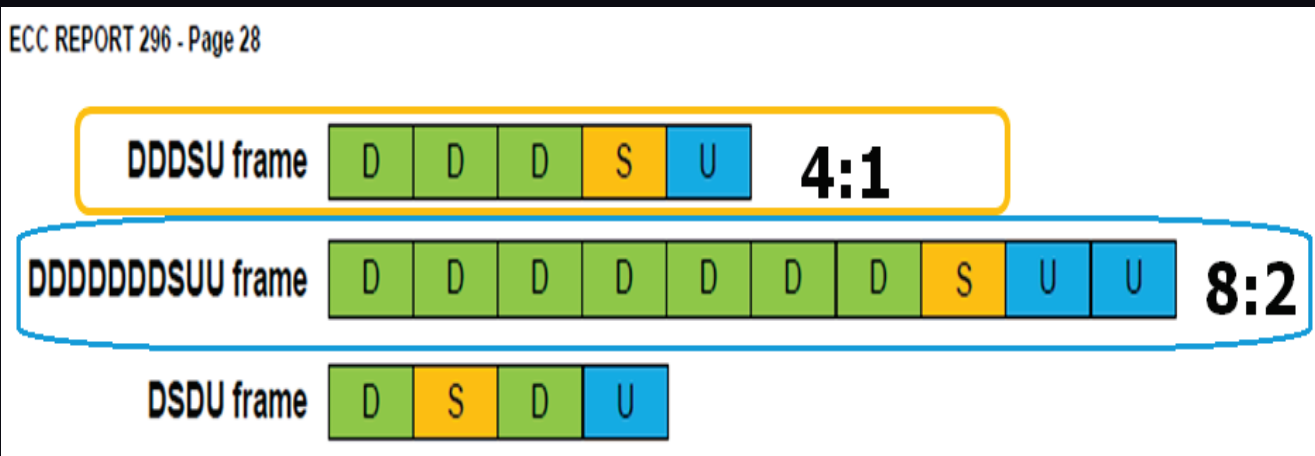


28.

SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



### 4:1 vs 8:2 časovni okvirji DL/UL TDD:



29. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

### Časovni Okvir-A/4:1 vs Okvir-B/8:2 TDD ECCREP216:

Table 6: LTE TDD uplink-downlink configurations

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number										%DL (min-max)
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
#0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U	24% - 37%
#1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D	44% - 57%
#2	5 ms <b>4:1</b>	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D	64% - 77%
#3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D	62% - 69%
#4	10 ms <b>8:2</b>	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	72% - 79%
#5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D	82% - 89%
#6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	34% - 47%

The "S" subframe itself is made of 3 parts: DwPTS (downlink pilot and data timeslot), GP (guard period) and UpPTS (uplink pilot timeslot). The following configurations are defined for this "S" subframe (where  $T_s = 32.55$  ns):



30. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

# Časovni okvirji TDD ECCREP216:

Format	Symbol number in a slot													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
2	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
5	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
7	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
8	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
9	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
10	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
11	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
12	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
13	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
14	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
15	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
16	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
17	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
18	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
19	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
20	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
21	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
22	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
23	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
24	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
25	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
26	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
27	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
28	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
29	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
30	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
31	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
32	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
33	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
34	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
35	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
36	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
37	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
38	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
39	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
40	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
41	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
42	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
43	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
44	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
45	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
46	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
47	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
48	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
49	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
50	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
51	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
52	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
53	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
54	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
55	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
56-254	Reserved													
255	255 UE determines the slot format for the slot based on tdd-UL-DL-ConfigurationCommon, tdd-UL-DL-ConfigurationDedicated, or tdd-UL-DL-ConfigurationDedicated and, if any, on detected DCI formats													



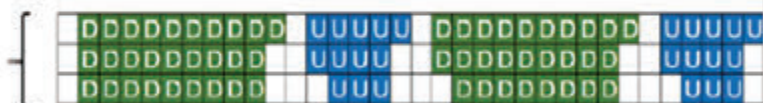
31. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

## Primeri istočasne oddaje DL/UL TDD časovnih okvirjev ECCREP216:

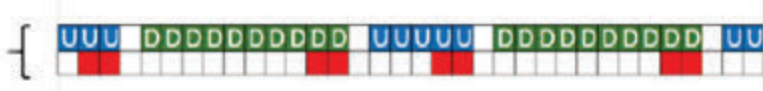
PRIVZETA časovna struktura



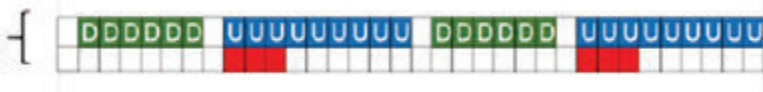
Primer osnovnih sinhroniziranih časovnih okvirjev: Kompatibilni okvirji nepovzročijo navzkrižnih link interferenc.



Primer osnovnih nesinhroniziranih časovnih okvirjev: Kompatibilne strukture okvirjev s različnimi začetki časovnih okvirjev, povzročijo navzkrižno interferenco



Primer osnovnih nesinhroniziranih časovnih okvirjev: Različne strukture okvirjev s enakimi začetki časovnih okvirjev povzročijo navzkrižno interferenco.



**D** Downlink  
**U** Uplink

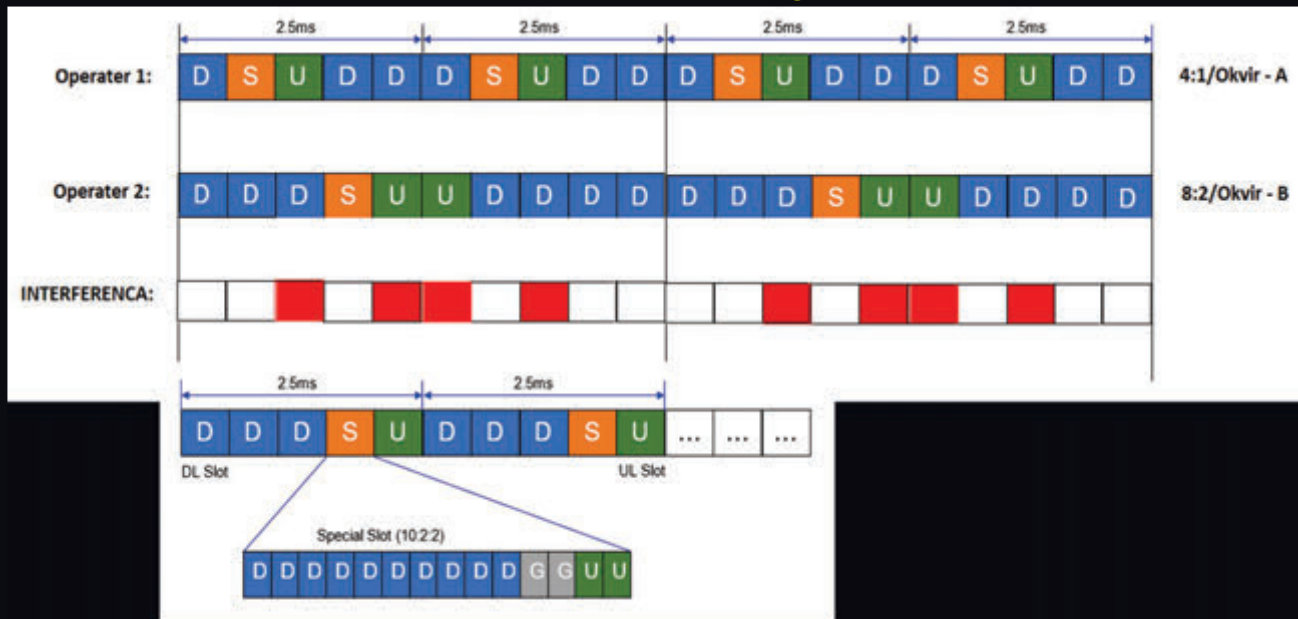
**Red block** Istočasna UL/DL transmisija  
**White block** Zaščitni okvir



32. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



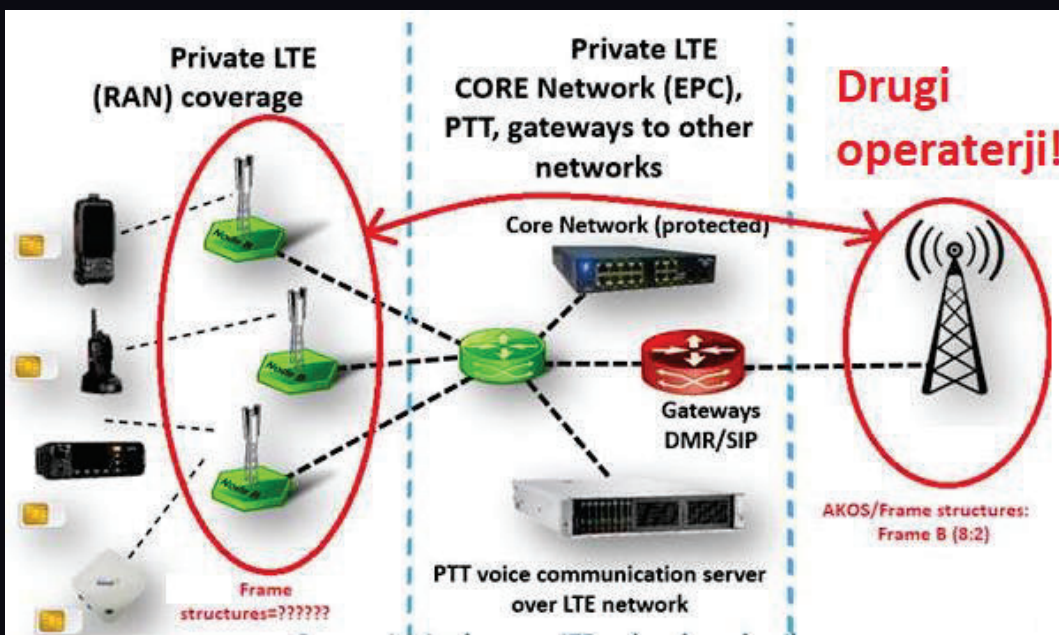
### Primeri INTEFERENCE Istočasne oddaje DL/UL TDD:



33. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



### Privat 4G/LTE TTD :



34. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdić | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji



## Primeri 4G/TTD časovne Strukture ponudnika Privat LTE TDD:

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Frame\_0=> DL=1/UL=3+S  
 Frame\_1=> DL=2/UL=2+S  
 Frame\_2=> DL=3/UL=1+S => CEPT Frame-A  
 Frame\_4=> DL=7/UL=2+S => CEPT Frame-B

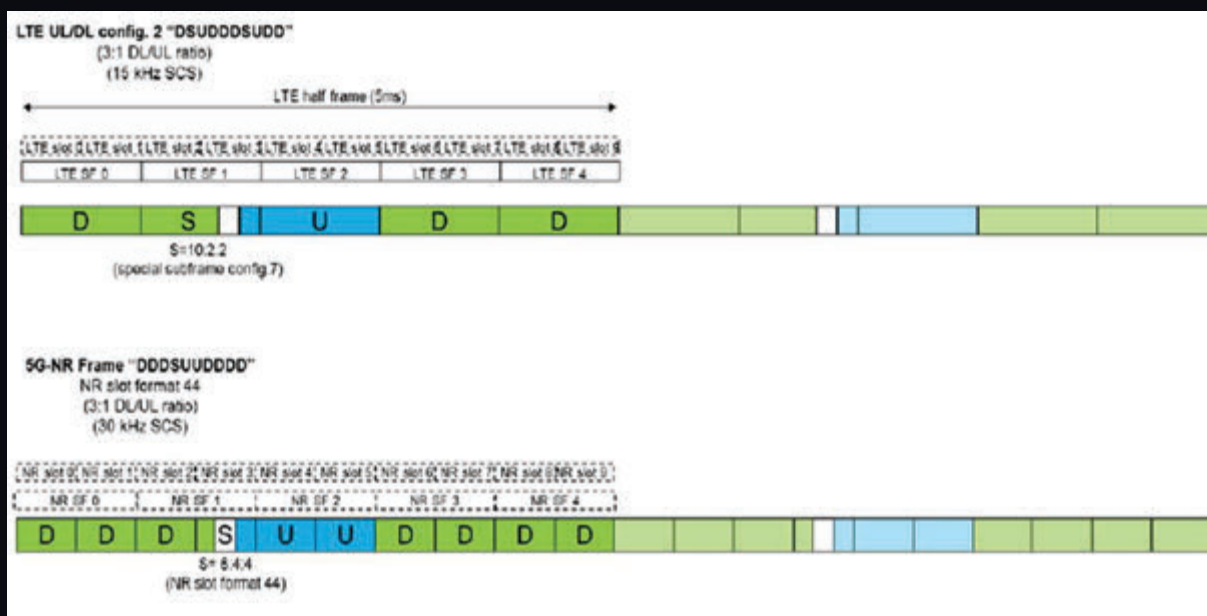
- Podpora kodne sheme; 0, 1, 2 :  
 Kodna shema:

- Frame\_0; => DL=1/UL=3 + S (UL=>Video stream IP kamer)!
- Frame\_1; => DL/UL 1:1 + S (UL/DL => obojesmerni Video)!
- Frame\_2; => DL=3/UL=1 + S (DL => INTERNET)!

**OPOMBA: AKOS dopušča možnost različnih "Frame structures" kodnih shem!!**



## 4G/LTE vs 5G/NR okvirjev DL/UL TDD:



# 5G/NR okvirji DL/UL TDD:



## 3600 MHz band

One 20 MHz block – local, One 80 MHz block – local, Three 100 MHz blocks – national



- Available from 22.9.2021 max. in accordance ZEKom-1
- Available from 22.9.2021 max. in accordance ZEKom-1 – local usage – other Public Tender

## 26 GHz (26.5 – 27.5 GHz)

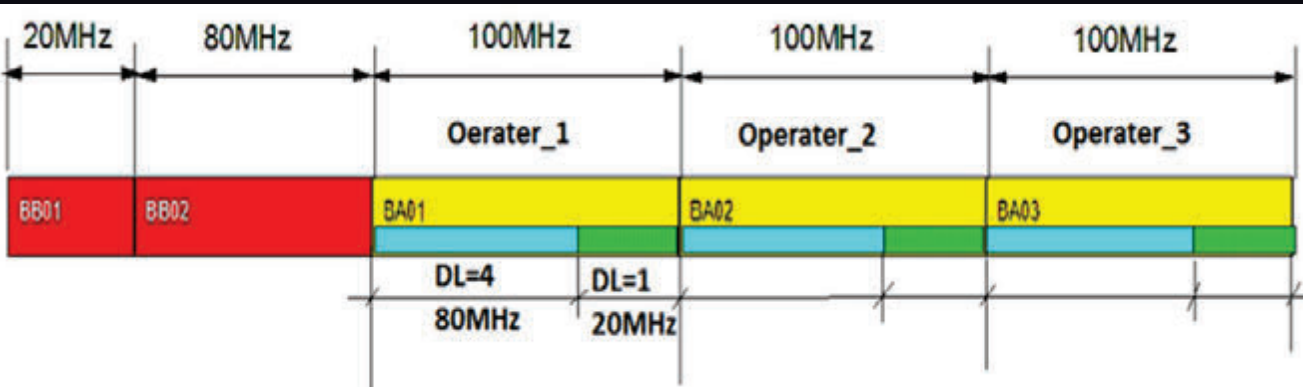
Two 400 MHz blocks – national, One 200 MHz block – national, Possible addition of BWA spectrum



- Available in accordance ZEKom-1



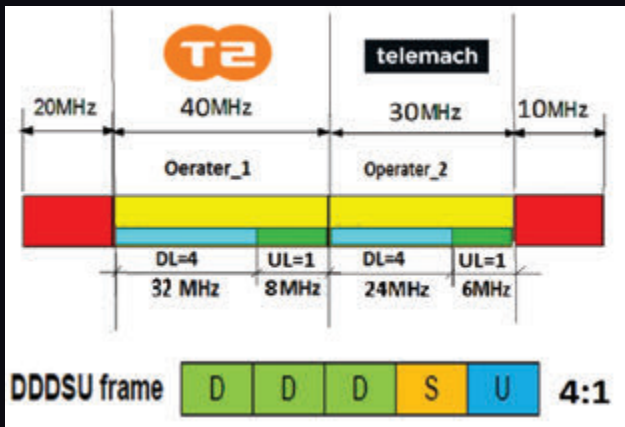
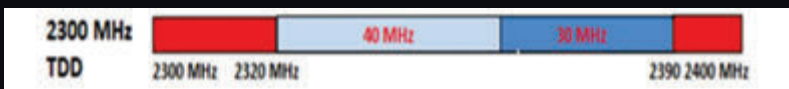
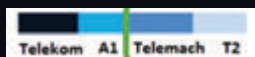
# 5G/NR okvirji 4:1 DL/UL TDD:



- Available from 22.9.2021 max. in accordance ZEKom-1
- Available from 22.9.2021 max. in accordance ZEKom-1 – local usage – other Public Tender



# AKOS/N40/2320MHz-2360MHz (40MHz)\_5G TDD:



IZRAČUNI: DDDSU => DL:UL = 4:1

5G TDD => MHz v => Mbps:  
5G => 10Gbps/200MHz  
UL=2Gbps/DL=8Gbps

AKOS/N78/3400MHz-3800MHz  
/100MHz/SLO operaterji=> 5Gbps

TS/Telemach/140MHz; UL=1,4Gbps/DL=5,6Gbps  
A1/100MHz; UL=1Gbps/DL=4Gbps

T2/40MHz => 2Gbps; 5 = 400Mbps/UL  
T2/N40/2320MHz-2360MHz (40MHz):

DDDSU => DL:UL = 4:1  
UL=0,4Gbps (400Mbps)/DL=1,6Gbps

Telemach/30MHz => 1,5Gbps; 5 = 300Mbps/UL  
Telemach/N40/2360MHz-2390MHz (30MHz):

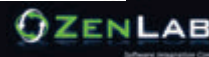
DDDSU => DL:UL = 4:1  
UL=0,3Gbps (300Mbps)/DL=1,5Gbps



# A1\_5G/Galaxy S22/REZULTATI (1):

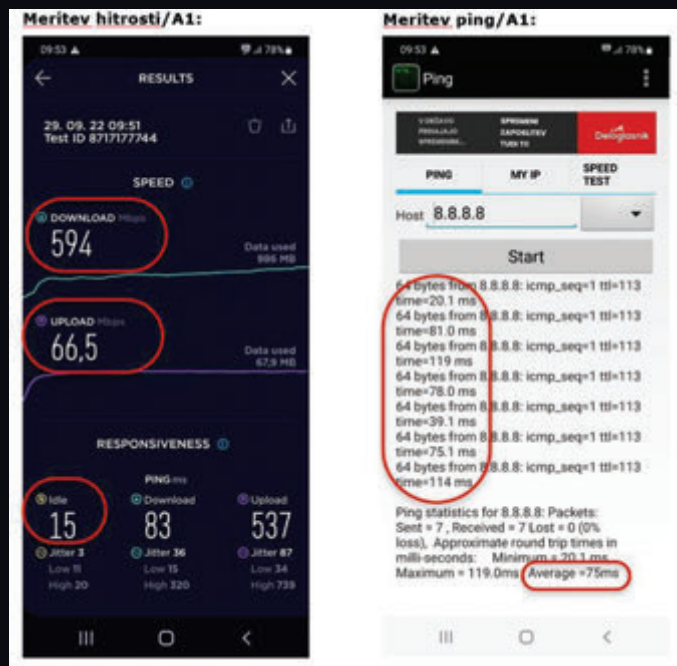
The screenshots show the following data:

- Meritev hitrosti/A1\_server:** Shows a speed test interface with a 'GO' button and server selection options like 'Si Mobil' and 'Bostjan Industries Inc. Ljubljana'.
- Network Cell Info: (N7=??):** Shows network details for 5G NSA A1 SIM, including signal strength (-90 dBm), RSRP (-90 dBm), and RSRQ (-11 dBm).
- Network Cell Info MAP:::** Shows a map view of the network cell location in Ljubljana, Slovenia.
- Meritev hitrosti/A1:** Shows a table of speed test results with columns for Type, Date, Mbps, and Mbit/s. The first result shows 594 Mbps and 66.5 Mbit/s.





# A1\_5G/Galaxy S22/REZULTATI (2):



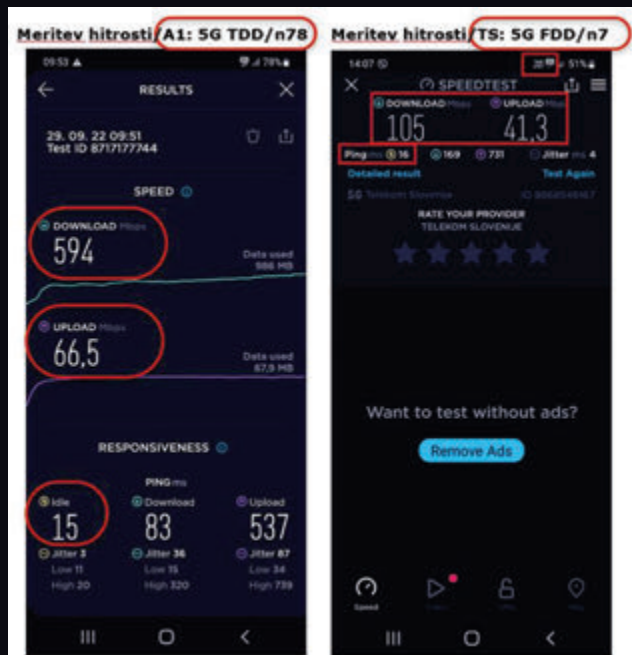
41. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

# 5G/TDD vs FDD/REZULTATI:

**A1 5G TDD: > 70% SLO:**

Lokacija Kotnikova, A1 5G SIM:

- DL 590 Mbit/s, UL 72 Mbit/s, ping 21, Jitter 3
- DL 610 Mbit/s, UL 60 Mbit/s, ping 14, Jitter NP



42. SRK2024 | Božo Mišović in Marjana Senčar Srdič | Potrebe po 4G/5G TDD časovni sinhronizaciji

# Razvoj jedra 5G

## *5G core development*

Urban Burnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

[urban.burnik@fe.uni-lj.si](mailto:urban.burnik@fe.uni-lj.si)

### **Povzetek**

Uvajanje 5G je proces, v katerem so operaterji najprej vzpostavili radijski del omrežja (5G NR) ob podpori obstoječega jedrnega omrežja 4G (EPC). S tem že danes izkoriščamo povečanje kapacitete in zmanjšanje porabe novega radijskega vmesnika, za večino naprednih funkcionalnosti omrežja pete generacije pa bomo potrebovali povsem prenovljeno omrežje z jedrom 5G (5GC). Brez samostojnega jedra storitev 5G, ki obsegajo izboljšani mobilni širokopasovni dostop, kritične komunikacije ter množični IoT ne bi mogli zagotoviti. Ogleдали si bomo razvoj funkcionalnosti jedrnega mobilnega omrežja dosedanjih generacij, ki kulminira v jedro 5G. Predstavili bomo ključne gradnike in funkcije 5GC s poudarkom na storitveno usmerjeni arhitekturi in implementaciji jedra 5G v oblaku.

### **Abstract**

*5G deployment is a process in which operators first set up the radio part of the network (5G NR) supported by the existing 4G core network (EPC). With this, we are already taking advantage of the increased capacity and reduced consumption of the new radio interface, and for most of the advanced functionalities of the fifth generation network, we will need a completely renewed network with a 5G core (5GC). Without an independent core, 5G services, which include improved mobile*

*broadband access, critical communications and mass IoT, could not be provided. We will look at the evolution of the functionality of the core mobile network of previous generations, culminating in the core of 5G. We will present the key building blocks and functions of 5GC with a focus on Service Oriented Architecture (SOA) and the implementation of the 5G core in the cloud.*

### **Biografija avtorja**



**Urban Burnik** je v letih 1992, 1996 in 2002 diplomiral, magistriral in doktoriral iz elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani. Od leta 1992 do 1993 je bil gostujoči raziskovalec na Univerzi Westminster v Londonu. Od leta 1994 je zaposlen na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Predava dodiplomske predmete s področja IKT, digitalne obdelave signalov, mobilnih komunikacij in multimedije. Njegove raziskovalne dejavnosti vključujejo večdimenzionalno obdelavo signalov in telekomunikacijske storitve, personalizacijo IKT storitev, heterogene komunikacijske sisteme in interaktivno televizijo. Deluje v nacionalnem tehničnem standardizacijskem odboru SIST/TC za mobilne komunikacije. Je član Slovenskega društva za elektronske komunikacije SIKOM in aktiven član Slovenske sekcije IEEE, kjer bil vodja odbora SP/CAS (2002-13), predsednik (2014-17), blagajnik (2018-21), trenutno pa vodi odbor za izobraževanje (2022-).



***Author's biography***

*Urban Burnik received B.Sc. M.Sc. and Ph.D. in Electrical Engineering from University of Ljubljana in 1992, 1996 and 2002 respectively. From 1992 to 1993, he was a Guest Researcher at University of Westminster, London, UK. Since 1994 he works at University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering, since 2018 as an assistant professor. He lectures undergraduate courses in the fields of ICT, digital signal processing, mobile communications and multimedia. His research activities include multidimensional signal processing and telecommunications services, personalized ICT services, heterogeneous communication systems and interactive television. He is active in the national technical standardisation committee SIST/TC for mobile communications. He is member of the Slovenian Electronic Communications Society (SIKOM) and Senior Member of IEEE, where he held positions Slovenia section IEEE chair (2014-17) and treasurer (2018-21), was chairing Slovenia Section joint SP/CAS chapter (2002-13), and currently leads its Education Chapter (2022-).*



## Razvoj jedra 5G

Urban Burnik

## Sedem G-jev (zanekrat)

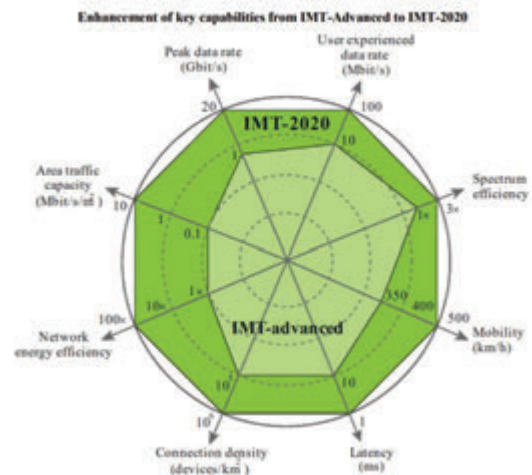


G	Feature	Digital Data Rate
0G	Radio	n/a
1G	Analogna celična telefonija	n/a
2G	Digitalna celična telefonija	10's kbps
3G	Globalna mobilna multimedija	144/384/2048 kbps -> 10's Mbps
4G	All-IP	100's Mbps
<b>5G</b>	<b>Gbps/izboljšana/množična/odzivna mobilna storitev</b>	<b>Gbps</b>
6G	(trenutna/prodorna/IoT/...)	tbd

# 5G

## 5. generacija mobilnih omrežij

- Prenosne hitrosti v desetinah Mbps za desettisoče sočasnih uporabnikov
- 100 Mbps hitrosti za urbana področja
- 1 Gbps sočasnim uporabnikom v istem pisarniškem nadstropju
- Nekaj 100.000 sočasnih povezav v množičnih senzorskih omrežjih
- Bistveno izboljšana spektralna učinkovitost glede na 4G
- Izboljšana pokritost
- Izboljšana učinkovitost signalizacije
- 1-10 ms latenca (omejena s hitrostjo svetlobe)
- Latenca pomembno znižana v primerjavi z [LTE](#).
- Nižja poraba energije
- Radiodifuzija, samoorganizirane komunikacije v primeru naravnih nesreč,...
- 5G spekter (FCC), 28 GHz, 37 GHz in 39 GHz...

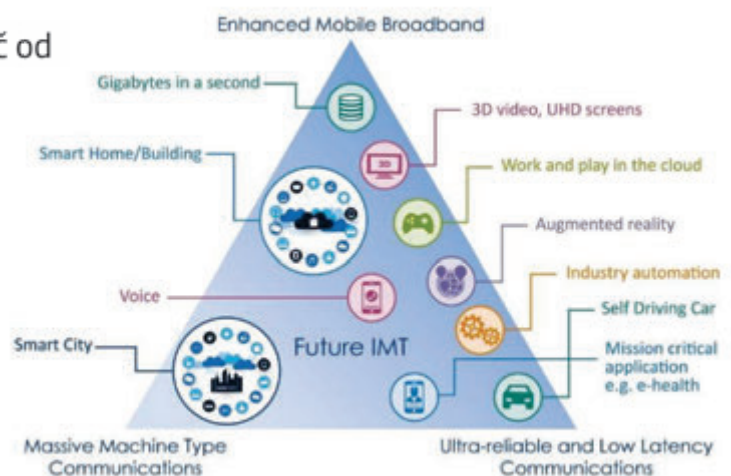


LUCAMI

## Zakaj 5G ?

Uporabniški primeri 5G obsegajo več od golega širokopasovnega prenosa podatkov

- eMBB (enhanced Mobile Broadband)
- URLLC (ultra-reliable low-latency communications)
- mMTC (massive machine type communications)

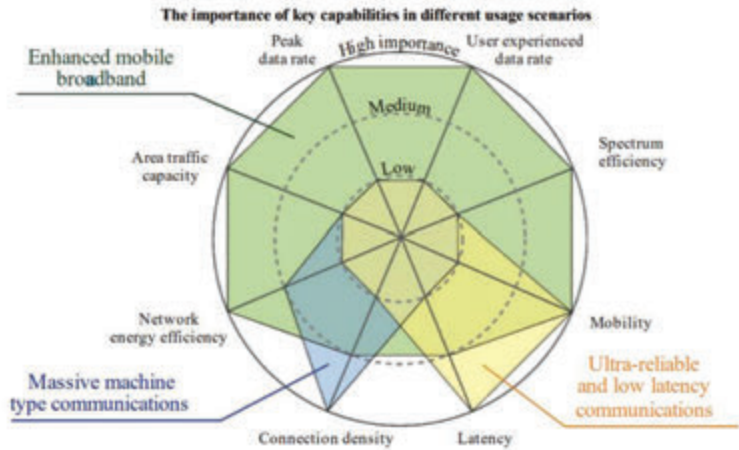


LUCAMI

# 5G lastnosti in uporabniški scenariji

Ne le hitrost: glavne lastnosti 5G

- eMBB - izpostavljeno
  - Vršna podatkovna hitrost
  - Prometna kapaciteta na področju
  - Učinkovitost omrežja
  - Spektralna učinkovitost
  - Mobilnost
- URLLC - izpostavljeno
  - Zanesljivost
  - Latenca
  - Mobilnost
- mMTC - izpostavljeno
  - Gostota povezav



Source - [ITU](#)

LUCAMI

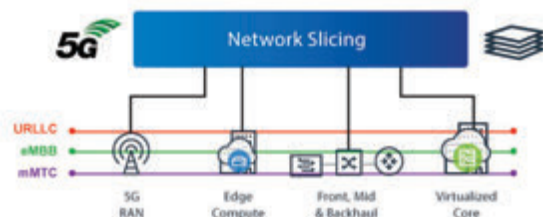
## Tehnologije 5G

### 5G NR

- Delovanje od nizkih do zelo visokih frekvenčnih področij: 0.4 – 100GHz
- Vključno s samostojnim obratovanjem v nelicenčnih pasovih
- UWB
  - do 100MHz v pasovih <6GHz
  - Do 400MHz v pasovih >6GHz

### 5GC

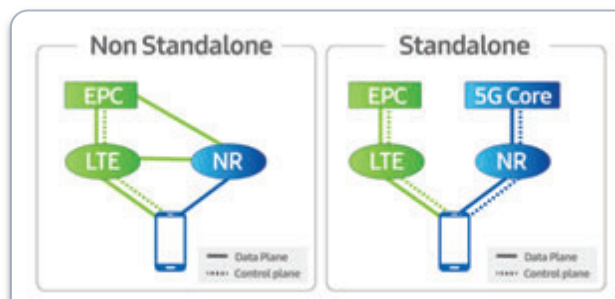
- virtualizacija
- načrtovanje programske opreme v oblaku
- omrežno rezinjenje



LUCAMI

# Implementacija 5G

- 2 modela uvedbe
  - nesamostojni (NSA)
    - Hibridna rešitev
    - Dopolnitev tehnologije 4G
  - samostojni (SA)
    - Izključna tehnologija 5G
- modeli uvedbe se nanašajo na jedro 5G in na "New Radio" (NR).
- Večina trenutnih postavitve omrežja 5G je vrste NSA
- Pomanjkljivosti in omejitve
- Za nove storitve 5G je nujno potrebno prenovljeno jedrno omrežje



Source : <https://techblog.comsoc.org/2019/08/02/t-mobile-claim-1st-standalone-5g-data-session-on-a-multi-vendor-radio-and-core-network/>

11. 01. 2024 14:04:04

LUCAMI

## Razvoj celičnih omrežij

Utemeljitev elementov jedra 5G na osnovi predhodnikov 3GPP

11. 01. 2024 14:04:04

LUCAMI

# 1G – bistveni deli mobilnega omrežja



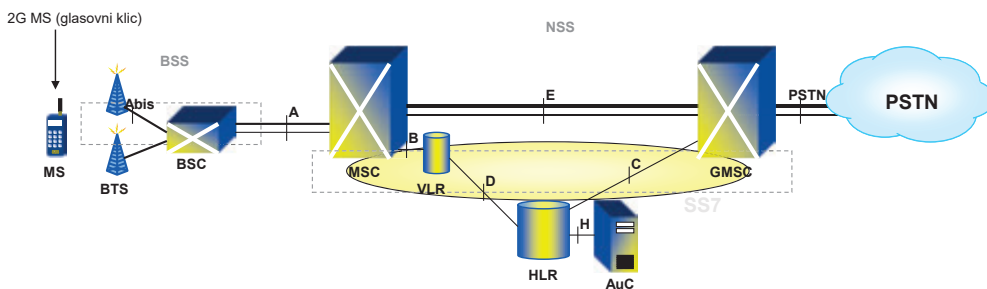
BS — Base Station  
MU — Mobile Unit

MSC — Mobile-service Switching Controller

PSTN — Public Switched Telephone Network

LUCAMI

# 2G - GSM



BSS — Base Station System  
BTS — Base Transceiver Station  
BSC — Base Station Controller

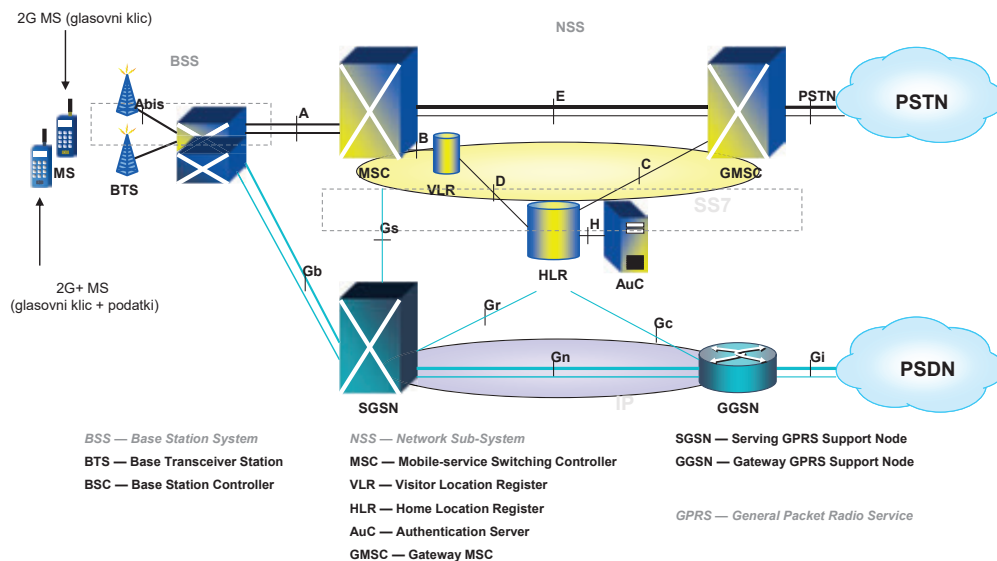
NSS — Network Sub-System  
MSC — Mobile-service Switching Controller  
VLR — Visitor Location Register  
HLR — Home Location Register  
AuC — Authentication Server  
GMSC — Gateway MSC

PSTN — Public Switched Telephone Network

LUCAMI

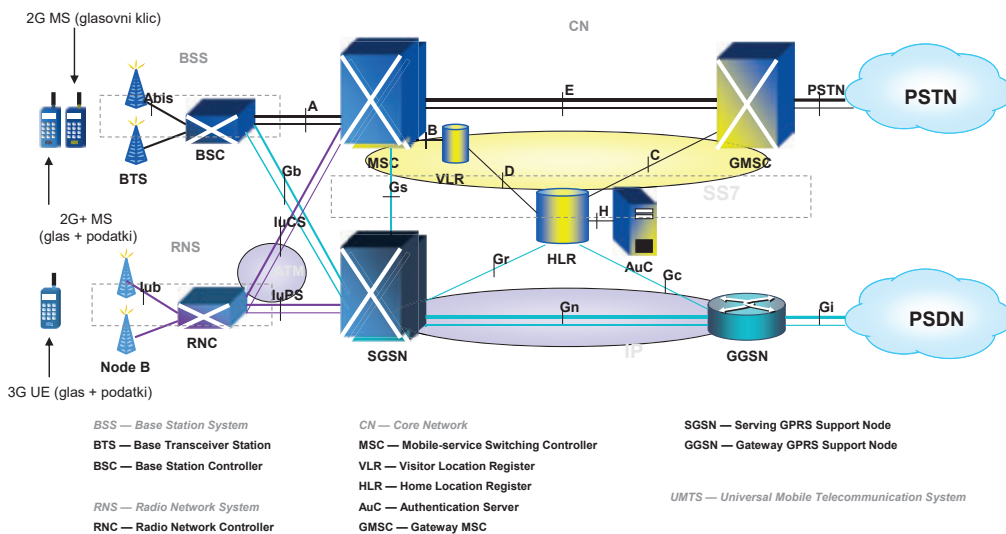


# 2.5G - GPRS



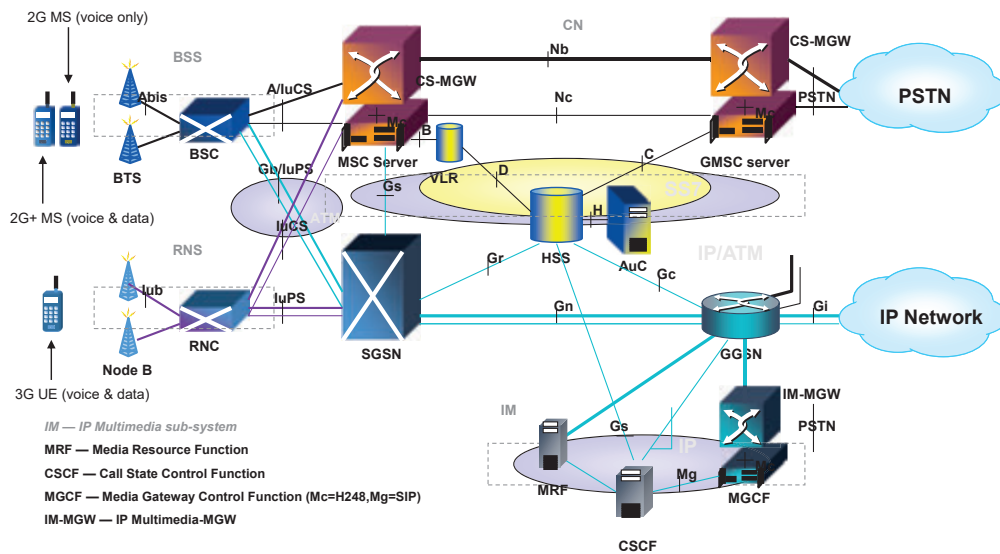
LUCAMI

# 3GPP rel99 arhitektura (UMTS)



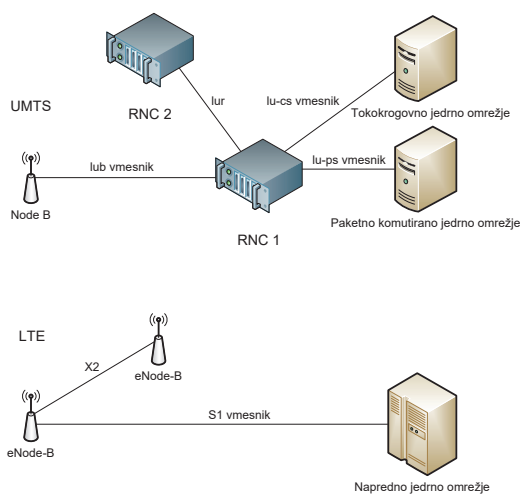
LUCAMI

# 3GPP rel5 Architecture (UMTS) — IMS



LUCAMI

# Poenostavitev arhitekture 4G

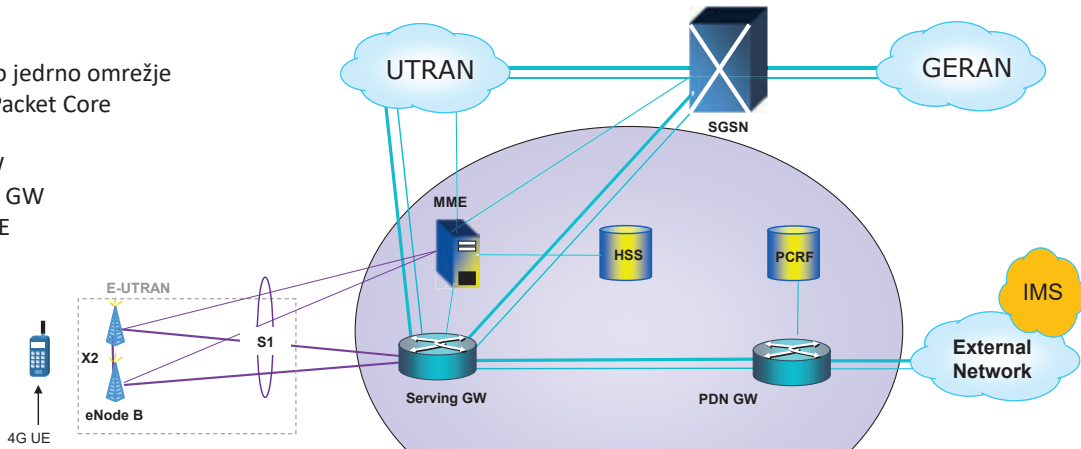


LUCAMI

# EPC

Napredno jedrno omrežje  
Evolved Packet Core

SGW  
PDN GW  
MME

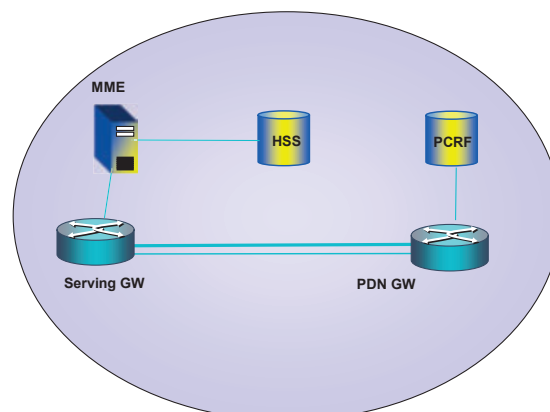


MME: Mobility Management Entity -- control plane.  
HSS: Home Subscriber Server ← HLR+AuC  
PCRF: Policy and Charging Rules Function  
Serving GW: interconnection between radio-side and EPC  
PDN GW: interconnection between EPC and external IP networks.

LUCAMI

## Razvoj EPC LTE v smeri 5GC

začnimo z LTE  
Evolved Packet Core  
Elementi (EPC)



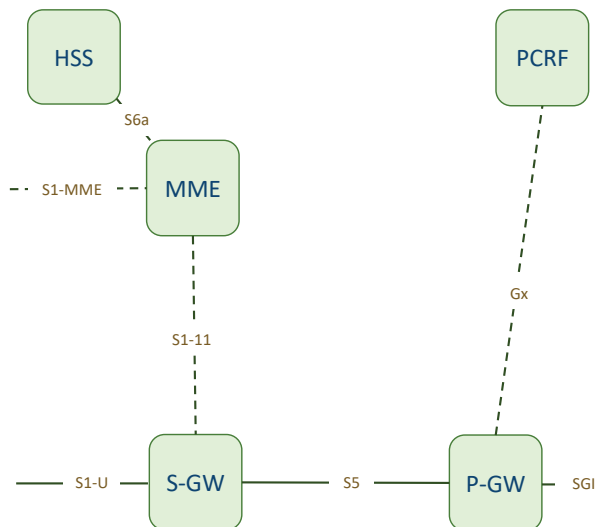
MME: Mobility Management Entity -- control plane.  
HSS: Home Subscriber Server ← HLR+AuC  
PCRF: Policy and Charging Rules Function  
Serving GW: interconnection between radio-side and EPC  
PDN GW: interconnection between EPC and external IP networks.

LUCAMI

# Razvoj EPC LTE v smeri 5GC

Narišimo v obliki storitev

MME: Mobility Management Entity - control plane.  
 HSS: Home Subscriber Server ← HLR+AuC  
 PCRF: Policy and Charging Rules Function  
 Serving GW: povezava med radijskim omrežjem in EPC  
 PDN GW: povezava EPC z zunanjimi IP omrežji



LUCAMI

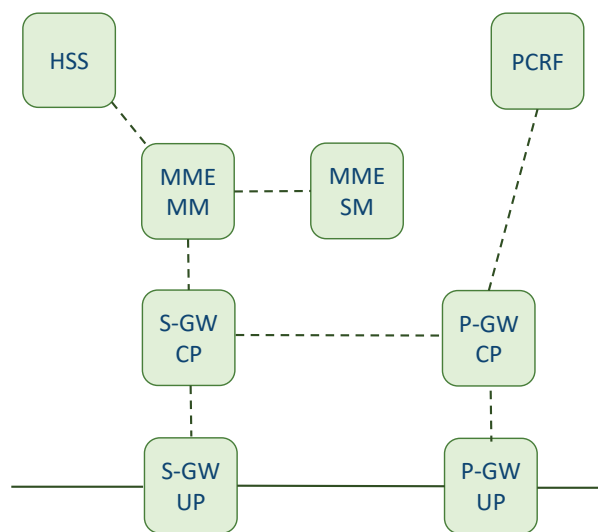
# Razvoj EPC LTE v smeri 5GC

LTE S-GW in P-GW:

Prerez CP in UP, preslikava koncepta ločevanja uporabniške in kontrolne ravnine – Control and User Plane Separation (CUPS).

LTE MME:

Slice Mobility Management (MM) in Section Management (SM).



LUCAMI

# Razvoj EPC LTE v smeri 5GC

S-GW-UP in P-GW-UP:  
Prehod v 5G UPF (obdelava specifičnih uporabniških ravnin).

S-GW-CP in P-GW-CP:  
Premik v SMF.

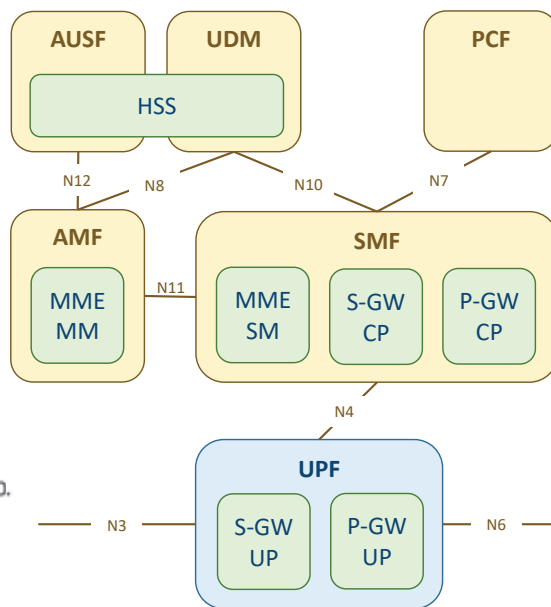
Premeščene MME Mobility and Session kontrolne funkcije:

Prenos MME SM v 5G SMF in MME MM v 5G AMF

- upravljanje mobilnosti je lahko centralizirano
- upravljanje sej se lahko prenese v vsako omrežno rezino.

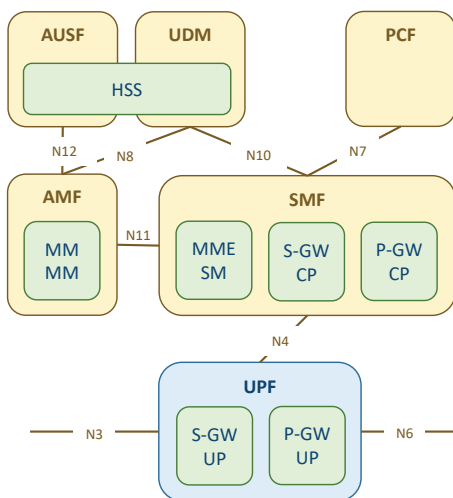
PCF: Policy Control function  
 SMF: Session Management Function  
 UDM: Unified Data Management  
 AMF: Access and Mobility Management Function  
 AUSF: Authentication Server Function

UPF: User IPPlane Function



LUCAMI

# Prehod v 5G



AMF: Access and Mobility Management Function  
 SMF: Session Management Function  
 UPF: User Plane Function

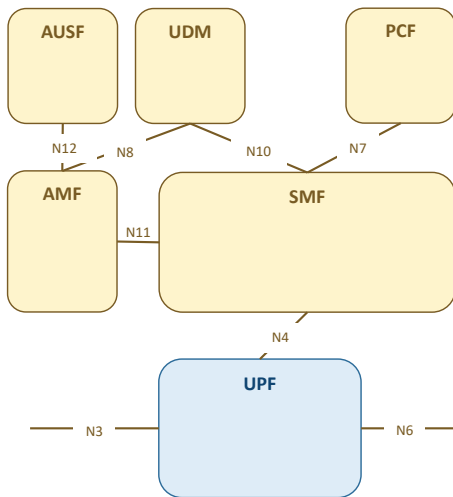
UDM: Unified Data Management

AUSF: Authentication Server Function  
 PCF: Policy Control function

11. 01. 2024 14:04:04

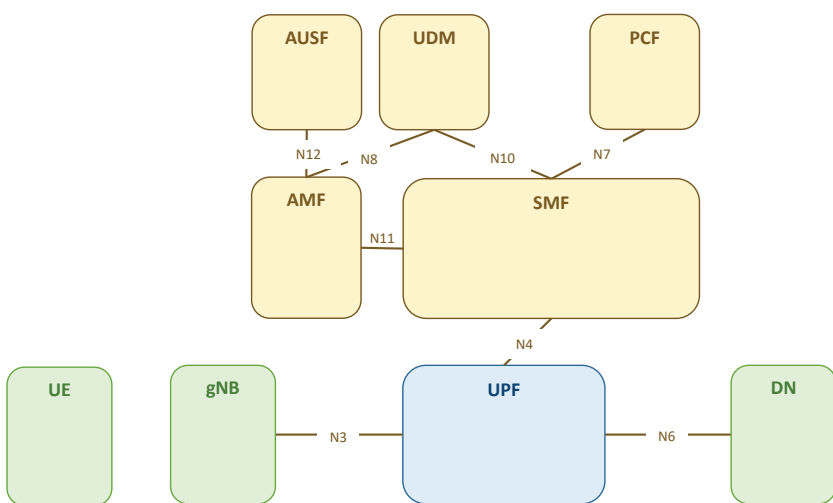
LUCAMI

# Elementi jedra 5G



- AMF: Access and Mobility Management Function
- SMF: Session Management Function
- UPF: User Plane Function
  
- UDM: Unified Data Management
  
- AUSF: Authentication Server Function
- PCF: Policy Control function

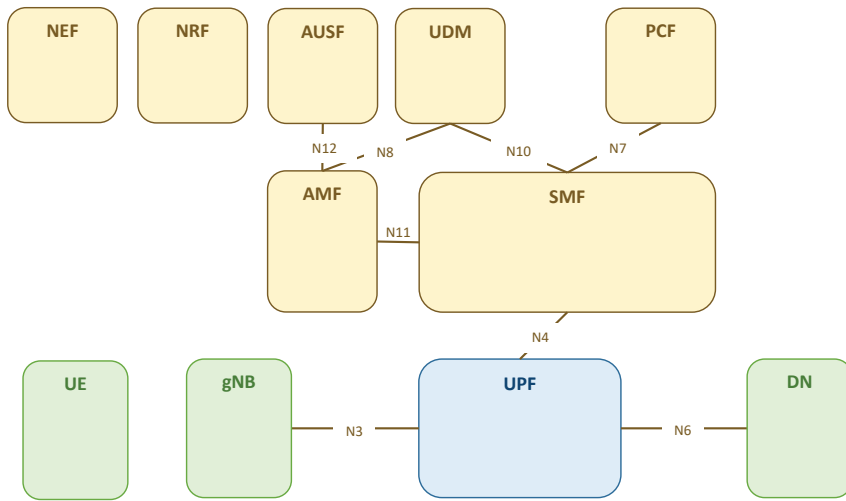
# Elementi jedra 5G



- AMF: Access and Mobility Management Function
- SMF: Session Management Function
- UPF: User Plane Function
  
- UDM: Unified Data Management
  
- AUSF: Authentication Server Function
- PCF: Policy Control function
  
- UE: User Equipment
- gNodeB: 5G Node B
- DN: Data Network



# Elementi jedra 5G



AMF: Access and Mobility Management Function  
 SMF: Session Management Function  
 UPF: User Plane Function  
 NRF: Network Repository Function  
 NEF: Network Exposure Function  
 UDM: Unified Data Management

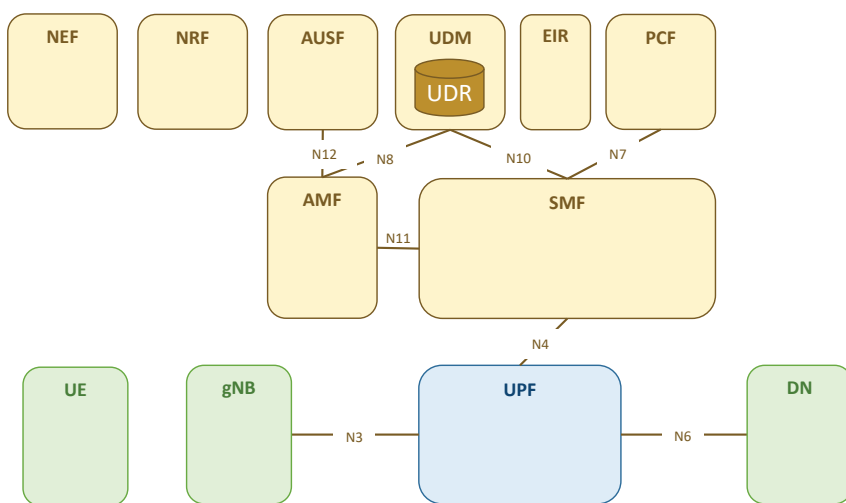
AUSF: Authentication Server Function  
 PCF: Policy Control function

UE: User Equipment  
 gNodeB: 5G Node B  
 DN: Data Network

11. 01. 2024 14:04:04

LUCAMI

# Elementi jedra 5G



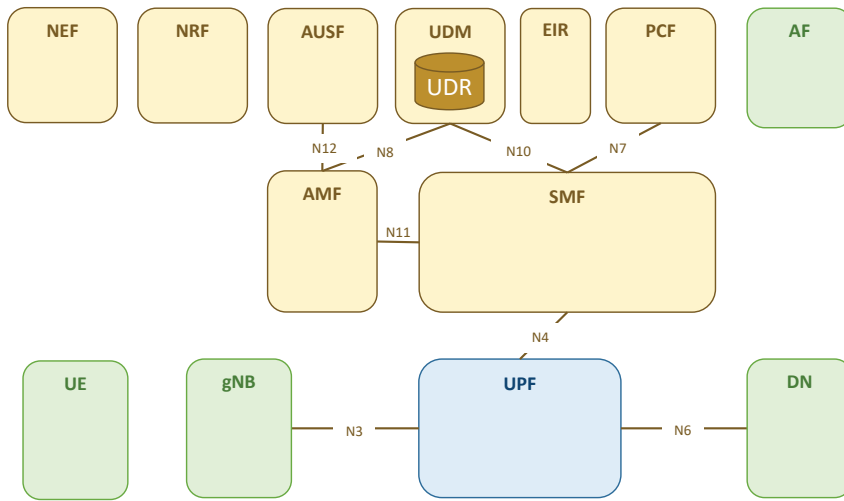
AMF: Access and Mobility Management Function  
 SMF: Session Management Function  
 UPF: User Plane Function  
 NRF: Network Repository Function  
 NEF: Network Exposure Function  
 UDM: Unified Data Management  
 UDR: Unified Data Repository  
 EIR: Equipment Identifier Repository  
 AUSF: Authentication Server Function  
 PCF: Policy Control function

UE: User Equipment  
 gNodeB: 5G Node B  
 DN: Data Network

11. 01. 2024 14:04:04

LUCAMI

# Elementi jedra 5G

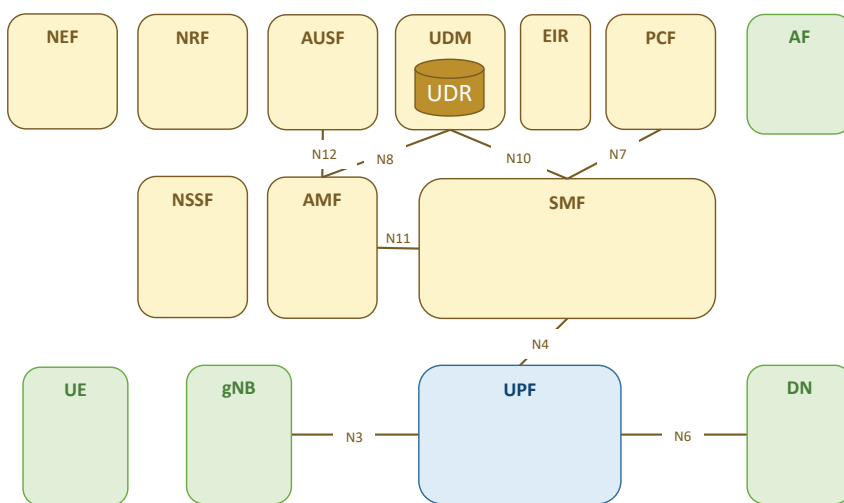


- AMF: Access and Mobility Management Function
- SMF: Session Management Function
- UPF: User Plane Function
- NRF: Network Repository Function
- NEF: Network Exposure Function
- UDM: Unified Data Management
- UDR: Unified Data Repository
- EIR: Equipment Identifier Repository
- AUSF: Authentication Server Function
- PCF: Policy Control Function
- AF: Application Function
  
- UE: User Equipment
- gNodeB: 5G Node B
- DN: Data Network

11. 01. 2024 14:04:04

LUCAMI

# Elementi jedra 5G

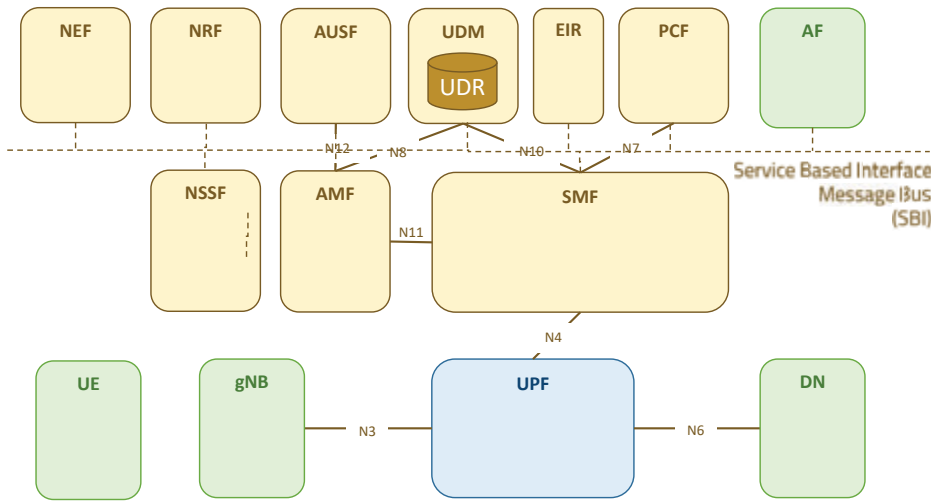


- AMF: Access and Mobility Management Function
- SMF: Session Management Function
- UPF: User Plane Function
- NRF: Network Repository Function
- NEF: Network Exposure Function
- UDM: Unified Data Management
- UDR: Unified Data Repository
- EIR: Equipment Identifier Repository
- AUSF: Authentication Server Function
- PCF: Policy Control Function
- AF: Application Function
- NSSF: Network Slice Selection Function
- UE: User Equipment
- gNodeB: 5G Node B
- DN: Data Network

11. 01. 2024 14:04:04

LUCAMI

# Elementi jedra 5G



- AMF: Access and Mobility Management Function
- SMF: Session Management Function
- UPF: User Plane Function
- NRF: Network Repository Function
- NEF: Network Exposure Function
- UDM: Unified Data Management
- UDR: Unified Data Repository
- EIR: Equipment Identifier Repository
- AUSF: Authentication Server Function
- PCF: Policy Control function
- AF: Application Function
- NSSF: Network Slice Selection Function
- UE: User Equipment
- gNodeB: 5G Node B
- DN: Data Network

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI



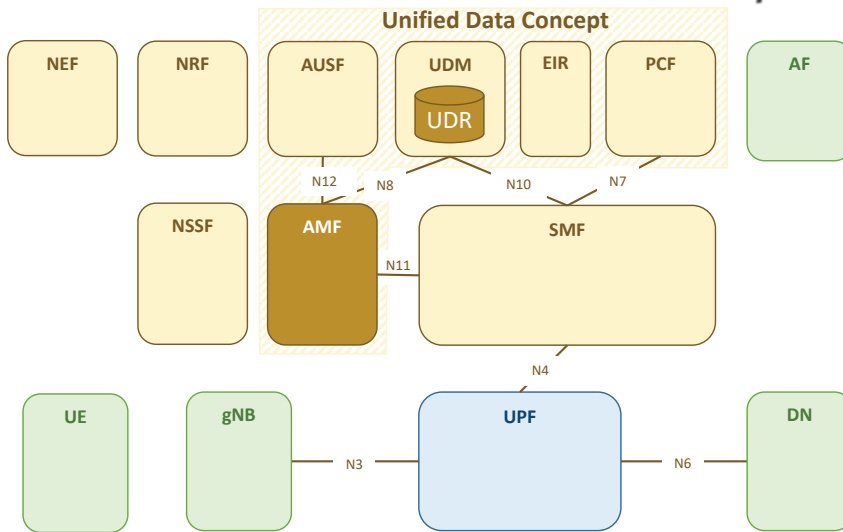
# Osnovni gradniki 5GC

Opis in delovanje funkcij SBA

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# AMF - Access and Mobility Function



11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# AMF - Access and Mobility Function

Ker je funkcionalnost enote za upravljanje mobilnosti (MME) v omrežju 4G zdaj razčlenjena, funkcija za upravljanje dostopa in mobilnosti (AMF) jedra 5G od uporabniške opreme (UE) (N1/N2) prejme vse informacije, povezane s povezavo in sejo, vendar je odgovorna le za izvajanje nalog upravljanja povezave in mobilnosti.

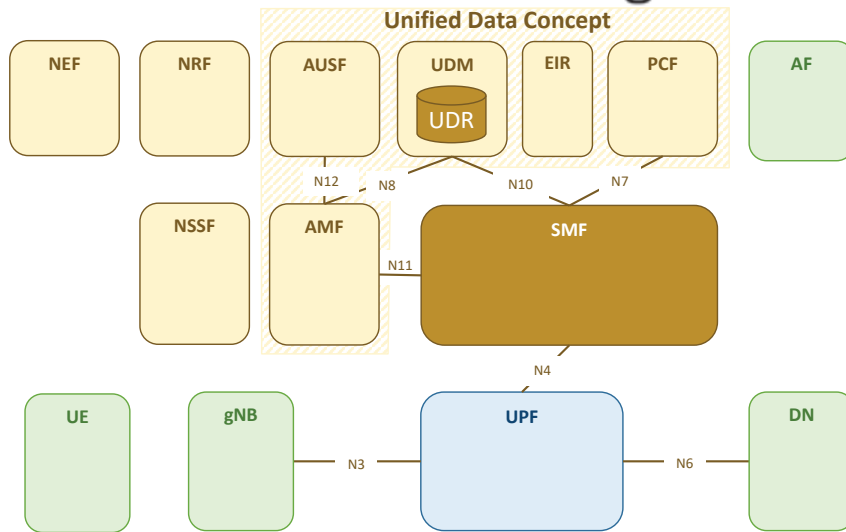
Vsa sporočila, povezana s upravljanjem seje, se prek referenčnega vmesnika N11 posredujejo funkciji za upravljanje seje (SMF).

- AMF se povezuje s NG-RAN prek vmesnika N2.
- AMF se povezuje s UE prek vmesnika N1 za avtentikacijo, registracijo in predaje. Odgovoren je tudi za priključitev in stanje mirovanja UE.
- En UE je hkrati povezan s enim AMF.
- AMF posreduje vsa signalizacija, povezana s upravljanjem seje, med SMF (funkcija upravljanja seje) in UE.
- posreduje vsa sporočila SMS med UE in SMSF (funkcija SMS).
- posreduje sporočila lokacijske storitve med UE in LMF (Location management function)
- Za razliko od 4G imajo UE v 5G poseben vmesnik med UE in AMF -> znan kot N1
- prenos sporočil med UE in PCF (funkcija za nadzor politik)
- Vključuje varnostne funkcije za avtentikacijo in avtorizacijo UE (v sodelovanju s AUSF in UDM)
- Odgovoren za pridobivanje ključev za integriteto in šifriranje - RRC in uporabniška ravnina.
- V mnogih pogledih je podoben MME v 4G
- Povezava s MME v 4G za prenos konteksta, ko se vzpostavi povezava s EPC.

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# SMF - Session Management Function



11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# SMF - Session Management Function

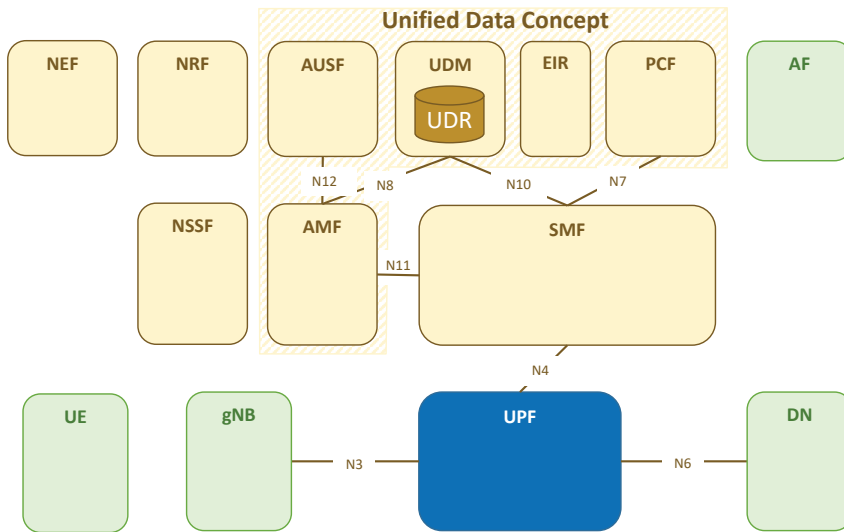
Funkcija upravljanja seje 5G (SMF) je temeljni element arhitekture 5G, ki temelji na storitvah (SBA). Funkcija SMF je odgovorna predvsem za interakcijo z ločeno podatkovno ravnino, ustvarjanje posodobitev in odstranitev seje protokolnih podatkovnih enot (PDU) ter upravljanje konteksta seje s funkcijo uporabniške ravnine (UPF).

- Funkcija SMF sistema 5G je odgovorna za vzpostavitev povezljivosti za UE s podatkovnimi omrežji in upravljanje uporabniške ravnine za to povezljivost.
- SMF upravlja vzpostavitev, spreminjanje in sprostitve seje. Naslove IP lahko dodeli UE glede na vrsto zahteve - v4, v4v6 ali v6 itd.
- SMF posredno komunicira z UE prek AMF, ki posreduje sporočila z informacijami o sejah.
- V primerjavi z EPS je SMF v nekaterih vidikih podoben MME in SGW.
- SMF komunicira z drugimi omrežnimi elementi prek vmesnikov SB. Izbira in nadzoruje funkcijo uporabniške ravnine (UPF)
- SMF se povezuje tudi s funkcijo za nadzor politik (PCF), da pridobi politike za UE. Te se nato konfigurirajo v UPF
- SMF zbira tudi podatke o zaračunavanju - brez povezave in na spletu.
- Obveščanje o prenosu podatkov v smeri navzdol za neaktivne UE

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# UPF - User Plane Function



LUCAMI

# UPF - User Plane Function

Funkcija UPF (User Plane Function) je temeljna sestavina arhitekture osrednjega infrastrukturnega sistema 3GPP 5G. UPF predstavlja razvoj podatkovne ravnine v okviru strategije ločevanja krmilne in uporabniške ravnine (CUPS). To omogoča, da se obdelava paketov in združevanje prometa izvajata bližje robu omrežja, kar povečuje izkoristek pasovne širine in hkrati zmanjšuje obremenitev omrežja. PGW, ki skrbijo za signalni promet (PGW-C), ostajajo v jedru, nad entiteto za upravljanje mobilnosti (Mobility Management Entity - MME).

Funkcija uporabniške ravnine je osnova za obdelavo paketov za storitvene arhitekture (SBA).

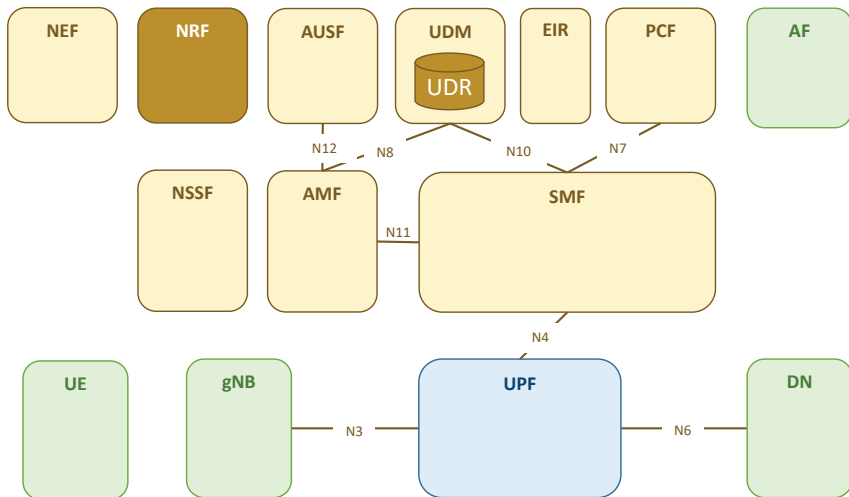
- UPF obdeluje in posreduje uporabniške podatke. Nadzoruje jo SMF.
- Povezuje se z zunanjimi omrežji IP in deluje kot sidrišče za UE k zunanjim omrežjem ter prikriva mobilnost.
- Ustvarja zapise podatkov in zaračunavanju in zapise uporabi prometa, ki se lahko pošljejo v SMF.
- Zmožna je izvajati preglede paketov in uporabljati konfigurirane politike - preusmerjanje prometa, preusmerjanje prometa, uporaba omejitev hitrosti prenosa podatkov.
- Shranjuje podatke v predpomnilniku za podatke navzdol za naprave UE v stanju mirovanja.
- UPF za razliko od 4G lahko uporabimo zaporedno.
- UPF uporablja politike QoS za pakete v smeri navzdol. Več QoS v naslednjem razdelku.
- V primerjavi z EPS je UPF v nekaterih pogledih podobna SGW in PGW.

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI



# NRF - Network Repository Function

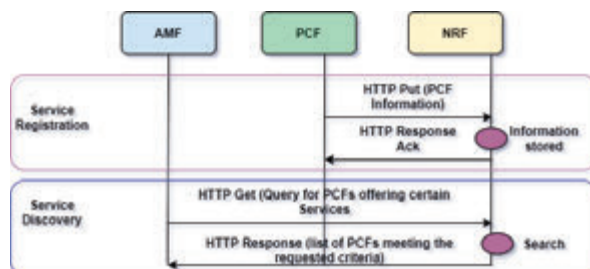


11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# NRF - Network Repository Function

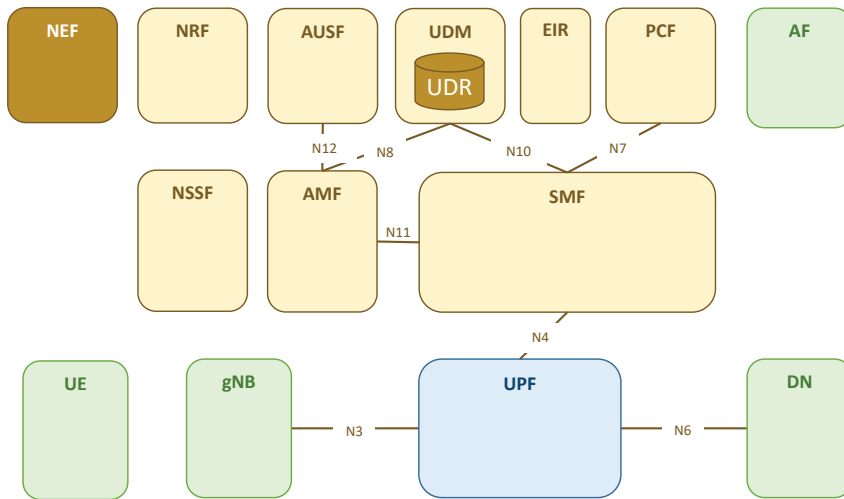
- NRF je skladišče profilov NF, ki so na voljo v omrežju. Namen NRF je omogočiti uporabniku storitev, da odkrije in izbere ustrezne proizvajalce storitev, tj. brez opredelitve statične preslikave.
- Ko uvedemo novo instanco NF ali spremenimo primer - povečamo ali zmanjšamo obseg, se NRF posodobi s podrobnostmi, kot so: vrsta NF, naslov, zmogljivost, podprte storitve in naslovi za vsako delujočo instanco.
- Te informacije se potrošniku zagotovijo med postopkom odkrivanja.



11. 01. 2024 15:17:38

LUCAMI

## Network Exposure Function (NEF)



11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

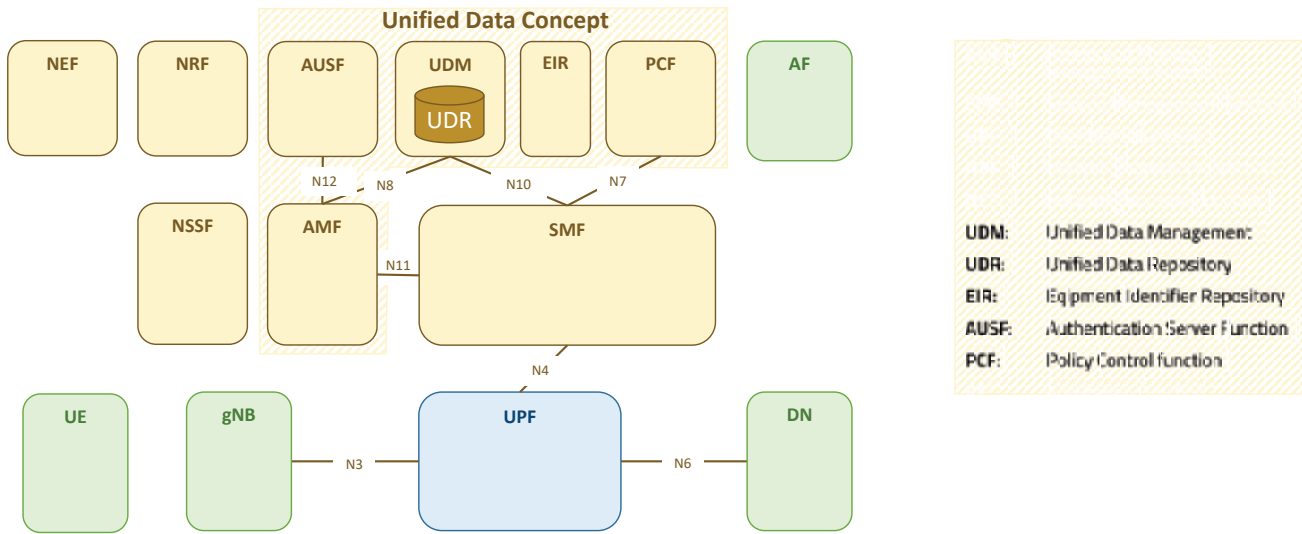
## Network Exposure Function (NEF)

- Zagotavlja varnost za storitve ali AF, ki dostopajo do vozlišč jedra 5G
- Deluje kot posrednik, agregacijska točka API ali prevajalnik v jedrno omrežje
- Varno zagotavlja informacij iz zunanje aplikacije v omrežje 3GPP, prevaja notranje/zunanje informacije (ni prisotno v svetu EPC)
- Profil instance NF: ID instance NF, tip NF, ID PLMN, identifikator(-i), povezan(-i) z omrežno rezino, npr. S-NSSAI, ID NSI, FQDN ali naslov IP NF, informacije o zmogljivosti NF, informacije o avtorizaciji posebne storitve NF, imena podprtih storitev, informacije o končni točki instance(-e) vsake podprte storitve, identifikacija shranjenih podatkov/informacij
- varno zagotavlja informacije iz zunanje aplikacije v omrežje 3GPP: NEF lahko avtentificira in avtorizira ter pomaga pri omejevanju AF.
- Prevajanje notranjih in zunanjih informacij: Prevaja informacije, izmenjane z AF, in informacije, izmenjane s funkcijo notranjega omrežja. NEF skrbi za maskiranje omrežnih in uporabniških občutljivih informacij zunanjim AF v skladu z omrežno politiko.

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# Unified Data Concept



UDM: Unified Data Management  
 UDR: Unified Data Repository  
 EIR: Equipment Identifier Repository  
 AUSF: Authentication Server Function  
 PCF: Policy Control function

Separates user information storage and management from the front end

## UDM - Unified Data Management

- Frontend za enotno podatkovno skladišče (Unified Data Repo - UDR). V UDR so shranjeni vsi podatki o naročninah uporabnikov.
- UDM uporablja podatke o naročninah za izvajanje avtorizacije dostopa, upravljanje registracij in dosegljivosti; vključne dogodke, kot je SMS.
- Ko se UE priključi na 5GC, UDM izvede preverjanje, kot so prepovedi in omejitve, kot je postovanje.
- UDM ustvari poverilnice za avtentikacijo, ki se uporabljajo med postopkom avtentikacije.
- Izvede pretvorbo SUCI (Subscriber concealed Identity) v SUPI (Subscriber Private Identity). Leč to tam pozneje.
- UDM spremlja, kateri AMF služi uporabniku.
- UDM se vedno nahaja v domači PLMN.
- V primerjavi: EPC je UDM v nekaterih vidikih podoben HSS.

## UDR - Unified Data Repository

- Zbirka vse informacije, povezane z naročnino, in vse podatke, povezane z različnimi vrstami omrežnih in uporabniških politik.
- Hramba UDR in dostop do podatkov; ta na voljo kot storitvi drugim omrežnim funkcijam, kot so UDM, PCF (Policy control Function) in NEF (Network exposure function).

## EIR (Equipment ID Registry)

- Preverja, če je bila naprava uvrščena na črno listo ali ne.
- Opcijski element

## AUSF - Authentication Server Function

- Ravnanje z avtentikacijo v domačem omrežju na podlagi informacij, ki jih prejme od UE.

11. 01. 2024 15:22:02

LUCAMI

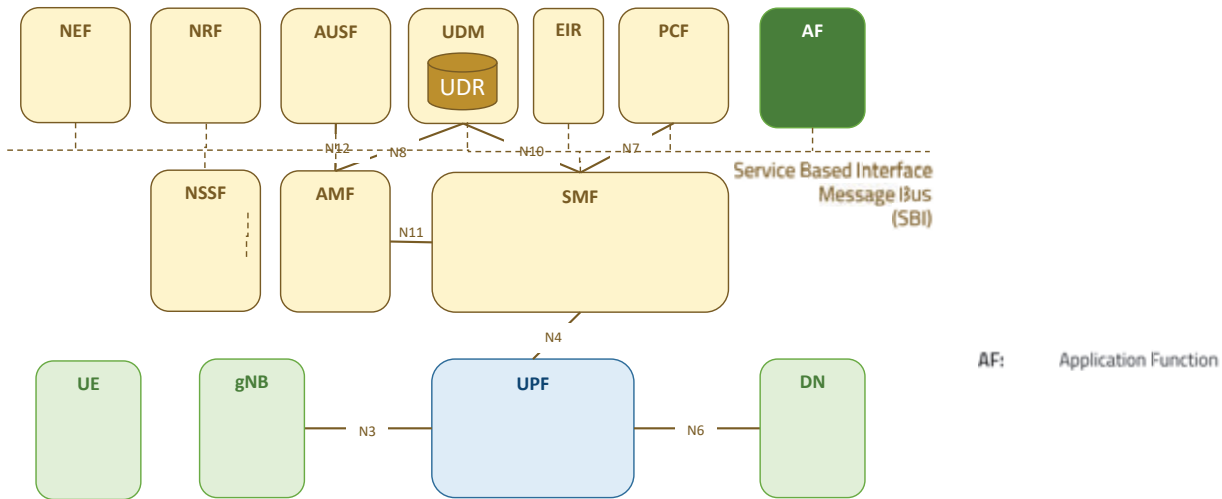
## PCF - Policy Control Function

- PCF zagotavlja nadzor politik za funkcije, povezane z upravljanjem sej, dostopom in mobilnostjo.
- PCF sodeluje z aplikacijskimi funkcijami (AF) in SMF za zagotavljanje pooblaščenega nadzora QoS in zaračunavanja za podatkovne tokove storitev, nadzora politik, povezanih s sejami PDU, in poročanja o dogodkih za seje PDU.
- PCF sodeluje z AMF za nadzor politike dostopa in mobilnosti, ki vključuje prednostno izbiro frekvence, parameter, ki ga NG-RAN uporablja za razlikovanje obravnave različnih UE.
- PCF lahko sodeluje z UE tudi prek NAS (AMF) za posodobitev politik odkrivanja in izbire za omrežja, ki niso omrežja 3GPP, politiko izbire načina neprekinjenega delovanja seje, politiko izbire omrežne rezine, politiko izbire imena podatkov in drugo.

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

## Application Functions (AF)



11. 01. 2024 15:23:43

LUCAMI

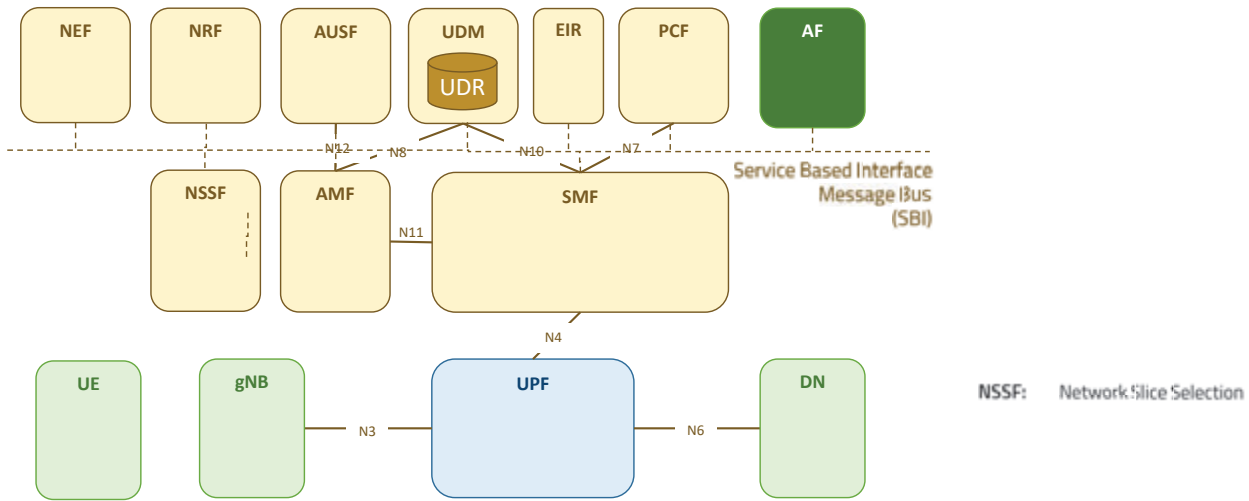
## Application Functions (AF)

- Storitve, za katere operater meni, da so zaupanja vredne
- lahko dostopajo do omrežnih funkcij neposredno ali prek NEF
- AF lahko uporabijo vmesnik PCF za zahtevo za določeno QoS, ki se uporablja za podatkovni tok IP (npr. VoIP).
- Nezaupni (untrusted) ali tretji AF bi do omrežnih funkcij dostopali prek vmesnika NEF (enako kot AF v EPC).
- Aplikacijska funkcija (AF) je lahko vzajemno overjena tretja stranka.
  - Lahko je posebna tretja stranka z neposrednim vmesnikom HTTP2 ali vmesni prehod, ki zunanjim aplikacijam izpostavlja alternativne API-je.
- Aplikacijam omogoča neposreden nadzor politike (rezervacija omrežnih virov, uveljavljanje SLA), ustvarjanje omrežnih rezin, spoznavanje zmogljivosti naprav in ustrezno prilagajanje storitev, klicanje drugih VNF v omrežju ...
- Prav tako se lahko inaročni na dogodke in neposredno razume, kako se omrežje obnaša glede na zagotovljeno storitev.

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

# Network Slice Selection Function (NSSF)



11. 01. 2024 15:26:33

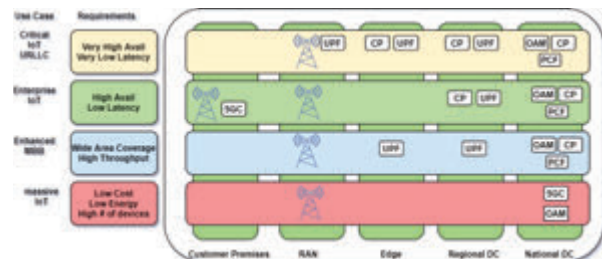
LUCAMI

# Network Slice Selection Function (NSSF)

Izbira instanc omrežne rezine za UE, določanje dovoljenih NSSAI  
določanje nabora AMF, ki se uporablja za oskrbo UE (ni prisotno v svetu EPC)

## NS - Network Slicing

- Tradicionalni in pristop "ustreza za vse" je treba prilagoditi za 5G, saj so primeri uporabe 5G precej drugačni v primerjavi s dosedanjimi.
- V 5G storitvah/primerih uporabe (eMBB, URLLC, mMTC) določajo zahteve/možnosti omrežja in v vsakem trenutku lahko deluje več teh storitev.
- Zato mora imeti 5G namesto monolitne arhitekture možnost izvajanja različnih logičnih omrežij ("rezin") z različnimi zmogljivostmi.
- Kombinacija SDN in NFV omogoča dinamično, prilagodljivo uvajanje in skaliranje NS na zahtevo, kar je potrebno za razvoj paketnega jedrnega omrežja 5G.
- Takšne možnosti so spodbudile tudi razvoj rezinjenja omrežja in veriženja storitvenih funkcij. Z vidika IJE pomeni rezinjenje omrežja: druženje in prava s podobnimi zahtevami glede zmogljivosti hitrost prenosa, zakasnitev, prepustnost itd. v rezine.
- Z vidika omrežja je razrez omrežja in razdelitev osnovne fizične omrežne infrastrukture na niz logično izoliranih virtualnih omrežij. Ta koncept velja za pomembno značilnost omrežja 5G, ki ga je standardiziral 3GPP.



11. 01. 2024 15:30:58

LUCAMI



# Arhitektura 5G

Arhitektura, ki temelji na storitvah (SBA)

LUCAMI

## 5GC – SBA in virtualizacija

- Arhitektura, ki temelji na storitvah
- Virtualizacija
- Izvorno v oblaku
- Kontejnerji
- mikrostoritve in
- avtomatizacija in orkestracija

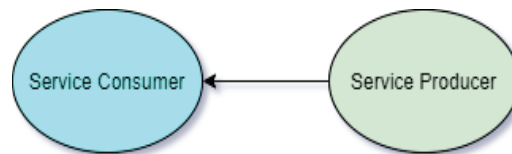
To niso nove tehnologije v sektorju IT, so pa nove na tem področju.

11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

# 5GC modeli arhitekture: SBA

- Arhitektura 5G Core je arhitektura, ki temelji na storitvah. SBA lahko razumemo v smislu "proizvajalca storitev" in "potrošnika storitev".



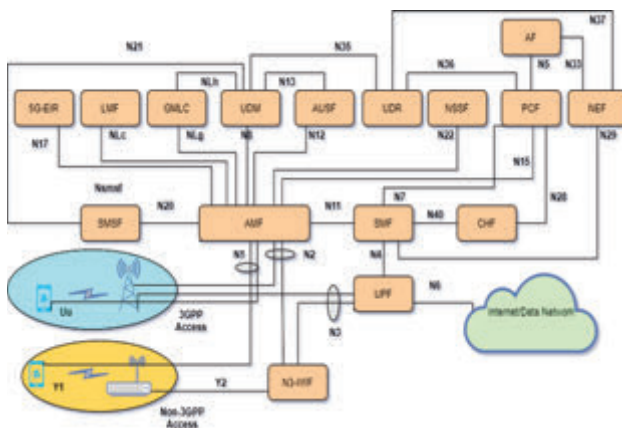
- Arhitekturo lahko predstavimo na 2 načina:
  - Povezava točka-točka
  - na podlagi SBA

11. 01. 2024 15:54:59

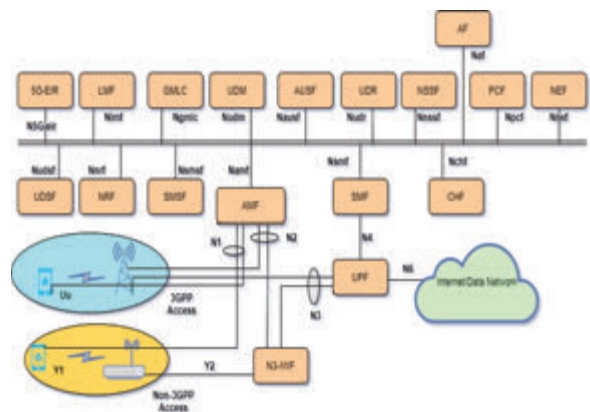
LUCAMI

## Elementi 5GC

Vmesnik točka-točka



SBA



11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

# Arhitektura, ki temelji na storitvah

- Tradicionalna: vozlišča/vmesniki
- SBA: interakcija med omrežnimi funkcijami, ki temelji na storitvah
- Interakcije med omrežnimi storitvi temeljijo na API-jih HTTP/Rest
- Prenos reprezentativnega stanja
  - Nabor pravil za komunikacijo med moduli
  - URI
  - Metode HTTP (GET, POST, PUT, DELETE)
  - Stateless = Brezstanjska (vsakič je potrebno posredovati celoten nabor informacij)

Registracija, odkrivanje in zahteva storitve

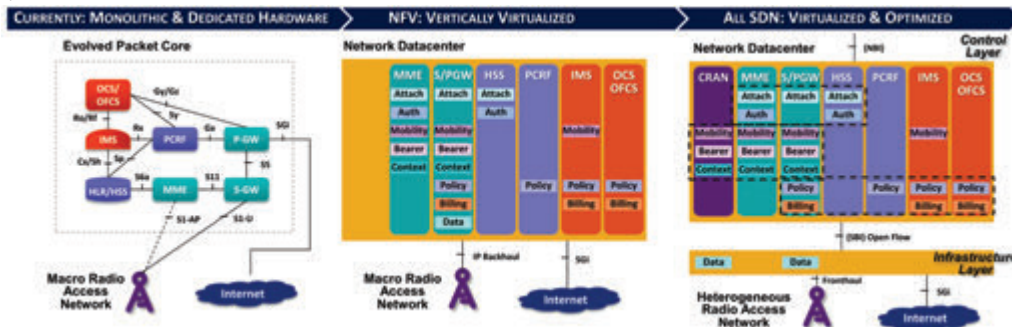


# Virtualizacija 5G

Tradicionalno se jedrna aplikajska programska oprema za mobilne naprave izvaja na namenski strojni opremi. Takšna strojna oprema je optimizirana za hitrost in učinkovitost ter ima fiksno zmogljivost. Povečanje zmogljivosti pogosto zahteva zamenjavo strojne opreme ali dodajanje dodatnih virov strojne opreme (procesor, pomnilnik, shramba).

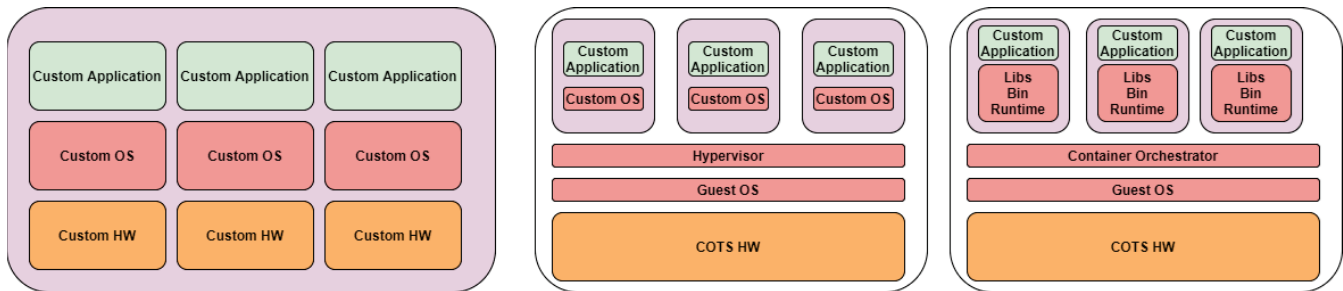
Virtualizacija omogoča izvajanje aplikacij na navideznih računalnikih, ki tečejo na strojni opremi COTS. To omogoča ločitev aplikacije in strojne opreme ter s tem veliko prilagodljivost ob bistveno nižjih stroških.

Optimizacija strojne opreme



Vir: Alberto Boaventura, Examining the Role of SDN and NFV in the Move Towards LTE-A and 5th Generation <https://www.slideshare.net/amsboaventura/examining-the-role-of-sdn-and-nfv-in-the-move-towards-lte-a-and-5th-generation>

# Aplikacije, virtualizacija, kontejnerji



11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

## Kontejnerji

- **Kontejnerji : virtualni računalniki**
  - Virtualni računalniki uporabljajo polno različico operacijskega sistema.
  - Kontejnerji so neodvisni gostitelji za aplikacije, ki za delovanje uporabljajo eno samo, okrnjeno različico operacijskega sistema.
  - Kontejnerji izvajajo virtualizirano delovno obremenitev, ki jo obdeluje aplikacija, razdeljena na mikrororitve, zato so lažji in prilagodljivejši od virtualnega stroja.
  - VM lahko izvajajo celotno, nespremenjeno aplikacijo, ki jo orkestrira hipervizor.
  - Oboje se lahko hitro in enostavno povečuje in zmanjšuje.
- Aplikacije v peskovniku, zapakirane z vsemi svojimi pripadajočimi odvisnostmi.
- Standardizirane enote za razvoj programske opreme.
- Izvajajo se na gostiteljskem operacijskem sistemu in nimajo visokih režijskih stroškov.
- (učinkovitejša uporaba osnovnega sistema in virov).

\*z izkoriščanjem mehanike nizke ravni gostiteljskega operacijskega sistema kontejnerji zagotavljajo večino izolacije virtualnih strojev ob delčku računske moči. Kontejnerji ponujajo mehanizem logičnega pakiranja, v katerem se lahko aplikacije abstrahirajo od okolja, v katerem se dejansko izvajajo. Ta lastitev omogoča enostavno in dosledno uvajanje aplikacij, ki temeljijo na kontejnerjih, ne glede na to, ali je ciljno okolje zasebni podatkovni center, javni oblak ali celo osebni prenosni računalnik razvijalca. To razvijalcem omogoča ustvarjanje predvidljivih okolij, ki so izolirana od preostalih aplikacij in jih je mogoče najti kjerkoli.  
Vir: <https://docker-curriculum.com>

11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

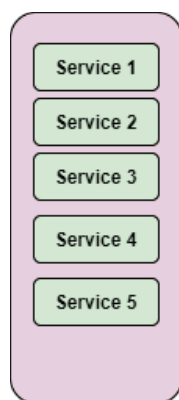
# Mikrostoritve

- Aplikacija je sestavljena iz manjših neodvisnih storitev, ki medsebojno komunicirajo prek API-jev.
- Temelj arhitekture, ki temelji na storitvah (SBA).
- Prednosti:
  - Komponente imajo omejen obseg, zato se lahko spremembe izvajajo hitro in učinkovito.
  - Primerke je mogoče dodajati in odstranjevati na zahtevo, kar povečuje enostavnost razširljivosti.
  - Neodvisne nadgradnje programske opreme
  - Enostavno odpravljanje napak zaradi omejenega obsega komponent.

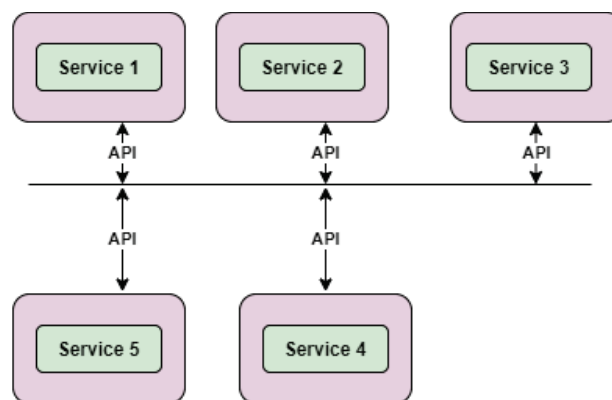
11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

# Mikrostoritve



Monolitna arhitektura



Arhitektura, zasnovana na mikrostoritvah

11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

# Automatizacija

- Hitro skaliranje (navzgor in navzdol) in upravljanje življenjskega cikla omrežnih aplikacij (preklapljanje navzgor in navzdol, nadgradnja, logiranje itd.)
- Tehnologije za avtomatizacijo in orkestracijo.
- Takoj: SON (samooptimizirajoča omrežja) na strani RAN. Na primer: avtomatski odnosi s sosedi.
- Prehod SON/avtomatizacije v jedro.
- Arhitektura 5G temelji na storitvah in uporablja mikrostoritve.
  - Avtomatizirano upravljanje življenjskega cikla aplikacij
  - Avtomatizirano upravljanje infrastrukturnih virov.
  - Prilagodljive zahteve
- Integracija strojnega učenja in umetne inteligence

11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI

# Izvorno v oblaku (Cloud Native)

- Arhitekture "izvorno v oblaku" so v zadnjem času pridobile veliko pozornosti, saj operaterji poskušajo slediti enakim arhitekturnim načelom, kot jih uporabljajo hyperscalerji, kot so Amazon, Google itd.
- „Izvorno v oblaku“ ni en sam koncept, temveč je sklop načel. Nekatera izmed njih so:
  - infrasrukturna agnostičnost - aplikacije niso odvisne od strojne opreme in virov.
  - razgradnja programske opreme in upravljanje življenjskega cikla - aplikacije se za razliko od monolitnih aplikacij izvajajo v manjših in obvladljivih delih.
  - Odpornost - zaradi porazdeljene narave aplikacij je vpliv lokalnega vzdrževanja ali napak izoliran na lokalne primere in ne vpliva na celotno funkcionalnost.
  - Orkestracija in avtomatizacija - aplikacije je mogoče upravljati z orkestratorji, kot sta Kubernetes ali OpenStack. Vkllop/izklop, skaliranje in vzdrževanje (nadgradnje, beleženje itd.) aplikacij je avtomatizirano.

11. 01. 2024 15:54:59

LUCAMI



# Namesto zaključka

11. 01. 2024 14:04:15

LUCAMI

Mobilna omrežja so brezžična omrežja, ki omogočajo prenos podatkov in telefonskih klicev prek mobilnih naprav, kot so pametni telefoni, tablični računalniki in prenosni računalniki. 3GPP (3rd Generation Partnership Project) je skupina, ki združuje sedem organizacij za razvoj standardov telekomunikacijskih omrežij. Njen cilj je razviti specifikacije za mobilne komunikacijske tehnologije, vključno z 3G, 4G in 5G <sup>1</sup>. Za več informacij o 3GPP standardih lahko obiščete spletno stran [3gpp.org](http://3gpp.org) <sup>1</sup>.

\*Bing, 01/2024

LUCAMI

# Produksijska rešitev 5G za Industrijo 4.0

## *5G production solution for Industry 4.0*

Urban Zaletel

Kontron

[urban.zaletel@kontron.si](mailto:urban.zaletel@kontron.si)

### **Povzetek**

Leta 2020 je organizacija 3GPP objavila izdajo 16 priporočil 3GPP (3GPP R16), s sporočilom, da podpira ključne funkcionalnosti za industrijo 4.0. Torej bi morala biti produkcija jedra za industrijo 4.0 dokaj enostavna, pa temu ni tako. Zakaj ne moremo samo vzeti specifikacijo R16, ji slediti poglavje po poglavju, implementirati vse funkcionalnosti ter končati s produkcijsko verzijo jedra 5G. Predavanje bo osvetlilo, kaj pomeni narediti produkcijsko rešitev 5G za industrijo 4.0, katere komponente in funkcionalnosti mora imeti, ter kakšen vpliv imajo končne naprave in radijska oprema.

### **Abstract**

*5G deployment is a process in which operators first set up the radio part of the network (5G NR) supported by the existing 4G core network (EPC). With this, we are already taking advantage of the increased capacity and reduced consumption of the new radio interface, and for most of the advanced functionalities of the fifth generation network, we will need a completely renewed network with a 5G core (5GC). Without an independent core, 5G services, which include improved mobile broadband access, critical communications and mass IoT, could not be provided. We will look at the evolution of the functionality of the core mobile network of previous generations, culminating in*

*the core of 5G. We will present the key building blocks and functions of 5GC with a focus on Service Oriented Architecture (SOA) and the implementation of the 5G core in the cloud.*

---

### **Biografija avtorja**



**Urban Zaletel** je izkušen vodja razvoja in raziskav ter vodja produktov v podjetju Kontron Slovenija za mobilna privatna omrežja. Njegova naloga je zmanjšati razkorak med tehnologijo in poslovnimi odločitvami. V zadnjih desetih letih je bil v različnih vlogah in pridobljene izkušnje pridoma uporablja pri implementaciji strategije v vseh ekipah podjetja, vključno z marketingom in produktnim vodenjem. Njegovo delo vključuje tudi gradnjo produkta od konceptualne faze do produktivizacije, načrtovanje programske arhitekture, itd. Je tudi organizator dveh največjih tehnoloških konferenc za razvijalce MakeIT (Oracle) in JCON (Java).

### **Author's biography**

*Urban Zaletel is an experienced development and research manager and product manager at Kontron Slovenia for mobile private networks. Its mission is to reduce the gap between technology and business decisions. In the last ten years, he has held various roles and has used the acquired experience in the implementation of strategy in all company teams, including marketing and product management. His*

*work also includes building the product from the conceptual stage to production, designing the software architecture, etc. He is also the organizer of the two largest technology conferences for developers MakeIT (Oracle) and JCON (Java).*



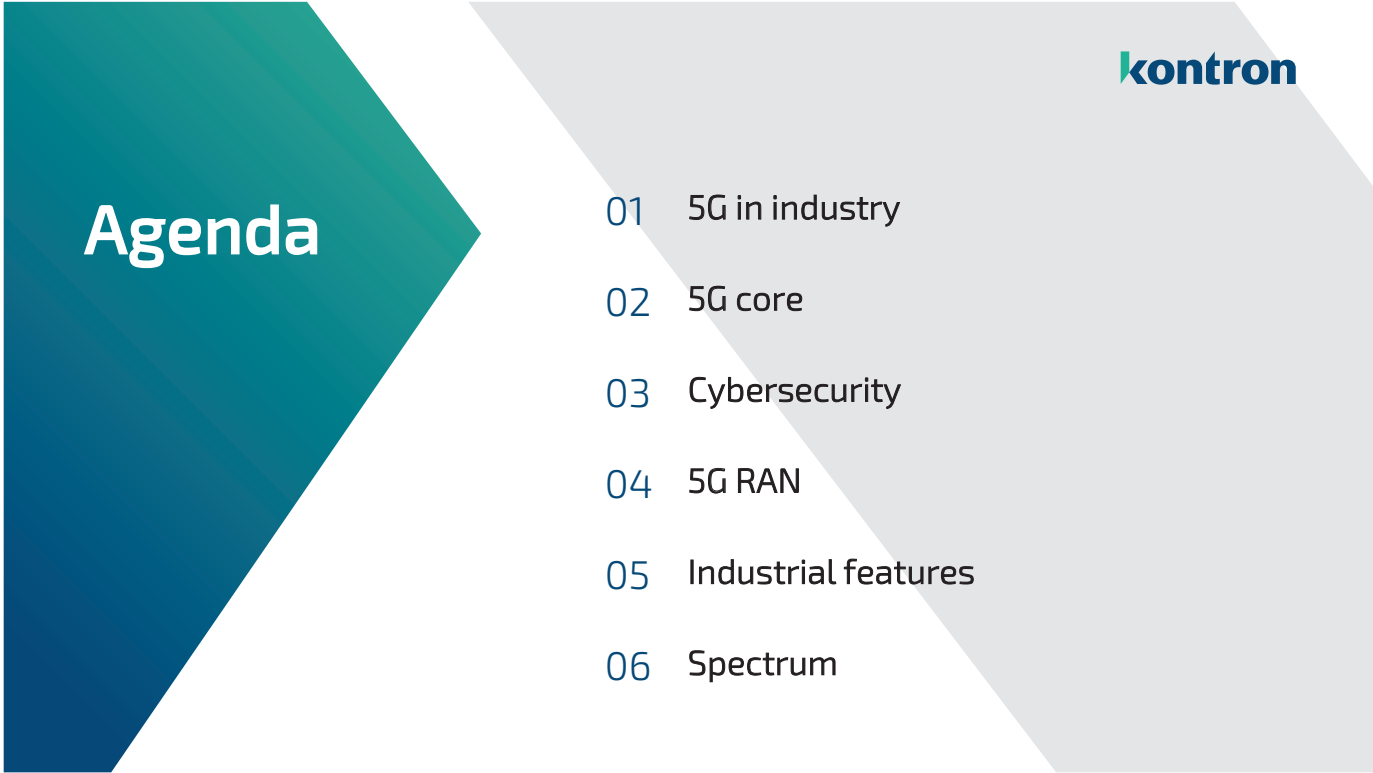
# kontron

## Industrial 5G Solution for industry 4.0

Urban Zaletel

Kontron SI Group, January 2024

# Agenda

- 
- 01 5G in industry
  - 02 5G core
  - 03 Cybersecurity
  - 04 5G RAN
  - 05 Industrial features
  - 06 Spectrum

kontron



# 01 5G in industry

## Why 5G Mobile Private Network?



Answering key connectivity challenges of an industrial campus



- Micro cells and small cells for a more consistent coverage.
- Licensed radio spectrum to mitigate interferences.



- Built-in redundancy and reliability to prioritise critical services.
- Effective QoS management of critical applications.



- Handover mechanisms for a smooth transition between base stations without losing connectivity.



- Built-in security features for data security and integrity.
- Multi-level security architecture to protect data and network in transit.



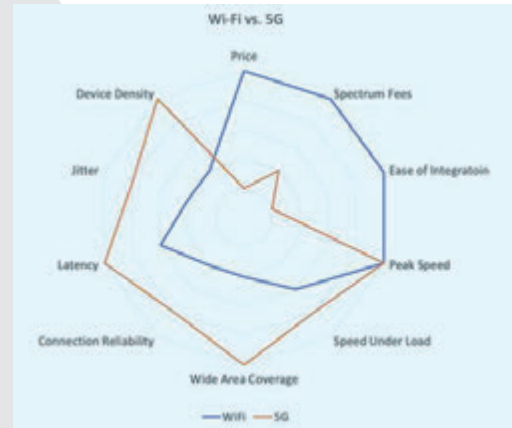
- Massive machine type communication (mMTC) features.
- Scalability to connect large number of various devices.

# 5G Technical Capabilities

5G technology originally designed for industrial use!



Digital solutions	5G	WiFi6	Fixed OT networks
Industrial IoT	●	●	●
Computer vision	●	●	●
Environmental monitoring	●	●	●
Seamless mobility	●	●	●
Staff enabling	●	●	●
Industrial automation	●	●	●



Legend:

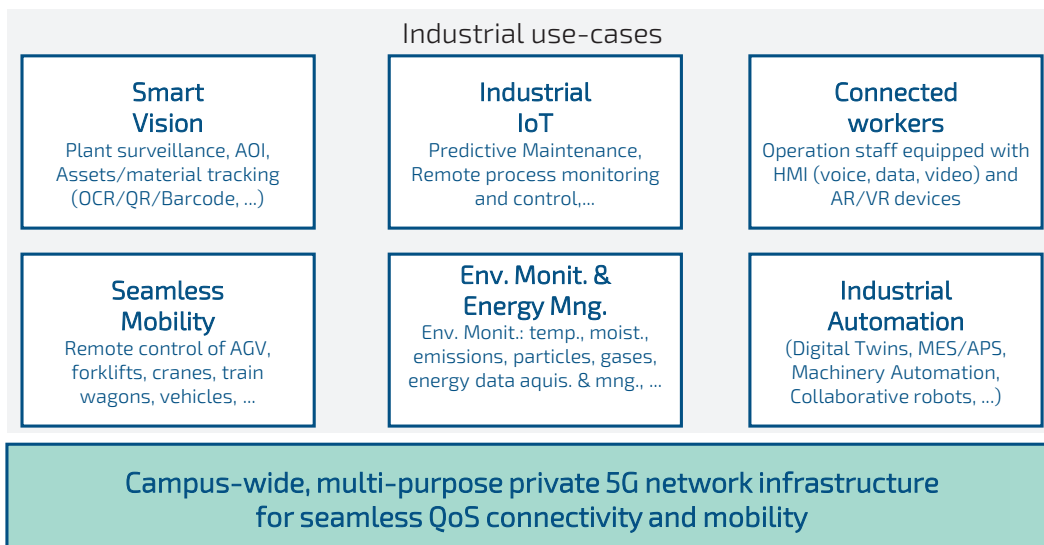
- - enables the implementation of the digital solution to the full extent
- - Technological limitations make it impossible to implement a digital solution to the full extent
- - enables the implementation of a digital solution on a limited scale

Data source: 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA)

SRK 2024

# Which Industrial Use-cases?

Categories of use-cases by type of industrial equipment used...



SRK 2024



# Kontron MPN Complete Solution

## 5G User Devices



- Supporting **end-to-end solution**
- Expertise in device selection, rigorous testing, and seamless integration into customer's environment

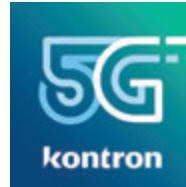
## 5G RAN



- **Interoperable with various RAN networks**
  - Airspan
  - CableFree
  - Ericsson
  - Huawei
  - NOKIA
  - Amarisoft
- Seamless integration of any leading radio station vendors

## Kontron 5G SA Core

### WEB GUI



From concept to reality: our **100% in-house development** ensures quality, control, and innovation

# kontron

## Data Networks

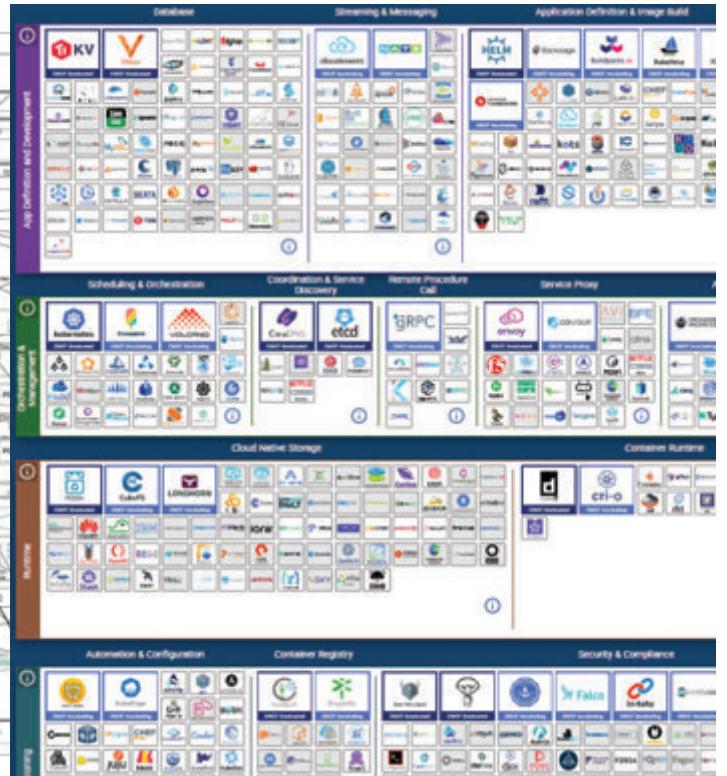
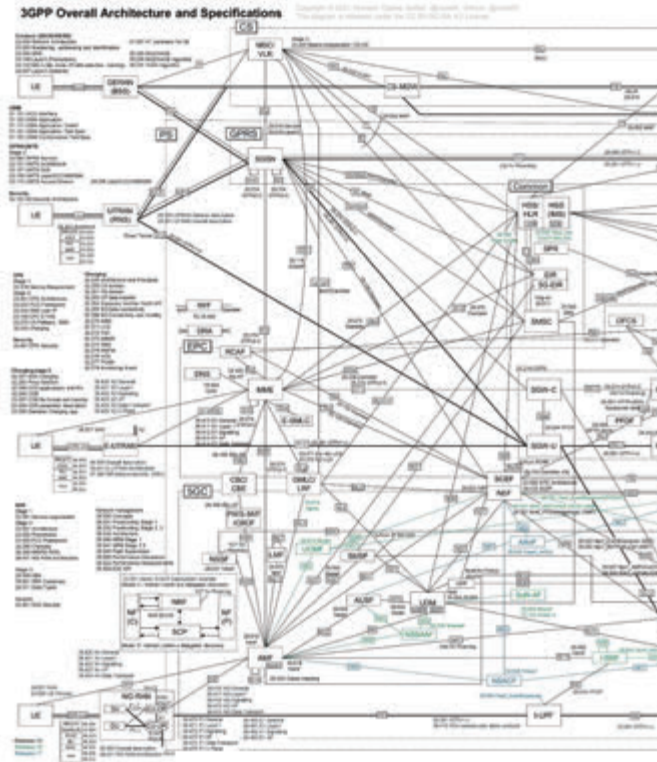


- **Integration into IT and OT networks** for an end-to-end solution
- Providing Kontron and integrating customer's apps

SRK 2024

# kontron

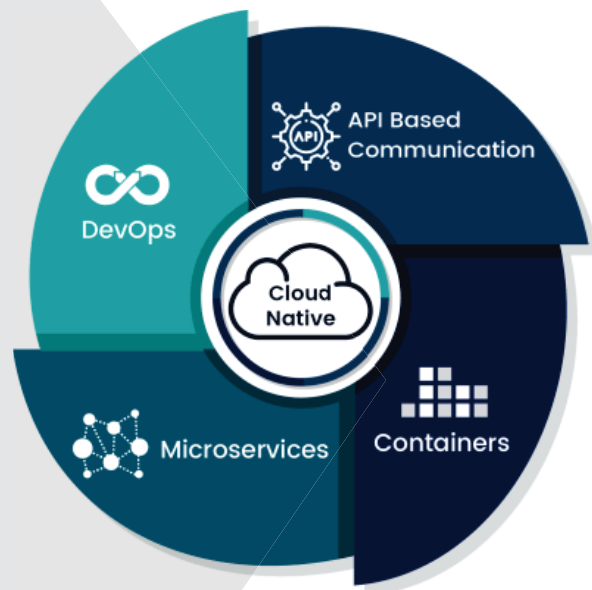
# 02 The 5G Core



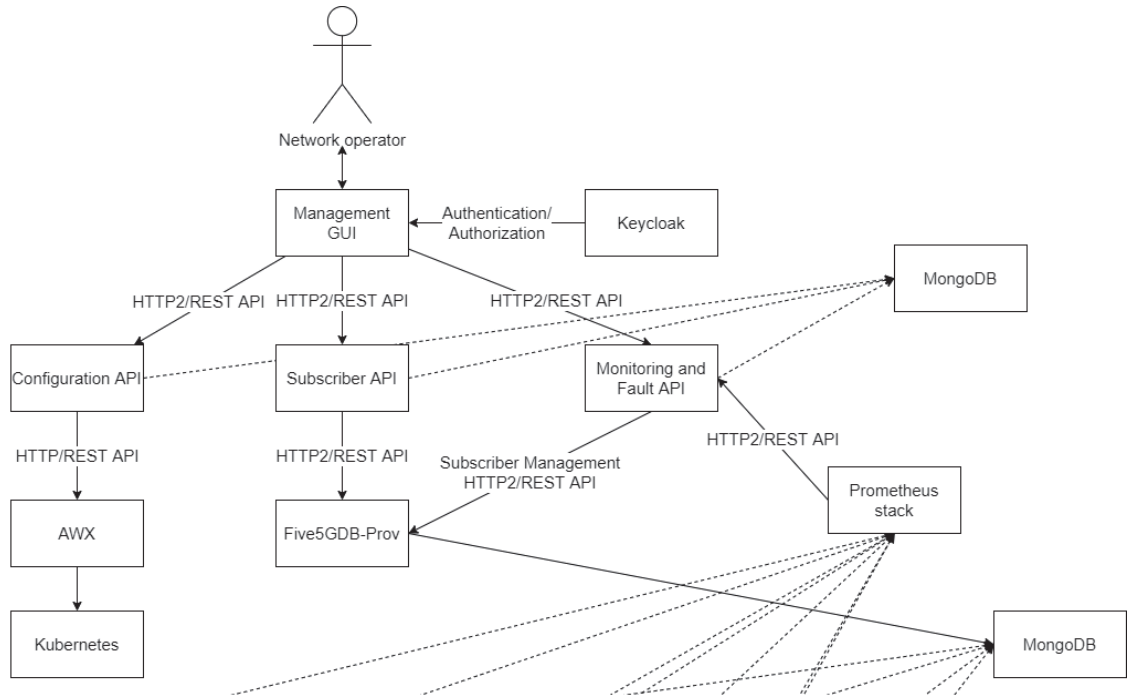
## Cloud Native 5G Core Pillars

- › 5G Service Based Architecture using HTTP/2, enable APIs on all communication paths
- › Stateless **microservices**, use stateless containers, context stored in UDSF – „Redis“, user data in databases.
- › Create **new** microservice only where scalability is expected
- › **CNCF toolset** – use only what you intend to use and what sounds great
- › CI/CD, Automation, Security by design

**kontron**

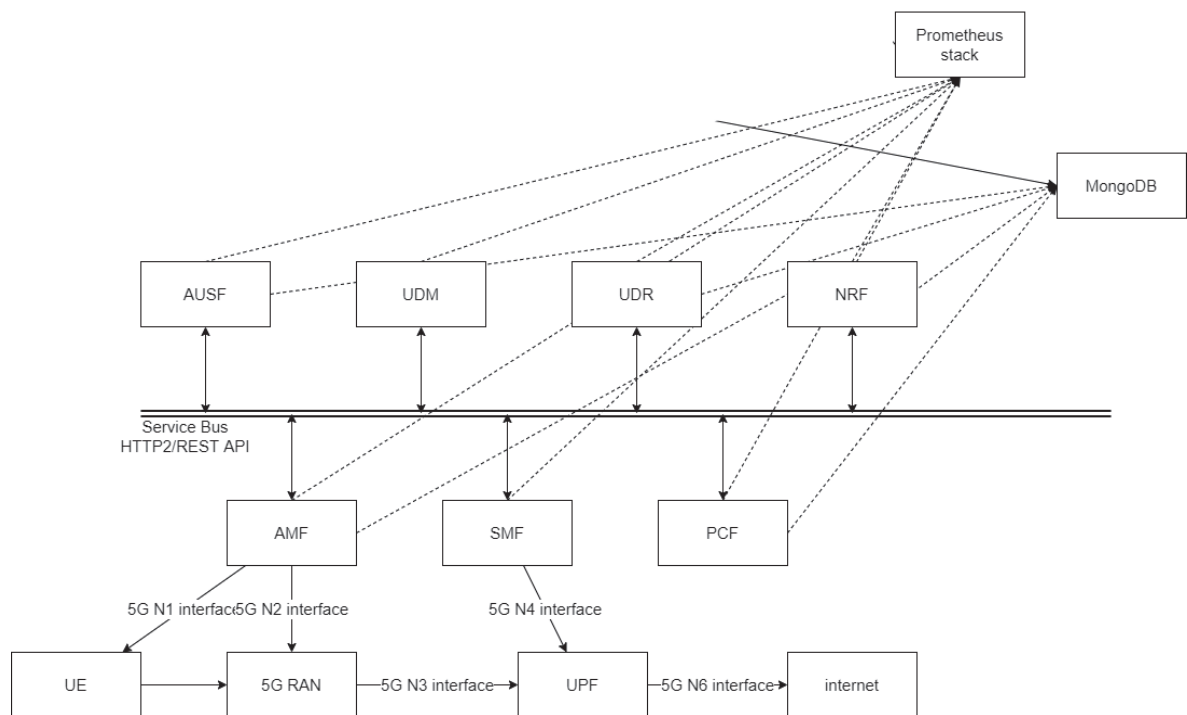


Core architecture

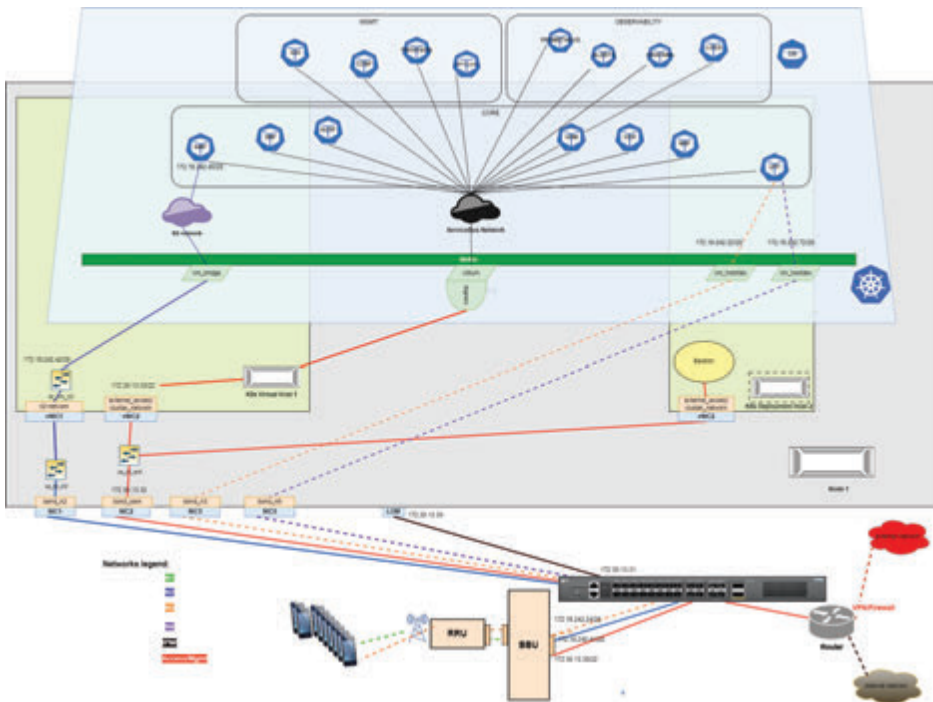


SRK 2024

Core architecture



SRK 2024



**kontron**

**Network design**

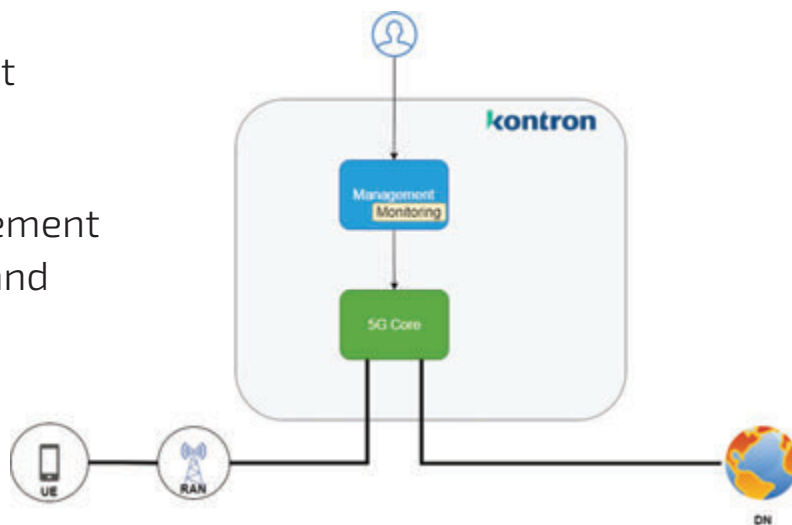
SRK 2024

## Complex solution

Simplify it

**kontron**







- › Ease of deployment
- › User friendly user interface
- › Subscriber management
- › Monitoring (basic and advanced)



SRK 2024

# Easy to install and maintain

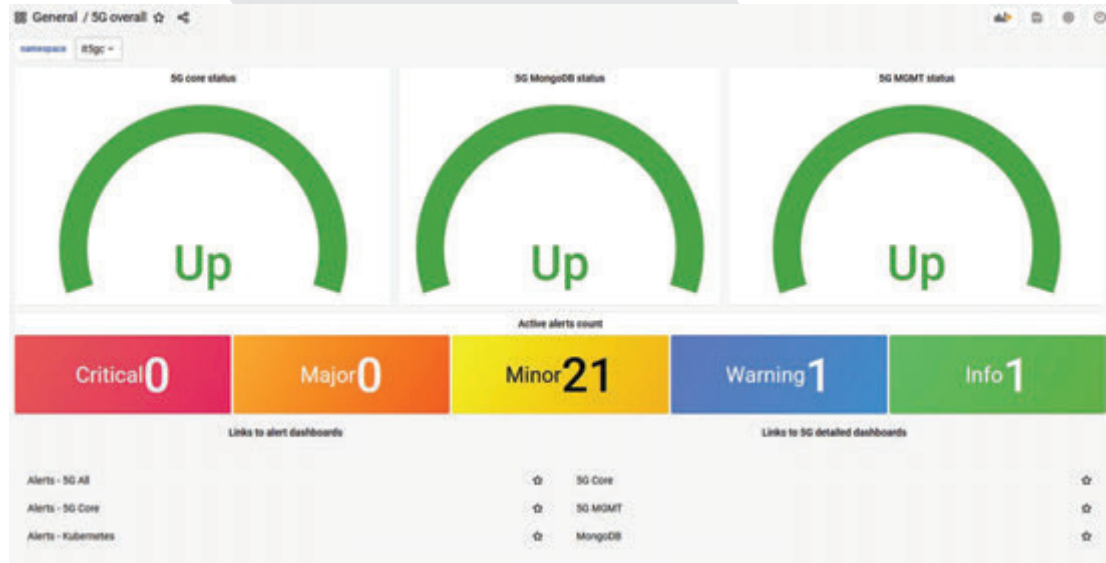


-  Subscriber management
-  End-to-end deployment (from server to working 5G network)
-  Deployment on premise or cloud
-  Kubernetes – orchestration from the box
-  Monitoring
-  Platform agnostic

SRK 2024

# Observability & Monitoring

## Overall status



SRK 2024



# Observability & Monitoring

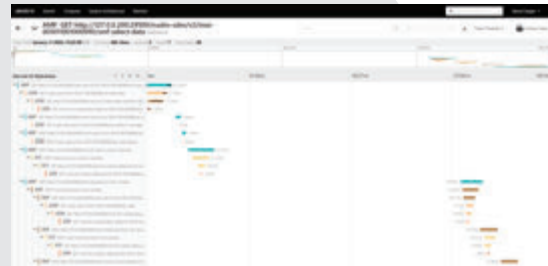


Core NF status



NF performance metrics

Logging



SBI Tracing

Kontron SI Group Presentation

# Observability & Monitoring

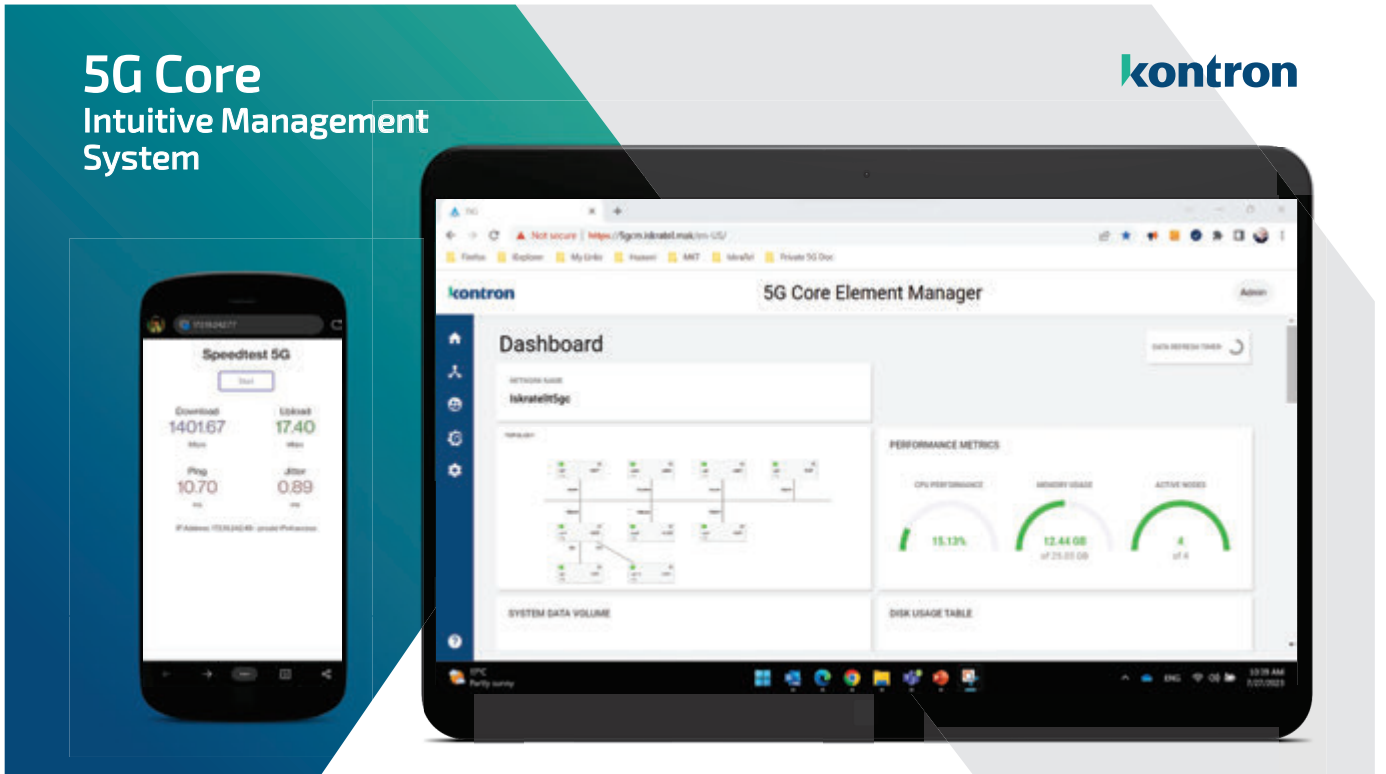


## Alerts



SRK 2024





## Subscriber management

Manage and monitor subscribers

**kontron**

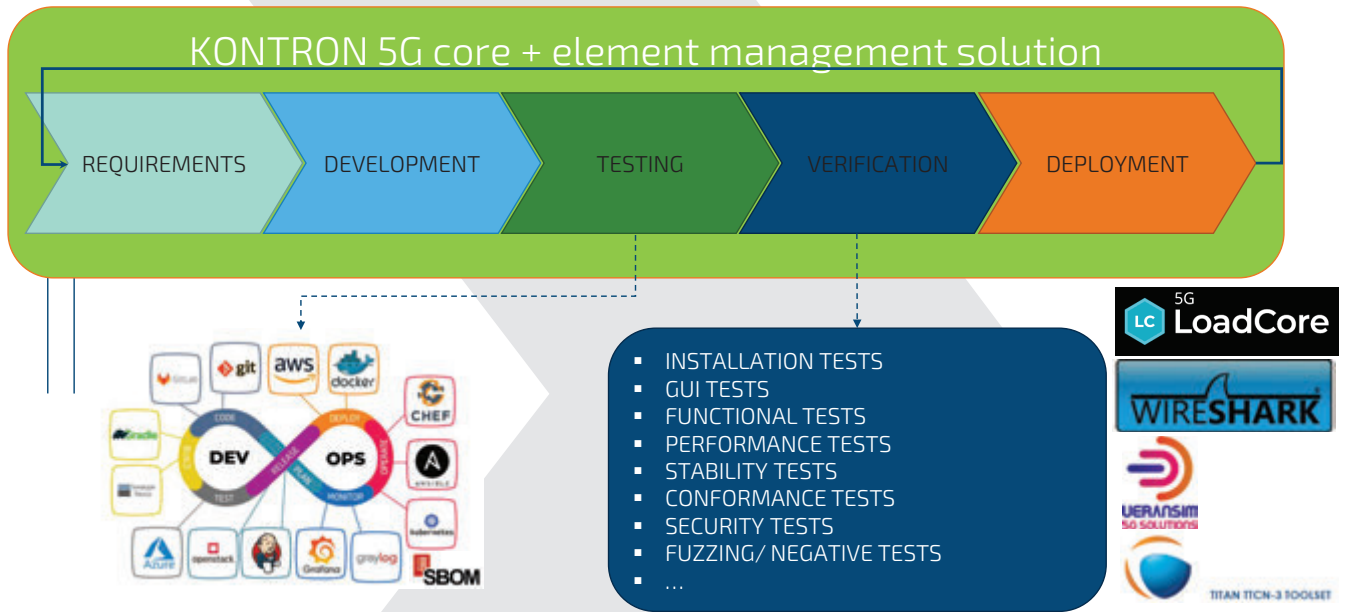
**Manage Subscribers**

Search by State: Connected

State	Name	IMSI	MSISDN	Connection Status	Registration Status	Active Status	Actions
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202328	00101777202328		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202329	00101777202329		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202330	00101777202330		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202331	00101777202331		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202332	00101777202332		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202333	00101777202333		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202334	00101777202334		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202335	00101777202335		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202336	00101777202336		Connected	Registered	Unrestricted	
<input type="checkbox"/>	MSA-00101777202337	00101777202337		Connected	Registered	Unrestricted	

10 rows per page | 10 of 1000 | < > >>

# Testing / Production / Validation







SRK 2024

21

## Kontron 5G MPN Flavours



5G All in One Portable	5G All in One On-Premises	5G Premium HA	5G on Oracle Infrastructure
			
<p>Pre-integrated portable solution, consists of:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5G core on Single server</li> <li>5G BBU + RRH (macro / small cell)</li> <li>Switch</li> <li>Management</li> <li>Ruggedized case</li> </ul>	<p>Ready to use solution, suitable small on-prem deployments</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5GC on Single server</li> <li>HA (active-standby)</li> <li>Switch</li> <li>Management</li> <li>Backup on Cloud</li> </ul>	<p>Highly available solution for mobile private networks:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3 Servers solution</li> <li>2 Switches</li> <li>SBA 5G core</li> <li>High throughput</li> <li>HA (active-active)</li> <li>Additional applications</li> </ul>	<p>Plug-and-play solution offering from public cloud:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Automatic provisioning</li> <li>Edge capabilities</li> <li>Oracle app integration</li> <li>Seamless OCI integration</li> </ul>

SRK 2024

22



# 03 Cybersecurity

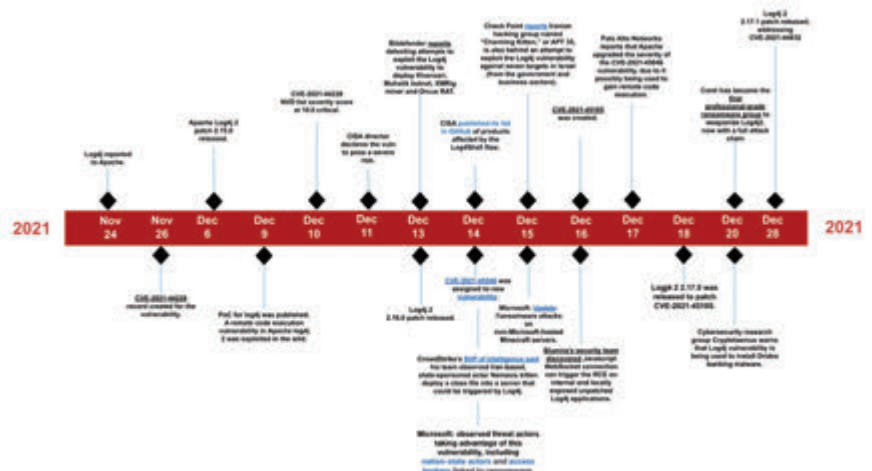
Built-in security in the product!

Kontron SI Group Presentation

## Do you know what is in your SW?



- › Common excuses:
  - › closed environment
  - › R&D cost will increase
  - › Not development problem



SRK 2024

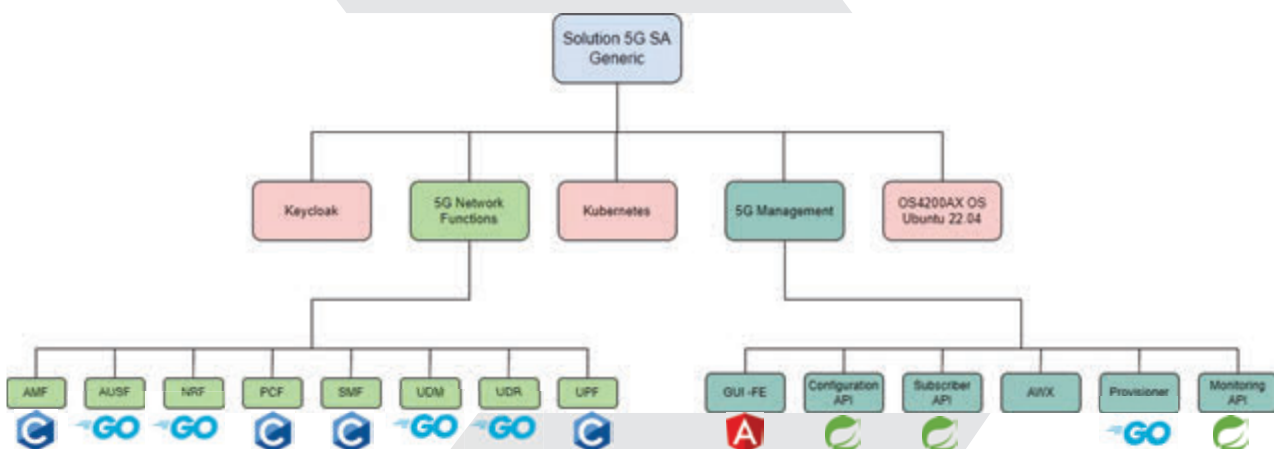
# SSDLC Pipelines to the rescue



- › Secure SDLC – SSDLC
- › Embedding security into all phases of the product lifecycle
  - › Planning, requirements, design and prototyping, development, deployment, maintenance

SRK 2024

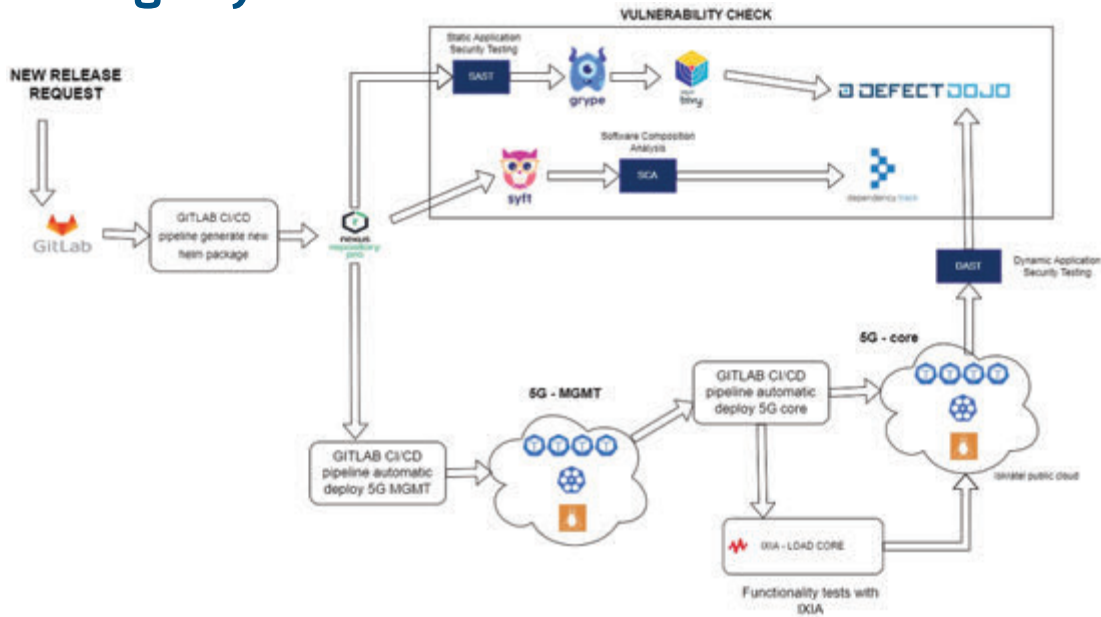
# Solution example:



SRK 2024

26

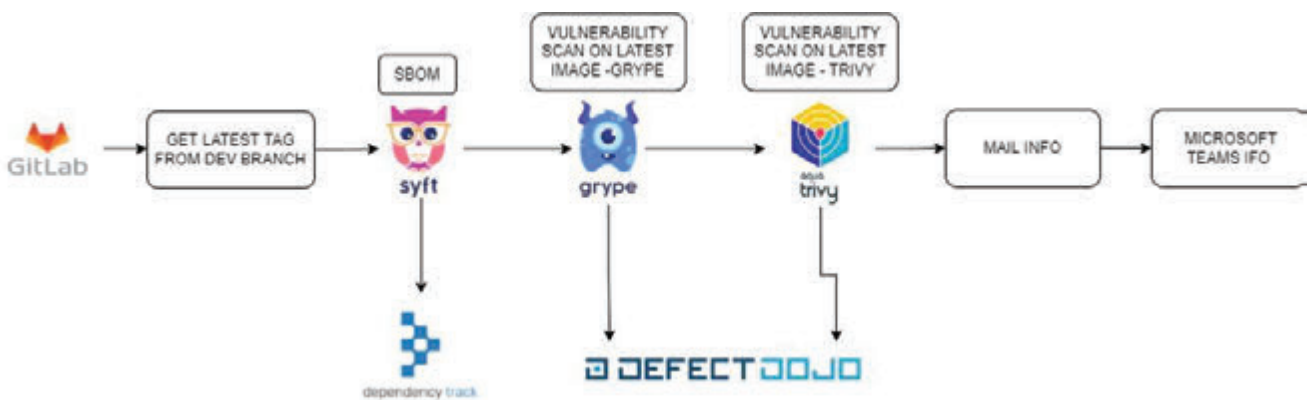
# 5G nightly builds



SRK 2024

27

# Pipeline

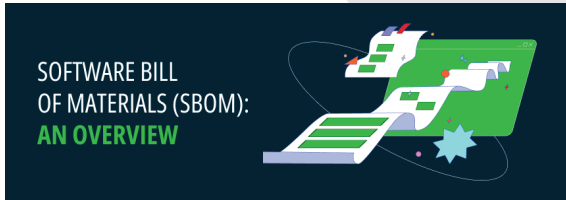


SRK 2024

28

## Software bill of materials (SBOM)

**kontron**



- › Complete inventory of codebase, including open source components, licenses, ...
- › To mitigate security risks in the supply chain
- › More formats – useful for interoperability
- › 2 formats CycloneDX in SPDX

SRK 2024

29

## A vulnerability scanner for container images and filesystems

**kontron**



- › Containers – 3rd party containers can open a whole range of security
- › Find vulnerabilities for major operating system packages: Alpine, Amazon Linux, BusyBox, CentOS, ...
- › Find vulnerabilities for language-specific packages: Ruby (Gems), Java (JAR, WAR, EAR, JPI, HPI), JavaScript (NPM, Yarn)
- › GRYPE – vulnerability scanning
  - › Installation as docker image
  - › Supports different formats
  - › Can ignore vulnerability
  - › Default scanner for GitLab
  - › Available as Jenkins plug-in

SRK 2024

30



bash-3.2\$ trivy knzyf263/test-image:1.2.3

```

2019-05-13T15:19:03.912+0900 INFO Updating vulnerability database...
2019-05-13T15:19:05.983+0900 INFO Detecting Alpine vulnerabilities...
2019-05-13T15:19:06.987+0900 INFO Updating npe Security DB...
2019-05-13T15:19:07.048+0900 INFO Detecting npe vulnerabilities...
2019-05-13T15:19:07.048+0900 INFO Updating pipenv Security DB...
2019-05-13T15:19:08.507+0900 INFO Detecting pipenv vulnerabilities...
2019-05-13T15:19:08.508+0900 INFO Updating bundler Security DB...
2019-05-13T15:19:09.574+0900 INFO Detecting bundler vulnerabilities...
2019-05-13T15:19:09.575+0900 INFO Updating cargo Security DB...
2019-05-13T15:19:10.441+0900 INFO Detecting cargo vulnerabilities...
2019-05-13T15:19:10.441+0900 INFO Updating composer Security DB...
2019-05-13T15:19:11.649+0900 INFO Detecting composer vulnerabilities...

```

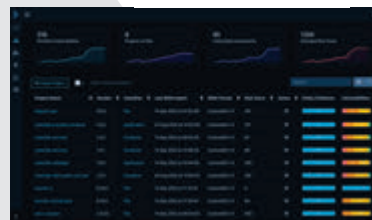
LIBRARY	VULNERABILITY ID	SEVERITY	INSTALLED VERSION	FIXED VERSION
curl	CVE-2018-14618	CRITICAL	7.61.0-r0	7.61.1-r0
	CVE-2018-16839	HIGH		7.61.1-r1
	CVE-2019-3822			7.61.1-r2
	CVE-2018-16040			7.61.1-r1
	CVE-2018-16890	MEDIUM		7.61.1-r2
	CVE-2019-3823			
	CVE-2018-16842			7.61.1-r1
	CVE-2018-18486	HIGH	2.15.2-r0	2.15.3-r0

Total: 26 (UNKNOWN: 0, LOW: 3, MEDIUM: 16, HIGH: 8, CRITICAL: 2)

SRK 2024



# Vulnerability management tools





# 04 5G RAN

Kontron SI Group Presentation

## Connectivity from one provider



You don't go buy wheel from one vendor, steering wheel from second vendor, chassis from third vendor... you buy a car.

- › 5G connectivity should be no different! This can be done, either by:
  - › Vendor
  - › Integrator
- › Vendor/integrator guarantees for E2E compatibility and serviceability.

SRK 2024

## Kontron's solution for Industry Indoor Small Cell

**kontron**

- › Based on Qualcomm FSM100xx/FSM200xx RAN platform for Small cells
- › R16
- › Integrated all-in-one
- › 2x2 or 4x4 MIMO, Sub6



SRK 2024

## Kontron Europe, Augsburg: 5G Campus Project goals

**kontron**

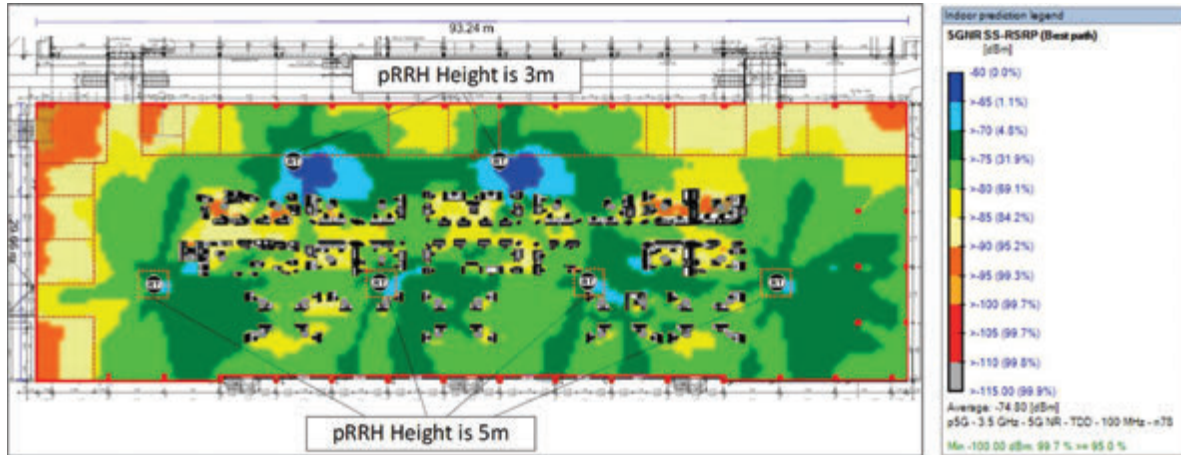
- › Expectations
  - › Deployment of 5G SNPN (5G Campus) in Kontron Europe GmbH – Augsburg to cover the area of production and warehouse facilities.
- › Use cases
  - › Connecting production Island IT PCs to main server/ERP with high bandwidth
  - › Testing correct functionality of 5G modems built into products
  - › AGVs, wireless scanners, AI cameras
  - › TEAMS sessions and calls over 5G
- › Size/capacity
  - › Up to 500 end devices



SRK 2024

# Coverage simulation results - production

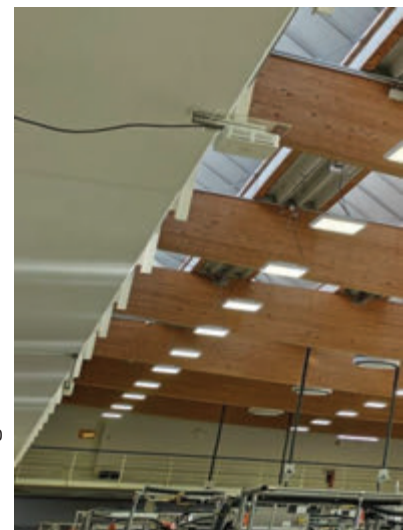
## Antenna Layout and Coverage Prediction



37

## Project results

- › Regulatory compliance
  - › 5G spectrum assignment completed
  - › IMSI assignment completed
- › Implementation status
  - › Physical set up of the network completed
  - › 5G network in Production and Warehouse facility up and running
  - › Integration with existing IT network completed
  - › User devices tested: Kontron 5G FWA CPE, Zebra TC58, OnePlus 11, Kontron IIoT Gateway and others
- › Additionally
  - › User provisioning know how training completed
  - › Deployed tool for SIM card management and know how transferred to local IT team
  - › Deployed tool to measure data rates and latencies of the network



SRK 2024

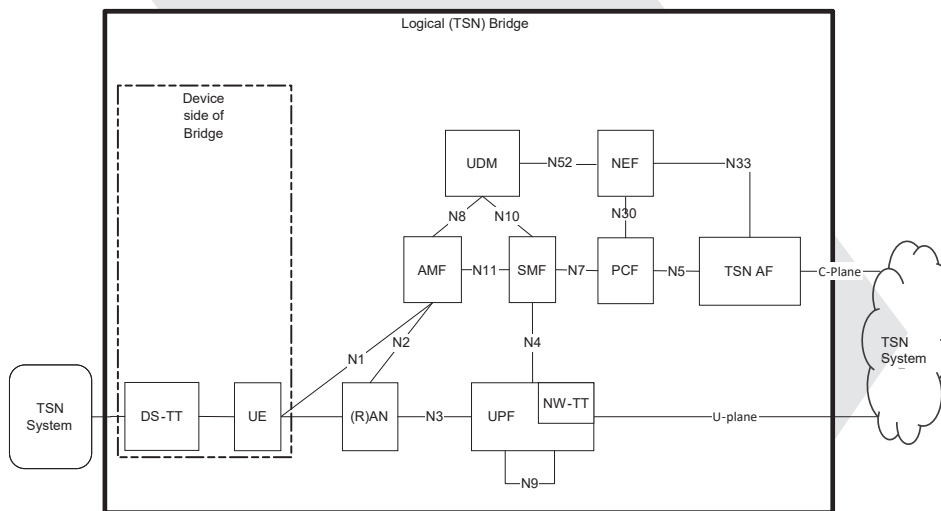
# 05 Industrial feature - TSN

A Quick Look into the Future!

## TSN – Overview

- › The 5G System is extended to support Time sensitive communication as defined in **IEEE 802.1** Time Sensitive Networking (TSN) standards
- › IEEE TSN is a set of standards to define mechanisms for the time-sensitive (i.e. deterministic) transmission of **data over Ethernet** networks
- › The **5G System** is integrated with the external network **as a TSN bridge**
- › 5GS TSN translator functionality consists of:
  - › Device-side TSN translator (**DS-TT**) and
  - › Network-side TSN translator (**NW-TT**)
- › The TSN AF is part of 5GC and provides the control plane translator functionality for the integration of the 5GS with a TSN network, e.g. the interactions with the CNC
- › 5GS provides TSN **ingress** and **egress ports** via DS-TT and NW-TT

# System architecture view with 5GS appearing as TSN bridge



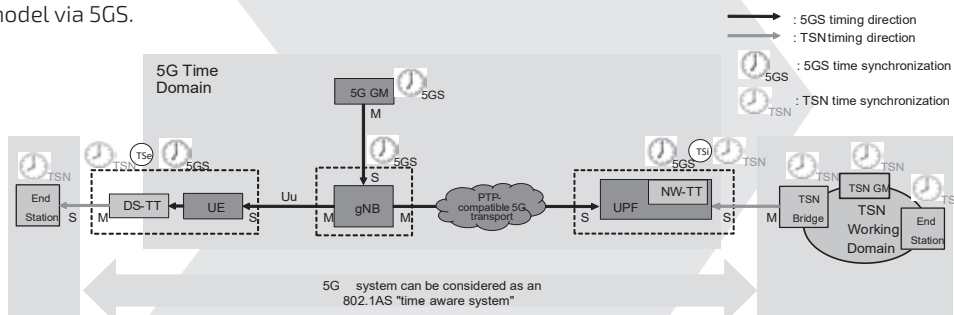
3GPP 23.501 Release 16

# TSN Time Synchronization



- › For TSN time synchronization, the **entire E2E 5G system** can be considered as an IEEE Std 802.1AS "time-aware system",.
- › Only the **TSN Translators (TTs)** at the edges of the 5G system need to support the IEEE Std 802.1AS operations.
- › **UE, gNB, UPF, NW-TT and DS- TTs** are synchronized with the **5G GM** (i.e. the 5G internal system clock) which shall serve to keep these network elements synchronized.
- › The TTs located at the edge of 5G system fulfil some functions related to IEEE Std 802.1AS,
  - › e.g. gPTP support, timestamping, rateRatio. Figure below illustrates the 5G and TSN grandmaster (TSN GM) clock distribution model via 5GS.

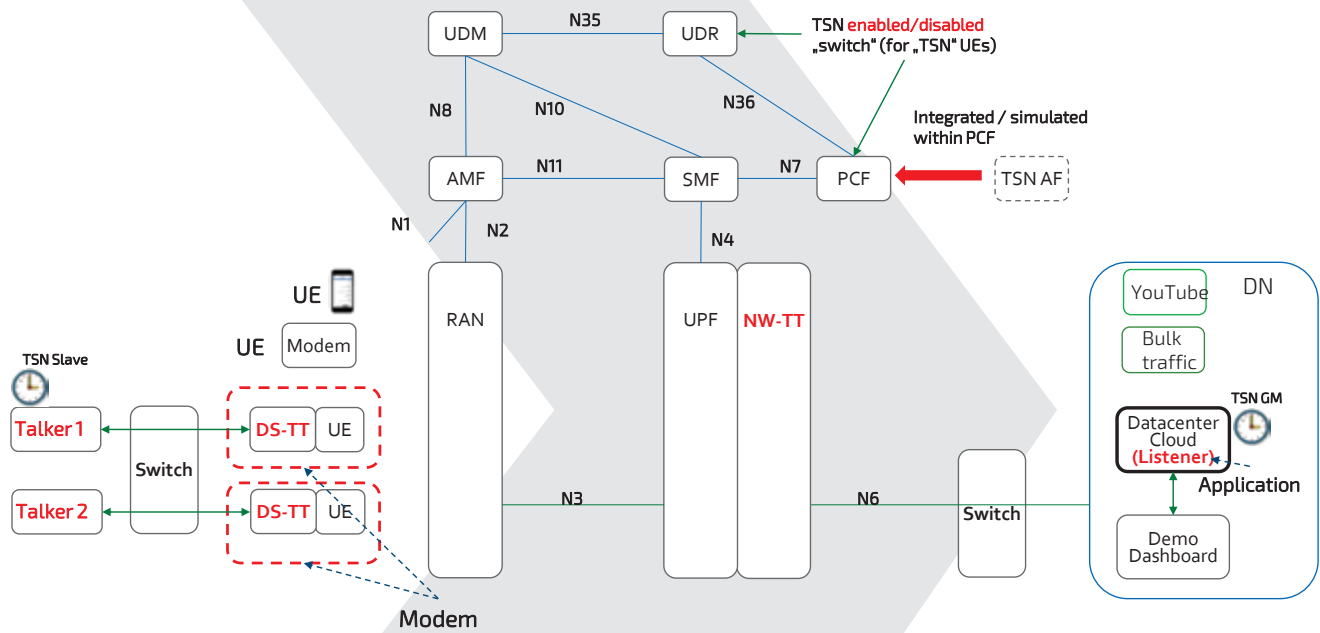
M – Master and S – Slave (S) ports



3GPP 23.501 Release 16

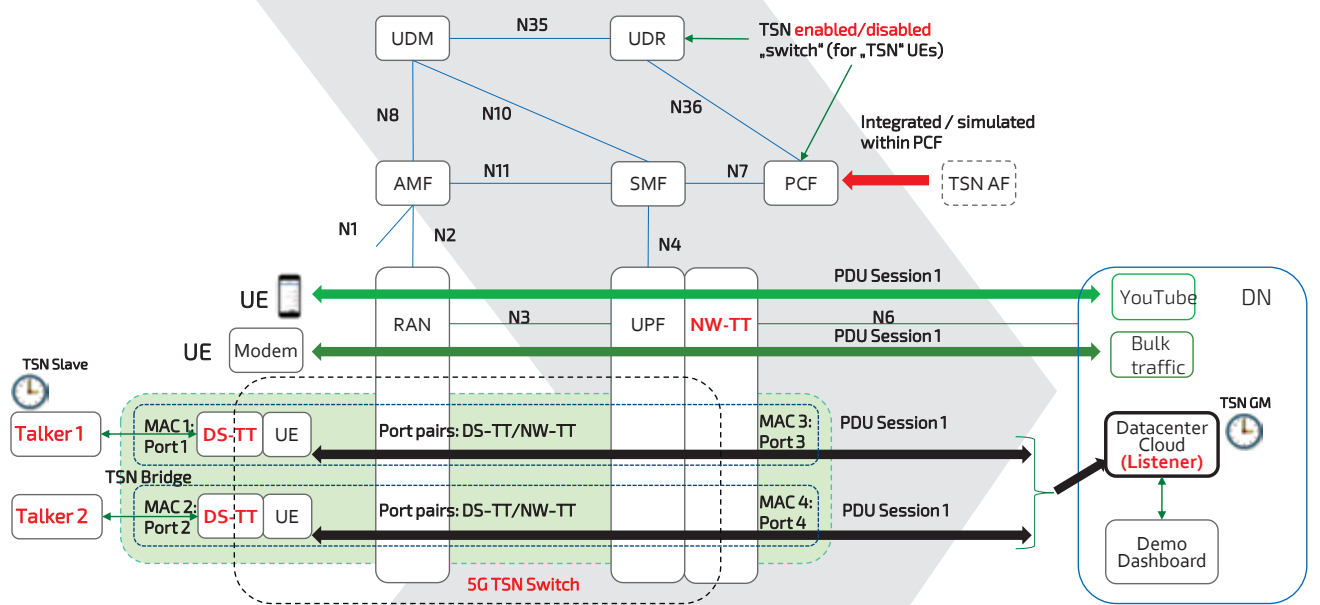


### Kontron TSN via 5G with partners – simplified (TSN AF simulated)



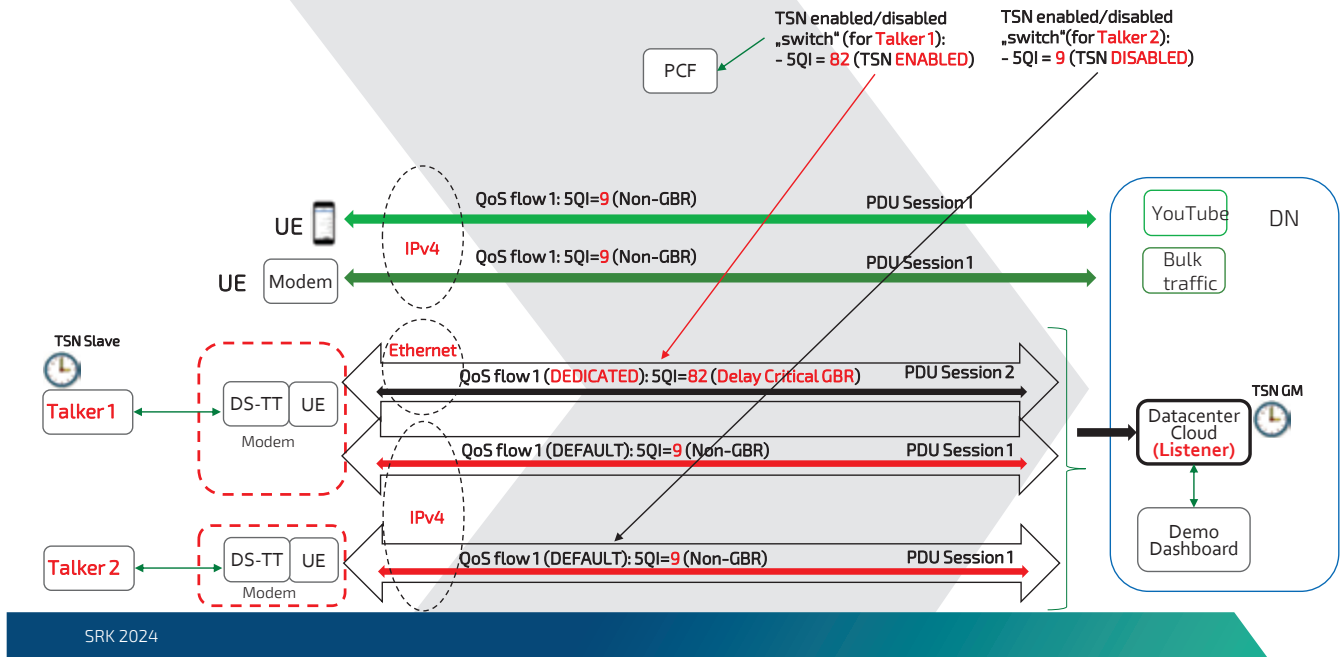
SRK 2024

### Kontron TSN via 5G – Demo

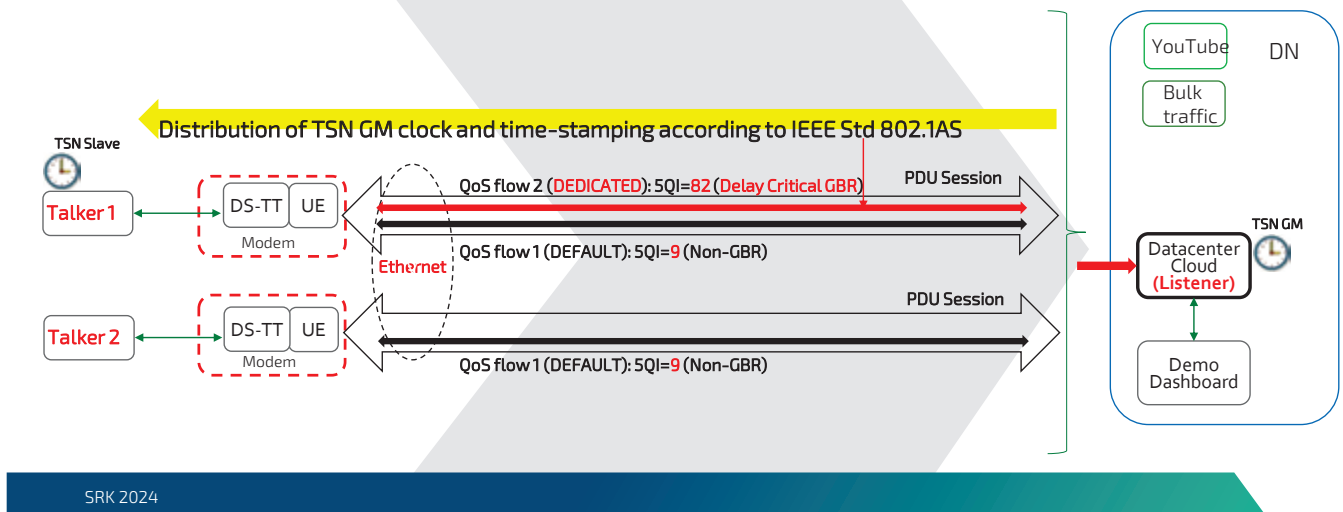


SRK 2024

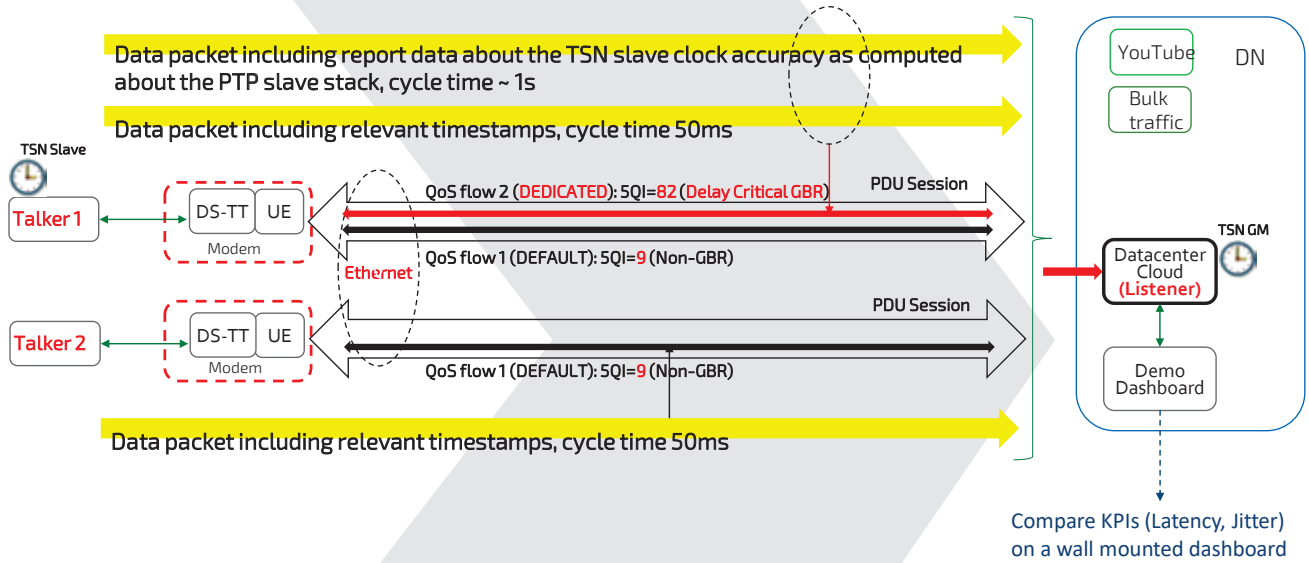
### Kontron TSN demo via 5G (TSN „ENABLED/DISABLED“ )



### Kontron TSN Demo via 5G (TSN GM distribution: TSN GM → TSN Slave)



# Kontron TSN Demo via 5G (Data plane from Talker to Listener)



SRK 2024



## 06 Spectrum

# Private Spectrum availability

**kontron**

- › German model still unique
- › Setting outdoor RAN is under ECC recommendation ECC/REC (20)03, which makes it unsuitable for private networks
  - › Synchronization schema DD DS UU DD DD
    - › In Slovenia in 20Mhz, you can only achieve 37Mbps upload
- › Slowly contries are opening, but still long way to go...



- › <https://static1.squarespace.com/static/618d27c76b02e03d13069543/t/657a2bf03c363b76fb65d846/1702505457227/Spectrum+Update+2023.pdf>

SRK 2024

**kontron**

Follow us



Copyright © 2023 Kontron. All rights reserved. All data is for information purposes only and not guaranteed for legal purposes. Information has been carefully checked and is believed to be accurate; however, no responsibility is assumed for inaccuracies. Kontron and the Kontron logo and all other trademarks or registered trademarks are the property of their respective owners and are recognized. Specifications are subject to change without notice.



# Evolucija od 5G do 6G: Tehnologije za trajnostne in prožne komunikacijske sisteme

## *Evolution from 5G to 6G: Technologies for sustainable and resilient communication systems*

Janez Sterle

Internet Institut

[janez.sterle@iinstitute.eu](mailto:janez.sterle@iinstitute.eu)

### **Povzetek**

5G sistemi izkoriščajo sodobne tehnologije, kot so pristop zgrajen na oblaku (cloud-native), orkestracija omrežja, rezinjenje in razčlenjeno radijsko omrežje. Te inovacije omogočajo programabilnost in prilagodljivost omrežja ter prilagajanje operativnih rešitev specifičnim industrijskim vertikalam. V prihodnosti, ko se oziramo k 6G, je v teku usklajen globalni napor za dekarbonizacijo. To vključuje ustvarjanje energetske učinkovitih mobilnih omrežij s poudarkom na trajnosti za prihodnost. Zavedanje dinamične narave mobilnega prometa poudarja pomembnost integracije inovativnih funkcionalnosti za varčevanje z energijo. To zagotavlja, da se kapaciteta mobilnih omrežij prilagaja povpraševanju in sočasno uporabnikom nudi optimalno izkušnjo ob hkratnem zmanjšanju porabe energije. Uvedba omrežne avtomatizacije se tako pojavlja kot ključno gonilo. Tako se ne povečajo samo prometne zmogljivosti na uporabljeni strojni opremo, ampak tudi zmanjša poraba energije, kar se odraža v celovitemu pristopu k učinkovitemu in trajnostnemu upravljanju mobilnih sistemov.

### **Abstract**

*5G systems leverage cutting-edge technologies such as a cloud-native approach, network*

*orchestration, slicing, and a disaggregated radio network. These innovations facilitate network programmability and adaptability, tailoring operational solutions to specific industrial verticals. Looking ahead to 6G, there is a concerted global effort towards decarbonization. This involves the creation of energy-efficient mobile networks, with a focus on sustainability for a 6G-enabled future. Recognizing the dynamic nature of mobile traffic, the integration of energy-saving functionalities becomes paramount. This ensures the capacity of mobile networks aligns with demand, providing users with the optimal experience while minimizing energy consumption. Moreover, the implementation of network automation emerges as a key driver. This not only maximizes traffic performance for deployed hardware but also minimizes energy usage, reflecting a holistic approach towards efficient and sustainable mobile systems.*

---

### **Biografija avtorja**



Janez Sterle je soustanovitelj in direktor podjetja Internet Institut, d.o.o. Magistriral in doktoriral je s področja telekomunikacij na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani. Njegovo

glavno področje dela je načrtovanje, razvoj, upravljanje in optimizacija omrežij ter storitev 5G in 6G. Ima uveljavljene mednarodne izkušnje na področju raziskav in razvoja ter industrijskih projektov v različnih sektorjih (telekomunikacije, logistika, varnost in zaščita) vključno s projekti Evropske komisije na področju 5G in 6G tehnologij. Tesno sodeluje z industrijskimi akterji, regulatornimi in zakonodajnimi organi tako na strateški kot tehnični ravni.

#### ***Author's biography***

*Janez Sterle is the co-founder and director of Internet Institut, d.o.o. He received his MSc and PhD in the field of telecommunications at the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana. His main area of work is planning, development, management and optimization of 5G and 6G networks and services. He has established international experience in research and development and industrial projects in various sectors (telecommunications, logistics, safety and security), including European Commission projects in the field of 5G and 6G technologies. He works closely with industry players, regulatory and legislative authorities at both strategic and technical levels.*





## Evolution from 5G to 6G: Technologies for Sustainable and resilient communication systems

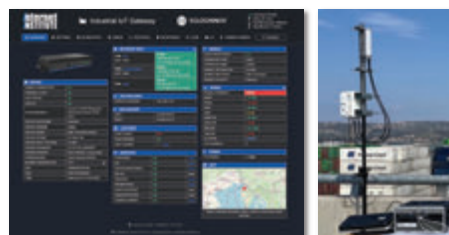
dr. Janez Sterle | INTERNET INSTITUT d.o.o.  
janez.sterle@iinstitute.eu

SRK 2024

Ljubljana, Slovenija, 2024

## Company Profile

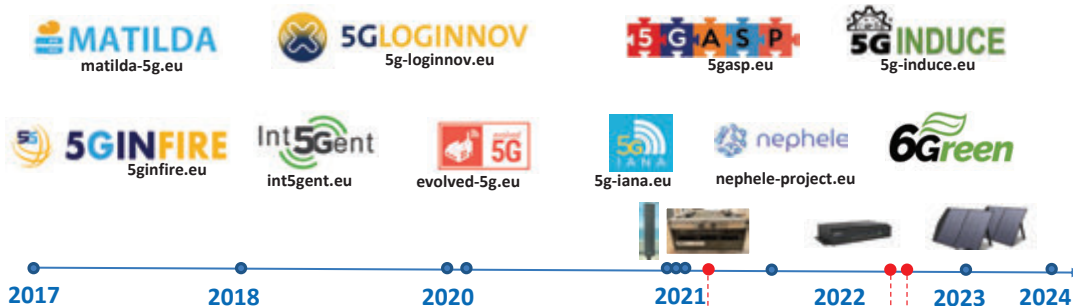
- Company facts
  - Startup established in 2014
  - Located in Ljubljana, Slovenia
  - 100% team ownership
  - 100% IPR ownership
  - First employees Q4 2017 (7, +10 associates)
  - Trusted R&I partner in EU H2020
- Core Expertise: development, engineering and operation of telco grade Quality Assurance (QA) and Critical Communications Systems (CCS)
- Main technologies verticals
  - QA | Quality assurance of mobile, fixed and cloud systems | [www.qmon.eu](http://www.qmon.eu)
  - CC | Solutions for 5G/IoT-based critical communications | [5gsafety.net](http://5gsafety.net)



© 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



# We Live 5G/6G



PPDR | Ports | Smart Factories | Industry 4.0 | Automotive | Critical Infrastructure






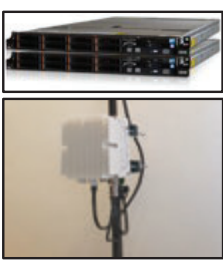
This projects received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme grant agreements No. 761898, 732497, 957400, 957403, 101016448, 101016608, 101016941 and 101016427.

Page 3 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.

- Operational 5G Network | SA
- 5G qMON | 5G Test Automation
- 5G IoT System | NSA/SA
- Orchestrating 5G Network
- Orchestrating 5G Test Automation
- Orchestrating 5G IoT Backend



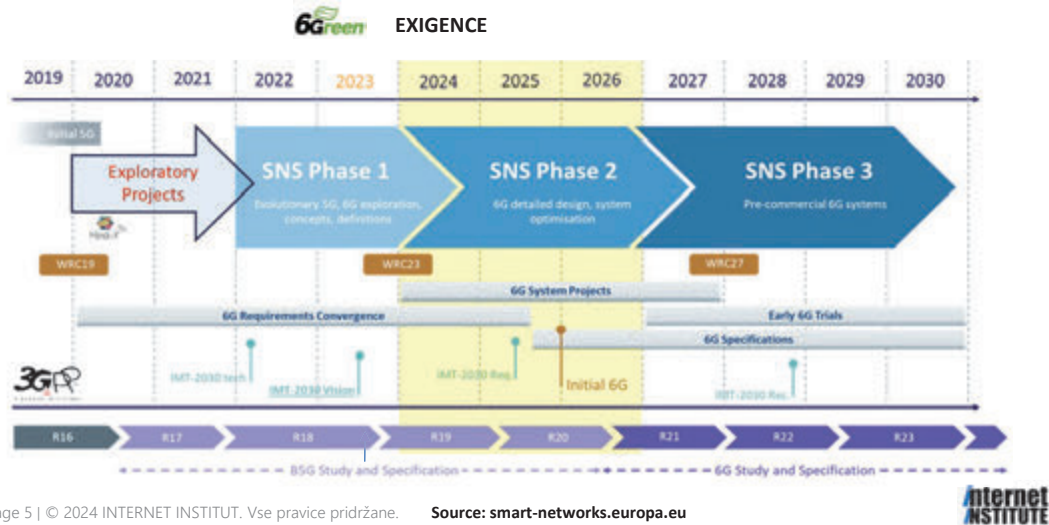
## 5G Products | Verified in operational environments

<p><b>5G SA</b></p> <p><b>Slicing</b></p> <p><b>Containerised</b></p> <p><b>Cloud-native (K3s)</b></p> <p><b>EDGE &amp; Far-EDGE</b></p> <p><b>MANO-Operational</b></p>	 <p><b>qMON</b> www.qmon.eu</p> <p>4G/5G Test Automation and Quality Assurance for mobile, fixed and cloud systems</p> 	 <p><b>rMON</b></p> <p>Supporting remote IoT and M2M processes for the industry 4.0 and MC services</p> 	 <p><b>MOBILEONE</b></p> <p>Cloud-based private 5G system for industrial and mission-critical environments</p> 
---	---	---	---

Page 4 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



## From 5G to 6G | EU strategic plan



## 5G | Unifying Connectivity Fabric 1/2



## 5G | Unifying Connectivity Fabric 2/2



Page 7 | © 2024 INTERNET INSTITUT. Vse pravice pridržane.



## 5G | Chip complexity

The collage consists of three main elements: 1) A WSJ article titled "Inside Apple's Spectacular Failure to Build a Key Part for Its New iPhones" with a sub-headline "The company set out to design a silicon chip that would allow it to cut ties with Qualcomm, a longtime supplier and bitter foe." 2) A WSJ article titled "Apple 'spectacularly' failed to develop its own silicon chip - WSJ" with a sub-headline "Apple (NASDAQ:AAPL) has failed in developing its own silicon chip that would allow it to cut its partnership with Qualcomm (NASDAQ:QCOM), a report in the WSJ noted." 3) A photograph of a smartphone chip with "QUALCOMM MDM9608A" visible.

Page 8 | © 2024 INTERNET INSTITUT. Vse pravice pridržane.



# 5G | How far we have come?



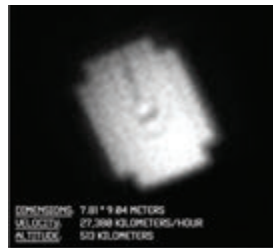
## AST SpaceMobile Achieves Space-Based 5G Cellular Broadband Connectivity From Everyday Smartphones, Another Historic World First

September 19, 2023

- AST SpaceMobile's groundbreaking space-based 5G cellular broadband capabilities and new data rate of 14 Mbps follows closely on the heels of successful 4G testing with AT&T and Vodafone
- This historic achievement was reached using the BlueWalker 3 test satellite in collaboration with partners Vodafone, AT&T, and Nokia, and further shows promise for filling coverage gaps with 4G and 5G broadband connectivity from space around the planet
- The same patented technologies support AST SpaceMobile's commercial satellites, the first five of which the company currently plans to launch in Q1 2024

MIDLAND, TX – September 19, 2023 – AST SpaceMobile, Inc. ("AST SpaceMobile") (NASDAQ: ASTS), the company building the first and only space-based cellular broadband network accessible directly by standard mobile phones, today announced another unprecedented leap in telecommunications, by successfully making the first-ever 5G connection for voice and data between an everyday, **unmodified smartphone and a satellite in space**.

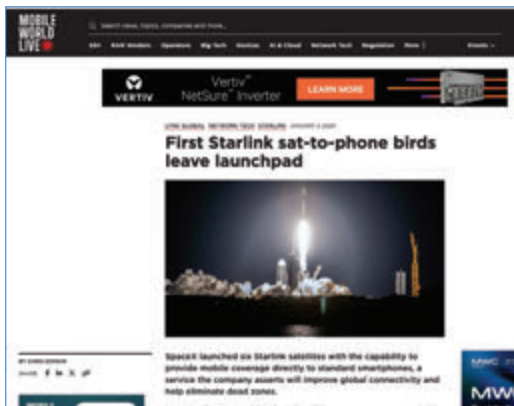
Page 9 | © 2024 INTERNET INSTITUT. Vse pravice pridržane.



Source: ast-science.com



# Commercial base station(s) on satellite(s) 1/2



<https://www.mobileworldlive.com/starlink>

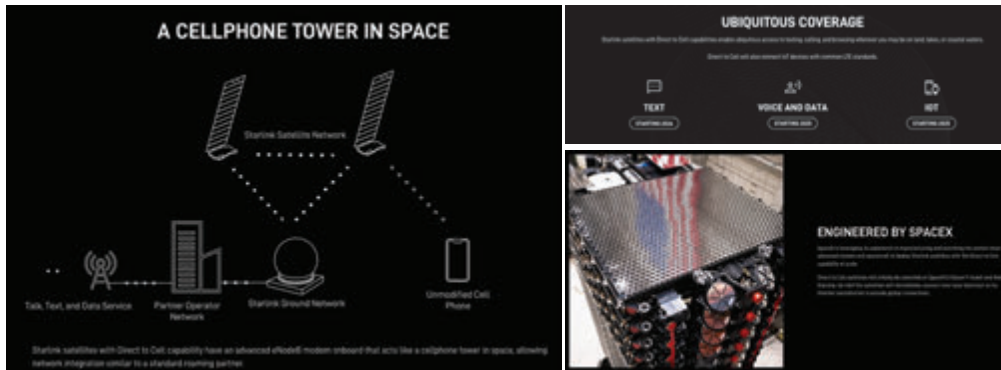


<https://direct.starlink.com/>

Page 10 | © 2024 INTERNET INSTITUT. Vse pravice pridržane.



# Commercial base station(s) on satellite(s) 2/2



<https://direct.starlink.com/>

Page 11 | © 2024 INTERNET INSTITUT. Vse pravice pridržane.



## 6G | Vision

- 6G envisions a hyper-connected world where connectivity is ubiquitous
- Immersive communication
- Internet of Senses
- Programmable world
- Connected sustainable world
- Terahertz and optical communications
- Artificial intelligence and machine learning
- Network slicing and edge computing

Copyright Bing AI ©



Copyright Qualcomm

Page 12 | © 2024 INTERNET INSTITUT. All Rights Reserved.







## Evolution from 5G to 6G | Vision to Reality

Cloud native concepts, programmability, deployment automation, integrated network & compute - with real examples

© 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.

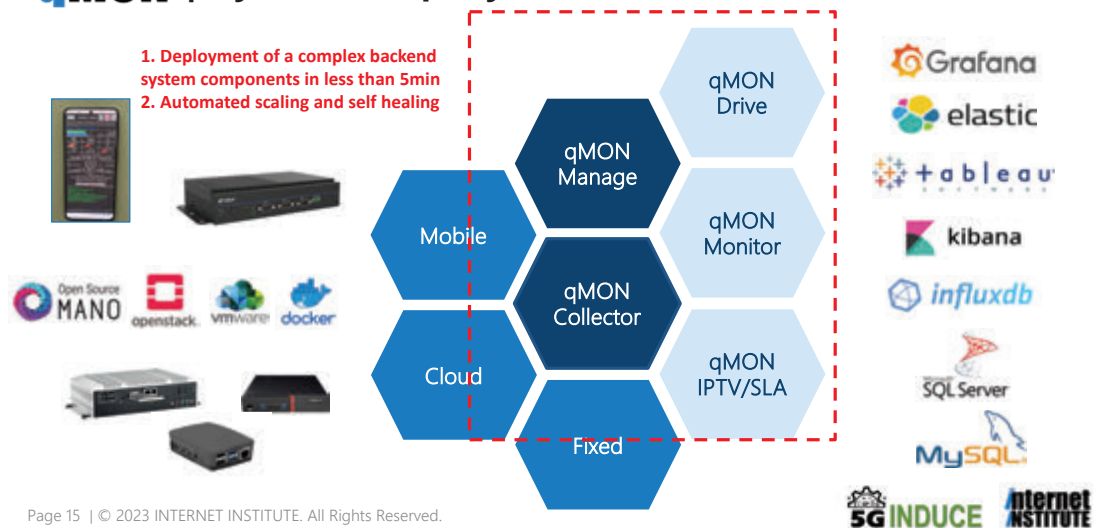
### qMON | Quality Monitoring Suite

- AT A GLANCE
  - Unified mobile, fixed and cloud (FMC) system operations
  - 5G and Cloud/VNF operational
  - Automated deployment | K8s & OSM/MANO
  - Distributed autonomous agents and system operation with zero data loss
  - Feature-rich and multi-layer with support of 100+ KPIs
  - True end-to-end automated measurements and realistic load generation
  - GIS and operator-based KPI data enrichment
- USE CASES
  - Drive and benchmark testing
  - End-to-end QoS and QoE monitoring of network and services in live environments
  - Continuous service and SLA/SLS monitoring in real-time
  - Coverage and performance assessment
  - Live network and service troubleshooting
  - Network and services trending
  - Device and system performance predictions under realistic load conditions



Page 14 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.

## qMON | System deployment automation



## rMON | Industrial IoT Gateway

- AT A GLANCE
  - Automate Industrial IoT systems
  - Customisable sensor setups
  - Ruggedized design for industrial and outdoor environment
  - Modular IoT gateway capabilities (3G, 4G, 5G, Ethernet)
  - Flexible data collection support (My/MS SQL and time series DB)
  - High-availability based on distributed measurement output streaming
  - Centralised cloud-based management with GIS enrichment
  - OTA (Over-the-Air) control of IoT gateways and sensor deployments
  - Real-time analytics & KPI visualisations
- USE CASES
  - Environmental sensing
  - Remote object and persons detection
  - Video surveillance of critical infrastructures
  - Real-time monitoring of infrastructure assets



# rMON | Industrial IoT Gateway & Compute

5G SA / Far-Edge IaaS / Cloud native / Kubernetes support / AI ready



Page 17 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



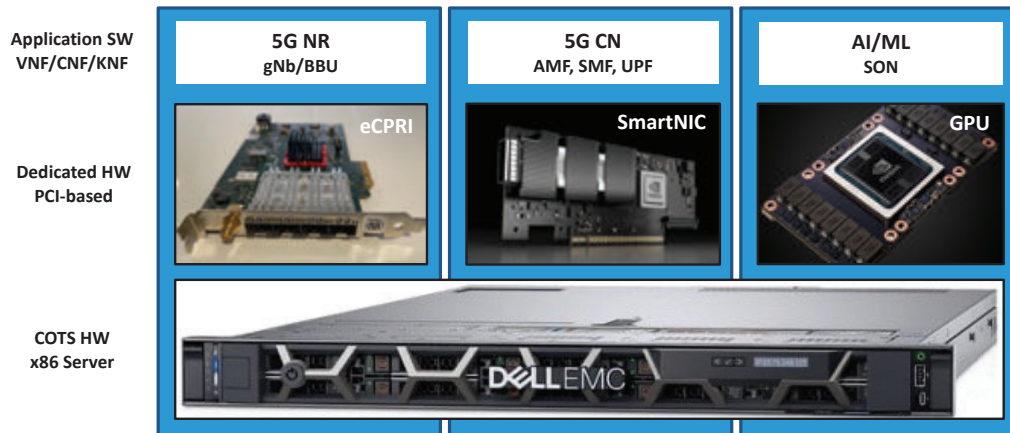
# MOBILEONE | Private 5G Systems & Compute



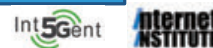
Page 18 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



# The Future of Mobile Networking



Page 19 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



## MOBILEONE | Modular Building Blocks

Portable Edge & NFVI / x86 based (COTS HW)  
 Disaggregated 5G RAN (5G SA) / RRU, CPRI & BBU  
 vBBU & Compact 5G CN (5G SA) as CNFs

Cloud native approach with CNFs  
 Kubernetes support / Manifests, Helm Charts  
 MANO/OSM support / VNFD, NSD



Page 20 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



# MOBILEONE | Highlights

- 5G CN Release 16+
  - AMF, AUSF, SMF, UPF, UDM and 5G-EIR
  - Encryption | AES, SNOW3G, ZUC
  - USIM Auth | XOR, Milenage, TUAKE 5G-AKA
  - PDU | IPv4
  - IPv4v6, IPv6 | Available in Q4 2023
  - Slicing with QoS Flows (3GPP 5QI)
  - Interfaces | NG (NGAP and GTP-U)
  - Local CMAS and ETWS messages



# MOBILEONE | Highlights

- gNb 3GPP Release 16+ (BBU with RRU)
  - 5G FDD/TDD sub-6G bands
  - Up to 4x4 MIMO
  - QAM 256 DL/UL
  - Data SCS 15, 30 Khz
  - SSB SCS 15, 30 Khz
  - 2 x SA CA
  - Slicing with QoS Flows (3GPP 5QI)
  - NG interface (NGAP and GTP-U) to 5GC
  - XnAP gNb-gNb
  - ...





# MOBILEONE | Streamlined Management UI

- Exposing key gNb/CN config parameters and optionally full config map



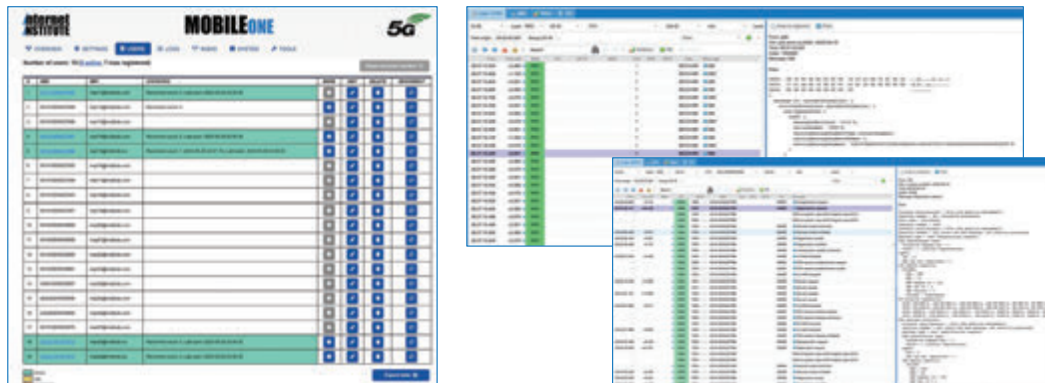
Page 23 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



# MOBILEONE | Streamlined Management UI

User provisioning

Signalling Flow Debug



Page 24 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.







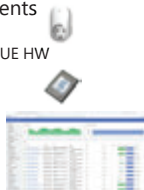
# Cloud Native 5G/6G Systems

## Benefits of the mobile network programmability & automation

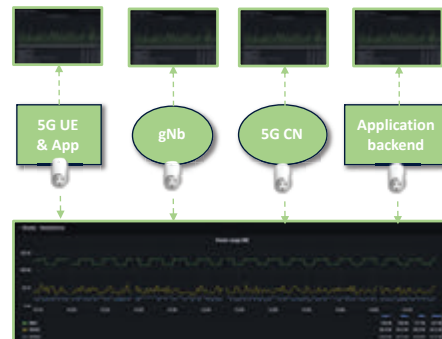
© 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.

## 5G/6G Pilot Environment | Ljubljana

- Automated 5G System (SA) deployment **MOBILEONE**
  - 5G CN (10s)
  - 5G BBU/RRU (3 min)
  - Kubernetes | MANO/OSM orchestrated
- 5G UE (SA) **UMON**
  - Industrial GW
  - Far-edge (K3s)
- 5G Test Automation system **UMON**
  - Generating real application traffic in controlled fashion
  - Running 3pty applications
- Power consumption measurements
  - Power outlet level
    - RRU HW, Edge Server, 5G UE HW
  - Socket level
    - CPU
  - Process level
    - Network e.g., BBU, 5G CN
    - Application



### Process (level) power consumption measurements

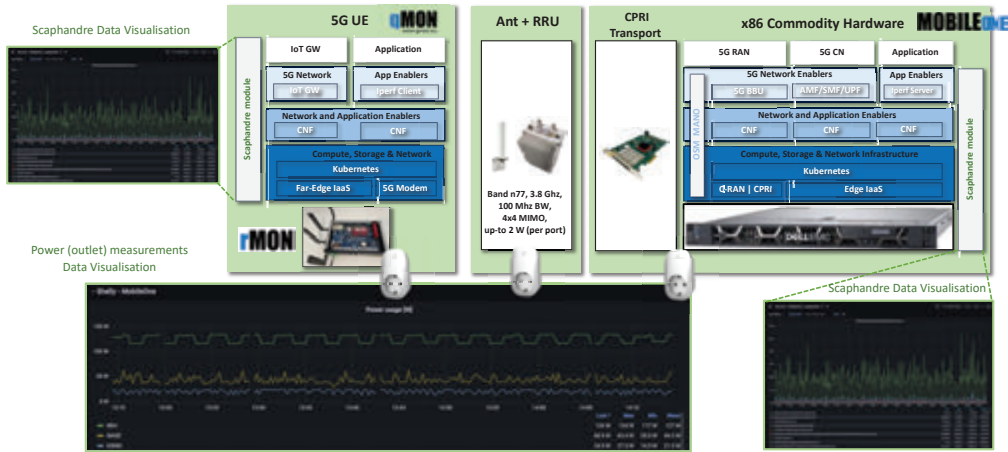


### Outlet (level) power consumption measurements

Page 26 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



# 5G/6G Pilot Environment | Ljubljana

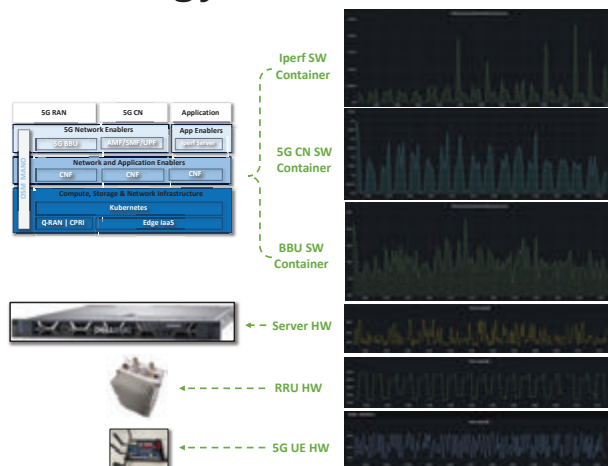


Page 27 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



## Example | Throughput vs Energy use

- Private 5GS | Edge IaaS extended with CPRI based RRU
  - Virtual 5G BBU
  - Virtual 5G CN
  - Edge cloud
- 5G UE (1) connected to Private 5GS
  - Industrial GW with Far-edge Cloud
- Application | Iperf cyclic test
  - Iperf Server deployed on Edge cloud
  - Iperf Client deployed on 5G UE
- Methodology
  - TCP based DL throughput test (14 sessions)
  - Duration 2 min (active test time)
  - Idle time 1 min

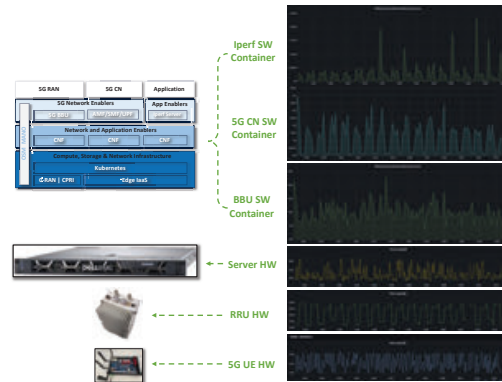


Page 28 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.



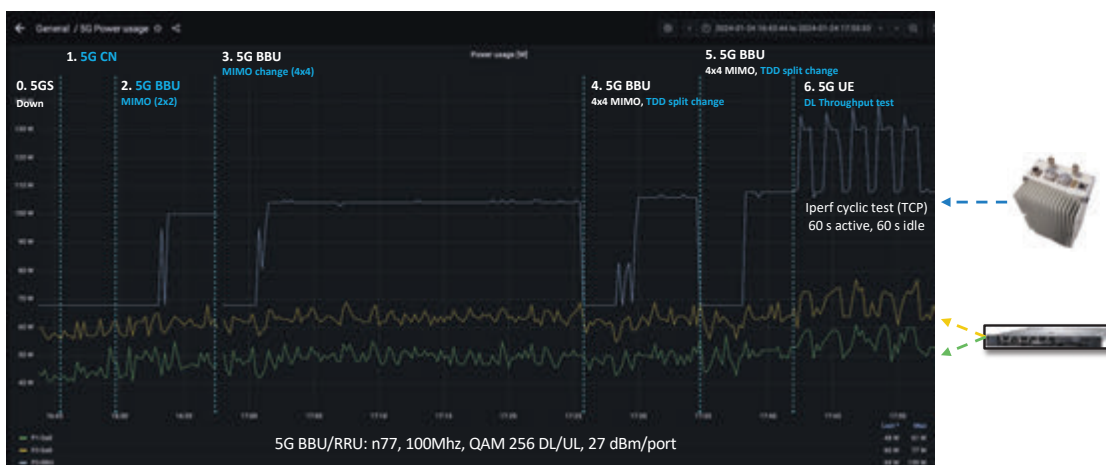
# Example | Throughput vs Energy use

- Results | Power Consumption (Mean)
  - Edge Server HW: 44,6 W
  - RRU HW: 127 W
  - BBU SW: 9,86 W
  - 5G CN: 1,1 W
  - Iperf SW: 0,02 W
- Iperf DL test | duration of 2 min
  - 178 W (mean) – RRU HW + Server HW (includes all SW!)
  - 11,35 W (mean) – BBU SW + 5G CN SW + Iperf SW
- Even if the user is Idle, 5G system and 5G UE consumes power
  - HW standby mode (RRU, Server)
  - 5G NR and 5GCN standby mode (BBU, AMF, SMF,...)
  - Application standby mode
- Power consumption (RRU, 5G CN, Iperf Server) can have a distinctive patterns



# Energy Use Patterns | 5G HW

NR configuration (MIMO Level, TDD Split Ratio, etc.) and user traffic patterns (slicing, OSS user profile, etc.) have a direct impact on 5G RRU and IaaS power usage!



# Energy Use Patterns | 5G SW

User traffic patterns (slicing, OSS BW user profile, etc.) have a direct impact on 5G BBU, 5G CN and App power usage!



Page 31 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved. Source ININ: Power Usage - Process Level



# Energy Use Patterns | User Behaviour & RRU

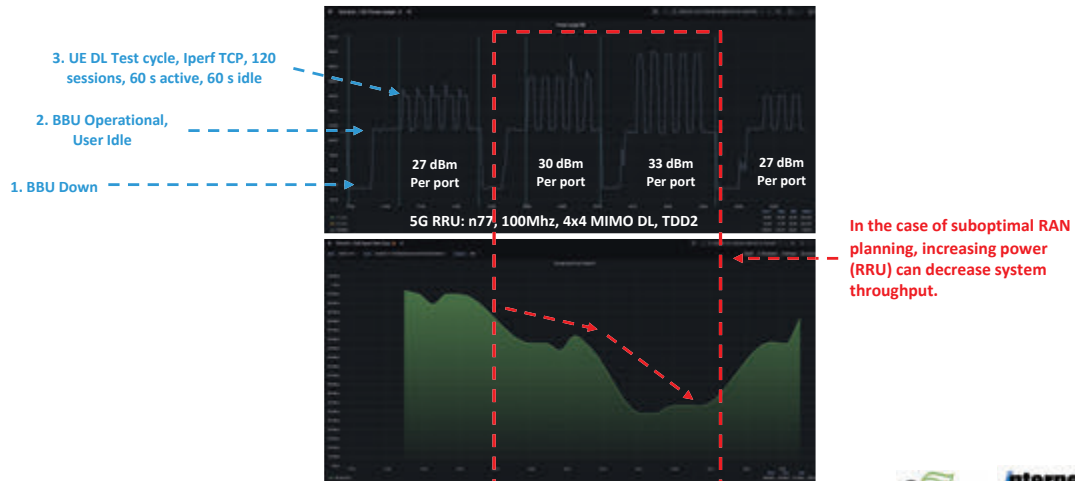


Page 32 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved.

Changes in user behaviour and application design directly impact HW power usage of the deployed 5G



# Energy Use Patterns | Increasing RRU Power



Page 33 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved. [Source ININ: Power usage HW](#)



## 5G/6G System Energy | Conclusion

- Power consumption dependencies
  - Used behaviour
  - Application design
  - 5G OSS User profile (DL/UL BW, slicing)
  - Traffic pattern (Uplink vs Downlink intensive)
  - Traffic duration
  - Configured RRU Power per port
  - Defined TDD profile
  - Used MIMO level; 2x2, 4x4
  - Used BW (20 MHz, 50 MHz, 100 MHz)
  - ...
- Can we exploit it?
  - Building sustainable mobile networks | 6Green SNS JU Project
  - Measuring mobile network CO2 impact | Exigence SNS JU Project



Page 34 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved. **Co-funded by the European Union**



Co-funded by the European Union



### Green Technologies for 5/6G Service-Based Architectures

**Project Information**  
**6Green**  
 Grant agreement ID: 101096925  
 DOI: 10.30001/1096925  
 EC signature date: 16 November 2023  
 Start date: 1 January 2023 | End date: 31 December 2025  
 Funded under: Digital, Industry and Space  
 Total cost: € 9 449 537,25  
 EU contribution: € 5 190 546,00  
 Coordinated by: COMANDO NAZIONALE INTERUNIVERSITARIO PER LE TELECOMUNICAZIONI, Italy

**Participants (1)**  
 1. COMANDO NAZIONALE INTERUNIVERSITARIO PER LE TELECOMUNICAZIONI, Italy

**Funding Scheme**  
 HORIZON-JU-ISA - HORIZON JU Research and Innovation Actions

A map of Europe showing project locations marked with green 'G' icons across various countries including France, Germany, Italy, and Spain.

Page 35 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved. <https://cordis.europa.eu/project/id/101096925>



Co-funded by the European Union



### Devise & explore a novel approach for energy consumption and carbon footprint reduction of ICT services in the era of next-generation mobile telecommunications (6G)

**Project Information**  
**EXIGENCE**  
 Grant agreement ID: 101139120  
 EC signature date: 13 December 2023  
 Start date: 1 January 2024 | End date: 30 June 2026  
 Funded under: Digital, Industry and Space  
 Total cost: € 4 232 242,50  
 EU contribution: € 2 194 130,75  
 Coordinated by: FES NETWORK IRELAND LIMITED, Ireland

**Participants (2)**  
 1. TELECOMUNICAZIONI DIGITALI, Italy  
 2. NETWORK FOR ENERGY-EFFICIENT 6G NETWORKS, Ireland

**Funding Scheme**  
 HORIZON-JU-ISA - HORIZON JU Research and Innovation Actions

A map of Europe showing project locations marked with green 'G' icons across various countries including France, Germany, Italy, and Ireland.

Page 36 | © 2024 INTERNET INSTITUTE. All Rights Reserved. <https://cordis.europa.eu/project/id/101139120>





# Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## *Possible implementations of private mobile campus networks*

Matjaž Beričič, Kristijan Melinc

Telekom Slovenije

[matjaz.bericis@telekom.si](mailto:matjaz.bericis@telekom.si)

### **Povzetek**

Ključna veja razvoja 5G je 5G za industrijo, poslovno kritično uporabo ali kritično infrastrukturo. Prispevek povzema vlogo 5G v industriji in razloge čemu uporabiti zasebno oziroma nejavno 5G omrežje v proizvodnji. V sklopu tega povzema ključne koncepte 3GPP in 5G-ACIA, ki sistematično opredeljujejo zahteve, primere uporabe in izvedbene variante. Znotraj 5G-ACIA obstaja obsežna dokumentacija tehničnih vidikov za nejavna 5G omrežja za industrijske scenarije, glede varnosti, integracije industrijskih Ethernet omrežij s 5G omrežji, časovno-občutljiva sinhronizirana omrežja ipd. 3GPP predvideva dva tipa in štiri scenarije izvedbe nejavnih zasebnih omrežij. Pomembno je kako izbrati ustrezen scenarij glede na storitvene attribute primerov uporabe. Ob tem so pomembni vidiki glede frekvenčnega spektra, identitet in operativnega, pa tudi poslovnega modela. Prednosti izoliranega zasebnega mobilnega omrežja so zanesljivost, zmogljivost in varnost, kar pa zahteva ustrezne kompetence načrtovanja in upravljanja ter varovanja celotne rešitve. Te kompetence imamo napredni operaterji omrežij. Telekom Slovenije je vzpostavil 5G demonstracijski center za zasebna mobilna omrežja - INO.LAB, kjer lahko s partnerji razvijamo in preizkušamo različne rešitve za konkretne potrebe.

### **Abstract**

*A key branch of 5G development is 5G for industry, business critical use or critical infrastructure. The paper summarizes the role of 5G in industry and the reasons for using a private or non-public 5G network in production. As part of this, it summarizes the key concepts of 3GPP and 5G-ACIA, which systematically define requirements, use cases and implementation variants. Within 5G-ACIA here is extensive documentation of technical aspects for non-public 5G networks for industrial scenarios, regarding security, integration of industrial Ethernet networks with 5G networks, time-sensitive synchronized networks, etc. 3GPP envisages two types and four implementation scenarios of non-public private networks. It is important how to choose the appropriate scenario according to the service attributes of the use cases. At the same time, there are important aspects regarding the frequency spectrum, identities and operational, as well as the business model. The advantages of an isolated private mobile network are reliability, performance and security, which requires adequate planning and management competences, as well as the security of the entire solution. Advanced network operators have these competencies. Telekom Slovenije has established a 5G demonstration center for private mobile networks - INO.LAB, where we can develop and*

*test different solutions for specific needs with our partners.*

### **Biografija avtorja**



**Matjaž Beričič** je leta 1998 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani končal študij elektrotehnike in telekomunikacij, leta 2006 pa je s tega področja tudi magistriral. Ves čas je poklicno

aktiven na področju mobilnih in fiksnih komunikacijskih tehnologij. V tem obdobju je deloval v različnih vlogah s področja upravljanja, načrtovanja in vodenja projektov ali organizacij s področja mobilnih omrežij, jedrnih omrežij, sistemov za upravljanje zmogljivosti ter razvoju storitev omrežij pri operaterjih Simobil, Mobitel in v skupini Telekom Slovenije. Od oktobra 2023 direktor Omrežja in infrastrukture v Telekomu Slovenije.

### ***Author's biography***

*Matjaž Beričič completed his studies in electrical engineering and telecommunications at the Faculty of Electrical Engineering of the University of Ljubljana in 1998, and obtained a master's degree in this field in 2006. He is professionally active all the time in the field of mobile and fixed communication technologies. During this period, he worked in various roles in the field of management, planning and management of projects or organizations in the field of mobile networks, core networks, capacity management systems and development of network services at operators Simobil, Mobitel and in the Telekom Slovenije group. Since October 2023, he has been the Network and Infrastructure Director at Telekom Slovenije.*



## Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

SRK 2024  
januar 2024

mag. Matjaž Beričič



TelekomSlovenije

### Povzetek

- Ključna veja razvoja 5G je 5G za industrijo, poslovno kritično uporabo ali kritično infrastrukturo.
- Prispevek povzema vlogo 5G v industriji in razloge, čemu uporabiti zasebno oziroma nejavno 5G omrežje v proizvodnji. V sklopu tega povzema ključne koncepte 3GPP in 5G-ACIA, ki sistematično opredeljujejo zahteve, primere uporabe in izvedbene možnosti. Znotraj 5G-ACIA obstaja obsežna dokumentacija tehničnih vidikov za nejavna 5G omrežja za industrijske scenarije glede varnosti, integracije industrijskih Ethernet omrežij s 5G-omrežji, časovno-občutljiva sinhronizirana omrežja ipd.
- 3GPP predvideva dva tipa in štiri scenarije izvedbe nejavnih zasebnih omrežij. Pomembno je, kako izbrati ustrezen scenarij glede na storitvene attribute primerov uporabe. Ob tem so pomembni vidiki glede frekvenčnega spektra, identitet in operativnega, pa tudi poslovnega modela.
- Prednosti izoliranega zasebnega mobilnega omrežja so zanesljivost, zmogljivost in varnost, kar zahteva ustrezne kompetence načrtovanja in upravljanja ter varovanja celotne rešitve. Te kompetence imamo napredni operaterji omrežij.
- Telekom Slovenije je vzpostavil 5G demonstracijski center za zasebna mobilna omrežja - INO.LAB, kjer lahko s partnerji razvijamo in preizkušamo različne rešitve za konkretne potrebe.

TelekomSlovenije

## Vsebina



5G za industrijo

3GPP in NPN

5G-ACIA

TS INO.LAB



# Stanje mobilnih omrežij v svetu: javna in zasebna 4G/5G NSA/SA

## 302 operators have launched commercial public 5G services, in 113 countries and territories

As of the end of November 2023, GSA's data showed:

- **582** operators in **173** countries and territories have been investing in 5G networks in the form of tests, pilots, licence acquisitions, as well as planned and actual deployments
- Of those, **302** operators in **113** countries and territories have launched commercial 3GPP-compatible 5G services (mobile or fixed wireless access), which includes **12** operators that have soft-launched networks
- **121** operators are identified as investing in standalone 5G for public networks (including those evaluating or testing, piloting, planning or deploying as well as those that have launched standalone 5G networks). GSA has catalogued **46** operators as having deployed, launched or soft-launched standalone 5G in public networks

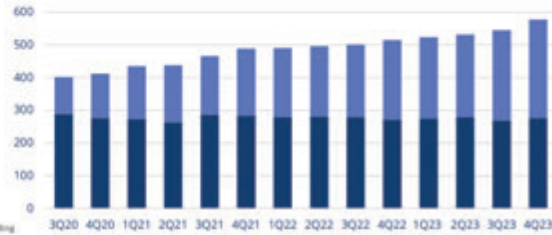
Global operator 5G investment status — most advanced status

- Planning/evaluating/testing/trialing
- 5G deployed in network, services launched
- Deploying/deployed, precommercial
- 5G deployed in network, soft launch



Operators investing in 5G and operating commercial 5G networks

- Investing
- Launched



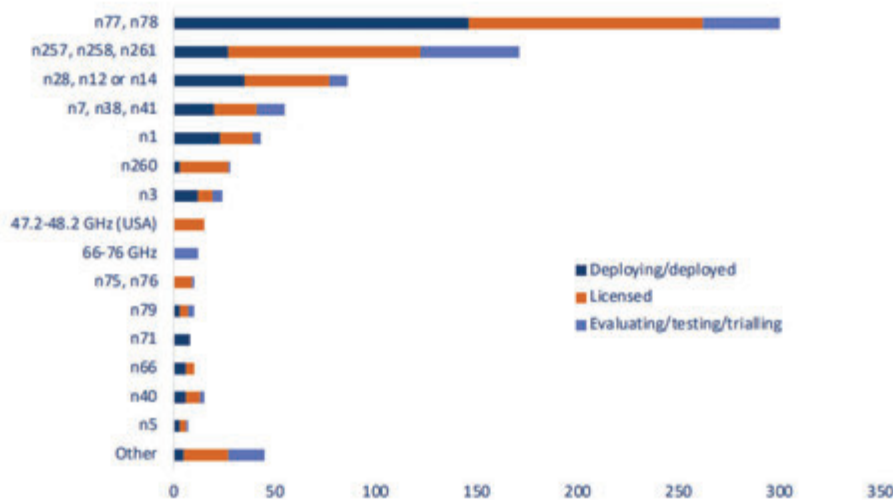
© 2023 Global mobile Suppliers Association

3



## Različni spektralni pasovi za 5G

### Operators Investing in Key 5G Spectrum Bands



© 2023 Global mobile Suppliers Association

8





# Nejavna oziroma zasebna omrežja 4G/5G NSA/SA

## Private mobile networks: 1,279 customers deploying networks

The NTS database tracks various LTE network technologies:

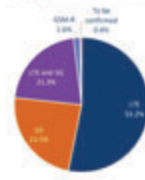
- 4x4 MIMO — 154 operators identified as investing, of which 110 are known to be active technology, 38 operators are evaluating, testing or trialling, and a further six operators are planning to launch the technology within their commercial networks
  - 256 QAM in the downlink — 126 operators catalogued as investing, of which 90 are known to be evaluating, testing or trialling, and a further six operators are planning to launch the technology within their commercial networks
- ... numerous key LTE service features:
- 36 operators investing in LAA or eLAA, nine with deployed or launched networks
  - 336 operators investing in VoLTE, and 280 operators with launched VoLTE services
  - 22 operators investing in ViLTE, and 15 operators with launched ViLTE services
  - 176 companies investing in NB-IoT, 132 of which have launched services
  - 81 operators investing in LTE-M networks, 61 of which have launched services
- ... and private mobile networks:
- 1,279 organisations deploying private mobile networks based on LTE or 5G

© 2023 Global mobile Suppliers Association

### PMN Customers by Technology

- LTE is used in the majority (95%) of the catalogued customers deploying private mobile networks
- 5G is being deployed in 45% of references, although limited to real industrial situations

Private mobile network customer deployments by technology (base: 1,279 catalogued customers deploying private mobile networks)

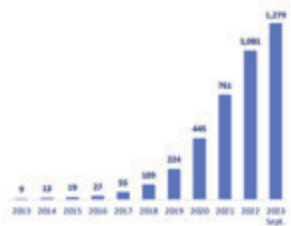


### Private Networks

Countries and territories with organisations investing in commercial private mobile networks



Cumulative number of customers with LTE and 5G private mobile networks



Source: GSMA Private Mobile Networks, December 2023



## Večina zasebnih omrežij je že v uporabi v proizvodnem sektorju

### Manufacturing Is the Leading Sector

- Manufacturing is a strong adopter, with 235 customer deployments, growing 9%
- Manufacturing dominates 5G customer verticals, and Automotive is the largest sub-vertical.

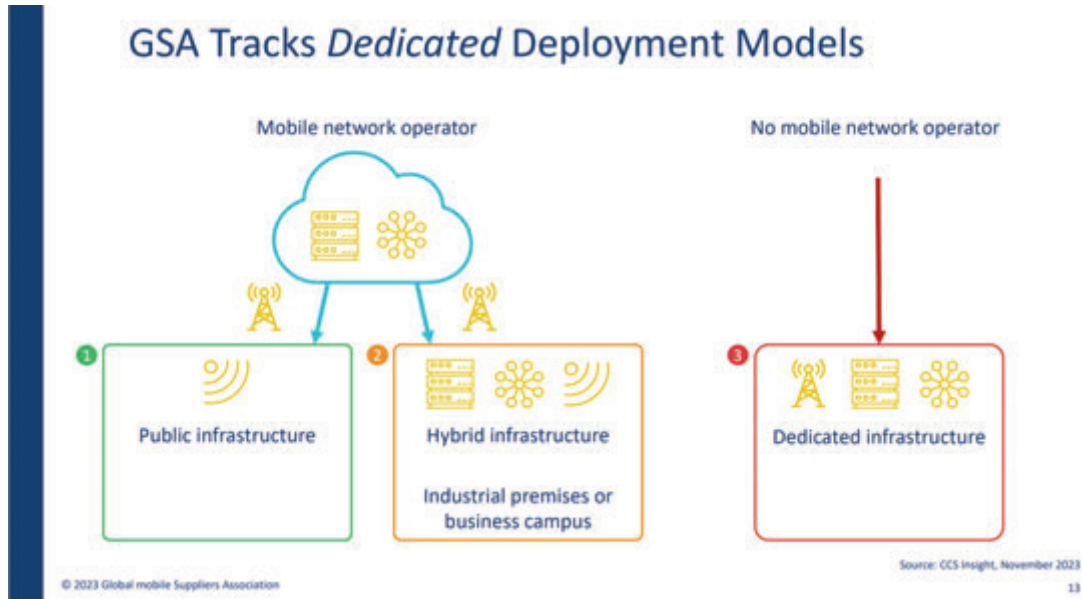
© 2023 Global mobile Suppliers Association

### Private mobile network customer deployments by sector (base: 1,279, end September 2023)

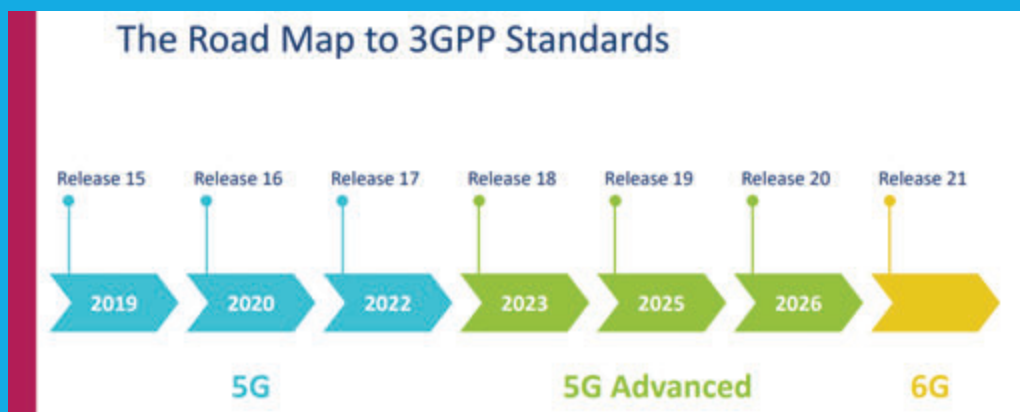




## Izvedbe v javnih, hibridnih in zasebnih omrežjih



## 3GPP in nejavna omrežja



## Kaj je nejavno omrežje?

- Public Land Mobile Network (PLMN)
  - Fokus uporabe: mobilne komunikacijske storitve za splošno javnost
  - Tradicionalno glavni fokus 3GPP
- Nejavno omrežje (Non-Public Network – NPN)
  - Fokus uporabe: mobilne komunikacijske storitve, omejene na člane ali naprave definirane organizacije ali skupine organizacij
  - 3GPP Rel16 za ta namen prinaša nove zmogljivosti
    - uporablja izraz NPN, pomeni pa “private network”

## Prednosti zasebnih mobilnih omrežij za različne vertikale



## Tipi NPN (non-public networks) definirani s strani 3GPP

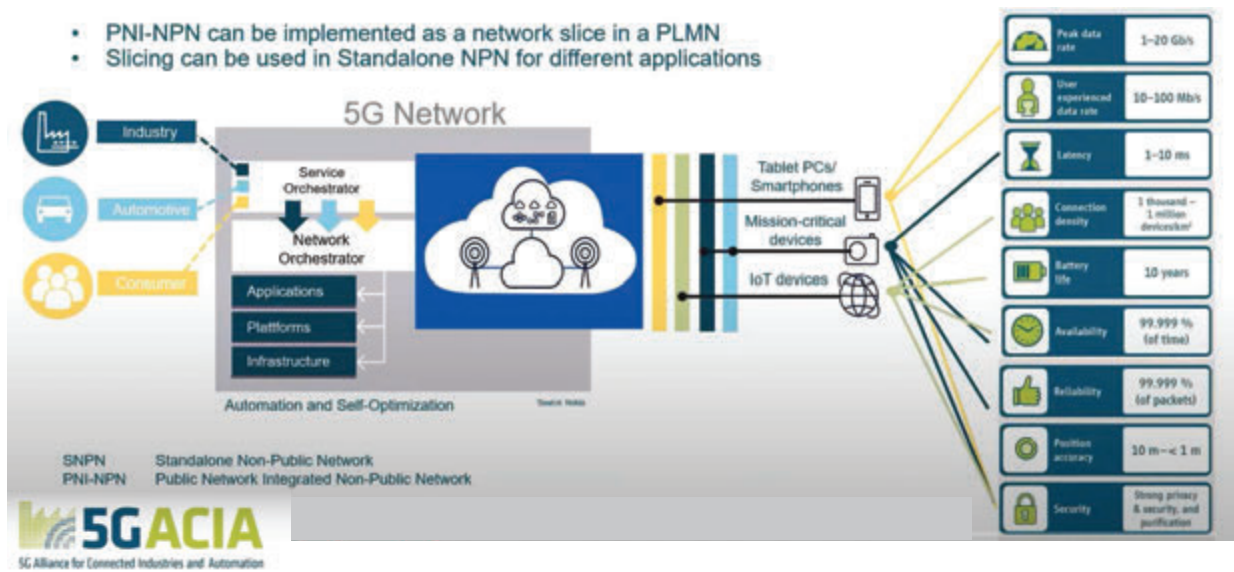
- Tip 1: SNPN
  - Standalone NPN (SNPN)
    - SNPN ima svojo infrastrukturo in se ne zanaša na nobeno javno mobilno omrežje.
    - SNPN se ne povezuje na javna mobilna omrežja.
    - Zahteve, ki so v osnovi za javna mobilna omrežja, so lahko bolj specifične (npr. varnostni algoritmi).
    - Identificiran s kombinacijo PLMN ID in NID (Network Identifier)
      - 3GPP omrežja so identificirana s PLMN ID, ki sestoji iz MCC (3 digit) in MNC (2 digit),
      - ITU je aločiral MCC 999 za SNPN,
      - MNC za MCC 999 in NID niso centralno dodeljevani.

NPN	Non-Public Network a.k.a. Private Network
PLMN	Public Land Mobile Network
ITU	International Telecommunications Union

## Tipi NPN (non-public networks) definirani s strani 3GPP

- Tip 2: PNI-NPN
  - Public Network Integrated NPN (PNI-NPN)
    - Infrastruktura javnega omrežja vključuje NPN.
    - NPN je del gostujočega PLMN, a je logično ločen od njega.
    - Identificiran s CAG ID (Closed Access Group) znotraj PLMN.

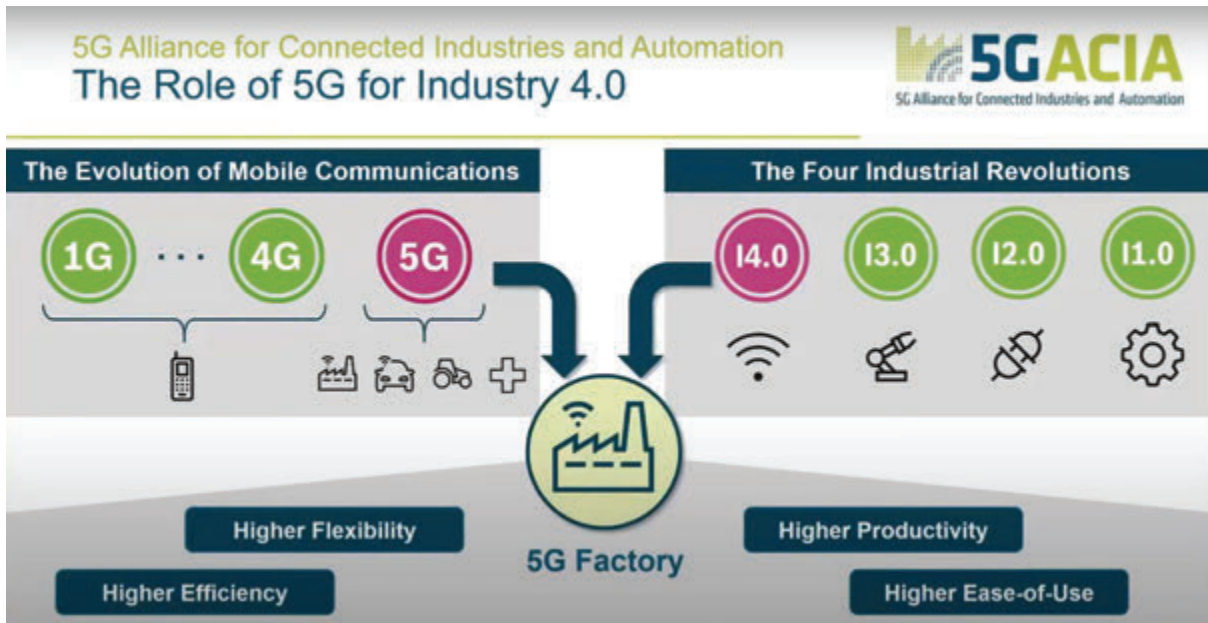
## Rezinjenje omrežja – temelj 5G SA in ključni koncept za NPN



Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## 5G-ACIA in možne izvedbe zasebnih omrežij





Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij



Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij



# Poslanstvo 5G-ACIA in generični primeri uporabe

- 1 5G-ACIA works on common understanding and terminology of networking topics between ICT/OT
- 2 3GPP standardized two NPN types in Rel-16, Standalone NPN and Public Network Integrated NPN
- 3 5G-ACIA whitepaper describes basic NPN deployment scenarios for IIoT and evaluates them
- 4 The planned use of the NPN determines which deployment scenario is the best
- 5 5G-ACIA leads the discussions on use cases and key technologies for Industrial 5G

As real-time (RT) requirements are very important for 5G applications, the use cases are organized into three categories:

- Non-RT: Cycle times and latency are not critical; several seconds are regarded as sufficient
- Soft RT: Cycle times and latency are moderately critical, i.e. approximately one second
- Hard RT: Cycle times and latency are highly critical, to within milliseconds or even microseconds

The key use cases can be assigned to the real-time clusters as shown in the following table:

	Use case	Category
1.	Connectivity for the factory floor	Hard RT
2.	Seamless integration of wired and wireless components for motion control	Hard RT
3.	Local control-to-control communication	Hard RT
4.	Remote control-to-control communication	Soft RT
5.	Mobile robots and AGVs	Soft RT
6.	Closed-loop control for process automation	Soft RT
7.	Remote monitoring for process automation	Non-RT

Source: 5G-ACIA

19 Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Why to use 5G NPN for manufacturing?

- **Dedicated network for dedicated users**
  - Separation from other networks
  - Privacy
- **More control over optimized features**
  - Specific QoS and performance requirements
  - Selection of security algorithms
  - Access to network operation and management
- **Accountability**
  - Responsibility for networking service

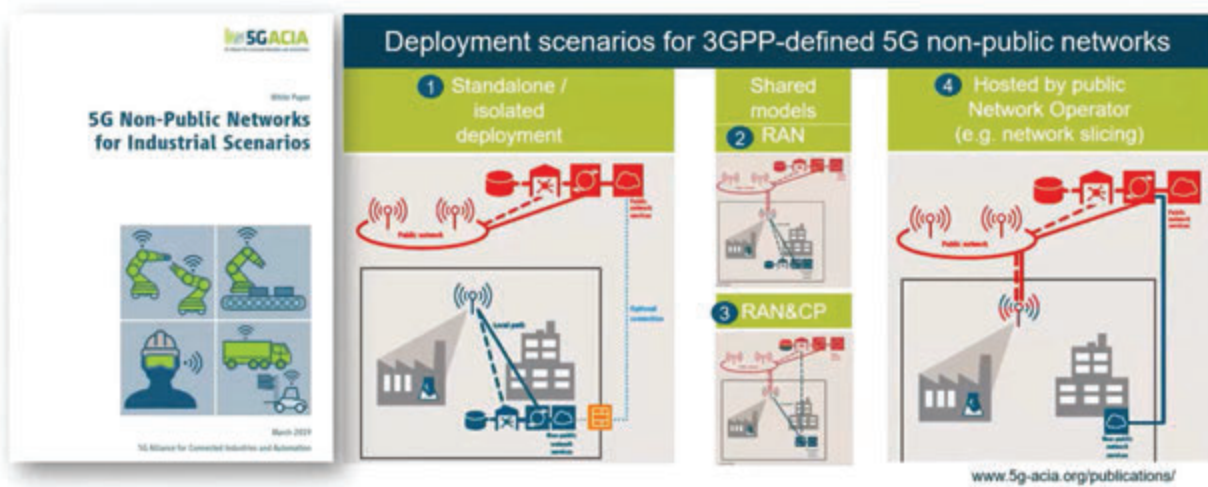
NPN  
QoS

Non-Public Network a.k.a. Private Network  
Quality of Service

Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij



## Možni scenariji izvedbe nejavnih (NPN) 5G omrežij



Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Izbira pravega načina izvedbe NPN

<p>1. Definiranje namena načrtovanega NPN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primeri uporabe</li> <li>• Varnostne zahteve</li> <li>• Vizija razvoja potreb</li> </ul>	<p>2. Evaluacija opcij scenarijev izvedbe z uporabo storitvenih atributov, ki se nanašajo na načrtovano uporabo</p>
---	---



# Standalone NPN (SNPN)

The diagram, titled "Isolated deployment (SNPN)", shows a "Public network" at the top with various service icons. A dashed red line labeled "Local path" connects it to a "Non-public network services" area at the bottom. A vertical dashed line on the right is labeled "Optional interconnection". Below the diagram, it says "NPN Non-Public Network a.k.a. Private Network".

- 3GPP defined SNPN deployed in full isolation from other networks by the Enterprise
- Enterprise has full control over the NPN, visibility to information, and flexibility over selecting the features and their parameters
- Enterprise has full responsibility over the NPN
- SNPN can not connect to PLMNs as peer network
- Access to Public Network services requires second subscription

Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

# Souporaba RAN

The diagram, titled "Shared RAN deployment", shows a "Public network" at the top. A dashed red line labeled "Local path" connects it to a "Non-public network services" area at the bottom. A vertical dashed line on the right is labeled "Optional interconnection". Below the diagram, it says "NPN Non-Public Network a.k.a. Private Network Standalone NPN".

- Radio Access Network (RAN) is shared and managed jointly with partnering other network, e.g. PLMN
- Special case of 3GPP defined SNPN deployment where radio network is built together with another network

Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Souporaba RAN in kontrolne ravnine

- 3GPP defined PNI-NPN utilized with e.g. Network Slicing or dedicated APN for NPN traffic
- Enterprise dedicated gNBs may be used
- PLMN operator has the main responsibility for network operation, and may provide visibility to O&M data
- Enterprise is responsible for at least the gateway (UPF)
  - isolation of data assured
- Access to Public Network services can be enabled

**Deployment with shared RAN and Control plane infrastructure**

NPN	Non-Public Network a.k.a. Private Network	RAN	Radio Access Network
PNI-NPN	Public Network Integrated Non-Public Network	gNB	5G Base Station
PLMN	Public Land Mobile Network	APN	Access Point Name
O&M	Operation and Management	UPF	User Plane Function

Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## NPN kot storitev javnega omrežja PLMN

- 3GPP defined PNI-NPN utilized with e.g. Network Slicing or dedicated APN for NPN traffic
- Enterprise dedicated gNBs may be used
- PLMN operator has the sole responsibility over network infrastructure and its operation
- Visibility to O&M information depends on the solution
- Data traffic routed outside the Enterprise premise
- Access to Public Network services can be enabled

**NPN deployed within the PLMN**

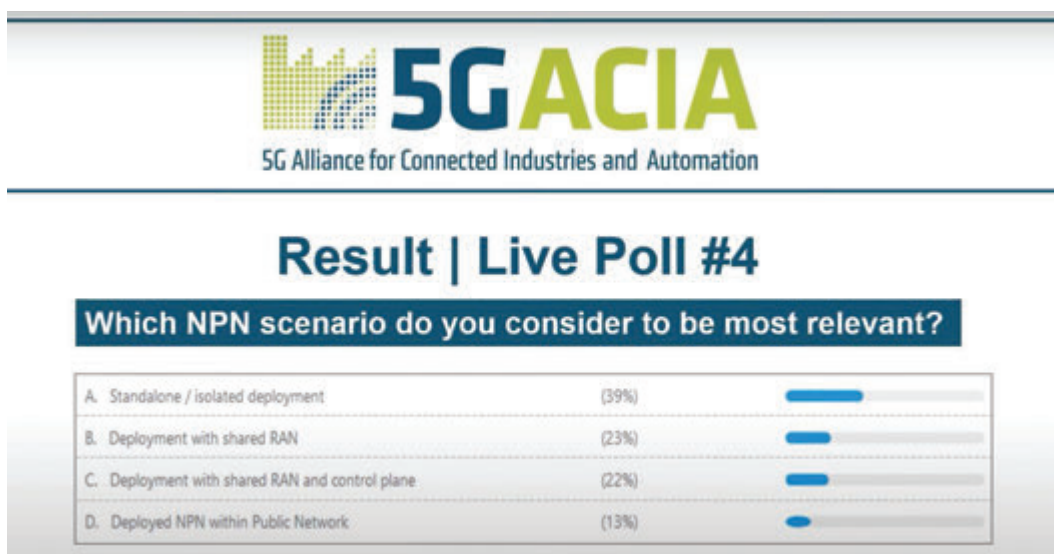
NPN	Non-Public Network a.k.a. Private Network	gNB	5G Base Station
PNI-NPN	Public Network Integrated Non-Public Network	APN	Access Point Name
PLMN	Public Land Mobile Network		
O&M	Operation and Management		

Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Povzetek scenarijev in storitvenih atributov

Levels	Service attribute	Degree of compliance				
		Standalone NPN	NPN in conjunction with public networks			
		Isolated deployment	Shared RAN	Shared RAN and control plane	NPN hosted by public network	
<b>High</b> Supported in standards without further adaptations	Device connectivity	Global connectivity	Low / high	Low / high	High	High
	Device connectivity	Service continuity	Low / medium	Low / medium	High	High
<b>Medium</b> Supported under certain conditions or with some adaptations	QoS	Latency and availability	High	High / medium	High / medium	High / Medium / low
	O&M	Access to O&M data & functions	High / medium	High / medium	High / medium	High / medium
<b>Low</b> Not supported or requiring significant adaptations	Privacy and Security	Data privacy through isolation	High	High	Medium	Medium
		Control and management privacy through isolation	High	High	High / medium	High / medium / low
		Flexibility in choice of security mechanisms	High / low	Low	Low	Low
		Global Availability	Medium / high	High	High	High

Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij



Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Dodatni vidiki

- Dostopnost spektra
  - Dediciran ali deljen
  - Telekom Slovenije ima nekaj spektra za potreba vertikal v Sloveniji
- Operativni model in TCO
  - Izvedba in delovanje SNPN
  - PNI-NPN kot storitev operaterja
  - SNPN kot storitev operaterja
- Nedvoumnost SNPN identitete
  - Zagotavljanje globalne unikatne kombinacije PLMN ID in NID še ni uveljavljeno

## Poslovni modeli sodelovanja

### Najemni model "omrežje aaS"

- 5G infrastruktura.
- Oprema in storitve povezane z vzpostavitvijo delovanja omrežja.
- Celovito upravljanje omrežja, vključno s frekvenčnim spektrom.
- Vzdrževanje omrežja.
- SLA aktivnosti (nadzorni center, klicni center ...).

Oprema je v lasti Telekoma Slovenije. Upravljanje za obdobjem daljše od 60 mesecev.

### IRU model

- 5G infrastruktura.
- Oprema in storitve povezane z vzpostavitvijo delovanja omrežja.
- Celovito upravljanje omrežja vključno s frekvenčnim spektrom.
- Vzdrževanje omrežja.
- SLA aktivnosti (nadzorni center, klicni center ...).

Nakup neodtujljive pravice do uporabe (IRU\*) za obdobje več kot 60 mesecev.

\*Indefeasible right of use (neodtujljiva /nepreklicna/ pravica uporabe).

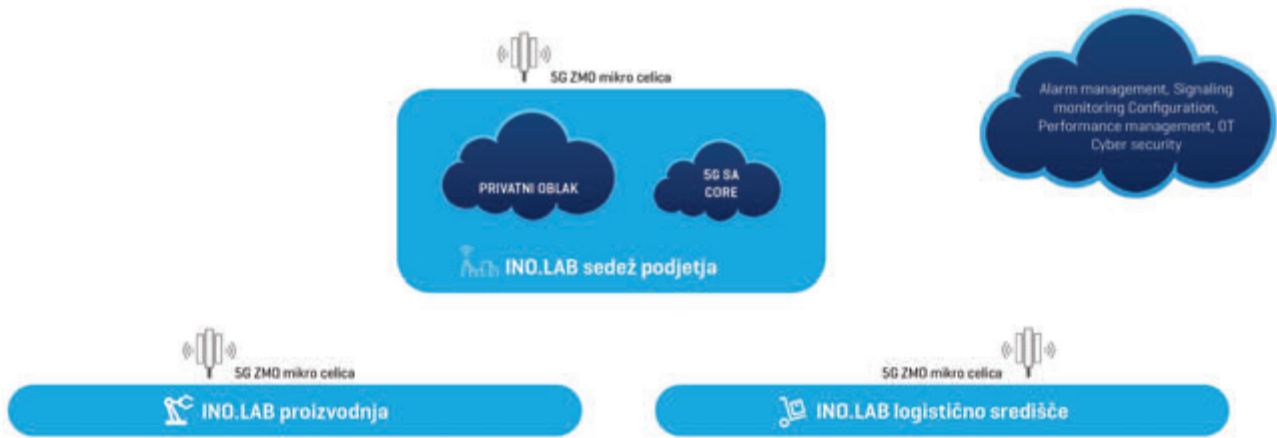


# INO.LAB Telekoma Slovenije





## Z zasebno mobilno infrastrukturo ...



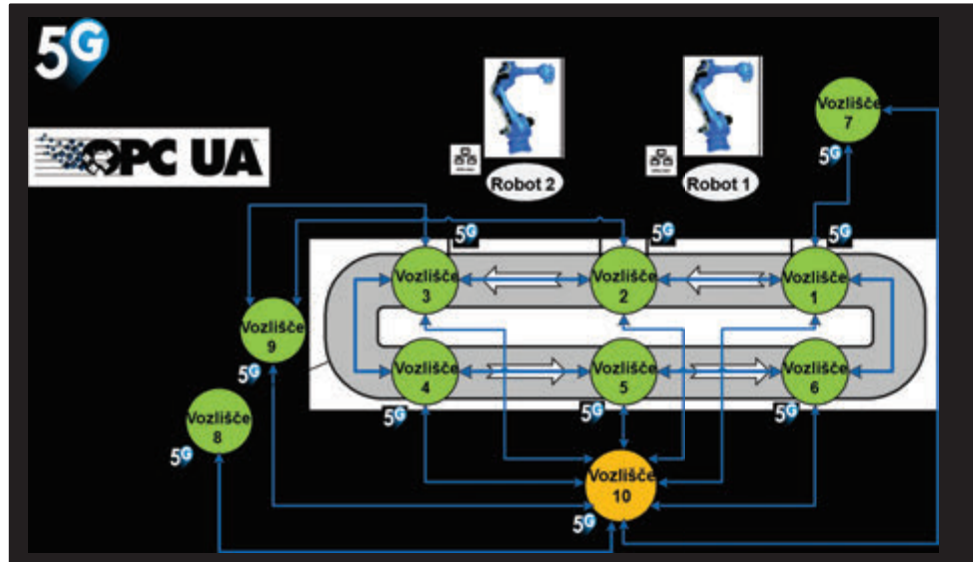
## ... do digitalizacije in uporabniških primerov



## Demo center 1: Pametna tovarna

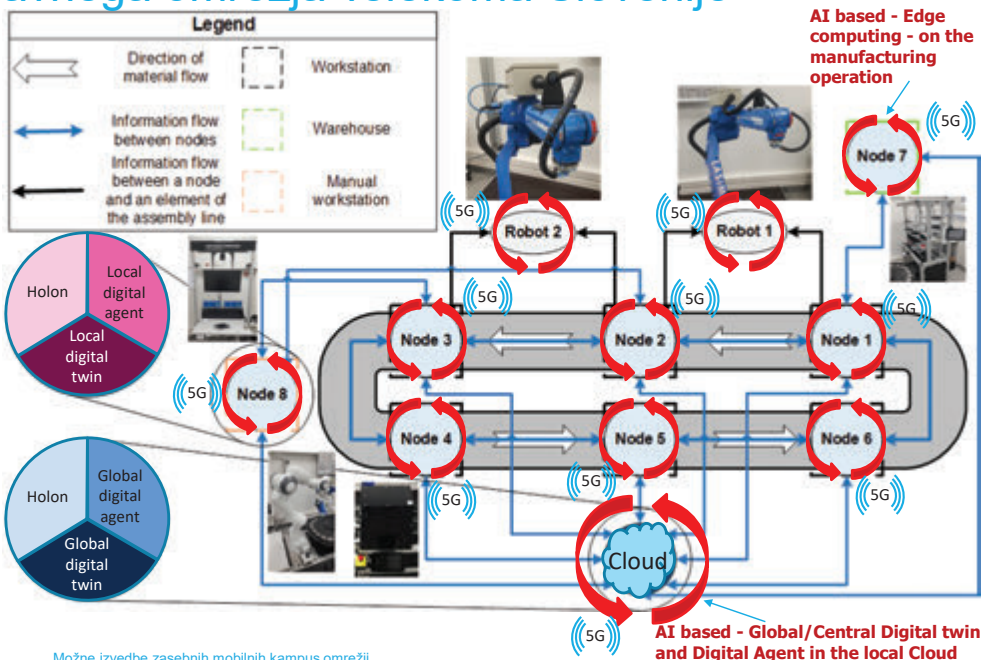
Začetno stanje: komunikacija preko LAN in Wi-Fi omrežja (Wi-Fi opuščen zaradi nestabilnosti).

- Hitrost
- Odzivnost
- Stabilnost
- Kompatibilnost

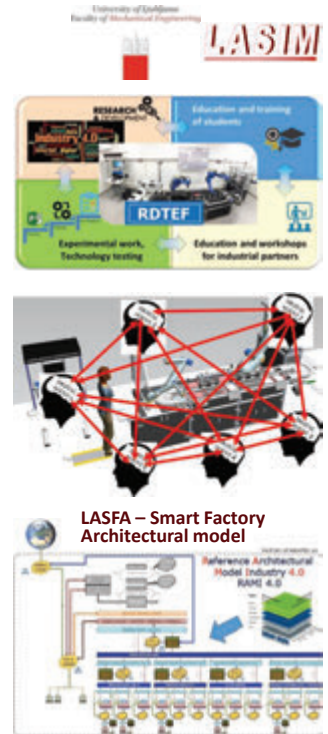


Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Demo center 1: Implementacija in testiranje 5G javnega omrežja Telekom Slovenije

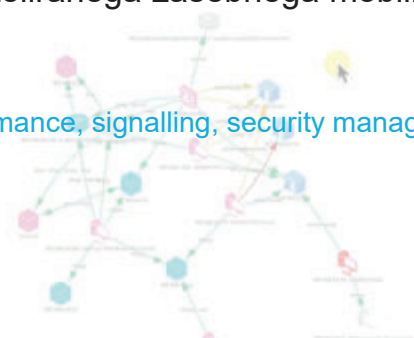


Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij



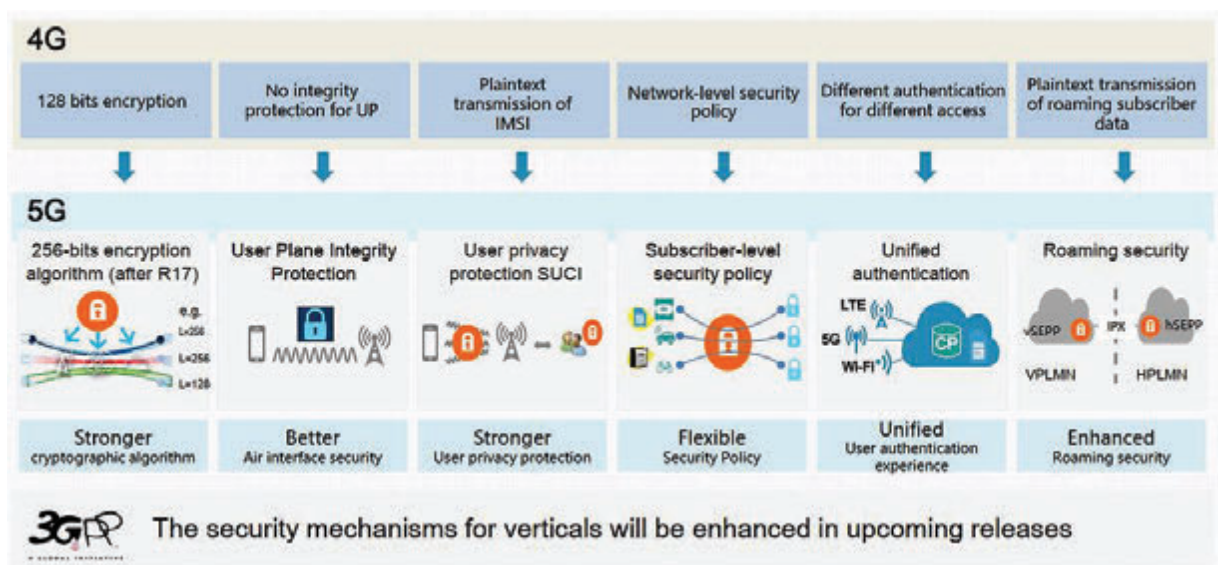
## Celovita kakovost in varnost v okolju zasebnih omrežij

- Zanesljivost, zmogljivost, varnost so prednosti izoliranega zasebnega mobilnega omrežja
  - KPI/QoS in SLA zasebnega mobilnega omrežja;
  - znanje, orodja: **configuration, provisioning, fault, performance, signalling, security management;**
  - **Ključna veja razvoja 5G je 5G za industrijo.**
- Toda – nova tveganja:
  - kompleksni poslovno kritični primeri uporabe;
  - zlivanje IT in OT domen (trend tudi sicer).
- Odgovor: “monitoring” delovanja in varnost vgrajena v zasnovo (ZTA)



37 Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

## Celovit pogled na varnost 4G/5G omrežij



## INO.LAB: odprt laboratorij za razvoj primerov uporabe zasebnih 5G mobilnih omrežij

**Odprt inovacijski laboratorij (INO.LAB)** je **prostor za sodelovanje**, kjer se lahko različni deležniki - partnerji iz različnih industrijskih domen, raziskovalne in akademske organizacije ter naši uporabniki (kupci) vključijo v odprt proces **inovacije oz. priprave različnih primerov uporabe**.

**Koristi za kupca:** zasebna omrežja niso zgolj infrastruktura, temveč so tudi **orodje za reševanje izzivov**, s katerimi se srečujejo podjetja. Digitalizacija je pot, s pomočjo katere lahko podjetja **povečujejo svojo produktivnost, zmanjšujejo stroške vzdrževanja, zvišujejo kakovost svojih produktov**. 5G in zasebna mobilna omrežja bodo v prihodnje predstavljali **enega ključnih gradnikov digitalizacije**.

**Poziv k obisku laboratorija in sodelovanju:** odprta vrata v inovacijski laboratorij, da skupaj kreiramo 5G razvojni ekosistem.



## Zaključek: vrste zasebnih mobilnih omrežij



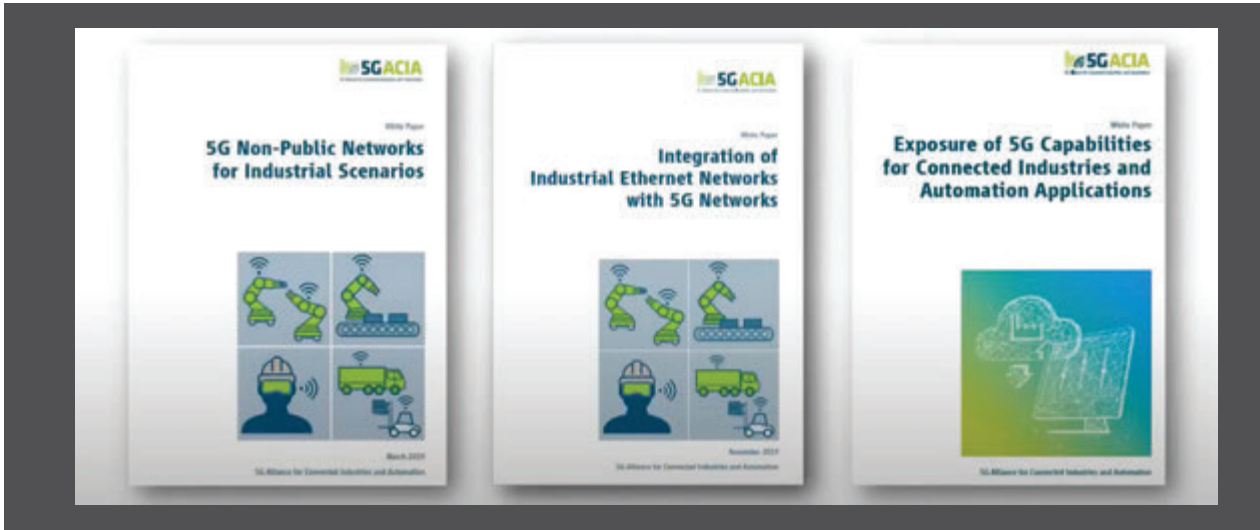




## Ključni viri

5G-ACIA:	<a href="http://www.5g-acia.com/publications">www.5g-acia.com/publications</a>
ENISA:	Security in 5G specifications
GSA:	5G public and private networks reports
Telekom Slovenije:	ZMO, INO.LAB

# 5G-ACIA publikacije za industrijski 5G NPN

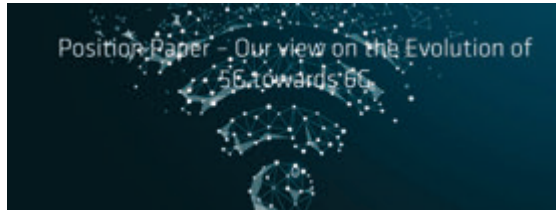


43 Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij



44 Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij





45 Možne izvedbe zasebnih mobilnih kampus omrežij

# Zgodovina GPS

## *History of the GPS*

**Matjaž Vidmar**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

[matjaz.vidmar@fe.uni-lj.si](mailto:matjaz.vidmar@fe.uni-lj.si)

### **Povzetek**

Radionavigacija je bila že od vsega začetka pomembna uporaba radijskih valov. Radiokompas potrebuje le primeren sprejemnik z usmerjeno anteno in katerikoli ne sodelujoč oddajnik. Radiokompas se še vedno uporablja na krovu civilnih letal in ladij vse do radioamaterskega lova na lisico. Druga svetovna vojna je zahtevala natančnejšo hiperbolično navigacijo. Sateliti so omogočili obširno pokrivanje iz vesolja. Satelit Timation 3 je bil predhodnik GPS, ki je leta 1974 v vesolju preizkusil atomske ure in sedanje radijske frekvence. Žal vsi sodobni sistemi globalne navigacije (GNSS) še vedno uporabljajo podobne atomske ure in podobne radijske frekvence.

### **Abstract**

*Radio navigation has been an important use of radio waves from the very beginning. A radio compass requires only a suitable receiver with a directional antenna and any non-cooperative transmitter. The radio compass is still used aboard civilian aircraft and ships as far as amateur radio foxhunting. World War II required more accurate hyperbolic navigation. Satellites have enabled extensive coverage from space. The Timation 3 satellite was the forerunner of GPS, which tested atomic clocks and current radio frequencies in space in 1974. Unfortunately, all modern global*

*navigation systems (GNSS) still use similar atomic clocks and similar radio frequencies.*

---

### **Biografija avtorja**



**Matjaž Vidmar** je doktoriral leta 1992 z naslovom teme »Metoda korekcije ionosferskih pogreškov pri satelitski navigaciji in prenosu časa«. V ZDA je razvijal satelitske oddajnike za organizacijo AMSAT.

V sklopu sodelovanja z AMSAT-om je sodeloval pri razvoju komunikacijske in navigacijske opreme za satelit "AMSAT-Phase-3D", ki je bil uspešno izstreljen v novembru 2000. Profesor Vidmar trenutno poučuje dodiplomske in podiplomske predmete s področja telekomunikacij na Fakulteti za elektrotehniko. Njegovo področje dela je mikrovalovna elektronika, ki obsega področja od letalske industrije do optičnih komunikacij.

### **Author's biography**

*Matjaž Vidmar received his PhD in 1992 from the University of Ljubljana, for developing a single frequency GPS ionospheric correction receiver. Mr. Vidmar is currently teaching undergraduate and postgraduate courses in Electrical Engineering at the University of Ljubljana, where he serves as head of the Radiation and Optics Laboratory (LSO) at the department for Electrical Engineering (FE). His current research interests include microwave and high speed electronics ranging from avionics to optical-fiber communications. Under his leadership, the LSO developed most of the 10Gbps electronics (pulse*

*modulator, clock recovery) used in the Ester (ACTS 063) project and many 40Gbps circuits used in the ATLAS (IST 10626) project: EAM drivers, transmitter clock distribution, 40Gbps and 80Gbps clock-recovery circuits and 40Gbps PMD compensation receiver electronics. Mr. Vidmar also developed and built satellite hardware flown in space in 1990 on the Microsat mission and in 2000 on the AMSAT-P3D satellite.).*

## 26. Seminar Radijske Komunikacije

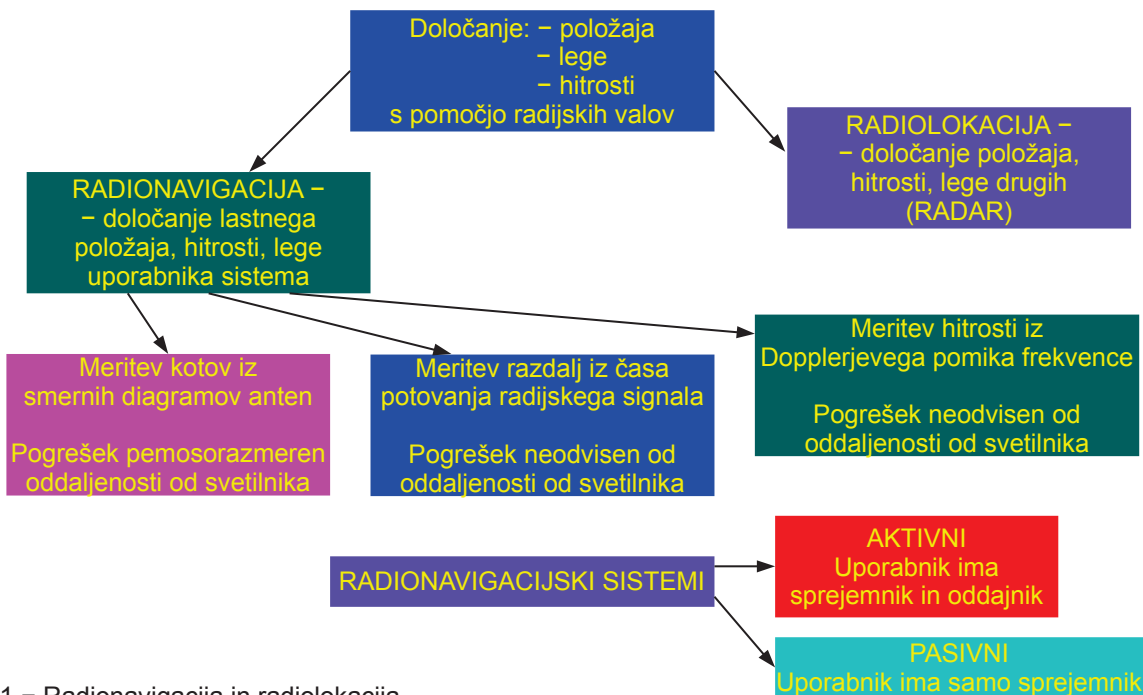
# Zgodivina GPS

Matjaž Vidmar

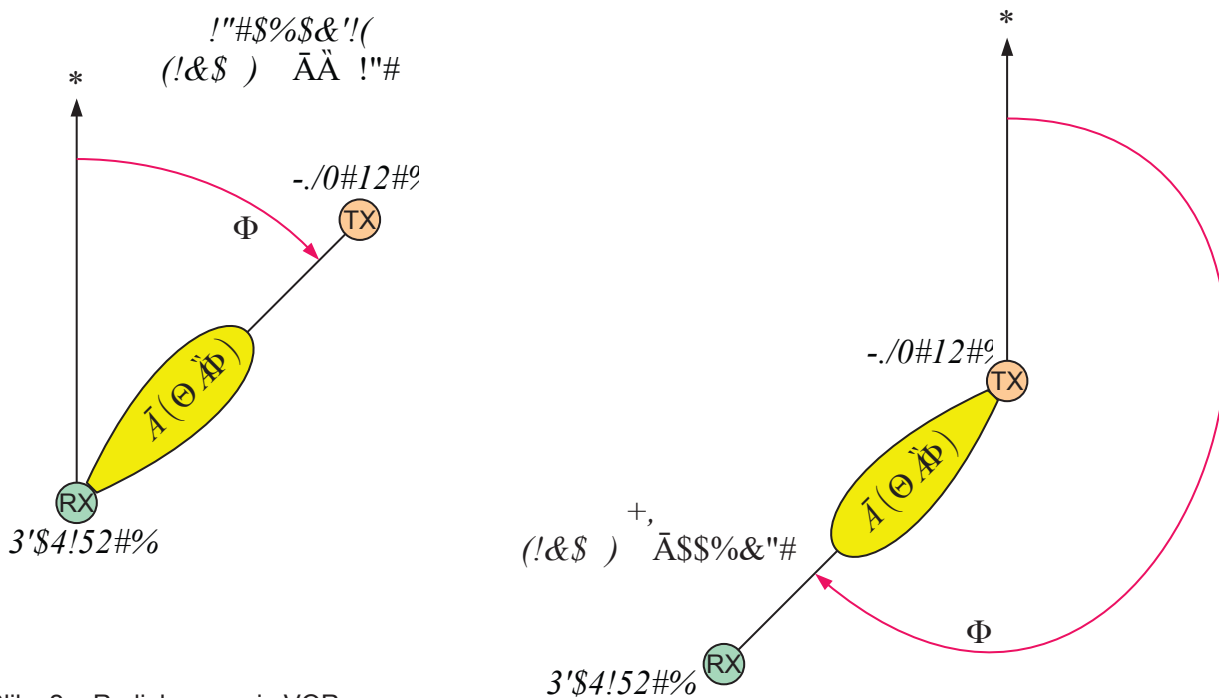
LSO, FE, Ljubljana, 31.1.-2.2.2024

### Seznam slik

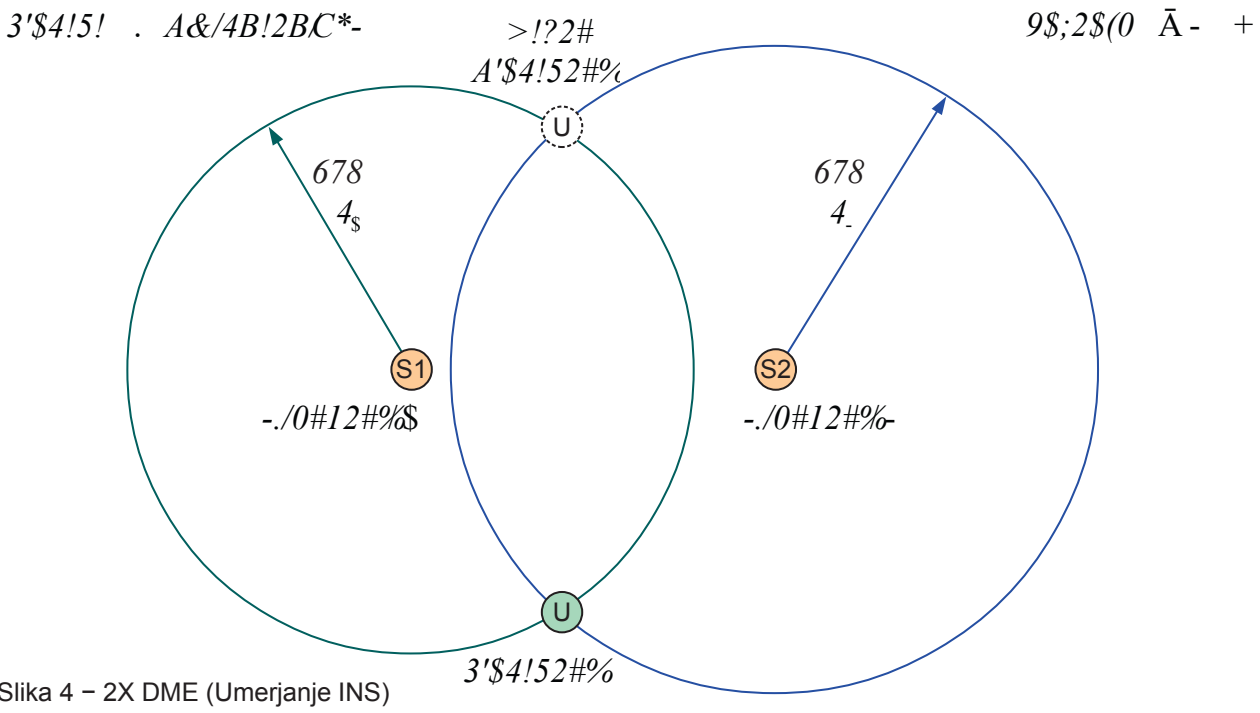
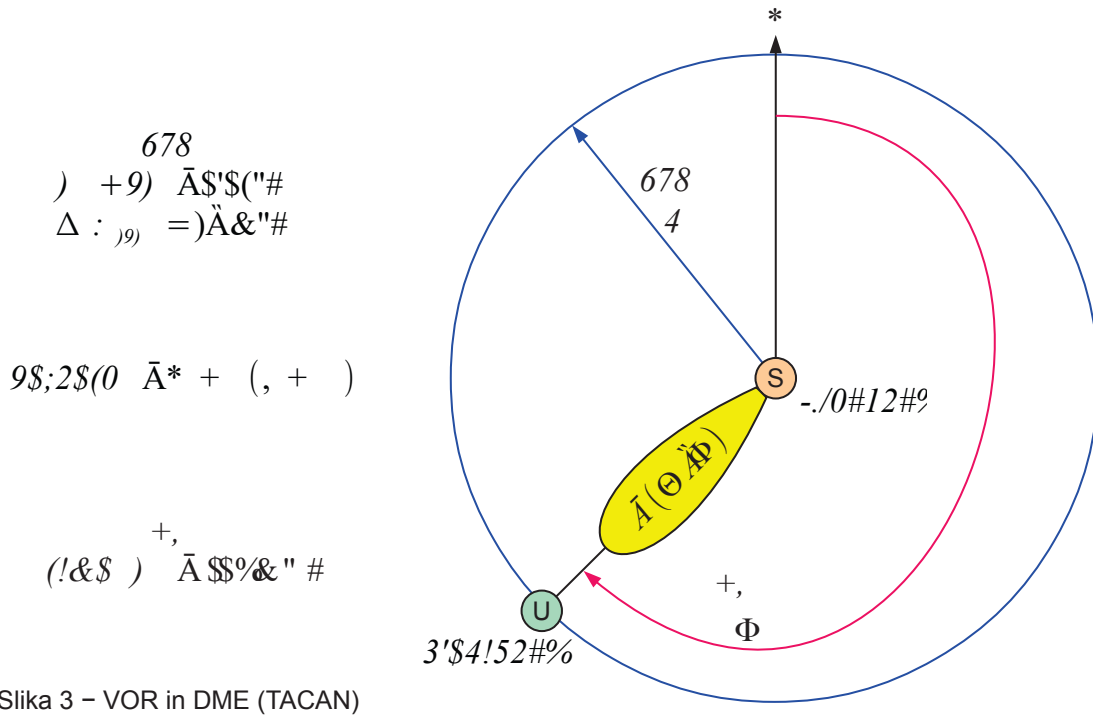
- Slika 1 – Radionavigacija in radiolokacija
- Slika 2 – Radiokompas in VOR
- Slika 3 – VOR in DME (TACAN)
- Slika 4 – 2X DME (Umerjanje INS)
- Slika 5 – Hiperbolična navigacija
- Slika 6 – Sistem DECCA
- Slika 7 – Zemljevid DECCA
- Slika 8 – Navigacijske enačbe
- Slika 9 – Dolgovalovni navigaciji Alpha in Omega
- Slika 10 – Tirnice radionavigacijskih satelitov
- Slika 11 – Dopplerjevi sateliti Transit
- Slika 12 – Dopplerjevi sateliti Cikada (Nadežda, Parus)
- Slika 13 – Satelit Timation3 predhodnik GPS
- Slika 14 – Sateliti GPS block I
- Slika 15 – GPS sateliti block II in nasledniki 1989–
- Slika 16 – Sateliti Glonass 1982– in nasledniki 2003–
- Slika 17 – Geometrija ozvezdja GDOP, VDOP, HDOP
- Slika 18 – Rogue GPS
- Slika 19 – Domači GNSS sprejemnik 1991
- Slika 20 – Ionosfera
- Slika 21 – Diferencialna navigacija
- Slika 22 – Satelitski diferencialni popravki



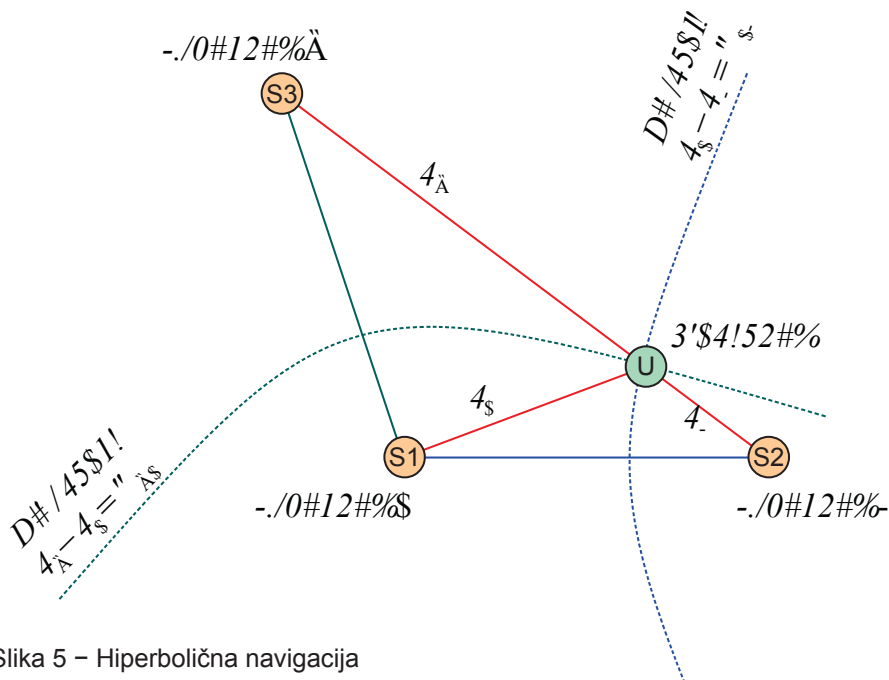
Slika 1 – Radionavigacija in radiolokacija



Slika 2 – Radiokompas in VOR





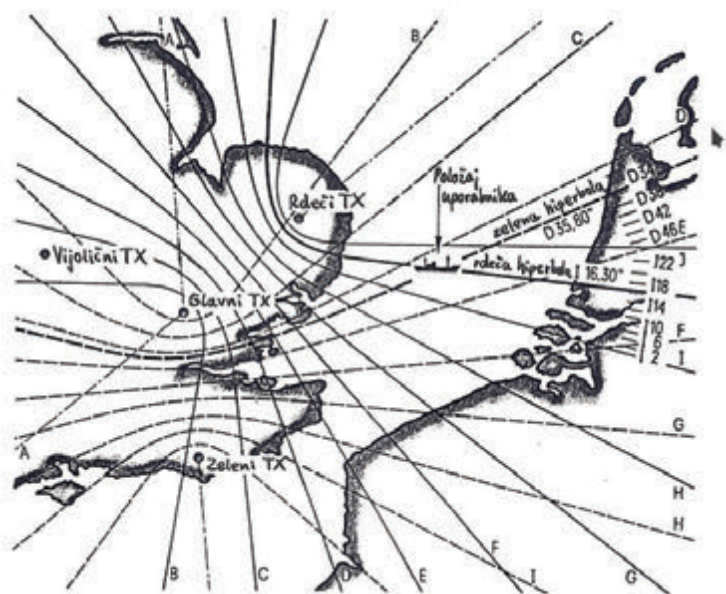


Slika 5 – Hiperbolična navigacija

$E1!.\#9) = ) \times \$,!"\# = 0,!"\#$   
 $"/;\# 9) = 0 \times \$,!"\# = \$\$-!"\#$   
 $F/1/2\#9) = * \times \$,!"\# = \$-)"\#$   
 $+ \#B\$1\#; 9\# = \% \times \$,!"\# = 1!"\#$

$9\$; 2\$ (0 \Delta 4 \sim - +$

$3'\$4!5! . "\$ \% A \& / 20 \# 4! 2B \# 2 (\% \#$   
 $'\$1BH \#H \% 4! 2B / * \$ 4 \& ! 2" \# B \$ * ,,$



Slika 6 – Sistem DECCA



Slika 7 – Zemljevid DECCA

$\vec{r}_B - \vec{r}_A = I \cdot \Delta \theta_{\#B}$

$$|\vec{r}_B - \vec{r}_A| - |\vec{r}_B - \vec{r}_A| = I \cdot \Delta \theta_{\#B}$$

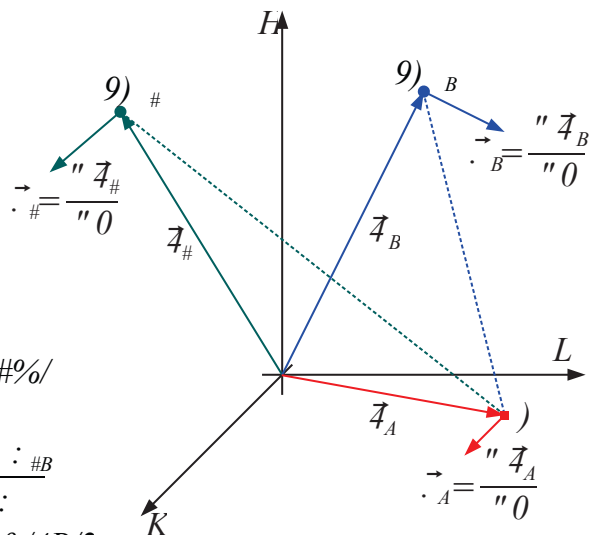
$$\frac{(\vec{r}_B - \vec{r}_A) \cdot (\vec{r}_B - \vec{r}_A)}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|} - \frac{(\vec{r}_B - \vec{r}_A) \cdot (\vec{r}_B - \vec{r}_A)}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|} = -I \cdot \frac{\Delta \theta_{\#B}}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}$$

$\vec{r}_B - \vec{r}_A = I \cdot \Delta \theta_{\#B}$

$\vec{r}_B - \vec{r}_A = I \cdot \Delta \theta_{\#B}$

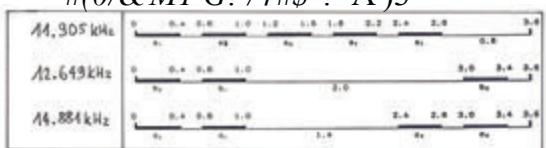
$$\frac{(\vec{r}_B - \vec{r}_A) \cdot (\vec{r}_B - \vec{r}_A)}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|} - \frac{(\vec{r}_B - \vec{r}_A) \cdot (\vec{r}_B - \vec{r}_A)}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|} = -I \cdot \frac{\Delta \theta_{\#B}}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}$$

Slika 8 – Navigacijske enačbe





-(0/&MI'G!'4#S"! A')3

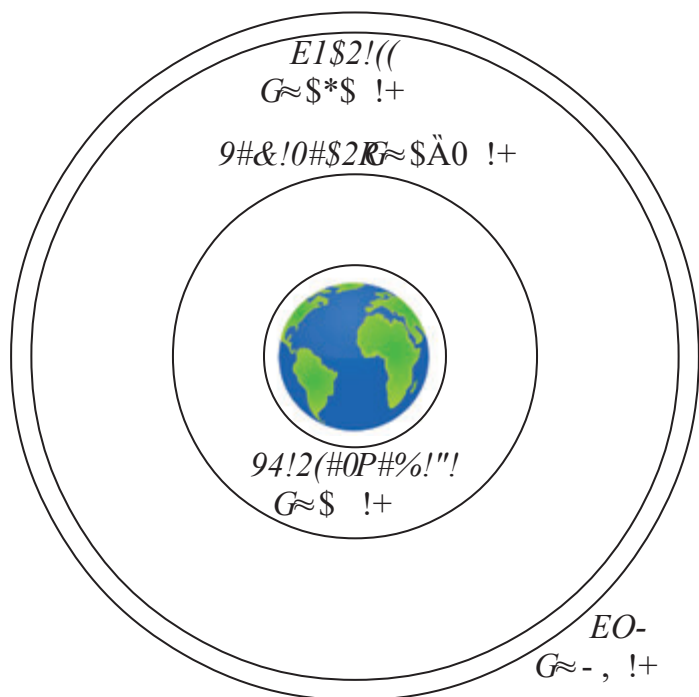
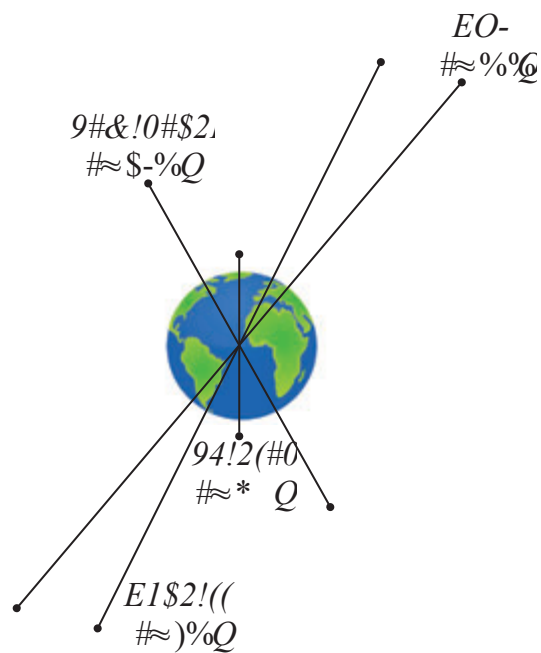


9\$;2\$(0  
A%!+

TRAJANJE OBAJE [s] (prestopak 0,2s)	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	0,8	1,0
A	10,2	10,8	11,20	12,1	12,1	11,00	12,1
B	12,0	12,2	12,8	11,30	12,0	12,0	11,00
C	11,8	11,8	10,2	12,8	11,30	11,8	11,00
D	11,00	12,1	12,1	10,2	12,8	11,30	12,1
E	12,2	11,00	12,2	12,2	10,2	12,8	11,30
F	12,2	12,8	11,00	12,8	12,8	10,2	12,8
G	11,30	12,0	12,0	11,00	12,0	12,0	12,8
H	12,8	11,30	12,8	12,8	11,00	12,8	12,8

!s2s2I = N4!(2S"!4 !s2s2I\_s = \*\$.S(#5#4(% !A2A2A = NS&(\$&\$1(%!&A

Slika 9 – Dolgovalovni navigaciji Alpha in Omega



Slika 10 – Tirnice radionavigacijskih satelitov



$\bar{A}4/\%./2I/$   
 $\$ \% \& \& \# (\$, * \& \& \# )$   
 $, \& \# (\bar{A} * \& \& \#) 0 \& \#$   
 $\%, \& \#$   
 $\$) - \& \#$   
 $\bar{A} - , \& \#$   
 $) , 0 \& \#$

9>7 TO-N



94!2(#0Rλ



94!2(#0Sλ

N4/&/2\$. %4#(0H A4\$

$* \# H \% \bar{a} \# 4 2 \# I! G \approx \$ ! +$   
 $./1 \# \% ! G \# 0 4 \$ (Q \approx 1! + 13$   
 $./1 \# \% \bar{a} \$ " 1/4 B/. ' \$ \& \# \% \bar{a}$

$9 \$ ; 2 \$ (0 \Delta 0 \approx \% \mu 3$   
 $2 / H! " \$ U ; ! H ; ! (. 2 \$$   
 $2 ! . \# J ! I \# B \$ 9 \# \& ! 0 \# \$ 2 \bar{V}$

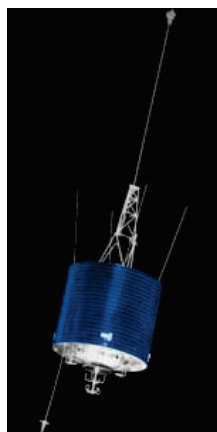
$6 4 A ? \# 2 ! , 4 ! H 1 \# ; 2 \# ( \bar{a} / 1 \# 0 \$ \$ * ) - \$ ** )$   
 $2 ! " ! B ! 2 B / ( \$ 2 ; 2 / I / 1 \# I / \$ H \# 4 \$ \& ! 9 E$   
 $( ! " \# \$ \# ( \$ 0 \$ / 9 G / 4 \& \$ / 1 / 1 0 4 \# E / 2 / 4 ! 0 \$ 4 )$

Slika 11 – Dopplerjevi sateliti Transit

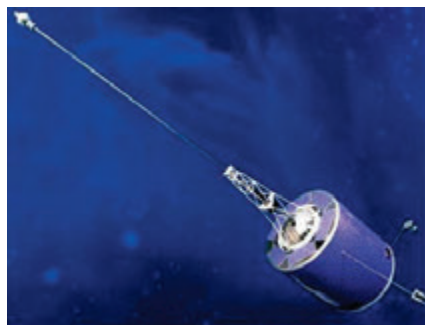
$\bar{A}4/\%./2I/$   
 $\$, * \& \$ \& \# \bar{A} * \& \& \# 1) \& \#$   
 $\$, * \& , \& \# \bar{A} * \& \& \# 0, \& \#$   
 $\$, * \& 1 \& \# \bar{A} * \& \& \# - \& \#$   
 $\$ \% ' \& \# , ' \& \#$   
 $\$ \% ' \bar{A} \& \# , ' 0 \& \#$

9>7 MĀ-N Ā2%21DH

N4/&/2\$. %4#(0H A4\$



P#%!"!



O!4A(



\*!"/?!"

$* \# H \% \bar{a} \# 4 2 \# I! G \approx \$ ! +$   
 $./1 \# \% ! G \# 0 4 \$ (Q \approx 1! + 13$   
 $./1 \# \% \bar{a} \$ " 1/4 B/. ' \$ \& \# \% \bar{a}$

$0 \$ ; 2 \$ (0 2 / H " \$ U ; !$   
 $H ! ; ! (. 2 \$ 2 ! . \# J ! I \# B \$$

$6 4 A ? \# 2 ! \$ - 4 ! H 1 \# ; 2 \# ( \bar{a} / 1 \# 0 \$ \$ * 1 , - - \$$

Slika 12 – Dopplerjevi sateliti Cikada (Nadežda, Parus)

Ä4%/2I/  
ÄÄ%&"#  
\$%0 &"#

6./ 5!0\$&(%#4#  
\$&\$J\$;!0! ;!(.2\$ 2!.#J!I#B\$

+#(\$%%4\$?2#I!G≈\$Ä0 !+  
2!J#5 #≈\$-%Q (4/04\$J4!"2!)

\*#H%A/1!0#.2! G#04\$(S A'\$4!52#%!W  
6\$"1/4B/. '\$&#%2/A'\$4!5/2 H '\$1\$?!B  
F!G0/! \$H./H"B/, !1# /; (/0/1#0\$.  
6\$"1/4B/. '\$&#%A'\$4!5/2 H!G#04\$(0



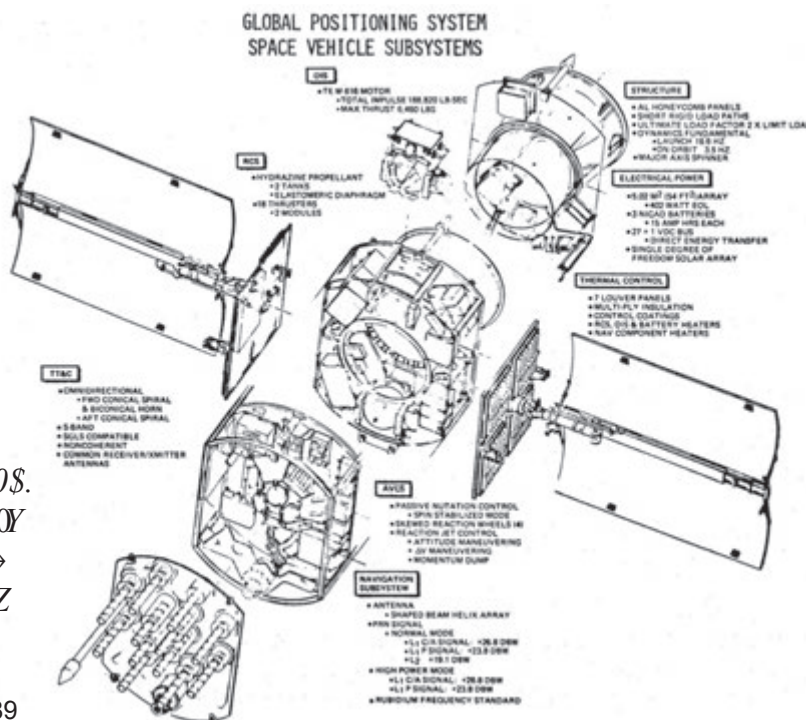
9#&!0#\$2R(\$\*1, )

Slika 13 – Satelit Timation3 predhodnik GPS

Ä4%/2I/  
>X=\$--1')&"#  
>V=\$%1%','-&"#

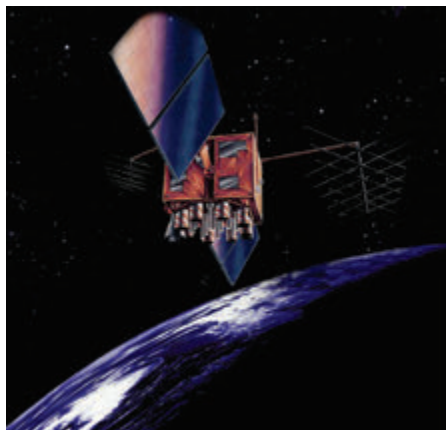
5 !1#P(!0\$&(%A4/  
\$&\$J\$;!B\$;!(.2\$ 2!.#J!I#B\$

+#(\$%%4\$?2#I!G≈-- !+  
2!J#5 #≈)ÄQ  
2!;40\$.!2/ Ä4!.2#2/ '\$ 0 (/0/1#0\$.  
2/(4;2\$ #H54!2! /4#\$"! \$\$4%0Y  
. 4/H\$2!2I#H40/2B/&F/&1B/→  
J\$4#.\$H!.H"4?!.!2B/ \$H./H"BZ



Slika 14 – GPS sateliti block I 1977–1989

$\bar{A}4\%./2I/$   
 $>X=\$--1')\&"\#$   
 $>V=\$ \%1\%,-\&"\#$   
 $+ "\$"!0\%\#$



EO- --5



EO- --6

$5 !1\#P(!0\$\&(\%/A4/$   
 $H!;!(\$ .2\$ 2!.\#J!I\#B\$$

$-/1/I0\#./ M.! \#1!5\#1\#$

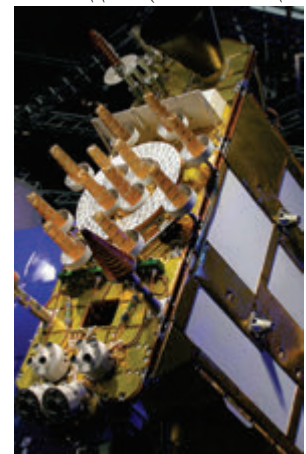
$+\#(\$\%/%4\$\?2\#I/G\approx - , !+$   
 $2!J\#5 \# \approx \%Q\#HHG\$"2\$\$5!1/$   
 $2!;40\$.!2\#G) 4!.2\#2 '\$ , (!0/1\#0,$   
 $'/4\#\$\!"! \$-4 . \#H\$J\#5/H\$2!2I!\&$

Slika 15 – GPS sateliti block II in nasledniki 1989–

$E1\$2!((7 (01!;2\#$



$E1\$2!((N (.!\%AA\&(\%q;$



$\bar{A}4\%./2I/$

$>X=\$-,\&"\# + 2 \cdot ',\bar{A}1\%\&"\#$   
 $>V=\$) -\&"\# + 2 \cdot \%)-\%\&"\#$   
 $2=-1'" +-, \equiv \%!2!1\#67M$   
 $+ 2\$. / (0\$4\#0.P67M$

$+\#(\$\%/%4\$\?2\#I/G\approx \$*\$ !+$   
 $2!J\#5 \# \approx ),'0 Q$   
 $2!;40\$.!2/ \bar{A}4!.2\#2/ '\$ 0 (!0/1\#0\$.$   
 $'/4\#\$\!"! 0/\$1 .40/2B!F/\&1B-\bar{A}4\%)Y$   
 $4/H\$2!2I/ \$G4!2B!B\$H./H"BW$

Slika 16 – Sateliti Glonass 1982– in nasledniki 2003–



$$|\vec{r}_A - \vec{r}_B| - |\vec{r}_B - \vec{r}_A| = I \cdot \Delta \theta_{\#B} / \# + /_B$$

$$A' \$4!52\#%! A' \$4!52\#%! ;!(\$2! 4!H1\#%$$

$$\$" 9) \# \quad \$" 9) \#_B \quad + 2!!"\%/$$

$$E/\$ \&/04\#I!16 \#1A0\#\$2 \quad O4/I\#(\#\$2 \cong E6,O = \sqrt{\left| \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_s} \right|^2 + \left| \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_-} \right|^2 + \left| \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_{\dot{\lambda}}} \right|^2 + \left| \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_{\dot{\lambda}}} \right|^2}$$

$$+ /40\#I!16\#1A0\#\$2 \cong +6,O = \sqrt{\left( \vec{s}_2 \cdot \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_s} \right)^2 + \left( \vec{s}_2 \cdot \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_-} \right)^2 + \left( \vec{s}_2 \cdot \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_{\dot{\lambda}}} \right)^2 + \left( \vec{s}_2 \cdot \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_{\dot{\lambda}}} \right)^2} \quad \vec{s}_2 \cong (\&/4 \ H/2\#0$$

$$D\$4\#H\$20\#1A0\#\$2 \cong D6,O = \sqrt{\left| \vec{s}_2 \times \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_s} \right|^2 + \left| \vec{s}_2 \times \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_-} \right|^2 + \left| \vec{s}_2 \times \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_{\dot{\lambda}}} \right|^2 + \left| \vec{s}_2 \times \frac{\partial \vec{r}_A}{\partial /_{\dot{\lambda}}} \right|^2}$$

$$E6,O = \sqrt{+6,O^2 + D6,O^2} \quad ,\&/B\#0./ \cdot (!0/1\#0\# \quad E6,O \geq \$)' \ddot{A} - \quad * /A' \$4!52\$$$

$$\cdot J\$42B\#\$1\$51\# \quad +6,O \geq \$'\$%, \quad E6,O \geq \$$$

$$D6,O \geq \$'\$%, \quad E6,O \geq \$$$

Slika 17 – Geometrija ozvezdja GDOP, VDOP, HDOP

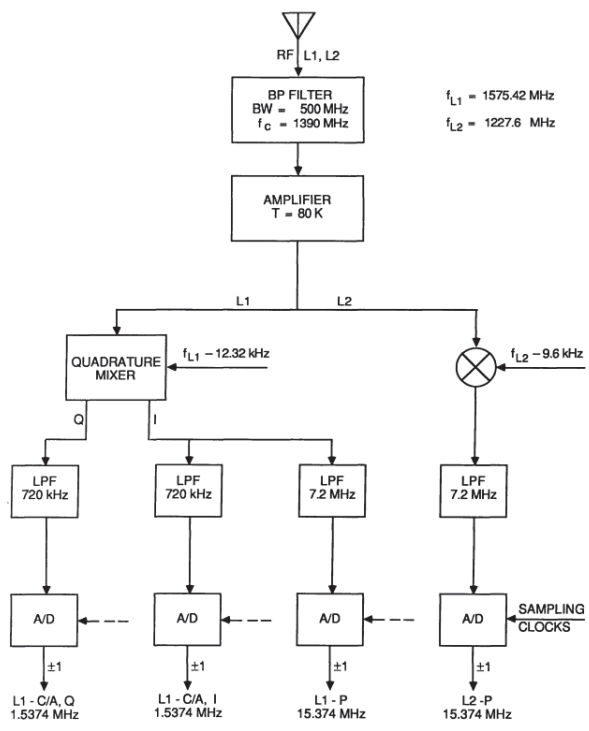
!H.\$B EO- ('4/B/&2\#%\$.

M2!1\$J2#EO- ('4/B/&2\#%\$  
%\$&'1#I#4!28"4!J  
&~ - !9

JPL Publication 88-15

Functional Description of Signal Processing in the Rogue GPS Receiver  
J. B. Thomas

EO- ('4/B/&2\#%\$H\\$4;/2B/&\$5\#(04\\$2\\$&\#B+>TC  
#HJA5(!&\$ \ddot{A}-; '4\#2\#H%&/I \*  
I/2/2 '4/2\$(2\# EO-  
&< \$!9



June 1, 1988  
NASA  
National Aeronautics and Space Administration  
Jet Propulsion Laboratory  
California Institute of Technology  
Pasadena, California

Slika 18 – Rogue GPS



Slika 19 – Domači GNSS sprejemnik 1991

$$\beta = \frac{\omega}{I_0} \sqrt{1 - (\omega/I_0)^2} = \frac{1}{I_0} \sqrt{\omega^2 - \omega_0^2}$$

$$\frac{\beta}{\omega} = \frac{1}{I_0} \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 - \omega_0^2}}$$

$$\frac{\beta}{\omega} = \frac{I_0}{\sqrt{1 - (\omega/I_0)^2}} > I_0$$

$$\frac{\beta}{\omega} = \frac{\omega}{I_0} = I_0 \sqrt{1 - (\omega/I_0)^2} < I_0$$

$$\rightarrow \begin{cases} \omega \approx I_0 + \Delta \\ \omega \approx I_0 - \Delta \end{cases} \quad \Delta = \frac{I_0}{2} (\dots)^2$$

$$0 = \int \dots = \int \frac{\dots}{I_0 \pm \Delta} \approx \frac{\dots}{I_0} \pm \int \frac{\Delta}{I_0^2} \dots = \frac{\dots}{I_0} \pm \int \frac{(\dots)^2}{2I_0} \dots$$

$$\Delta 4 = I_0 \Delta 0 \approx \int \frac{\dots}{8\pi^2 \epsilon_0 \dots} = \frac{\dots 98P}{8\pi^2 \epsilon_0 \dots} \approx \pm 40.3 \frac{98P}{(\dots)^2}$$

$$\dots = 1.57542$$

$$98P [ + - ] = \int \dots$$

$$98P \approx \dots \rightarrow \Delta 4 \approx \dots$$

Slika 20 – Ionosfera



# Sodobni globalni navigacijski satelitski sistemi

## *Modern Global Navigation Satellite Systems*

Aljaž Blatnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

[aljaz.blatnik@fe.uni-lj.si](mailto:aljaz.blatnik@fe.uni-lj.si)

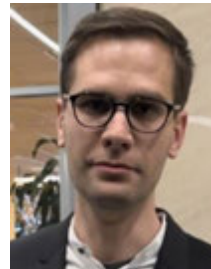
### Povzetek

Sprejemniki GNSS so postali del našega vsakdana. Na poznavanju položaja uporabnika temeljijo skoraj vse aplikacije na pametnem telefonu, nadzor osebnega vozila in odklepanje električnega kolesa. Tehnologija se medtem razvija naprej. V polno obratovanje prehaja frekvenčni pas L5 v sistemu GPS, Glonass se nadgrajuje z novo različico CDMA-signalov na L1 in L2, Galileo ponuja natančnost določanja položaja vse do 20 cm. So naši sprejemniki v mobilnih napravah sodobni ali zastareli? Kako izbrati ustrezeni GNSS sprejemnik za našo aplikacijo? Kupiti integrirano vezje, modul ali se lotiti samogradnje?

### Abstract

*GNSS receivers have become a part of our daily lives. Almost all smartphone applications, including vehicle control and electric bicycle unlocking, rely on the user's location. Meanwhile, technology continues to evolve. The L5 frequency band in the GPS system is (almost) fully operational, Glonass is upgraded with a new version of CDMA signals on L1 and L2, and Galileo provides positioning accuracy of up to 20 cm. Are the receivers in our mobile devices cutting-edge or outdated? How can we select the appropriate GNSS receiver for our application? Obtain an integrated circuit, a module, or develop it yourself?*

### Biografija avtorja



Aljaž Blatnik je po končani Gimnaziji Vič šolanje nadaljeval na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in leta 2014 zaključil prvostopenjski univerzitetni študijski program. V

študijskem letu 2014/2015 se je vpisal na podiplomski magistrski študijski program 2. stopnje Elektrotehnika. Magistrsko delo je na smeri Telekomunikacije uspešno zagovarjal leta 2017. V študijskem letu 2017/2018 se je vpisal na doktorski študijski program Elektrotehnika na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in se kot asistent zaposlil v Laboratoriju za sevanje in optiko. Naziv doktor znanosti je pridobil leta 2023. Raziskovalno se ukvarja s področjem visokofrekvenčne tehnike, brezžičnih komunikacij in napredne obdelave signalov. Vodi državno tekmovanje iz znanja tehnologij in številne obštudijske dejavnosti na Fakulteti za elektrotehniko.

### Author's biography

*After finishing the Vič High School, Aljaž Blatnik continued his education at the University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering, and in 2014 completed the undergraduate university study program. In the 2014/2015 academic year, he enrolled in the 2nd degree Master's program in Electrical Engineering. He successfully defended his master's thesis in the field of Telecommunications in 2017. In the academic year 2017/2018, he enrolled in the doctoral study program in Electrical Engineering at the University of Ljubljana,*

*Faculty of Electrical Engineering, and was employed as an assistant in the Radiation and Optics Laboratory. He obtained the PhD title in 2023. His research is in the field of high-frequency technology, wireless communications and advanced signal processing. He leads the national technology knowledge competition and many extracurricular activities at the Faculty of Electrical Engineering.*

# Sodobni Globalni navigacijski satelitski sistemi





26. seminar radijske komunikacije

SRK 2024, 1. februar 2024

Aljaž Blatnik

## GNSS sistemi

Stanje: januar 2024

Sistem	GPS 	GLONASS 	Galileo 	BeiDou 
Kodiranje	CDMA	FDMA & CDMA	CDMA	CDMA
Perioda	11.97 h	11.16 h	14.08 h	12.88 h
Število satelitov	27 (sistem) 30 (delujočih)	24 (sistem) 24 (delujočih) + 2 (v pripravi)	27 + 3 (sistem) 23 (delujočih) + 6 (za izstrelitev)	24 + 4 (sistem) 33 (delujočih) + 16 (BeiDou2)
Frekvence [MHz]	L1: 1575,42 L2: 1227,60 L5: 1176,45	G1: 1600,99 G2: 1248,06 G3: 1202,03	E1: 1575,42 E6: 1278,75 E5a: 1176,45 E5b: 1207,14	B1C: 1574,42 B2A: 1176,45 B2B: 1207,14 B1I: 1561,098 B3I: 1268,52
Natančnost	5 m (javno) 0,3 m (enkripcija) (brez DGPS ali WAAS)	2–4 m 0,6 m (predvideno)	0,2 m (javno) 0,01m (enkripcija)	3,6 m (javno) 0,1 m (enkripcija)

Lokalni sistemi: **QZSS** (Japonska), **RNSS/NavIC** (Indija)

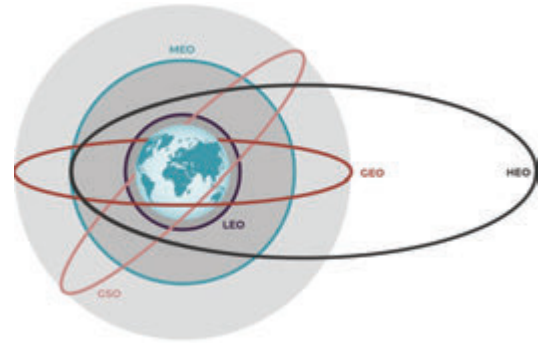
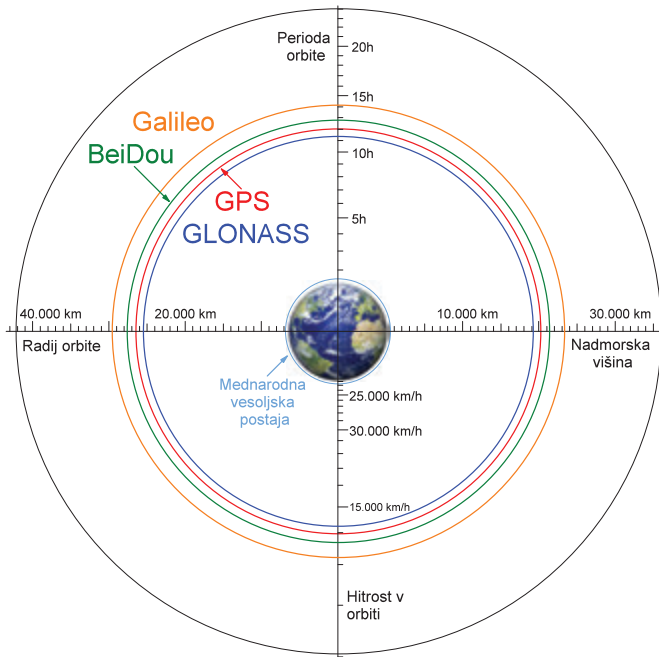
2



# GNSS sistemi

Orbite

Frekvenčni spekter



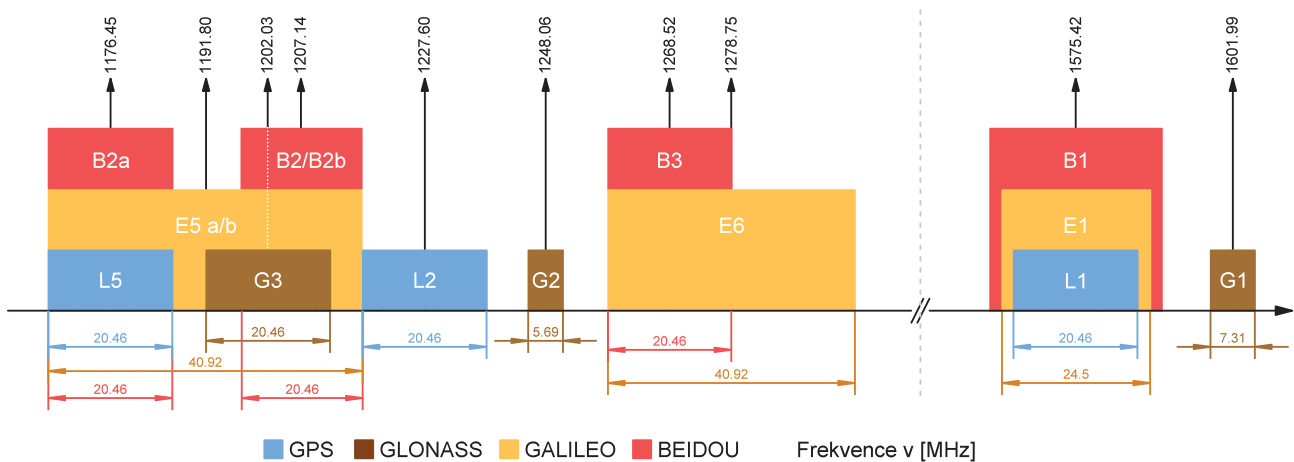
Sistem	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
Višina	20,180 km	19,130 km	23,222 km	21,150 km
Število orbit	6	3	3	6 + 1 GEO
Naklon	55°	64.8	56°	55° (IGSO + MEO)

3

# GNSS sistemi

Orbite

Frekvenčni spekter



**QZSS** (Japonska) – enako kot GPS

**RNSS/NavIC** (Indija) – **L5** na 1176.45 MHz, **S-band** na 2492.028 MHz

**GLONASS** – 1600.995 MHz dodatek **L1OC** (v testiranju) - CDMA

4

GPS

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

(2011) „Expandable 24“ = 6 orbit s skupno **27 sateliti** (3 rezerve)

Generacije satelitov

Blok	Izstrelitev	Izstreljenih	V uporabi
I	1978-1985	10	0
II	1989-1990	9	0
IIA	1990-1997	19	0
IIR	1997-2004	12	7
IIR-M	2005-2009	8	7
IIF	2010-2016	12	12
IIIA	2018 →	6 (4 v pripravi)	6
IIIF	2026 - 2034	(22 predvideno)	0

Serijska 3 se prvič izstreljuje s SpaceX Falcon 9 raketami  
Zadnja izstrelitev januar 2023  
Naslednja predvidena za junij 2024

Lahko delujejo samodejno do 14 dni brez kontakta z zemeljsko postajo

Zadnji v uporabi oktobra 2019

10 satelitov nosi testni SAR sistem (Search And Rescue)

Dodatek robustnejšega signala L2C (civilna uporaba) in M-kode (Military)

Modernizacija – nosilec L5

Odstranjena možnost omejene dostopnosti (namerna degradacija signala za civilno uporabo)



5

GPS

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

Začetek modernizacije GPS sistema (2000) – prva izstrelitev 2018

L1 C/A je „zastarel“

Novi signali:

Civilni L2 (L2C)

- Oddaja civilne kode na L2
- Namenjeno civilnim dvofrekvenčnim sprejemnikom
- CM in CL koda (20 ms / 1500 ms)
- 24 dB boljše varnost pri korelaciji (v primerjavi s C/A)
- 65% več ionsferskega pogreška v primerjavi z L1!

Varnost življenja L5 (Safety of Life)

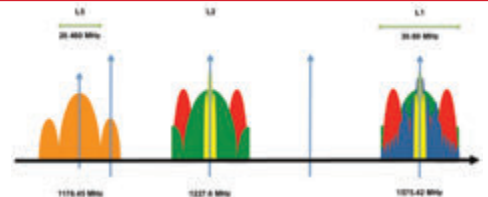
- Oddaja civilne kode na L5 (1176.45 MHz)
- V polnem delovanju (vsaj 24 satelitov) po 2027
- Močnejša oddaja kot L1 (3 dB več)
- Večja pasovna širina (10 dB dobitka obdelave)
- 10-krat daljša koda
- Omogoča trofrenkenčne sprejemnike

Vojaška uporaba (M-koda)

- Oddaja na L1 in L2
- Večja odpornost na namerne motnje (več energije na robu spektra (B ≈ 24 MHz), kot pri P(Y) kodi)
- Avtonomno delovanje (brez potrebe po C/A vkleitvi)
- Usmerjene antene (r ≈ 500 km)
- Šele III družina GPS satelitov

Novi civilni L1 (L1C)

- Nadomestek C/A kode (vzporedno delovanje)
- Veja brez podatkov vsebuje nosilec
- Boljša kompatibilnost s sistemom Galileo
- Ni v uporabi (poskusno oddajanje - zamude pri implementaciji). Cilj do 2030.



6

# GPS

Pregled

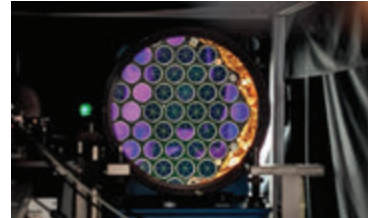
Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

## Kontrolni segment naslednje generacije (OCX)

- Trije bloki, vsak doda novo funkcionalnost
- Nove zemeljske nadzorne in referenčne postaje
- Stroški ~3.4 milijarde \$ → zamude

Sateliti III bloka bodo nosili mačja očesa (laserski retroreflektor)



## IIIF blok:

- Namenski signal v L-pasu za SAR (DASS by NASA – Distress Alerting Satellite System)
- 100% digitalni sistem glavnega navigacijskega računalnika
- DSP jedro in programska oprema nadgradljiva delujočim satelitom v orbiti
- ECP senzor – merilnik naelektrenih delcev (sončeve nevihte, sovražnik)

7

# GLONASS

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

(2025) iz 3 → 6 orbit s skupno **30 sateliti**

## Generacije satelitov

Serija	Izstrelitev	Izstreljenih	V uporabi
GLONASS	1982-2005	88	0
GLONASS-M	2003-2022	51	21
GLONASS-K	2011→	5	3
GLONASS-K2	2023→	1 (+1 v izdelavi)	1
GLONASS-V	2025→	0 (6 predvidenih)	/
GLONASS-KM	2030→	?	/

Življenjska doba ~3 leta

Življenjska doba ~7 let  
Zadnji izstreljeni že oddajajo L3OC (CDMA)

Življenjska doba (načrtovana) ~10 let  
Zadnja izstrelitev 2022

Samo ruski sestavni deli  
L1, L2, L3 in L5 CDMA oddaja

Program močno prizadet zaradi sankcij (radiacijski ščit)

Eliptična orbita  
Izboljšanje sprejema v urbanih kanjonih na področju Rusije

(2015) Prvič od 1995 sistem spet v popolni konstelaciji  
(2022) Sankcije onemogočajo izdelavo GLONASS-K2

Vojaška oddaja ni kriptirana, a o njej ni skoraj nič podatkov (security through obscurity)

Vsebujejo retroreflektorje že od samega začetka

8



## GLONASS

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

Začetek modernizacije GLONASS sistema (2008) – prva izstrelitev 2011

**Dolgoročna želja, da se FDMA ukine**

**Novi signali:**

**Civilni L3 (L3OC)**

- Oddaja na 1202.025 MHz
- Daljša koda
- Podatki in pilotni signal → QPSK
- 100 bit/s oddaja navigacijskih podatkov (2 min 24 s) za popolni almanah

**Civilni L1 (L1OC) / L2 (L2OC) in vojaški L1 (L1SC) / L2 (L2SC)**

- L1 oddaja na 1600.995 MHz
- L2 oddaja na 1248.06 MHz
- Prekrivanje s FDMA signali
- OC uporablja TDMA in BPSK(1) modulacijo za podatke, ter BOC(1,1) modulacijo za pilotni signal
- SC oddaja v kvadraturi z OC in BOC(5, 2.5) modulacijo → večja pasovna širina (večina moči signala stran od ozkopasovne OC oddaje)

9

## GLONASS

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

**Konstelacija na 30 satelitov**

- Plan do 2025
- Morda bodo FDMA signali ugasnjeni (ni še dokončne odločitve)!
- Oddaja SDCM (SBAS)

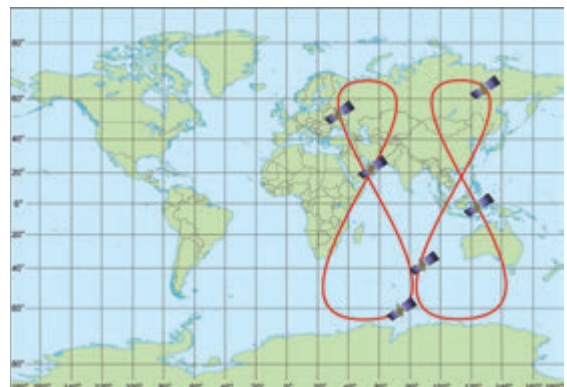
**Nadgradnja zemeljskih postaj**

- Po vzpostavitvi popolne GLONASS-K konstelacije
- Lokacije tudi v Braziliji in Indoneziji
- Izboljšana natančnost do 0.6 m (obljubljeno za 2020)



**Generacija GLONASS-V**

- 6 satelitov v eliptični orbiti
- Regionalna izboljšava pokritosti (podobno kot QZSS)
- 64.8° naklona orbite
- Perioda 23.9h
- Izstrelitve po 2025



10

# Galileo

Pregled

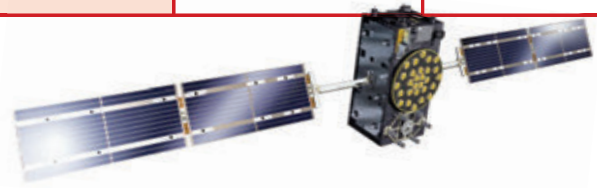
Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

Ne upravlja vojska → Last Evropske komisije (zanjo ESA)  
 Popolna konstelacija še ni vzpostavljena

### Generacije satelitov

Blok	Izstrelitev	Izstreljenih	V uporabi
GIOVE	2005-2008	2	0
IOV	2011-2012	4	3
FOC	2014-2026	22 (+ 12 predvidenih)	20
G2G	2026 →	(12 predvidenih)	0



Validacijski satelit zelo blizu končnemu izdelku (FOC)  
 Že vključuje SAR

Prva serija za doseg popolne konstelacije  
 Zadnja izstrelitev 2021 (Soyuz)  
 Naslednja izstrelitev 2024 (SpaceX Falcon 9) – 4 sateliti  
 Izstrelitev 2014 je spravila satelita v eliptično orbito

Lasten pogon (sateliti se lahko sami premaknejo v pravilne orbite)  
 Prvi sateliti predvideni za 2025  
 Usmerjene zveze med sateliti

- (2017) Odpoved šestih ur na krovih satelitov (vsak satelit ima 4)
- (2018) EU zahteva uporabo Galileo za eCall
- (2018) EU zahteva implementacijo v pametne telefone
- (2018) FCC dovoli uporabo E1 in E5 izdelkom v USA (Vojska in državne inštitucije ga ne smejo)

Vsebujejo retroreflektorje

Galileo-FOC FM19 poimenovan Tara

11

# Galileo

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

Moderen sistem od samega začetka

### SAR

- Del MEOSAR sistema
- Omogoča tudi povratno informacijo – RLM → satelit - uporabnik
- Natančnost določanja na 2 km (globalno)

### Izboljšava atomskih ur

- Po odpovedi ur na krovih satelitov
- Noben satelit ni kritično prizadet zaradi redundance
- BeiDou in NavIC uporabljata iste ure
- Ure predvidene za izstrelitev so doživele izboljšave

### Omogoča bolj natančno določanje položaja od ostalih sistemov

- 1m za dvofrekvenčni sprejemnik (brezplačno)
- HAS (High Accuracy Service) 20 cm (brezplačno od 24 januarja 2024)

### Popolna konstelacija predvidena do 2025



12

# BeiDou

Pregled

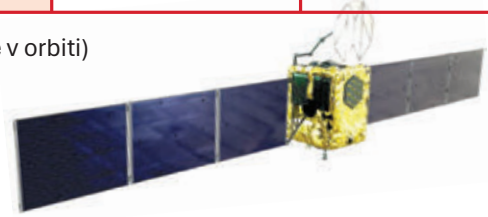
Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

(2024) Deluje **44** satelitov = **7** (GEO), **10** (IGSO), **27** (MEO) + **8** v pripravi (že v orbiti)

## Generacije satelitov

Blok	Izstrelitev	Izstreljenih	V uporabi
1	2000-2006	4	0
2	2007-2019	20	15
3S	2015-2016	5	1 (4 rezerve)
3	2016 →	33	29 (4 rezerve)



Samo geostacionarni sateliti za Kitajsko regijo  
Preneha z oddajo 2012  
10x dražji sprejemniki od GPS (embargo na FPGA)

BeiDou-2 (staro ime: COMPASS)  
Deluje podobno kot Galileo (kompleksna struktura podatkov)  
3 sateliti v nagnjeni GEO-sinhroni orbiti – lokalno pokrivanje  
Civilna (~10 m) in vojaška uporaba (~10 cm)

(2011) Vzpostavljena regionalna navigacija



BeiDou-3  
Nove frekvence in signali  
Konstelacija: 3(GEO), 3(IGSO), 24(MEO)

(2020) Vzpostavljena globalna navigacija

Vsebujejo retroreflektorje

# BeiDou

Pregled

Nove zmožnosti

Nadaljnji razvoj

BeiDou-3 → Najnovejša iteracija sistema (moderen sistem)

### Podpira SBAS (B1C, B2a, B1A – GEO sateliti)

- 10x več zemeljskih postaj za referenco kot GPS!
- Storitve ponuja zgolj nad Kitajsko (pogajanja za države zaveznice)

### Podpira PPP (B2b – GEO sateliti)

- Vsi sateliti opremljeni z retroreflektorji

### Podpira (MEO)SAR

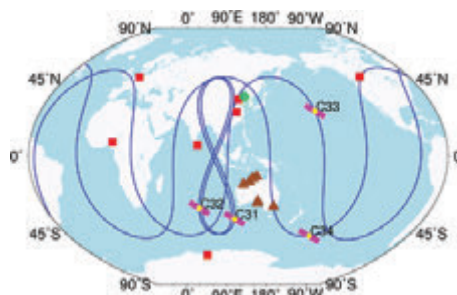
- Najnovejši sateliti tudi povratno informacijo, podobno kot Galileo

### Podoben sistemu Galileo

- Skoraj povsem enaka frekvenčna področja
- Podobna modulacija
- Del podatkov kriptiran za vojaške namene

Tajvan ne dovoljuje njegove uporabe!

## Oddaja na frekvencah pred Galileom!





## Napredna uporaba

Letalstvo

SAR

Sinchronizacija časa

### Civilno letalstvo – Samo GPS L1 in GLONASS G1 (ARNSS)

- Navigacija med letom za lociranje na zemljevidu
- Navigacija na tleh pri vožnji od pristajalne steze do terminala
- Uporaba v zadnji fazi približevanja, namesto ILS

### GBAS

- Včasih poimenovan **LAAS**
- Lokalni sistemi za popravke GNSS položaja
- Nameščeni v bližini letališč, oddaja podatkov preko VHF
- Veliko cenejši sistem kot vzdrževanje ILS
- Standardno na Boeing 747-8 in 787, 737-MAX
- Opcijsko na Boeing 737-NG, Airbus A320, A320/340, A350, A380

### LNAV/VNAV

- smer in višina) mora uporabljati lokalni sistem za preverjanje integritete signala (RAIM - Receiver autonomous integrity monitoring)
- Nekateri sistemi RAIM-a ne potrebujejo in se zanašajo na SBAS podporne signale



## Motnje

Sistemske protiukrepi

### Težka izvedba univerzalnega motilnika?



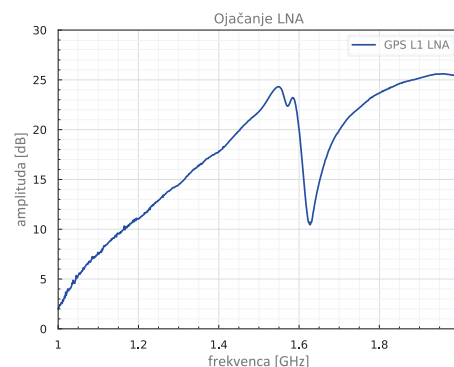
„V tej diplomski nalogi sem uspešno prikazal in potrdil sposobnost učinkovitega motenja sprejemnika GPS ter zbiranja empiričnih podatkov za ocenjevanje kvalitete motenja.“

Diplomsko delo: Staš Dolinšek 2023

Ovrednotenje načinov motenja globalnega sistema pozicioniranja

### Možni protiukrepi

- Kvalitetna ozkopolasovna sita za posamezno frekvenčno območje
- Integracija žiroskopa in kompasa (lasten inercialni sistem)
- Adaptivna antenska skupina (primer Starlink)
- Uporaba širokopolasovnih signalov (primer Galileo E5)
- Prisiliš ostale, da uporabljajo drugačne frekvence
- Pametno načrtovanje antenskega nizkošumnega ojačevalnika!



16

Napredna uporaba

Letalstvo

SAR

Sinhronizacija časa



Napredna uporaba

Letalstvo

SAR

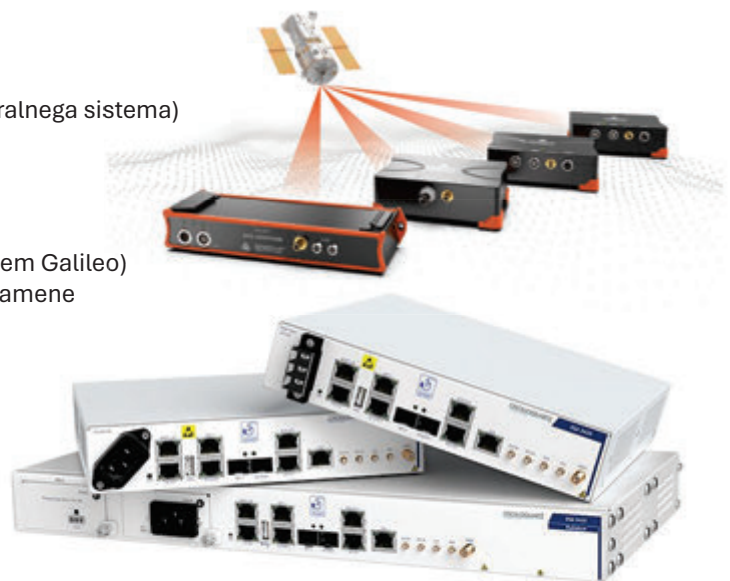
Sinhronizacija časa

Groba sinhronizacija časa

- Nekaj 10  $\mu$ s
- Preprosti GNSS sprejemniki
- Sinhronizacija ure končnih uporabnikov
- Pametni semaforji (avtonomno delovanje brez centralnega sistema)

Precizna sinhronizacija časa

- Nekaj 10 ns
- Visokomamenski GNSS sprejemniki (vključujejo sistem Galileo)
- Sinhronizacija ure za industrijske in laboratorijske namene
- Sinhronizacija ure borze
- Težave s točnim določanjem v urbanih kanjonih

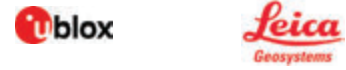


# Sprejemniki

Osnovni	Več frekvenčni/sistemski	Popravki
---------	--------------------------	----------



- 42 proizvajalcev GNSS sprejemnikov
- Več kot 50% sprejemnikov izdelajo USA, Kitajska in Švedska



### Nizkocenovni moduli

- Enofrekvenčni
- Enosistemski (navadno samo GPS)
- Nekaj 10 kanalov
- Precej neodporni na motnje
- Izhodni zapis podatkov NEMA ali UBX (u-blox format)
- Cena pod 1 €/kos (2024)

# Sprejemniki

Osnovni	Več frekvenčni/sistemski	Popravki
---------	--------------------------	----------



Prvi trofrekvenčni GNSS sprejemnik na enem čipu za avtomobilski standard (2022)  
11.5 €/kos (2024)



Enofrekvenčni sprejemnik, vsi sistemi hkrati (2022)  
10.3 €/kos (2024)



Dvofrekvenčni, večsistemski, SBAS sprejem  
120 €/kos (2024)

# Motnje signalov GNSS v državnem omrežju stalnih postaj SIGNAL

## *GNSS interference in the national continuously operating reference station network SIGNAL*

**Polona Pavlovčič Prešeren**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

[polona.pavlovcic-preseren@fgg.uni-lj.si](mailto:polona.pavlovcic-preseren@fgg.uni-lj.si)

### **Povzetek**

Visokokakovostno in neprekinjeno delovanje omrežij stalnih postaj GNSS (ang. Global Navigation Satellite System) postaja čedalje bolj pomembno, saj omrežja proizvajajo produkte za natančno geolociranje objektov v referenčni koordinatni osnovi v realnem času ali naknadno. Slovensko državno omrežje stalnih postaj GNSS SIGNAL (SI-Geodezija-NAvigacija-Lokacija) omogoča enostaven dostop do državnega koordinatnega sistema D96-17/TM, ki se uporablja v geodeziji za določanje položaja prostorskih entitet in je osnova za masovni zajem podatkov z drugimi merilnimi senzorji na različnih platformah, vključno z letalniki, plovili in vozili. Omrežje SIGNAL vključuje stalne postaje, ki so razporejene po vsej državi, in uporabnike, ki koristijo storitve omrežja. S svojim neprekinjenim delovanjem in spremljanjem kakovosti storitev omogoča hitro zagotavljanje informacij o morebitnih motnjah signalov GNSS po vsej državi. Zato bi se lahko v prihodnosti uporabljalo kot infrastruktura, ki prispeva k večji varnosti pri uporabi tehnologije GNSS v drugih sektorjih, ki temeljijo na natančnih lokacijskih in časovno usklajenih podatkih.

### **Abstract**

*The high quality and continuously operating reference stations (CORS) of the Global*

*Navigation Satellite System (GNSS) are becoming increasingly important as they represent an invaluable product source for the accurate geolocation of objects in space, both in real time and in post-processing. The Slovenian national CORS SIGNAL (SI-Geodesy-NAvigation-Location) also provides easy access to the national coordinate system D96-17/TM for geodesy to determine the positions of spatial entities. Moreover, it serves as the basis for mass data collection with other measurement sensors on various platforms, including drones, vessels, and vehicles. The SIGNAL network includes both permanent stations distributed across the country and the users who benefit from the network services. Through its uninterrupted operation and quality of service monitoring, it enables the rapid provision of information on possible GNSS interference across the country. Consequently, it could be used in the future as an infrastructure that contributes to greater security in the use of GNSS technology in other sectors relying on precise location and time-coordinated data.*

---

### **Biografija avtorja**



### **Polona Pavlovčič Prešeren**

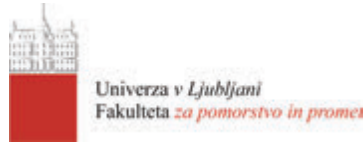
Polona Pavlovčič Prešeren je visokošolska učiteljica na Fakulteti za gradbeništvo in



geodezijo Univerze v Ljubljani. Raziskovalno deluje na področju uporabe tehnologije GNSS pri vzpostavitvi ter vzdrževanju državnega koordinatnega sistema, dodatno pa se ukvarja tudi z gravimetrijo ter geomagnetizmom. Posveča se tudi analizi in izboljšavam postopkov preizkusov geodetskih in nizkocenovnih sprejemnikov GNSS ter njihovi uporabi v direktnem georeferenciranju stacionarnih in kinematičnih objektov. Kot avtorica ali soavtorica številnih prispevkov se v zadnjem času še posebej posveča raziskavam namernih motenj signalov GNSS. Je članica uredniškega odbora Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Zveze geodetov Slovenije ter Slovenskega društva Informatika ter konzorcija GEMOP (ang. Galileo and EGNOS Monitoring of Performances).

#### ***Author's biography***

*Polona Pavlovčič Prešeren is a university teacher at the Faculty of Civil Engineering and Geodesy of the University of Ljubljana. He conducts research in the field of the use of GNSS technology in the establishment and maintenance of the national coordinate system, and additionally deals with gravimetry and geomagnetism. It is also devoted to the analysis and improvement of test procedures of geodetic and low-cost GNSS receivers and their use in direct georeferencing of static and kinematic objects. As the author or co-author of numerous papers, she has recently devoted herself especially to the research of intentional interference of GNSS signals. She is a member of the editorial board of the Slovenian Association of Geodesy and Geophysics, the Association of Surveyors of Slovenia and the Slovenian Society of Informatics, as well as the GEMOP consortium (Galileo and EGNOS Monitoring of Performances).*



# Motnje signalov GNSS v državnem omrežju stalnih postaj SIGNAL

Pripravili: **Polona Pavlovčič Prešeren** in sod.  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



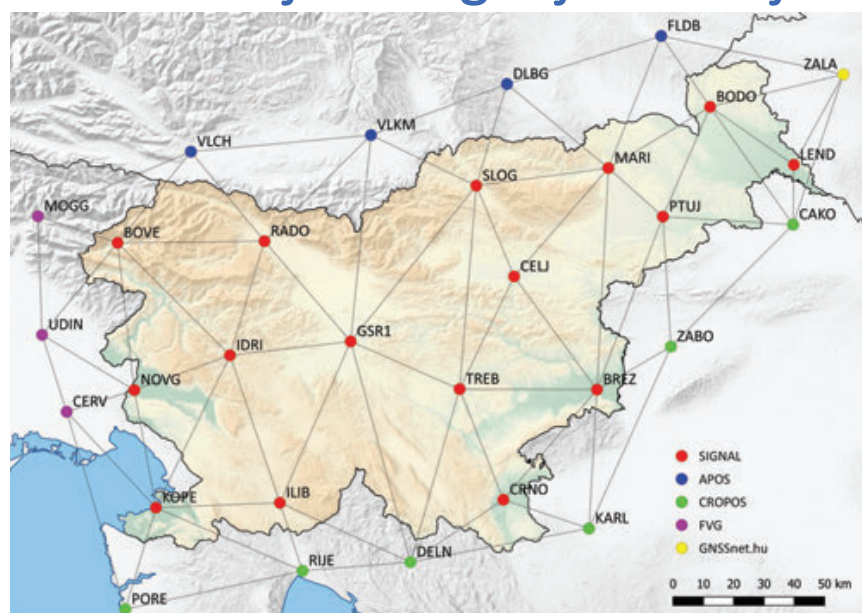
26. Seminar radijske komunikacije, SRK 2024  
1. februar 2024

## SI-Geodezija-NAvigacija-Lokacija

### Državna geoinformacijska infrastruktura

Sestava: stalne postaje GNSS, povezane v omrežje

[www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si)



SRK 2024



# Omrežje stalnih postaj GNSS, SIGNAL



BOVE - Bovec



GSR1 - Ljubljana



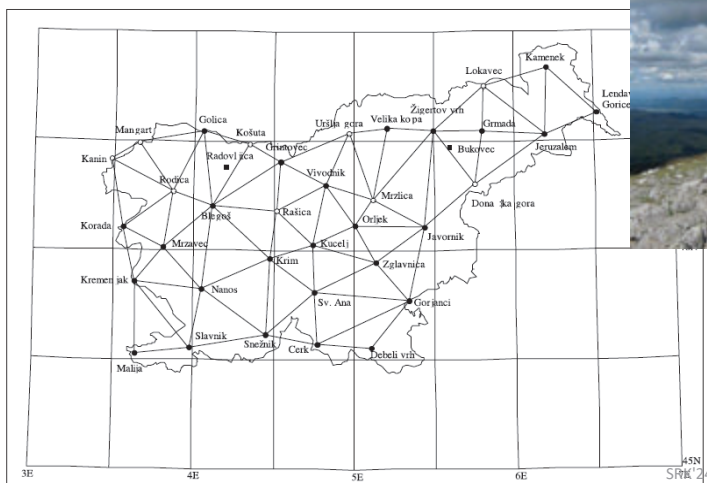
RADO - Radovljica

SRK 2024

3

## GNSS v geodeziji → konec klasičnih koordinatnih sistemov

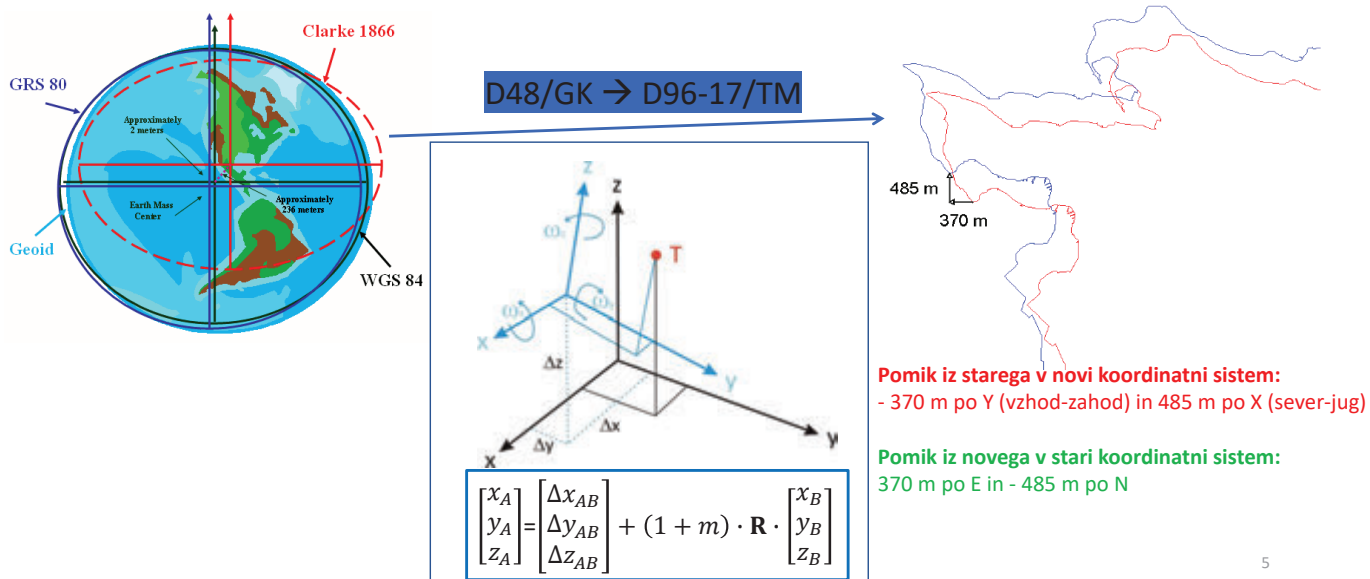
### Klasični geodetski koordinatni sistemi - Astrogeodetska mreža Slovenije 1948 (v veljavi do 1. 1. 2008)



4

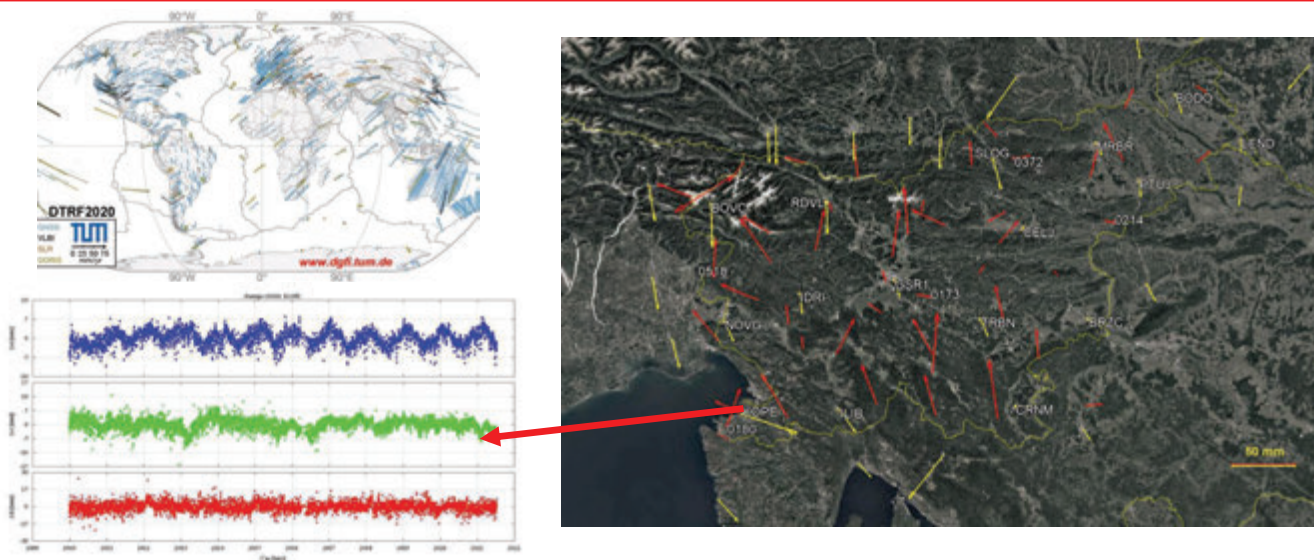
# D48/GK → D96-17/TM

## Prehod iz starega v novi koordinatni sistem



5

## Novi koordinatni upoštevajo geodinamiko (4D)



Slika 7: Časovne vrste koordinat postaje GNSS KOPE

SRK 2024

6

# Geodetsko določanje položaja z GNSS

1. Uporabljamo **fazne več-frekvenčne sprejemnike GNSS**

(vsaj L1 in L2, tudi L5)

→ odstranitev vpliva ionosferske refrakcije



2. Uporabljamo **relativno določanje položaja**

→ **navezava na koordinatni sistem**, ki upošteva lokalne geodinamične značilnosti



3. **Obdelava temelji na visoko-natančnih podatkih in modelih vplivov na opazovanja**

→ efemeride (upoštevanje relativnostne teorije)

→ neenakomerna rotacija Zemlje

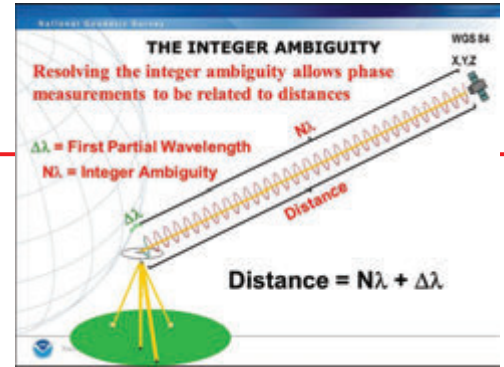
(precesija, nutacija, gibanje polov)

→ modeli atmosfere

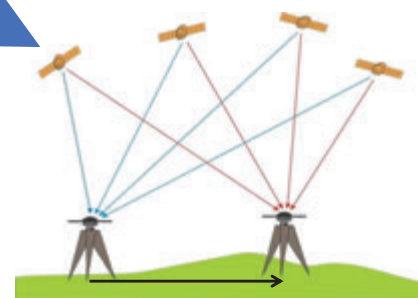
→ modeli plimovanja trdne Zemlje

Definicijsko območje  
točnosti določitve  
koordinat:  
< 1 cm

SRK 2024



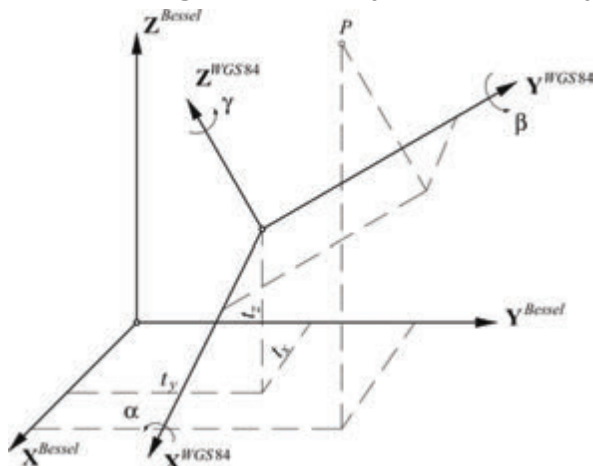
NGS, 2017



## Namen omrežja stalnih postaj GNSS

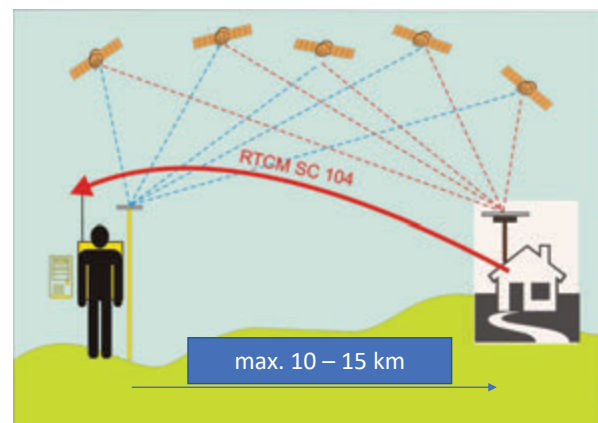


Zagotavljane državnega referenčnega koordinatnega sistema Republike Slovenije



SRK 2024

Z navezavo na omrežje uporabnikom ni treba na terenu rokovati z dvema sprejemnikoma



8



Vir: <https://www.geo-zs.si>

SRK 2024

9

**Do sedaj**  
Uporaba GNSS za dokazovanje  
geodinamike

**Danes**  
**Pojav motenja signalov GNSS**



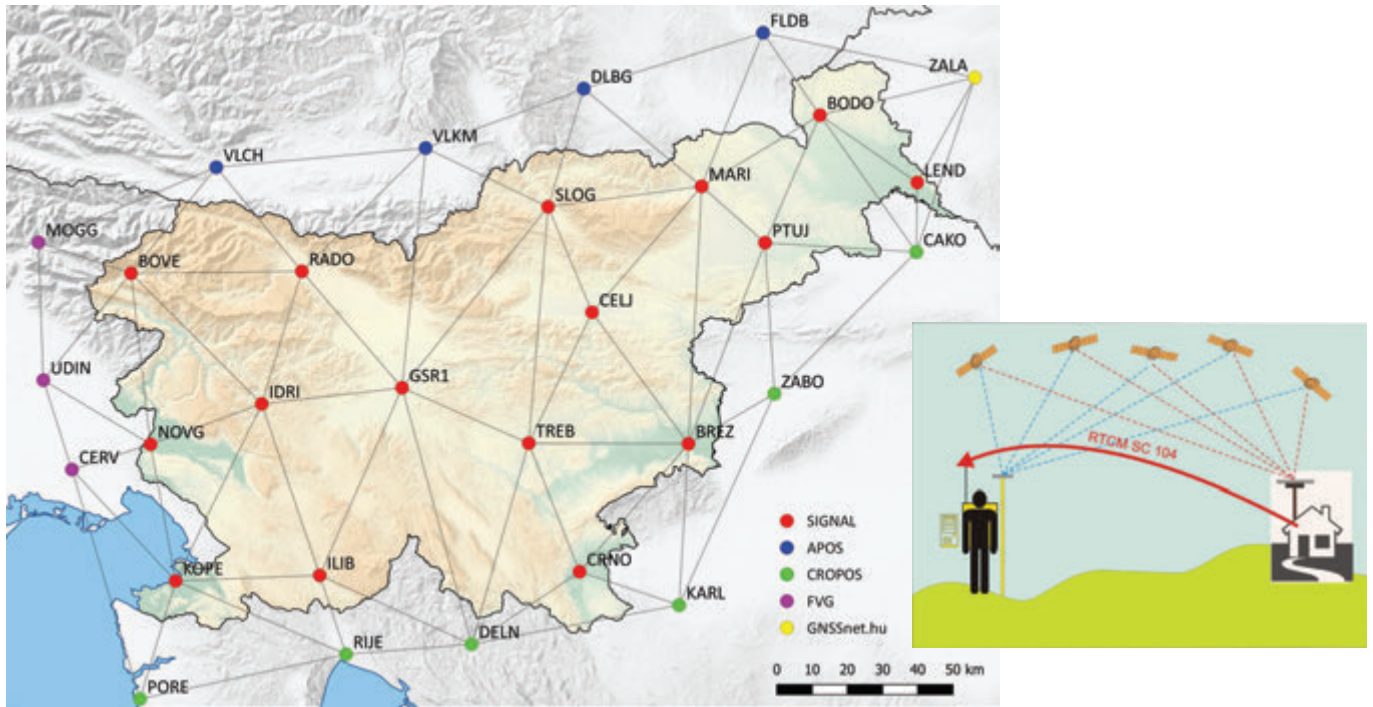
Kaj pa, če so koordinate  
nepravilne?

## Storitve omrežij postaj GNSS

SRK'24

10



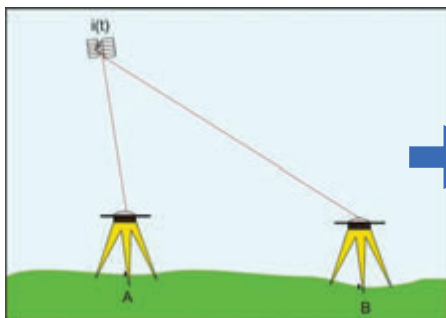


# Kako poteka obdelava opazovanj?

Vplive odstranimo z: - boljšimi podatki (npr. efemeride), - modeli, - s posebnimi tehnikami obdelave oz. izmere

## Relativno določanje položaja in fazne razlike

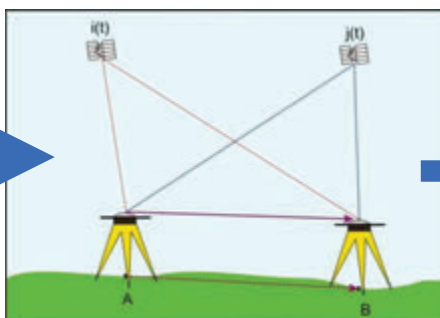
### Enojna fazna razlika



$$\Delta(\cdot) \equiv (\cdot)_B - (\cdot)_A$$

Odpravimo pogrešek ure satelita.

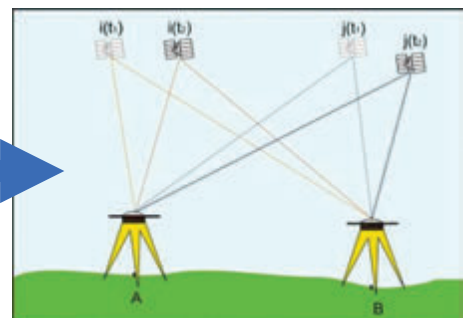
### Dvojna fazna razlika



$$\Delta \nabla(\cdot) \equiv \Delta(\cdot)^i - \Delta(\cdot)^j$$

Odpravimo pogrešek ure satelitov in sprejemnikov, pogrešek tirnice, atmosfere (troposfere).

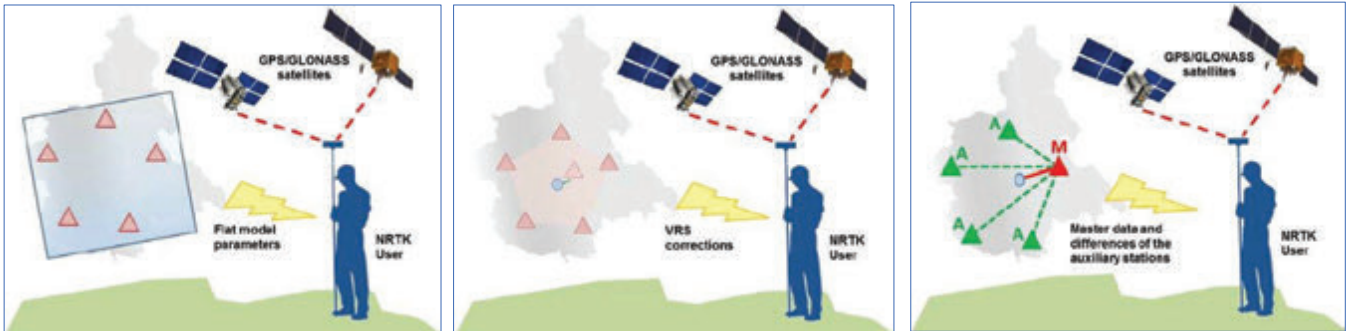
### Trojna fazna razlika



$$\Delta \nabla(\cdot)_{t2} - \Delta \nabla(\cdot)_{t1}$$

Odpravimo pogreške vseh ur in v enačbah ni več fazne neznanke.

# Produkti omrežij postaj GNSS



**FKP (nem. Flächen Korrekturen parameter)**    **VRS (ang. Virtual Reference Station)**    **MAC (ang. Master & Auxiliary Concept)**

Stalne postaje omrežja SIGNAL delujejo neprekinjeno in vseskozi zagotavljajo produkte za:

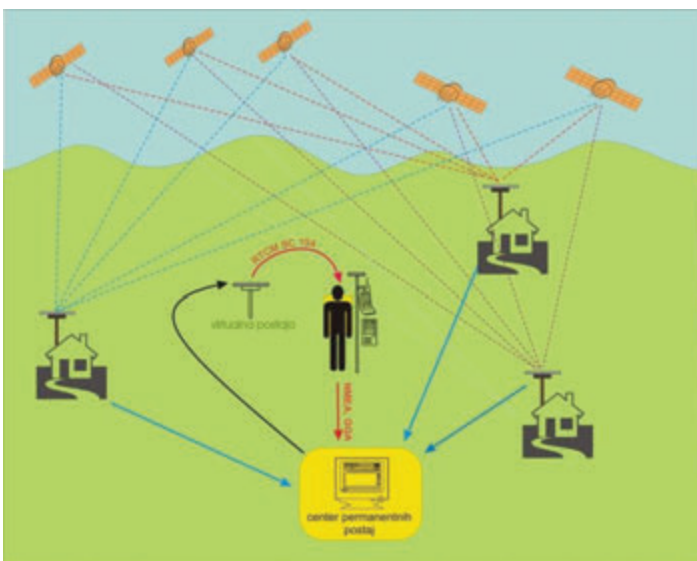
- a) geodetsko izmero
- b) ocenjujejo stanje troposfere → meteorologija
- c) ocenjujejo geodinamiko (geologijo)

Motnje signalov GNSS vplivajo na kakovost storitev.

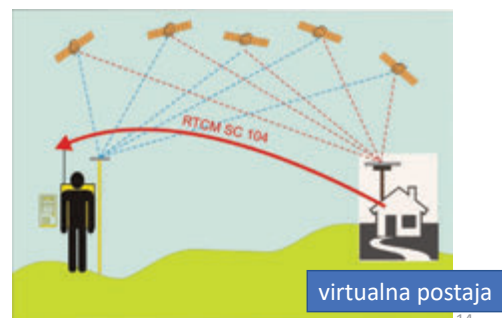
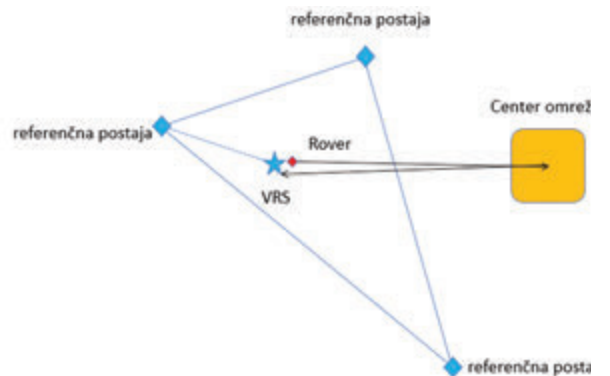
SRK 2024

13

# Omrežje in virtualna stojišča



SRK 2024



14



## Omrežje stalnih postaj – formati RTCM in mrežni koncepti

### RTK dostopne točke in številke

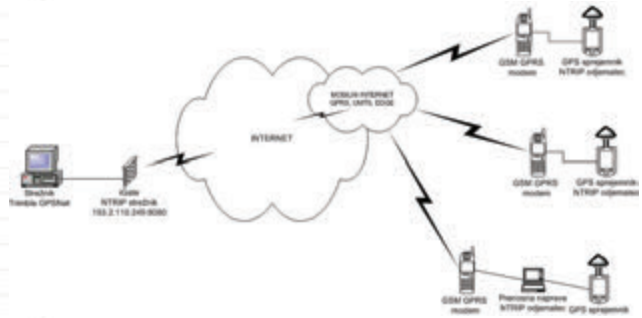
RTK dostopne točke in številke v spodnji razpredelnici je seznam dostopnih točk za NTRIP dostop. GSM številke za ključni dostop so objavljene na dnu strani.

Storitve	Format podatkov	Dostopna točka (NTRIP dostop)	Satelitski sistem
<b>Storitve VRS - navidezna referenčna postaja</b>			
VRS Slovenija (2.0)	RTCM 2.3 (18/19)	VRSLOC_0	GPS+GLD
VRS Slovenija (3.0)	RTCM 3.1 (1004/1012)	VRSLOC_1	GPS+GLD
VRS Slovenija MSMS	RTCM 3.2 MSMS	VRSMSMS	GPS+GLD+GAL
Mac Slovenija (3.0)	RTCM3Net (1004/1012)	MacSLOC_1	GPS+GLD
VRS Slovenija (CMRx)	CMRx	VRSMRx	GPS+GLD+GAL
VRS Slovenija (CMR+)	CMR+	VRSMRp	GPS+GLD
<b>Storitve navezava na slovensko GNSS postajo (za RTK metodo izmere)</b>			
Bodonci (2.0)	RTCM 2.3 (18/19)	BODOD_0	GPS+GLD
Bodonci (3.0)	RTCM 3.1 (1004/1012)	BODOD_1	GPS+GLD
Bodonci (CMRx)	CMRx	BODO_CMx	GPS+GLD+GAL+SBAS
Bodonci (RTCM 3.2)	RTCM 3.2 MSMS	BODO_MSMS	GPS+GLD+GAL+SBAS
Bovec (2.0)	RTCM 2.3 (18/19)	BOVOD_0	GPS+GLD
Bovec (3.0)	RTCM 3.1 (1004/1012)	BOVOD_1	GPS+GLD
Bovec (CMRx)	CMRx	BOVC_CMx	GPS+GLD+GAL+BEI+SBAS

SRK 2024

### Povezava preko mobilnega interneta:

NTRIP preko vstopnih točk mobilnega operaterja  
→ **plačljivo**



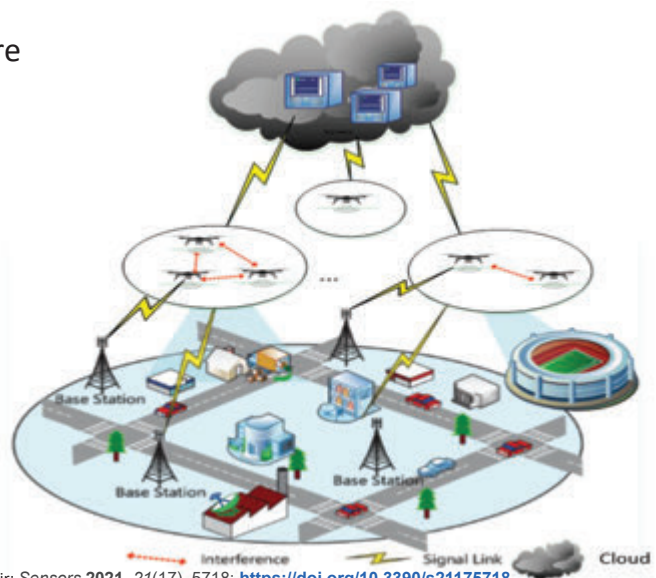
Vir: D. Radovan, VZPOSTAVLJANJE DRŽAVNEGA OMREŽJA PERMANENTNIH POSTAJ SIGNAL

## Storitve omrežij stalnih postaj GNSS

a) izmera v realnem času – RTK metoda izmere (sporočila RTCM za pretok podatkov)

a) naknadna obdelava opazovanj GNSS (arhiv: opazovanja v formatu **RINEX**)

- CRN1\_LeiGS18\_4\_083.23f
- CRN1\_LeiGS18\_4\_083.23g
- CRN1\_LeiGS18\_4\_083.23i
- CRN1\_LeiGS18\_4\_083.23n
- CRN1\_LeiGS18\_4\_083.23o



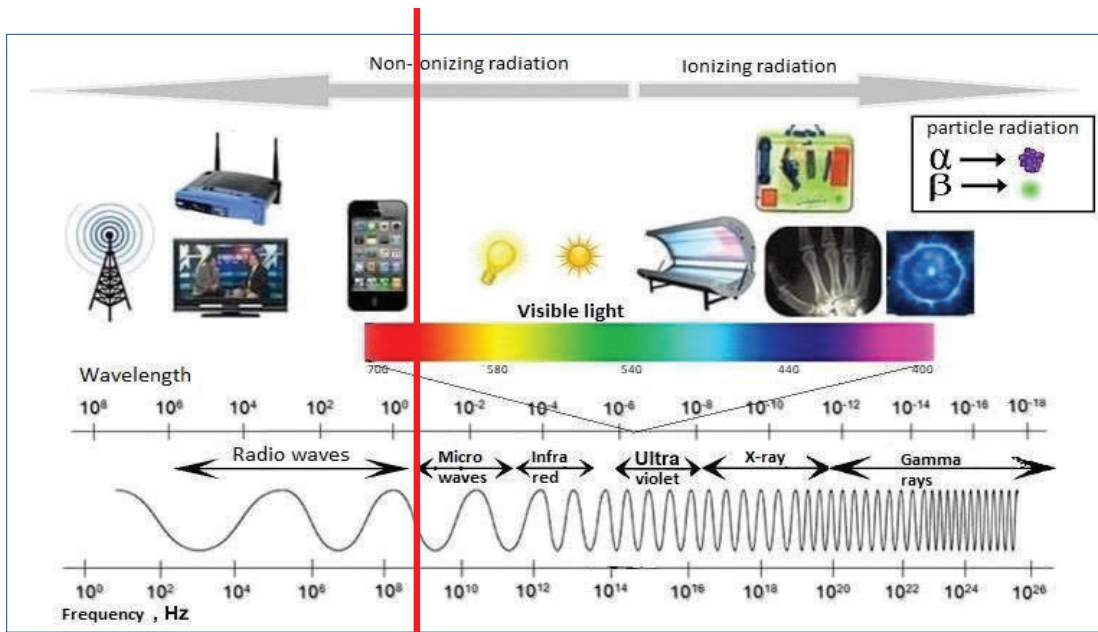
Vir: Sensors 2021, 21(17), 5718; <https://doi.org/10.3390/s21175718>

### Datoteka RINEX z opazovanji: \*.yyO

3.04 OBSERVATION DATA		NO MIXED	RINEX VERSION / TYPE																
Satellite Inifinity 3.4.0		20230619 140118 UTC	PGM / RUN BY / DATE																
CNAME_L15			NAME / NAME																
CNAME_L15			NAME / NUMBER																
MODEXTIC			NAME / TYPE																
3604729		LEICA GNSS	OBSERVER / AGENCY																
		5.50	REC # / TYPE / VERS																
4942530.0071		LEIG918	ANT # / TYPE																
0.0000		4631766.5115	APPROX POSITION XYZ																
0.0000		0.0000	ANTENNA: CENTER S/E/W																
S	12	C1C L1C L1C D1C S1C C2W L2W D2W S2W C3Q L3Q D3Q S3Q	SYS / # / OBS TYPES																
M	8	C1C L1C D1C S1C C2P L2P D2P S2P	SYS / # / OBS TYPES																
E	14	C1C L1C D1C S1C C2Q L2Q D2Q S2Q C3Q L3Q D3Q S3Q	SYS / # / OBS TYPES																
C	20	C1P L1P D1P S1P C2I L2I D2I S2I C3P L3P D3P S3P C4I	SYS / # / OBS TYPES																
		L4I D4I S4I C7I L7I D7I S7I	SYS / # / OBS TYPES																
DNAME			SIGNAL STRENGTH UNIT																
1.000			INTERVAL																
2023	03	24	12	07 34.0000000 GSS	TIME OF FIRST OBS														
2023	03	24	14	09 42.0000000 GSS	TIME OF LAST OBS														
0			SCV CLOCK OFFS APPL																
C	L1C		SYS / PHASE SHIFT																
M	L2W		SYS / PHASE SHIFT																
M	L3C	-0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
M	L1C		SYS / PHASE SHIFT																
M	L2P	0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
M	L3C	0.50000	SYS / PHASE SHIFT																
M	L5Q	-0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
M	L7Q	-0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
M	L5Q	-0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
C	L1P	0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
C	L2I		SYS / PHASE SHIFT																
C	L5P	0.25000	SYS / PHASE SHIFT																
C	L6I		SYS / PHASE SHIFT																
C	L7I		SYS / PHASE SHIFT																
24	R01	1	R02	-4	R03	5	R04	6	R05	1	R06	-4	R07	5	R08	6	GLONASS SLOT / FREQ #		
	R09	-2	R10	-7	R11	0	R12	-1	R13	-2	R14	-7	R15	0	R16	-1	GLONASS SLOT / FREQ #		
	R17	4	R18	-3	R19	3	R20	2	R21	4	R22	-3	R23	3	R24	2	GLONASS SLOT / FREQ #		
C1C		+71.940	C1P	-71.940	C2C	+71.940	C2P	-71.940	GLONASS CODE/PRN #										
18																			
END OF HEADER																			
# 2023 03 24 12 07 34.0000000 0 31																			
R02	21154619.050	111148267.57618	1049.281	52.300	21154614.500	84624614.55018	817.423	50.150											
R08	24379944.500	128117479.57417	2453.253	42.900	24379940.700	99831814.11117	1911.438	42.800											
G11	23831272.540	123234179.91817	-2874.579	44.600	23831273.000	97585077.32317	-2239.534	42.300	23831276.220	93519043.89418	-2146.639								
G12	23379490.760	122560859.60618	-3096.245	47.700	23379490.900	95735104.10618	-2412.662	47.700											
R18	23363398.840	122779279.99417	3623.562	45.000	23363360.900	95689058.92617	2823.175	42.900	23363365.140	91682861.71518	2705.389								
R20	23941394.960	123512926.97417	822.570	44.000	23941394.940	90033965.76016	649.758	40.100											
G15	20820357.480	109411716.22218	-1975.218	52.300	20820358.820	88235887.18418	-1639.132	52.250	20820358.400	81703557.48219	-1475.114								
G26	23105760.140	121421569.24317	3062.540	42.400	23105762.160	94614237.17317	2364.396	41.800	23105761.380	90671970.31518	2287.029								
G28	21006477.240	110389782.08218	-377.469	49.050	21006476.180	86018008.60618	-294.132	48.900	21006479.800	82432936.69219	-282.045								
G29	20399558.300	107200401.44518	-392.038	52.950	20399558.820	83532774.56718	-305.494	53.050											

C/No

### 0 signalih GNSS

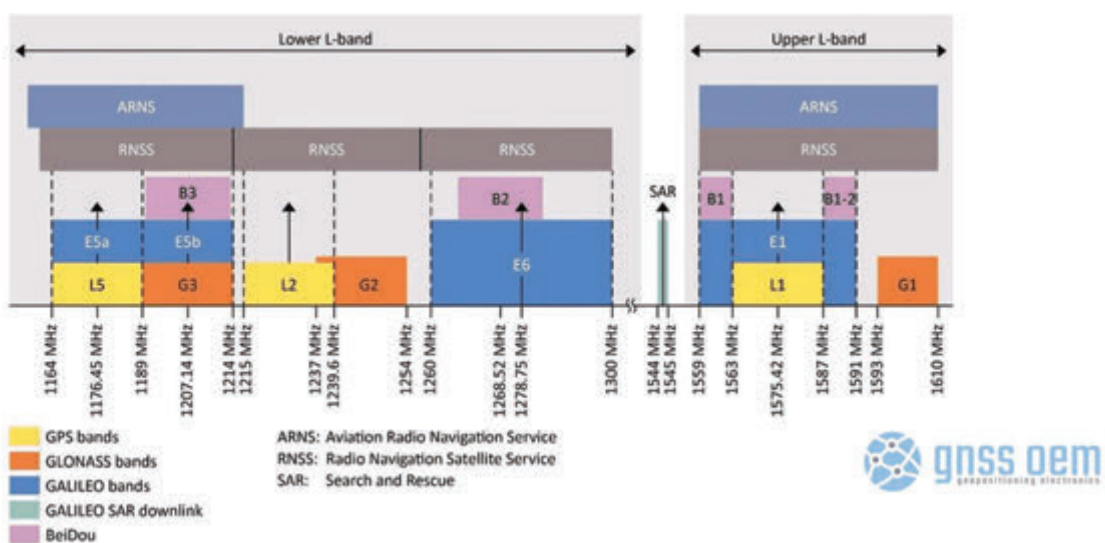


Vir: <https://www.uib.no/en/hms-portalen/75292/electromagnetic-spectrum>

SRK 2024

19

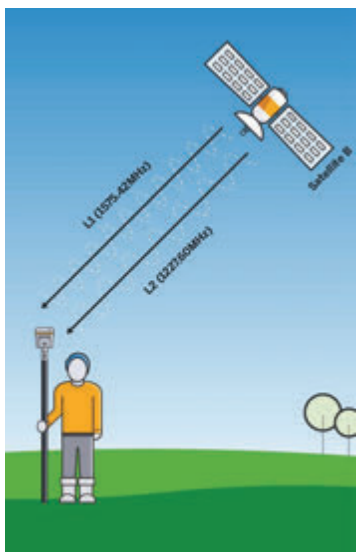
## Frekvenčni spekter GNSS: od 1,1 GHz do 1,6 GHz



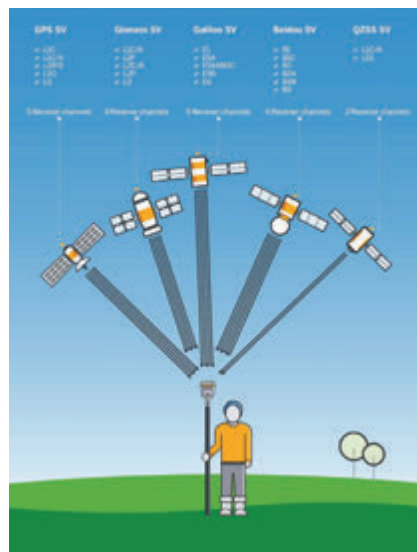
Vir: <https://gnss.store/blog/post/l1-l2-l5-l3-and-simply-l-frequency-bands.html>

20

# Razvoj tehnologije GNSS (nove konstelacije, novi signali)



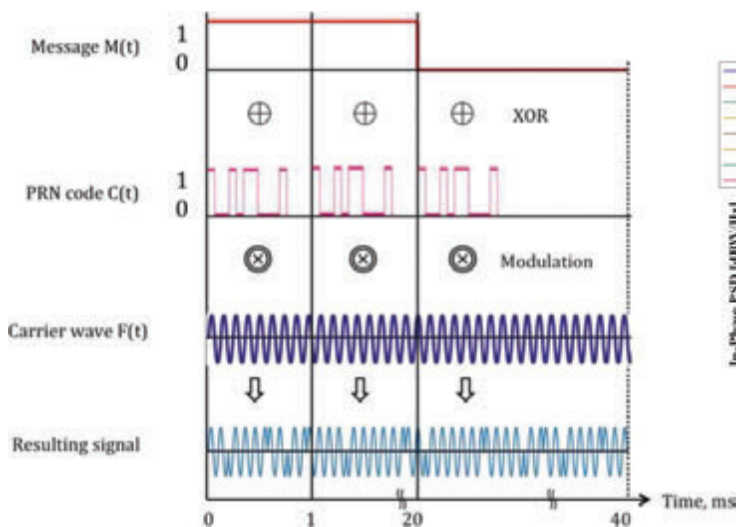
Na začetku: dve frekvenci...



Danes pa...

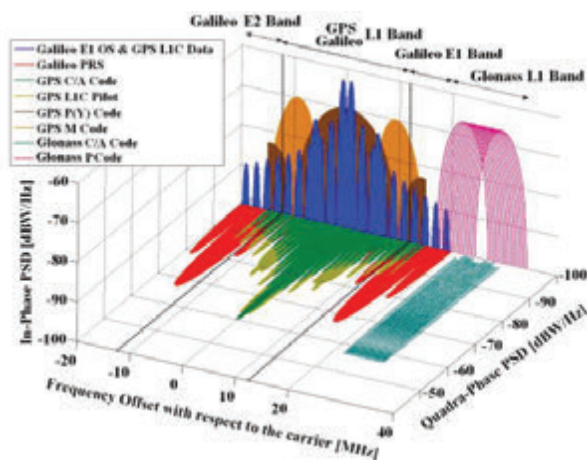
<https://geospatial.trimble.com/en/resources/land-surveying/gnss-receiver-channels-and-satellite-tracking>

# Signali GNSS, fazna modulacija



Vir: <https://www.intechopen.com/chapters/59608>

SRK 2024



Gostota spektra moči za signale GNSS (angl. Power Spectra Density – PSD)

# Zaznavanje motenj z geodetskimi sprejemniki GNSS

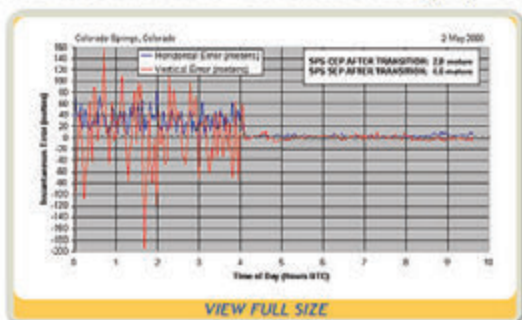
SRK 2024

23

## Prva motnja signalov GPS (SA)

### Data From the First Week Without Selective Availability

#### GPS Fluctuations Over Time on May 2, 2000



Source: GPS Support Center, Air Force Space Command

Prva znana motnja je bila vključena v GPS: omejena dostopnost (ang. Selective Availability)

**D-dan za navigacijo  
GNSS – ukinitve motnje SA:  
1. maj 2000**

SRK 2024

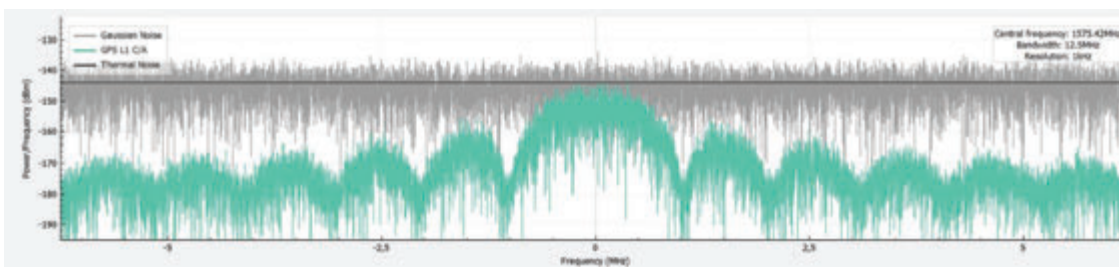
24



## Izguba moči signalov GNSS tekem razširjanja



**Termični šum (Johnsonov-Nyquistov šum):**  $T = 290^{\circ}\text{K} \rightarrow N_0 = -174 \text{ dBm}$



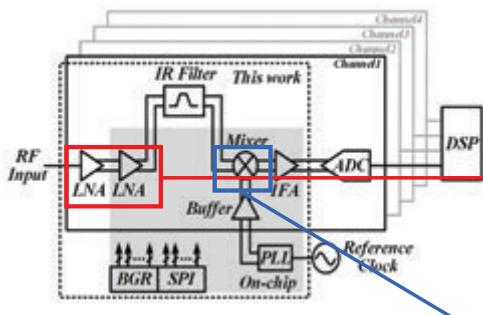
<https://safran-navigation-timing.com/document/measuring-a-gnss-signal-and-gaussian-noise-power/>

SRK 2024

25

## Kaj se dogaja v anteni?

Ojačevalnik (LNA) ojača signale za **20 do 35 dBHz**, da jih poveča na raven, primerno za obdelavo.



$$SNR_{izhod} = \frac{\text{ojačitev} \times \text{moč signala}}{\text{ojačitev} \times \text{moč šuma}}$$

$$SNR_{vhod} = \frac{\text{moč signala}}{\text{moč šuma}}$$

Imamo dva signala (sprejeti in v sprejemniku generirani):

$$y_1 = A_1 \cos(f_1 t) \quad \text{in} \quad y_2 = A_2 \cos(f_2 t),$$

ki ju zmnožimo, da dobimo:

$$y = y_1 \cdot y_2 = A_1 \cos(f_1 t) \cdot A_2 \cos(f_2 t) = \frac{A_1 A_2}{2} [\cos((f_1 - f_2)t) + \cos((f_1 + f_2)t)]$$

Računsko pridobimo valovanje, ki je sestavljeno iz:

- a) nizko-frekvenčnega dela  $\rightarrow$  gre v nadaljnjo obdelavo
- b) visoko-frekvenčnega dela  $\rightarrow$  se ga odstrani.

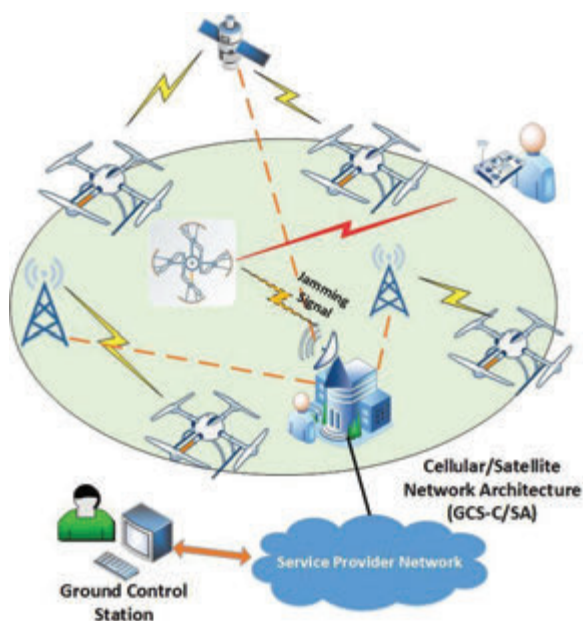
26



## Namerno motenje signalov GNSS...

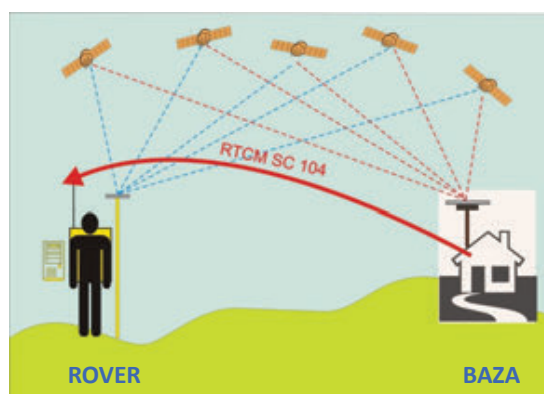
SRK 2024

27



### Lokacija motenj

- a) stalna postaja (ali več) omrežja – BAZA
- b) mobilna enota (ROVER)



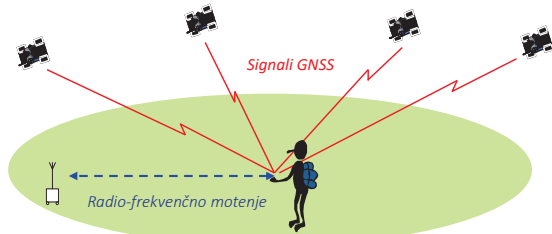
Vir: [IEEE Wireless Communications](https://doi.org/10.1109/MWC.2018.1700152) 25(2), DOI:10.1109/MWC.2018.1700152

SRK 2024

28

# Motenje signalov GNSS

Sprejeti signali GNSS so zelo šibki (ca.  $-130$  dBm):



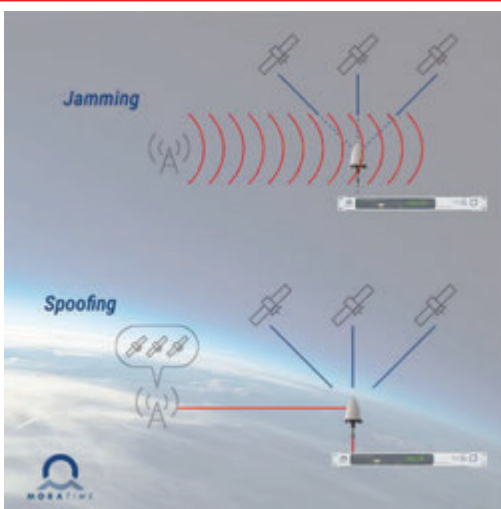
zato so signali zelo občutljivi na namerno motenje

Motenje (Radio Frequency Interference - RFI)			
nenamerno		namerno	
širokopasovna modulacija	- TV sprejemnik - mikrovalovne pečice	širokopasovno Gaussovo	Namerni motilniki šuma
širokopasovni pulz	- radarji	širokopasovno razpršeni spekter	Namerni motilniki in psevdoliti
		Ozkopasovno kontinuirano valovanje (Narrowband continuous wave)	Namerni SW motilniki

SRK 2024

29

# Namerno motenje signalov GNSS



Vir: <https://www.mobatime.com/article/jamming/>

**prekinjanje/onemogočanje sprejema signalov (ang. jamming)**  
„motnja z belim šumom“

Učinki:

- izguba na točnosti določitve položaja
- loss of GNSS positioning/timing



**potvarjanje signalov (ang. spoofing)**  
„bolj napredna oblika motenj“

Učinek:

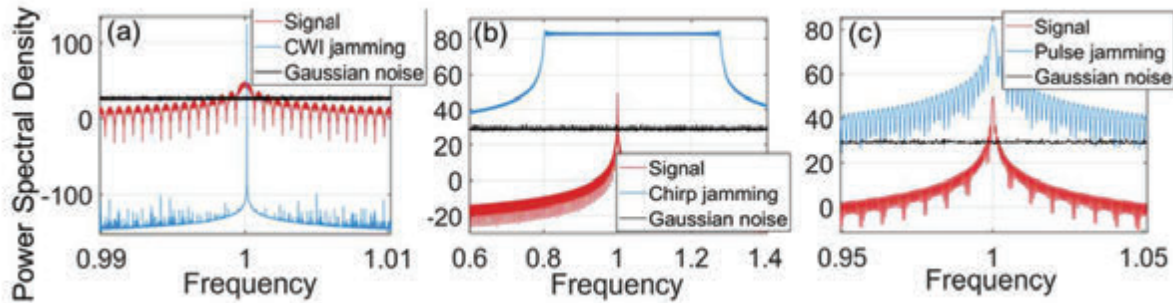
- vodenje uporabnika na napačen položaj
- nepravilno določen čas



Vir: <https://www.ohb-digital.at>

30

# Vrste motenj signalov GNSS



Motnje s kontinuiranim motilnim signalom (ang. Continuous Wave Interference – CWI)

Motnje s preletnim signalom (ang. Chirp jamming)

Motnje s pulznim signalom (ang. Pulse jamming)

Vir: Machine learning-based approach to GPS anti-jamming, GPS Solutions, julij 2021, DOI: 10.1007/s10291-021-01154-7

SRK 2024

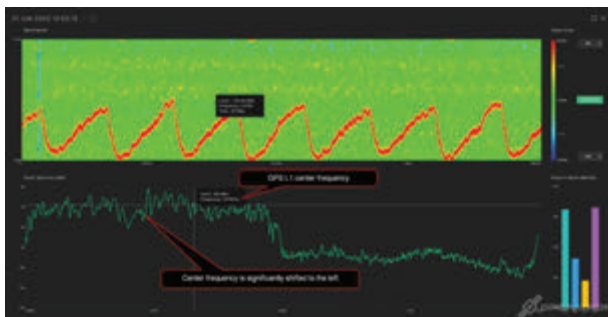
31

# Motilniki signalov GNSS

Motnje močno poslabšajo delovanje GNSS v smislu natančnosti, celovitosti in razpoložljivosti določitve položaja, hitrosti in časa.

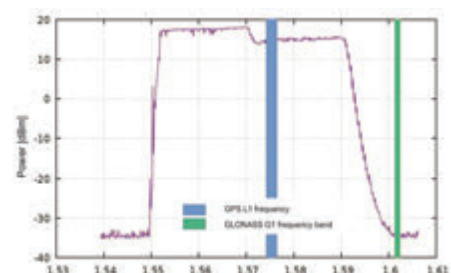
**Lastnosti motenj (preletni signal):**

- skorajda konstantna amplituda
- skoraj periodična frekvenca
- delovanje na enofrekvenčni ali večfrekvenčni ravni



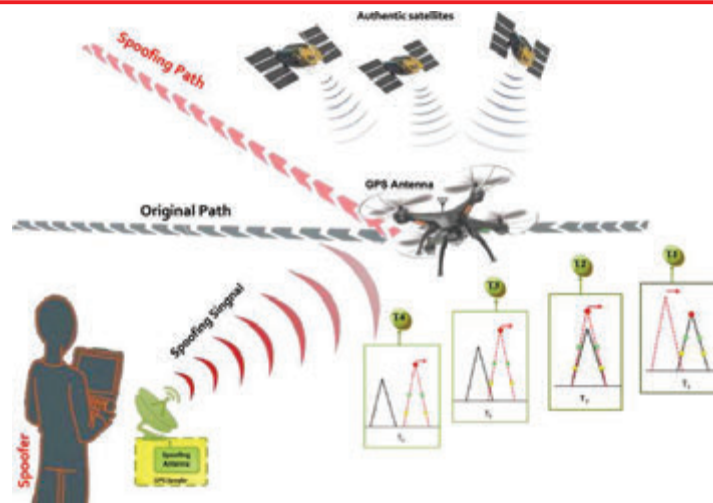
Vir: gpspatron.com

SRK 2024



32

# GNSS izkrivljanje/potvarjanje signala (ang. spoofing)

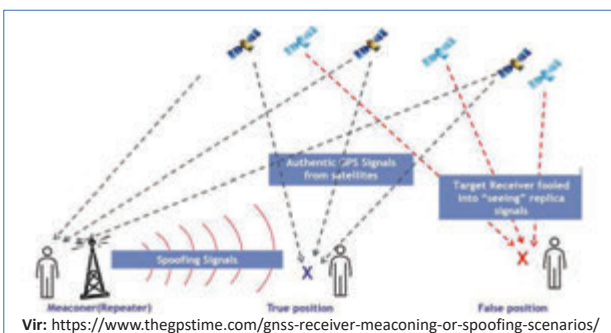


Source: Shafiee, E & Mosavi, M. & Moazedi, Maryam & Shafiee, Ebrahim. (2021). A Modified Imperialist Competitive Algorithm for Spoofing Attack Detection in Single-Frequency GPS Receivers. Wireless Personal Communications. 119. 10.1007/s11277-021-08244-2.

SRK 2024

33

# Poročanja o namernih motnjah signalov GNSS



**Critical infrastructure must not depend on GNSS timing**

Recent events have reminded us of the vulnerability of GNSS systems and related positioning, navigation and timing services. Time to look at the risk this creates for the business continuity of critical infrastructure.

Ulrich Haber  
March 05, 2022

**PNT resiliency takes on greater urgency**

How great is the risk posed by PNT vulnerabilities and what action should you be taking?

Arthur Cole  
June 16, 2022

**The future of smart grid networking**

How is new innovation helping utility network operators keep pace with quickly changing energy markets?

Ulrich Haber  
June 15, 2022

**Talking sync strategies for smart grids**

How can utility networks achieve the assured PNT services they need to stay operational and online? Time to consider the future of ...

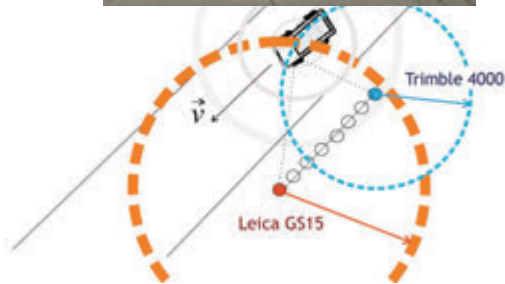
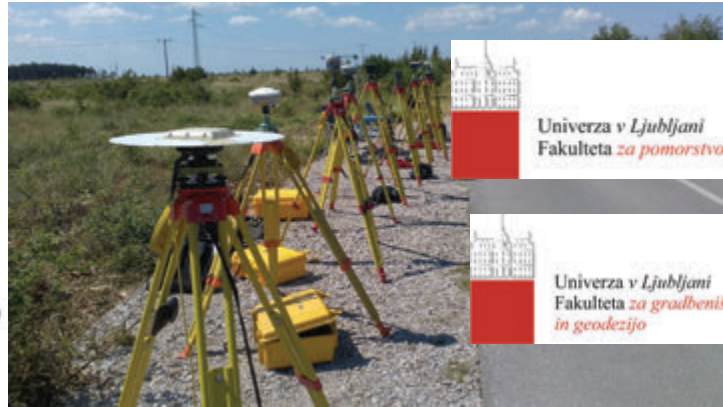
Ulrich Haber  
March 11, 2022

SRK 2024

34



# Praktični preizkus odziva geodetskih sprejemnikov na motilnike



Preizkus odobren od Agencije za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije.

SRK 2024

35

## L1/E1 motilnik s preletnim signalom: Odziv novjših sprejemnikov Leica GS15 and Leica GS18T

Frequency	Signal Strength	Quality
1575.42	100	100
1575.44	100	100
1575.46	100	100
1575.48	100	100
1575.50	100	100
1575.52	100	100
1575.54	100	100
1575.56	100	100
1575.58	100	100
1575.60	100	100
1575.62	100	100
1575.64	100	100
1575.66	100	100
1575.68	100	100
1575.70	100	100
1575.72	100	100
1575.74	100	100
1575.76	100	100
1575.78	100	100
1575.80	100	100
1575.82	100	100
1575.84	100	100
1575.86	100	100
1575.88	100	100
1575.90	100	100
1575.92	100	100
1575.94	100	100
1575.96	100	100
1575.98	100	100
1576.00	100	100



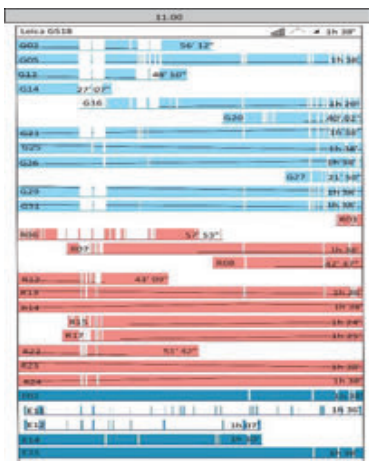
Frequency	Signal Strength	Quality
1575.42	100	100
1575.44	100	100
1575.46	100	100
1575.48	100	100
1575.50	100	100
1575.52	100	100
1575.54	100	100
1575.56	100	100
1575.58	100	100
1575.60	100	100
1575.62	100	100
1575.64	100	100
1575.66	100	100
1575.68	100	100
1575.70	100	100
1575.72	100	100
1575.74	100	100
1575.76	100	100
1575.78	100	100
1575.80	100	100
1575.82	100	100
1575.84	100	100
1575.86	100	100
1575.88	100	100
1575.90	100	100
1575.92	100	100
1575.94	100	100
1575.96	100	100
1575.98	100	100
1576.00	100	100

SRK'24

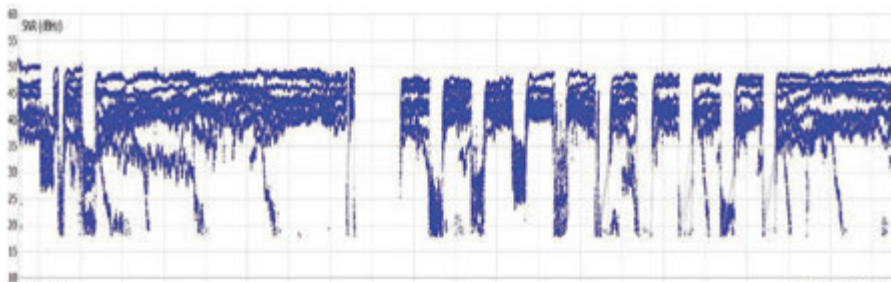
36

# Spremljanje motenj z geodetskimi sprejemniki GNSS (omrežje)

## 1. Vsi sprejemniki: prekinitve sprejema signala



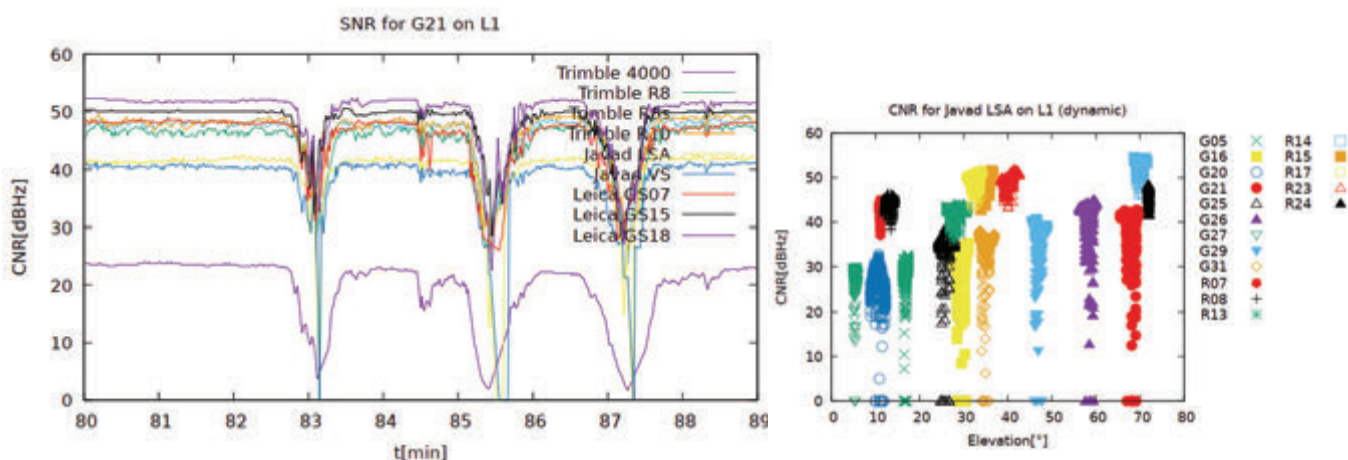
## 2. Vsi geodetski in nekateri nizko-cenovni sprejemniki (RINEX datoteke ali NMEA 0183 izhod): razmerje med signalom in šumom (ang. carrier-to noise ratio)



SRK 2024

37

## Odziv sprejemnikov na motnje – znižanje C/N<sub>0</sub>



Ocenjena vrednost C/N<sub>0</sub> lahko razkrije prisotnost motečih signalov. Zelo priporočljivo je preveriti, ali na meritve C/N<sub>0</sub> vplivajo korelirane spremembe.

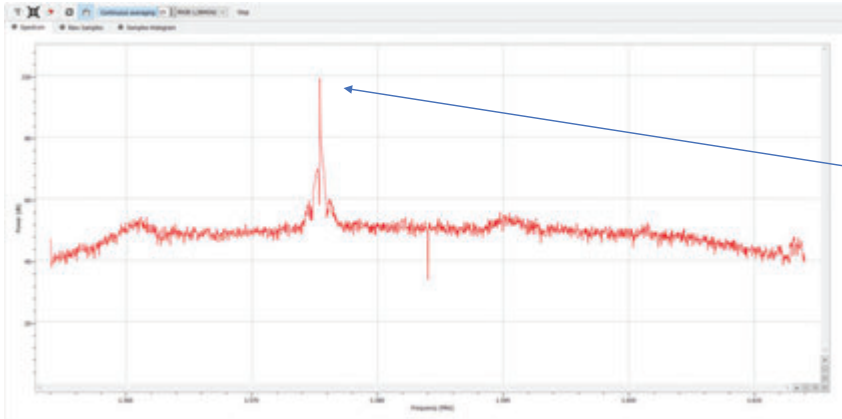
SRK 2024

38



# Spremljanje motenj z nekaterimi geodetskimi sprejemniki

**Ne-satelitski signali (iz motilne naprave) so vidni tudi v radio-frekvenčnem spektru.**



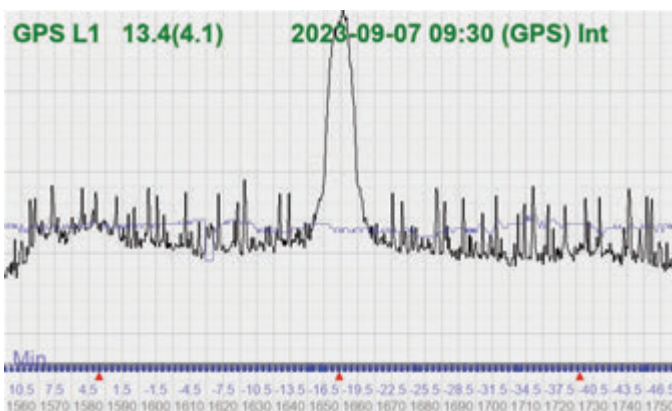
Nizka moč signalov GPS pomeni, da jih je komaj mogoče razbrati iz ozadja toplotnega šuma.

Da bi motili sprejemnik, se signali SDR prenašajo z veliko večjo močjo, tako da so jasno vidni nad ozadjem.

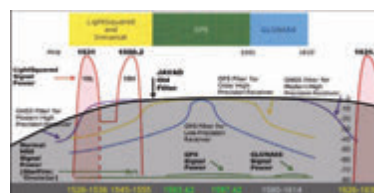
SRK 2024

39

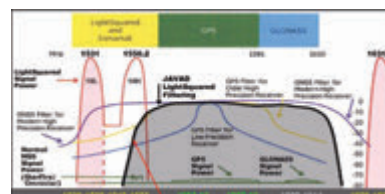
# Možnost spremljanja motenj z nekaterimi geodetskimi sprejemniki – Javad Triumph LSA



Spekter opazovan v trenutku močne motnje: GPS na L1



stari filter



novi filter

Vir: [www.pnt.gov/advisory/2011/11/#LS-panel](http://www.pnt.gov/advisory/2011/11/#LS-panel)

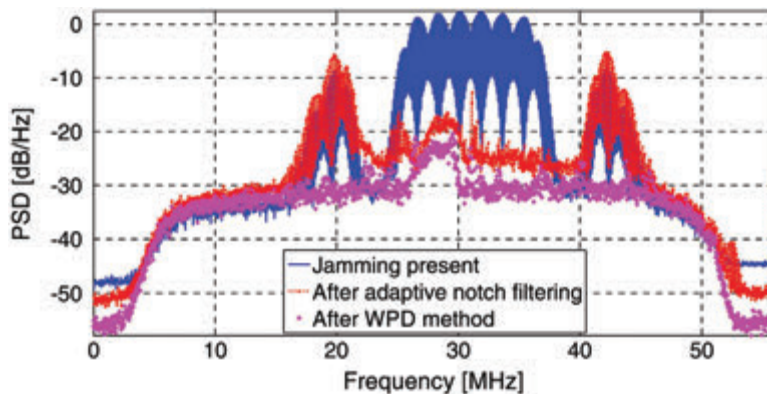
SRK 2024

40

# Prilagodljivi filter z zarezi (Adaptive notch filter)

Prilagodljivi filter z zarezi zmanjšuje vpliv nenehnega valovanja in ozkopasovnih motenj na delovanje sprejemnika, in sicer s stalnim spremljanjem vhodnih signalov glede na prisotnost motilnika.

Vsakič, ko je tak motilnik identificiran, se ozek digitalni filter (utorov filter) uskladi z motilnim signalom, tako da se specifični signal iz motilnika omili ali zatre.



WPD = Wavelet Packet Decomposition

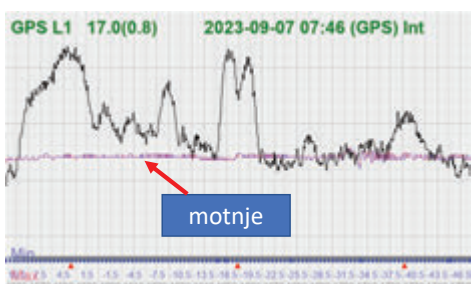
Vir: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/navi.167>

# Samodejni nadzor ojačitve (AGC)



Poleg spektra je mogoče beležiti tudi samodejni nadzor ojačitve (ang. Automatic Gain Control), ki je še en kazalnik zunanjih signalov.

AGC spremlja okolje in prilagaja ojačenje, da ohranja napetost na določeni ravni.

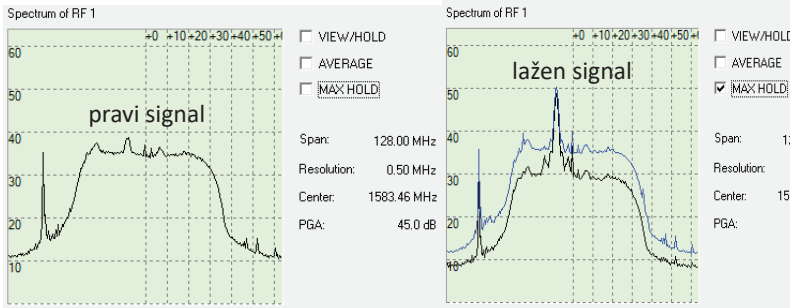


Sprememba v AGC je kazalnik obstoja motenj.

Ozka oranžna črta na sredini pasu na tej zaslonski sliki kaže na miren AGC.

AGC na tej zaslonski sliki kaže, da v tem pasu obstajajo dejavnosti, ki jih je naš AGC uspel obvarovati pred njimi. Mogoče bi lahko šlo za harmonike mobilnega telefona GSM v bližini naše lokacije. AGC popolnoma ublaži učinek takšnih motenj.

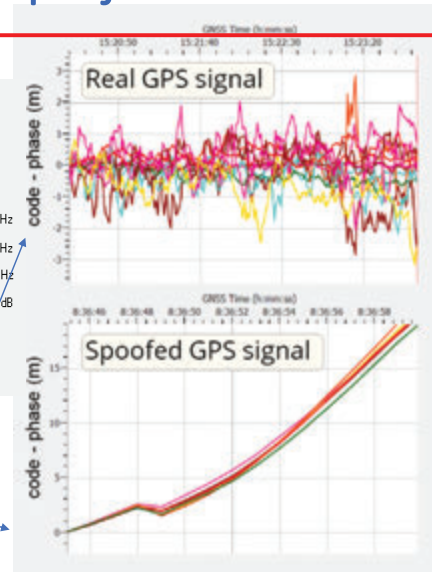
# Spektralna analiza z nizkocenovnimi sprejemniki GNSS



Spekter uBlox F9P pred in med motnjami

**Dodatna možnost zaznave namernih motenj z geodetskimi sprejemniki brez spektralne analize: razlika kode in faze (uporaba RINEX-a)**

SRK 2024



Vir: <https://www.septentrio.com/en/learn-more/insights/spoofing-your-gps-attack-proof>

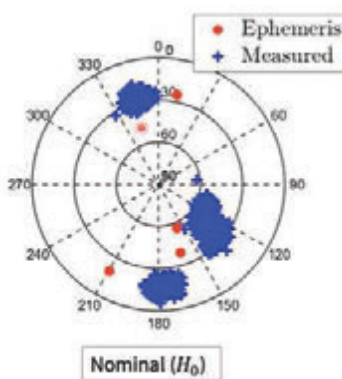
43

## Detekcija lažnih signalov

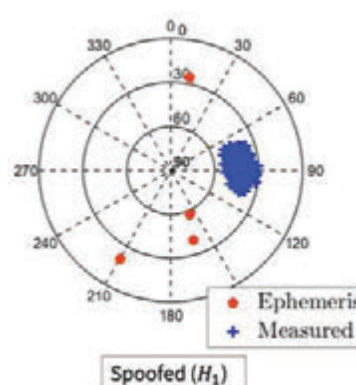
### PODTAKNJENO NAVIGACIJSKO SPOROČILO

Obstaja pristop k odkrivanju podtahnjenega navigacijskega sporočila GNSS.

Algoritmi temeljijo na formulaciji preprostega testa hipoteze: razporeditev satelitov mora biti približno enaka predvideni konstelaciji iz almanaha.



SRK 2024



44

## Naknadno ugotovljane napadov na GNSS

### Nenavadna oblika opazovanj v datotekah RINEX

- nejasen/netočno navigacijsko sporočilo in datoteka z opazovanji (OBS)

PR	SE	SO	SI	SM	ST	SR	SP	SN	SS	ST	SR	SP	SN	SS
421010.000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>(The table contains multiple rows of numerical data representing observation parameters, with some rows highlighted in red in the original image.)</i>														

### Znaki, da imamo lažna opazovanja v „OBS“

1. Zelo visoka vrednost C/N0 (50,0 dBHz ali več)
2. Enaka Dopplerjeva opazovanja (nemogoče za dva satelita).
3. Dodatna opazovanja satelitov, ki jih ne moremo videti na obzorju oz. so na napačnem azimutu/elevaciji.

SRK 2024

45

Delo je bilo opravljeno v okviru raziskav raziskovalnega projekta **V2-2342: Care4SIGNAL: Ocena tveganja motenj signalov GNSS v slovenskem državnem omrežju stalnih postaj SIGNAL**, ki je bil izveden v okviru Ciljnega raziskovalnega programa CRP 2023 ter sta ga sofinancirali Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije in Geodetska uprava Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Raziskovalno delo je deloma nastalo tudi v okviru programske skupine P2-022: Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije.

SRK 2024

46

# Standardizacija brezžičnih tehnologij IoT

## *Standardization of wireless IoT technologies*

**Drago Majcen**

Slovenski inštitut za standardizacijo, TC MOC

[drago.majcen@gmail.com](mailto:drago.majcen@gmail.com)

### **Povzetek**

Na osnovi podatkov proizvajalcev TK opreme moramo verjeti, da je po vsem svetu, v današnja Wi-Fi omrežja, povezano že več kot osem milijard naprav - približno najmanj ena na vsakega prebivalca na planetu. Ko gledamo v prihodnost stalne povezljivosti, vidimo, da so naprave IoT temeljni komunikacijski segment v službi in doma. Teh tehnologij, je kar nekaj, zato jih je možno razporediti po porabi energije, glede na namembnost uporabe, po dometu signalov, po obsegu prenosa podatkov, po delovanju v frekvenčnem področju in še. Lahko jih razporedimo tudi po organizacijah, ki so pripravile standardizacijske dokumente. Na primer: pri 3GPP so pripravili standarde za naslednje tehnologije: LTE-M, LTE CAT M-1, LTE NB, EC GSM in NarrowBand-IoT. Združenje LoRa Alliance, EnOcean Alliance in drugi pa so sodelovali pri standardizaciji naslednjih tehnologij: LoRa, LoRaWAN, SigFox, LpWAN, Wi-Fi Halow, Wi-Fi SUN, WiMAX, BLE5, ZigBee, ZigBeeNAN, RFID, Z-Wave, Neightless, WirelessHART, MIOTY, DASH7, CSR mesh, EnoOcean, Ingenu RPMA in najbrž sem pozabil še kakšno. Na kratko jih bom skušal predstaviti čim več. V kolikor bo dopuščal čas bom naredil primerjavo med njimi. Na koncu bom predstavil katera tehnologija je

najprimernejša pri merilnikih porabe energije, ogrevanja, vode in plina.

### **Abstract**

*Based on data from TK equipment manufacturers, we have to believe that more than eight billion devices are already connected to today's Wi-Fi networks worldwide - approximately at least one for every inhabitant on the planet. As we look to the future of constant connectivity, we see IoT devices as a fundamental communication segment at work and at home. There are quite a few of these technologies, so it is possible to arrange them according to energy consumption, depending on the purpose of use, according to the range of signals, according to the extent of data transmission, according to operation in the frequency range, and more. They can also be arranged by organizations that have prepared standardization documents. For example: 3GPP has prepared standards for the following technologies: LTE-M, LTE CAT M-1, LTE NB, EC GSM and NarrowBand-IoT. The LoRa Alliance, EnOcean Alliance, and others have collaborated in the standardization of the following technologies: LoRa, LoRaWAN, SigFox, LpWAN, Wi-Fi Halow, Wi-Fi SUN, WiMAX, BLE5, ZigBee, ZigBeeNAN, RFID, Z-Wave, Neightless, WirelessHART, MIOTY, DASH7, CSR mesh, EnoOcean, Ingenu RPMA and I probably forgot some more. I will try*



*to briefly present as many of them as possible. If time permits, I will make a comparison between them. Finally, there will be presented which technology is the most suitable for energy, heating, water and gas consumption meters.*

### Biografija avtorja



**Drago Majcen** je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Po končanem študiju se je zaposlil v podjetju PTT Ljubljana, ki je bilo kasneje preoblikovano v Telekom Slovenije (TS).

Leta 1977 ustanovi in postane prvi vodja Centra za gradnjo in vzdrževanje magistralnih RR sistemov. Leta 1990 vodi gradnjo in montažo infrastrukture prvega analognega slovenskega mobilnega omrežja NMT. Leta 1995 prevzame mesto direktorja Sektorja Telekomunikacij v upravi Telekoma Slovenije. Leta 2001 je imenovan za člana Uprave TS, zadolženega za področje delovanja TK omrežja, omrežnih storitev, področja nabave in logistike, področja testiranja nove TK opreme in delovanja poslovne enote GVO. Opravljal je tudi funkcije predsednika nadzornega sveta hčerinskih družb Komcard in Impulz ter bil član nadzornega sveta Mobitela. Leta 2002 postane direktor Sektorja za nadzor, upravljanje in vzdrževanje TK omrežja TS. Leta 2004 se je zaposlil v podjetju Mobitel, kot svetovalec direktorja Tehničnega področja, kasneje pa deluje v skupini za standardizacijo in Tehnološki pisarni Področja za tehnologijo ter Službi za razvoj in raziskave Sektorja za radijska omrežja. Upokojen je od leta 2015. Kot predstavnik Telekoma Slovenije je od leta 1996 predsedoval zrcalnemu tehničnemu odboru TC RES (Radijske naprave in sistemi v telekomunikacijah). Po preoblikovanju ETSI TC RES v TC DECT in ustanovitvi SIST, pride leta 2006 do preoblikovanja TC

RES v TC MOC (Tehnični odbor za področje mobilnih komunikacij). Od takrat je bil večkrat izvoljen za predsednika tega odbora.

### Author's biography

**Drago Majcen** graduated at Faculty of Electrical Engineering in Ljubljana. After completing his studies, he got a job in PTT, a company that was later transformed into Telekom Slovenije (TS). In 1977 establishes and becomes the first head of the Construction and Maintenance Center trunk RR systems. In 1990 he leads the construction and installation infrastructure of the first analogue Slovenian mobile network NMT. In 1995 he took over the position of Director of the Telecommunications Sector in the Management Board of Telekom Slovenije. In 2001, he was appointed as a member of the TS Management Board in charge of the area of operation of the TC network, network services, procurement and logistics, testing of new TC equipment and operation of the GVO business unit. He also served as Chairman of the Supervisory Board of the subsidiaries Komcard and Impulz and was a member of the Supervisory Board of Mobitel. In 2002, he became Director of the Control, Management and Maintenance Division of the TS TC network. Since June 2004, he has been employed by Mobitel as an Advisor to the Director of the Technical Sector and later worked in the standardization team and Technology Office of the Technology Sector and the Radio Networks Research and Development Department. Drago retired in March 1, 2015. He is SIST's long-time associate. As Telekom Slovenije's representative, chairs TC RES (Radio Devices and Systems in Telecommunications), which in 2006 transformed him into TC MOC, the Technical Committee for Mobile Communications, and he has been re-elected chairman. Since then he has been re-elected president of the TC MOC several times since then.



 **SIST Standardizacija radijskih tehnologij IoT**

Drago Majcen, predsednik tehničnega odbora **SIST TC MOC**

Ljubljana, januar 2024

 **SIST Standardizacija radijskih tehnologij IoT**

**Vsebina:**

- Uvod,
- IoT, internet stvari,
- Mednarodne organizacije za standardizacijo: ITU, ISO, IEC,
- Organizacije za standardizacijo: ETSI, IEEE, 3GPP,
- Organizacije, ki so pripravile standarde za IoT tehnologije,
- Pregled radijskih tehnologij IoT,
  
- Tehnologije za komunikacije na kratke in srednje razdalje,
- Tehnologije, ki omogočajo komunikacije na dolge razdalje,
- Tehnologije, razvite v skladu z drugimi standardi ( LP WAN),
- Tehnologije, razvite v skladu s 3GPP standardi,
- 3GPP Release 13,
- 3GPP Release 14,
- Predvidevanja in plani za prihodnost,
- Zaključek



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### SRK 2019

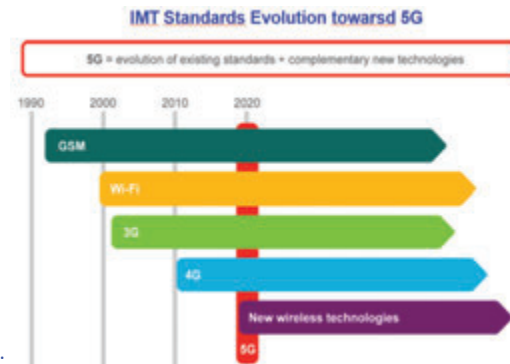
2019 sem podal prezentacijo **Procesi standardizacije na področju 5G generacije mobilne telefonije**.

Standardizacijske postopke so v 3GPP zaključili leta **2018**.

V Sloveniji smo dobili prvo 5G omrežje leta **2020**.

Standardizacija nove generacije **6G** je v začetni fazi, **3GPP** je začel delo na standardu leta **2021** in objavil prve tehnične specifikacije leta **2022**.

Na voljo, v komercialni uporabi naj bi bilo v začetku **2030-ih let**.



**7 generacija mobilne telefonije**, ki bo poznana tudi kot 7G, je še v fazi raziskav in razvoja.

**3GPP** je začel delo na standardu leta **2023**. 7G naj bi bilo na voljo v komercialni uporabi v sredini **2040-ih let**

3



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### SRK 2020

predstavil sem prezentacijo **Postopki standardizacije na področju Wi-Fi tehnologije** od začetkov v letu **1971** do leta **1999**. **V skoraj 3. desetletjih razvite 4 generacije Wi-Fi tehnologije**.

Leta **2014** je bil objavljen standard **IEEE 802.11ac**, bolj znan kot **Wi-Fi 5**,

Leta **2019** mu je sledil IEEE 802.11ax, poimenovan **Wi-Fi 6**.

Sledil IEEE 802.11ax, **Wi-Fi 6E**, ki je bil objavljen leta **2021**.

Vse omenjene standarde so pripravili v organizaciji **IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers**.

IEEE 802.11be, **Wi-Fi 7** je bil objavljen leta **2023**. **V 9. letih potrjeni 4. standardi novih generacij Wi-Fi tehnologije**.

Standardizacija **Wi-Fi 8** poteka v okviru organizacije **Wi-Fi Alliance**. Wi-Fi 8 je bil predstavljen na začetku leta 2023 in je trenutno v fazi standardizacije. Standard naj bi bil dokončan v letošnjemu letu **2024**,

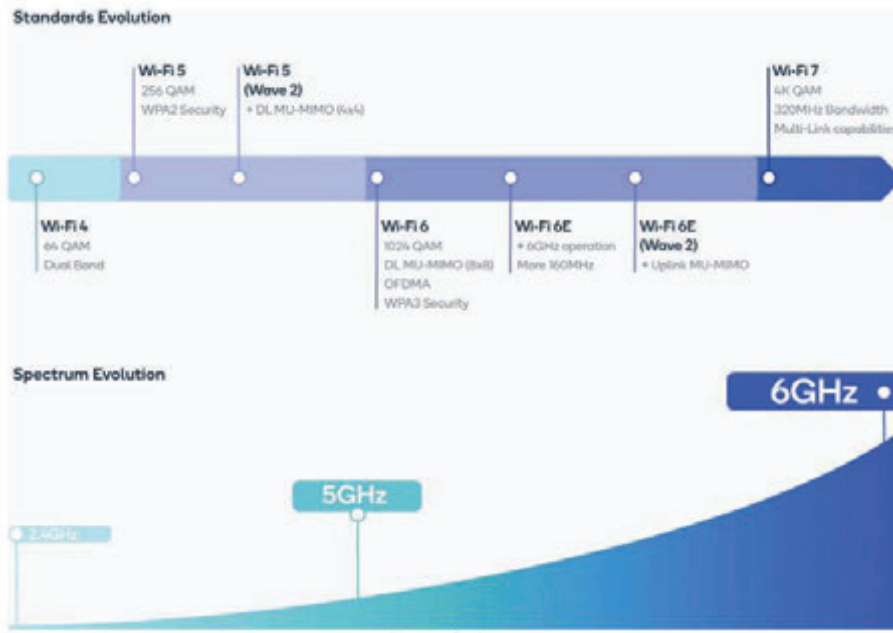
Prvi certificirani izdelki Wi-Fi 8 naj bi bili na voljo leta **2025**. Wi-Fi 8 bo uporabljen za številne nove aplikacije, vključno z: virtualno resničnostjo in obogateno resničnostjo, hibridnim delom in učenjem na daljavo ter Internetom stvari (IoT). S standardom Wi-Fi 8 bo Wi-Fi postal še hitrejši, zmogljivejši in bolj dostopen kot kdaj koli prej.



4



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT



5



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

24 tehnologij za komunikacije na kratke in srednje razdalje:

RFID, NFC, DECT/ULE, Bluetooth, BLE 4,2; 5 ( včasih WiBree), BTLE, MYIOTY, DASH7, CSR MESH, ISA 100.11a, ANT+, ZigBee, ZigBee NAN, IEEE 802.15.4e, 6LowPAN, Wireless HART, Thread, DASH7, AllJoyn, Wi-Fi Halow, Wi-Fi SUN, ISO 18 000-7, HomePlug GP,

Tehnologije, ki omogočajo komunikacije na dolge razdalje

9 tehnologij, razvitih v skladu z drugimi standardi ( LP WAN):

LoRa WAN, SigFox, Weightloss, RPMA, EnOcean, HART-IP, Z Wave, Maller, G.9959,

6 tehnologij, razvitih v skladu z 3 GPP standardi:

LTE-M , LTE CAT M-1, LTE NB, NB-IoT, EC-GSM, 5G NR-U,

6



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IOT zahteve:

tehnologije, ki omogočajo čim nižjo poraba energije,

tehnologije, ki omogočajo čim nižje stroške komunikacijskega omrežja in samih naprav,

tehnologije, ki omogočajo zahteve za čim krajšim dometom signala,

tehnologije, ki omogočajo zahteve za čim daljšim dometom signala,

tehnologije, ki omogočajo prenos različnega obsega in hitrosti prenosa podatkov,

baterije, ki omogočajo več letno delovanje naprav,

tehnologije, ki omogočajo delovanje naprav v zgradbah, zunaj zgradb, vozilih in raznih zelo težkih pogojih,

7



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Leto Tehnologija

1999 [RFID](#)  
 2003 [NFC](#)  
 2006 [DECT/ULE](#)  
 2009 [Bluetooth 4.0](#)  
 2010 [BLE 4.2](#)  
 2014 [BLE 5](#)  
 2015 [MYIOTY](#)  
 2016 [DASH7](#)  
 2017 [CSR MESH](#)  
 2017 [ISA 100.11a](#)  
 2017 [ANT+](#)  
 2018 [ZigBee 3.0](#)  
 2019 [ZigBee NAN](#)  
 2019 [IEEE 802.15.4e](#)  
 2020 [Wireless HART](#)  
 2020 [Thread](#)  
 2022 [DASH7](#)  
 2022 [AllJoyn](#)  
 2023 [Wi-Fi Halow](#)  
 2023 [Wi-Fi SUN](#)  
 2023 [ISO 18 000-7](#)

### Leto Tehnologija

2015 [LoRa WAN](#)  
 2015 [SigFox](#)  
 2018 [Weightless](#)  
 2019 [RPMA](#)  
 2008 [EnOcean](#)  
 2014 [HART-IP](#)  
 2003 [Z Wave](#)  
 2022 [Matter](#)

### Leto Tehnologija

2016 [LTE-M](#)  
 2016 [LTE CAT M-1](#)  
 2016 [LTE NB-IoT](#)  
 2017 [EC-GSM](#)  
 2020 [5G NR-U](#)

8



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Razvrstitev tehnologij po dometu signala po standardu ISO 18 000-7:

### Ultra kratki doseg (UHF):

- [RFID \(1999\)](#)
- [NFC \(2003\)](#)
- [MIIOTY \(2015\)](#)
- [DASH7 \(2016, 2022\)](#)

### Ultra kratki doseg (UHF):

Ultra kratki doseg (UHF) je doseg, ki je krajši od **10 metrov**. Tehnologije UHF se pogosto uporabljajo za identifikacijo in sledenje predmetom.

### Kratek doseg (SHF):

- [DECT/ULE \(2006\)](#)
- [Bluetooth 4.0 \(2009\)](#)
- [BLE 4.2 \(2010\)](#)
- [BLE 5 \(2014\)](#)
- [ISA 100.11a \(2017\)](#)
- [ANT+ \(2017\)](#)
- [ZigBee 3.0 \(2018\)](#)
- [ZigBee NAN \(2019\)](#)
- [IEEE 802.15.4e \(2019\)](#)
- [Wireless HART \(2020\)](#)
- [Thread \(2020\),](#)

### Kratek doseg (SHF):

Kratek doseg (SHF) je doseg, ki je daljši **od 10 metrov, vendar ne daljši od 100 metrov**. Tehnologije SHF se pogosto uporabljajo za povezovanje naprav v bližnji okolici, kot so pametni telefoni, prenosniki in naprave za domovanje.

### Dolgi doseg (VHF):

- [Wi-Fi Halow \(2023\)](#)
- [Wi-Fi SUN \(2023\)](#)

### Dolgi doseg(VHF):

Dolgi doseg (VHF) je doseg, **ki je daljši od 100 metrov**. Tehnologije VHF se pogosto uporabljajo za povezovanje naprav na daljavo, kot so senzori v industriji in naprave za pametne mestne infrastrukture.

7

9



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Domet signala	Tehnologija	Domet signala
<a href="#">LoRa WAN</a>	do 10 kilometrov	Srednji doseg (SHF):	
<a href="#">SigFox</a>	do 14 kilometrov	<a href="#">NB-LoT</a>	do 1 kilometer
<a href="#">Weightloss</a>	do 5 kilometrov	<a href="#">5G NR-U</a>	do 1 kilometer
<a href="#">RPMA</a>	do 1 kilometer	Dolgi doseg (VHF):	
<a href="#">EnOcean</a>	do 30 metrov	<a href="#">LTE-M</a>	do 10 kilometrov
<a href="#">HART-IP</a>	do 100 metrov	<a href="#">LTE CAT M-1</a>	do 10 kilometrov
<a href="#">Z-Wave</a>	do 100 metrov	<a href="#">EC-GSM</a>	do 10 kilometrov
<a href="#">Matter</a>	do 100 metrov		

10



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Razvrstitev tehnologij po porabi energije:

**Najnižja poraba energije:** [EnOcean](#), [LoRa WAN](#), [SigFox](#),

**Nižja poraba energije:** [RFID](#), [NFC](#), [MYIOTY](#), [DASH7](#), [CSR MESH](#), [ISA 100.11a](#), [ANT+](#), [ZigBee 3.0](#), [ZigBee NAN](#), [IEEE 802.15.4e](#), [HART-IP](#), [Z-Wave](#), [Matter](#),

**Višja poraba energije:** [Wireless HART](#), [Thread](#), [AllJoyn](#), [Wi-Fi Halow](#), [Wi-Fi SUN](#), [ISO 18 000-7](#), [LTE-M](#), [LTE CAT M-1](#), [EC-GSM](#), [NB-IoT](#), [5G NR-U](#),

11



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

**Internet stvari (IoT)** je mreža povezanih naprav, ki zbirajo in izmenjujejo podatke brez človeškega posega. IoT naprave so lahko zelo različne, od pametnih telefonov in tabličnih računalnikov do pametnih domačih aparatov in **senzorjev** v industrijskem okolju.

Za povezljivost IoT naprav se uporabljajo različne radijske tehnologije. Izbira ustrezne tehnologije je odvisna od številnih dejavnikov, kot so zahtevan domet, hitrost in obseg prenosa podatkov, energijska učinkovitost in stroški. Zato obstaja več možnosti, kako razvrstimo in grupiramo različne radijske tehnologije.

Nekatere najpogostejše IoT radijske tehnologije so:

**RFID, Bluetooth, BLE 4,2; 5, MYIOTY, DASH7, CSR MESH,**

**ZigBee, ZigBee NAN, Wireless HART, Thread, DASH7, AllJoyn,**

**Wi-Fi Halow, Wi-Fi SUN, ISO 18 000-7, ISA 100.11a,**

**LoRa WAN, SigFox, Weightloss, RPMA, EnOcean, HART-IP, Z Wave, Maller,**

**LTE-M , LTE CAT M-1, LTE NB, NB-IoT, EC-GSM, 5G NR-U,**

12



# SIST Standardizacija radijskih tehnologij IoT

## IoT Specificities

- **Low power,**
- **Low cost** (network and end devices),
- **Short range** (first type of technologies) or **Long range** (second type of technologies),
- **Low bit rate** (≠ broadband!),
- **Long battery** duration (years),
- Located in **any area** (deep indoor, desert, urban areas, moving vehicles ...)

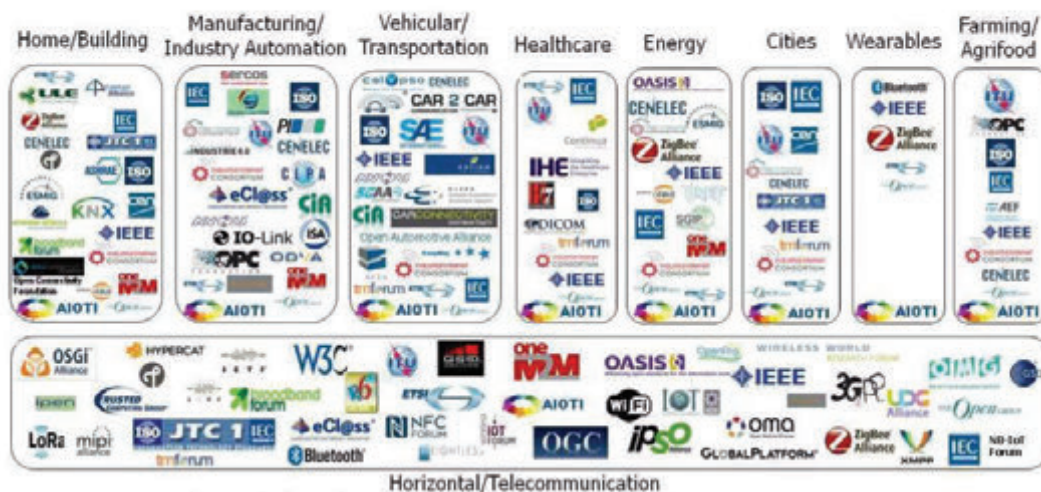
10



13

# SIST Standardizacija radijskih tehnologij IoT

## IoT SDOs and Alliances Landscape (Vertical and Horizontal Domains)



14



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Mednarodne organizacije za standardizacijo:

**ISO** - International Organization for Standardization  
(Mednarodna organizacija za standardizacijo), 1947



**IEC** - International Electrotechnical Commission  
(Mednarodna elektrotehniška komisija), 1906



**ITU** - International Telecommunication Union  
(Mednarodna zveza za telekomunikacije), 1865



**ITU – R** Sektor za standardizacijo telekomunikacij,



15



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ITU in standardizacija

Standardizacija je proces določanja in vzdrževanja tehničnih specifikacij za izdelke, storitve, procese in sisteme. Namen standardizacije je zagotoviti, da so izdelki in storitve medsebojno združljivi, varni in učinkoviti. Standardi so pomembni za razvoj gospodarstva, udobje življenja in varnost potrošnikov.

**ITU, (International Telecommunication Union)** je specializirana agencija Združenih narodov za telekomunikacije. ITU je bila ustanovljena leta **1865** in je **najstarejša mednarodna organizacija**. ITU ima 193 članice, ki predstavljajo vse države sveta.

ITU je odgovorna za mednarodno standardizacijo na področju telekomunikacij.

ITU standardi zajemajo široko paleto področij, vključno z:

Radiofrekvenčnim spektrom,

Telekomunikacijskimi sistemi in omrežji,

Telekomunikacijskimi storitvami,

Telekomunikacijskimi tehnologijami,

16



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Sektor za standardizacijo telekomunikacij (ITU-T),

kjer poteka večina dela, povezanega z internetom stvari.

Standardizacijske procese izvajajo študijske skupine (ŠS), ki jih usmerja in vodi štiriletna konferenca "World Telecommunication Standardization Assembly" oz. WTSA. Na začetku je bila standardizacija IoT- a skupna naloga za več študijskih skupin, kot so SG2, SG3, in SG17.

Pobuda (IoT-GSI) je bila ustanovljena Od leta 2011, ko je bila ustanovljena IoT-GSI, ta skrbi za uskladitev Prizadevanj standardizacije z drugimi SDO. IoT-GSI je bil razpuščen julija 2015, po ustanovitvi študijske skupine 20 (SG20). SG20 vključuje dve delovni skupini (WP):

- WP1: Internet stvari (IoT)
- WP2: Pametna mesta in skupnosti (SC&C).

17



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ISO, Mednarodna organizacija za standardizacijo,

je mednarodna organizacija, ki razvija in promovira standarde za vse vidike proizvodnje in trgovine. Organizacija je bila ustanovljena leta 1947 in ima sedež v Ženevi, Švica.

ISO ima več kot 165 članic, ki vključujejo nacionalne organizacije za standardizacijo iz več kot 160 držav. Člani sodelujejo pri razvoju standardov, ki so prosto dostopni vsem.

ISO-jevi standardi pokrivajo široko paleto tem:

Proizvodnja: ISO razvija standarde za proizvode, materiale, procese in metode. To vključuje standarde za kakovost, varnost, učinkovitost in druge vidike proizvodnje.

Trgovanje: ISO razvija standarde za trgovanje, vključno s standardi za označevanje, embalažo in prevoz. To omogoča, da se blago in storitve prosto gibljejo po mejah.

Druga področja: ISO razvija standarde za druga področja, **vključno z informacijsko tehnologijo**, zdravjem in varnostjo.

18



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IEC, Mednarodna elektrotehniška komisija,

je neprofitna mednarodna organizacija, ki razvija in promovira standarde za električne, elektronske in povezane tehnologije. Organizacija je bila ustanovljena leta **1906 in ima sedež v Ženevi, Švica.**

IEC ima več kot 180 članic, ki vključujejo nacionalne organizacije za standardizacijo iz več kot 160 držav. Člani sodelujejo pri razvoju standardov, ki so prosto dostopni vsem.

IEC-jevi standardi pokrivajo široko paleto tem:

Generacijo, prenosom in distribucijo električne energije: IEC razvija standarde za električne generatorje, transformatorje, vodila in druge elemente električnih sistemov.

Električne naprave in oprema: IEC razvija standarde za električne naprave in opremo, kot so motorji, stikala, releje in drugi elementi.

Elektronika: IEC razvija standarde za elektronske naprave in opremo, kot so **računalniki, komunikacijski sistemi in drugi elementi.**

Povezana tehnologija: IEC razvija standarde za povezano tehnologijo, **kot so internet stvari (IoT), umetna inteligenca (AI) in drugi elementi.**

19



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ETSI - Evropski inštitut za telekomunikacijske standarde

je neodvisna, neprofitna organizacija za standardizacijo na področju informacij in komunikacij.

ETSI podpira razvoj in testiranje globalnih tehničnih standardov za sisteme, aplikacije in storitve, ki podpirajo IKT.

ETSI je bil ustanovljen leta **1988 s strani Evropske konference poštnih in telekomunikacijskih uprav (CEPT). Sedež ima v Sophia Antipolisu, Francija.** ETSI ima več kot 900 članov iz približno 70 držav po vsem svetu.

ETSI izdaja standarde za široko paleto IKT-tem, vključno z:

**Mobilne komunikacije (GSM, LTE, 5G),**  
**Internet stvari (IoT),**  
Digitalna televizija (DVB),  
Radiodifuzijski prenosi (DAB, FM),  
Varnost informacij (ITSI),  
Interoperabilnost med sistemi (ETSI EN 300 019),



20



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Organizacija 3GPP,

znana tudi kot **Partnerski projekt 3. generacije**, je mednarodna organizacija, ki se ukvarja s standardizacijo mobilnih telekomunikacij. Ustanovljena je bila leta **1998** kot naslednica organizacije 2GPP, ki je bila odgovorna za razvoj standardov 2G in 2,5G.

3GPP je sestavljena iz sedmih članic, ki so:

Evropski inštitut za telekomunikacijske standarde (ETSI),  
Mednarodna telekomunikacijska zveza (ITU),  
Združenje GSMA,  
Inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike (IEEE),  
Open Mobile Alliance (OMA),  
Japonska telekomunikacijska industrijska organizacija (TTA),  
Korejska telekomunikacijska industrijska organizacija (TTA),



3GPP razvija specifikacije za mobilne telekomunikacijske tehnologije, vključno z radiodostopom, jedrnimi omrežja in zmogljivostmi storitev. Te specifikacije zagotavljajo celovito opisovanje mobilnih telekomunikacij.

Nekaj najbolj znanih standardov, ki jih je razvila 3GPP, so:

GSM in sorodni standardi 2G in 2,5G, vključno z GPRS in EDGE  
UMTS in sorodni standardi 3G, vključno s HSPA in HSPA+LTE, ki je standard 4G  
5G, ki je standard 5G



21



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IEEE,

znan tudi kot **Inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike**, je mednarodno združenje inženirjev, ki se ukvarjajo z elektrotehniko, elektroniko in sorodnimi področji. Ustanovljen je bil leta **1963** z združitvijo dveh prejšnjih organizacij, Ameriškega inštituta elektroinženirjev (AIEE) in Inštituta radioinženirjev (IRE).

IEEE ima **več kot 900.000 članov v več kot 160 državah**. Člani IEEE so inženirji, znanstveniki, strokovnjaki in drugi, ki so zainteresirani za elektrotehniko in elektroniko.

Cilj IEEE je promovirati inženirstvo, ustvarjanje, razvoj in integracijo elektrotehnike in elektronike za družbeno dobro. IEEE to počne na različne načine, vključno z:

Usposabljanjem in izobraževanjem inženirjev  
Raziskovanjem in razvojem novih tehnologij  
Razvijanjem in vzdrževanjem standardov  
Usposabljanje in informiranje javnosti o elektrotehniki in elektroniki



**IEEE SA, The Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association** je razvil standarde za Wi-Fi, ki določajo tehnične specifikacije za brezžično omrežje Wi-Fi.

IEEE standardi za Wi-Fi se imenujejo **IEEE 802.11**. Ta standard je bil prvotno objavljen leta 1997 in je bil od takrat večkrat posodobljen. Trenutna različica standarda je **IEEE 802.11be**, ki je bila objavljena leta 2023.

IEEE je vodilna organizacija na področju elektrotehnike in elektronike. Njegova dela imajo pomemben vpliv na naš svet.

22



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Ostale organizacije, ki so izpeljale procese standardizacije in certficiranja:

IEFT, The Internet Engineering Task Force,

IRTF, Internet Research Task Force,

W3C, The World Wide Web Consorcium,

M2M,

OGC, The Open Geospatial Consortium,

OASIS, The Organizatium for the Advacement of Structured Information Standars,

OCF, Open Connectivity Foudation,

IIC, The Industrial Internet Consortium,

OPC, The Open Platform Communications,



23



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Ostale organizacije, ki so izpeljale procese standardizacije in certficiranja:

GSFI, Global Food Safety Initiative,

GS1, Globalna organizacija za standardizacijo,

SIG, Bluetooth Special Interest Group,

ZigBee Alliance, sedaj Connectivity Standards Alliance,

DASH7 Alliance,

AllSeen Alliance, Wi-Fi Alliance, Wi-Fi SUN Alliance,

Mioty Alliance, LoRa Alliance, ANT Alliance, AIOTI,

Matter(Maller) Alliance, Thread Group, HomePlug Alliance,

ISA- Mednarodna organizacija za avtomatizacijo,

FF-Fieldbus Fundation, prej WorldFIP North America in Interoperable Systems Project,

OCF - Open Connectivity Fundation, prej AllSeen Alliance in Thread Group,

SIG Weightless,

Ingenu, Qualcomm,

združenje HART Communication Foundation,



24





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

V Sloveniji se s standardizacijo IoT radijskih tehnologij ukvarja več organizacij, med drugim:

### Standardizacijski odbor za informacijsko tehnologijo (SIST),

Standardizacijski odbor za informacijsko tehnologijo (SIST/TC 013) je tehnični odbor Slovenskega inštituta za standardizacijo (SIST), ki se ukvarja s standardizacijo na področju informacijske tehnologije. SIST/TC 013 je bil ustanovljen leta 1991 in je danes eden največjih in najplivnejših tehničnih odborov SIST.

### Združenje informacijsko-komunikacijskih tehnologij Slovenije (ZITS),

Združenje informacijsko-komunikacijskih tehnologij Slovenije (ZITS) je nevladna, neprofitna organizacija, ki združuje podjetja, organizacije in posameznike, ki se ukvarjajo z informacijsko-komunikacijskimi tehnologijami (IKT). ZITS je bilo ustanovljeno leta 1993 in je danes največje in najplivnejše združenje v IKT sektorju v Sloveniji.

### Inštitut za elektronsko komunikacijo (IKE),

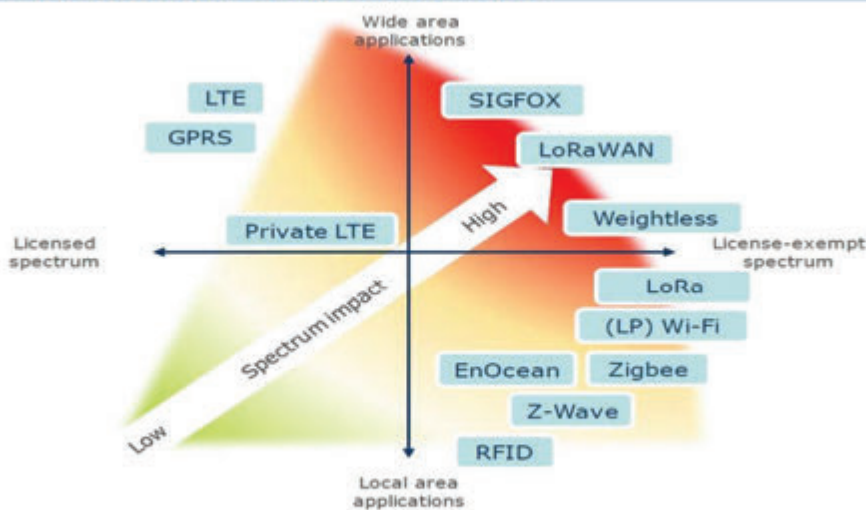
Inštitut za elektronsko komunikacijo (IKE) je javni raziskovalni inštitut, ki deluje v okviru Univerze v Ljubljani. Ustanovljen je bil leta 1981 in je danes eden vodilnih raziskovalnih inštitutov na področju elektronskih komunikacij v Sloveniji in v regiji.

Pri razvoju novih standardov te organizacije sodelujejo z mednarodnimi organizacijami, kot sta IEEE in ITU.



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IoT wireless technologies overview

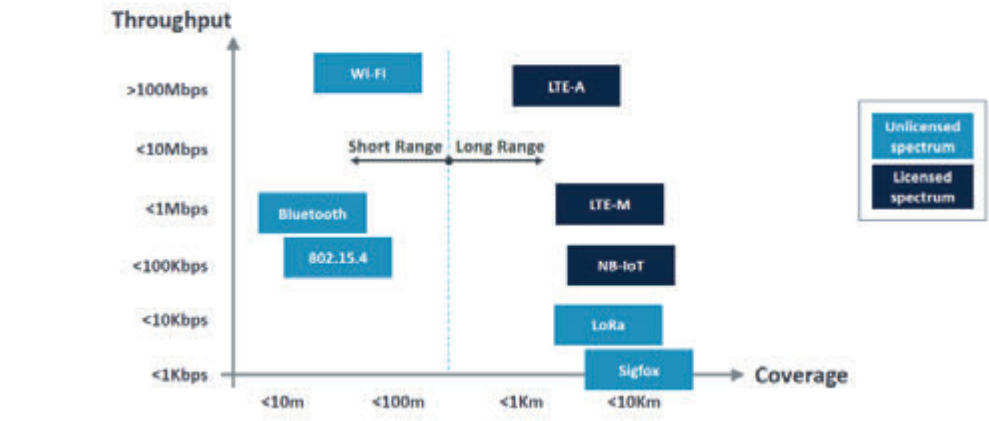




## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IoT-connectivity technologies

Multiple standards, different attributes

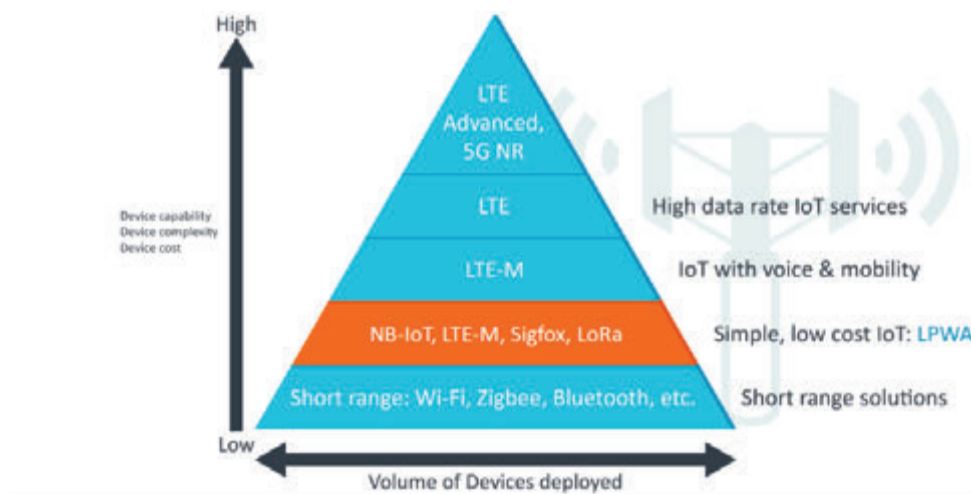


27



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IoT -the connectivity pyramid



28

**SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

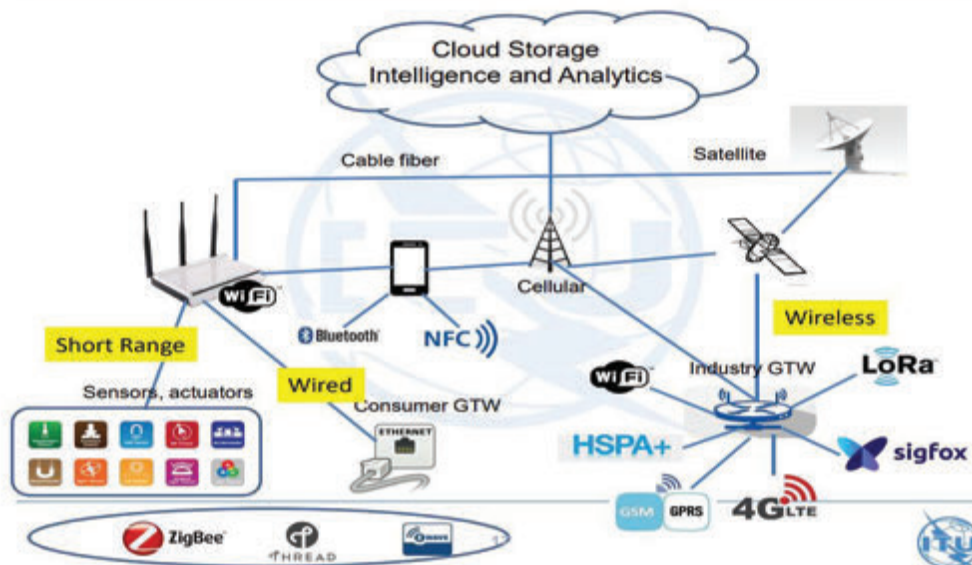
### Protocols for IoT

<b>Session</b>		MQTT, SMQTT, CoRE, DDS, AMQP, XMPP, CoAP, ...	<b>Security</b>	<b>Management</b>
<b>Network</b>	<b>Encapsulation</b>	6LoWPAN, 6TiSCH, 6Lo, Thread, ...	TCG, Oath 2.0, SMACK, SASL, ISASecure, ace, DTLS, Dice, ...	IEEE 1905, IEEE 1451, ...
	<b>Routing</b>	RPL, CORPL, CARP, ...		
<b>Datalink</b>		WiFi, Bluetooth Low Energy, Z-Wave, ZigBee Smart, DECT/ULE, 3G/LTE, NFC, Weightless, HomePlug GP, 802.11ah, 802.15.4e, G.9959, WirelessHART, DASH7, ANT+, LTE-A, LoRaWAN, ...		

29

**SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IoT network general architecture



30



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IoT sistemi kratkega in dolgega dosega

A - Tehnologije za komunikacije na kratke in srednje razdalje,

B - Tehnologije, ki omogočajo komunikacije na dolge razdalje,

1. Tehnologije, razvite v skladu z drugimi standardi ( LP WAN),
2. Tehnologije, razvite v skladu s 3GPP standardi,

A - Tehnologije za komunikacije na kratke in srednje razdalje:

- a. RFID, NFC, DECT/ULE,
- b. Bluetooth, BLE 4,2; 5 ( včasih WiBree), BTLE, MYOTY, DASH7, CSR MESH, ISA 100.11a, ANT+,
- c. ZigBee, ZigBee NAN, IEEE 802.15.4e, 6LowPAN, Wireless HART, Thread, AllJoyn,
- d. Wi-Fi Halow, Wi-Fi SUN, ISO 18 000-7, HomePlug GP,

31



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija RFID,

ali radiofrekvenčna identifikacija, je tehnologija, ki uporablja radio valove za identifikacijo in sledenje predmetom. Sistem RFID sestoji iz dveh glavnih komponent: oznak in bralnikov.

**Oznake RFID:** To so majhni elektronski naprave, ki so pritrjene na predmete, ki jih želite slediti. Oznake običajno vsebujejo anteno in mikročip, ki shranjuje informacije o predmetu, kot je njegova ID številka.



#### RFID bralniki:

so naprave, ki berejo podatke iz RFID oznak. Bralci imajo anteno, ki sprejema signale iz oznake. Ko bralec zazna signal iz oznake, prebere podatke iz čipa.

32



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Vrste RFID sistemov

RFID sistemi se lahko razvrstijo glede na naslednje dejavnike:

Moč: RFID sistemi se lahko razdelijo na aktivne in pasivne.

Aktivne oznake vsebujejo baterijo, ki jih napaja. Pasivne oznake ne vsebujejo baterije in se napajajo z energijo iz radijskih signalov, ki jih pošlje bralnik.



Aktivna RFID oznaka

Frekvenčna območja: RFID sistemi se lahko razdelijo na nizkofrekvenčne (LF), visokofrekvenčne (HF), ultravisokofrekvenčne (UHF) in mikrovalovne (MW).

LF sistemi imajo najkrajši doomet, vendar so najcenejši in najbolj odporni na motnje.

HF sistemi imajo daljši doomet kot LF sistemi, vendar so dražji in manj odporni na motnje.

UHF sistemi imajo še daljši doomet kot HF sistemi in so še bolj odporni na motnje.

MW sistemi imajo najdaljši doomet, vendar so tudi najdražji in najbolj občutljivi na motnje.

Aplikacije: RFID sistemi se uporabljajo v široki paleti aplikacij, vključno s sledenjem blaga, kontrolo pristopa, upravljanjem sredstev in plačevanjem.

33



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

RFID tehnologija se uporablja v številnih različnih aplikacijah, vključno z:

Sledenje blaga: RFID se pogosto uporablja za sledenje blaga v logistiki. RFID oznake se lahko pritrjujejo na izdelke ali embalažo, da se lahko sledi njihovem gibanju skozi oskrbovalno verigo.



Kontrola dostopa: RFID se lahko uporablja za nadzor dostopa do objektov ali območij. RFID oznake se lahko pritrjujejo na kartice ali zapestnice, da se lahko nadzoruje, kdo lahko vstopi v določeno območje.



Upravljanje blaga: RFID se lahko uporablja za upravljanje blaga v trgovinah. RFID oznake se lahko pritrjujejo na izdelke, da se lahko sledi njihovem gibanju skozi trgovino.



RFID tehnologija ima številne prednosti v primerjavi z drugimi tehnologijami identifikacije, kot so črtne kode. RFID oznake so manjše in lažje od črtnih kod, zato jih je mogoče pritrčiti na manjše predmete. RFID oznake lahko berejo na večjih razdaljah kot črtne kode, zato so primerne za aplikacije, kot je sledenje blaga v logistiki. Poleg tega so RFID oznake bolj odporne na poškodbe kot črtne kode, zato jih je mogoče uporabljati v težkih okoljih.

34



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija NFC, Near Field Communication,

Je brezžična tehnologija kratkega dosega, ki omogoča komunikacijo med napravami na razdalji do 10 cm. NFC temelji na tehnologiji **RFID (Radio Frequency Identification)**, vendar omogoča tudi dvosmerno komunikacijo med napravami.

NFC se uporablja v številnih aplikacijah:



**Mobilno plačevanje:** NFC se uporablja za brezstično plačevanje v trgovinah, restavracijah in drugih prodajnih mestih.

**Upravljanje dostopa:** NFC se lahko uporablja za odklepanje vrat, avtomobilov in drugih varovanih območij.

**Identifikacija:** NFC se lahko uporablja za identifikacijo oseb ali predmetov.

**Družabna omrežja:** NFC se lahko uporablja za deljenje podatkov, kot so kontakti, slike in videoposnetki.

NFC je varčna tehnologija, saj porablja malo energije. To je pomembno za naprave, ki delujejo na baterije, kot so pametni telefoni.

35



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### GS1,

je neodvisna, nepridobitna organizacija, ki razvija in upravlja globalni sistem standardov za identifikacijo, zajem in izmenjavo podatkov.

**Ustanovljena je bila leta 1979 in ima sedež v Bruslju, Belgija.**

Ima več kot 2 milijona članov iz več kot 150 držav po vsem svetu.

Standardi GS1 se uporabljajo v številnih panogah, vključno s proizvodnjo, trgovino, logistiko in zdravstvom.

GS1 je znana po svojih standardih za označevanje, kot so črtne kode, **RFID in GS1 DataMatrix.**



36





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija Bluetooth,



- Started with Ericsson's Bluetooth Project in 1994 for radio-communication between cell phones over short distances,
- Named after Danish king Herald Blatand (AD 940-981) who was fond of blueberries,
- Intel, IBM, Nokia, Toshiba, and Ericsson formed Bluetooth SIG in May 1998,
- Version 1.0A of the specification came out in late 1999,
- IEEE 802.15.1 approved in early 2002 is based on Bluetooth. Later versions handled by Bluetooth SIG directly,
- Key Features:
  - Lower Power: 10 mA in standby, 50 mA while transmitting,
  - Cheap: \$5 per device,
  - Small: 9 mm<sup>2</sup> single chips,



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Bluetooth and IoT

#### Bluetooth Low Energy

- Enables IoT features
- Lowest cost and Easy to implement
- Discovery & connection improvements
- Low latency, fast transaction (3 ms from start to finish)
- Data Rate 1 Mb/s: sending just small data packets
- **Bluetooth 5: 4x range, 2x speed and 8x broadcasting message capacity.**



Range	~ 150 m
Output Power	~ 10mW(10 dBm)
Max current	15 mA
Modulation	GFSK at 2.4 GHz
Sleep current	~ 1 µA

Low cost, available, ready to go.





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Bluetooth Versions:

- **Bluetooth 1.1: IEEE 802.15.1-2002,**
- **Bluetooth 1.2: IEEE 802.15.1-2005.** Completed Nov 2003. Extended SCO, Higher variable rate retransmission for SCO+ Adaptive frequency hopping (avoid frequencies with interference),
- **Bluetooth 2.0 + Enhanced Data Rate (EDR) (Nov 2004):** 3 Mbps using DPSK. For video applications. Reduced power due to reduced duty cycle,
- **Bluetooth 2.1 + EDR (July 2007):** Secure Simple Pairing to speed up pairing,
- **Bluetooth 3.0+ High Speed (HS) (April 2009):** 24 Mbps using WiFi PHY + Bluetooth PHY for lower rates,
- **Bluetooth 4.0 (June 2010):** Low energy. Smaller devices requiring longer battery life (several years). New incompatible PHY. Bluetooth Smart or BLE,
- **Bluetooth 4.1:** 4.0 + Core Specification Amendments (CSA) 1, 2, 3, 4,
- **Bluetooth 4.2 (Dec 2014):** Larger packets, security/privacy, IPv6 profile,

39



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### BTLE (Bluetooth Low Energy),

je podstandard Bluetootha, ki je zasnovan za prenos podatkov z nizkim porabo energije. BTLE se pogosto uporablja za povezovanje senzorjev in drugih naprav v brezžičnih omrežjih za pametne domove. Standard BTLE je bil razvit s strani **Bluetooth Special Interest Group (SIG)**. Standard je bil objavljen leta **2010**.

BTLE lahko prenaša podatke s hitrostjo do **240 kbit/s** in ima doseg do **100 metrov** ter je primeren za uporabo v brezžičnih omrežjih, ki zahtevajo nizko porabo energije.

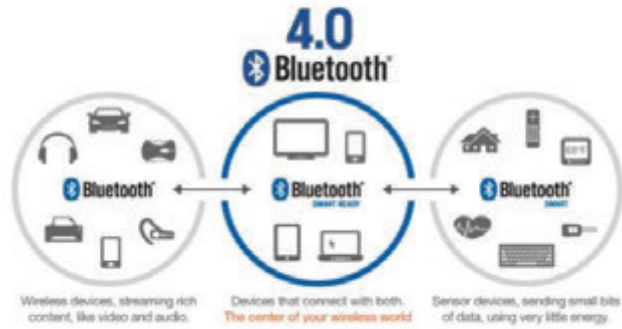
40



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Naming for Bluetooth 4.x

- Bluetooth 4.0
- Bluetooth Low Energy
  - BLE, BTLE, LE
- SIG Preferred
  - Bluetooth Smart
  - Bluetooth Smart Ready



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija Bluetooth Smart

- Low Energy: 1% to 50% of Bluetooth classic,
- For short broadcast: Your body temperature, Heart rate, Wearables, sensors, automotive, industrial  
Not for voice/video, file transfers, ...,
- Small messages: 1Mbps data rate but throughput not critical,
- Battery life: In years from coin cells,
- Simple: Star topology. No scatter nets, mesh, ...,
- Lower cost than Bluetooth classic,
- New protocol design based on Nokia's WiBree technology Shares the same 2.4GHz radio as Bluetooth
  - ▣ Dual mode chips,
- All new smart phones (iPhone, Android, ...) have dual-mode chips,





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Standarde za tehnologijo **RFID** so pripravile številne organizacije, vključno z:

**Mednarodna organizacija za standardizacijo (ISO):** ISO je razvil številne standarde za RFID, vključno s standardi za frekvenčna območja, komunikacijske protokole in kodiranje podatkov.

**Mednarodna elektrotehniška komisija (IEC):** IEC je razvil številne standarde za RFID, vključno s standardi za varnost in zaščito podatkov.

**GFSi** je neprofitna organizacija, ki razvija standarde za RFID za različne industrije

**GS1:** GS1 je organizacija, ki razvija standarde za identifikacijo in sledenje blaga.



Nekateri izmed najpomembnejših standardov za RFID so:

**ISO 18000-6C:** Ta standard določa tehnične specifikacije za pasivni UHF RFID sistem.

**ISO 18000-6B:** Ta standard določa tehnične specifikacije za aktivne UHF RFID sisteme.

**IEC 62356:** Ta standard določa tehnične specifikacije za RFID v zdravstvu.

**GS1 EPC Gen2:** Ta standard določa tehnične specifikacije za EPC (Electronic Product Code) RFID.

43



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija Bluetooth,

je brezžična tehnologija kratkega dosega, ki omogoča komunikacijo med različnimi digitalnimi napravami. Uporablja se za povezovanje naprav kot so mobilni telefoni, računalniki, slušalke, tiskalniki, kamere in druge.

Bluetooth deluje v frekvenčnem pasu **2,4 GHz**.

Bluetooth povezave so varne, saj uporabljajo enkripcijo za zaščito podatkov.

Bluetooth ima naslednje prednosti:

Omogoča brezžično povezovanje naprav, kar je udobno in praktično.

Je varen in zanesljiv.

Je relativno poceni.

Bluetooth ima tudi nekaj slabosti:

Doseg je omejen na približno **10 metrov**.

Lahko je občutljiv na motnje od drugih naprav, ki uporabljajo isti frekvenčni pas.

Bluetooth se uporablja v številnih različnih aplikacijah, vključno z:

Pogovorom po telefonu z brezžičnimi slušalkami

Prenašanjem podatkov med napravami, kot so fotografije, glasba in datoteke

Kontrolo naprav, kot so avtomobilske radijske postaje in avdio sistemi

Povezovanje naprav v omrežja, kot so piconeti in scatterneti

Bluetooth je priljubljena brezžična tehnologija, ki se uporablja v številnih različnih aplikacijah. Je udobna, praktična in varna.



44



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija BLE, Bluetooth Low Energy,



je brezžična tehnologija, ki se uporablja za povezovanje naprav z nizko porabo energije. BLE se pogosto uporablja v aplikacijah Interneta stvari (IoT), kot so pametni domovi, industrijski IoT (IIoT) in zdravstvo.

**BLE 4.2 je četrta generacija BLE.** Ponuja izboljšano zmogljivost in zanesljivost v primerjavi s prejšnjimi različicami BLE. Standardizacijske dokumente so pripravili v **SIG-Bluetooth Special Interest Group**.

**BLE 5 je peta generacija BLE.** Ponuja še večje izboljšave zmogljivosti in zanesljivosti kot BLE 4.2.

#### BLE tag



Glavne razlike med BLE 4.2 in BLE 5 so naslednje:

BLE 5 podpira najvišjo hitrost prenosa podatkov **2 Mbps**, medtem ko BLE 4.2 podpira najvišjo hitrost prenosa podatkov **1 Mbps**.

BLE 5 ima dolg doseg do **300 metrov**, medtem ko BLE 4.2 ima dolg doseg do **100 metrov**.

BLE 5 je bolj zanesljiv kot BLE 4.2, saj ponuja izboljšano odzivnost in zaščito pred motnjami.

BLE 5 se pogosto uporablja v naslednjih aplikacijah:

BLE 5 se uporablja za povezovanje senzorjev in aktuatorjev v pametnih domovih, kot so senzorji za temperaturo, vlago in svetlobo ter stikala za luč in zavese.

BLE 5 se uporablja za povezovanje senzorjev in aktuatorjev v industrijskih aplikacijah, kot so senzorji za spremljanje proizvodnega procesa in aktuatorji za nadzor strojev.

BLE 5 se uporablja za povezovanje medicinskih naprav, kot so naprave za spremljanje vitalnih znakov in naprave za daljinsko upravljanje.

45



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Aktuatorji,

so naprave, ki pretvarjajo energijo v gibanje. Uporabljajo se v različnih strojih in napravah, da ustvarijo mehansko silo ali gibanje.

Aktuatorji se lahko razvrstijo glede na vrsto energije, ki jo uporabljajo:

**Električni aktuatorji** uporabljajo električno energijo za ustvarjanje gibanja. Primeri električnih aktuatorjev so električni motorji, solenoidi in stepper motorji.

**Pnevmatski aktuatorji** uporabljajo stlačen zrak za ustvarjanje gibanja. Primeri pnevmatskih aktuatorjev so cilindri in ventili.

**Hidravlični aktuatorji** uporabljajo tekočine pod tlakom za ustvarjanje gibanja. Primeri hidravličnih aktuatorjev so cilindri in črpalke.

Aktuatorji se lahko razvrstijo tudi glede na vrsto gibanja, ki ga ustvarjajo:

**Rotacijski aktuatorji** ustvarjajo krožno gibanje. Primeri rotacijskih aktuatorjev so električni motorji in pnevmatski cilindri.

**Linearni aktuatorji** ustvarjajo prečno gibanje. Primeri linearnih aktuatorjev so hidravlični cilindri in električni linearni aktuatorji.

Aktuatorji se uporabljajo v širokem naboru aplikacij:

Avtomobilska industrija, za pogon vrat, sedežev in drugih mehanizmov.

Robotika, za premikanje robotskih rok in drugih delov.

Proizvodnja, za nadzor strojev in naprav. Zdravstvo, za pogon medicinskih naprav.

Domači aparati, za nadzor vrat, oken in drugih funkcij.

46



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### SIG, Bluetooth Special Interest Group,

je neprofitna organizacija, ki nadzira razvoj standardov Bluetooth in proizvajalcem podeljuje licence za uporabo tehnologije. SIG so leta 1998 ustanovili Ericsson, Intel, IBM, Toshiba in Nokia. Danes ima SIG več kot 38.000 članov podjetij z vsega sveta.

Poslanstvo SIG je poenostaviti, zavarovati in obogatiti tehnološko izkušnjo uporabnikov po vsem svetu s kolektivnim ustvarjanjem in skupnimi tehničnimi standardi.

SIG razvija in vzdržuje standarde Bluetooth, ki so tehnične specifikacije za medsebojno komunikacijo naprav Bluetooth. Ti standardi so odprti in brezplačni, kar pomeni, da jih lahko vsako podjetje uporablja za razvoj naprav Bluetooth.

SIG podeljuje licence proizvajalcem za uporabo tehnologije Bluetooth v njihovih izdelkih. To zagotavlja, da lahko samo pooblaščen proizvajalci proizvajajo naprave Bluetooth, ki ustrezajo standardom SIG.

SIG spodbuja uporabo tehnologije Bluetooth prek marketinških in izobraževalnih programov. Prav tako sodeluje s partnerji v industriji pri razvoju in integraciji tehnologije Bluetooth v nove izdelke in storitve.

Delo SIG je Bluetooth naredilo najbolj priljubljeno brezžično tehnologijo na svetu. Bluetooth se uporablja v najrazličnejših napravah, vključno s pametnimi telefoni, tablicami, prenosniki, slušalkami, zvočniki, tiskalniki in nosljivimi napravami. Tehnologija se uporablja tudi v industrijski avtomatizaciji, zdravstvu in drugih specializiranih aplikacijah.



47



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija za standard.	Obdobje	Frekvenčno področje	Domet in hitrost prenosa signala
RFID	ISO/IEC 18000 EPC global	1983	125, 134 kHz, 13,56 MHz, 860-960 MHz, 2,45 GHz	od 10cm do 10m, 100 bit/s do 140 bit/s
NFC	ISO/IEC18092 NFC Forum	2004	13,56 MHz	od 10 cm do 20cm, 106 kbit/s do 424 kbit/s
DECT/ULE	ETSI TS 101 590-1, IEEE 802.15.4	2007	1,88 GHz	od 100 m - 300 m, 128 kbit/s - 2,4 Mbit/s
Bluetooth	IEEE 802.15.1, SIG	1994	2,4 GHz	od 10 m do 100 m, 0,07 kbit/s do 2 Mbit/s
BLE 4,2	SIG	2014	2,4 GHz	Od 10 m do 100 m, 0,2 kbit/s do 2 Mbit/S
BLE 5	SIG	2016	2,4 GHz	od 10 m do 240m, 0,2 kbit/s do 2 Mbit/s

48





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija MYIOTY,

je tehnologija za komunikacijo v bližini za procesno avtomatizacijo, ki jo je razvil Rockwell Automation. MYIOTY temelji na tehnologiji **Bluetooth Low Energy (BLE)** in omogoča brezžično komunikacijo med različnimi napravami v procesnih okoljih. Standardizacijske procese so izpeljali v **Connectivity Standards Alliance**. Značilnosti MYIOTY:

MYIOTY omogoča brezžično komunikacijo med različnimi napravami v procesnih okoljih. To lahko izboljša učinkovitost in fleksibilnost procesov.

MYIOTY je združljiv z obstoječimi napravami Foundation Fieldbus, kar olajša nadgradnjo obstoječih sistemov. MYIOTY je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

#### Uporaba MYIOTY

MYIOTY se lahko uporablja na:



Področju merjenja in nadzora. MYIOTY se lahko uporablja za prenos podatkov o meritvah in nadzoru iz senzorjev in aktuatorjev na nadzorno ploščo.

MYIOTY se lahko uporablja za daljinsko vzdrževanje procesov in naprav.

MYIOTY se lahko uporablja za nadzor varnosti v industrijskih obratih.

49



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Primeri uporabe MYIOTY

Merjenje in nadzor: MYIOTY se lahko uporablja za prenos podatkov o temperaturi, tlaku in vlažnosti iz senzorjev v nadzorno ploščo. To lahko omogoči nadzornikom, da hitreje in učinkoviteje reagirajo na spremembe v procesu.

Uporaba MYIOTY za merjenje in nadzor v procesni avtomatizaciji

MYIOTY se lahko uporablja za daljinsko spremljanje stanja naprav v procesu. To lahko omogoči vzdrževalcem, da hitreje identificirajo in odpravijo težave. MYIOTY se lahko uporablja za nadzor dostopa do varnih območij v industrijskih obratih. To lahko pomaga zaščititi delavce in opremo pred nevarnostmi.

#### Ključne prednosti MYIOTY

MYIOTY ponuja številne ključne prednosti za procesno avtomatizacijo, vključno z:

MYIOTY je združljiv z obstoječimi napravami Foundation Fieldbus, kar olajša nadgradnjo obstoječih sistemov. MYIOTY je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

#### Konkurenca

MYIOTY je ena izmed več tehnologij za komunikacijo v bližini, ki se uporabljajo v procesni avtomatizaciji. Druge konkurenčne tehnologije vključujejo:

WirelessHART: WirelessHART je brezžični komunikacijski protokol, ki dodaja brezžične zmogljivosti tehnologiji Foundation Fieldbus.

ISA100.11a: ISA100.11a je brezžični komunikacijski protokol, ki je zasnovan posebej za procesno avtomatizacijo.

HART-IP je brezžični komunikacijski protokol, ki temelji na tehnologiji HART.

50



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Mioty Alliance,

je organizacija, ki se osredotoča na razvoj in promocijo standardizirane tehnologije brezžične povezljivosti za masivno IoT.

Ta tehnologija se imenuje mioty in temelji na patentirani tehnologiji Fraunhoferjeve telegramske razdelitve. Mioty omogoča hitro in zanesljivo povezljivost na velikih območjih, kar je idealno za aplikacije, kot so pametne zgradbe, pametne tovarne in pametna mesta.

Miotyjeva tehnologija ponuja številne prednosti pred drugimi tehnologijami brezžične povezljivosti za masivno IoT, vključno z:

Visoka zmogljivost: Mioty lahko **podpira do 100.000 naprav na kvadratni kilometer**.  
 Nizka poraba energije: Mioty omogoča napravam, da delujejo dlje časa z enim polnjenjem baterije.  
 Visoka zanesljivost: Mioty lahko zagotavlja zanesljivo povezljivost tudi v težkih okoljih.



51



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### CSR MESH,

je brezžični komunikacijski protokol, ki temelji na tehnologiji **Bluetooth Low Energy (BLE)**. CSR MESH je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih, kot so industrijska avtomatika, pametne stavbe in pametna mesta.

Značilnosti CSR MESH:

CSR MESH omogoča brezžično komunikacijo med različnimi napravami v težkih okoljih. To lahko izboljša učinkovitost in fleksibilnost procesov.

CSR MESH je združljiv z obstoječimi napravami, ki podpirajo tehnologijo Bluetooth Low Energy. To olajša nadgradnjo obstoječih sistemov.

CSR MESH je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih. Vključuje funkcije za zaščito podatkov, kot so šifriranje in avtentikacija.

Nekaj dodatnih informacij o CSR MESH:

**CSR MESH je razvil Qualcomm.**

CSR MESH je odprtokodni standard.

CSR MESH je podprt s številnimi proizvajalci naprav.



**Standarde** za CSR MESH so pripravili v **Qualcommu**. Qualcomm je ameriški tehnološki konglomerat, ki se ukvarja z razvojem in proizvodnjo polprevodnikov, telekomunikacijskih naprav in storitev. Qualcomm je razvil CSR MESH leta **2015** kot odprtokoden standard za brezžično komunikacijo v omrežju stvari (IoT).

52



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

CSR MESH ponuja številne ključne prednosti za IoT:

CSR MESH omogoča brezžično komunikacijo med različnimi napravami v težkih okoljih. To lahko izboljša učinkovitost in fleksibilnost procesov.

CSR MESH je združljiv z obstoječimi napravami, ki podpirajo tehnologijo Bluetooth Low Energy. To olajša nadgradnjo obstoječih sistemov.

CSR MESH je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih. Vključuje funkcije za zaščito podatkov, kot so šifriranje in avtentikacija.

Konkurenca:

CSR MESH je ena izmed več tehnologij za komunikacijo v omrežju stvari, ki se uporabljajo v industrijski avtomatizaciji. Druge konkurenčne tehnologije vključujejo:

WirelessHART je brezžični komunikacijski protokol, ki dodaja brezžične zmogljivosti tehnologiji Foundation Fieldbus.

ISA100.11a je brezžični komunikacijski protokol, ki je zasnovan posebej za procesno avtomatizacijo.

HART-IP je brezžični komunikacijski protokol, ki temelji na tehnologiji HART.

53



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

CSA-Connectivity Standards Alliance,

je neprofitna organizacija, ki **razvija in promovira standarde** za komunikacijo v omrežju stvari (IoT). Ustanovljena je bila leta **2002 kot Zigbee Alliance in je leta 2019 spremenila ime v Connectivity Standards Alliance**.

CSA ima več kot 350 članov iz celega sveta, ki vključujejo proizvajalce opreme, uporabnike opreme in inštitute za raziskave in razvoj. Organizacija deluje v različnih odborih in delovnem telesih, ki razvijajo in vzdržujejo standarde za komunikacijo v omrežju stvari.

CSA je razvila več standardov za komunikacijo v omrežju stvari, vključno z:

**Zigbee:** Zigbee je brezžični komunikacijski protokol, ki se uporablja v širokem naboru aplikacij IoT, vključno z pametnimi domovi, pametnimi mestnimi in industrijsko avtomatizacijo.

**Thread:** Thread je brezžični komunikacijski protokol, ki je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih, kot so pametne stavbe in industrijska avtomatika.

**Matter:** Matter je nov odprti standard za komunikacijo v omrežju stvari, ki je zasnovan za zagotovitev, da so proizvodi IoT združljivi med seboj, ne glede na proizvajalca.

CSA igra pomembno vlogo pri razvoju in promociji standardov za komunikacijo v omrežju stvari. Standardi, ki jih razvija organizacija, zagotavljajo interoperabilnost med različnimi napravami in sistemi, kar lahko izboljša učinkovitost in fleksibilnost IoT aplikacij.

Nekaj podatkov o organizaciji Connectivity Standards Alliance:

Ustanovljena: 2002

Sedež: Austin, Teksas, ZDA

Člani: več kot 350

Standardi: Zigbee, Thread, Matter



54



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Thread,

Thread je standard za povezovanje brezžičnih naprav v domačih in industrijskih omrežjih. Thread je zasnovan tako, da je varen, zanesljiv in energijsko učinkovit.

Thread omogoča, da se brezžične naprave povezujejo v omrežja, ki so odporna na motnje in ki lahko delujejo tudi v težkih pogojih. Thread se lahko uporablja za povezovanje različnih vrst naprav, vključno z senzorji, akuatorji, osvetlitvijo in pametnimi napravami. Domet signala pri teh napravah je **od 50 m v zaprtih prostorih do 100 m na prostem**.

Thread je standard, ki ga je razvilo združenje **Thread Group**. Združenje Thread Group je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za povezovanje brezžičnih naprav v domačih in industrijskih omrežjih.



55



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Združenje Thread Group,

je neprofitna organizacija, ki razvija in promovira standard Thread. Thread je odprtokoden, nizkoenergijski komunikacijski protokol, ki se uporablja za povezovanje naprav v pametnih domovih in drugih inteligentnih okoljih.

Združenje Thread Group je bilo ustanovljeno leta **2014 s strani podjetij ARM, Google, Samsung in Silicon Labs**. Združenje ima trenutno več kot 300 članov, ki vključujejo proizvajalce naprav, razvijalce programske opreme in druge organizacije.

**Thread temelji na standardu IEEE 802.15.4**, vendar dodaja številne funkcije, ki so pomembne za pametne domove, vključno z:

**Zdržljivost:** Thread je odprtokoden protokol, kar omogoča, da ga uporabljajo naprave različnih proizvajalcev.

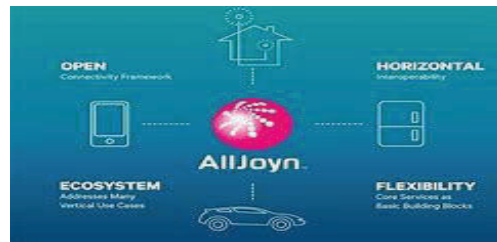
**Nizka poraba energije:** Thread je zasnovan za delovanje z nizko porabo energije, kar omogoča napravam, da delujejo dolgo na baterijah.

**Varnost:** Thread vključuje varnostne funkcije, ki pomagajo zaščititi podatke pred nepooblaščenim dostopom.

56



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT



### AllJoyn,

AllJoyn je standard za povezovanje pametnih naprav v domačih in industrijskih omrežjih. AllJoyn je zasnovan tako, da je varen, zanesljiv in energijsko učinkovit. Domet signala pri teh napravah je **do 10 m v zaprtem prostoru in do 20 m na prostem**,

AllJoyn omogoča, da se pametne naprave povezujejo v omrežja, ki so odporna na motnje in ki lahko delujejo tudi v težkih pogojih. AllJoyn se lahko uporablja za povezovanje različnih vrst naprav, vključno z senzorji, aktuatorji, osvetlitvijo in pametnimi napravami.

AllJoyn je standard, ki ga je razvilo **združenje AllSeen Alliance**. AllSeen Alliance je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za povezovanje pametnih naprav.

57



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### AllSeen Alliance,

je neprofitno združenje, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za povezovanje naprav v pametnih domovih in drugih inteligentnih okoljih. Združenje je bilo ustanovljeno leta **2013 in ima sedež v San Franciscu, Kalifornija, ZDA**.

AllSeen Alliance ima več kot 300 članov, ki vključujejo proizvajalce naprav, razvijalce programske opreme in druge organizacije. Člani združenja sodelujejo pri razvoju standarda AllJoyn, ki je odprto koden protokol za povezovanje naprav v pametnih domovih in drugih inteligentnih okoljih.

AllJoyn omogoča napravam, da se povezujejo med seboj in izmenjujejo podatke, ne glede na proizvajalca. To omogoča uporabnikom, da ustvarijo enotne, integrirane sisteme pametnega doma, ki vključujejo naprave različnih proizvajalcev.



58



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ISO 18 000-7,

je standard, ki določa tehnične specifikacije za **ultraširokopasovno (UWB)** avtomatsko identifikacijo in sledenje (AIDC). Standard je bil objavljen leta 2012 in določa naslednje:

Frekvenčno območje: **3,1-10,6 GHz**.

Modulacijski način: OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing),  
Način kodiranja: LDPC (Low-Density Parity-Check),



UWB je tehnologija, ki omogoča prenos podatkov z veliko hitrostjo in natančnostjo. To je idealno za aplikacije, ki zahtevajo visoko hitrost prenosa podatkov, kot so avtomatska identifikacija in sledenje.

Avtomatska identifikacija in sledenje (AIDC): ISO 18 000-7 se uporablja za identifikacijo in sledenje premikajočih se objektov, kot so tovornjaki, vlaki, izdelki in osebe.

Proizvodnja: ISO 18 000-7 se uporablja za nadzor proizvodnje in sledenje materialom v proizvodnji.  
Inženiring: ISO 18 000-7 se uporablja za nadzor inženirskih objektov, kot so naprave, stroji in infrastruktura.

Prednosti tehnologije ISO 18 000-7 vključujejo:

ISO 18 000-7 omogoča visoko natančnost in zanesljivost identifikacije in sledenja. ISO 18 000-7 omogoča dolg doseg identifikacije in sledenja. ISO 18 000-7 omogoča prostorsko svobodo pri identifikaciji in sledenju.

Slabosti tehnologije ISO 18 000-7 vključujejo:

ISO 18 000-7 lahko stane več kot druge tehnologije AIDC.  
ISO 18 000-7 lahko zahteva kompleksne sisteme in integracije.

59



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Standardizacijo ISO 18 000-7 je izpeljal **Mednarodni odbor za standardizacijo (ISO)**. Standard je bil objavljen **leta 2012** in določa tehnične specifikacije za ultraširokopasovno (UWB) avtomatsko identifikacijo in sledenje (AIDC).

Domest signala ISO 18 000-7 je odvisen od številnih dejavnikov, kot so:

**Moč oddajnika:** Moč oddajnika vpliva na doseg signala. Večja kot je moč oddajnika, večji je doseg signala.

**Odpornost okolja:** Odpornost okolja vpliva na doseg signala. V okoljih z veliko motnjami, kot so deli industrijske proizvodnje, je doseg signala omejen.

**Lokacija:** Lokacija oddajnika in sprejemnika vpliva na doseg signala. Če sta oddajnik in sprejemnik v neposredni vidni liniji, je doseg signala večji.

V idealnih pogojih lahko doseg signala ISO 18 000-7 doseže **do 100 metrov**. V realnih pogojih je doseg signala običajno omejen na nekaj **deset metrov**.

Tukaj je nekaj primernih vrednosti dosega signala ISO 18 000-7:

V zaprtih prostorih: **5-10 metrov**  
V odprtih prostorih: **20-50 metrov**  
V okoljih z veliko motnjami: **10-20 metrov**



60



## **Standardizacija radijskih tehnologij IoT**

Nekaj dodatnih informacij o CSR MESH:

CSR MESH je razvil Qualcomm.

CSR MESH je odprtokodni standard.

CSR MESH je podprt s številnimi proizvajalci naprav.



61

## **Standardizacija radijskih tehnologij IoT**



### ISA 100.11a,

je standard, ki določa tehnične specifikacije za ultraširokopasovno (UWB) avtomatsko identifikacijo in sledenje (AIDC) v industrijski avtomatizaciji. **Standard je bil objavljen leta 2009 in ga je standardizirala Mednarodna organizacija za avtomatizacijo (ISA).**

**ISA 100.11a temelji na standardu ISO 18 000-7**, vendar določa dodatne zahteve za uporabo v industrijski avtomatizaciji. Te dodatne zahteve vključujejo:

**Odpornost na motnje:** ISA 100.11a zahteva, da sistemi uporabljajo tehnologije, ki so odporne na motnje, ki so pogoste v industrijskih okoljih.

**Varnost:** ISA 100.11a zahteva, da sistemi zagotavljajo varnost podatkov, da se prepreči nepooblaščen dostop ali spreminjanje podatkov.

**Zanesljivost:** ISA 100.11a zahteva, da sistemi zagotavljajo zanesljivo delovanje, tudi v zahtevnih okoljih.

62



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

ISA 100.11a se uporablja v različnih aplikacijah v industrijski avtomatizaciji:

ISA 100.11a se uporablja za monitoring in nadzor procesnih parametrov, kot so temperatura, tlak in pretok.

ISA 100.11a se uporablja za sledenje gibanju ljudi, materialov in strojev.

ISA 100.11a se uporablja za avtomatizirano krmiljenje procesov in naprav.

Prednosti tehnologije ISA 100.11a vključujejo:

ISA 100.11a omogoča visoko natančnost in zanesljivost identifikacije in sledenja v zahtevnih okoljih.

ISA 100.11a omogoča dolg doseg identifikacije in sledenja, kar je pomembno v velikih industrijskih obratih.

ISA 100.11a omogoča prostorsko svobodo pri identifikaciji in sledenju, kar je pomembno za mobilne aplikacije.

Slabosti tehnologije ISA 100.11a vključujejo:

ISA 100.11a lahko stane več kot druge tehnologije AIDC, ki so zasnovane za uporabo v industrijski avtomatizaciji.

ISA 100.11a lahko zahteva kompleksne sisteme in integracije.

63



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

**ISA, Mednarodna organizacija za avtomatizacijo,**

je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za avtomatizacijo. Organizacija je bila ustanovljena leta 1945 in ima sedež v Springfieldu, Illinois, ZDA.

ISA ima več kot 30.000 članov iz več kot 100 držav. Člani vključujejo inženirje, znanstvenike, proizvajalce in uporabnike avtomatizacije.

ISA razvija standarde za vse vidike avtomatizacije:

ISA razvija standarde za električno in mehansko opremo, ki se uporablja v avtomatizaciji. To vključuje standarde za stikala, releje, senzorje, aktuatorje in druge komponente.

ISA razvija standarde za programsko opremo, ki se uporablja v avtomatizaciji. To vključuje standarde za komunikacijske protokole, programske jezike in druge elemente programske opreme.

ISA razvija standarde za procese, ki se avtomatizirajo. To vključuje standarde za proizvodnjo, logistiko, energijo in druge procese.

ISA-jevi standardi se uporabljajo po vsem svetu. Pomagajo zagotoviti, da so sistemi avtomatizacije združljivi in da lahko komunicirajo med seboj.

Nekateri izmed najpomembnejših ISA-jevih standardov so:

ISA 100.11a: Standard za ultraširokopasovno (UWB) avtomatsko identifikacijo in sledenje (AIDC) v industrijski avtomatizaciji.

ISA 88: Standard za avtomatizacijo procesov.

ISA 95: Standard za integracijo proizvodnje in poslovnih sistemov.

64



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija ANT+,

je brezžična tehnologija kratkega dosega, ki se uporablja za prenos podatkov med napravami v športnih in zdravstvenih aplikacijah. **ANT+ je razvil Garmin** in je na voljo v več kot 1000 različnih napravah, vključno s športnimi urami, kolesarskimi računalniki, fitnesi in zdravniškimi napravami.

ANT+ uporablja **frekvenčni pas 2,4 GHz in ima doseg do 30 metrov**. ANT+ je zasnovan za nizko porabo energije, kar omogoča dolgo življenjsko dobo baterije v napravah, ki delujejo na baterije.

ANT+ se uporablja v naslednjih aplikacijah:



Šport: ANT+ se uporablja za prenos podatkov o vadbi, kot so srčni utrip, hitrost, razdalja in povprečna hitrost.

Zdravje: ANT+ se uporablja za prenos podatkov o zdravju, kot so krvni tlak, telesna temperatura in nivo kisika v krvi.

Domača avtomatizacija: ANT+ se lahko uporablja za nadzorovanje in upravljanje naprav v domu, kot so luči, stikala in termostati.

ANT+ ima naslednje prednosti:

Nizka poraba energije: ANT+ naprave so zasnovane za nizko porabo energije, kar omogoča dolgo življenjsko dobo baterije.

Dolg doseg: ANT+ naprave lahko delujejo na razdalji **do 30 metrov**.

Varnost: ANT+ naprave podpirajo različne varnostne funkcije, kot so enkripcija podatkov in avtentifikacija naprav.

65



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT



### ANT Alliance,

je bila ustanovljena leta **2003** kot neprofitna organizacija, ki se ukvarja s standardizacijo tehnologije **ANT+**. ANT+ je odprta, brezžična tehnologija, ki se uporablja za prenos podatkov med elektronskimi napravami v realnem času.

ANT Alliance ima člane iz več kot 200 podjetij iz različnih industrij, vključno s športom, zdravjem, fitnessom, avtomobilizmom, industrijo in domom. Skupina sodeluje z vladnimi agencijami in standardizacijskimi organizacijami za promocijo ANT+ kot globalnega standarda za brezžično povezovanje IoT naprav.

66



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Home Plug GP

Home Plug GP je standard za brezžično omrežje, ki se uporablja za prenos električne energije in podatkov po isti žici. Home Plug GP deluje na frekvencah 2,4 GHz in 5 GHz in omogoča prenos podatkov s hitrostjo do 2,4 Gbit/s. Standard Home Plug GP je bil razvit s strani skupine podjetij, vključno z Intelom, HomePlug Alliance in Qualcommom. Standard je bil objavljen leta 2009.

Home Plug GP se pogosto uporablja za povezovanje pametnih naprav v gospodinjstvih, kot so pametne luči, termostati in varnostne kamere. Home Plug GP je tudi primeren za povezovanje naprav, ki so oddaljene od usmerjevalnika Wi-Fi, saj lahko prenaša podatke na daljavo.



67



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### HomePlug Alliance,

je neprofitna organizacija, ki razvija in promovira standarde za komunikacijo po električnem omrežju. Organizacija je bila ustanovljena leta **2000** in ima sedež v San Joseu v Kaliforniji. HomePlug Alliance ima več kot 100 članskih podjetij iz vsega sveta.

Standardi HomePlug Alliance vključujejo **HomePlug 1.0**, **HomePlug AV**, **HomePlug AV2**, **HomePlug Green PHY** in **HomePlug Access BPL**. Ti standardi zagotavljajo različne ravni zmogljivosti in funkcij za komunikacijo po električnem omrežju.

HomePlug Alliance razvija in promovira tudi različne druge tehnologije, kot so varnost po električnem omrežju, interoperabilnost po električnem omrežju in električno omrežje prek **Etherneta (PoE)**.

HomePlug Alliance je vodilna organizacija na področju komunikacije po električnem omrežju. Standardi organizacije se uporabljajo v milijonih naprav po vsem svetu in pomagajo pri tem, da je komunikacija po električnem omrežju bolj zanesljiva in cenovno ugodna način povezovanja naprav v domovih in podjetjih.

68



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija za standard.	Obdobje	Frekvenčno področje	Domet in hitrost prenosa signala
MYOTY	JTC1/CS38/WG1	2017	2,4 GHz, 5 GHz	do 100 m do 100 Mbit/s
DASH7	CEN/TC 291/WG5	2012	433 MHz, 868 MHz, 915 MHz	do 100 m do 20 Mbit/s
CSR	CEN /TC 291/WG5	2017	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	do 100 m do 10 Mbit/s
MESH	IEEE 802.11s	2011	868 MHz, 915 Mhz, 2,4 in 5 GHz	od 100 do 1000 m do 100 Mbit/s
ANT+	ANT* Alliance	2004	433 MHz, 868 Mhz, 915 MHz, 2,4GHz	do 100 m do 250 kbit/s
ISA 100.11a	ISA	2009	5 GHz	do 100 m. od 54 do 108 Mbps,

69



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ZigBee Technology-Performance

Proven excellent in-building coverage:

- Inherently robust radio link,
- Mesh networking,
- Acknowledge oriented protocol,
- Now proven in major deployments in Australia, Sweden, & USA,

Proven tolerance to interference:

- Trade shows like CES-works when WiFi and Bluetooth fail,
- Montage Hotels and MGM City Center deployments,
- Products which implement multiple radio technologies,

Proven coexistence:

- Many multi-radio products and multi-radio deployments,

Proven scalability:

- City Center at 70,000 plus radios,
- Montage Hotels at 4000 plus radios per property,

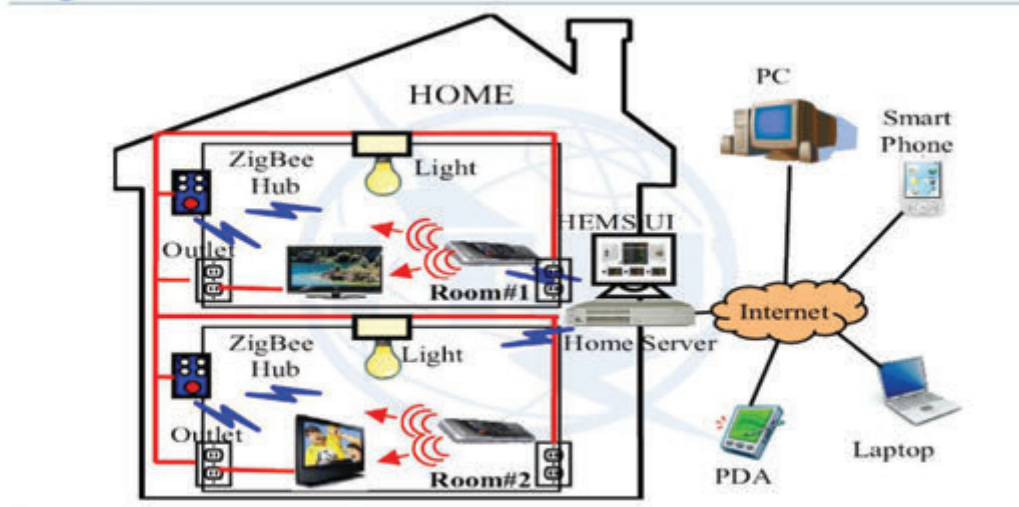


70



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ZigBee



35



71



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija ZigBee

je brezžični komunikacijski protokol, ki se uporablja za nizkoenergijsko komunikacijo med napravami. Opisuje ga standard IEEE 802.15.4 in deluje v **nelicenciranih pasovih 868 MHz, 902-928 MHz in 2,4 GHz**.

ZigBee je primeren za aplikacije, ki zahtevajo nizko porabo energije in zanesljivost, kot so:

**Pametni dom:** ZigBee se pogosto uporablja za povezovanje pametnih naprav v domu, kot so senzorji, stikala in osvetljave.

**Industrijska avtomatizacija:** ZigBee se uporablja za povezovanje senzorjev, aktuatorjev in drugih naprav v industrijskih aplikacijah.

**Zdravstvo:** ZigBee se uporablja za povezovanje zdravstvenih naprav, kot so monitorji srčnega utripa in gluhotoniki.

Glavne prednosti ZigBeeja vključujejo:

**Nizka poraba energije:** ZigBee naprave lahko delujejo na baterijah več let.

**Zanesljivost:** ZigBee je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

**Enostavnost uporabe:** ZigBee je enostaven za uporabo in konfiguracijo.



Pomanjkljivosti ZigBeeja vključujejo:

**Razdalja prenosa:** ZigBee naprave lahko komunicirajo na razdalji do **100 metrov** v prostem prostoru.

**Hitrost prenosa:** Hitrost prenosa ZigBeeja je **250 kbit/s**.

ZigBee je priljubljen brezžični komunikacijski protokol, ki se uporablja v širokem razponu aplikacij. Njegove prednosti, kot so nizka poraba energije, zanesljivost in enostavnost uporabe, ga naredijo odlično izbiro za aplikacije, ki zahtevajo te lastnosti.

72





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija ZigBee NAN,

je tehnologija, ki omogoča majhna, samoorganizirana brezžična omrežja z dolgim dosegom. Uporablja se za aplikacije, kot so pametne domove, **industrijski internet stvari (IIoT) in pametna mesta**. ZigBee NAN je zasnovan tako, da je enostaven za uporabo in implementacijo. Ne zahteva centralne nadzorne enote in lahko deluje v različnih frekvenčnih pasovih.

Trenutno je ZigBee NAN v zgodnji fazi razvoja, vendar ima potencial, da postane ena od najpomembnejših tehnologij za pametne aplikacije.

Tukaj je nekaj primerov, kako se ZigBee NAN trenutno uporablja:

V pametnih domovih se ZigBee NAN uporablja za povezovanje naprav, kot so senzorji, stikala in regulatorji.

V IIoT se ZigBee NAN uporablja za povezovanje senzorjev in **aktuatorjev** v proizvodnih obratih.

V pametnih mestih se ZigBee NAN uporablja za povezovanje senzorjev za promet, vreme in okolje.

V prihodnje se pričakuje, da bo ZigBee NAN še bolj razširjen. Po ocenah bo trg ZigBee NAN do leta 2025 dosegel vrednost 12,5 milijarde dolarjev.

Tukaj je nekaj ključnih trendov, ki bodo v prihodnje spodbujali razvoj ZigBee NAN:

Rast pametnih aplikacij

Razvoj novih frekvenčnih pasov za brezžična omrežja

Povečanje zmogljivosti in dometa brezžičnih omrežij

ZigBee NAN ima potencial, da postane ena od najpomembnejših tehnologij za pametne aplikacije. Ima številne prednosti v primerjavi z drugimi brezžičnimi tehnologijami, kot so:

Enostaven za uporabo in implementacijo, velik doseg, različni frekvenčni pasovi, prilagodljivost

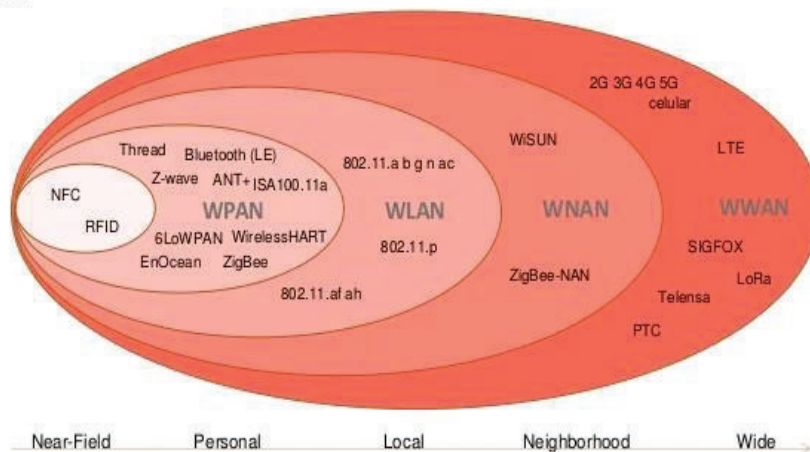
ZigBee NAN je še v zgodnji fazi razvoja, vendar ima potencial, da postane ena od najpomembnejših tehnologij za pametne aplikacije v prihodnosti.



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT,



### A complex world





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### IEEE 802.15.4e,

je razširitev standarda **IEEE 802.15.4**, ki določa fizični sloj (PHY) in podplast za dostop do medija (MAC) za **nizko hitrostna brezžična osebna omrežja (LR-WPAN)**. Standard je bil sprejet leta **2012** in dodaja podporo za naslednje funkcije:

Podpora za brezžična senzorska omrežja (WSN),  
Podpora za neprekinjeno delovanje,  
Podpora za varnost,

IEEE 802.15.4e je podlaga za številne tehnologije, vključno z **Zigbee, ISA100.11a in WirelessHART**.

Fizični sloj

IEEE 802.15.4e uporablja naslednje frekvenčne pasove:

2,4 GHz,  
915 MHz,  
868 MHz,

Fizični sloj podpira naslednje hitrosti prenosa podatkov:

250 kbps (2,4 GHz)  
40 kbps (915 MHz)



75



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija 6LoW PAN,

je zasnovana za nizkoenergijsko omrežje zasebnih omrežij (PAN). Gre za nadgradnjo tehnologije **IEEE 802.15.4**, ki je zasnovana za nizke stroške, nizko energijsko porabo in dolgo življenjsko dobo baterij.

#### Energijska poraba:

6LoW PAN ima zelo nizko energijsko porabo, kar jo naredi idealno za uporabo v prenosnih napravah, kot so pametne naprave, senzorji in IoT naprave. Poraba energije je odvisna od številnih dejavnikov, vključno z velikostjo paketa, frekvenco prenosa in načinom delovanja. V splošnem pa je 6LoW PAN veliko bolj energetsko učinkovita od drugih tehnologij, kot so Wi-Fi in Bluetooth.

#### Frekvenčno področje:

6LoW PAN lahko deluje v različnih frekvenčnih področjih, vključno z **ISM frekvenčnimi pasovi 868 MHz, 915 MHz in 2,4 GHz**. V Sloveniji je za uporabo v frekvenčnem področju 868 MHz potreben dovoljenje Agencije za komunikacijska omrežja in storitve (**AKOS**).

#### Doseg:

Doseg 6LoW PAN je odvisen od številnih dejavnikov, vključno z močjo oddajnika, ovirami v okolju in frekvenčnim področjem. V splošnem pa lahko 6LoW PAN doseže **do 100 metrov v prostem prostoru in do 30 metrov v zaprtem prostoru**.

#### Hitrost prenosa signala:

Hitrost prenosa signala 6LoW PAN je odvisna od številnih dejavnikov, vključno z frekvenčnim področjem in načinom delovanja. V splošnem pa lahko 6LoW PAN doseže hitrosti prenosa signala **do 250 kbit/s**.

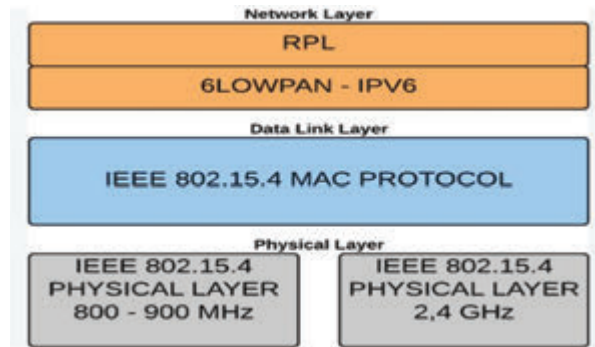
76



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologijo **6LoWPAN** je standardiziral **Inštitut za električno in elektronsko inženirstvo (IEEE)** v letu **2011**. Standard je bil objavljen kot del dokumenta **IEEE 802.15.4e**.

Standard je zasnoval in razvil delovni odbor IEEE 802.15.4e, ki ga je vodil inženir iz podjetja Cisco Systems, Mike Sheehan. Delovni odbor je bil ustanovljen leta **2008**, da bi razvil standard, ki bi omogočil uporabo tehnologije IEEE 802.15.4 v omrežjih Interneta stvari (IoT). Standard 6LoWPAN je zasnovan za nadgradnjo tehnologije IEEE 802.15.4, tako da jo naredi primerno za uporabo v IoT omrežjih. 6LoWPAN vključuje številne nove funkcije, ki izboljšajo učinkovitost in doslednost delovanja tehnologije IEEE 802.15.4 v IoT omrežjih



77



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ZigBee Alliance,

je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za nizkoenergijske brezžične komunikacije. Organizacija je bila ustanovljena leta **2002** in ima sedež v **Austinu, Teksas, Združene države Amerike**.

ZigBee Alliance ima več kot 500 članov, ki vključujejo proizvajalce naprav, razvijalce programske opreme in druge organizacije. Člani sodelujejo pri razvoju standardov za ZigBee, ki določajo tehnične specifikacije za brezžično omrežje Zigbee.



78



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### WirelessHART,

- The HART (Highway Addressable Remote Transducer Protocol) communication protocol is designed to add diagnostic information to process devices compatible with legacy 2-20mA analog instrumentation,
- The overall performance has been designed to satisfy process automation needs. It is able to work on distances up to 1500m,
- WirelessHART is an extension of HART, its functions include,
  - Implements an RF self-healing mesh network,
  - Allows for network-wide time synchronization,
  - Enhances the publish/subscribe messaging,
  - Adds network and transport layers,
  - Adds a fast pipe for time critical traffic and ciphering,



79



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### WirelessHART,

#### WirelessHART main characteristics:

- Low power consumption and low-cost devices,
- Data rate of 250 kbps per channel in 2.4GHz ISM band with 15 channels,
- Based on IEEE 802.15.4-2006 PHY layer,
- Based on a proprietary data link layer with TDMA and CSMA/CA,
- Supporting channel hopping and channel blacklisting,
- Network layer implementing self-healing mesh network,
- Application layer fully compatible with HART



80



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### WirelessHART,

je brezžični komunikacijski protokol za aplikacije procesne avtomatizacije. Dodaja brezžične zmogljivosti tehnologiji HART, pri čemer ohranja združljivost z obstoječimi napravami HART, ukazi in orodji. Po zasnovi WirelessHART uporablja omrežno tehnologijo mreže. Standardizacijske procese so izpeljali v **FF-Fieldbus Foundation**.

#### Značilnosti WirelessHART

Omrežna arhitektura: WirelessHART uporablja simetrično brezžično omrežno arhitekturo z enim glavnim omrežnim vozliščem (PAN coordinator) in več sekundarnimi omrežnimi vozlišči (PAN devices). PAN coordinator nadzoruje omrežje in zagotavlja komunikacijo med omrežnimi napravami. PAN naprave lahko komunicirajo med seboj neposredno ali prek PAN koordinatorskega vozlišča.

WirelessHART uporablja sinhronizirano komunikacijo na nivoju podatkovnega povezave. To pomeni, da vse omrežne naprave delujejo v enakem časovnem okviru, kar omogoča učinkovito in zanesljivo komunikacijo.

WirelessHART vključuje številne funkcije za zaščito podatkov, vključno z šifriranjem, avtentikacijo in integriteto podatkov. To zagotavlja, da so podatki, preneseni po omrežju, zaščiteni pred nezakonitim dostopom ali spreminjanjem.

#### Prednosti WirelessHART

WirelessHART omogoča brezžično komunikacijo med omrežnimi napravami, kar lahko izboljša učinkovitost in fleksibilnost procesov. WirelessHART je združljiv z obstoječimi napravami HART, kar olajša nadgradnjo obstoječih sistemov. WirelessHART je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

Merjenje in nadzor: WirelessHART se lahko uporablja za prenos podatkov o meritvah in nadzoru iz senzorjev in aktuatorjev na nadzorno ploščo.

81



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### FF-Fieldbus Foundation,

je neprofitna organizacija, ki **razvija in promovira standarde** za komunikacijske tehnologije v procesni avtomatizaciji. Ustanovljena je bila leta **1994** z združitvijo **WorldFIP North America in Interoperable Systems Project (ISP)**.

Fieldbus Foundation razvija dva glavna standarda za komunikacijo v procesni avtomatizaciji:

Foundation Fieldbus je digitalni, serijski, dvosmerni komunikacijski sistem, ki se uporablja kot osnovna mreža v okoljih procesne avtomatizacije.

WirelessHART je brezžični komunikacijski protokol, ki dodaja brezžične zmogljivosti tehnologiji Foundation Fieldbus.

Fieldbus Foundation ima več kot 350 članov iz celega sveta, ki vključujejo proizvajalce opreme, uporabnike opreme in inštitute za raziskave in razvoj. Organizacija deluje v različnih odborih in delovnem telesih, ki razvijajo in vzdržujejo standarde za komunikacijske tehnologije v procesni avtomatizaciji.

Nekaj podatkov o organizaciji Fieldbus Foundation:

Ustanovljena: 1994

Sedež: Austin, Teksas, ZDA

Člani: več kot 350

Standardi: Foundation Fieldbus, WirelessHART

Cilji: razvoj in promocija standardov za komunikacijske tehnologije v procesni avtomatizaciji



82



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### DASH7,

je odprti standard za komunikacijo v omrežju stvari (IoT), ki deluje v frekvenčnih **pasovih 433 MHz, 868 MHz in 915 MHz**. DASH7 je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih, kot so industrijska avtomatika, pametne stavbe in pametna mesta. Standardizacijske postopke so izpeljali v **OCF- Open Connectivity Fundation**.

#### Značilnosti DASH7:

DASH7 omogoča brezžično komunikacijo med različnimi napravami v težkih okoljih. To lahko izboljša učinkovitost in fleksibilnost procesov.

DASH7 je združljiv z obstoječimi napravami, ki podpirajo tehnologijo ISO 18000-7. To olajša nadgradnjo obstoječih sistemov.

DASH7 je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih. Vključuje funkcije za zaščito podatkov, kot so šifriranje in avtentikacija.

#### Uporaba DASH7:

DASH7 se lahko uporablja v širokem naboru aplikacij IoT, vključno s področji merjenja in nadzora, kjer vršijo prenos podatkov o meritvah in nadzoru iz senzorjev in aktuatorjev na nadzorno ploščo.

DASH7 se lahko uporablja za daljinsko vzdrževanje procesov in naprav in nadzor varnosti v industrijskih obratih.



83



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Primeri uporabe DASH7:

DASH7 se lahko uporablja za prenos podatkov o temperaturi, tlaku in vlažnosti iz senzorjev v nadzorno ploščo. To lahko omogoči nadzornikom, da hitreje in učinkoviteje reagirajo na spremembe v procesu.

DASH7 se lahko uporablja za daljinsko spremljanje stanja naprav v procesu. To lahko omogoči vzdrževalcem, da hitreje identificirajo in odpravijo težave.

DASH7 se lahko uporablja za nadzor dostopa do varnih območij v industrijskih obratih. To lahko pomaga zaščititi delavce in opremo pred nevarnostmi.

### Konkurenca:



DASH7 je ena izmed več tehnologij za komunikacijo v omrežju stvari, ki se uporabljajo v industrijski avtomatizaciji. Druge konkurenčne tehnologije vključujejo:

**WirelessHART:** WirelessHART je brezžični komunikacijski protokol, ki dodaja brezžične zmogljivosti tehnologiji Foundation Fieldbus.

**ISA100.11a:** ISA100.11a je brezžični komunikacijski protokol, ki je zasnovan posebej za procesno avtomatizacijo.

**HART-IP:** HART-IP je brezžični komunikacijski protokol, ki temelji na tehnologiji HART.

84





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### DASH7 Alliance,

je neprofitna industrijska konzorcija, ki spodbuja interoperabilnost med napravami, ki so skladne z DASH7. DASH7 je odprt kodni brezžični senzorski in aktuatorski omrežni protokol, ki deluje v pasu **433 MHz, 868 MHz in 915 MHz brez licence ISM/SRD.**



DASH7 Alliance je bil ustanovljen leta **2009** in ima sedež v Združenih državah Amerike. Vključuje več kot 100 članov iz 20 držav, vključno z proizvajalci naprav, operaterji omrežij in ponudniki rešitev.

Cilj DASH7 Alliance je spodbujati uporabo DASH7 za različne aplikacije, kot so:

Sledenje premikanju in lokaciji,

Nadzor okoljskih dejavnikov,

Nadzor infrastrukture,

Pametni dom,

DASH7 ponuja številne prednosti pred drugimi brezžičnimi protokoli, vključno z:

Dolgim dosegom (do 10 km v prostem prostoru),

Nizko porabo energije (do 10  $\mu$ A v mirovanju),

Nizko latenco, zakasnitvijo (do 100 ms),

85



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### OCF- Open Connectivity Foundation,

je neprofitna organizacija, ki razvija in promovira standarde za komunikacijo v omrežju stvari (IoT). Ustanovljena je bila leta **2017 z združitvijo dveh organizacij: AllSeen Alliance in Thread Group.**

OCF ima več kot 500 članov iz celega sveta, ki vključujejo proizvajalce opreme, uporabnike opreme in inštitute za raziskave in razvoj. Organizacija deluje v različnih odborih in delovnem telesih, ki razvijajo in vzdržujejo standarde za komunikacijo v omrežju stvari.

OCF je razvila več standardov za komunikacijo v omrežju stvari, vključno z:

**Matter** je nov odprti standard za komunikacijo v omrežju stvari, ki je zasnovan za zagotovitev, da so proizvodi IoT združljivi med seboj, ne glede na proizvajalca.

**AllJoyn** je odprti standard za komunikacijo v omrežju stvari, ki se uporablja v širokem naboru aplikacij IoT, vključno z pametnimi domovi, pametnimi mestnimi in industrijsko avtomatizacijo.

**Thread** je brezžični komunikacijski protokol, ki je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih, kot so pametne stavbe in industrijska avtomatika.

Nekaj podatkov o organizaciji Open Connectivity Foundation:

Ustanovljena: **2017**

Sedež: Austin, Teksas, ZDA

Člani: več kot 500

Standardi: Matter, AllJoyn, Thread

86



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT,

### AllJoyn,

je odprtokodna tehnologija za brezžično povezljivost, ki omogoča napravam, da se med seboj povezujejo in komunicirajo. AllJoyn je zasnovan za uporabo v pametnih domovih, pametnih tovarnah in drugih aplikacijah Interneta stvari (IoT).

AllJoyn temelji na standardu **IEEE 802.15.4**, ki deluje v frekvenčnem območju **2,4 GHz**. AllJoyn uporablja tudi kriptografijo za zaščito komunikacij med napravami.

AllJoyn ponuja številne prednosti pred drugimi tehnologijami brezžične povezljivosti za IoT:

**Enostavnost uporabe:** AllJoyn je enostaven za uporabo za razvijalce in uporabnike.

**Varnost:** AllJoyn uporablja kriptografijo za zaščito komunikacij med napravami.

**Široka podpora:** AllJoyn ima široko podporo med proizvajalci naprav in programske opreme.

AllJoyn se že uporablja v številnih komercialnih izdelkih:

Pametnimi zvočniki in zasloni,  
Pametnimi lučmi in senzorji,  
Pametnimi napravami za dom,

AllJoyn ima potencial, da postane eden najpomembnejših standardov za brezžično povezljivost v IoT

87



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija za standard.	Obdobje	Frekvenčno področje	Domet in hitrost prenosa signala
ZigBee	IEEE 802.15.4, ZigBee Alliance	2003	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	10 m - 100 m, 20 kbit/s do 250 kbit/s
ZigBee NAN	ZigBee Alliance, IEEE 802.15.4c	2012	868 MHz, 915 MHz, (ISM)	100 m-1000 m 1 Mbit/s – 250 Mbit/s
IEEE 802.15.4c	IEEE, IEEE 802.15.4c	2012	868 MHz, 915 MHz, (ISM)	100 m-1000 m 1 Mbit/s – 250 Mbit/s
Wireless HART	<b>IEEE 802.15.4-2003, HART Communication Foundation</b>	2007	868 MHz, 915 MHz, (ISM)	10 m - 100 m, 250 kbit/s do 1 Mbit/s
Tread	IEEE 802.15.4, Tread Group,	2015	868 MHz, 915 MHz, (ISM)	10 m - 100 m, 10 kbit/s – 200 kbit/s
AllJoyn	Standard AllJoyn, AllSeen Alliance	2012	2,4 GHz	10 m - 100 m, 1 Mbit/s – 250 Mbit/s

88

**SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

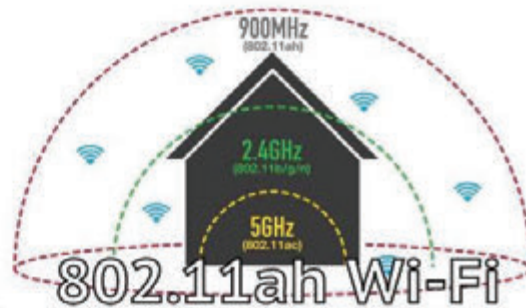
**IEEE 802.11ah** sub 1GHz WLAN for IoT

Defines operation of license-exempt (ISM) IEEE 802.11 wireless networks in frequency bands below 1 GHz

- excluding the TV White Space bands (802.11af)

IEEE 802.11 WLAN user experience for fixed, outdoor, point to multi point applications

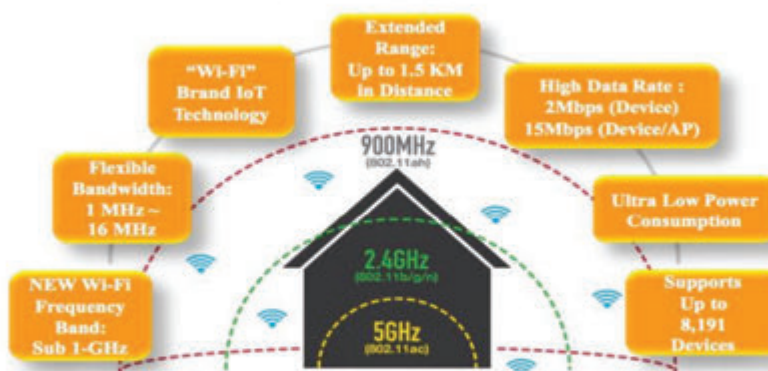
What lies beneath Wi-Fi HaLow



**SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

WiFi Halow

WiFi Halow main characteristics





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Wi-Fi HaLow,

je nova brezžična tehnologija, ki deluje v frekvenčnem pasu **900 MHz**. Je del **standarda IEEE 802.11ah** in je zasnovan za povezovanje naprav interneta stvari (IoT).

Wi-Fi HaLow ponuja številne prednosti v primerjavi z drugimi tehnologijami IoT.

Wi-Fi HaLow lahko doseže razdalje **do 1 km v prostem prostoru in do 100 metrov v zaprtih prostorih**.

#### Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah) SoC for IoT Applications

Nizka poraba energije: Wi-Fi HaLow je zasnovan za delovanje na baterijah, kar pomeni, da lahko naprave IoT delujejo dlje časa.

Visoka zanesljivost: Wi-Fi HaLow je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

Wi-Fi HaLow se lahko uporablja v širokem razponu aplikacij, vključno z:

**Pametni dom:** Wi-Fi HaLow se lahko uporablja za povezovanje pametnih naprav v domu, kot so senzorji, stikala in osvetljave.

**Industrijska avtomatizacija:** Wi-Fi HaLow se lahko uporablja za povezovanje senzorjev, aktuatorjev in drugih naprav v industrijskih aplikacijah.

**Mreže mest:** Wi-Fi HaLow se lahko uporablja za povezovanje naprav v pametnih mestih, kot so senzorji za kakovost zraka in prometne kamere.

Wi-Fi HaLow je še v zgodnji fazi razvoja, vendar ima potencial, da postane standardna tehnologija za povezovanje naprav IoT.



91



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija Wi-Fi SUN,

je skupek specifikacij, ki omogočajo interoperabilna, večstoritvena in varne brezžična omrežja mesh v velikih prostorih. Uporablja se za pametna, vseprisotna omrežja, ki se uporabljajo v različnih aplikacijah, kot so:

#### Industrijski internet stvari (IIoT),

Pametna mesta,  
Pametna energija,  
Pameten promet,  
Pametno zdravstvo,



Wi-Fi SUN temelji na standardu **802.15.4g**, ki uporablja **frekvenčni pas 915 MHz**. To frekvenčno območje je primerno za zunanjo uporabo, saj ni tako preobremenjeno kot frekvenčni pas **2,4 GHz**, ki se uporablja za tradicionalna Wi-Fi omrežja.

Wi-Fi SUN omrežja so odporna na motnje in imajo velik doseg, zaradi česar so idealna za aplikacije, kot so IIoT in pametna mesta, kjer je potrebno vzdrževati neprekinjeno povezavo med napravami, ki so razporejene na velikih območjih.

Wi-Fi SUN ponuja številne prednosti v primerjavi z drugimi brezžičnimi tehnologijami, kot so:

Visoka stopnja zanesljivosti in dostopnosti,  
Velik doseg, odpornost na motnje, varnost, interoperabilnost,

Wi-Fi SUN je hitro rastoča tehnologija, ki se uporablja v vse več aplikacijah. Po ocenah bo trg Wi-Fi SUN do leta 2025 dosegel vrednost 17,3 milijarde dolarjev.

92



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Wi-Fi Alliance,

je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov Wi-Fi. Wi-Fi je brezžična tehnologija, ki se uporablja za povezovanje računalnikov, naprav in drugih naprav.

Wi-Fi Alliance nenehno razvija Wi-Fi, da bi izboljšala zmogljivost in združljivost tehnologije. Skupina tudi dela na širjenju uporabe Wi-Fi v nove IoT aplikacije.



Nekateri primeri sodelovanja **IoT Fi Alliance v IoT** tehnologijah vključujejo:

Razvoj standarda Wi-Fi 6: Wi-Fi 6 je najnovejša različica standarda Wi-Fi, ki ponuja izboljšano zmogljivost in zmogljivost za IoT aplikacije.

Sodelovanje z drugimi organizacijami za razvoj novih IoT tehnologij: Wi-Fi Alliance sodeluje z drugimi organizacijami, kot je ITU-T, za razvoj novih IoT tehnologij, ki izkoriščajo Wi-Fi.

Razvoj izobraževalnih programov za IoT: Wi-Fi Alliance ponuja izobraževalne programe za podjetja in posameznike, ki se želijo naučiti več o uporabi Wi-Fi v IoT.

93



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Wi-Fi SUN Alliance,

je neprofiten industrijski konzorcij, ki spodbuja interoperabilnost med napravami, ki so skladne z Wi-Fi SUN. Wi-Fi SUN je odprtokoden brezžični senzorski in aktuatorski omrežni protokol, ki temelji na Wi-Fi.



Wi-Fi SUN Alliance je bil ustanovljen leta **2014** in ima sedež v Združenih državah Amerike. Vključuje več kot 300 članov iz 46 držav, vključno z proizvajalci naprav, operaterji omrežij in ponudniki rešitev.

Cilj Wi-Fi SUN Alliance je spodbujati uporabo Wi-Fi SUN za različne aplikacije:

Sledenje premikanju in lokaciji,

Nadzor okoljskih dejavnikov,

Nadzor infrastrukture,

Pametni dom

94



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija DECT/ULE ( DECT Ultra Low Energy),

je brezžična komunikacijska tehnologija, ki se uporablja za oblikovanje brezžičnih senzorskih in aktuatorskih omrežij za aplikacije pametnega doma. DECT/ULE izvira iz **tehnologije DECT in NG-DECT (Cat-iq)**.

DECT/ULE naprave se uporabljajo v naslednjih aplikacijah:

**Domača avtomatizacija:** DECT/ULE naprave se lahko uporabljajo za nadzorovanje in upravljanje naprav v domu, kot so luči, stikala, termostati in varnostne naprave.

**Domača varnost:** DECT/ULE naprave se lahko uporabljajo za nadzorovanje in upravljanje varnostnih naprav, kot so senzori gibanja, detektorji dimnih požarov in detektorji vloma.

**Kontrola:** DECT/ULE naprave se lahko uporabljajo za nadzorovanje in upravljanje klimatskih naprav, kot so termostati in klimatske naprave.

DECT/ULE ima naslednje prednosti:

**Nizka poraba energije:** DECT/ULE naprave so zasnovane za nizko porabo energije, kar omogoča dolgo življenjsko dobo baterije.

**Velik doseg:** DECT/ULE naprave lahko delujejo na razdalji **do 50 metrov v zaprtih prostorih in do 100 metrov na prostem**.

**Varnost:** DECT/ULE naprave podpirajo različne varnostne funkcije, kot so enkripcija podatkov in avtentifikacija naprav.

DECT/ULE je razmeroma nova tehnologija, vendar je že postala priljubljena v aplikacijah pametnega doma.

Tehnologija ponuja številne prednosti, vključno z nizko porabo energije, dolgim dosegom in varnostjo.

95



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija WiBree,

WiBree je brezžična tehnologija kratkega dosega, **ki jo je razvila Nokia**. Uporablja se za povezovanje naprav, ki delujejo na baterije, kot so ure, slušalke in senzori. WiBree je zasnovan za nizko porabo energije, kar omogoča dolgo življenjsko dobo baterije.

WiBree deluje na frekvenčnem pasu **2,4 GHz** in ima doseg **do 10 metrov**. Podpira **hitrosti prenosa podatkov do 240 kbps**.

**WiBree je bil leta 2006 rebrendiran kot Bluetooth Low Energy (BLE). Bluetooth SIG je BLE standardiziral leta 2010.**

WiBree se uporablja v naslednjih aplikacijah:

**Ure:** WiBree se uporablja za povezovanje pametnih ur s telefoni, računalniki in drugimi napravami.

**Slušalke:** WiBree se uporablja za povezovanje brezžičnih slušalk s telefoni in drugimi napravami.

**Senzorji:** WiBree se lahko uporablja za povezovanje senzorjev, kot so senzori srčnega utripa in gibanja, s telefoni in drugimi napravami.

96



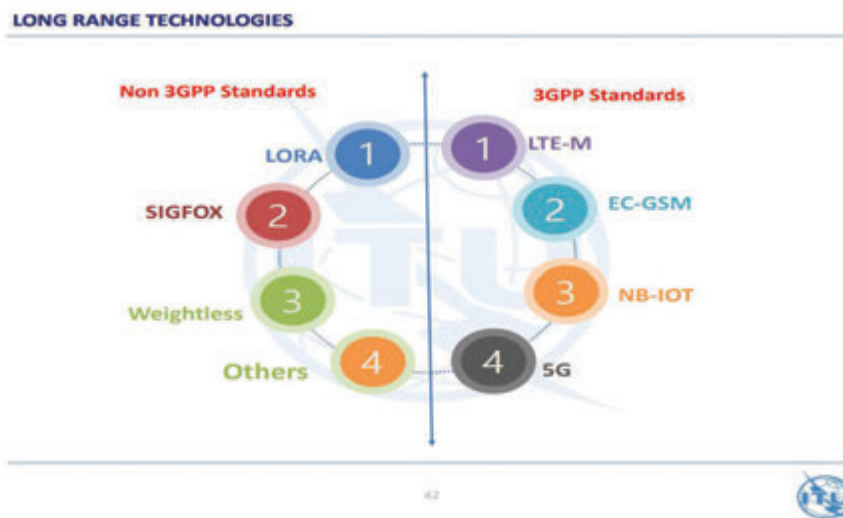


### Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija za standard.	Obdobje	Frekvenčno področje	Domet in hitrost prenosa signala
Wi-Fi Halow	IEEE 802.11ay	2016 -2020	60 GHz	10 m do 10 Gbit/s
Wi-Fi SUN	IEEE 802.11ay	2016 - 2022	60 GHz	10 m do 10 Gbit/s
ISO 18 000-7	IEEE 802.11ay	2016 – 2022	60 GHz	10 m do 10 Gbit/s
DECT/ULE	ETSI	2013	1800 -1900 MHz	50 -100 m, 5,6 kbit/s, 1,7 Mbit/s,



### Standardizacija radijskih tehnologij IoT



## **SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

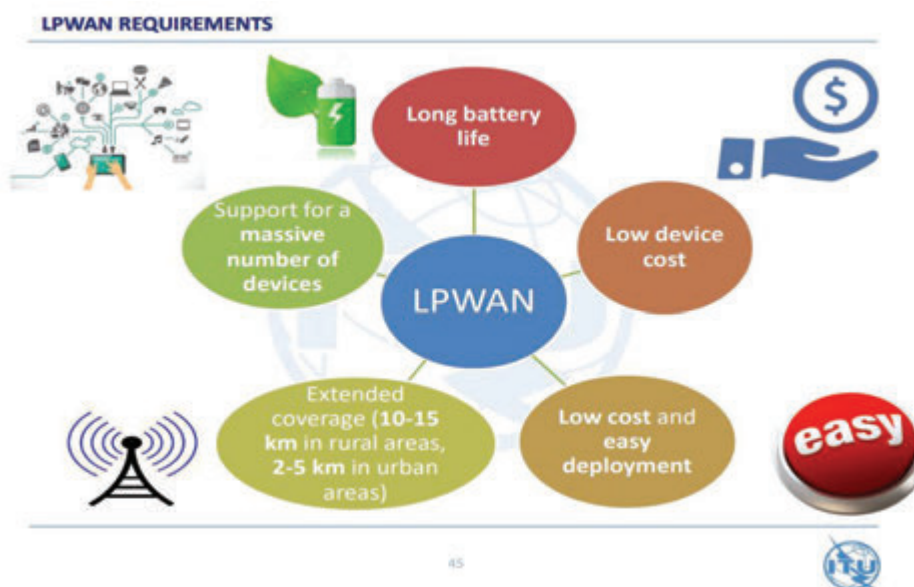
### B – Tehnologije, ki omogočajo komunikacije na dolge razdalje

#### 1. Tehnologije, razvite v skladu z drugimi standardi ( LP WAN):

- a. LoRa WAN,
- b. SigFox,
- c. Weightloss,
- d. RPMA,
- e. EnOcean, HART-IP,
- f. Z Wave, Matter(Maller),

99

## **SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT



45

100



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### LoRa WAN,

je odprt, nelicenčni brezžični komunikacijski standard, ki je zasnovan za povezovanje naprav interneta stvari (IoT) na **velike** razdalje. Omogoča vzpostavitev javnih in zasebnih IoT omrežij znotraj in zunaj prostorov.

Glavne značilnosti LoRa WAN:

Velik doseg, LoRa WAN lahko doseže razdalje **do 15 km v prostem prostoru in do 1 km v zaprtih prostorih**.

Nizka poraba energije: LoRa naprave lahko delujejo na baterijah več let.

Visoka zanesljivost, LoRa WAN je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

Uporaba LoRa WAN:

LoRa WAN se lahko uporablja v širokem razponu aplikacij, vključno z:

Pametni dom: LoRa WAN se lahko uporablja za povezovanje pametnih naprav v domu, kot so senzorji, stikala in osvetljave.

Industrijska avtomatizacija: LoRa WAN se uporablja za povezovanje senzorjev, aktuatorjev in drugih naprav v industrijskih aplikacijah.

Mreže mest: LoRa WAN se uporablja za povezovanje naprav v pametnih mestih, kot so senzorji za kakovost zraka in prometne kamere.

Primeri uporabe LoRa WAN:

Mesto Amsterdam uporablja LoRa WAN za zbiranje podatkov o kakovosti zraka, prometu in gibanju ljudi.

Podjetje Schneider Electric uporablja LoRa WAN za nadzor in upravljanje svojih industrijskih naprav.

Podjetje Cisco uporablja LoRa WAN za povezovanje svojih senzorjev za pametno mesto.

101



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Prednosti in slabosti tehnologije **LoRa WAN**:

Prednosti:

Velik doseg,  
Nizka poraba energije,  
Visoka zanesljivost,  
Odprt, nelicenčni standard,



LoRa/LoRaWAN IoT Module from 860 to 1020 MHz

Slabosti:

Nižja hitrost prenosa kot pri drugih tehnologijah IoT,  
Lahko je občutljiv na motnje v okolju,

LoRa WAN je priljubljena tehnologija IoT, ki se uporablja v širokem razponu aplikacij.

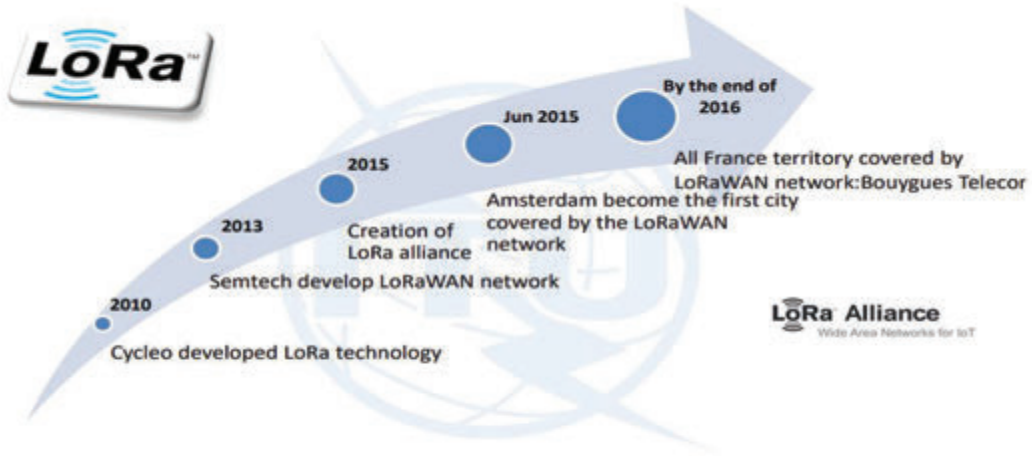
Njene prednosti, kot so velik doseg, nizka poraba energije in visoka zanesljivost, jo naredijo odlično izbiro za aplikacije, ki zahtevajo te lastnosti.

102



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Roadmap



48



103



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

LoRaWAN: device classes

Classes	Description	Intended Use	Consumption	Examples of Services
<b>A</b> (« all »)	Listens only after end device transmission	Modules with no latency constraint	The most economic communication Class energetically.. Supported by all modules. Adapted to battery powered modules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fire Detection</li> <li>• Earthquake Early Detection</li> </ul>
<b>B</b> (« beacon »)	The module listens at a regularly adjustable frequency	Modules with latency constraints for the reception of messages of a few seconds	Consumption optimized. Adapted to battery powered modules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smart metering</li> <li>• Temperature rise</li> </ul>
<b>C</b> (« continuous »)	Module always listening	Modules with a strong reception latency constraint (less than one second)	Adapted to modules on the grid or with no power constraints	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fleet management</li> <li>• Real Time Traffic Management</li> </ul>

→ Any LoRa object can transmit and receive data

58



104



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### LoRa Alliance®

LoRa Alliance® je odprto, neprofitno združenje, ki je postalo eno največjih in najhitreje rastočih zavezništev v tehnološkem sektorju od svoje ustanovitve leta **2015**.

Njegovi člani tesno sodelujejo in delijo strokovno znanje za razvoj in promocijo standarda LoRaWAN®, je dejanski globalni standard za varno povezljivost IoT LPWAN operatorskega razreda.

LoRaWAN ima tehnično prilagodljivost za obravnavo širokega nabora fiksnih in mobilnih IoT aplikacij ter robusten certifikacijski program LoRaWAN, ki zagotavlja, da naprave delujejo, kot je določeno.

Standard LoRaWAN je uvedlo več kot **170 večjih operaterjev mobilnih omrežij po vsem svetu**, povezljivost pa je na voljo po vsem svetu



105



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### SigFox,

je odprt, **nelicenčni brezžični komunikacijski standard**, ki je zasnovan za povezovanje naprav interneta stvari (IoT) na **kratke razdalje**. Omogoča vzpostavitev javnih in zasebnih IoT omrežij znotraj in zunaj prostorov.

Glavne značilnosti SigFox:

Kratke razdalje: SigFox lahko doseže **razdalje do 1 km v prostem prostoru in do 100 metrov v zaprtih prostorih**.

Nizka poraba energije: SigFox naprave lahko delujejo na baterijah več let.

Visoka zanesljivost: SigFox je zasnovan za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

Uporaba SigFox:

SigFox se lahko uporablja v širokem razponu aplikacij, vključno z:

Pametni dom: SigFox se lahko uporablja za povezovanje pametnih naprav v domu, kot so senzorji, stikala in osvetljave.  
Industrijska avtomatizacija: SigFox se uporablja za povezovanje senzorjev, aktuatorjev in drugih naprav v industrijskih aplikacijah.

Mreže mest: SigFox se lahko uporablja za povezovanje naprav v pametnih mestih, kot so senzorji za kakovost zraka in prometne kamere.

Primeri uporabe SigFox:

Podjetje Schneider Electric uporablja SigFox za nadzor in upravljanje svojih industrijskih naprav.

Podjetje Cisco uporablja SigFox za povezovanje svojih senzorjev za pametno mesto.

Mesto Amsterdam uporablja SigFox za zbiranje podatkov o kakovosti zraka, prometu in gibanju ljudi.



106



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Prednosti in slabosti tehnologije SigFox:

Prednosti: Kratek doseg, nizka poraba energije, visoka zanesljivost, odprt, nelicenčni standard,

Slabosti: Nižja hitrost prenosa kot pri drugih tehnologijah IoT, lahko je občutljiv na motnje v okolju,

SigFox je priljubljena tehnologija IoT, ki se uporablja v širokem razponu aplikacij. Njene prednosti, kot so kratek doseg, nizka poraba energije in visoka zanesljivost, jo naredijo odlično izbiro za aplikacije, ki zahtevajo te lastnosti.

Primerjava SigFox in LoRa WAN:

SigFox in LoRa WAN sta obe odprti, nelicenčni brezžični komunikacijski tehnologiji, ki sta zasnovani za povezovanje naprav IoT. Vendar pa imajo nekaj ključnih razlik:

SigFox ima krajši doseg od LoRa WAN, **približno 1 km v prostem prostoru in 100 metrov v zaprtih prostorih. LoRa WAN lahko doseže razdalje do 15 km v prostem prostoru in 1 km v zaprtih prostorih.**

SigFox ima nižjo hitrost prenosa od LoRa WAN, približno **100 bitov na sekundo**. LoRa WAN ima hitrost prenosa do **100 kbit/**

SigFox in LoRa WAN imata podobno nizko porabo energije.

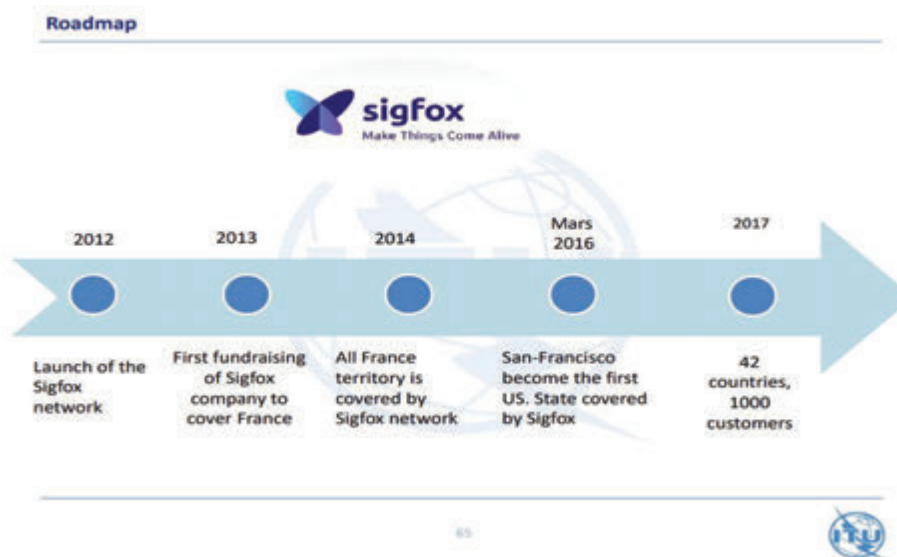
Zanesljivost: SigFox in LoRa WAN sta obe zasnovani za zanesljivo delovanje v težkih okoljih.

Izbira med SigFox in LoRa WAN je odvisna od specifičnih potreb aplikacije. Če je pomembnejši kratek doseg in nizka poraba energije, je SigFox dobra izbira. Če je pomembnejši daljši doseg in višja hitrost prenosa, je LoRa WAN boljše izbira.

107



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT



108





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT



109



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija Weightless,

je vrsta RFID tehnologije, ki uporablja ultranizkofrekvenčno (ULF) območje radijskih valov. ULF območje se razteza **od 3 do 10 kHz** in ima številne prednosti, vključno z:

**Dolg doseg:** ULF valovi lahko dosežejo dolge razdalje, kar omogoča odčitavanje oznak iz večje razdalje. To je koristno za aplikacije, kot je sledenje blaga v oskrbovalni verigi.

**Nizko stroškovna:** ULF komponente so poceni in enostavne za izdelavo, kar zmanjšuje stroške RFID sistemov.

**Nizko energijsko porabo:** ULF oznake lahko delujejo na bateriji več let, kar zmanjšuje stroške vzdrževanja.

Tehnologija Weightless se še razvija, vendar se že uporablja v številnih aplikacijah, vključno s:

**Sledenje blaga:** Weightless se lahko uporablja za sledenje blaga skozi oskrbovalno verigo. To lahko podjetjem prihrani čas in denar, saj lahko spremljajo lokacijo blaga v realnem času.

**Kontrola pristopa:** Weightless se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov. To lahko pomaga podjetjem in organizacijam pri zagotavljanju varnosti in zaščite.

**Upravljanje sredstev:** Weightless se lahko uporablja za sledenje in upravljanje sredstev, kot so vozila, oprema in stroji. To lahko podjetjem pomaga pri izboljšanju učinkovitosti in sledljivosti svojih sredstev.

110



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Prednosti tehnologije Weightless

Tehnologija Weightless ima številne prednosti v primerjavi z drugimi vrstami RFID tehnologij. Te prednosti vključujejo:

**Dolg doseg:** ULF valovi lahko dosežejo velike razdalje, kar omogoča odčitavanje oznak iz večje razdalje. To je koristno za aplikacije, kot je sledenje blaga v oskrbovalni verigi.

**Nizko stroškovna:** ULF komponente so poceni in enostavne za izdelavo, kar zmanjšuje stroške RFID sistemov.

**Nizko energijsko porabo:** ULF oznake lahko delujejo na bateriji več let, kar zmanjšuje stroške vzdrževanja.

### Slabosti tehnologije Weightless

Tehnologija Weightless ima tudi nekatere slabosti, vključno z:

**Nižja hitrost:** ULF valovi imajo krajšo valovno dolžino kot višje frekvenčne RFID tehnologije, kar omejuje hitrost prenosa podatkov.

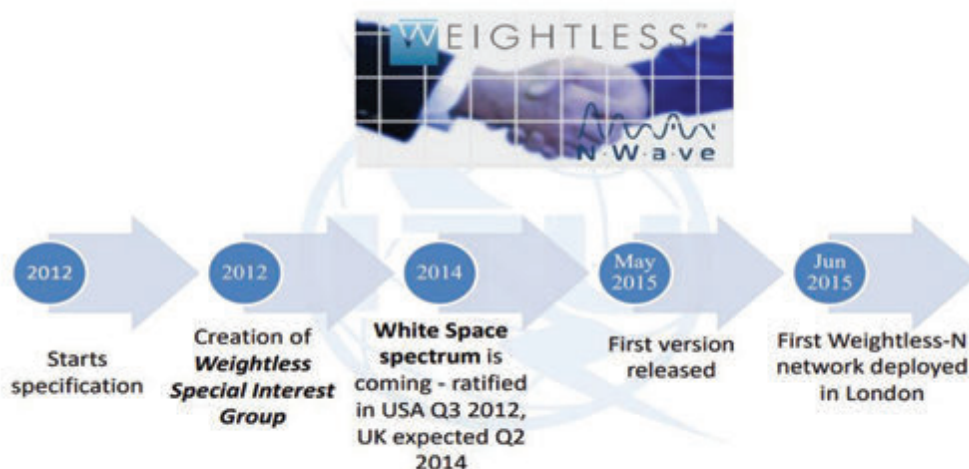
**Manj natančna:** ULF valovi imajo manjšo moč kot višje frekvenčne RFID tehnologije, kar lahko otežuje natančno odčitavanje podatkov iz oznak.

Konec koncev je odločitev o tem, ali je tehnologija Weightless prava za določeno aplikacijo, odvisna od specifičnih potreb in zahtev aplikacije.



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Roadmap





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Organizacija SIG Weightless,

je standardizirala tehnologijo Weightless. Weightless SIG, je organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za nizkoenergijske brezžične komunikacije. Organizacija je bila **ustanovljena leta 2013 in ima sedež v Londonu, Anglija.**

Weightless SIG ima več kot 100 članov, ki vključujejo proizvajalce naprav, razvijalce programske opreme in druge organizacije. Člani sodelujejo pri razvoju standardov za Weightless, ki določajo tehnične specifikacije za brezžično omrežje Weightless.



113



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### RPMA,

je kratica za **Radio Frequency Power Modulation A**. Je vrsta RFID tehnologije, ki uporablja ultravisokofrekvenčno (UHF) območje radijskih valov. **UHF območje se razteza od 300 do 3000 MHz** in ima številne prednosti, vključno z:

**Dolg doseg:** UHF valovi lahko dosežejo dolge razdalje, kar omogoča odčitavanje oznak iz večje razdalje. To je koristno za aplikacije, kot je sledenje blaga v oskrbovalni verigi.

**Visoka hitrost:** UHF valovi imajo kratko valovno dolžino, kar omogoča hiter prenos podatkov.

**Visoka natančnost:** UHF valovi imajo veliko moč, kar omogoča natančno odčitavanje podatkov iz oznak. Tehnologija RPMA se še razvija, vendar se že uporablja v številnih aplikacijah, vključno s:

**Sledenje blaga:** RPMA se lahko uporablja za sledenje blaga skozi oskrbovalno verigo. To lahko podjetjem prihrani čas in denar, saj lahko spremljajo lokacijo blaga v realnem času.

**Kontrola pristopa:** RPMA se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov. To lahko pomaga podjetjem in organizacijam pri zagotavljanju varnosti in zaščite.

**Upravljanje sredstev:** RPMA se lahko uporablja za sledenje in upravljanje sredstev, kot so vozila, oprema in stroji. To lahko podjetjem pomaga pri izboljšanju učinkovitosti in sledljivosti svojih sredstev.

114



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Prednosti tehnologije RPMA

Tehnologija RPMA ima številne prednosti v primerjavi z drugimi vrstami RFID tehnologij. Te prednosti vključujejo:

**Dolg doseg:** UHF valovi lahko potujejo daleč, kar omogoča odčitavanje oznak iz večje razdalje. To je koristno za aplikacije, kot je sledenje blaga v oskrbovalni verigi.

**Visoka hitrost:** UHF valovi imajo kratek valovni dolžini, kar omogoča hiter prenos podatkov.

**Visoka natančnost:** UHF valovi imajo veliko moč, kar omogoča natančno odčitavanje podatkov iz oznak.

### Slabosti tehnologije RPMA

Tehnologija RPMA ima tudi nekatere slabosti, vključno z:

**Večji stroški:** UHF komponente so dražje kot komponente za druge vrste RFID tehnologij, kar povečuje stroške RFID sistemov.

**Manj odporna na motnje:** UHF valovi so bolj občutljivi na motnje kot valovi drugih frekvenčnih območij, kar lahko povzroči težave pri odčitavanju oznak v okoljih z veliko motnjami.

Konec koncev je odločitev o tem, ali je tehnologija RPMA prava za določeno aplikacijo, odvisna od specifičnih potreb in zahtev aplikacije.

115



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Ingenu, podjetje za brezžične komunikacije,

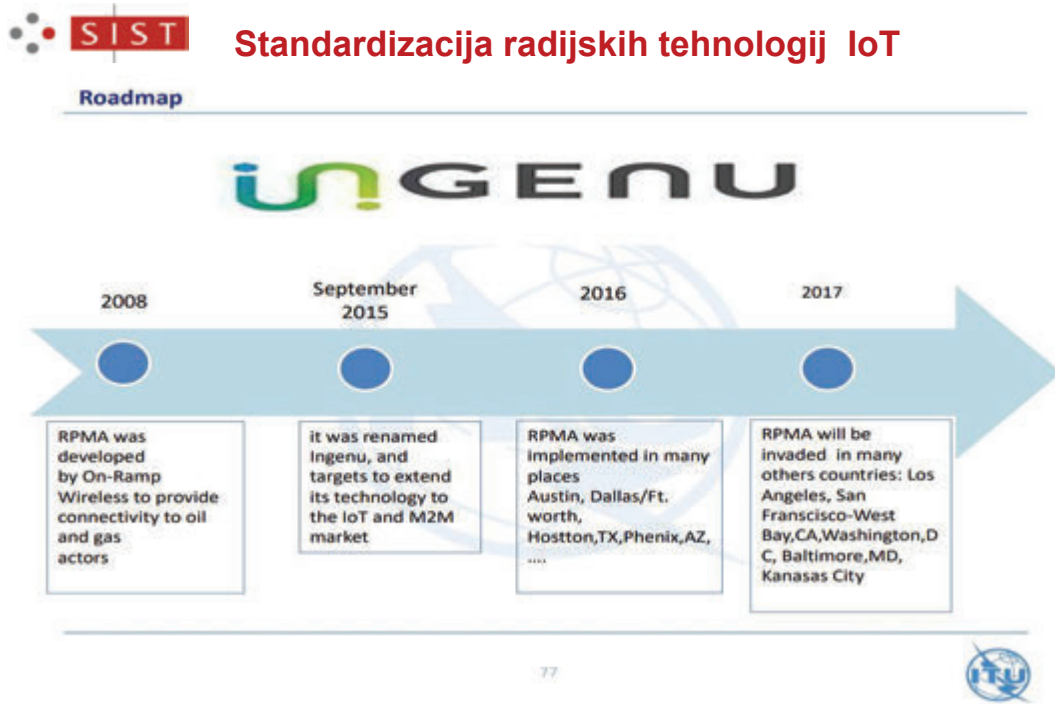
je standardiziralo tehnologijo RPMA. RPMA je odprtokoden, nizkoenergijski komunikacijski protokol, ki se uporablja za povezovanje naprav v pametnih mestih in drugih inteligentnih okoljih.

Ingenu je ustanovilo leta **2009 več tehnoloških podjetij, vključno z Cisco Systems, Qualcomm in Motorola Solutions**. Družba je razvila tehnologijo RPMA, da bi zagotovila varno in zanesljivo omrežje za povezovanje naprav v pametnih mestih.

Ingenu je leta **2014 objavil standard RPMA 1.0**. Ta standard določa tehnične specifikacije za brezžično omrežje RPMA.

**RPMA lahko deluje v različnih frekvenčnih območjih, vključno z 2,4 GHz, 433 MHz in 915 MHz.**

116



117

## **SIST** Standardizacija radijskih

### Ingenu,

je ameriško podjetje, ki razvija in ponuja tehnologijo širokega območja z nizko porabo energije (LPWAN). Njihova tehnologija, **RPMA (Radio Frequency Power Modulation A)**, je zasnovana za zagotavljanje zanesljive in cenovno dostopne povezave za naprave male moči, kot so senzorji in stroji.

Ključne prednosti tehnologije Ingenu RPMA vključujejo:

Dolg doseg: RPMA lahko zagotavlja povezavo **do 100 kilometrov v urbanih okoljih in do 200 kilometrov v podeželskih okoljih**.

Nizka poraba energije: Oznake RPMA lahko delujejo na bateriji več let.

Visoka zanesljivost: RPMA je odporna na motnje in izgubljene povezave.

Niz stroškov: RPMA je cenovno ugodna rešitev za aplikacije širokega območja z nizko porabo energije

Ingenu RPMA se uporablja v široki paleti aplikacij, vključno z:

Sledenje blaga: RPMA se lahko uporablja za sledenje lokacije blaga v oskrbovalni verigi.

Kontrola pristopa: RPMA se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov.

Upravljanje sredstev: RPMA se lahko uporablja za sledenje in upravljanje sredstev, kot so vozila, oprema in stroji.

Ingenu ima javne mreže RPMA v Združenih državah, Evropi in Aziji. Podjetje ponuja tudi storitve upravljanja omrežja, ki pomagajo podjetjem pri uporabi svoje tehnologije.

118



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija standard	Obdobje	Frekvenčno področje	Domet in hitrost prenosa signala
LoRa WAN	LoRa Alliance	2015	433 MHz, 868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	1 – 10 km, 0,3-50 kbit/s
SigFox	SigFox	2010	868 MHz, 915 MHz, 920 MHz, 923 MHz	1 – 10 km, 100 bit/s
Weightloss	Weightloss SIG	2012	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	1 – 10 km, 0,3 -100 kbit/s
RPMA	RPMA Alliance	2014	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	1 – 10 km, 1-100 kbit/s

119



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### EnOcean,

je nemško podjetje, ki razvija in proizvaja tehnologijo brezžične komunikacije z nizko porabo energije. Njihova tehnologija temelji na **principu brezžičnega napajanja, ki omogoča oznakam delovati brez baterije**. Oznake EnOcean uporabljajo energijo iz okoljskih virov, kot so svetloba, gibanje ali vibracije.

Ključne prednosti tehnologije EnOcean vključujejo:

Oznake EnOcean lahko delujejo brez baterije, kar zmanjšuje stroške in vzdrževanje.

Nizka poraba energije: Oznake EnOcean so zelo učinkovite pri porabi energije, kar jim omogoča delovanje **do 20 let**.

Visoka zanesljivost: Oznake EnOcean so odporne na motnje in izgubljene povezave.

EnOcean je cenovno ugodna rešitev za aplikacije brezžične komunikacije z nizko porabo energije.

EnOcean se uporablja v široki paleti aplikacij, vključno z:

Oznake EnOcean se lahko uporabljajo za avtomatsko vklop in izklop luči.

Oznake EnOcean se lahko uporabljajo za nadzor dostopa do območij ali objektov.

Oznake EnOcean se lahko uporabljajo za nadzor odjema energije.

EnOcean ima globalno mrežo partnerjev, ki ponujajo izdelke in storitve, ki temeljijo na njihovi tehnologiji. Podjetje ponuja tudi javno omrežje EnOcean, ki podjetjem omogoča povezovanje svojih naprav.

120





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### EnOcean

- Based on **miniaturized power converters**
- Ultra low power** radio technology
- Frequencies: 868 MHz for Europe and 315 MHz for the USA
- Power from pressure on a switch or by photovoltaic cell
- These power sources are sufficient to power each module to transmit wireless and battery-free information.
- EnOcean Alliance in 2014 = more than 300 members (Texas, Leviton, Osram, Sauter, Somfy, Wago, Yamaha ...)



84



121



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija Z-Wave,

je brezžična komunikacijska tehnologija z nizko porabo energije, ki se uporablja za avtomatizacijo doma. Z-Wave je odprt standard, ki ga podpirajo številni proizvajalci, kar zagotavlja široko izbiro naprav in rešitev.

Ključne prednosti tehnologije Z-Wave vključujejo:

Nizka poraba energije: Oznake Z-Wave lahko delujejo **na bateriji do 20 let**.

Doseg: Oznake Z-Wave lahko komunicirajo na razdalji do **100 metrov v zaprtih prostorih in do 300 metrov na prostem**.

Varnost: Z-Wave uporablja šifriranje **AES-128** za zaščito podatkov.

Združljivost: Z-Wave je odprt standard, ki ga podpirajo številni proizvajalci.

Z-Wave se uporablja v široki paleti aplikacij, vključno z:

Osvetlitev: Z-Wave se lahko uporablja za avtomatsko vklop in izklop luči.

Kontrola dostopa: Z-Wave se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov.

Upravljanje energije: Z-Wave se lahko uporablja za nadzor odjema energije.

Varnost: Z-Wave se lahko uporablja za alarmiranje in nadzor dostopa.

Z-Wave je priljubljena tehnologija za avtomatizacijo doma, saj ponuja številne prednosti, vključno z nizko porabo energije, dolgim dosegom, varnostjo in združljivostjo.

122



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Zigbee Alliance,

je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za nizkoenergijske brezžične komunikacije. Organizacija je bila ustanovljena leta 2002 in ima sedež v Austinu, Teksas, Združene države Amerike.

Zigbee Alliance ima več kot 500 članov, ki vključujejo proizvajalce naprav, razvijalce programske opreme in druge organizacije. Člani sodelujejo pri razvoju standardov za Zigbee, ki določajo tehnične specifikacije za brezžično omrežje Zigbee.

123



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### ZWave

- Low power radio protocol
- Home automation (lighting, heating, ...) applications
- Low-throughput: 9 and 40 kbps
- Battery-operated or electrically powered
- Frequency range: 868 MHz in Europe, 908 MHz in the US
- Range: about 50 m (more **outdoor**, less indoor)
- Mesh architecture possible to increase the coverage
- Access method type CSMA / CA
- Z-Wave Alliance: more than 100 manufacturers in



85



124



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Z-Wave,

- Z-Wave is a low-power MAC protocol designed for home automation and has been used for IoT communication, especially for smart home and small commercial domains,
- It covers about 30-meter point-to-point communication and is suitable for small messages in IoT applications, like light control, energy control, wearable healthcare control and others,
- It uses CSMA/CA for collision detection and ACK messages for reliable transmission,
- It follows a master/slave architecture in which the master controls the slaves, sends them commands, and handles scheduling of the whole network,



125



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Z-Wave Vs. Zigbee: How are they different?

- Z-wave has a tightly controlled product ecosystem that caters to the smart home and smart building space, whereas Zigbee can be used for a number of applications,
- There's no expectation that two Zigbee devices are interoperable unless the interoperability is preplanned. A Z-Wave application, on the other hand, will almost always integrate with another Z-Wave device,
- Zigbee uses the global standard 2.4GHz ISM frequency band, whereas Z-Wave uses the 915 MHz ISM band (in the U.S.) and the 868 MHz RFID band (in Europe),
- 2.4 GHz band can be subject to intense interference from WiFi and Bluetooth systems, whereas the sub-GHz bands Z-Wave uses do not face the same interference issues,
- Lots of providers make Zigbee radios, but Z-Wave uses a proprietary radio system from Sigma designs,
- Z-Wave uses frequency-shift keyed modulation (FSK), whereas Zigbee modulation is carried out through direct sequence spread spectrum (DSSS),

126



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### HART-IP,

HART-IP je standard, ki združuje HART komunikacijski protokol z IP komunikacijskim protokolom. HART protokol je standard za komunikacijo med senzorji in aktuatorji v industrijskih aplikacijah. IP protokol je standard za komunikacijo med računalniki in drugimi napravami v omrežjih. Standard so pripravili v **zdrúženju HART Communication Foundation**.

HART-IP omogoča, da se HART senzorji in aktuatorji povezujejo z IP omrežji. To omogoča, da se podatki iz senzorjev prenašajo na daljavo in, da se aktuatorji nadzorujejo s centraliziranim sistemom. Domet signala pri teh napravah je **od 1000 m v zaprtih prostorih do 10 000 m na prostem**.

HART-IP je standard, ki ga je razvilo združenje HART Communication Foundation. Združenje HART Communication Foundation je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za komunikacijo med senzorji in aktuatorji v industrijskih aplikacijah.

127



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Matter,

Matter je standard za povezovanje pametnih naprav v domačih in industrijskih omrežjih. Matter je zasnovan tako, da je enostaven za uporabo in da omogoča povezovanje naprav iz različnih proizvajalcev.

Matter se lahko uporablja za povezovanje različnih vrst naprav, vključno z senzorji, aktuatorji, osvetlitvijo, pametnimi napravami in napravami za domovanje. Domet signala pri teh napravah je **od 1000 m v zaprtih prostorih in 10 000 m na prostem**.

Matter je standard, ki ga je razvilo **zdrúženje Connectivity Standards Alliance (CSA)**. CSA je neprofitna organizacija, ki se ukvarja z razvojem in promocijo standardov za povezljivost naprav.

Pravilni naslov tehnologije je Matter. **Ime Maller je bilo prvotno ime tehnologije, vendar ga je Google pozneje spremenil v Matter.**

Google je tehnologijo Matter prvič predstavil leta **2021 pod imenom Maller**. Ime je bilo sestavljeno iz besed **Matter in Internet of Things**. Vendar pa je Google pozneje ugotovil, da je ime Maller težko izgovoriti in se ne ujema z drugimi Googleovimi produkti. Zato je Google leta 2022 ime tehnologije spremenil v Matter.

128



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Uporabniki so pogosto imeli težave pri medsebojnem delovanju naprav v pametnem domu, če so bile te narejene pri različnih proizvajalcih. Vendar imamo sedaj standard Matter, ki bo odpravil te težave. Standard je bil pripravljen v letu 2023 in zagotavlja zanesljivo in varno povezljivost med številnimi proizvajalci naprav.

Matter je odprtokodni protokol, ki uporabnikom omogoča povezovanje pametnih domačih naprav in mobilnih aplikacij različnih proizvajalcev z uporabo protokolov Wi-Fi ali Thread in Bluetooth LE za enostaven zagon. Glede na renome proizvajalcev in ponudnikov (npr. Apple, Amazon, Google, Samsung SmartThings) pričakujemo, da bo sprejetje izdelkov s certifikatom Matter eksponentno naraslo v naslednjih treh letih.

To bo ponovno potrdilo osrednjo vlogo Wi-Fi v pametnem povezanem domu in zgradbi. Glede na zahtevano prepustnost, pokritost in zakasnitve pričakujemo, da bo tudi Wi-Fi 6E prišel v dom, z varnostnimi brezžičnimi kamerami kot enim od primarnih primerov uporabe v bližnji prihodnosti.

129



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### G.9959.

je standard za brezžično omrežje, ki se uporablja za prenos podatkov z visoko hitrostjo na razdalji do 100 metrov. G.9959 deluje na frekvencah 5 GHz in omogoča prenos podatkov s hitrostjo do 10 Gbit/s.

Standard G.9959 je bil razvit s strani **Mednarodne telekomunikacijske zveze (ITU-T)**. Standard je bil objavljen leta **2016**.

G.9959 se pogosto uporablja za povezovanje visoke ločljivosti (HD) in 4K televizij ter drugih naprav, ki zahtevajo visoko hitrost prenosa podatkov. G.9959 je tudi primeren za uporabo v podjetjih in organizacijah, ki potrebujejo hitro in zanesljivo brezžično omrežje.

130



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija standard	Obdobje	Frekvenčno področje	Domet in hitrost prenosa signala
EnOcean	EnOcean Alliance	2001	868 MHz(EU), 915 MHz(ZDA),	30 – 100 m, 100 – 300 m, do 10 Mbps
HART-IP	HART Communication Foundation	2011	19,34 MHz, 2,4 GHz,	100 - 1000 m, do 10 kbps,
Z Wave	ZigBee Alliance	2003	868 MHz(EU), 915 MHz(ZDA), 928 MHz(Azija),	30 – 100 m, 100 – 300 m, 9,6 kbps,
Matter(Maller)	Matter(Maller) Alliance	2015	868 MHz(EU), 915 MHz(ZDA),	10 – 100 m, 100 – 300 m, 100 kbps

131



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### B – Tehnologije, ki omogočajo komunikacije na dolge razdalje

#### 2. Tehnologije, razvite v skladu z 3 GPP standardi:

- a. LTE-M , LTE CAT M-1, LTE NB,
- b. NB-IoT,
- c. EC-GSM,
- d. 5G NR-U,

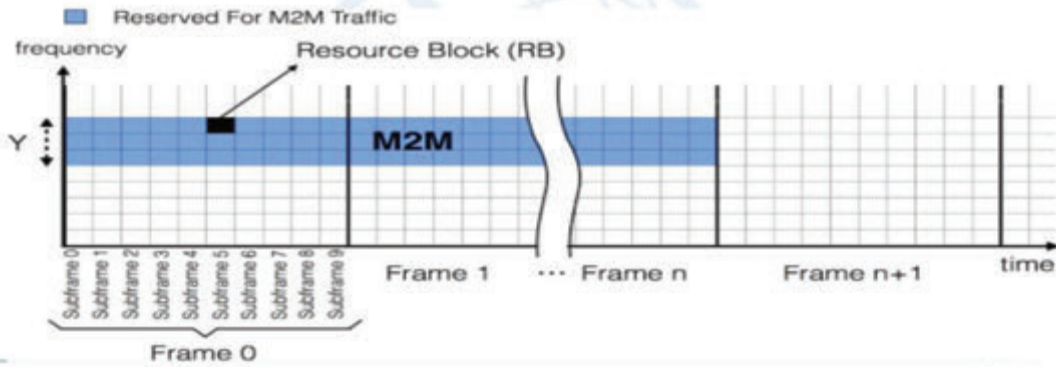
132



**SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

**Spectrum and access**

- **Licensed Spectrum**
- **Bandwidth: 700-900 MHz for LTE**
- **Some resource blocks allocated for IoT on LTE bands**

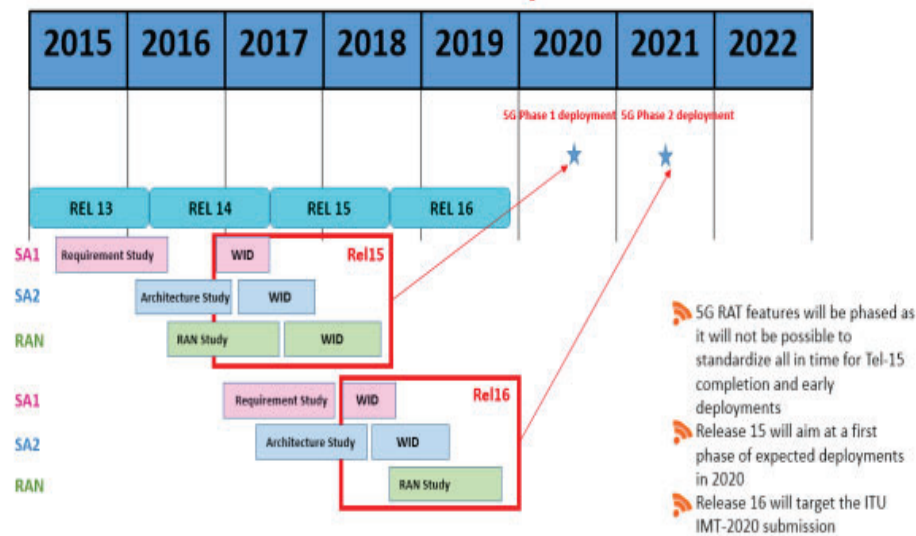


17



**SIST** Standardizacija radijskih tehnologij IoT

**3GPP Roadmap**





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Release - 13 3GPP evolutions to address the IoT market

3GPP Release 13 je bil objavljen leta 2016 in predstavlja naslednjo pomembno stopnjo razvoja mobilne komunikacijske tehnologije. Release 13 vključuje številne nove funkcije in izboljšave, ki bodo omogočile hitrejše prenose podatkov, izboljšano kakovost zvoka in slike ter nove možnosti za storitve in aplikacije.

Ena od najpomembnejših novosti v Release 13 je podpora za 5G New Radio (NR). 5G NR je nova generacija mobilne komunikacijske tehnologije, ki ponuja veliko višje hitrosti prenosa podatkov kot prejšnje generacije. Release 13 vključuje podporo za vse tri pasovne obsege 5G NR: nizki (FR1), srednji (FR2) in visoki (FR3).

Release 13 vključuje tudi številne izboljšave za obstoječe tehnologije, kot so LTE in LTE-A. Te izboljšave bodo omogočile višje hitrosti prenosa podatkov, izboljšano kakovost zvoka in slike ter nove možnosti za storitve in aplikacije.

135



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Nekatera od ključnih izboljšav, ki jih vključuje Release 13, so:

Podpora za 5G NR: Release 13 vključuje podporo za vse tri pasovne obsege 5G NR: nizki (FR1), srednji (FR2) in visoki (FR3).

Izboljšave za LTE in LTE-A: Release 13 vključuje številne izboljšave za obstoječe tehnologije, kot so LTE in LTE-A.

Te izboljšave bodo omogočile višje hitrosti prenosa podatkov, izboljšano kakovost zvoka in slike ter nove možnosti za storitve in aplikacije.

Podpora za nove storitve in aplikacije: Release 13 vključuje podporo za nove storitve in aplikacije, kot so avtonomna vozila, virtualna resničnost in umetna inteligenca.

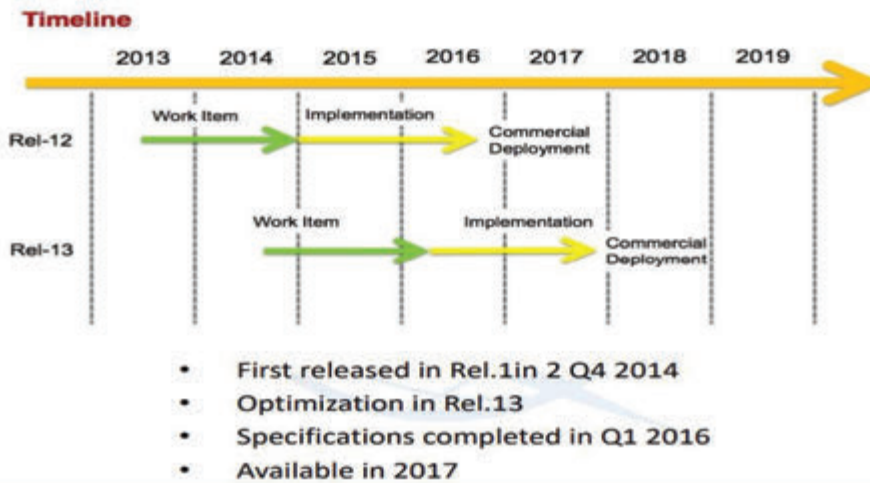
Release 13 je pomemben mejnik v razvoju mobilne komunikacijske tehnologije. Nova funkcije in izboljšave, ki jih vključuje, bodo omogočile hitrejše prenose podatkov, izboljšano kakovost zvoka in slike ter nove možnosti za storitve in aplikacije.

136



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Roadmap



13



137



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Release 14 eMTC enhancements

3GPP Release 14 je bila objavljena leta 2017 in predstavlja naslednjo pomembno stopnjo razvoja mobilne komunikacijske tehnologije. Release 14 vključuje številne nove funkcije in izboljšave, ki bodo omogočile še hitrejšo prenos podatkov, izboljšano kakovost zvoka in slike ter nove možnosti za storitve in aplikacije.

Ena od najpomembnejših novosti v Release 14 je podpora za eMBB, mMTC in uMTC. eMBB (enhanced Mobile Broadband) je namenjen za prenose podatkov z visokimi hitrostmi, mMTC (massive Machine Type Communication) je namenjen za povezovanje velikih števil brezžičnih naprav, uMTC (ultra-reliable and low-latency communication) pa je namenjen za storitve, ki zahtevajo visoko zanesljivost in nizko latenco.

Release 14 vključuje tudi številne izboljšave za obstoječe tehnologije, kot so 5G NR in LTE. Te izboljšave bodo omogočile še višje hitrosti prenosa podatkov, izboljšano kakovost zvoka in slike ter nove možnosti za storitve in aplikacije.

138



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tukaj je nekaj specifičnih primerov novih funkcij in izboljšav, ki jih vključuje Release 14:

### Podpora za 100 Gbps:

Release 14 vključuje podporo za prenose podatkov z hitrostjo do 100 Gbps. To bo omogočilo hitreje prenose video vsebine, prenose datotek in druge storitve, ki zahtevajo velike količine podatkov.

### Podpora za 10 Gbps na mobilnih napravah:

Release 14 vključuje podporo za prenose podatkov z hitrostjo do 10 Gbps na mobilnih napravah. To bo omogočilo uporabnikom, da uživajo v vseh prednostih 5G tehnologije, tudi na svojih mobilnih telefonih in tabličnih računalnikih.

### Izboljšave za mMTC:

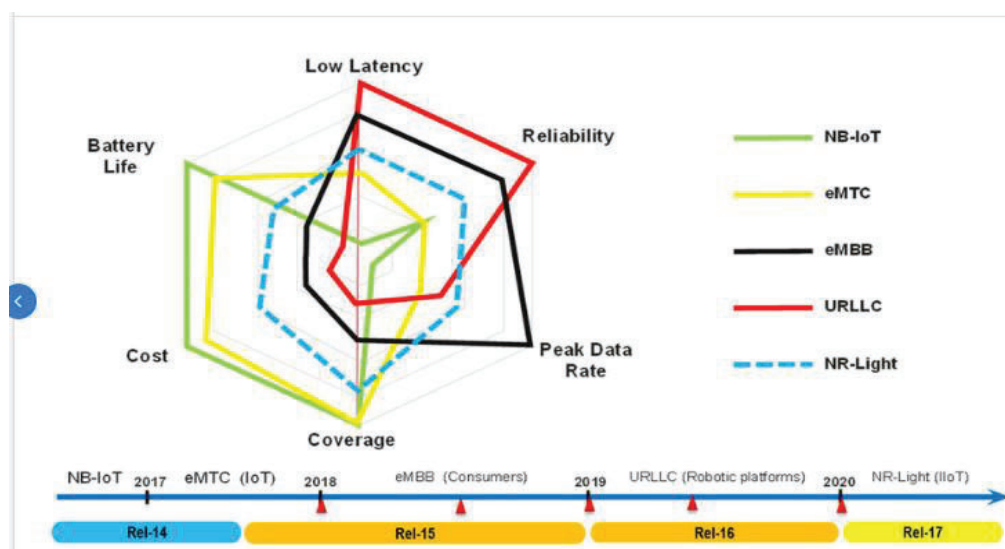
Release 14 vključuje številne izboljšave za mMTC. Te izboljšave bodo omogočile povezovanje večjih številki brezžičnih naprav, kot so senzori, IoT naprave in druge naprave, ki ne zahtevajo velikih količin podatkov.

### Izboljšave za uMTC:

Release 14 vključuje številne izboljšave za uMTC. Te izboljšave bodo omogočile storitvam, ki zahtevajo visoko zanesljivost in nizko zakasnitev, kot so avtonomna vozila in virtualna resničnost, da delujejo učinkoviteje.



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija LTE-M,

je skrajšano za **Long Term Evolution for Machines**. Je vrsta mobilne komunikacijske tehnologije, ki je zasnovana za povezovanje naprav, ki zahtevajo nizko porabo energije in velik doseg signala. LTE-M je nadgradnja tehnologije LTE, ki ponuja številne prednosti, vključno z:

LTE-M naprave lahko delujejo na bateriji do **10 let**.

LTE-M naprave lahko komunicirajo na razdalji **do 10 kilometrov v urbanih okoljih in do 100 kilometrov v podeželskih okoljih**.

LTE-M je združljiv z obstoječo mobilno infrastrukturo LTE.

LTE-M se uporablja v široki paleti aplikacij, vključno z:

Sledenje blaga: LTE-M se lahko uporablja za sledenje lokacije blaga v oskrbovalni verigi.

Kontrola dostopa: LTE-M se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov.

Upravljanje sredstev: LTE-M se lahko uporablja za sledenje in upravljanje sredstev, kot so vozila, oprema in stroji.

LTE-M je priljubljena tehnologija za internet stvari (IoT), saj ponuja številne prednosti, vključno z nizko porabo energije, dolgim dosegom in združljivostjo.



Multimode LTE-M/NB-IoT/GNSS Module

141



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija LTE CAT M-1,

je tehnologija širokopasovnih omrežij z nizko porabo energije (LPWAN), ki je zasnovana za namenska naprave, kot so sledilniki ali vodomeri, ki prenašajo majhne do srednje količine podatkov na dolge razdalje. LTE CAT M-1 je kategorija 4G tehnologije dolgoročnega razvoja (LTE) za naprave (M).

Tehnologija LTE CAT M-1 ima naslednje prednosti:

Naprave LTE CAT M-1 lahko delujejo **do 10 let z eno baterijo**. To jih naredi idealne za naprave, ki delujejo na baterije, kot so sledilniki in pametne naprave za dom.

Naprave v tehnologiji LTE CAT M-1 lahko dosežajo **razdalje do 10 km** v naseljenih območjih in **do 20 km** v podeželskih območjih. To omogoča uporabo LTE CAT M-1 v aplikacijah, ki zahtevajo široko pokritost, kot so pametne mestne in kmetijske aplikacije.

LTE CAT M-1 ima zakasnitev **do 10 ms**. To je primerno za aplikacije, ki zahtevajo komunikacije v realnem času, kot so nadzor prometa in daljinsko upravljanje.

Tehnologija LTE CAT M-1 se uporablja v različnih aplikacijah, vključno z:

LTE CAT M-1 se uporablja za sledenje naprav, kot so avtomobili, tovornjaki in osebe.

LTE CAT M-1 se uporablja za nadzor prometa, osvetlitev in drugih mestnih sistemov.

Pametna kmetijstvo: LTE CAT M-1 se uporablja za nadzor pridelkov, živine in drugih kmetijskih sistemov.

LTE CAT M-1 je razmeroma nova tehnologija, vendar se hitro širi. V letu 2022 je bilo v svetu

aktivnih več kot 100 milijonov naprav LTE CAT M-1.

142



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Tehnologija LTE NB,

Ki se imenuje tudi **Narrowband IoT**, je tehnologija širokopasovnih omrežij z nizko porabo energije (LPWAN), ki je zasnovana za namenska naprave, kot so sledilniki ali vodomeri, ki **prenašajo majhne do srednje količine podatkov na dolge razdalje**. LTE NB je kategorija 4G tehnologije dolgoročnega razvoja (LTE) za naprave (NB).

LTE NB ima naslednje prednosti:

Naprave LTE NB lahko delujejo do 10 let z eno baterijo. To jih naredi idealne za naprave, ki delujejo na baterije, kot so sledilniki in pametne naprave za dom.

LTE NB lahko dosega razdalje **do 10 km v naseljenih območjih in do 20 km v podeželskih območjih**. To omogoča uporabo LTE NB v aplikacijah, ki zahtevajo široko pokritost, kot so pametne mestne in kmetijske aplikacije.

Nizka zakasnitev: LTE NB ima zakasnitev **do 10 ms**. To je primerno za aplikacije, ki zahtevajo komunikacijo v realnem času, kot so nadzor prometa in daljinsko upravljanje.



Low-Power LTE Cat NB2 NB-IoT + GNSS Industrial Modules

143



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### NB-IoT,

kratica za **Narrowband IoT**, je vrsta mobilne komunikacijske tehnologije, ki je zasnovana za povezovanje naprav, ki zahtevajo nizko porabo energije in velikim dosegom. **NB-IoT je nadgradnja tehnologije LTE**, ki ponuja številne prednosti, vključno z:

Nizka poraba energije: NB-IoT naprave lahko delujejo na bateriji **do 10 let**.

Dolg doseg: NB-IoT naprave lahko komunicirajo na razdalji **do 10 kilometrov v urbanih okoljih in do 100 kilometrov v podeželskih okoljih**.

Zdržljivost: NB-IoT je združljiv z obstoječo mobilno infrastrukturo LTE.

NB-IoT se uporablja v široki paleti aplikacij, vključno z:

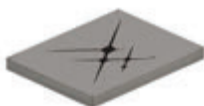
NB-IoT se lahko uporablja za sledenje lokacije blaga v oskrbovalni verigi.

NB-IoT se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov

NB-IoT se lahko uporablja za sledenje in upravljanje sredstev, kot so vozila, oprema in stroji.

Upravljanje sredstev z NB-IoT

NB-IoT je priljubljena tehnologija za internet stvari (IoT), saj ponuja številne prednosti, vključno z nizko porabo energije, dolgim dosegom in združljivostjo.

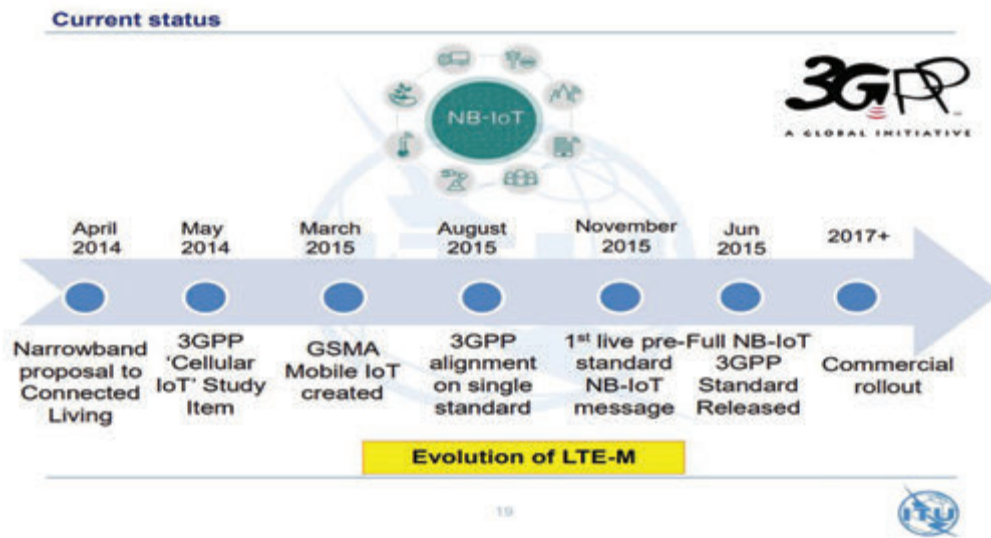


5G Massive IoT SiP Module for LTE-M/NB-IoT Platforms

144

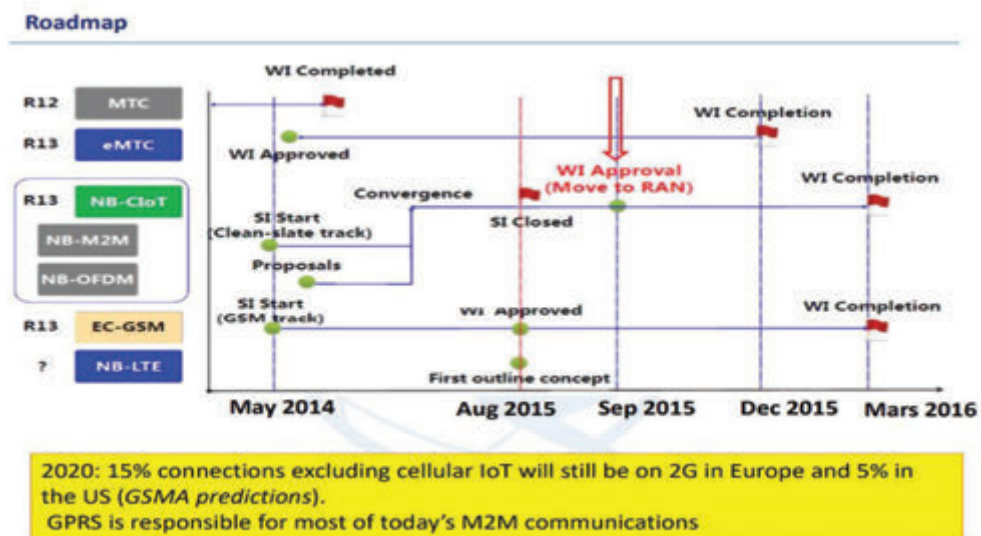


# SIST Standardizacija radijskih tehnologij IoT



145

# SIST Standardizacija radijskih tehnologij IoT



146



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### EC-GSM,

kratica za **Extended Coverage GSM**, je tehnologija širokega obsega z nizko porabo energije (LPWAN), ki je bila **standardizirana s strani 3GPP** za uporabo **v licenciranem frekvenčnem območju**. **EC-GSM temelji na eGPRS** in je zasnovan kot visokozmogljiv, z dolgim o dosegom, nizkoenergetski in nizkozapleten celični sistem za podporo komunikacijam IoT.

Ključne značilnosti EC-GSM vključujejo:

Tehnologija EC-GSM lahko zagotavlja povezavo **do 10 kilometrov v urbanih okoljih in do 20 kilometrov v podeželskih okoljih**.

Oznake EC-GSM lahko delujejo na bateriji več let.

EC-GSM je odporen na motnje in izgubljene povezave.

Tehnologija EC-GSM je cenovno ugodna rešitev za aplikacije širokega obsega z nizko porabo energije.

EC-GSM se uporablja v široki paleti aplikacij, vključno z:

EC-GSM se lahko uporablja za sledenje lokacije blaga v oskrbovalni verigi.

EC-GSM se lahko uporablja za nadzor dostopa do območij ali objektov.

EC-GSM se lahko uporablja za sledenje in upravljanje sredstev, kot so vozila, oprema in stroji.

147



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Prednosti EC-GSM v primerjavi z drugimi tehnologijami LPWAN

EC-GSM ima številne prednosti v primerjavi z drugimi tehnologijami LPWAN, vključno z:

**Velik doseg:** EC-GSM ima najdaljši doseg med vsemi tehnologijami LPWAN, kar ga naredi idealno za aplikacije, ki zahtevajo pokritost na velikih območjih.

**Združljivost:** EC-GSM je združljiv z obstoječo mobilno infrastrukturo GSM, kar zmanjšuje stroške in otežuje implementacijo.

**Varnost:** EC-GSM zagotavlja visoko stopnjo varnosti, kar je pomembno za aplikacije, ki zahtevajo zaščito občutljivih podatkov.

### Slabosti EC-GSM

EC-GSM ima tudi nekatere slabosti, vključno z:

**Nižja hitrost prenosa podatkov:** EC-GSM ima nižjo hitrost prenosa podatkov kot druge tehnologije LPWAN, kot sta NB-IoT in LTE-M. To lahko omejuje uporabnost za aplikacije, ki zahtevajo prenos velikih količin podatkov.

**Večja zapletenost:** EC-GSM je bolj zapleten kot druge tehnologije LPWAN, kar lahko otežuje razvoj in implementacijo.

Kaj je boljša izbira?

Odgovor na to vprašanje je odvisen od specifičnih potreb aplikacije. Če je aplikacija odvisna od dolga dosega in zanesljivosti, je EC-GSM boljša izbira. Če je aplikacija odvisna od hitrosti prenosa podatkov ali enostavnosti implementacije, so druge tehnologije LPWAN, kot sta NB-IoT ali LTE-M, boljša izbira.

148



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### 5G in IoT,

sta dve pomembni tehnologiji, ki sta močno povezani. 5G omogoča hitro in zanesljivo povezovanje naprav, ki so bistvene za IoT.

5G ponuja številne prednosti za IoT, vključno z:

**Visoka hitrost:** 5G omogoča hitrost prenosa podatkov do 10 Gbps, kar je bistveno več kot 4G. To omogoča napravam, da hitro izmenjujejo podatke, kar je pomembno za aplikacije, kot so nadzor v realnem času in strojno učenje.

**Nizka zakasnitev:** 5G ima zelo nizko zakasnitev, kar je ključno za aplikacije, ki zahtevajo hitre odgovore, kot so igre in animacija.

**Velika zmogljivost:** 5G omogoča veliko zmogljivost, kar omogoča povezovanje več naprav na isto omrežje. To je pomembno za aplikacije, kot so pametna mesta in industrijski internet stvari (IIoT).

IoT je področje, ki hitro raste, saj se ljudje in podjetja vedno bolj zavedajo prednosti povezanih naprav. 5G bo pomagal IoT doseči svoj polni potencial, saj bo omogočil povezovanje več naprav in izmenjavo podatkov z višjo hitrostjo in zanesljivostjo.

149



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tukaj je nekaj primerov, kako se 5G uporablja za IoT:

### Pametna mesta:

5G se uporablja za povezovanje senzorjev in drugih naprav v pametnih mestih. Ti podatki se lahko uporabljajo za nadzor prometa, kakovosti zraka in drugih pomembnih mestnih funkcij.

### Proizvodnja:

5G se uporablja za povezovanje naprav v proizvodnih obratih. Ti podatki se lahko uporabljajo za izboljšanje učinkovitosti in kakovosti izdelkov.

### Zdravstvo:

5G se uporablja za povezovanje naprav v zdravstvenih ustanovah. Ti podatki se lahko uporabljajo za izboljšanje oskrbe bolnikov in za zagotavljanje varnosti bolnišnic.

5G je še vedno v razvoju, vendar ima potencial, da močno spremeni način, kako uporabljamo IoT.

150



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Standardizacija tehnologije 5G NR-U,

poteka v okviru organizacije **3GPP (Third Generation Partnership Project)**.

V začetku leta **2023** je bila objavljena **prva različica standarda**, ki je vključevala osnovne funkcionalnosti tehnologije.

V **drugi polovici leta 2023** je bila objavljena **druga različica standarda**, ki je vključevala dodatne funkcionalnosti, kot so:

Podpora za različne vrste naprav, kot so senzorji, IoT naprave in naprave z nizko porabo energije.

Podpora za različne vrste aplikacij, kot so sledenje gibanju, pametno omrežje in pametna mesta.

**Standard 5G NR-U je bil končno sprejet v začetku leta 2024.**

V Sloveniji se standardizaciji tehnologije 5G NR-U ukvarja tudi organizacija **SIST**, ki je sodelovala pri razvoju standarda.

151



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

V prihodnje pričakujemo, da se bo **tehnologija 5G NR-U** začela širše uporabljati za povezovanje IoT naprav. Tehnologija ponuja številne prednosti, kot so:

Dolg doseg,

Majhna poraba energije,

Visoka hitrost prenosa podatkov,

Te prednosti bodo omogočile povezovanje IoT naprav v različnih okoljih, tudi v odročnih območjih.

Tukaj je nekaj primerov, kako se lahko tehnologija 5G NR-U uporablja:

Sledenje gibanju živali in ljudi,

Nadzor nad infrastrukturo, kot so mostovi in cestne osvetlitve,

Pametna mesta,

Pametna kmetijstvo,

Tehnologija 5G NR-U ima potencial, da revolucionira način, kako povezujemo IoT naprave.

152



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Tehnologija	Organizacija za standard.	Časovno obdobje	Baterija, Frekvenčno področje	Domest in hitrost prenosa signala
LTE-M	3GPP	2014 - 2017	10 let, 700, 800, 900, 1800, 2100 MHz	1 – 5 km, 10-50 km, do 1 Mbps
LTE CATM-1	3GPP	2017	10 let, 700, 800, 900, 1800, 2100 MHz	100 – 200 m. 10-10 km, do 5 Mbps
LTE NB	3GPP	2016	10 let, 850, 900, 1800, 1900 MHz	100 -200 m, 1-5 km, do 250 kbps,
NB-IoT	3GPP	2016	10 let	10-100 km
EC -GSM	3GPP	2016	5 let, 850, 900, 1800, 1900 MHz	100 -200 m, 1-5 km, do 250 kbps,
5G NR-U	3GPP	2023-2024	6 GHz, 24 GHz,	100-200 m, 1 – 5 km, do 100 Mbps



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### COMPARING LPWAN TECHNOLOGY OPTIONS

Feature	LoRaWAN	Narrow-Band	LTE Cat-1 2016 (Rel12)	LTE Cat-M 2018 (Rel13)	NB-LTE 2019(Rel13+)
Modulation	SS Chirp	UNB / GFSK/BPSK	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Rx bandwidth	500 - 125 KHz	100 Hz	20 MHz	20 - 1.4 MHz	200 KHz
Data Rate	290bps - 50Kbps	100 bit/sec 12 / 8 bytes Max	10 Mbit/sec	200kbps – 1Mbps	~20K bit/sec
Max. # Msgs/day	Unlimited	UL: 140 msgs/day	Unlimited	Unlimited	Unlimited
Max Output Power	20 dBm	20 dBm	23 - 46 dBm	23/30 dBm	20 dBm
Link Budget	154 dB	151 dB	130 dB+	146 dB	150 dB
Battery lifetime - 2000mAh	105 months	90 months		18 months	
Power Efficiency	Very High	Very High	Low	Medium	Med high
Interference immunity	Very high	Low	Medium	Medium	Low
Coexistence	Yes	No	Yes	Yes	No
Security	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Mobility / localization	Yes	Limited mobility, No loc	Mobility	Mobility	Limited Mobility No Loc



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Napovedi za prihodnost

155



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Napovedi za prihodnost radijskih IoT tehnologij so zelo optimistične. Ocenjuje se, da bo število povezanih IoT naprav do leta **2025 doseglo 175 milijard**. To pomeni, da bo potreben velik porast zmogljivosti omrežij in učinkovitosti tehnologij.

Ena od glavnih napovedi je, da se bo **uporaba tehnologij LPWAN (Low Power Wide Area Network) še naprej povečevala**.

Tehnologije LPWAN so primerne za povezovanje IoT naprav, ki potrebujejo dolg doseg in nizko porabo energije. Primerne so za aplikacije, kot so:

**sledenje gibanju,**

**pametno omrežje**

**in pametna mesta.**

156





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Druga pomembna napoved je, **da se bo uporaba tehnologij 5G NR-U začela širše uporabljati**. Tehnologija 5G NR-U ponuja številne prednosti, kot so dolg doseg, majhna poraba energije in visoka hitrost prenosa podatkov. Te prednosti bodo omogočile povezovanje IoT naprav v različnih okoljih, tudi v odročnih območjih.

Tukaj je nekaj konkretnih primerov, kako se bodo **radijske IoT tehnologije** uporabljale v prihodnosti:

### Sledenje gibanju:

Radijske IoT tehnologije se bodo uporabljale za sledenje gibanju ljudi, živali in stvari. To bo omogočilo bolj učinkovito upravljanje logistike, varnost in zdravje.

### Pametno omrežje:

Radijske IoT tehnologije se bodo uporabljale za povezovanje pametnih naprav v omrežju. To bo omogočilo nadzor nad infrastrukturo, kot so mostovi, cestne osvetlitve in pametne semaforje.

### Pametna mesta:

Radijske IoT tehnologije se bodo uporabljale za ustvarjanje pametnih mest. To bo omogočilo bolj učinkovito upravljanje prometa, javne razsvetljave in javnega prevoza.

### Pametno kmetijstvo:

Radijske IoT tehnologije se bodo uporabljale za spremljanje pridelkov in živali v kmetijstvu. To bo omogočilo bolj učinkovito pridelavo hrane in varstvo okolja.

**Radijske IoT tehnologije imajo potencial, da revolucionirajo številne industrije.** V prihodnjih letih pričakujemo, da se bo njihova uporaba še naprej povečevala.

157



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### 2017-2026 IoT standards evolution



126

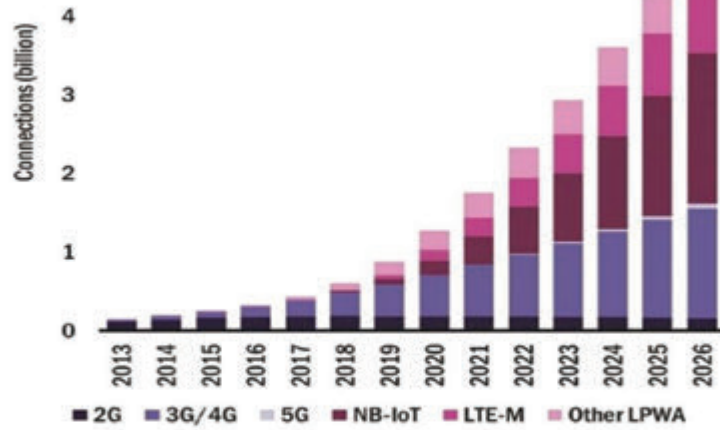


158



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Future of IoT connectivity by network type across the world



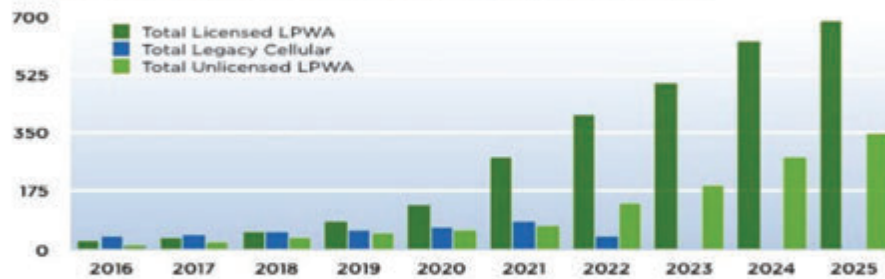
NB-IoT will be the dominant network for IoT in 2026 (Analysys Mason)



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Chipset Shipments Evolution

#### Total Chipset Shipments by Technology Type (Millions)



Source: ABI Research





## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Forecasts in 2026

- **NB-IoT will form the largest market in 2026**
- Many operators are deploying **more than one LPWA** technology as all are relatively inexpensive to deploy
- **LTE-M** is better suited to supporting **mobility**, whereas **LoRa** or **Sigfox** better support **static applications**
- Analysys Mason: **China** will be the biggest market for IoT of all types by 2026 with **North America** and **Europe** in second and third places.
- Both Canada and the US are in the process of closing 2G networks, even though 2G connections formed 17% of the total in 2017.
- The market share for **3G/4G networks – 55% of the total IoT connections in 2017** – will decrease over the forecast period as LPWA networks take over.

116



161



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Main technologies for LPWANS



162



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT



163



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

Globalni prihodki celičnih omrežij interneta stvari so se leta 2022 povečali za 24 odstotkov in dosegli 10,8 milijarde evrov. Vendar predstavljajo le dva odstotka skupnih mobilnih prihodkov med največjimi skupinami operaterjev.

Napovedi: do leta 2027 bo po vsem svetu v mobilna omrežja povezanih 5,3 milijarde naprav IoT, te bodo ustvarile letni prihodek od povezljivosti v višini 21,4 milijarde EUR, kar je več kot dvakrat več od vrednosti zabeležene v letu

2022 in približno dvakrat več naročnikov kot v letu 2022. Prvih 10 mobilnih operaterjev je konec leta 2022 poročalo o skupni aktivni bazi 2,3 milijarde celičnih IoT povezav; to je 87 odstotkov vseh (2,7 milijarde povezav).

China Mobile je največji svetovni ponudnik storitev celične IoT povezljivosti z 1,06 milijarde celičnih IoT povezav s precejšnjo razliko (več kot 100 odstotkov);

China Telecom in China Unicom sta na drugem in tretjem mestu s 407 milijoni oziroma 390 milijoni povezav.

Vodafone je najvišje med zahodnimi operaterji in četrti s 160 milijoni povezav; AT&T je s 107 milijoni na petem mestu.

Verizon, Deutsche Telekom in Telefónica zaostajajo na šestih, sedmih in osmih mestih, vsak ima med 36 in 57 milijoni.

KDDI in Orange zaokrožujeta prvih 10, vsak s približno 30 milijoni. Najhitrejša letna rast med prvimi 10 je bila okoli 37 odstotkov.

164



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Wi-Fi in konvergenca 5G/6G,

Konvergenca napreduje v smeri omogočanja dostopa do zasebnih ali javnih storitev 5G prek Wi-Fi. Popolna konvergenca zahteva standardizacijo in skupno jedrno omrežje, ki se bo razvijalo le postopoma. Izgradnja skupnega jedra poenostavi omrežno arhitekturo in zmanjša operativne stroške s ponovno uporabo funkcij. Medtem je medsebojno delovanje med dostopnimi sistemi za ohranitev IP-naslova prek meddostopnih predaj mogoče realizirati na preprostejši način s kolokacijo elementov jedrnega omrežja 5G s krmilnikom WLAN in je lahko prednostna možnost za večino uvedb z obstoječim odtisom Wi-Fi.

Veliki operaterji že uvajajo zasebno 5G, ker želijo sinergijo z Wi-Fi. Pričakujemo, da bodo ponudniki omrežij v prihodnjih letih še naprej uvajali Wi-Fi v mobilna omrežja, z Wi-Fi 6/6E za notranja omrežja in fiksna omrežja ter 5G/celično za zunanja in mobilna okolja. Wi-Fi 7 morda ne bo dovolj zapolnil vrzeli s 5G, da bi prepričal nekatera podjetja, da ga izberejo za zahtevnejše primere uporabe

165



## Standardizacija radijskih tehnologij IoT

### Ambient IoT,

je koncept, ki se nanaša na ekosistem velikega števila predmetov, ki so povezani v brezžično senzorsko omrežje. Ambient IoT se razlikuje od tradicionalnega IoT-ja po tem, da uporablja nizkocenovna senzorska vozlišča z napajanjem, ki so vedno vklopljena in posredujejo podatke v realnem času.

Eden od izzivov Ambient IoT-ja je zagotoviti zanesljivo napajanje za nizkocenovna senzorska vozlišča. Baterije so tradicionalen način napajanja senzorskih vozlišč, vendar imajo kratko življenjsko dobo in jih je treba redno menjati. To lahko predstavlja izziv, zlasti v primerih, ko so senzorska vozlišča v težko dostopnih območjih.

**Napajanje brez baterij** je alternativa baterijam, ki ponuja več prednosti. Napajanje brez baterij je lahko cenejše, bolj zanesljivo in bolj trajno. Obstaja več različnih tehnologij napajanja brez baterij:

**Sončna energija:** Sončna energija je naravni vir, ki je na voljo v večini regij sveta. Sončna energija lahko napaja senzorska vozlišča v zaprtih in odprtih prostorih.

**Vetrna energija:** Vetrna energija je še en naravni vir, ki je na voljo v številnih regijah sveta. Vetrna energija lahko napaja senzorska vozlišča v območjih z močnim vetrom.

**Energija iz gibanja:** Energija iz gibanja lahko napaja senzorska vozlišča, ki so nameščena na premikajočih se objektih. Ta tehnologija lahko uporablja energijo iz gibanja za polnjenje baterij ali za neposredno napajanje senzorskih vozlišč.

**Energija iz okolja:** Energija iz okolja je lahko kombinacija različnih virov, vključno s sončno energijo, vetrno energijo in energijo iz gibanja. Ta tehnologija lahko uporablja več različnih virov za napajanje senzorskih vozlišč

166

# Satelitska povezljivost IoT

## *IoT Satellite Connectivity*

**Luka Mustafa**

Inštitut IRNAS

[musti@irnas.eu](mailto:musti@irnas.eu)

### **Povzetek**

Satelitska povezljivost IoT postaja vedno bolj priljubljena, saj omogoča veliko število primerov uporabe zunaj pokritosti mobilnih omrežij, ki pokrivajo le do 30 % sveta. Nedavna uvedba nezemeljskih omrežij 3GPP (NTN) v kombinaciji z znižanjem stroškov izstrelitev satelitov zdaj omogoča več podjetjem in tehnologijam, da ponujajo nove vrste povezljivosti. V tem predavanju si bomo ogledali rezultate praktičnih preizkusov satelitske IoT povezljivosti, razpravljali o oblikovalskih odločitvah pri ustvarjanju satelitsko povezanih IoT izdelkov in razpravljali o aplikacijah.

### **Abstract**

*IoT satellite connectivity is gaining traction as it enables a large number of use-cases outside the coverage of mobile networks, which cover only up to 30% of the globe. The recent introduction of 3GPP Non-Terrestrial-Networks (NTN) combined with a decrease in cost of satellite launches is now enabling a set of companies and technologies to offer new types of connectivity. In this talk we will look at test results of practical tests of satellite IoT connectivity, discuss design choices when creating satellite connected IoT products and debate the applications.*

---

### **Biografija avtorja**



**Luka Mustafa** od leta 2014 vodi Inštitut IRNAS s svojo miselnostjo izumitelja in ustvarjalca. Zadolžen je za poslovno strategijo, spremlja vse vidike razvoja strojne opreme v projektih v katere je inštitut

vključen. Je strokovnjak za telekomunikacije in redno predava o prednostih odprte in prihodnosti pripravljene strojne opreme na dogodkih po vsem svetu. Je alumni fundacije Shuttleworth.

### **Author's biography**

*Luka Mustafa leads Institute IRNAS since 2014 with his inventor & maker mindset. He is incharge of business strategy, keeps an eye on all aspects of hardware development in projects the Institute is involved in. He is an expert in telecommunications and regularly speaks about the benefits of open and future-proof hardware at events around the world. He is a Shuttleworth Foundation Fellowship Alumni.*



# Satellite IoT connectivity

Luka Mustafa

---

Where are we heading with Satellite IoT?

SRK2024 – 2.2.2024

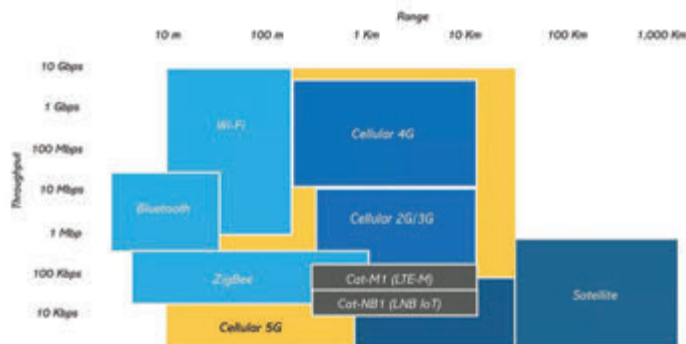
[www.iras.eu](http://www.iras.eu)



Your custom hardware development partner.

1

## Satellite IoT scope



Range and Throughput of Wireless Technologies (Source: Hewlett Packard Enterprise (2016) 2)

## Why satellite IoT connectivity?

- Terrestrial cellular is available to 95% of global population
- Cellular coverage covers 15% of the earth surface
- Satellite connectivity for IoT unlocks connected applications away from population
- IoT devices – sensors, trackers and other units
- Connected directly to satellites
- Possibly roaming or re-using terrestrial networks

## Coverage

### LEO/MEO

- LEO satellites have unstable orbit, frequent almanac changes

### GEO

- Static position and always covering one part with a beam

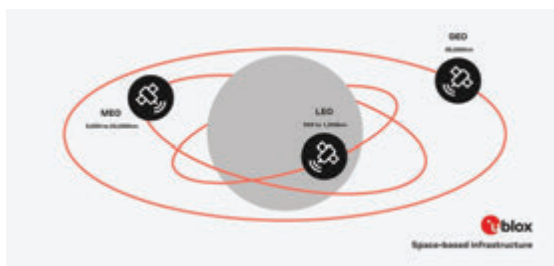


Figure 11 Schematics of orbital altitudes and coverage areas

# Frequency bands

Spectrum band	Frequency	Example of supporting operators	Primary uses
VHF	30–300 MHz	CubeSats	Amateur satellite activities, select military and aviation applications
LHF	300 MHz–1 GHz	-	Communication and meteorological/environmental satellites
L-band	1–2 GHz	Inmarsat, Orbcomm	Low bandwidth communications (e.g. satellite phones, low earth orbit systems, Internet of Things) and navigation systems
S-band	2–4 GHz	Globalstar, Iridium	Communications satellites and weather radar systems
C-band	4–8 GHz	-	Satellite communications, TV feeds, and maritime applications
K-band	UA, 7.25–7.75 GHz DU, 7.9–8.4 GHz	-	Military applications
Ku-band	12–18 GHz	Eutelsat, Kepler	Satellite communications and broadcasting heavily relied on by maritime applications
K-band	18–27 GHz	-	Unsuitable for satellite communications
Ka-band	27–40 GHz	KLEO, SpaceX	Its broader frequency range at higher frequencies facilitates support for higher bandwidth services, but it is more susceptible to atmospheric attenuations such as rain-fade
V-band	40–75 GHz	OneWeb, OneWeb, SpaceX	A substantial portion of this spectrum is designated for satellite usage

**blox**  
Compilation of the frequency ranges employed by satellites

# Some “old space” companies

Operator	Band	Constellation owner	Type	Altitude (km)	Orbit period	Data type
IRIDIUM	L	IRIDIUM	LEO	780	100 m	Voice, data
INMARSAT	L	INMARSAT	GEO	36,000	24 h	Voice, data
ORBCOMM	L	INMARSAT	GEO	36,000	24 h	Data
	VHF	ORBCOMM	LEO	750	100 m	
GLOBALSTAR	S, L	GLOBALSTAR	LEO	1,400	114 m	Voice, data



## Satellite network features for use-cases

### IoT – Internet of Things

- Low-power connectivity
- Reasonable revisit times
  - 24h limiting
  - 1h useful
  - <15min generally useful
- Low-cost hardware

### D2D – Direct to Device

- Real-time communication required
- “base station in the sky”
- Works with mobile phones without extra equipment

Recommended reading:  
Gabriel Maiolini Capez, Santiago Henn, Juan A. Fraire, Roberto Garello. Sparse Satellite Constellation Design for Global and Regional Direct-to-Satellite IoT Services. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2022, pp.1-16. 10.1109/TAES.2022.3185970. hal-03722737

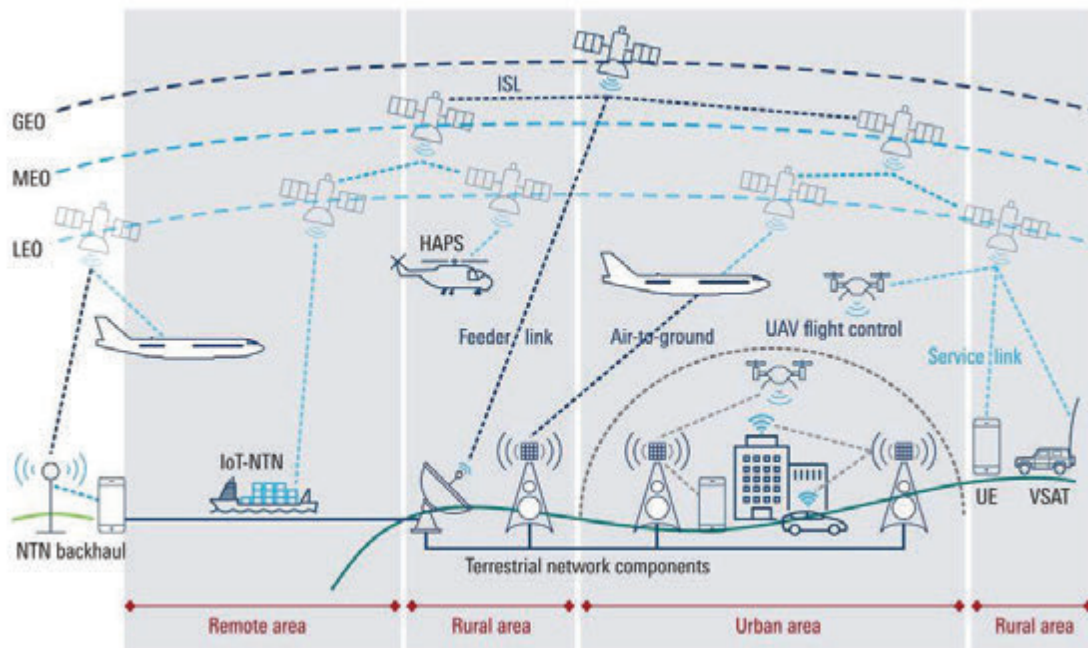
## Types of IoT solutions

- Purpose-built terminal equipment
  - Requires a module or similar specific to the satellite network
  - Often high-cost
  - Very reliable
  - Vendor lock-in
- Universal terminal equipment
  - Using standard terminal equipment otherwise used in terrestrial networks
  - NB-IoT/LTE-M as defined in 3GPP Release 17
  - LoRaWAN with LRFHSS or similar



# 3GPP Non-Terrestrial Network (NTN)

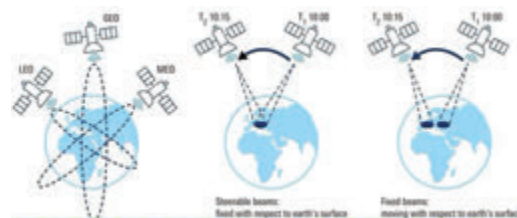
www.irnas.eu



[https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/test-and-measurement/wireless-communication/cellular-standards/5g-test-and-measurement/non-terrestrial-networks-ntn/non-terrestrial-networks-ntn\\_256719.html#media-gallery-6](https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/test-and-measurement/wireless-communication/cellular-standards/5g-test-and-measurement/non-terrestrial-networks-ntn/non-terrestrial-networks-ntn_256719.html#media-gallery-6)

# Challenges

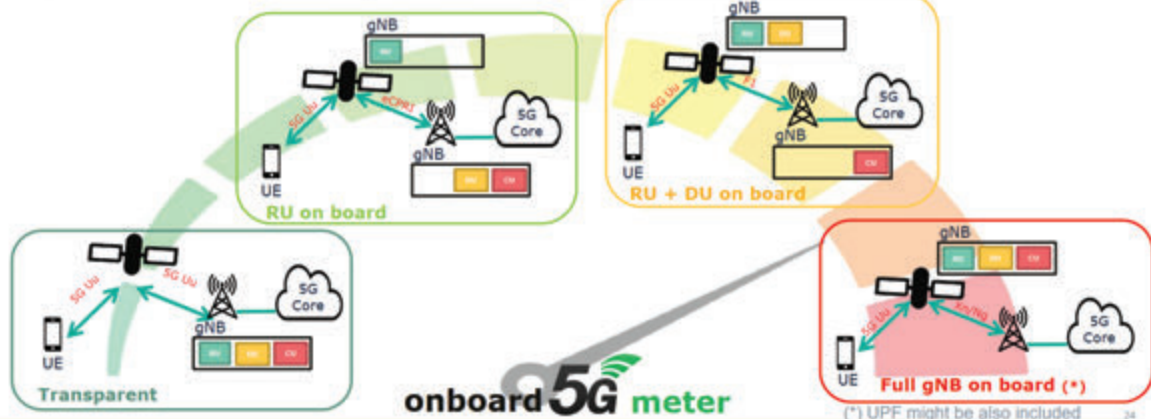
- Earth-fixed beam from satellite
  - Minimal handovers of UE
- Roaming spot beam
  - Simpler to implement
- Position of UE and satellite required to use ephemeris
- Doppler shift
  - LEO 50kHz@2GHz band
- Latency
  - LEO 10ms



<https://www.mwrf.com/technologies/embedded/systems/article/21252945/rohde-schwarz-nonterrestrial-network-technology-from-a-3gpp-perspective>

## Regenerative architectures

- ❑ Several possible architectures are possible as a result of the g-NodeB Split
- ❑ Each architecture has several benefits and challenges to be traded-off
- ❑ User Plane and Control Planes might follow different approaches





## Current state of NTN modems

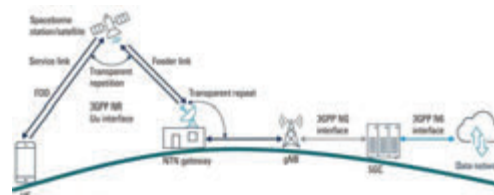
- Samsung Exynos 5300
- Mediatek MT6825
- Quectel CC660D-LS
- Qualcomm 212S, 9205S
- + others



## IoT-NTN

- Dis-continuous coverage
  - Ephemeris required on-device
  - Location required on-device
  - Low-power requires careful management

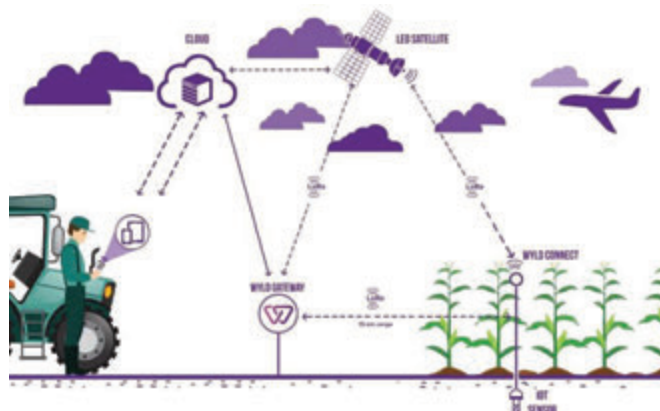
- NB-IoT and LTE-M



# LoRa / LoRaWAN satellite networks

[www.irnas.eu](http://www.irnas.eu)

## LoRaWAN to satellite

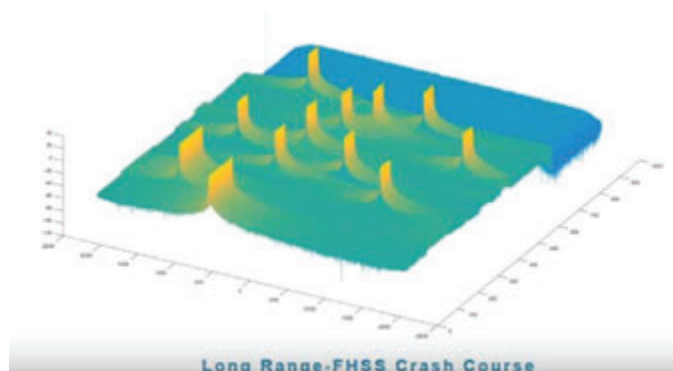


## Overview

- LoRa or LR-FHSS available as modulation
- LoRaWAN provides device management and network coordination
- Frequency band subject to each company or spectrum access
- SWARM – LoRa on VHF (discontinued)
- Lacuna.space LR-FHSS on 868/915MHz
  - LEO
- Lacuna.space + Omnispace – S-band
  - MEO S-band
- EchoStar
  - GEO S-band



## LR-FHSS modulation



<https://www.youtube.com/watch?v=QbH28P6c-qM>

### LR-FHSS supports large frequency drifts

- No TCXO required
- < 100 Hz/sec, no sensitivity impact
- < 300 Hz/sec, less than 1.5 dB sensitivity impact

# LR-FHSS

Table 6: Summary of the Single Gateway Network Capacity

	Capacity in Uplinks per Day per Gateway	
	In a 125 kHz Channel	In a 1.5 MHz Channel
LoRa mostly SF7	150k	1.2M (8 channels)
LoRa SF12	5k	40k (8 channels)
LR-FHSS	1,000k theory limit	11,000k theory limit
	700k based on the current implementation	

## 4.1 Link Budget

In the FCC region on the 915 MHz band, the LR-FHSS enables the transmitter with higher output power because it is categorized as a GRF part 15.247 FHSS system. As a result, the device can be certified to output 30 dBm, 8 dB more than is allowed for LoRa with an 8.16 channel gateway. On the receiver side, the gateway achieves 2 dB better sensitivity compared to LoRa SF10BW125.

Table 4: Link Budget Comparison in FCC Region

	LoRaFSK (8.16 channel gateway)	LR-FHSS	Difference
Maximal transmit Power	22 dBm	30 dBm	8 dB
Best Sensitivity	-136 dBm	-137 dBm	2 dB
Link Budget	157 dB	167 dB	10 dB

This 10 dB link budget improvement can be converted to about 3X free-space transmission distance improvement, and 1.5X in a terrestrial propagation scenario. In ETSI-regulated regions, the LR-FHSS has a similar link budget as the lowest LoRa data rate (SF12BW125kHz) in LoRaWAN.

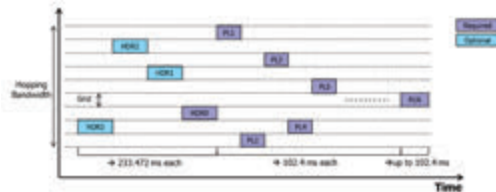
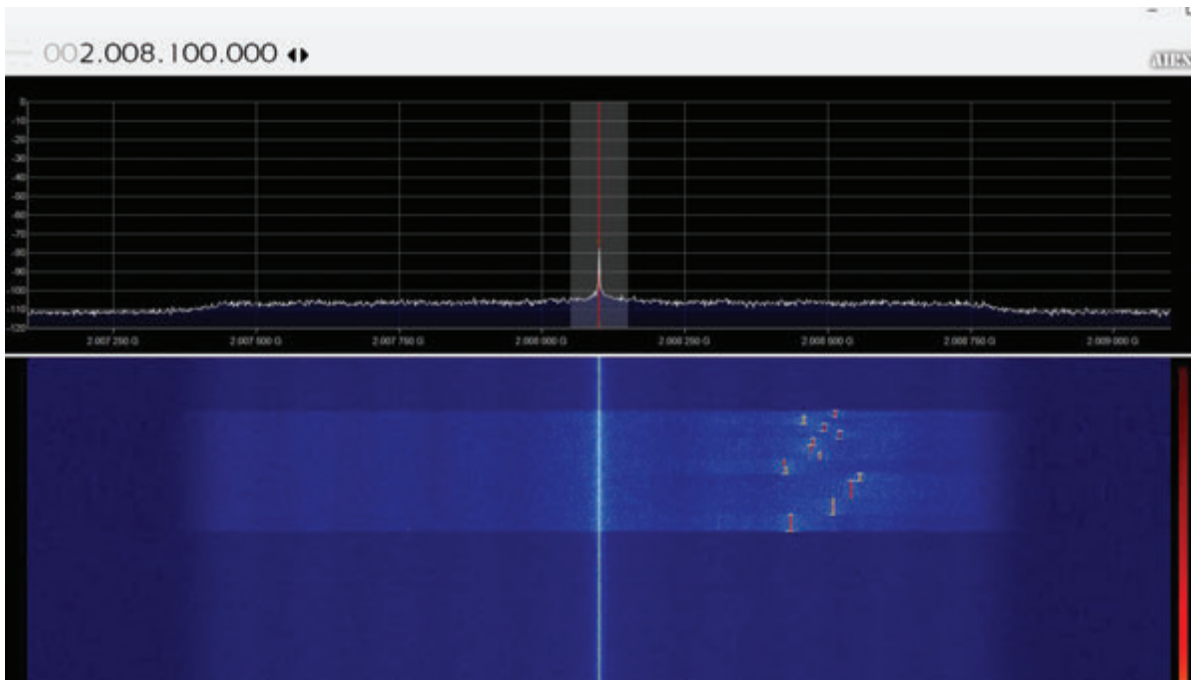


Figure 1: Frequency Profile of Single LR-FHSS Packet

[https://www.mouser.com/pdfDocs/AN1200-64\\_LR-FHSS\\_system\\_performance\\_V1\\_2.pdf](https://www.mouser.com/pdfDocs/AN1200-64_LR-FHSS_system_performance_V1_2.pdf)



# IRNAS practical demonstration LacunaSpace & OmniSpace & IRNAS

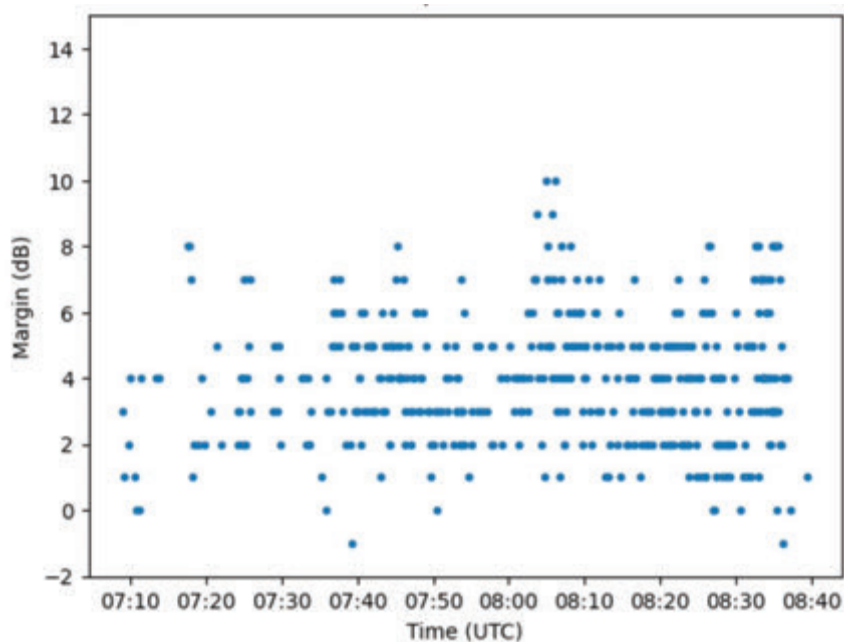
S-Band communication

[www.irnas.eu](http://www.irnas.eu)

## Yes, it works from on-board antenna

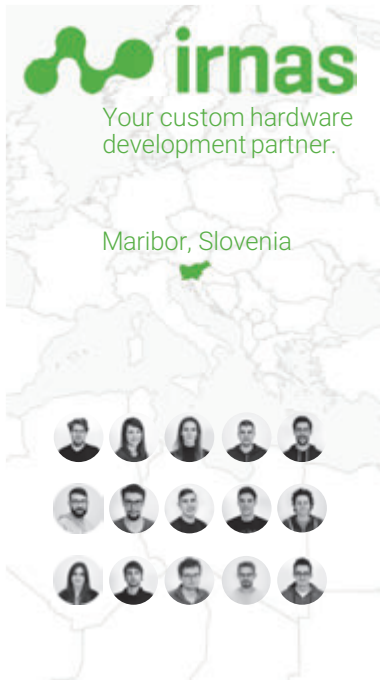
- Connecting a small IoT device, size of a phone or smaller is feasible directly to satellite with on-board antenna
- Demonstration project of IRNAS, Lacuna Space and Omni Space on S-Band
- Practical, but with limitations





The advertisement features a solid green background with white, wavy, abstract lines. In the center, the **irnas** logo is displayed, consisting of a stylized white icon of three rounded shapes followed by the word "irnas" in a bold, lowercase sans-serif font. Below the logo, the text "Your custom hardware development partner." is written in a white, lowercase sans-serif font. In the bottom left corner, the website address "www.irnas.eu" is displayed in a smaller white font.



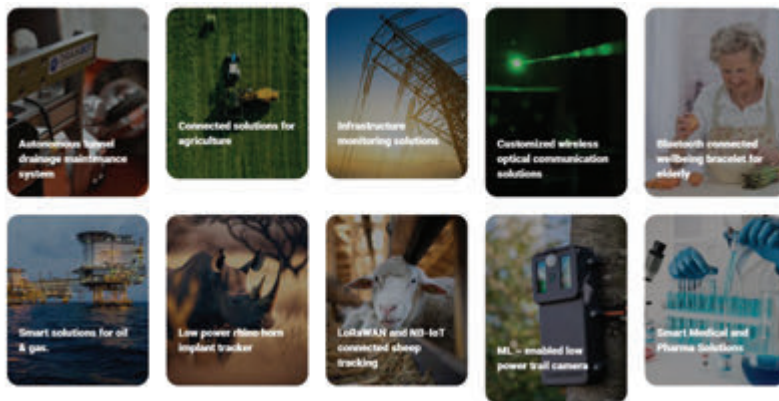


## Who we are

- Cross-disciplinary team of 15 engineers
- 10 years of development of connected hardware products
- In-house infrastructure built for agile hardware development

IRNAS Presentation video: [https://www.youtube.com/watch?v=c6stvvZ\\_1Ug](https://www.youtube.com/watch?v=c6stvvZ_1Ug)

We develop connected products for different industries



# Življenjski cikel avtomatiziranega upravljanja spektra: namensko orodje za vsako rabo

## *Automated Spectrum Management Lifecycle: a dedicated tool for each need*

**Rubén Perdiz**

ATDI

[r.perdiz@atdi-group.com](mailto:r.perdiz@atdi-group.com)

### **Povzetek**

ATDI-jeve avtomatizirane rešitve za upravljanje spektra upravljajo z vsemi vidiki življenjskega cikla spektra. To so rešitve, ki integrirajo in avtomatizirajo ključne funkcije v upravljanju spektra, kot so licenciranje, inženirska analiza, administracija in nadzor.

### **Abstract**

*ATDI's automated spectrum management solutions manage every aspect of the spectrum lifecycle. Solutions that integrate and automate key functions in Spectrum Management like licensing, engineering analysis, administration and monitoring.*

V zadnjih 5 letih je vključen v področje spremljanja spektra, z različnimi vlogami, od zbiranja KPI do analize vpliva let-teh na sistem za upravljanje spektra.

### **Author's biography**

*Rubén Perdiz is telecommunications engineer with more than ten years experience in radio spectrum management. He is being involved in technical analysis of different networks (Analog/Digital Broadcast, MW links, Satellite, 3G/4G/5G, Radars, etc...). He is in charge of successfully finished and ongoing SW projects within Radio Planning and Spectrum Management fields, for different Regulation Authorities, both civilian and military, in Southern Europe, Africa, Latin America and Middle East. During the last 5 years, he has been involved in Spectrum Monitoring field, with a variety of roles from KPI's collection to their impact analysis within the Spectrum Management system.*

### **Biografija avtorja**



**Rubén Perdiz** je inženir telekomunikacij z več kot desetletnimi izkušnjami na področju upravljanja radijskega spektra. Ukvarja se s tehnično analizo različnih omrežij (analogna/digitalna radiodifuzija, mikrovalovne zveze, satelitske komunikacije, sisteme 3G/4G/5G, radarje itd.). Zadolžen je za projekte na področjih radijskega načrtovanja in upravljanja spektra za različne regulativne organe (tako civilne kot vojaške) v južni Evropi, Afriki, Latinski Ameriki in na Bližnjem vzhodu.

SRK 2024



# HTZ Communications

*A Complete Network Planning Software*

ATDI Group  
11 boulevard Malesherbes  
75008 Paris, FRANCE  
contact@atdi.com  
Phone: +33 1 53 30 81 41

SRK 2024  
26<sup>th</sup> Seminar on Radio Communications  
31<sup>st</sup> of January to 2<sup>nd</sup> of February, 2024  
Faculty of Electrical Engineering  
Ljubljana, Slovenia

www.atdi.com

www.atdi.com

## About Us

CRITICAL COMMUNICATIONS NETWORK PLANNING AND MODELLING SOFTWARE SOLUTIONS FOR BOTH INDOOR AND OUTDOOR

OUR FOCUS IS TO SUCCEED AT EVERY LEVEL OF OPERATIONS IN ELECTROMAGNETIC SPECTRUM OPERATIONS

ATDI are global leaders in the development and implementation of automated spectrum management solutions.

For over three decades, we have backed over 2,000 civil and defence spectrum agencies, operators and vendors. Our solutions continue to evolve to meet the growing needs of the critical communications industries.

We provide a unique and global solutions for:

- **Radio planning and optimisation:** activities for all communication and transmission systems used by the Ground/Air/Sea/Space forces;
- **Frequency management (FM)**
- **Spectrum management solution (SMS):** for planning, coordinating, and managing joint use of the EMS through operational, engineering and administrative procedures;
- **Electronic Warfare (EW)** management / interception and intelligence

ATDI | HTZ Communications





# Our Offices Global Footprint

- Allows us to leverage different time zones
- Provide support around the clock
- Fast response times
- Draw resources from across the group to support larger projects ensuring we offer the very best services to our end users
- Shared experiences – combining many man-years experience across the group. At every stage of the project (from project outset to going live) we aim to learn and improve our services. To do that we carry out regular internal project reviews and a group review at handover.



ATDI | HTZ Communications



# Our Services



### Training

Customised training service online or onsite.



### Support

24/7 global technical support via phone, email and web-conference



### System Customisation

Business analysis, system design, architecture, customisation, integration, and configuration.



### Spectrum consulting

Provide professional consulting services in spectrum engineering and management to solve any spectrum issues.



### Cartographic data

Medium to High resolution DTM and Clutter library. Cloud base digital map image streaming and cache support.



### System Deployment & Maintenance

Support on Go-Live, Testing, and bug fixing. On-going maintenance support with software updates.

ATDI | HTZ Communications

[www.atdi.com](http://www.atdi.com)

# HTZ Communications



## HTZ Communications

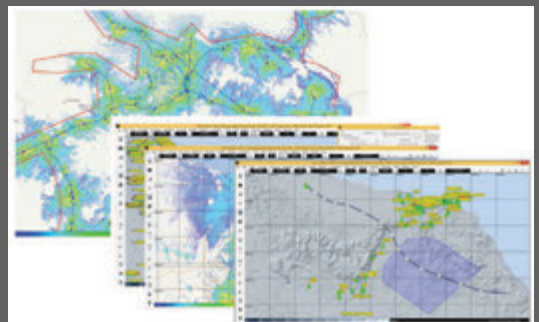
### ALL-IN-ONE TOOL FOR RADIO COMMUNICATION SERVICES

HTZ communications is new edition of world leading RF design and spectrum engineering solution includes several groundbreaking features such as **AUTOMATIC RADIO NETWORK PLANNING**, **GIS ENGINE WHICH ENABLES TO CREATE HIGH RESOLUTION** building information in raster from Digital Surface Model – DSM samples.

Our radio simulation software incorporates every aspect of radio propagation and ensures public, private, licensed or unlicensed radio communication networks offer a **HIGH DEGREE OF RELIABILITY**, are **CONTINUOUSLY AVAILABLE** and do not suffer from **HARMFUL INTERFERENCE**.

HTZ communications delivers an **UNMATCHED DEGREE OF PRECISION** and quality to users across the radio communications industry. The software incorporates features and functions to manage the latest technologies; **LTE-A, 5G and IoT low power WAN**. It also simulates PMR, drones, UAVs and radars to support the planning of radio networks **from 8 kHz upto 1THz**. Best in class calculation speeds pixel by pixel, resulting from **massive processing** and **virtual machine licensing scheme**;

HTZ communications is capable of handling prospective planning, automatic frequency allocation, coverage optimization, carrier aggregation, through put simulation, 3D coverage simulation including ground-air, air-air or sea-ground radio communication analysis; **Multiple technologies** can be simulated in the same project and coexistence of technologies or objects such as the impact of windfarms on airport radars or human exposure to electromagnetic fields can be analyzed.



[www.atdi.com](http://www.atdi.com)

ATDI | HTZ Communications



# Technologies available in HTZ communications

**Broadcast :** Radio analog and digital (FM, AM, LF/MF, TDAB, etc.), TV analog and digital (DVB, DVB-T2, ISDB-T, DMR, DVB-S, DVBS2, etc.)

**Radio cellular technologies:** 5G-NR (FDD/TDD), LTE Advanced (latest 3GPP release ) UMTS, R99, HSDPA, HSUPA, HSPA+, DB-HSDPA, DC-HSDPA, CDMA 2000 1x, CDMA 200 EV-DO, DCS., GSM, GPRS, EDGE, EDGE Evolution PMR, Trunked Radio Systems (TETRA, TETRAPOL, APCO-25, MPT 1327), GSM-R, DCS, CDMA EVDO GPRS, Wi-Fi (802.11a/b/g/ac), WiMax (802.16 a/d/e), MBSFN-LTE, NB-IoT (3GPP), IoT/LoRA/SigFox, WiFi, Ingenu, LoWPAN, RPMA, Zigbee, Enocean, ISA 100, LTE-M, LTE-R (TDD/FDD), ZWave, Mesh network, Smart Grid, CISCO smart grid technology,, SCADA,

**Mission Critical Communication:** VHF/UHF, DMR, HF, LINK11, LINK16, TETRA, PMR, TETRAPOL , P25, DMR, CDMA, CDMA 2000, TEDS, PR4G, PS-LTE (Public Safety) , paging...

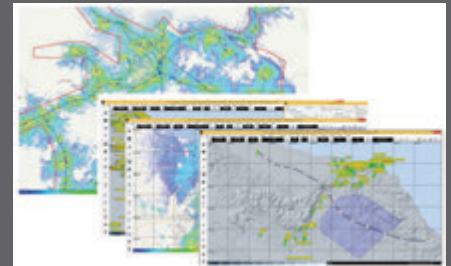
**Satellite/Earth station**

**Microwave-links & Point to Multi-Points**

**Aeronautical & UAVs :** Communications (Ground To Ground/Ground To Air), Radio Navigation (GP, markers, Loc, MLAT, DME, TACAN, NDB, Markers, GBAS RX, MLS AZ, etc.) and Surveillance systems, drones

**Radio-localisation:** DF/Sensors/MLAT, Telemetry, TDOA, RSSI, etc.)

Subscribers and User Equipment



www.atdi.com

ATDI | HTZ Communications



# Radio Planning and Optimisation

**HTZ Communications provides a complete set of RF analysis capabilities in a single software toolset**


- Network Design and Modelling
- Coverage calculation (multi-resolution, deterministic and statistical propagation models, outdoor, indoor, mixed outdoor/indoor, diffraction, lateral diffraction, troposcattering, subpath integration, climate components, absorption, reflexions, 3D engines, user programmable models) and analysis
- Coverage analysis and report
- Capacity planning and analysis
- Traffic analysis
- Terrain and Field strength profiles
- Interference analysis
- Automatic Frequency assignment
- Automatic Cell planning and candidate selection
- Automatic optimization of parameters
- Handover and neighbour planning
- Antenna configuration analysis
- Indoor analysis
- KPIs analysis
- Multi RAT technologies and heterogeneous networks
- Measure (correlation, tuning, import and others)
- Localization features (based on TDOA and RSSI levels)
- Etc...

ATDI | HTZ Communications

www.atdi.com




ATDI PRODUCTS RANGE





# Public Safety

PLANNING AND OPTIMIZATION FOR PUBLIC SAFETY NETWORK OPERATORS



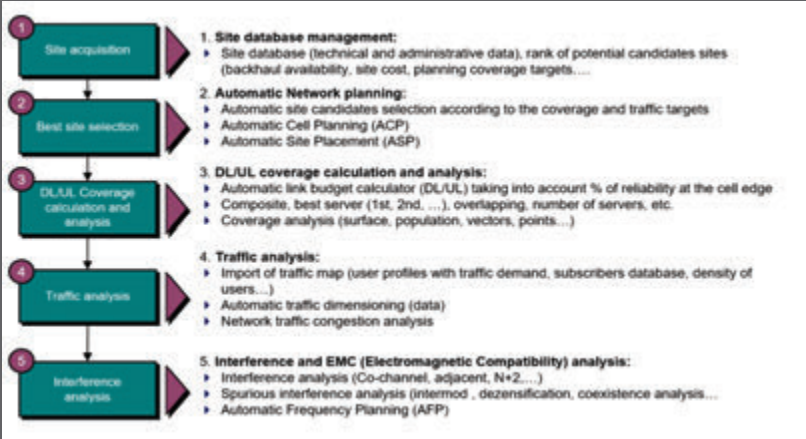
HTZ communications is a network planning solution that combines network planning and optimization for VHF/UHF and public safety networks (DMR, TETRA, PS-LTE, P25...).

9



# Radio Planning and Optimisation

HTZ Communications supports the entire life-cycle of radio network planning and optimisation



1. **Site acquisition**

2. **Best site selection**

3. **DLUL Coverage calculation and analysis**

4. **Traffic analysis**

5. **Interference analysis**

**1. Site database management:**

- Site database (technical and administrative data), rank of potential candidates sites (backhaul availability, site cost, planning coverage targets,....)

**2. Automatic Network planning:**

- Automatic site candidates selection according to the coverage and traffic targets
- Automatic Cell Planning (ACP)
- Automatic Site Placement (ASP)

**3. DLUL coverage calculation and analysis:**

- Automatic link budget calculator (DL/UL) taking into account % of reliability at the cell edge
- Composite, best server (1st, 2nd, ...), overlapping, number of servers, etc.
- Coverage analysis (surface, population, vectors, points...)

**4. Traffic analysis:**

- Import of traffic map (user profiles with traffic demand, subscribers database, density of users...)
- Automatic traffic dimensioning (data)
- Network traffic congestion analysis

**5. Interference and EMC (Electromagnetic Compatibility) analysis:**

- Interference analysis (Co-channel, adjacent, N+2...)
- Spurious interference analysis (intermod., dezensification, coexistence analysis...)
- Automatic Frequency Planning (AFP)

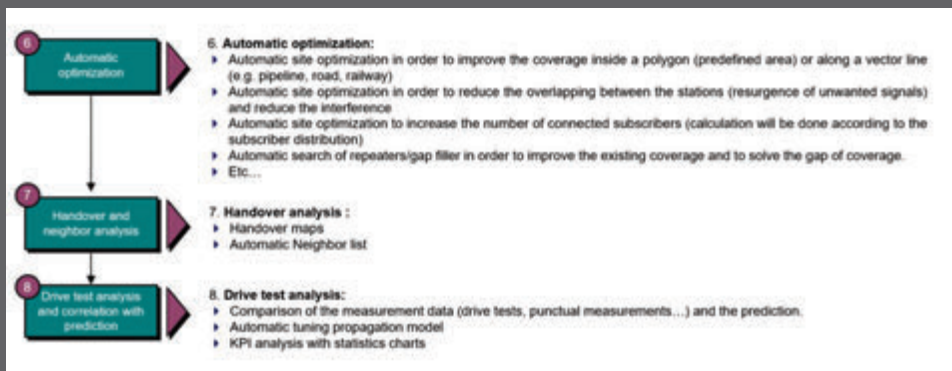
ATDI | HTZ Communications

w.atdi.com



# Radio Planning and Optimisation

HTZ Communications supports the entire life-cycle of radio network planning and optimisation



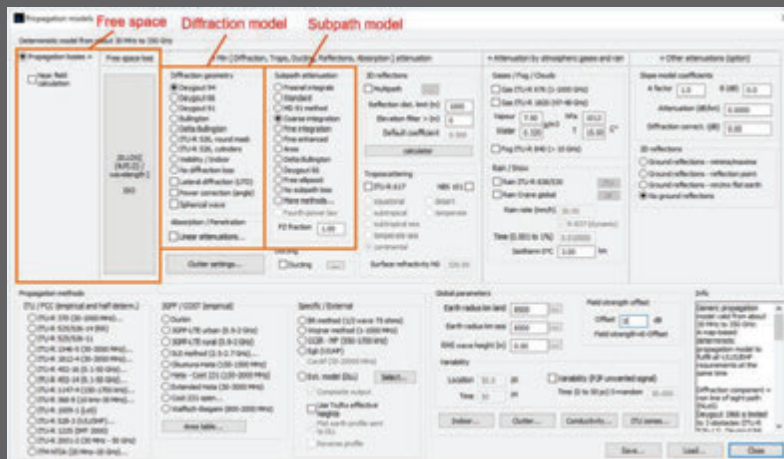
ATDI | HTZ Communications

www.atdi.com

# Propagation Models in HTZ Communications

Full deterministic propagation models (from 30MHz to 1 THz) including the advanced "Deygout 94" diffraction model which guarantee that your coverage prediction will be fast and accurate. This propagation model provides Unprecedented prediction reliability compared to others radio planning tools with a higher correlation percentage between prediction and measurements, greater than 95%.

The engineering functionality covers all radio services throughout the whole radio spectrum along with over fifty propagation models ranging from VLF to EHF. Full deterministic models supporting all the band from 30 MHz to 350 GHz and standards propagation models (Hokumura Hata, COST 231, Ray Tracing, ITU-R....),...



ATDI | HTZ Communications

www.atdi.com

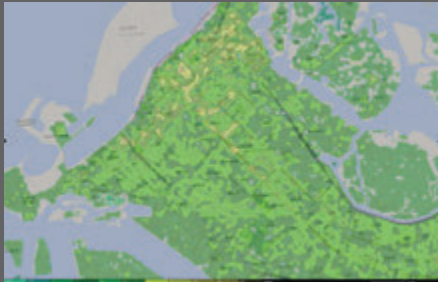


# GIS Layers in HTZ Communications

- 2.5D and 3D maps
- 1m and 5m resolution maps derived from 50cm native production
- 1m absolute and 3m relative accuracy for all dimensions
- Elevations including DSM/DTM/DHM
- Supporting up to 20 Clutter classes
- 50 cm orthoimages



DTM



Clutter



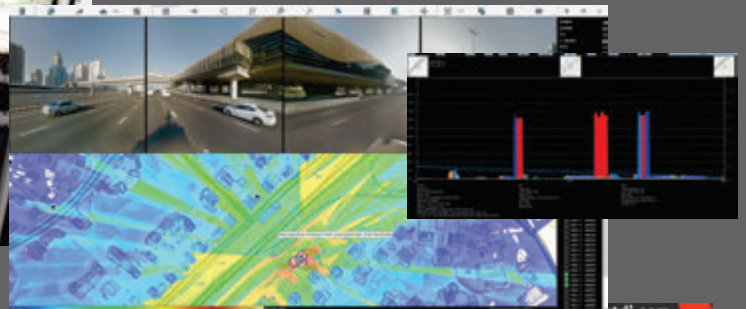
Image



# GIS Layers in HTZ – 3 D building layer



5G NR simulation and analysis (Beam RSRP)



ATDI | HTZ Communications

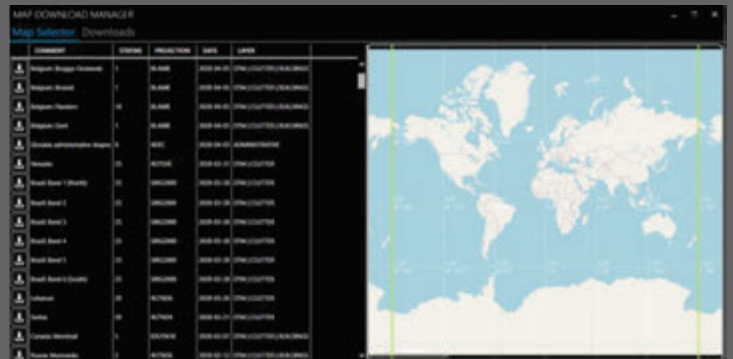
www.atdi.com



# Worldwide Cartographic Data Library

ATDI offers a worldwide cartographic data library for all HTZ software license users. The data is developed using the open-source maps from national government agencies for GIS and land survey (e.g Norwegian maps authority/geonorge.no)

The quality of maps vary between 1 m (DTM, clutters and 3D building) and 25 m (DTM and clutters), depending on the source resolution,



ATDI | HTZ Communications



# Link Budget Calculation

## HTZ provides an in-built link budget calculator

to calculate them based on different input parameters:

- RSRP threshold for best server and RS coverage display and during SNIR calculations
- Coverage threshold for the minimum field strength (or power received) on the UE from the eNodeB/gNodeB. It is set in the Threshold parameters box as the Global threshold, or Cov. threshold in station parameters (if mode "Threshold from stations" is set in Threshold parameters box). It is an unbalanced threshold and is calculated from:
  - ✓ Network parameters (Bandwidth, Probability to achieve, Standard deviation);
  - ✓ Downlink parameters: SNIR required for throughput, Noise figure.
- Rx threshold for the minimum field strength (or power received) on the eNodeB/gNodeB from the UE. It is an unbalanced threshold and is calculated from:
  - ✓ Network parameters (Bandwidth, Probability to achieve, Standard deviation);
  - ✓ Uplink parameters: SNIR required for throughput, Noise figure.



ATDI | HTZ Communications





# Managing Technical Parameters

HTZ provides a comprehensive technical parameter setup for both transmitters and receivers. In addition, database can be used to select equipment (Tx/Rx) and antennas or predefined station/mobile settings.

Once the coverage of each station has been performed, it will be automatically attached to the stations. So, when saving the network (either to a Network file .EWFx) or a station database (Internal or SQL), the coverage will be saved along with the station locations and parameters. No need to perform the coverage again and can be used for further calculations (Composite coverage, Best server, SNIR maps, Throughput maps, ...).



ATDI | HTZ Communications

# Massive MiMO Beamforming (1/3)

### Key capabilities

- Multi-port
- Beam-forming
- Multi-user MIMO (massive MIMO)

### Antenna database

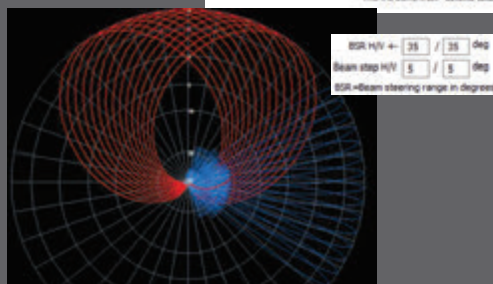
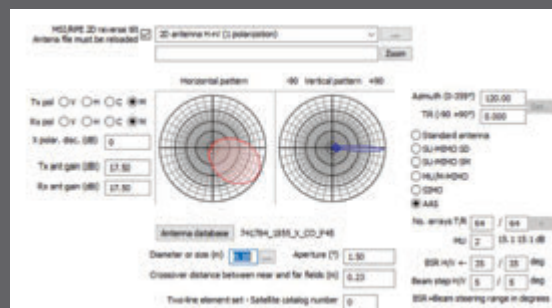
- Managing multiple vendors

### Smart antenna – auto switch

- Transmission diversity (SD-MIMO)
- Spatial multiplexing (SM-MIMO)
- Multi-user (MU-MIMO)
- Mixed (all above)
- Auto switch to achieve best throughput

### NR adaptive (SMART) – Beamforming

- Specify min/max limits
- V and H planes
- Specify steering steps



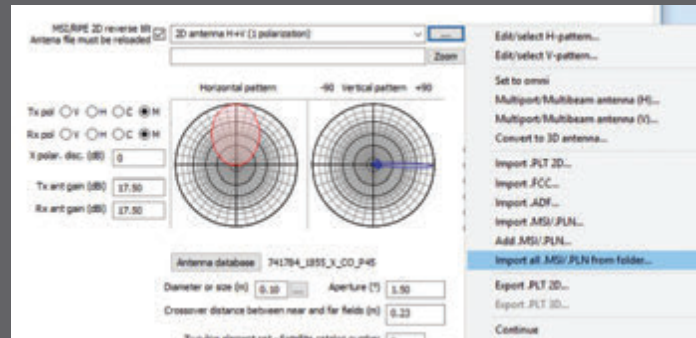
ATDI | HTZ Communications



# Massive MiMO & Beamforming (2/3)

## NR adaptive (SMART) – batch import of beam patterns

Support broadcast and service beams: Batch importation and combination of multiple beams



ATDI | HTZ Communications

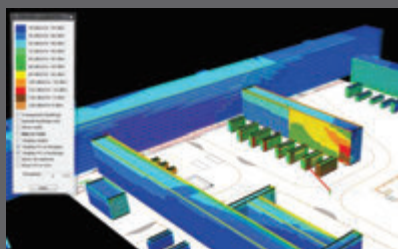
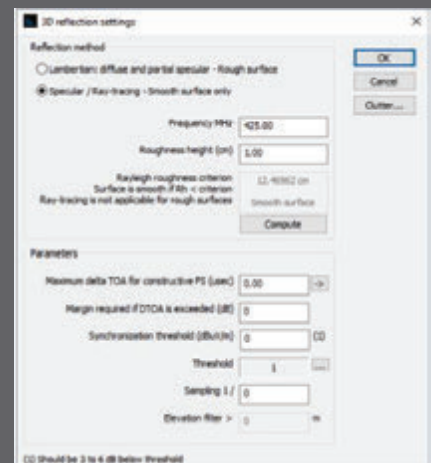
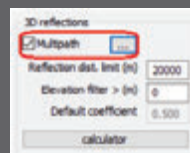


# Reflections– Multi-Path (3D reflection)

Using the full-deterministic propagation models, HTZ supports 3D ray tracing which calculates reflectivity of tunnel walls, ceiling and ground.

It includes the Specular / Ray tracing mode which is applicable for smooth surface reflection calculation such as tunnels. Only one reflected ray is considered for each reflection point, where Reflection angle = Incident angle.

Multi-path reflections



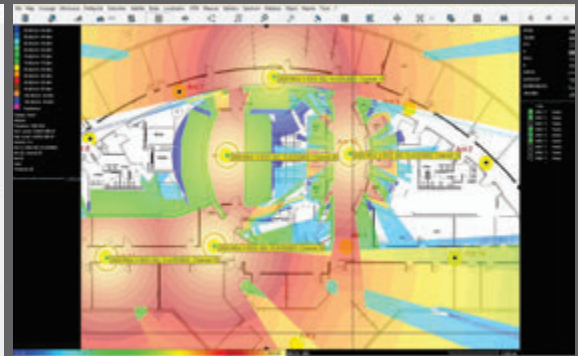
ATDI | HTZ Communications





# Indoor Planning

- INDOOR NETWORK DEPLOYMENT FUNCTIONS FOR 2G/3G/4G/5G/ WI-FI/TETRA SYSTEMS
- BUILDING DATA CAN BE EXTRACTED, USING ATDI TOOLS FROM A BASIC DIGITAL FLOOR PLAN.
- BASED UPON THE WALL MATERIAL (CONCRETE, SEPARATION IN BRICK ON THE SAME FLOOR....) STANDARD AND MANUAL ATTENUATION CAN BE APPLIED, INCLUDING ATTENUATION WHEN A CEILING/FLOOR IS CROSSED.

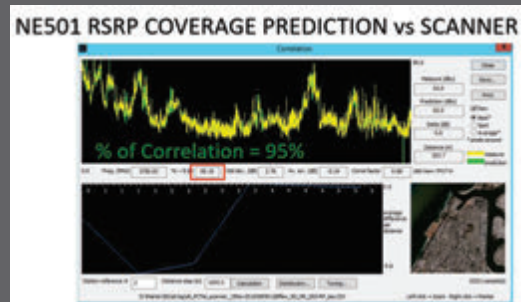
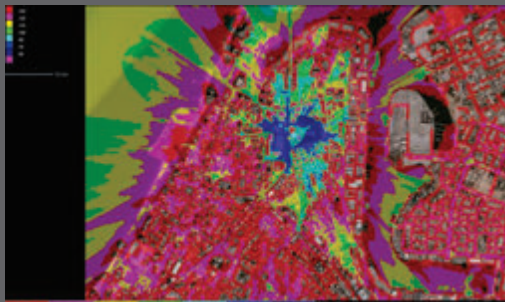


ATDI | HTZ Communications



# Superior Prediction Liability

Correlation between prediction and measurement 5G-NR (3.750 GHz)



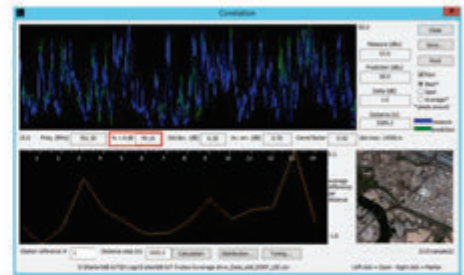
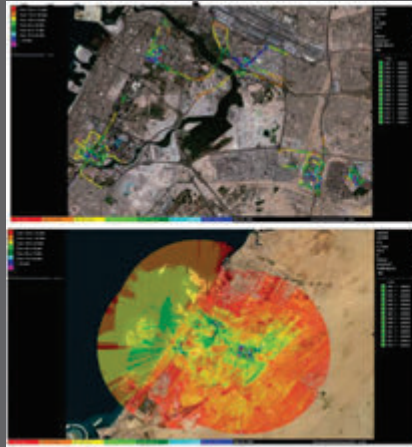
ATDI | HTZ Communications

www.atdi.com



# Superior Prediction Liability

Correlation between prediction and measurement NB-IoT (790 MHz)



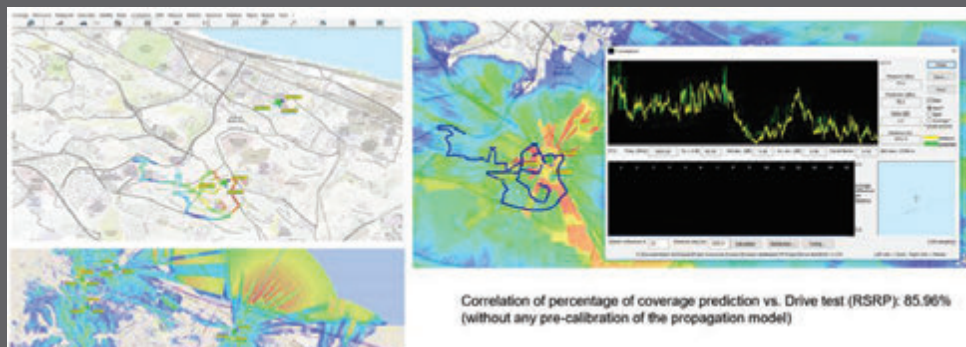
Correlation of percentage of coverage prediction vs. Drive test (RSRP): 79.19% (without any pre-calibration of the propagation model)

ATDI | HTZ Communications



# Superior Prediction Liability

Correlation between prediction and measurement 4G (1800 MHz)



Correlation of percentage of coverage prediction vs. Drive test (RSRP): 85.96% (without any pre-calibration of the propagation model)

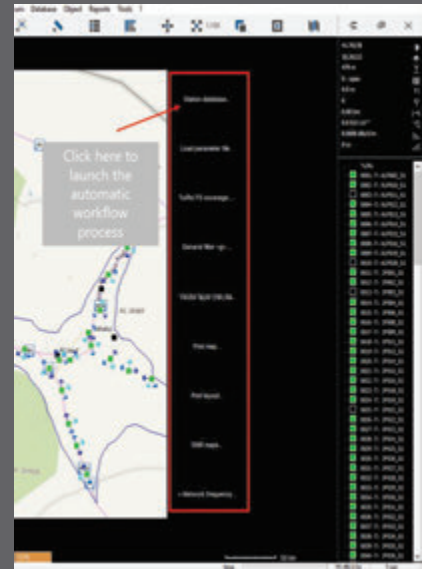
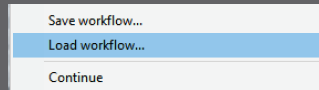
ATDI | HTZ Communications

www.atdi.com



# AUTOMATIC WORKFLOWS

The workflow module implemented in HTZ communications allows to define typical step by step process and to automatically run the pre-defined steps, helping the users to create their own routines.



ATDI 25



# Parallel Computation

HTZ supports multisession/multicore parallel computation in a database level. It enhances the computation efficiency to manage large scale network planning and management. When the network design and analysis is required on a high-resolution GIS inputs, it benefits even higher.



ATDI | HTZ Communications

www.atdi.com

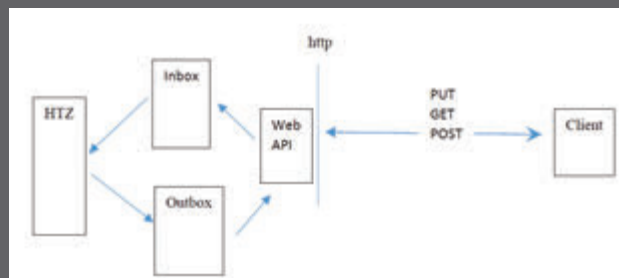
## Automation tasks in HTZ communications

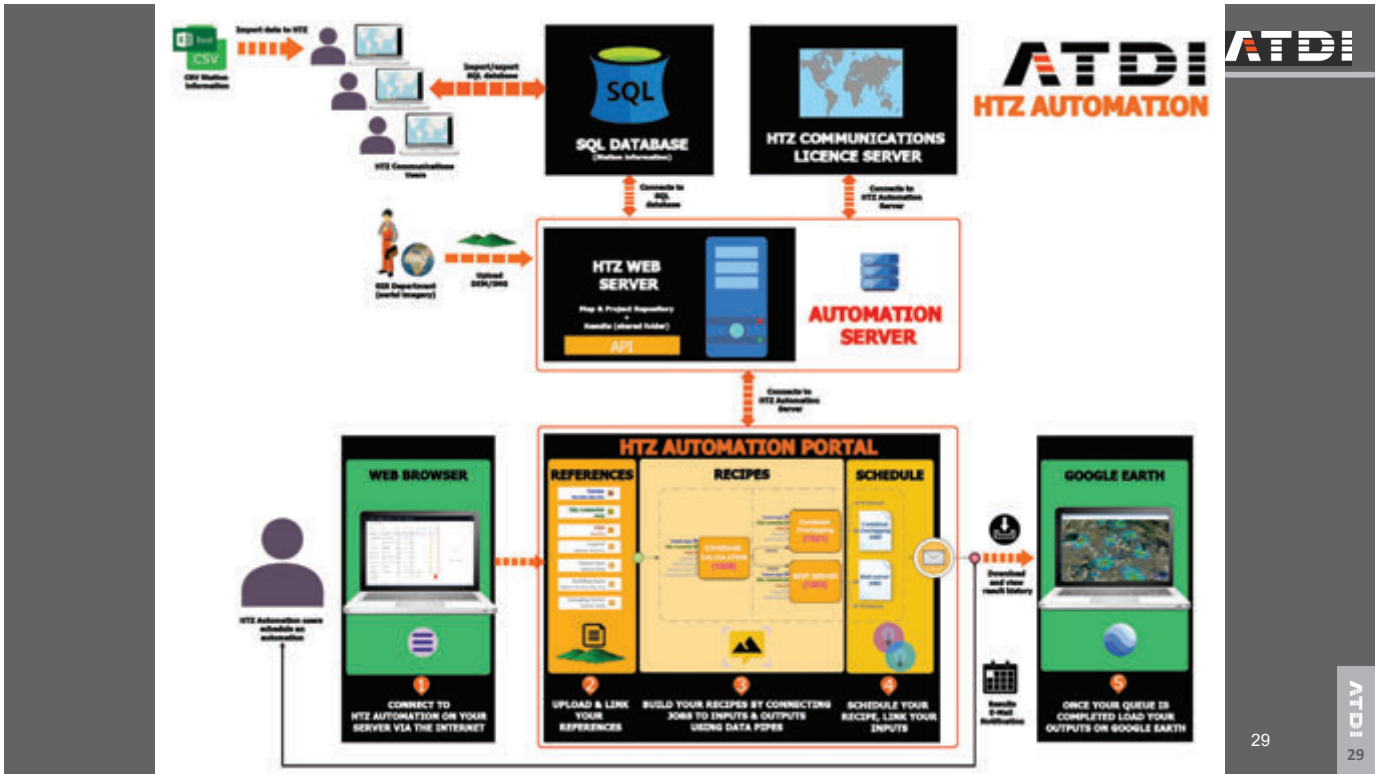
- **REST API** and actions codes available in **HTZ communications** enable to improve internal technical tasks/process to enhances the user experience and to reduce time treatments and avoid mistakes.
- **Fully automated process** of RF network planning. Example:
  - A. map extraction from Arc-GIS database server
  - B. map conversion to HTZ communications format
  - C. sites/trailers location update/corrections by utilizing API and database approach
  - D. network modelling such as LTE, WIFI, TETRA...
  - E. coverage predictions
  - F. coverage analysis
  - G. coverage exportation to a 3<sup>rd</sup> party application such as the web-portal

27

## Planning Automation

- The integrated API allows HTZ to seamlessly connect the HTZ spectrum engine to other systems or platforms, allowing integration into larger systems.
- The Web API simplifies integration by using a request script to send messages to the HTZ spectrum engine.
- The calculations are undertaken in HTZ and the results are exchanged in XML or JSON format between the applications.





ATDI PRODUCTS RANGE

### ATDI SPECTRUM MANAGEMENT SYSTEM

**Spectrum monitoring**

Spectrum monitoring data

Complaint Inspection Monitoring Localization Identification

ICS MONITORING/SDRN CONTROL

**Workflow & Data management**

Spectrum management data

Notification, Coordination, Licensing & Billing Frequency plan, Allocation;

ICS manager

**Technical analysis**

Digital maps

Coverage Interference Assignments Traffic, EMC

HTZ

WEB Query service

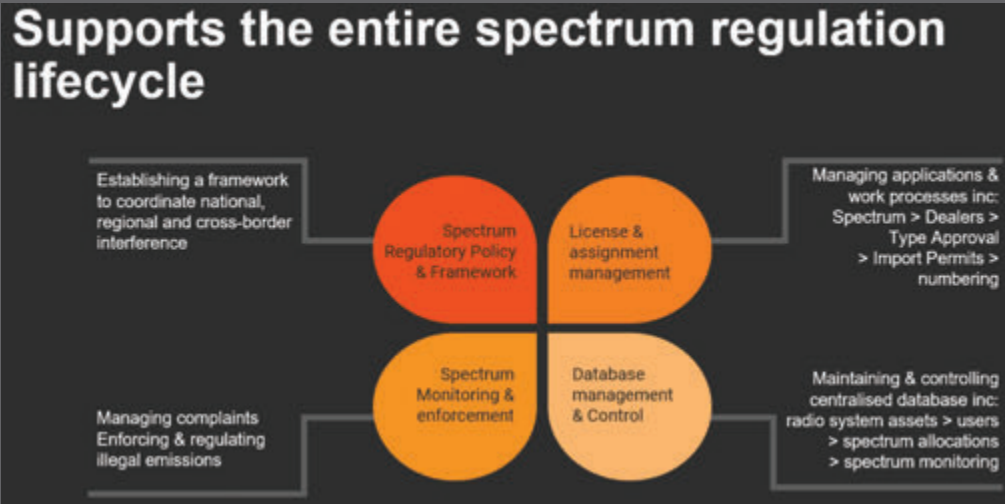
WEB Portal, WEB API, WEB service...





ATDI PRODUCTS RANGE

**ICS Manager** is an automated spectrum management solution for spectrum regulators and radio network operators to improve spectrum use and automate systems.



31

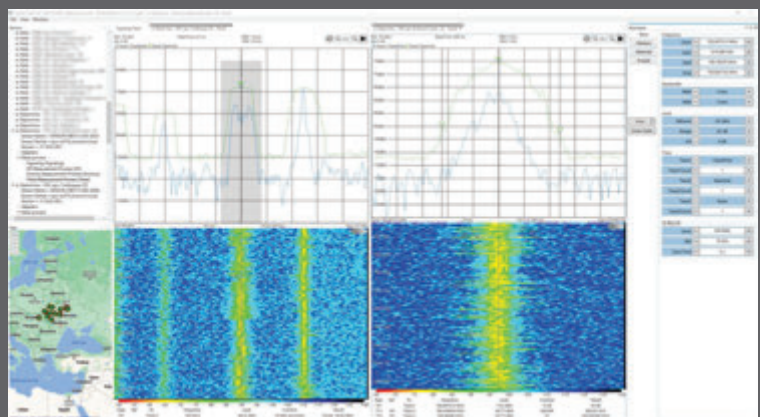
ATDI  
31



ATDI PRODUCTS RANGE

**SDRN CONTROL** is a software that provides the whole scope of spectrum and signal measurements.

- long-term massive automated measurements, such as signal occupation or monitoring of signals.
- real-time measurements.



32

ATDI  
32



ATDI PRODUCTS RANGE **ATDI**

**Portal Web Interface**  
Easy to use, comprehensive

**ICS PORTAL**  
Platform for users to submit, renew and follow up on their frequency request

**Portal Computing Backend**  
Powerful, automatized

- Platform for regulators to process requests, launch automatized calculations, decide on the attribution and handle notifications

*Using an automation mechanism/ API/API Rest*


ATDI  
33

**ATDI**


# Thank you!

---


Contact us to receive technology specific information pack of HTZ and a trial license!



Paris, France  
Madrid, Spain  
Washington, DC, USA  
London, United Kingdom  
Sydney, Australia  
Warsaw, Poland



[r.perdiz@atdi-group.com](mailto:r.perdiz@atdi-group.com)



+33 1 53 30 81 41

ATDI | HTZ Communications [www.atdi.com](http://www.atdi.com)

# 5G-Advanced in pot proti 6G

## *5G Advanced and path towards 6G*

Ivan Lesić

NOKIA

[ivan.lesic@nokia.com](mailto:ivan.lesic@nokia.com)

### **Povzetek**

Prispevek obravnava glavne evolucijske korake od 5G preko 5G-Advanced do 6G. Ker povpraševanje po podatkih narašča, mora 5G, kot glavna tehnologija, v prihodnjih letih nadaljevati z nenehnim razvojem na področju novih omrežnih storitev, primerov uporabe in funkcionalnosti. Ogleдали si bomo trenutne standardizacijske načrte, mejnike implementacije in kako bo 5G-Advanced pripomogel k zagotavljanju boljših storitev industriji in drugim uporabnikom. Ker je zadnji korak v razvoju 5G uvedba 6G, bomo obdelali tudi trenutni časovni načrt in ustrezne tehnološke vidike, ki naj bi bili pomembni za komercialno uvedbo 6G.

### **Abstract**

*During the presentation major evolutionary steps of 5G, over 5G-advanced towards 6G will be outlined. As demand for data is growing, 5G as mainstream technology for incoming years has to continue with continuous development in the domain of new network services, use cases and functionalities. We will take a look at current standardization plans, implementation milestones and how 5G-advance will help deliver better service to industry and consumers. As the final moment of 5G evolution is the introduction of 6G, we will also elaborate current time plan and*

*relevant technology aspects expected to be important for 6G commercial introduction.*

---

### **Biografija avtorja**



**Ivan Lesić** je tehnični direktor pri podjetju Nokia za Srednjo in Južno Evropo. Je višji telekomunikacijski strokovnjak, osredotočen na najnovejše tehnologije, razvoj omrežja ter strateško načrtovanje in implementacijo naprednih rešitev in storitev. Kot izvršni svetovalec je vsakodnevno vključen v strateške projekte, pri čemer mobilnim operaterjem in ponudnikom storitev pomaga definirati optimalne strategije razvoja omrežij ter pripraviti njihove izdelke in storitve na prihodnost. Njegova močna področja so oblačne storitve, virtualizacija in napredna avtomatizacija omrežnih funkcionalnosti in storitev.

### **Author's biography**

**Ivan Lesić** is CTO at Nokia for Central & South Europe. He is senior telecom professional focused on latest technologies, network evolution and strategic planning and implementation of advanced solutions and services. Acting as executive consultant, he is on a daily basis engaged in strategic discussions, helping mobile operators and service providers to define optimal network development strategies, making their products and services future ready. He is deeply interested in cloud, virtualization and advanced automation of network functionalities and services.



**NOKIA**

# SRK 2024

26. Seminar radijske komunikacije

## 5G Advanced and path towards 6G

Ivan Lesić  
CTO, Mobile networks, Market Units Central & South  
January 2024

1 © 2023 Nokia



**NOKIA** Telecom Time Machine, January 2018

SRK 2018  
23. Seminar radijske komunikacije

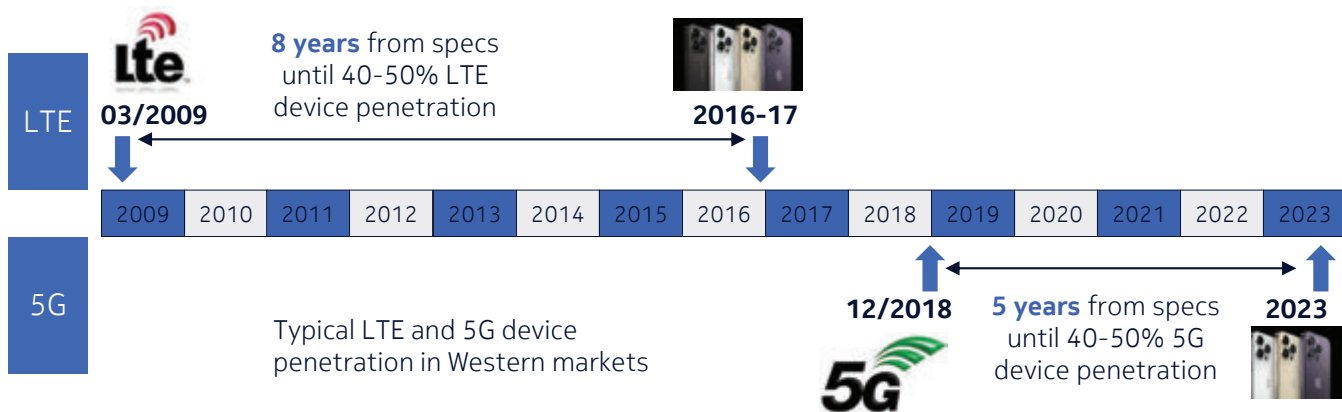
# LTE Advance PRO Path to 5G

Ivan Lesić, Nokia

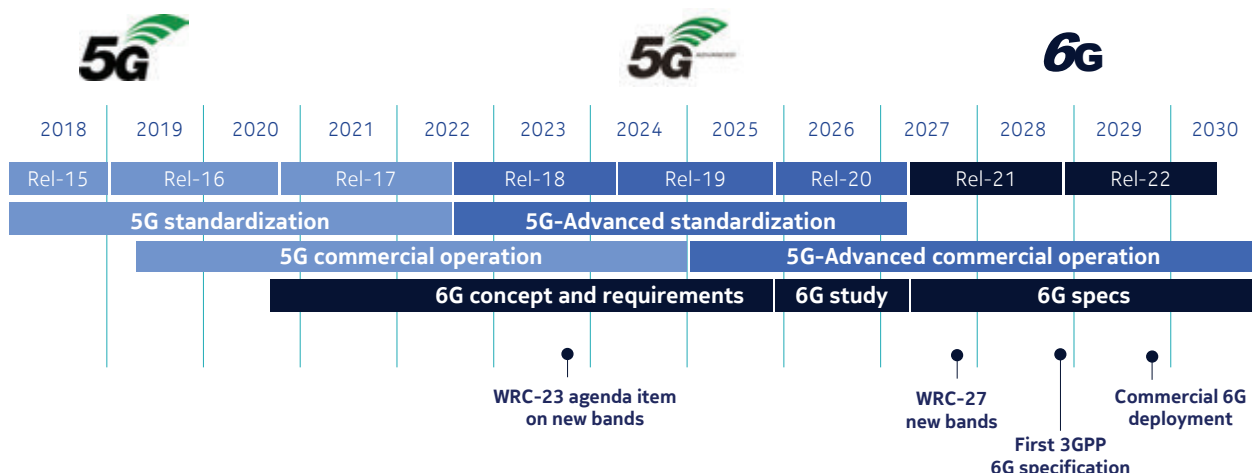
<b>5G</b> Expected to surpass 2G subscriptions in 2023
<b>LTE</b> 1bn more subscriptions than 2G and 3G combined in 2022
<b>WCDMA</b> Expected to be surpassed by LTE during 2017
<b>GSM</b> Expected to be surpassed by LTE during 2018

### 5G device penetration has grown rapidly in many markets

5G device penetration has increased faster than with any earlier technology. Advanced markets have already over 50% 5G device penetration in less than 5 years after 3GPP specs were completed end-2018



### 5G and 5G-Advanced determine network capabilities until 2030



# 3GPP radio evolution in Rel-16, Rel-17 and Rel-18

		Rel-16	Rel-17	Rel-18
<b>URLLC</b>	Ultra-reliable and low latency communication	URLLC was completed in Rel-17		
<b>Radio boosters</b>	Extreme radio performance	Radio improvements continue in every release with focus moving to uplink in Rel-18		
<b>Automation and energy saving</b>	Fast rollout and minimized energy usage	Self optimization (SON), relays, AI/ML usage, energy saving evaluations		
<b>New verticals</b>	New use cases with 5G radio	Car-to-car, satellites, high altitude platforms, GSM-R, public safety, drones		
<b>IoT optimization</b>	Low cost IoT connectivity	RedCap 100 Mbps and 10 Mbps capability with low cost IoT device		
<b>Position and time</b>	Accurate position, accurate timing	Sub-10 cm position and timing service with Rel-18		
<b>XR/AR/VR</b>	Extended reality power consumption, cost and performance enhancements	XR optimized radio interface		

XR Extended reality  
AR Augmented reality  
VR Virtual reality

5 © 2023 Nokia



## 5G-Advanced key focus areas

### Boosted 5G experience

- XR traffic, latency and mobility
- Beamforming boost and distributed mMIMO

### Boosted 5G operability

- AI/ML enhancements
- Zero touch network for automated deployment
- Radio energy efficiency

### Boosted 5G use-cases

- IoT optimized RedCap support
- UAV (Uncrewed Aerial Vehicle)
- Space-air-ground networks

= Leader role (rapporteur) in 3GPP Rel-18 work

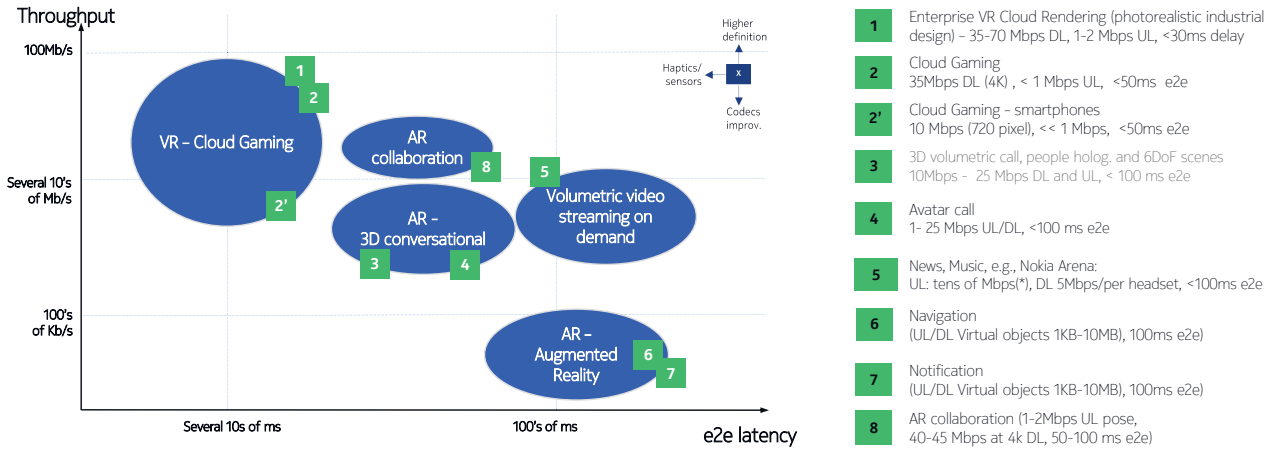
6 © 2023 Nokia | Confidential





# XR | Applications use cases and network requirements

5G Today can already support many XR services - with NW feature evolution, we enhance end user experience



Required **throughput** depends on video resolution  
**Low latency**: due to multi-user aspects and/or Motion-to-Photon (MTP) latency

7 © 2023 Nokia | Confidential

\* UL data rate based upon advanced compression techniques , e.g Nokia RXRM



## XR is a journey that has already begun

	5G	5G-Advanced	6G
XR Video	High quality video	Fully immersive user experience on move	Holographic

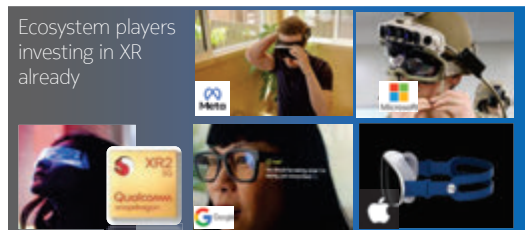
5G-Advanced takes XR (AR, VR) to the next level

<b>Device revolution</b> beyond smartphones	<b>Guaranteed XR QoS:</b> Application awareness in the radio	<b>Uplink enhancements:</b> Uplink MIMO and multi-point	<b>Low latency scheduling:</b> Match scheduling with XR transmission
<b>Mobility break:</b> Match mobility with XR transmission	<b>UE Power savings:</b> Adaptive and dynamic discontinuous reception	<b>Edge cloud usage:</b> Processing moving from device to network	<b>Smartphone connectivity:</b> 5G unlicensed sidelink for smartphones

8 © 2023 Nokia | Confidential

XR - Extended reality  
 AR - Augmented reality  
 VR - Virtual reality

XR on 5G is possible today, 2025 onwards brings full potential to XR





# 5G-Advanced performance boost to sustain traffic growth

Increase on uplink utilization will be driven by new use cases and increase of user content-creation and sharing



- Boosts eMBB and FWA user experience
- Expands the 5G coverage
- Optimizes spectrum utilization with advanced mMIMO techniques

### UL Performance

Advanced UEs for FWA, vehicles, enterprise, with >4 Tx and high Tx power

### Advanced mMIMO

Enhanced multi-TRP techniques with up to 24 multiuser MIMO layers

### Signal strength for UEs at the edge cell

Frequency domain spectrum shaping (FDSS)

“Newer applications in the 5G-Advanced timeframe, such as extended reality (XR), are expected to be more demanding on the uplink compared to regular broadband traffic.”

Andre Fuetsch, executive vice president and CTO network services, AT&T



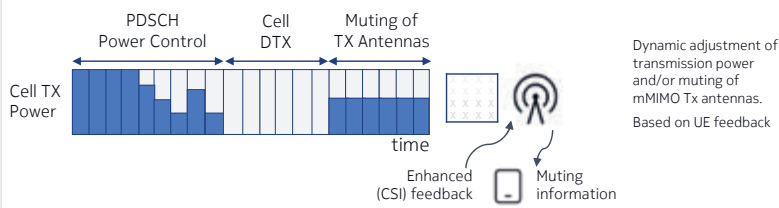
# Network energy saving opportunities enabled in 3GPP Release 18+

**15-30 %**

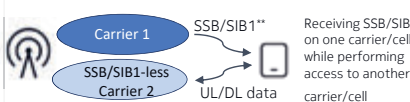
Savings in RAN network energy consumption

*\* based on 3GPP BTS power model, in Low-to-Medium load scenarios with Rel-18 UEs*

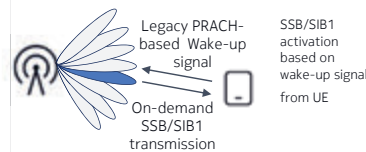
## UE-assisted/aware dynamic muting (Rel.18)



## SSB/SIB1-less SCell (Rel-18) and non-CA cell (Rel-19)



## On-demand SSB/SIB1 (Rel-19)

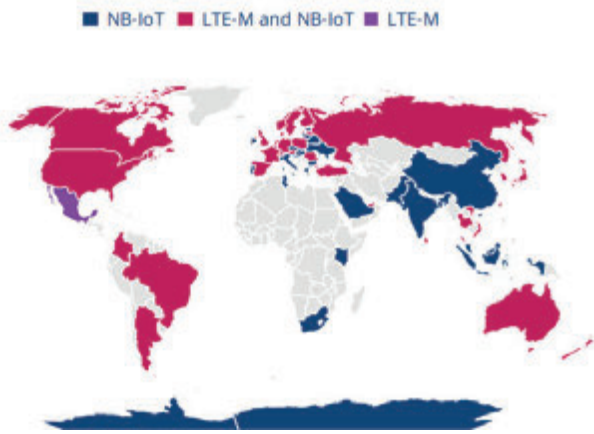


mMIMO massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)  
 SSB Synchronisation Signal Block  
 SIB System Information Block  
 PDSCH Physical Downlink Shared Channel  
 PRB Physical Resource Block  
 UE User Equipment



### Low Power Wide Area: NB-IoT/Cat-M

NB-IoT/Cat-M is widely deployed for use cases requiring low peak rates and extended coverage – and long battery life-time (years)



181 operators in 80 countries have deployed/launched NB-IoT/Cat-M (GSA, March 2023); CSP in 34 countries with both NB-IOT & LTE-M  
11 © 2023 Nokia

	NB-IoT	Cat-M
Bandwidth	200 kHz (1 PRB)	1,4 MHz (6 PRBs)
UE transmit power	14/20/23 dBm	20/23 dBm
Max coupling loss	164 dB	156 dB
Max bitrate (DL/UL)	Tens of kbps	Hundreds of kbps
Deployment modes	Inband, Standalone, Guardband	Inband
Mobility	Idle mode mobility	Idle mode mobility + handover
Voice support	No	Yes
Coexistence with 5G	Yes	Yes



## Future proof 5G solutions for IoT, wearables, XR

Nokia is at the forefront of 5G RedCap

### 5G RedCap (Reduced Capability)

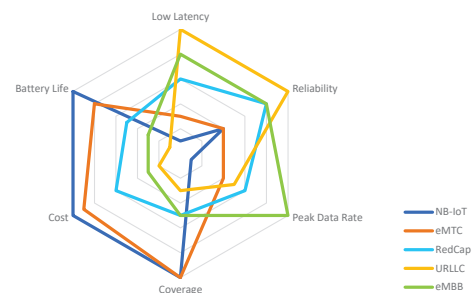


- 5G RedCap starts in 3GPP Rel-17 to lower device complexity (comparable to LTE Cat.4)



- Rel-18 will further reduce the complexity to lower the cost of devices and extend the use cases (comparable to LTE Cat.1)

RedCap targets: Replace LTE with cost-competitive IoT solution with 5G reliability, latency and data rates



	5G MBB	RedCap R17	RedCap R18
Bandwidth	100 MHz	20 MHz	5 MHz
Peak rate	2 Gbps	100 Mbps	10 Mbps
IoT modem cost*	Reference	~ -60%	~ -70%

\*Based on 3GPP cost model



## RedCap UE – Reduced Cost, Reduced Power Consumption

	RedCap UE (FR1)	Reference NR UE (FR1)
UE bandwidth	20 MHz	100 MHz
UE transmit power	23 dBm	23 dBm
Number of UE Rx antennas	2Rx/1Rx	4Rx/2Rx
Peak rates (DL/UL)	226/91 Mbps (DL/UL) (with optional features)	>2 Gbps
Duplex operation	Full Duplex Half Duplex	Full Duplex
Mobility	Idle mode mobility & handover	Idle mode mobility & handover
Voice support (VoNR)	Yes	Yes
Carrier aggregation Dual connectivity	No	Yes

Only Standalone Access (SA) supported for RedCap.

## UAV (Uncrewed Aerial Vehicle) support in 5G-Advanced



5G Drone as a Service is a technology enabling services for multiple use cases

“Drone as a service” business models in transport, smart cities, industry and public safety

- Optimal radio solution for the airborne users supporting URLLC for UAV
- Trusted network services for safe flights with network slicing solutions
- Connectivity to Drone Corridors solution with validated service levels

5G-Advanced drone innovations:

Beamforming antenna in drone to reduce interference with 5G network

Subscription-based UAV identification to secure responsible use of UAVs

Geo-fencing and flight restriction control

# Path to non-terrestrial networks with 5G-Advanced

Direct-to-cell phone connectivity from space is available today, powered by Nokia and AST



15 © 2023 Nokia | Confidential

Evolution for 5G Non-terrestrial networks (NTN), complementing terrestrial networks in extreme remote locations

5G-Advanced enhancements for NTN under study:

- Coverage enhancements for voice over NTN on smartphones
- Battery consumption improvements for NTN-IoT
- Mobility & service continuity between NTN and terrestrial networks
- Wider range of bands/areas and different NTN-architectures



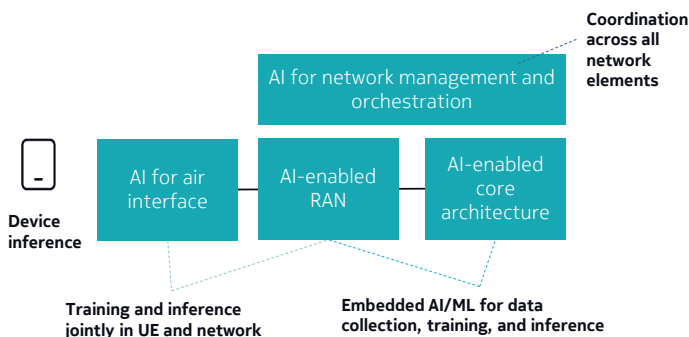
# AI/ML in 5G-Advanced: Paving the way to 6G

Creating a future proof ML framework, on the way to 6G:

- Network energy saving
- Load balancing
- Mobility optimization
- Beam pattern optimization

16 © 2023 Nokia | Confidential

AI/ML techniques will be applied in all parts of the system



AI/ML Artificial Intelligence/Machine Learning

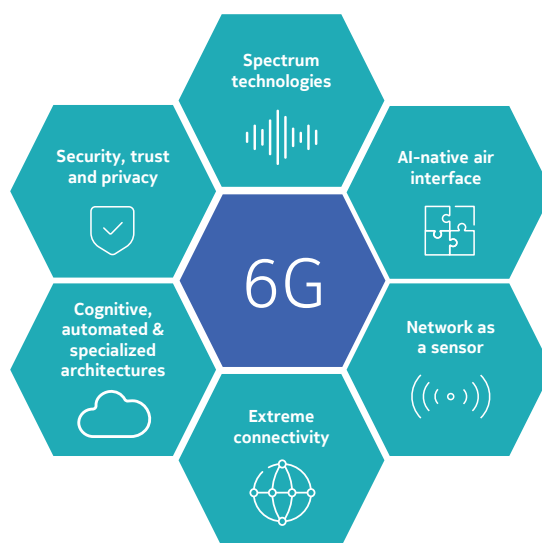


# 6G Radio

17 © 2023 Nokia | Confidential



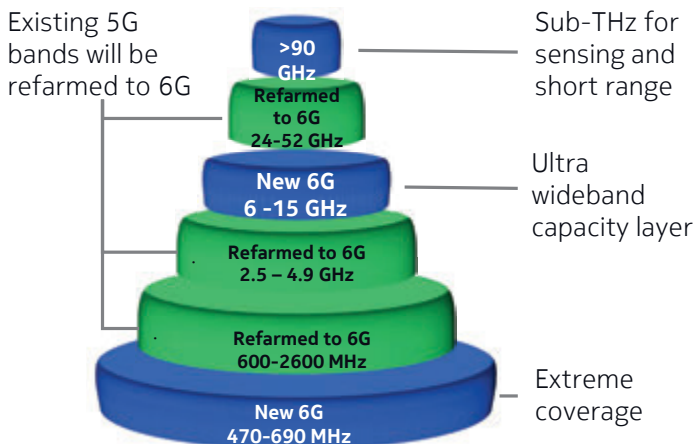
## Six key technology areas for 6G infrastructure



18 © 2023 Nokia |



## 6G combines new spectrum and efficient rearming



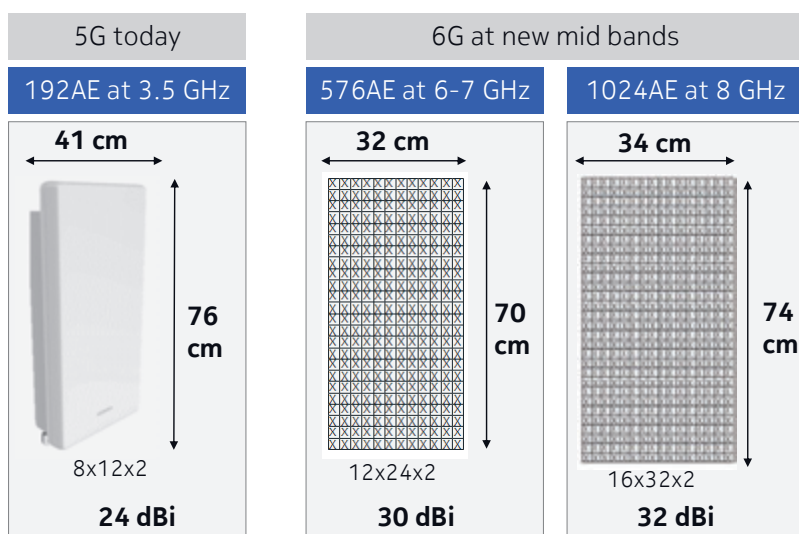
### New bands for 6G

- 6 – 15 GHz for urban capacity with existing base station sites
- 470 – 690 MHz for extreme coverage
- 90 – 250 GHz for sensing and short range. Niche use cases.

### Rearming bands from 5G to 6G

- mmWave at 24 – 52 GHz
- Mid-band TDD at 2.5 – 4.9 GHz
- Low band FDD at 600 – 2600 MHz

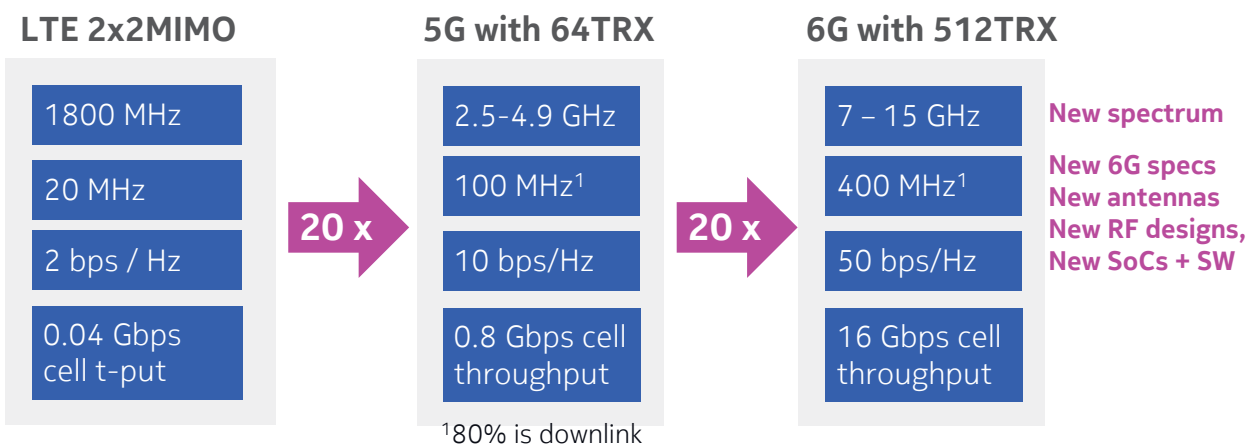
## 6G at 7-15 GHz allows more antenna elements (AE) and more TRXs



- Higher frequency allows **more antenna elements** which improves antenna gain
- More antenna elements allows **more TRXs** which improves beamforming
- **More processing** required for advanced beamforming algorithms

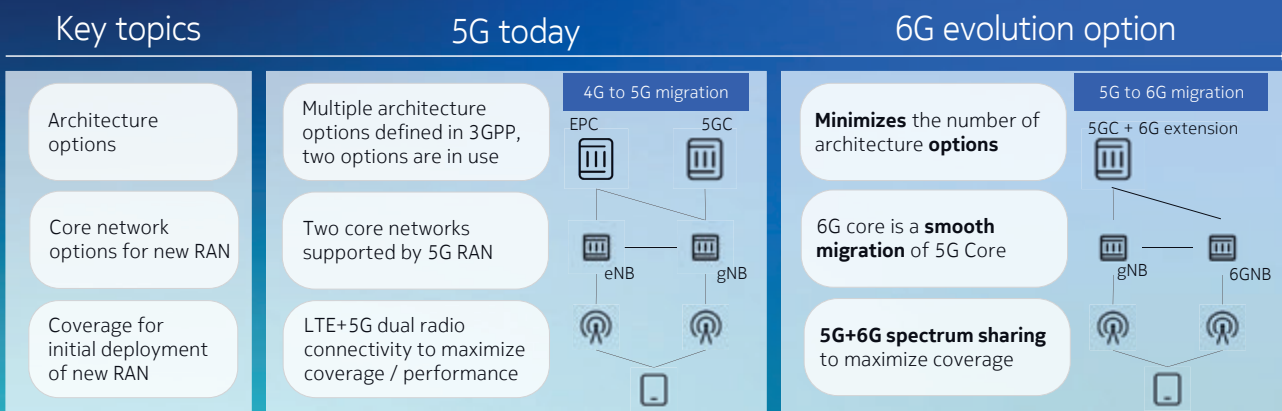


### 6G will be 20x more efficient than 5G on new spectrum 4x more spectrum and 5x more efficiency



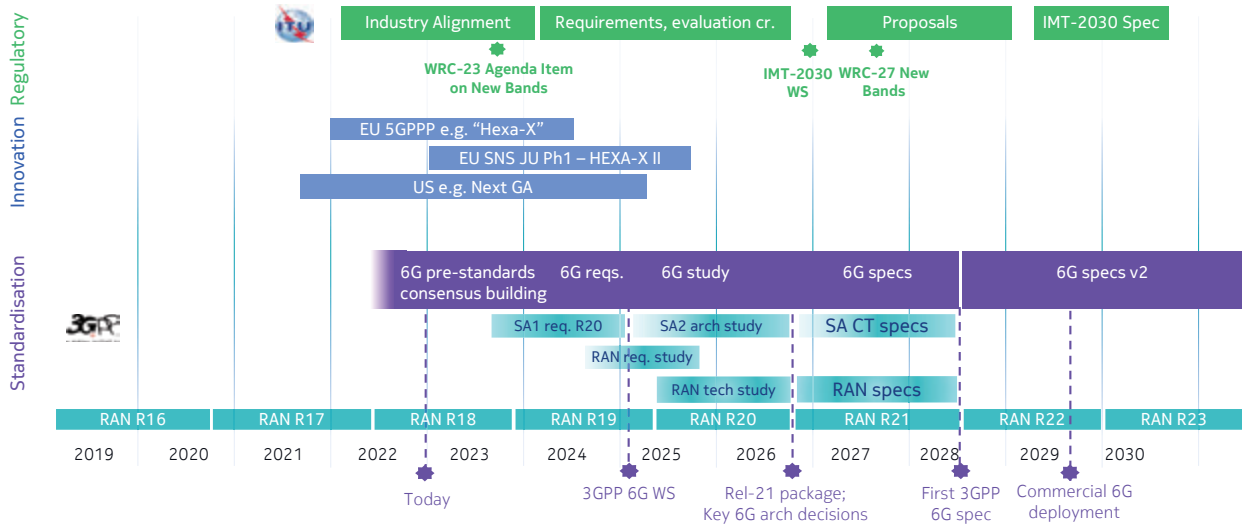
20x more capacity with existing sites implies up to 20x lower cost per bit, up to 20x lower energy consumption per bit. 6G and new spectrum is required simply for the efficiency.

## Key consideration in 6G architecture design



# Global unified clockwork needed to make 6G a success story

Different regulatory, innovation, standardization timelines to be brought in harmony



# Industrializacija odprtega radijskega dostopovnega omrežja

## *Industrializing Open RAN*

Csaba Novak

Ericsson

[csaba.novak@ericsson.com](mailto:csaba.novak@ericsson.com)

### Povzetek

Standardizirani odprti vmesniki, ki različnim ponudnikom opreme in komponent omogočajo učinkovito sodelovanje, so ključni dejavnik uspeha pri gradnji visoko zmogljivih omrežij. Sprednji del omrežja (ang. Fronthaul) je najbolj kritičen del odprtega radijskega dostopovnega omrežja (Open RAN) in Ericsson je že dolgo zavezan spodbujanju odprtosti, brez kompromisov glede zmogljivosti. Skupaj z industrijskimi partnerji znotraj zaveznitva O-RAN si Ericsson dejavno prizadeva za definiranje nove specifikacije tega vmesnika, ki obravnava pomanjkljivosti začetne delitve nizkega sloja za masovni MIMO. Nov dogovor na ravni vseh industrijskih akterjev o odprtih vmesnikih ponudnikom komunikacijskih storitev prvič omogoča doseganje polne zmogljivost pri uvajanju komercialnih omrežij. Ta predstavitev podrobneje opisuje vmesnik za Open RAN v prometno obremenjenih omrežjih, pa tudi Ericssonovo zavezanost k visoko zmogljivemu odprtemu radijskemu dostopovnemu omrežju..

### Abstract

*Standardized open interfaces that enable different vendors and components to work together in the most efficient way are a key success factor in building high performing networks. Fronthaul is the most critical interface for performance in Open RAN and Ericsson has long been committed to*

*promoting openness without compromise on performance. Together with industry partners within the O-RAN Alliance, Ericsson has actively worked towards defining a new fronthaul interface specification that addresses the shortcomings of the initial low-layer split for Massive MIMO Radio. A new industry-wide agreement on open fronthaul interfaces enables communication service providers, CSPs, for the first time, to achieve full performance with Open RAN in commercial network deployments at scale. This presentation will elaborate the fronthaul interface for Open RAN in dense network environments, as well as on Ericsson's commitment to high-performing Open RAN.*

---

### Biografija avtorja



**Csaba Novák** je vodilni strokovnjak za 5G v podjetju Ericsson. Pridobil je magisterij iz elektrotehnike na Univerzi za tehnologijo v Budimpešti in opravil doktorski študij na

Oddelku za širokopasovne komunikacijske sisteme – raziskovanje širokopasovnih radijskih tehnologij z razširjenim spektrom, kodirnih sistemov CDMA in sprejemnikov za ublažitev motenj, na to temo pa je objavil številne publikacije. Magistriral je iz ekonomskih znanosti na Univerzi Corvinus, kjer je študiral transformacijo vrednostnih verig v omrežja, ki ustvarjajo vrednost na trgu mobilnih komunikacij B2B.

Ericssonu na Madžarskem se je pridružil leta 2006, danes pa podpira razvoj omrežja 5G in prodajo v regiji.

***Author's biography***

*Csaba Novák is the lead 5G expert for Ericsson's Central-European customer unit. Acquired his MSc in electrical engineering at the Budapest University of Technology, and pursued PhD studies at the Department of Broadband Communication Systems – researching broadband spread spectrum radio technologies, CDMA coding systems and interference mitigation receivers, having numerous publications in the topic. He received his MSc in economic sciences at Corvinus University, studying the transformation of value chains into value creating networks in mobile communications B2B market. He joined Ericsson Hungary in 2006, today he is supporting 5G network evolution and sales in the region.*


# Industrializing Open RAN



Never compromise on performance

Čsaba Novák SRK 2024, Ljubljana 2024-02-02

## Driving Open RAN forward at scale

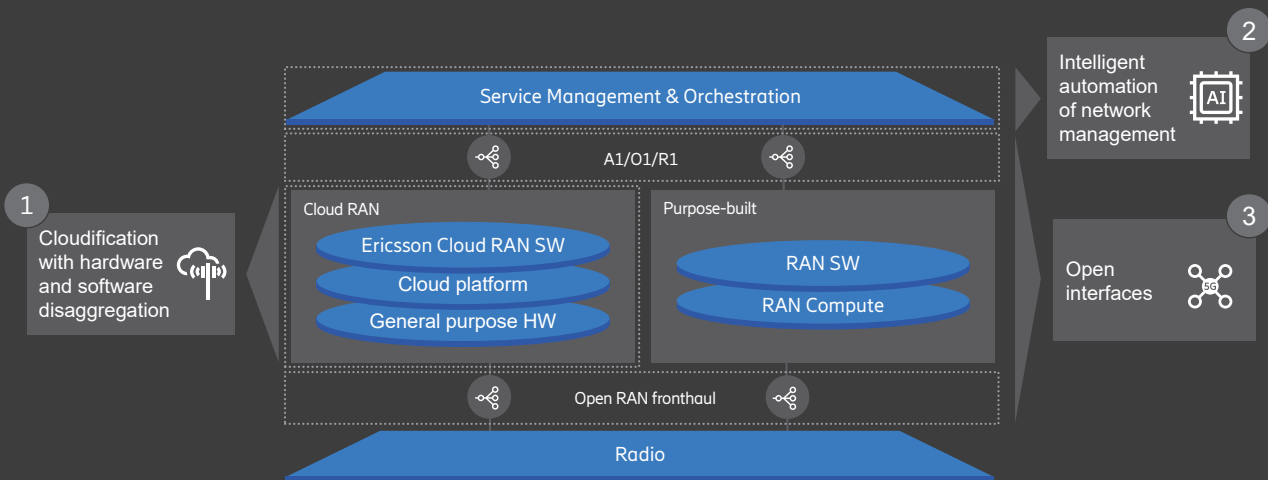


Biggest shift in future mobile networks is the move towards a cloud based, intelligent and open network

Industrializing Open RAN - key areas to consider

- Open interfaces**  
The foundation for interoperability and performance
- Capacity, performance and portability**  
Successfully manage the immense traffic growth
- Deployment efficiency**  
Manage integration and time to market

# The key elements of Open RAN



# Ericsson Cloud RAN update — Q4 2023



**35+**  
customer  
engagements

First live site covering all 5G frequency bands

First data call in commercial network

Intel Xeon 4<sup>th</sup> generation - 1<sup>st</sup> call

UL Performance Improved (ULPI) split approved

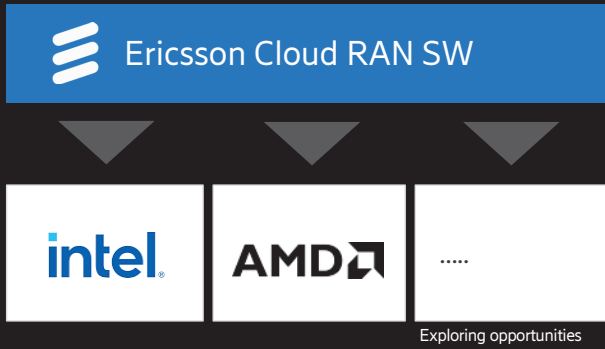
Cloud RAN MoU

Google Cloud Existing Partnership extended



# Freedom of choice for our customers thanks to a broad ecosystem

Portability and acceleration as a key

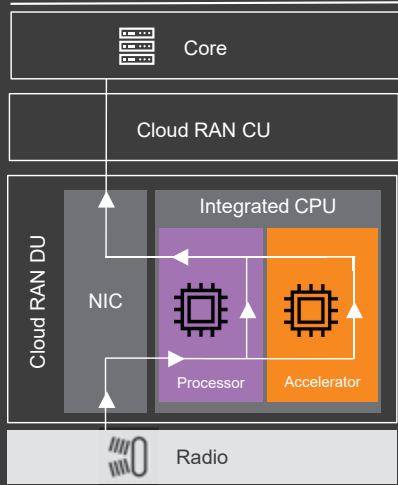


The importance of a broad ecosystem

- Server and cloud infrastructure agnostic
- Integration / pre-integrated solutions
- 15+ partner engagements

# Cloud RAN hardware acceleration for best performance

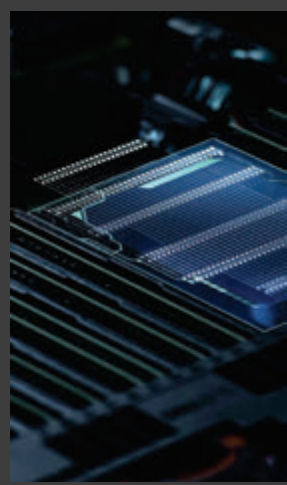
Selected function HW acceleration\*



\*) Sometimes called look-aside

Key benefits

- SW portability
- Reduce integration complexity
- Cloud native
- Power/energy efficiency



# Lower the barrier for Cloud RAN deployment

## Key customer considerations

System integration

Life-cycle management

System performance

KPI assurance & security

## Ericsson pre-integrated solutions

Enhanced performance

Optimized TCO and TTM

Streamlined operations

# Towards an intent based AI native RAN



## SW applications

For centralized automation

## Ericsson Intelligent Automation Platform

Enabling automation and innovation at scale

## Distributed automation in RAN

For best performance and efficiency

CSP intents (user experience, energy efficiency, performance)

Ericsson rApps

Operator rApps

3rd party rApps

Service Management & Orchestration

3rd party EMS

Purpose-built RAN

Cloud RAN

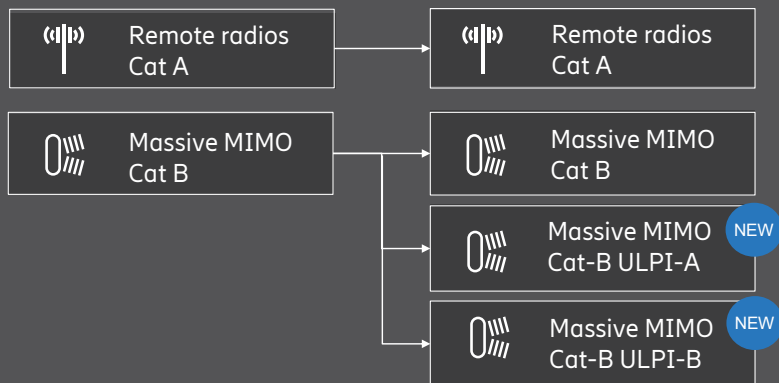
Open RAN

3rd party RAN

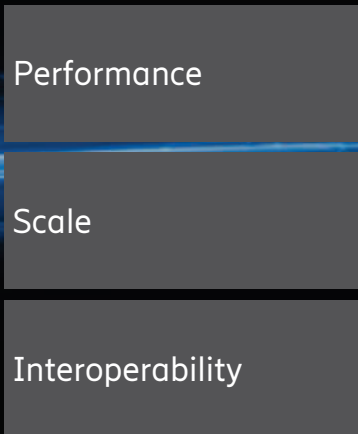
# Evolved Open RAN fronthaul for performance

Open RAN Fronthaul prior June-23

Open RAN Fronthaul after June-23

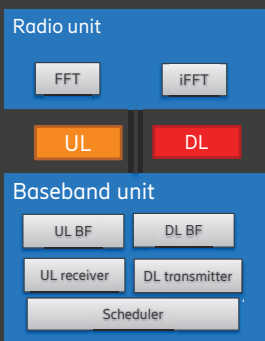


O-RAN Alliance Work Group 4 standardization



# O-LLS architecture options as originally defined in O-RAN WG4

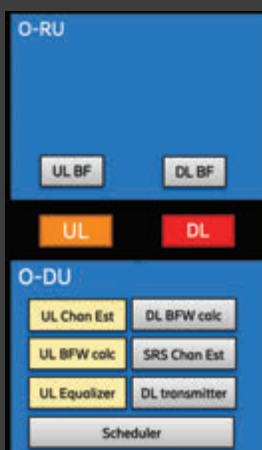
Architecture selected by O-RAN for Remote Radio Units (up to 8T8R)



O-LLS Cat-A

- Allows to achieve optimal radio performance
- Limited complexity for the radio unit
- Interoperability "simple" (no beamforming information over the interface)

Architecture selected by O-RAN for M-MIMO Radio Units (above 8T8R)



O-LLS Cat-B

- Limits the Uplink (UL) performance achievable over the air interface
- Limited complexity for the radio unit
- Interoperability complex (beamforming information over the fronthaul interface)

# New Open Fronthaul standard for high performance Uplink Performance Improvement (ULPI)

Evolution to:

ULPI work item was:

- Initiated by Orange, Ericsson and Qualcomm
- Supported over time by most of the O-RAN WG4 members

Original O-LLS Cat-B      O-LLS Cat-B Class A      O-LLS Cat-B Class B

Ericsson white paper: [Driving Open RAN forward](#)  
[An improved open fronthaul interface bringing performance to Open RAN](#)

# Ericsson fully committed to an Open RAN architecture

Our commitment

Service Management & Orchestration

A1/O1/R1

Cloud RAN: Ericsson Cloud RAN SW, Cloud platform, General purpose HW

Purpose built: Ericsson Radio System SW, RAN Compute

Open RAN fronthaul

Radio

- SMO – Ericsson Intelligent Automation Platform – and rApp engagements **30+** customer engagements
- Live sites covering all 5G frequency bands
- Live sites covering sub-6GHz frequencies
- vCU and millimeter wave trial deployments
- Front running ecosystem with partners; Intel, AMD, Dell, HPE, Red Hat, Google, Fujitsu, and more **15+** eco-system Partners
- 1 Million radios HW prepared for Open RAN fronthaul **1M+** radios

Partners: Verizon, AT&T, Telstra, Telefónica

PLAKATI

*POSTERS*

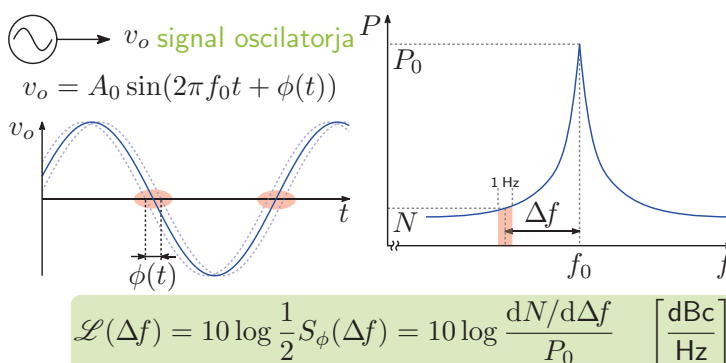
II.

# Učinki faznega šuma v radijskih komunikacijah

Andrej Lavrič, Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar

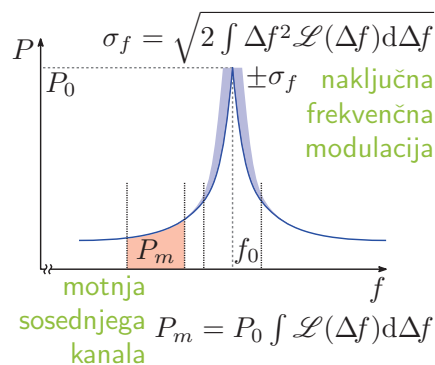
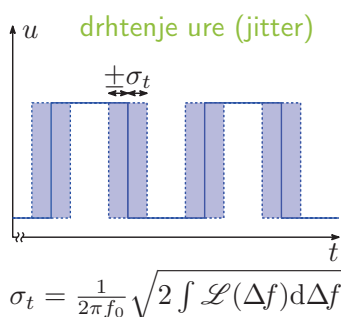
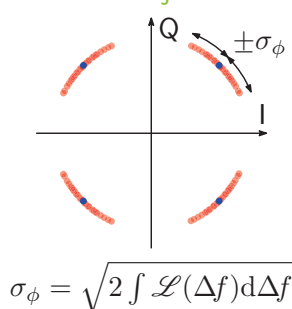
Fazni šum oscilatorja je poglavitna omejitev sodobnih elektronskih sistemov. [1] To še posebej velja za telekomunikacije, kjer želja po vedno večjih količinah podatkov in višjih hitrostih prenosa, poganja razvoj novih kvalitetnejših izvorov signala.

Signal resničnega oscilatorja vsebuje amplitudni in fazni šum. Ker imamo proti prvu učinkovite protiukrepe, se v praksi vsa pozornost namenja naključnemu procesu faznega šuma  $\phi(t)$ . Za vrednotenje šuma so bolj kot njegove trenutne vrednosti zanimive statistične lastnosti. Fazni šum podajamo kot spektralno gostoto šuma  $S_\phi(\Delta f)$ . V tehniki se je uveljavilo podajanje faznega šuma s **spektralno gostoto za en bočni pas**  $\mathcal{L}(\Delta f)$ .



Fazni šum se v telekomunikacijah odraža na različne načine. [1,2] V številskih QAM zvezah fazni šum naključno zavrti ozvezdje modulacije. Počasno vrtenje popravlja vezje za regeneracijo nosilca. Pri velikem faznem šumu pa se simboli razmažejo v kolobarje, tako da jih je nemogoče medsebojno razločiti. Če na fazni šum v številskih komunikacijah pogledamo v časovnem prostoru, je ta povzročitelj drhtenja ure.

## zasuk ozvezdja modulacije



V analognih zvezah fazni šum opazimo kot naključno frekvenčno modulacijo s kolebom  $\sigma_f$ . V vseh radijskih zvezah pa se fazni šum izraža kot motnja v sosednjem kanalu. To je izrazito še posebej v radarskih sistemih, kjer močan lasten šum radarja prekrije šibke signale tarč.

Končno je za vrednotenje učinkov faznega šuma na sistem potrebno natančno poznavanje faznega šuma uporabljenih oscilatorjev. Meritev faznega šuma ostaja ena od zahtevnejših nalog elektroinženirja [3], ki skupaj z novimi oscilatorji zahteva nove in nadgrajene merilne postopke [4].

[1] M. Vidmar, *Extending Leeson's Equation*, Informacije MIDEM, vol. 51, no. 2, 2021  
 [2] M. Vidmar, *Noise in radio/optical communications*, In Proceedings of the 7th International Beam Instrumentation Conference (IBIC'18), Shanghai, China, 9–13 September 2018  
 [3] U. L. Rohde, A. K. Poddar and A. M. Apte, *Getting Its Measure: Oscillator Phase Noise Measurement Techniques and Limitations*, IEEE Microwave Magazine, vol. 14, no. 6, 2013  
 [4] A. Lavrič, B. Batagelj, M. Vidmar, *Calibration of an RF/Microwave Phase Noise Meter with a Photonic Delay Line*, Photonics, vol. 9, no. 8, 2022





# 5G koridorji – čezmejna povezljivost Italije, Slovenije in Hrvaške

Tomi Mlinar, Andrej Štern, Andrej Kos

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Katedra za informacijske in komunikacijske tehnologije

## Motivacija

EU podpira uvedbo infrastruktur za digitalno povezljivost v okviru Instrumenta za povezovanje Evrope (CEF) (Connecting Europe Facility). To vključuje podporo za gradnjo varne, zanesljive in trajnostne visoko zmogljive infrastrukture po vsej Evropi, kamor spadajo omrežja 5G. Podlaga razpisov te vrste je okvir EU za varnost v cestnem prometu 2021–2030<sup>[1, 2]</sup>, v katerem je dolgoročni cilj do leta 2050 nič žrtev prometnih nesreč (t.i. „Vision Zero“) ter vmesni cilj do leta 2030 prepolovitev števila smrtnih žrtev in hudo poškodovanih na evropskih cestah. Ključni parametri (KPI), ki se bodo spremljali, so: (i) kakovost cestne infrastrukture, (ii) varnost vozil, (iii) varna uporaba cest in (iv) oskrba po nesreči. Univerza v Ljubljani (UL FE) aktivno sodeluje v dveh projektih pridobljenih v okviru Instrumenta za povezovanje Evrope (CEF). To sta 5G-SITACOR<sup>[3]</sup> (Italija – Slovenija) in 5G-ADRIA<sup>[4]</sup> (Slovenija – Hrvaška). Namen obeh projektov je izdelava začetnih študij, ki bosta podlaga za naslednjo fazo uvajanja infrastrukture 5G na čezmejnih odsekih in bosta zagotovila neprekinjene storitve povezane in avtomatizirane mobilnosti (CAM, Connected and Automated Mobility) pri prečkanju meja. Projekta se zaključujeta junija 2024.



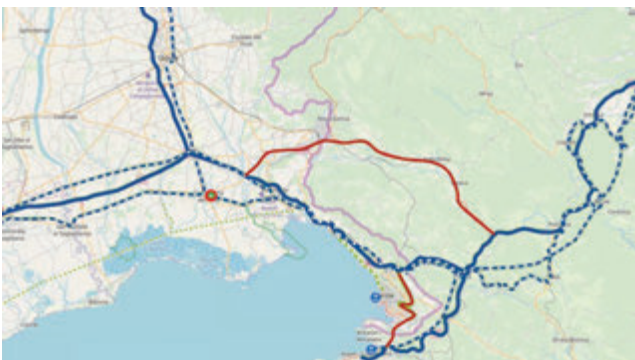
Cilji okvirja EU za varnost v cestnem prometu 2021–2030. Dolgoročni cilj tega okvirja je nič smrtnih žrtev prometnih nesreč na evropskih cestah do leta 2050.

## 5G koridorji

### (1) 5G-SITACOR

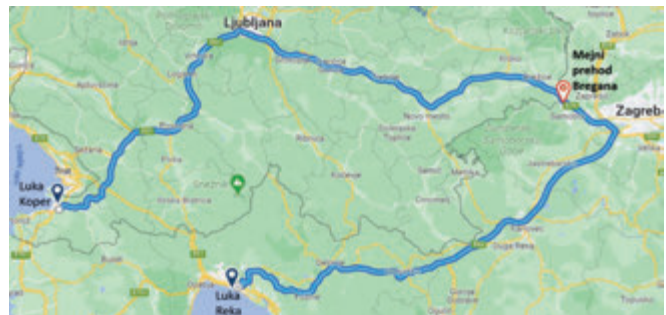
Cilj začetne študije pri projektu 5G-SITACOR je oceniti tehnične zahteve, potrebne za celovito vzpostavitev sredozemskega in baltsko-jadranskega transportnega omrežja TEN-T (Trans-European Transport Network) na čezmejnih odsekih med Furlanijo – Julijsko krajino in Slovenijo. V projektu, poleg UL FE, sodelujejo še: Furlanija – Julijska krajina (vodilni partner), DARS, Univerza v Trstu, Telekom Slovenije, Anas, Retelit in Luka Koper. Splošni cilj študije 5G-SITACOR je oceniti in opredeliti najboljše načine za izrabo potenciala, ki ga nudi tehnologija 5G, kot so velike hitrost prenosa, majhne zakasnitve in velika zanesljivost delovanja, kot osnova za različne storitve CAM.

**Cilji študije so:** (1) ocena obstoječe prometne in telekomunikacijske infrastrukture, ki služi koridorju za učinkovito souporabo ali ponovno uporabo (npr. optična vlakna, oskrba z električno energijo, drogovi...), (2) analiza tehnične in ekonomske trajnosti potrebnih naložb za popolno pokritost koridorja, (3) ocena strategije za zmanjšanje stroškov z izmenjavo pasivne in aktivne infrastrukture, (4) razvoj infrastrukture, povezane s CAM in varnostjo v cestnem prometu, (5) opredelitev ekonomskih in tehnoloških zahtev za zagotovitev nemotene povezljivosti, ki omogoča popolno digitalizacijo koridorja v skladu z obstoječimi standardi.



5G-SITACOR Skupna dolžina 275 km: (a) baltsko-jadranski koridor (ITA 27 km), (b) mediteranski koridor (ITA 102 km, SLO 84 km) in (c) dodatnih 60 km (ITA Millesse-Gorica) 18 km, SLO Nova Gorica-Razdrto-Koper-Postojna) 44 km) v primeru izrednih razmer, ko je blokiran glavni koridor.

### (2) 5G-ADRIA



5G-ADRIA: Koper – Ljubljana – Bregana – Zagreb – Reka. Skupna dolžina koridorja je 378 km (207 km v Sloveniji, 171 km na Hrvaškem).

Pri projektu 5G-ADRIA se bo izdelala začetna študija za čezmejno uvedbo omrežja 5G med Slovenijo in Hrvaško na sredozemskem koridorju, ki povezuje pristanišča v severnem Jadranskem morju. Prometna pot sega od pristanišča Koper preko Ljubljane do Obrežja in se nadaljuje do Zagreba in naprej do pristanišča v Reki. Skupna dolžina koridorja je 378 km (207 km v Sloveniji in 171 km na Hrvaškem). Partnerji v projektu so, poleg UL FE, še: Telemach Slovenija (vodilni partner), Telemach Hrvaška, DARS in DIV Hrvaška.

**Cilji študije so:** (1) uskladitev obstoječe pasivne in aktivne infrastrukture vzdolž koridorja s prometnimi potrebami in storitvami upravljanja, (2) uvedba osnovnih standardiziranih storitev CAM z izboljšanimi prometnimi informacijami in upravljanjem, ki zahtevajo boljšo pokritost 5G za večje podatkovne zahteve in večjo gostoto vozil, (3) uvedba naprednih storitev CAM s kooperativno izmenjavo informacij o mednarodnem prometu in upravljanjem prometa v realnem času, (4) pripraviti podlago za omrežja naslednje generacije z izjemnimi zmogljivostmi, ki jih v bližnji prihodnosti morda še ne bo mogoče doseči (npr. storitve, za katere so potrebni izjemno velik pretok podatkov in majhna zakasnitev).

**Naloga UL FE** v obeh projektih je analiza parametrov vsake storitve in študija učinkovitosti kategorij storitev 5G za storitve povezane in avtomatizirane mobilnosti.

## Reference

- [https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-supports-deployment-digital-connectivity-infrastructures-nearly-eu150-million-funding-under?pk\\_source=ec\\_newsroom&pk\\_medium=email&pk\\_campaign=dae%20Newsroom](https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-supports-deployment-digital-connectivity-infrastructures-nearly-eu150-million-funding-under?pk_source=ec_newsroom&pk_medium=email&pk_campaign=dae%20Newsroom)
- A. Štern: Pokrivanje čezmejnih prometnih koridorjev s tehnologijo 5G, ERK 2023, Zbornik dvaintridesete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference, Portorož, Slovenija, 28. – 29. september 2023
- A. Štern: Wireless connectivity in road C-ITS, ISEP2022, 30th International Symposium on Electronics in Transport, 2022
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/si/news/5g-corridors-call-2-selected-project-overviews>



# Trajnostni telekomunikacijski port za satelitske povezave

Vid Vrh<sup>1</sup>, Rok Marko Šter<sup>1</sup>, Luka Kavčič<sup>1</sup>, Jaša Vid Meh Peer<sup>1</sup>, Mihael Zeme<sup>1</sup>, Jan Luka Verčec<sup>1</sup>, Neja Flogie<sup>2</sup>, Luka Mlakar<sup>2</sup>, Andraž Pavliha<sup>3</sup>, Grega Blatnik<sup>3</sup>, Marko Jankovec<sup>1</sup>, Polona Pavlovčič Prešeren<sup>2</sup>, Boštjan Batagelj<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup> STN STORITVE d.o.o., Hidričeva ulica 22a, 1233 Dob, Slovenija



Na trajnost satelitskih sistemov lahko gledamo iz dveh vidikov:

1. kako narediti satelitski ekosistem bolj trajnosten,
2. kako lahko uporabljamo satelitske sisteme in omrežja za to, da naredimo druga področja uporabe in druge industrije bolj trajnostne.

## Motivacija

Satelitske komunikacije so ključne za razvoj sodobne informacijsko-komunikacijske družbe. Cilj satelitskih komunikacij je poslati signal najboljše kakovosti z najmanjšo porabo moči in pasovne širine s pomočjo najenostavnejše strojne opreme. Pri tem je visokega pomena tudi zanesljivost delovanja, saj ima vsaka sekunda nedelovanja storitev finančne posledice za odgovornega deležnika. Hitro širjenje satelitskih komunikacijskih sistemov v obdobju zadnjih 10 let je povzročilo povečano povpraševanje po učinkovitih in trajnostnih napravah za satelitski teleport. V ta namen se išče inovativne pristope in tehnologije, namenjene zmanjšanju okoljskega odtisa in optimizaciji operativne učinkovitosti satelitskih teleportov.

## Trajnost satelitskih sistemov

Satelitski sistemi in omrežja porabijo velike količine virov, od električne energije do surovin. Medtem ko je vesoljski del omrežja na nivoju vsakega posameznega satelita, če ne upoštevamo energije porabljene za izstrelitev, energetsko samovzdržen, zemeljski del ne deluje sonaravno. Seveda večji del porabe pripada končnim uporabnikom, ki jih je veliko, vendar moramo predvsem stremeti k temu, da tudi sam satelitski teleport postane energetsko učinkovitejši in trajnosten.

## Idejni koncept trajnostnega teleporta

V okviru študentskega projekta je bil trajnostni teleport, ki vključuje zmanjšanje okoljskega vpliva satelitskih komunikacij in zagotavljanje zanesljive ter učinkovite povezave, zasnovan z uporabo zelenih tehnologij, uvajanjem energetsko učinkovite telekomunikacijske opreme in optimizacijo sodelovanja med teleporti.

Največkrat je najenostavnejša ideja za trajnostni teleport postavitev sončne elektrarne na poslopih podjetja ali v okolici, česar se že poslužujejo nekateri ponudniki. Običajno bi se sistemu v takem primeru dodalo baterijske postaje za shranjevanje odvečne energije ob sončnih dnevih. Ker baterijski sistemi predstavljajo velik denarni vložek ter potrebujejo redne preglede in občasne menjave, je smiselno razmisliti o drugih načinih shranjevanja energije in raziskati shranjevanje toplotne energije (angl. Thermal Energy Storage – TES), ki temelji na hranjenju energije za poznejšo rabo. Obstaja več izvedb, ki se razlikujejo po velikosti, mediju, temperaturi ter viru. V predlaganem primeru je pristop nekoliko drugačen, saj se ne bi shranjevalo toplotne energije, ampak se bi shranjevalo predhodno ohlajeno vodo, ki bi se kasneje uporabila za neposredno hlajenje strojne opreme. Za razliko od litijevih baterij je voda lokalno dostopen in ekološki način shranjevanja energije. Seveda neposredno vodno hlajenje pomeni, da bi bilo treba predelati IT opremo v strežniški sobi.

Pri porabi energetsko učinkovite opreme informacijsko-telekomunikacijskih tehnologij (IKT), ki pripomore k zmanjšanju porabe količine energije, potrebne za napajanje teleporta, se rešitve lahko iščejo v smeri sodobnih pristopov informacijske tehnologije (IT) ali izboljšanja telekomunikacijskih (TK) tehnik, vključno s povečanjem učinkovitosti anten in postopkov sledenja satelitom.

Satelitski teleporti so danes nameščeni na zemeljski obli glede na nekatere poslovno-ekonomске namene, ki se pri nameščanju niso ozirali na trajnostne vidike. Proučiti je smiselno možnosti integriranega sodelovanja med teleporti in bolj smiselnem umeščanju novih teleportov v prostor.



## Zahvala

Delo je nastalo v študentskem projektu za trajnostni razvoj 2023 »Trajnostni teleport«, ki ga financira Univerza v Ljubljani v okviru ukrepa RSF (razvojnega stebra financiranja) »Vključevanje lokalnih, regionalnih in globalnih izzivov trajnostnega razvoja, interdisciplinarnosti in STEAM pristopov v študijski proces«.



# Uporaba resonančno-induktivnega sklopa za prenos podatkov na daljše razdalje

Luka Zmrzlak, Luka Podbregar, Boštjan Batagelj, Matjaž Vidmar, Aljaž Blatnik

## Motivacija

Sodobni izzivi pri uporabi senzorjev zahtevajo rešitve, ki presegajo tradicionalne metode napajanja. Zlasti v okolju, kjer si ne moremo privoščiti kemijskih kontaminacij ali pogoste menjave baterij. Tako se za napajanje na krajše razdalje lahko uporabi prenos energije z resonančno-induktivnim sklopom, podobno kot deluje radiofrekvenčna identifikacija (angl. Radio Frequency Identification – RFID). Čeprav ta rešitev temelji na principih podobnih tehnologij RFID, omogoča prenos energije na razdalje do 40 centimetrov, kar je precej več od običajnih razdalj standardnih sistemov.

## Brezžični senzor prevodnosti

Cilj je izdelava brezžičnega napajanja in komunikacije s senzorjem za merjenje prevodnosti vode. Brezžični senzor prevodnosti sestoji iz dveh galvanjsko ločenih enot. Notranja senzorska enota (angl. Sensor Inner Part – SIP) se nahaja znotraj tlačne posode in je napajana z zunanje senzorske enote (angl. Sensor Outer Part – SOP). Zunanja tuljava je nastavljena na resonančno frekvenco (133 kHz) z avtomatskim načinom uglaševanja, ki se sproži ob vsakem zagonu. Uglaševanje tuljave SOP je nujno za popravke majhnih odstopanj v induktivnosti, saj je tuljava snemljiva. Tuljava SIP je tovarniško izdelana in uglašena na fiksno frekvenco. Preko resonančnega sklopa pridobiva modul SIP energijo in komunicira z nizom N-MOS ter P-MOS tranzistorjev nazaj do SOP.



Postavitev prototipa med izdelavo



Tuljava SIP

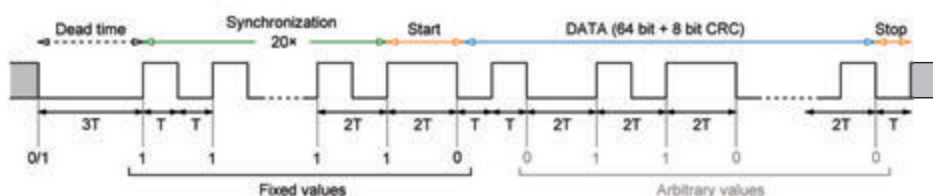


Prototipno SOP vezje

## Izvedba komunikacije

Razglasitev resonančnega sklopa povzroči amplitudno modulacijo napetosti zunanje tuljave. To se izvede z uporabo zunanjega N-MOSFET-a, ki ga krmili mikrokontroler. Komunikacija poteka s frekvenco 1 kHz, kot je prikazano na diagramu.

Za komunikacijo se uporablja kodiranje Manchester, pri katerem je prehod iz nizke na visoko napetost kodiran kot digitalna "1" in visoko na nizko kot digitalna "0". Sinhronizacija se zagotovi z nizom dvajsetih logičnih "1", ki predstavlja sinhronizacijsko točko in se ne sme pojaviti nikjer drugje v podatkovnem toku. Za uspešno sinhronizacijo je možno prenesti 64 bitov podatkov, katerimi sledi 8 bitov za zaznavanje napak v prenosu (angl. Cyclic Redundancy Check – CRC).



## Reference

[1] Tratnik, J., Škapin, I., Lemut, P., Blatnik, A., Vidmar, M., Batagelj, B., Zmrzlak, L., & Podbregar, L. (2023). "Postopek za merjenje različnih parametrov fluida in naprava za izvedbo postopka." SI 26349 a, 2023-10-30

# Radiofrekvenčna stopnja za radar na osnovi tehnologije mikrovalovne fotonike

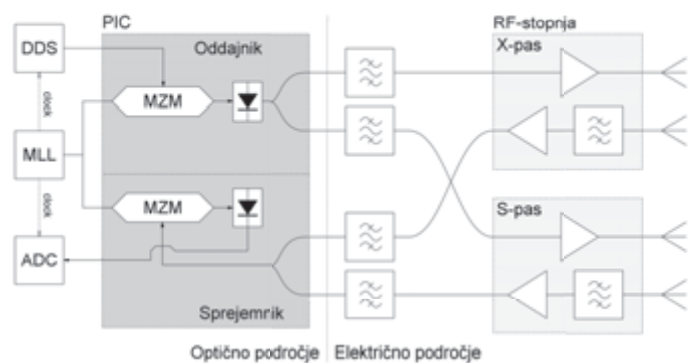
Luka Zmrzlak, Aljaž Blatnik, Boštjan Batagelj

## Motivacija

V sodobnem svetu daljinskega zaznavanja, kjer radarji igrajo ključno vlogo, se pojavlja potreba po integraciji fotoničnih tehnologij v radarske sisteme. Mikrovalovna fotonika prinaša izboljšave kot so večja pasovna širina, prenos z majhnimi izgubami in odpornost na elektromagnetne motnje, kar odpira nove možnosti uporabe. Ta pristop omogoča izboljšano ločljivost in hitrost zaznave, kar bistveno presega možnosti klasične elektronike in uvaja novo dobo v radarski tehnologiji, obljublja večjo učinkovitost in več namenskost.

## Fotonski radarski sistem

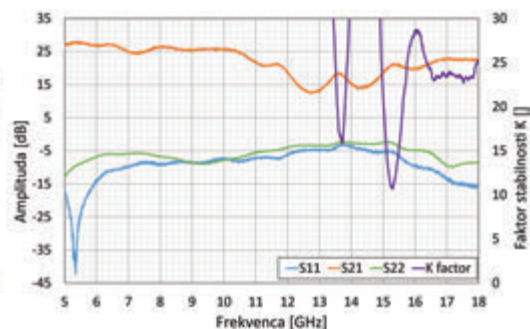
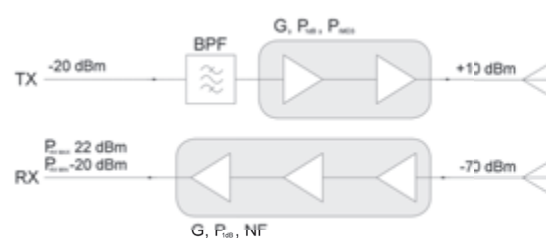
V fotonskih integriranih vezjih (PIC) se za generiranje optičnih signalov pogosto uporablja rodovno vkljen laser (angl. mode-locked laser – MLL), ki proizvaja spektralno glavniast signal. Ta signal se digitalno obdelava, da dobimo želene radarske valovne oblike na različnih vmesnih frekvencah, ki modulirajo Mach-Zehnderjev modulator (MZM). Modulirani optični signal se v fotodiodi pretvori v električni signal, ki se nato filtrira, da pridobimo posamezno nosilno frekvenco. Sistem loči signal na različne pasove, ki se po filtriranju pošljejo na ločene radiofrekvenčne (RF) stopnje za ojačanje in oddajanje. Odmevi radarja se zaznajo, ojačajo, filtrirajo in obdelajo za pridobivanje radarskih podatkov.



## Radiofrekvenčna stopnja

Oblikovanje RF stopnje predstavlja večji izziv kot pri tradicionalnih radarskih implementacijah zaradi nizke izhodne moči PIC. Običajno je izhodna moč visokofrekvenčnega oscilatorja okoli 0 dBm, vendar je v mikrovalovni fotoniki za približno 60 dB nižja zaradi izgub v optični obdelavi. MZM na sprejemni strani zahteva primerno visoko vhodno moč. Za zaznavo cilja na srednjih razdaljah je potrebna skupna ojačitev v RF delu, tako na sprejemni kot na oddajni strani, ki znaša okoli 100 dB.

Komercialne zasnove ojačevalnikov so drage, lastna izdelava pa je dolgotrajen in zahteven proces, zato so dobra izbira ojačevalniki z enostavno integracijo kot so podjetja Mini Circuits. Za ohranitev nizkih stroškov prototipov je smiselna uporaba dvoslojnega laminata FR4 z debelino 1 mm, kar pa prinese neenakomerno ojačanje po frekvencah. Vsak ojačevalnik se zapre v medeninasto skatlico za preprečitev zunanjih motenj. Izhodna moč PIC je pričakovana okoli -20 dBm, katero je potrebno pred oddajo v okolico ojačati z dvema kaskadno vezanima AVA-1B3A+ ojačevalnikoma na približno 10 dBm. Prejeti signal iz okolice potrebuje precej večje ojačanje, saj se pričakuje moči velikosti -70 dBm. Zato je primerna kaskadna vezava treh PMA-1B3PLN+, ki lahko ojača signal za 70 dB. Tako se doseže moč sprejemnega pasu fotonskega vezja, ki je med -20 in 22 dBm.



S-parametri obeh kaskadno vezanih AVA-1B3A+ ojačevalnikov



## Reference

- [1] M. I. Skolnik, Ed., Radar handbook, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- [2] P. Ghelfi et al., "Photonics in Radar Systems: RF Integration for State-of-the-Art Functionality," IEEE Microwave, vol. 16, no. 8, pp. 74–83, Sep. 2015.
- [3] J. Capmany and D. Novak, "Microwave photonics combines two worlds," Nature Photon, vol. 1, no. 6, pp. 319–330, Jun. 2007, doi: 10.1038/nphoton.2007.189.
- [4] L. Zmrzlak, A. Blatnik, M. Scalfardi, A. Bogoni and B. Batagelj, "Transmitter and Receiver Amplifier Chains in X- and Ku-bands of Radio Frequency Front-End for Frequency-Agile Microwave Photonic Radars," 30th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Ohrid, North Macedonia, 2023, pp. 1–5, doi: 10.1109/IWSSIP58668.2023.10180307.
- [5] L. Zmrzlak, A. Blatnik, M. Scalfardi, A. Bogoni and B. Batagelj, Pregled tehničnih zahtev za radiofrekvenčno končno stopnjo radarja na osnovi tehnologije mikrovalovne fotonike. Zbornik dvaintridesete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2023. 28. - 29. september 2023.



# Razdeljevanje signala lokalnega oscilatorja za radarske sisteme

Luka Podbregar, Boštjan Batagelj

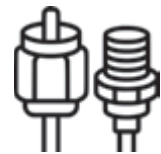
## Motivacija

Zaradi izboljšane prostorske ločljivosti, ki je odvisna od frekvence in pasovne širine, se v zadnjem času radarski sistemi osredotočajo na višje frekvenčne pasove, kot je pas milimetrskih valov (30 - 100 GHz), pod-terahečni (0,1 - 0,3 THz) ali pa terahečni frekvenčni pas (0,3 - 10 THz). Z uporabo teh frekvenčnih pasov je mogoče doseči ločljivosti v razredu pod milimeter natančno, vendar to zahteva zelo natančno sinhronizacijo [1].

Pričakuje se, da bo prihodnost radarjev zaznamovana s porazdeljenimi radarskimi sistemi, ki bodo med seboj delovali koherentno, kot so multistatični radarji ali radarski sistemi z več vhodi in več izhodi (MIMO). Koherentnost omogoča konstruktivno obdelavo podatkov, ki so bili sprejeti iz več lokacij [2].

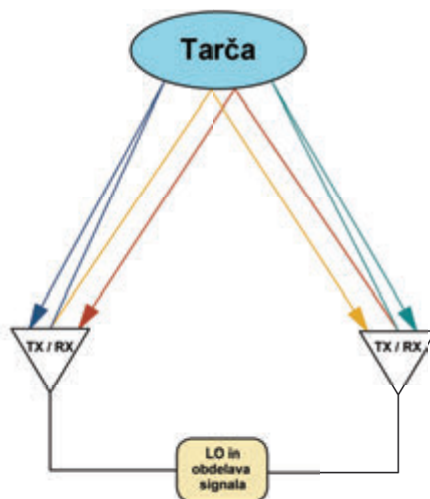
## Prenosni medij

Za razdeljevanje signala LO se lahko uporablja več različnih prenosnih medijev, kot so koaksialni kabli, valovodi ali optična vlakna [3]. V klasičnih radarskih sistemih se pogosto uporablja prenos preko koaksialnih kablov, ki pa imajo pri visokih frekvencah visoko slabljenje in posledično niso primerni za uporabo na večjih razdaljah. Poleg tega so visokofrekvenčni koaksialni kabli tudi zelo dragi, kar jih naredi neprimerni za nizkocenovne radarske sisteme.



Optična vlakna so veliko cenejša od omenjenih koaksialnih kablov in omogočajo prenos radijskih signalov z uporabo mikrovalovne fotonike (angl. Radio over Fiber). Ta ima prednost v široki pasovni širini, nizkem slabljenju, možnosti uporabe valvnodolžinskega multipleksiranja, odpornosti na elektromagnetne motnje ter možnosti implementacije sistemov za stabilizacijo faze prenešenega signala [4]. Optična vlakna so tudi majhna, fleksibilna in zato preprosto vgradljiva v sisteme, kjer smo omejeni s prostorom, kot na primer v avtomobilih.

Alternativni prenosni medij so tudi valovodi, ki se lahko pojavijo v različnih oblikah. Zasedimo koplanarne valovode, valovode s krožnim prerezom, mikrotrakaste valovode itd. Za radarske sisteme z višjimi močmi so bolj primerni kot koaksialni kabli. Njihova glavna pomanjkljivost je v visokem slabljenju pri visokih frekvencah, kar jih naredi manj primerne za porazdeljene radarske sisteme, kjer so antene na razdaljah več kot nekaj metrov.



Slika 1: Porazdeljen radar z več vhodi in več izhodi

## MIMO radar

MIMO radarski sistem predstavlja velik napredek v primerjavi s klasičnim enojnim primarnim radarjem. Njegova največja prednost je v možnosti zaznavanja okolice iz različnih točk, kar omogoča boljšo ločljivost v pravokotni smeri od zaznane tarče. To omogoča boljšo ocenitev vektorja hitrosti tarče. Klasični enojni primarni radar lahko namreč izmeri le Dopplerjev premik frekvence, ki je posledica radialne hitrosti premika tarče. MIMO sistem izboljšuje tudi možnost zaznave tarč z majhno radarsko odsevno površino, ki jih je običajno težko razločiti od okolice.

MIMO radar sistem je sistem, ki iz več anten pošilja in sprejema različne signale. Obdelava vseh podatkov se zgodi na istem mestu in sistem zaradi porazdeljenosti anten potrebuje povezavo, ki omogoča prenos velike količine neobdelanih podatkov od anten do procesorja. Za doseganje čim večje koherentnosti se zahteva natančna časovno in posledično tudi fazno sinhronizacijo vseh gradnikov sistema.

## Reference

- [1] L. Yi, Y. Li, and T. Nagatsuma, 'Photonic Radar for 3D Imaging: From Millimeter to Terahertz Waves', IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 29, no. 5: Terahertz Photonics, pp. 1-14, Sep. 2023, doi: 10.1109/STQE.2023.3298933.
- [2] G. Serafino et al., 'Toward a New Generation of Radar Systems Based on Microwave Photonic Technologies', J. Light. Technol., vol. 37, no. 2, pp. 643-650, Jan. 2019, doi: 10.1109/JLT.2019.2894224.
- [3] J. S. Sandenbergh, M. Weiss, F. V. Crespi, D. W. O'Hagan, and P. Knott, 'An Adaptive Distributed Clock for Radar Networks', in 2019 International Radar Conference (RADAR), Toulon, France: IEEE, Sep. 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/RADAR41533.2019.171234.
- [4] J. Tratnik, P. Lemut, M. Vidmar, 'Time-transfer and synchronization equipment for high-performance particle accelerators. Informacije MIDEM: časopis za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale. jun. 2012, letn. 42, št. 2, str. 115-122.

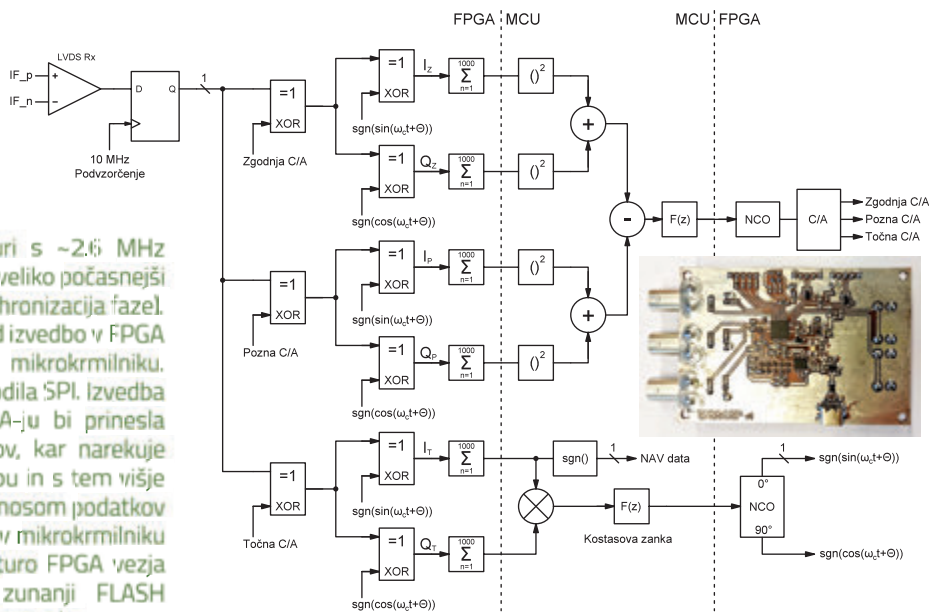
# DSP obdelava GNSS signala

Nejc Bertonec, Kristof Frelih in Aljaz Blatnik

## Digitarna obdelava

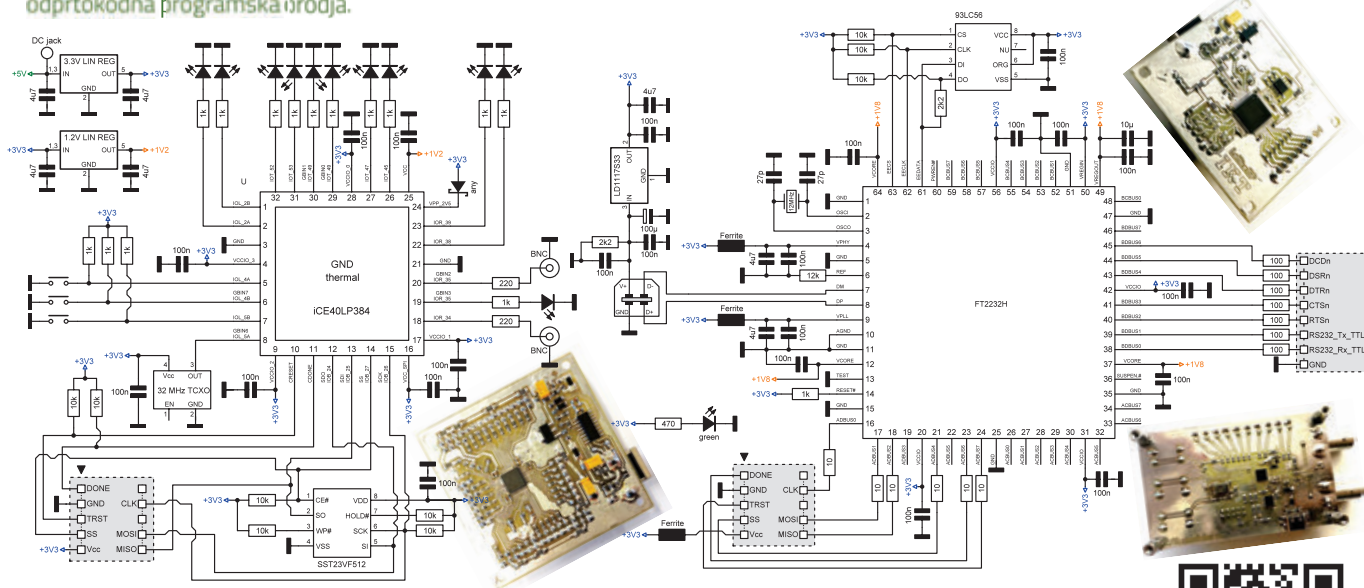
Prvo stopnjo digitalne obdelave GNSS signala predstavlja sistem, osnovan na integriranem vezju FPGA. Vhodni signal s frekvenco 22,6 MHz, ki ga dobimo iz analognega dela, se najprej podvzorca in zmnoži s tremi različnimi C/A kode, ki jih interno proizvaja sam FPGA (synchronizacija kode).

Signal se nato množi v kvadraturi s ~2,6 MHz signalom, čigar generiranje upravlja veliko počasnejši program v mikrokrmilniški enoti (synchronizacija faze). Obdelava signala je razporejena med izvedbo v FPGA strukturi in programsko kodo v mikrokrmilniku. Prenos med obema poteka preko vodila SPI. Izvedba celotne digitalne obdelave v FPGA-ju bi prinesla preveliko porabo razpoložljivih virov, kar narekuje potrebo po precej zmogljivejšem čipu in s tem višje stroške. Ker delamo s počasnim prenosom podatkov (50 bps), lahko programska oprema v mikrokrmilniku teče z vsega 1 kHz taktom. Strukturo FPGA vezja lahko prenesemo v namenski zunanji FLASH pomnilnik, ali pa jo po posodobitvi programska oprema mikrokrmilnika.



## Razvojno okolje in orodja

Pri gradnji lastnega DSP vezja za izdelavo GNSS sprejemnika (na primeru GPS), smo načrtovali in izdelali namenske razvojne ploščice s programatorji, ki so služili začetnem preizkušanju vseh sestavnih blokov (C/A generator, NCO, SPI vodilo, seštevalnik, mešalnik, pod-vzorčenje ...). FPGA z družine integriranih vezji iCE40 podjetja Lattice je bil izbran zaradi brezplačnega razvojnega okolja, podprtega tudi z odprtokodnimi projekti, ustrezne dokumentacije in inčič v ohišjih z manjšim številom priključkov. Za mikrokrmilniško strukturo je bila izbrana uveljavljena družina STM32 podjetja STMicroelectronics, saj so zanjo na voljo številna odprtokodna programska orodja.



Več?

Sledite razvoju projekta! Poslikajte QR kodo in sledite povezavi: <https://github.com/aljazblatnik/GPS-receiver>



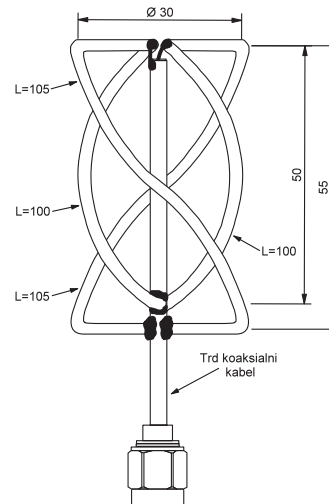
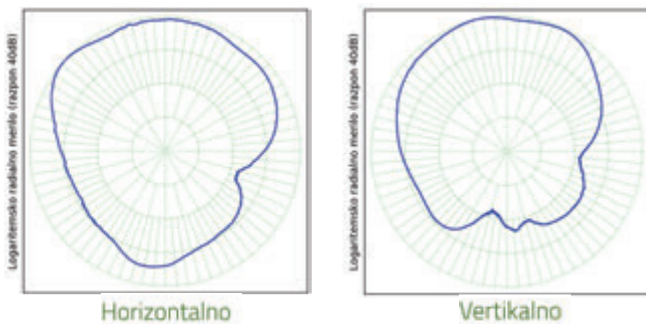


# Zajem in analogna obdelava GNSS signala

Gašper Leskovec, Nikola Sekulovski, Vid Vrh in Aljaž Blatnik

## Antena

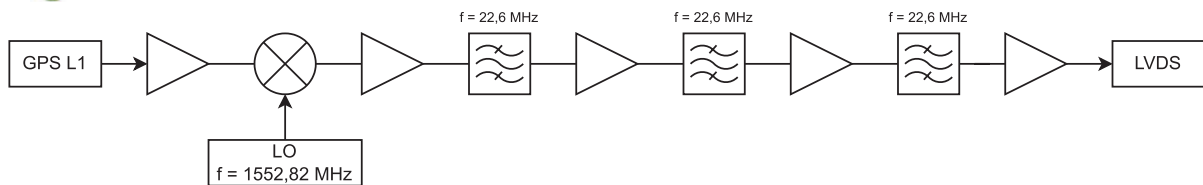
Antena je sestavljena iz trdega koaksialnega kabla in bakrenih žic. Koaksialni kabel je debel 3,5 mm in služi kot steblo antene. Bakrene žice debeline 2 mm so ukrivljene v spiralno obliko. Dve žici sta na vrhu prispajkani na žilo koaksialnega kabla, na dnu pa na njegov oklop. Preostali dve sta na obeh straneh prispajkani le na oklop koaksialnega kabla. Oblika in način zavoja podaja desno-krožno (RHCP) polarizacijo. Dimenzije antene so prilagojene za GPS L1 nosilec na frekvenci 1575,42 MHz. Spodnji polarni smerni diagram prikazuje obliko pri osvetlitvi z linearno polarizirano anteno v dveh ravninah.



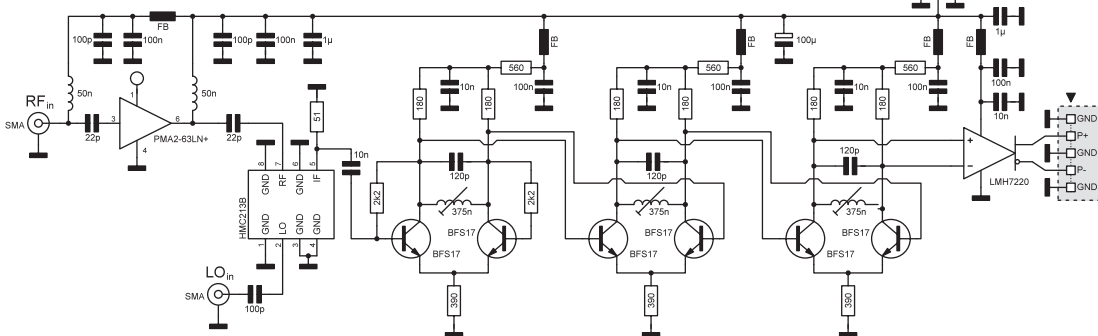
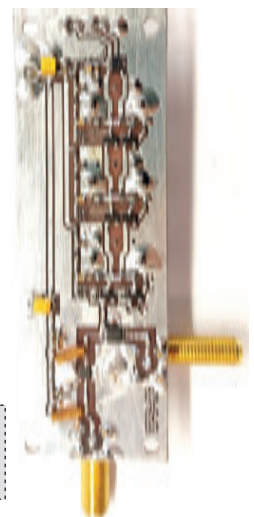
\*Po načrtu S53MV



## Analogna obdelava



GNSS signali se navadno nahajajo zelo blizu, ali celo pod nivojem šuma. Analogna veriga poskrbi, da se ta zelo šibak signal najprej ojača z nizkošumnim ojačevalnikom PMA2-E3LN+ nato pa v mešalniku meša z lokalnim oscilatorjem pri 1552,82 MHz, da dobimo medfrekvenco na zelenih 22,6 MHz. Izbira frekvence ni naključna. Numerično nadzorovan oscilator znotraj DSP rutin FPGA vežja tako ne povzroča ulomkovih špičk ravno v področju zelenega signala, oziroma nam višji rodovi mešanja ne povzročajo preglavic. IF signal predhodno ojačamo in peljemo skozi pasovno prepustno sito (BW = 2,5 MHz). Sito gradimo iz treh stopenj z vmesnimi diferencialnimi ojačevalniki, pri čimer vsaka stopnja ojača za ~20 dB. Končno signal vzorčimo z 1 bitnim vzorčevalnikom in omejevalnikom, v našem primeru LVDS primerjalnikom. S svojimi lastnostmi ta doda še +59 dB ojačanja. Skupaj celotna veriga signal ojača za kar 139 dB!



## Več?

Sledite razvoju projekta! Poslikajte QR kodo in sledite povezavi: <https://github.com/aljazblatnik/GPS-receiver>



### MODELIRANJE RADIJSKIH KANALOV Z ŽARKOVNO-OPTIČNIMI IN NUMERIČNIMI BREZMREŽNIMI METODAMI

Roman Novak\*, Andrej Hrovat\*, Boštjan Batagelj†, Toni Mlinar‡, Andrej Kolar-Požum\*, Gregor Kosce\*, Tomaž Javornik(1)  
\* Inštitut "Jožef Stefan", Odsek za komunikacijske sisteme, Ljubljana, Slovenija  
† Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za sevanje in optiko, Ljubljana, Slovenija



#### Povzetek

V projektu "Napredno modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brez mrežnimi metodami" preučujemo metode in pristope za modeliranje širjenja radijskega signala na frekvencah, ki so predvidene za prilagojene mobilne komunikacijske sisteme. Osnovni cilj projekta je raziskati načine prilagoditve numeričnih metod reševanja Maxwellovih enačb za njihovo uporabo v električno velikih problemih in povečanje natančnosti determinističnih metod, na primer metode sledenja žarkom. Raziskujemo načine premoščanja enornih časovnih zahtev tako numeričnih metod kot tudi tehnik sledenja žarkom pri še sprejemljivi natančnosti modeliranja razširjanja radijskega valovanja. Pozornost smo usmerili tudi v ustrezen opis geometrije okolj z veliko podrobnostmi in raznovrstnimi materiali.

#### Strojne pohitritve

##### Vzporedno računanje

Za numerične postopke, ki so odvisni le od sosednjih vrednosti funkcije, je vzporedno izvajanje primerno na (i) grafičnih pospevalnikih (GPU), (ii) programirljivih logičnih vezjih (FPGA) ali aplikacijsko specifičnih integriranih vezjih (ASIC).

##### Kvanti računalniki [4]

Kvanto računalništvo je primerno za numerično reševanje Maxwellovih enačb, predvsem zaradi možnosti obvladovanja eksponentno rastočih računskih domen.

#### Maxwellove enačbe in metoda končnih razlik (Finite-Difference Time-Domain FDTD)

Maxwellove enačbe - Amperov in Faradejev zakon:

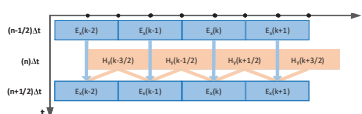
$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \nabla \times \mathbf{H} - \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} \mathbf{E}, \quad \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{E}$$

Amperov in Faradejev zakon v eni dimenziji in praznem prostoru:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{\partial H_y}{\partial z}, \quad \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial E_x}{\partial z}$$

FDTD metoda Yee [1]:

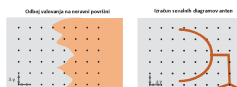
$$\frac{E_x^{(n+\frac{1}{2})}(k) - E_x^{(n-\frac{1}{2})}(k)}{\Delta t} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{H_y^{(n)}(k+\frac{1}{2}) - H_y^{(n)}(k-\frac{1}{2})}{\Delta z}$$
$$\frac{H_y^{(n+1)}(k+\frac{1}{2}) - H_y^{(n)}(k+\frac{1}{2})}{\Delta t} = \frac{1}{\mu_0} \frac{E_x^{(n+\frac{1}{2})}(k+1) - E_x^{(n+\frac{1}{2})}(k)}{\Delta z}$$



Izbira velikosti celice:  $\Delta = \frac{\lambda}{10}$  in časovnega koraka:  $\Delta t = \frac{\Delta}{200}$

Ključne težave metode FDTD [2]:

- 1. **Računska zahtevnost:** Z večanjem računske domene, in večanjem frekvence postane metoda računsko neobvladljiva.
- 2. **Nestabilnost:** Če se kot pojav litnih oscilacij z eksponentno rastjo amplitude.
- 3. **Numerična razpršitev:** Numerični pristop zaradi iterativne narave računa vodi do akumulacije časovnih in faznih napak.
- 4. **Upoštevanje mejnih pogojev na neravnih površinah:**



#### Brezmrežna metoda [3]

- 1. Kvadratno mrežo vzorčnih točk zamenjamo s problemu prilagojeno neregularno mrežo točk
- 2. Vrednosti v vzorčnih točkah izračunamo s pomočjo vrednosti funkcije v sosednjih točkah in baznih funkcij



- 3. Diferencialne operatorje v Maxwellovih enačbah zamenjamo z vsoto:

$$(\mathcal{L}v)(x_i) \approx \sum_{x_j \in N(x_i)} w_{ij}^{\mathcal{L}} u(x_j),$$

- 4. Koefficiente  $w_{ij}^{\mathcal{L}}$  dobimo z rešitvijo naslednje matrične enačbe, kjer je  $\varphi()$  izbrana bazna funkcija, npr. Gaussova:

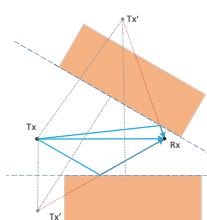
$$\begin{bmatrix} \varphi(\|x_{j1} - x_{j1}\|) & \dots & \varphi(\|x_{j1} - x_{j1}\|) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi(\|x_{j1} - x_{jn1}\|) & \dots & \varphi(\|x_{j1} - x_{jn1}\|) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{j1}^{\mathcal{L}} \\ \vdots \\ w_{jn1}^{\mathcal{L}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathcal{L}\varphi_{j1})(x_i) \\ \vdots \\ (\mathcal{L}\varphi_{jn1})(x_i) \end{bmatrix}$$

#### Geometrijsko optični modeli

Ravninsko valovno fronto predstavimo z radijskim žarkom. Poenostavitev velja, če je točka opazovanja dovolj oddaljena od vira valovanja!

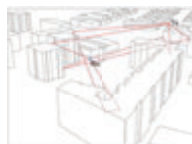
Poenostavitev je problematična pri modeliranju uklona, ki jo je delno rešila Geometrijska teorija uklona GTD.

##### Metoda slik:

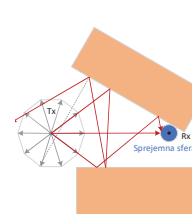


- 1. Primerna za modeliranje radijskega okolja z nizkim številom odbojnih površin.
- 2. Poti žarkov med oddajnikom in sprejemnikom so natančno določene, kar privede do točnega izračuna nivoja radijskega signala.
- 3. Pohitritev metode z uporabo paralelnega računanja je majhna.

##### Poti žarkov v mestnem okolju:

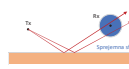


##### Metoda pošiljanja (streljanja) žarkov [5]:

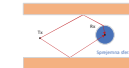


- 1. Metoda je primerna za paralelno izvajanje:
- 2. Sprejemna sfera vnosa sistemske napake v izračun:

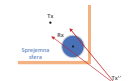
(a) Dvojno štetje žarkov (valovnih front)



(b) Netočnost izračunane poti

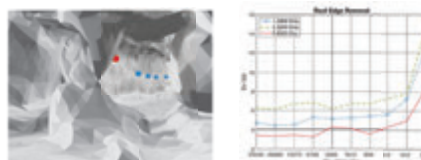


(c) Nedoslednost žarkov



#### Poenostavitev geometrije [6]

Poenostavitev geometrije okolja pohitri izračun in vnese napako.



#### References

[1] Kane Yee. "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media". In: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 14.3 (May 1966), pp. 302-307. ISSN: 0018-929X, 1558-2221. DOI: 10.1109/TAP.1966.1138693. (Visited on 01/04/2024).

[2] Roman Novak. "Numerične Metode Končnih Razlik Za Modeliranje Telekomunikacijskih Kanalov: Pristopi in Izzivi v Numerični Finite-Difference Techniques in Telecommunication Channel Modelling: Approaches and Challenges". In: *Elektroniški vestnik* letn. 87, št. 4 (2020), str. 165-174.

[3] Romano Töbeč and Gregor Kosce. *Parallel Scientific Computing: Theory, Algorithms, and Applications of Mesh Based and Meshless Methods*. SpringerBriefs in Computer Science. Cham Heidelberg: Springer, 2015. ISBN: 978-3-319-17072-5.

[4] Roman Novak. "Quantum Algorithms in Electromagnetic Propagation Modelling for Telecommunications". In: *IEEE access : practical innovations, open solutions* vol. 11 (2023), str. 111545-111563. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3322446.

[5] Roman Novak. "Inconsistent Rays in Propagation Prediction by Ray Launching in Rectangular Tunnels". In: *IEEE Access* 10 (2022), pp. 122548-122559. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3223868.

[6] Roman Novak et al. "Geometric Simplifications of Natural Caves in Ray-Tracing-Based Propagation Modelling". In: *Electronics* 10.23 (Jan. 2021), p. 2014. ISSN: 2079-9292. DOI: 10.3390/electronics10232014.



# Sprejem signalov GNSS v pristanišču Koper

Matej Bažec in Franc Dimc  
Fakulteta za pomorstvo in promet, UL, Portorož

## Povzetek

Ta predstavitev povzema ugotovitve analize opazovanja elektromagnetnih motenj (angl. electromagnetic interference – EMI) na frekvenčnih področjih L1 in L2 globalnega sistema pozicioniranja (angl. Global Positioning System – GPS), ki smo jih opazili med plovbo po bazenih ob pomolih Luke Koper. Namen skupne raziskave fakultete za elektrotehniko, fakultete za gradbeništvo in geodezijo ter fakultete za pomorstvo in promet, UL je bil identifikacija izvorov motenj, ocena vpliva na sprejem signalov GPS in predlogi za odpravo le-teh. Zajem signalov je bil opravljen dne 20. decembra 2023 v dopoldanskih urah (med 9:00 in 11:00). Ugotovitve te raziskave vzbujajo skrb glede zanesljivosti in točnosti sprejemnikov GPS, ki so ključni za pristaniške pomorske operacije.

## Metodologija

Za analizo signalov smo uporabili Rigolov spektralni analizator DSA 8300, Javadov geodetski sprejemnik TR LS2, UBloxova sprejemnika M8N in ZED-F9P ter Xensivom MTi-G 702. Z njimi smo izvedli celoviti zajem za identifikacijo morebitnih izvorov elektromagnetnih motenj, kot so namerni motilniki ali motnje zaradi vpliva naprav, ki oddajajo signale v bližnjih frekvenčnih področjih. Zajem signalov je bil osredotočen na GPS frekvenčna pasova L1 (frekvenca nosilca 1575,4 MHz) in L2 (frekvenca nosilca 1227,60 MHz). Opazovali smo jakost signala in njegovo frekvenčno porazdelitev za namenom, da bi opazili morebitne anomalije.

## Ugotovitve

Na desni sliki vidimo pot plovbe. Na nekaterih območjih so bile zaznane določene motnje na robu spektra, ki bi lahko imele vpliv na natančnost in zanesljivost sprejema signalov GPS. Izvorov teh motenj sicer še nismo identificirali, je pa v pristanišču močna prisotnost komunikacijskih oddajnikov in plovbnih radarjev, možni izvori pa so lahko tudi nezaščiten elektronske naprave na plovilih ali bližnje radijske naprave, ki delujejo v podobnih frekvenčnih pasovih. Tudi tranzitna tovorna vozila so lahko potencialen izvor. Opažene motnje imajo zaznaven vpliv na moč in natančnost signalov GPS, ki lahko vodijo k navigacijskim napakam v pristaniškem območju, ki je nanje še posebej občutljivo med procesom pilotaže v sorazmerno ozkem plovnem kanalu prvega bazena.



Del plovbe čolna z nameščenimi sprejemniki po prvem bazenu Luke Koper. Podatki so bili zajeti z UBloxovima sprejemnikoma M8N (zeleni sled) in Xensivom MTi (oranžna sled). Navigacijske rešitve se skoraj popolnoma ujemajo, zato je slednja koraj v celoti prekrita.

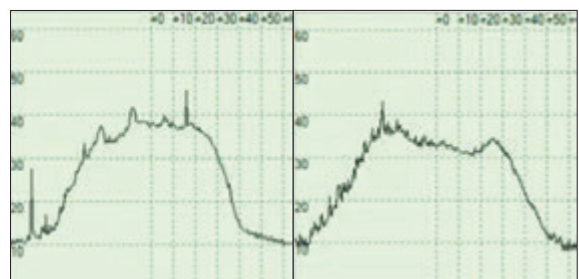
## Predlogi

Kratkoročno predlagamo identifikacijo vseh naprav, ki so registrirane pri ustreznih organih (AKOS) in merjenje njihove morebitne neskladnosti z delovanjem znotraj predvidenega frekvenčnega območja. Dolgoročno predlagamo tudi stalno monitoriranje frekvenčnih spektrov plovil, ki vstopajo v pristaniško območje ter, glede na znane nepravilnosti v podatkih AIS [1], spremljanje odpornosti sprejemnikov proti večpotju. V primeru ugotovitve izvora motečih signalov, predlagamo omejitve oddajne moči in/ali vgraditev ustrezne elektromagnetne zaščite [2], v skrajnem primeru tudi odstranitev opreme.

## Zaključek

Signali globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (angl. Global Navigation Satellite System – GNSS), ki dosežejo sprejemnike GNSS na Zemlji, so zelo šibki, šibkejši so od skoraj vseh drugih radijskih frekvenčnih pojavov in zato zelo dovzetni za motnje. Poleg tega so moteči signali, ki jih oddajajo viri, veliko bližje sprejemnikom kot satelitom, zato so praviloma močnejši in lahko povsem preglasijo signale GNSS.

Elektromagnetne motnje, ki so bile zaznane na frekvenčnih področjih L1 in L2 sistema GPS, predstavljajo potencialno grožnjo navigaciji znotraj območja Luke Koper. Implementacija predlaganih ukrepov je pomembna za zagotavljanje neprekinjenega in natančnega delovanja sistemov, ki so odvisni od pogojev za sprejem signalov GPS znotraj pristanišča in tehničnih rešitev za blaženje posledic v samih sprejemnikih [3].



Primer ugotovljenih motenj na L1 (1583,46 ± 64 MHz, levi graf) in L2 (1224,01 ± 64 MHz, desni graf), zabeleženih s sprejemnikom UBlox ZED-F9P. Obe motnji se nahajata na robovih področjih.

## Reference

- [1] Franc DIMC, Blaž LUIN, Marko PERKOVIČ. Satelitska podpora vplutju v pristanišče in privezovanju. Zbornik 29. mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference I:RK :2020. Portorož, Slovenija, 21.-22. september :2020. Slovenska sekcija IEEE, :2020. str. 45-48.
- [2] Fabio DOVIS, Interference threats and countermeasures, Artech House, 2015.
- [3] Y. T. Jade MORTON, Frank van DIGGELN, James J. SPILKER Jr., Bradford W FARKINSON. Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century. Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2021.



# Izkušnja uporabe Starlinka v Sloveniji

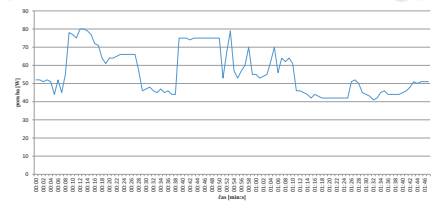
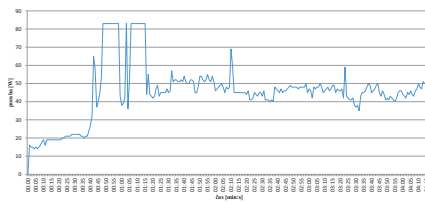
Žiga Andrejc, Boštjan Batagelj

## Motivacija in idejni koncept

Prihod Starlinka, satelitskega širokopasovnega omrežja, podjetja SpaceX, oznanja novo poglavje v globalni povezljivosti. Z več kot 5000 sateliti v nizki zemeljski tirnici in več kot 2 milijona aktivnih uporabnikov je Starlink vodilno satelitsko komunikacijsko omrežje, ki ponuja svoje storitve na kopnem, na morju in v zraku. Število Starlink uporabnikov raste tudi v Sloveniji. Skozi meritve smo želeli spoznati potencial in omejitve uporabe sistema Starlink na slovenskem ozemlju. Cilj je bil pridobiti informacije o usmerjanju prometa, lokaciji prehodne postaje, ki jo uporablja satelit na katerega smo povezani, kako se promet usmerja skozi omrežje Starlink in potrditi uporabo midsatelitskih povezav. Poleg tega pa smo preverili tudi zakasnitev in hitrost povezave ter porabo uporabniškega terminala.

## Meritve porabe električne energije

Meritve moči so pokazale porabo okrog 70 W, z nenadnimi odkloni do 135 W v načinu iskanja, prav tako pa se poraba poveča ob večjem prenosu podatkov. Ob normalni rabi in v povezanem načinu uporabniškega terminala pa je poraba okrog 50 W. Meritve so skladne s SpaceX-ovimi navedbami porabe med 50 in 75 W.



Ko uporabniški terminal prične s iskanjem satelitov na katere se lahko poveže in ko se mehansko premakne poraba poskoči na več kot 130 W. Nato pa se umiri na okrog 50 W. Poraba pa naraste tudi med prenosom podatkov.

## Meritve zakasnitev

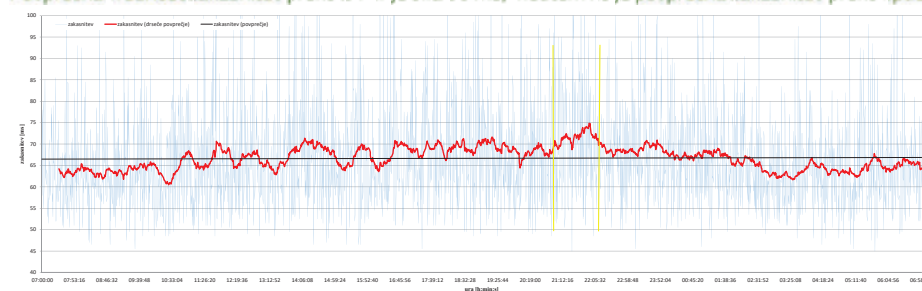
Pri SpaceX-u so uradno naznanili, da so vsi Starlink sateliti v 1,5 in novejši opremljeni z laserskimi midsatelitskimi povezavami. Nikjer pa ni podatka, kako in kdaj se midsatelitske povezave uporabljajo. V primeru povezljivosti na odprtem morju in območjih, kjer ni zemeljskih postaj, morajo uporabljati midsatelitske povezave, saj ponujajo globalno pokritost. V primeru, ko so na voljo zemeljske postaje, pa obstaja vprašanje, ali se promet vsakega uporabnika usmerja preko Starlink omrežja ali je promet ob prvi priložnosti posredovan na zemeljsko postajo in naprej po optičnem omrežju.



Zakasnitev se ne večajo sorazmerno z razdaljo, kot bi pričakovali. Razlog za to je, da se upoštevana račna razdalja razlikuje od dejanske dolžine poti, ki jo prepotuje signal. Dejanske dolžine pa v večini primerov ni možno določiti, saj večina strežnikov zaradi varnostnih razlogov ne dovolji prometa ICMP (ping, tracer, ...), kar pomeni da ne vemo, kako točno se usmerja promet.

Ne glede na to je iz grafa lepo razvidno, predvsem iz drsečega povprečja obeh nizov podatkov, da promet ni bil usmerjan preko midsatelitskih povezav. Zakasnitev preko omrežja Starlink je v vseh primerih daljša za toliko, kot signal potrebuje, da prepotuje od uporabniškega terminala do satelita in nazaj do zemeljske postaje ter do vstopne točke. Iz tega lahko sklepamo, da si SpaceX želi svoje omrežje čim prej razbremeniti in takoj ko je to možno, promet usmeriti na obstoječa zemeljska optična omrežja.

Preko obdobja 24 ur smo merili zakasnitev do strežnika na Dunaju. Vsake pol minute smo izvedli 4 meritve, katerih mediana je bila končna vrednost. Povprečna vrednost zakasnitev preko 24 ur je bila 66 ms, medtem ko je povprečna zakasnitev preko optičnega omrežja našala le 30 ms.



Iz drsečega povprečja je razvidno odstopanje zakasnitev v času med 21:00 in 22:00 (območje označeno z rumeno), ko so zakasnitev narasle zaradi lokalne nevihte. Sodeč po radarski sliki količina padavin ni presegla 15 mm/h. V času testiranja je bilo obdobje nestabilnega vremena in smo imeli vsaj 10 neviht, vendar zaradi padavin storitev nikoli ni izpada. Največja količina padavin je bila okrog 50 mm/h.

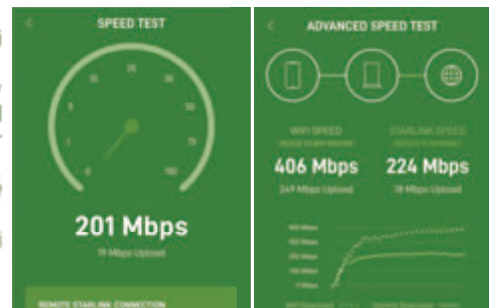
## Meritve podatkovne hitrosti

Meritve hitrost smo izvajali s pomočjo Starlink aplikacije preko brezžičnega omrežja in tudi preko žične povezave s pomočjo ethernet adapterja. Opazne razlike ni bilo.

Z namenom, da povezava med končno napravo in usmerjevalnikom ne bi imela vpliva, v aplikaciji poleg klasičnega testa, ponujajo tudi napredni test hitrosti (ang. Advanced speed test). Le-ta omogoča meritev podatkovne hitrosti med usmerjevalnikom in internetom ter med končno napravo in usmerjevalnikom.

Ob lepem vremenu je bila povezava konstantna in stabilna, tako so hitrosti v večini primerov bile okrog 200 Mbit/s v smeri navzdol in okrog 20 Mbit/s v smeri navzgor.

V primeru dežja in večjega naliva se je opazil vpliv padavin, takrat so se izmerjene hitrosti gibale med 50 Mbit/s in 150 Mbit/s.



Strokovni seminar Radijske komunikacije se je razvil iz izobraževalne dejavnosti, ki jo je pod okriljem projekta TEMPUS JEN-04202 v letih 1993 do 1997 izvajala Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Seminar je namenjen strokovnemu izpopolnjevanju strokovnjakov radijskih komunikacij in drugih, ki jih to področje zanima. Vključen je v program izvajanja vseživljenjskega izobraževanja na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Njegov namen je osveževanje, razširjanje izpopolnjevanje in poglobljanje znanja ter dvig strokovnosti zaposlenih strokovnjakov na področju optičnih komunikacij. Seminar obsega uvodni del, namenjen obnavljanju in razširjanju znanja, ter strokovni del, namenjen seznanjanju in poglobljanju v strokovna vprašanja o sistemih in njihovih sestavnih delih. Izvedenski del seminarja, ki ga izvajajo priznani vabljeni strokovnjaki, obsega nekatera pomembnejša razvojna vprašanja.

*Seminar on Radio Communications evolved from the activities running at the Faculty of Electrical Engineering University of Ljubljana, during the period from 1993 to 1997 under the auspices of the European project TEMPUS JEN-04202 granted for the same period. The seminar is intended to communication professionals and other involved into the field of radio communications. It is part of the continuing education programme at the Faculty of Electrical Engineering in Ljubljana. Its primer purpose is to enhance the expertise of professionals in the field of radio communications. The seminar consists of two parts: one part is dedicated to basic technical topics aiming to refresh fundamental knowledge in radio communications, and the second part is intended to the latest research and development achievements and trends from spectrum regulation, standardization, systems and solutions, all from international and national experts.*

WRC-23, 3GPP, 5G, 5G Advanced, 5G-ACIA, 6G, antena TEM, časovna sinhronizacija, digitalni sistem za notranje pokrivanje (DIS), digitalno predpokačenje signala, določanje položaja, energija, Galileo, georadar, Glonass, GNSS, GPS, IMT, industrija 4.0, integrirano zaznavanje in komunikacija, internet stvari (IoT), javne mobilne storitve, jedro 5G, lokalizacija, Odprti RAN, omrežja TSCH, produkcijsko jedro 5G, radar SFCW, radijska astronomija, samodejno upravljanje s spektrom, satelitska povezljivost IoT, SI-Geodezija-NAVigacija-Lokacija (SIGNAL), standardizacija IoT, storitveno usmerjena arhitektura, šumno število, zasebno mobilno kampus omrežje

*WRC-23, 3GPP, 4.0 Industry, 5G, 5G Advanced, 5G Core (5GC), 5G-ACIA, 6G, automated spectrum management, digital indoor coverage system (DIS), digital signal pre-distortion, energy, Galileo, Glonass, GNSS, GPS, ground-penetrating radar, IMT, Integrated Sensing and Communication, Internet of Things (IoT), IoT satellite connectivity, localization, noise figure, Open RAN, positioning, private mobile campus network, production 5G core, public mobile services, radio astronomy, service oriented architecture, SFCW radar, SI-Geodesy-NAVigation-Location (SIGNAL), IoT standardization, TEM antenna, time synchronization, TSCH networks*

Aleš Simončič, Aljaž Blatnik, Andrej Hrovat, Andrej Osterman, Blaž Pongrac, Božo Mišovič, Csaba Novak, Danijel Šipoš, Drago Majcen, Dušan Gleich, Grega Morano, Ivan Lesić, Janez Strle, Kristijan Melinc, Luka Mustafa, Marko Grebenc, Matjaž Beričič, Matjaž Vidmar, Mirko Ivančič, Polona Pavlovič Prešeren, Primož Smogavec, Rubén Perdiz, Tomaž Javornik, Tomaž Zwitter, Urban Burnik, Urban Zaletel, Vesna Prodnik

**O seminarju**  
**The seminar**

**Ključna gesla**  
**Keywords**

**Avtorji**  
**Authors**



ISBN 978-961-243-461-8



9789612434618