

Open RAN – nov model arhitekturno odprtega radijskega dostopovnega omrežja

Boštjan Batagelj, Tomi Mlinar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za sevanje in optiko, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si

Open RAN – new model of an architecturally open radio access network

Abstract. After three decades of development of digital generations of mobile networks (2G, 3G and 4G), they are now moving towards the fifth generation (5G). All of this evolution and transformation has been driven by various technological innovations that continue today. Mobile networks are now moving from traditionally closed networks to open radio networks, better known as Open Radio Access Networks - Open RAN.

This paper describes the concept of an Open RAN, which is already being used in some places for a more open radio access network architecture than is currently offered by traditional telecommunications companies. Open RAN is a general concept that corresponds to the ongoing shift of traditional RAN architectures toward software and hardware disaggregation and non-proprietary network elements and interfaces.

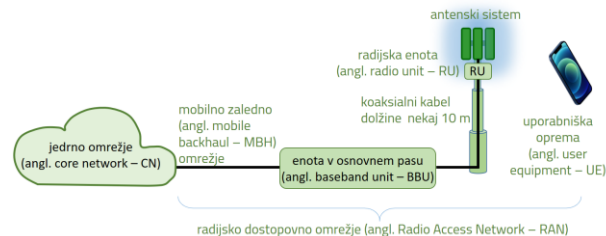
1 Uvod

Po treh desetletjih razvoja digitalnih generacij mobilnih omrežij (2G, 3G in 4G) se sedaj ta usmerjajo že proti peti generaciji (5G) [1]. Razvoj in preoblikovanje je bilo pogojeno z različnimi tehnološkimi inovacijami, ki se še vedno nadaljujejo. Iz tradicionalno zaprtih omrežij je trend razvoja mobilnih omrežij v odprta radijska omrežja, bolj poznana kot odprta radijska dostopovna omrežja (angl. open radio access network – Open RAN).

Članek opisuje koncept odprtega radijskega dostopovnega omrežja (v nadaljevanju odprti RAN), ki se ponekod že uporablja za bolj odprto arhitekturo radijskega dostopovnega omrežja, kot ga danes zagotavljajo tradicionalna telekomunikacijska podjetja. Specifikacije za odprti RAN objavlja Zaveznišтво O-RAN (O-RAN Alliance) [2], katerega naloga je tudi izdaja različic odprte programske opreme in nudenje podpore svojim članom pri integraciji in testiranju lastnih produktov. Odprti RAN je splošen koncept, ki ustreza nenehnemu premikanju tradicionalnih zaprtih arhitektur RAN v smeri programske in strojne razčlenitve ter nelastniških omrežnih elementov in vmesnikov.

2 Dosedanji razvoj radijskega dostopovnega omrežja

Radijsko dostopovno omrežje (angl. radio access network – RAN, v nadaljevanju RAN) je del mobilnega telekomunikacijskega omrežja, ki se nahaja med jedrnim omrežjem (angl. core network – CN) in uporabniško opremo (angl. user equipment – UE), kot prikazuje slika 1. V tradicionalnem smislu je radijsko dostopovno omrežje bazna postaja, katere arhitektura se je z razvojem generacij spreminjala. Kot prikazuje slika 1, je bazna postaja sestavljena iz enote v osnovnem pasu (angl. baseband unit – BBU) in radijske enote (angl. radio unit – RU), ki sta lahko združeni v eni enoti ali pa ločeni za nekaj deset metrov. V tradicionalni izvedbi sta BBU in RU povezani s koaksialnim kablom, v modernejših izvedbah pa ju povezuje optično vlakno [3]. Ta nekaj deset metrov dolg del omrežja se imenuje mobilna dostopovna (angl. mobile fronthaul – MFH) povezava.

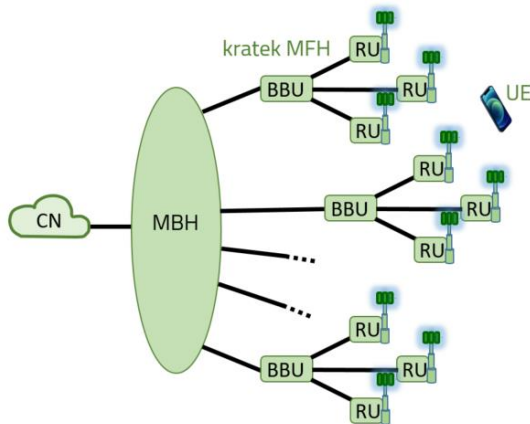


Slika 1. Tradicionalno radijsko dostopovno omrežje, ki se razteza med transportnim mobilnim zalednim (angl. mobile backhaul – MBH) omrežjem preko bazne postaje (angl. base station) do uporabniške opreme.

BBU je omrežni element v arhitekturi bazne postaje, ki obdeluje radijske protokole. Z večanjem števila baznih postaj se je RAN preoblikoval tako, da ena enota v osnovnem pasu lahko oskrbuje več radijskih enot, ki so lahko na istem radijskem stolpu (kot sektorji) ali kot majhne celice (največkrat znotraj stavb). Tako obliko radijskega dostopovnega omrežja, ki ga prikazuje slika 2, imenujemo porazdeljeni RAN (angl. distributed RAN – D-RAN).

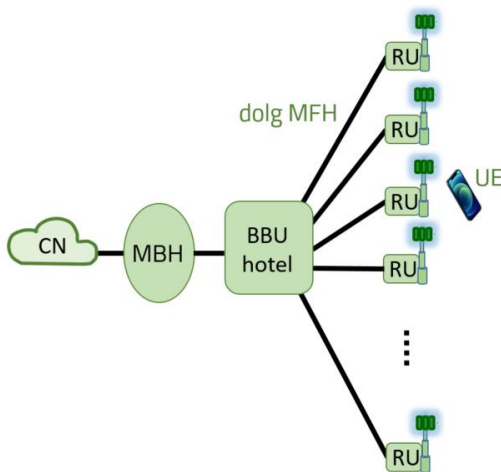
Pri D-RAN imamo še vedno porazdeljene enote RU in BBU, vendar se pri velikem številu majhnih celic pojavljala izziv pri združevanju nosilnikov (angl. Carrier Aggregation – CA), ki je že v sistemu LTE-Advanced uveden kot rešitev za povečanje pasovne širine in s tem bitne hitrosti. Za učinkovito delovanje združevanja nosilnikov je med enotami BBU zahtevan kratek obhodni čas (angl. round-trip time – RTT), kar pa

je nemogoče zagotoviti, če se uporabnik nahaja med dvema BBU-jema, kot prikazuje slika 2.



Slika 2. Porazdeljeno radijsko dostopovno omrežje (D-RAN).

Z namenom zmanjšanja zakasnitev pri združevanju nosilnikov se je radijsko dostopovno omrežje centraliziralo (angl. centralized RAN – C-RAN) [4, 5], kot prikazuje slika 3. Namesto večjega števila enot v osnovnem pasu (BBU) se uvede BBU-hotel, ki oskrbuje večje število radijskih enot (RU) [6]. Zaradi statističnega multipleksa ima BBU v centraliziranem RAN lahko manjše zmogljivosti, kot bi bila vsota vseh enot BBU v porazdeljenem RAN. Motivacija za prehod iz porazdeljenega (D-RAN) v centralizirano (C-RAN) radijsko dostopovno omrežje je torej tudi varčevanje z opremo [7].



Slika 3. Centralizirano radijsko dostopovno omrežje (C-RAN).

S tem pa se je mobilna dostopovna povezava (angl. mobile fronthaul – MFH) podaljšala iz nekaj deset metrov na nekaj deset kilometrov. Za njeno izvedbo je sedaj nujna uporaba optičnega vlakna. V primerih, kjer ni možnosti uporabe optičnega vlakna, pa se izvede mikrovalovna zveza. Preko optičnega vlakna se lahko prenašajo analogni radijski signali (angl. analog radio over fiber – A-RoF), kar je manj običajna rešitev [8, 9], ali digitalni radijski signali (angl. digital radio over fiber – D-RoF), s protokoli:

- splošni javni radijski vmesnik (angl. common public radio interface – CPRI), [10, 11]
- Open Base Station Architecture Initiative (OBSAI),
- IEEE 1914 Next Generation Fronthaul Interface – NGFI.

2.1 Izzivi zdajšnjega radijskega dostopovnega omrežja

Z razvojem informacijsko-komunikacijskih tehnologij za izvedbo mobilnih omrežij postaja radijsko dostopovno omrežje vse bolj kompleksno za razumevanje, izvedbo in uporabo.

K povečani kompleksnosti bistveno prispeva zgostitev omrežja na veliko število majhnih celic, zaradi pokrivanja znotraj zgradb in zagotavljanja velikih zmogljivosti. Istočasno se dogaja razširitev omrežja na višje frekvence, predvsem z namenom, da se zadovolji pričakovano povečanje mobilnega podatkovnega prometa v naslednjih nekaj letih. Višje frekvenčne pasove se išče na področju milimetrskih valov (angl. mmWave – mmW), teraherčnega valovanja in celo svetlobe [12].

Povečano kompleksnost RAN je mogoče pripisati tudi vzpostavljanju raznolikih novih tehnologij, kot so masovni MIMO, rezinjenje omrežja, združevanje nosilnikov, dvojna povezljivost, dinamično dodeljevanje spektra in podobno. Vse to z namenom, da se podpre širok nabor primerov uporabe storitev, kot so izboljšani mobilni širokopasovni prenos (angl. enhanced mobile broadband – eMBB, masovne strojne komunikacije (angl. massive Machine-Type Communications – mMTC), ultrazanesljive komunikacije s kratkim prehodnim časom (angl. ultra-reliable low-latency communications – URLLC), fiksni brezžični dostop (angl. fixed wireless access – FWA), komunikacija med vozilom in ostalim (angl. Vehicle-to-everything – V2X) in podobno.

Nenazadnje kompleksnost RAN narašča tudi zaradi raznolikosti izvedbe omrežja, kot so različno velike celice (makrocelice, pikocelice in femtocelice), že omenjeno opremljanje notranjih prostorov in FWA. Ne smemo pozabiti, da se gradijo mobilna omrežja v različnih oblikah, pri čemer v zadnjem času najbolj izstopajo samostojni način 4G, nesamostojni način 4G/5G, samostojni način 5G in povezava mobilnega omrežja z WiFi in druga zasebna mobilna omrežja.

Kompleksna izvedba RAN ima za posledico povečanje investicijskih in operativnih stroškov za mobilne operaterje za vzdrževanje in nadgrajevanje svoje infrastrukture. Pri tem se vedno težje usklajujejo s tržnimi trendi, tehnološkim razvojem in zahtevami strank.

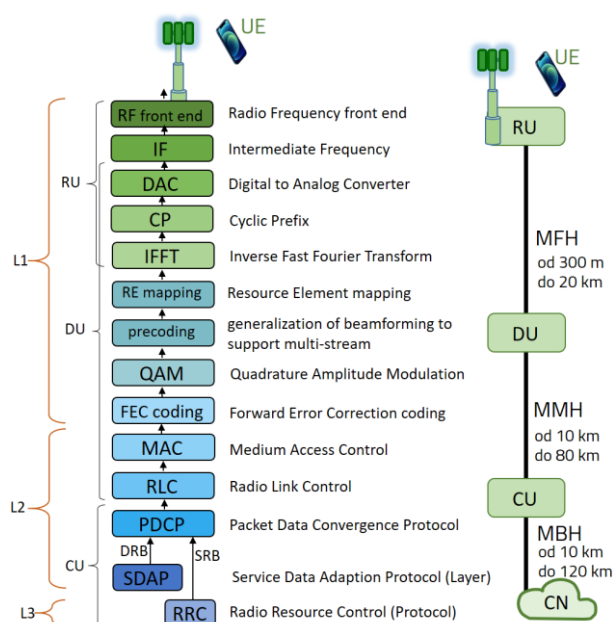
Z vsemi arhitekturnimi izvedbami RAN, tradicionalnim, distribuiranim (D-RAN) in centraliziranim (C-RAN) so enote BBU implementirane kot monolitne enote, kar ima za posledico rešitve vse v enem. Te rešitve vse v enem vsebujejo vse plasti protokolnega

sklada radijskega dostopnega omrežja in so izvedene s pomočjo lastniške strojne in programske opreme, ki pa jih zagotavlja le pet največjih proizvajalcev. Ti dominantni velikih prodajalci (Ericsson, Nokia, Huawei, ZTE in Samsung) popolnoma obvladujejo trg tradicionalnega radijskega dostopnega omrežja, kar omejuje konkurenco na trgu [13]. Lastniška strojna oprema in nepopolnoma transparentni in odprti vmesniki, ustvarjajo tako imenovano zaklepanje operaterja na prodajalca. Ker se poleg protokolov, predpisanih s strani 3GPP, v enotah BBU izvajajo tudi lastniške funkcije, se operaterji z nabavo enot BBU vežejo na enega proizvajalca opreme, saj morajo za popolno funkcionalnost tudi enote RU kupovati pri istem proizvajalcu. Ta pristop ne ustreza trendom gradnje sodobnih mobilnih omrežij, ki zahtevajo prilagodljivo uvajanje, inteligentno avtomatizacijo, obsežno koordinacijo med vozlišči RAN, hitro uvajanje inovativnih funkcionalnih rešitev in nižanje stroškov. V strukturi investicij in operativnih stroškov predstavlja radijsko dostopno omrežje od 60 % do 70 %.

3 Sodobno radijsko dostopno omrežje

3.1 Funkcionalna razdelitev bazne postaje

Kot že omenjeno, je tradicionalno bazna postaja sestavljena iz radijske enote (angl. radio unit – RU), imenovane tudi oddaljena radijska enota (angl. remote radio unit – RRU) ali oddaljena radijska glava (angl. remote radio head – RRH), in enote v osnovnem pasu (angl. baseband unit – BBU), ki pa jo v sodobnih radijskih sistemih imenujemo porazdeljena enota (angl. distributed unit – DU). Radijsko dostopno omrežje pa lahko podrobneje razdelimo na funkcionalne podsklope, ki jih prikazuje slika 4 in segajo od prve plasti (L1) do tretje plasti (L3).

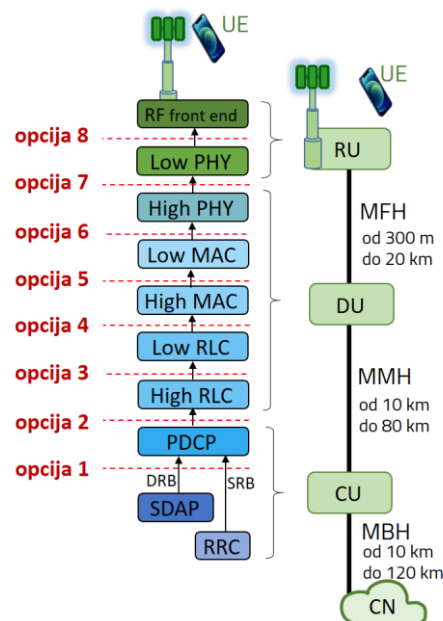


Slika 4. Arhitektura razčlenjenega radijskega dostopa.

V grobem se torej radijsko dostopno omrežje deli na RU, DU in CU (angl. centralized unit). Tovrstno funkcionalno razdelitev bazne postaje oziroma radijskega dostopnega omrežja imenujemo arhitektura razčlenjenega radijskega dostopa (angl. disaggregated radio access network architecture).

CU je v jedrno omrežje (CN – Core Network) povezana z mobilnim zalednim (angl. mobile backhaul – MBH) omrežjem, dolžine od 10 do 120 km. Med CU in DU se razteza mobilno srednje (angl. mobile midhaul – MMH) omrežje, dolžine od 10 do 80 km. Med RU in DU pa je mobilno dostopovno (angl. mobile fronthaul – MFH) omrežje, dolžine od 300 m do 20 km.

S ciljem izboljšati prilagodljivost mobilnega omrežja in njenega čim bolj učinkovitega uvajanja je organizacija 3GPP v procesu standardizacije proučevala funkcionalno razdelitev RAN tako, da je med centralno enoto (CU) in porazdeljeno enoto (DU) umeščala funkcije novega radia (angl. New Radio – NR). V povezavi s tem je 3GPP v tehničnem poročilu TR 38.801 [14] predlagala skupno osem možnosti razdelitve RAN, kot to prikazuje slika 5. Izbira načina razdelitve funkcij novega radia (NR) med CU in DU je odvisna od scenarijev gradnje radijskega omrežja, omejitev in predvidenih podprtih storitev.



Slika 5. Funkcionalna razdelitev radijskega dostopnega omrežja.

Trenutno sta od osmih predlaganih možnosti delitve največ pozornosti deležni dve. To sta možnost 2 in možnost 7, ki ju imenujemo tudi razdelitev višje plasti (angl. high layer split – HLS) in razdelitev spodnje plasti (angl. low layer split – LLS) [15].

Razdelitev zgornje plasti (HLS) – možnost 2 – zagotavlja prilagodljivost uvajanja in velja za prvi korak k virtualizaciji RAN. Pravzaprav se izraz vRAN v industriji pogosto uporablja za opis arhitekture, kjer je CU virtualizirana. S HLS je CU nadalje razdeljen na dve logični ravni, nadzorno (CU-CP) in uporabniško (CU-UP). Ta ločitev na nadzorno ravnino (angl. control

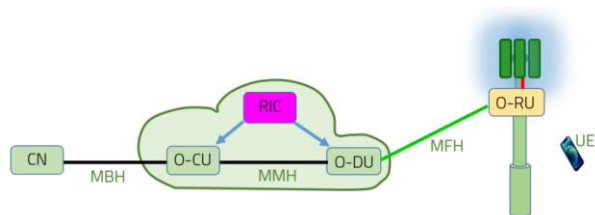
plane – CP) in uporabniško ravnino (angl. user plane – UP) je zelo pomembna za zagotavljanje prilagodljive razširljivosti omrežja in učinkovitega rezinjenja v RAN. Razdelitev višje plasti omogoča razbremenitev centralizirane enote z ločeno obdelavo radijskih virov RRC (CU-CP) in protokola za konvergenco paketnih podatkov PDCP (CU-UP). Obdelava seveda ne poteka v realnem času. Zmogljivosti enega CU si deli več DU. CU je mogoče preprosto virtualizirati na strežniku, ki ni namenski temveč je komercialno dostopnem gotov izdelek (angl. commercial off-the-shelf – COTS), kar zagotavlja vrsto prednosti, kot so ločevanje programske in strojne opreme, učinkovito prilagajanje zmogljivosti RAN, izboljšano medsebojno sodelovanje med RAN in CN.

Razdelitev spodnje plasti (LLS) – možnost 7 – omogoča vedno bolj pomembno razdelitev funkcij, ki jih zagotavlja fizična (PHY) plast. Z LLS so določene funkcije spodnje fizične plasti (PHY-), npr. IFFT, oblikovanje snopa in sorodno, implementirane v RU, medtem ko funkcije zgornje fizične plasti (PHY+) ostajajo v DU. Ker funkcije spodnje fizične plasti ustvarjajo zelo visoke hitrosti prenosa podatkov (zlasti v primeru masovnega MIMO) z zelo strogimi časovnimi zahtevami, takšna decentralizacija na RU sprosti zahteve glede zmogljivosti in zakasnitev, hkrati pa zmanjša računsko kompleksnost v DU. Organizacija 3GPP je določila tri možnosti razdelitve spodnje plasti, označene za 7.1, 7.2 in 7.3. Razlikujejo se v dodelitvah funkcij fizičnega nivoja med DU in RU [16].

3.2 Koncept odprtega radijskega dostopnega omrežja

Odpri RAN je ime za radijsko dostopno omrežje, ki pomeni naslednji razvojni korak mobilne omrežne arhitekture v smeri nadgradnje arhitekture razčlenjenega radijskega dostopa. Gre za korak v smeri popolnoma ločenih in virtualiziranih omrežij, implementiranih z nelastniškimi gradniki RAN. Pri tem se kot gradnike razumemo strojno opremo, programsko opremo in vmesnike, ki povezujejo te gradnike.

Ta nova arhitektura omogoča programabilnost, nadzorljivost in inteligenco v odprtem radijskem dostopnem omrežju. Funkcionalnosti, ki so bile prej specifične za proizvajalca opreme in so bile tradicionalno vključene v DU in CU so sedaj odprte. Kot prikazuje slika 6, odprt DU (O-DU), odprt CU (O-CU) in platformo za upravljanje odprtega radijskega dostopnega omrežja sedaj upravlja nov inteligentni krmilnik RAN (angl. RAN Intelligent Controller – RIC). Glede na odzivnost omrežja lahko RIC deluje v nerealnem času (angl. non real time) in skoraj realnem času (angl. near real time).



Slika 6. Dodajanje inteligentnega krmilnika RAN v koncept odprtega RAN.

Glavna prednosti odprtega RAN je odprti trg gradnikov različnih proizvajalcev opreme, kar lahko zniža stroške omrežja. Vezanje na zgolj enega proizvajalca opreme ni potrebno. Za operaterje je pomembno, da premik funkcij iz namenske strojne opreme v programsko opremo omogoča hitrejšo nadgradnjo omrežja. Poleg novih možnosti, ki jih prinaša umetna inteligenca bodo odprte tudi številne že poznane možnosti, kot na primer prilagodljivost modulacijskih formatov na okoljske zahteve in namen uporabe.

RIC omogoča enostavno koordinacijo z drugimi radijskimi omrežji (razčlenjenimi in centraliziranimi). Odprtost vseh vmesnikov pa omogoča možnost popolne integracije z drugimi programskimi gradniki v nadzorni plasti. To daje možnost dinamične in hitre prekonfiguracije ter programabilnosti med končnima točkama.

Kot glavni izziv odprtega RAN se trenutno kaže izgradnja in optimizacija sistema med končnima točkama z gradniki, katerih delovanje ni povsem poznano. Pri tem obstaja nevarnost nepotrebno visokih varnostnih zaščit in režij zaradi podvajanja.

4 Sklep

Nobenega dvoma ni, da odprti RAN prinaša svež veter v tradicionalno okolje mobilnih komunikacij, saj odprti RAN spodbujajo novi standardi, ki jih vodijo operaterji mobilnih omrežij (Zavezništvo O-RAN) in ne tradicionalni velik proizvajalci opreme. Nekateri imajo odprti RAN za glavnega akterja bodočega razvoja mobilnih omrežij, v smeri šeste generacije (6G). Nedvomno bo koncept odprtega RAN omogočil manjšim podjetjem, da vstopijo na trg radijskega dostopnega omrežja in ponudijo nove uporabniške primere. Uvedba odprtega RAN prinaša mnoge izzive, kot so investicijski stroški, kompleksnost izvedbe, varnostni izzivi, bojazen pred povečanjem operativnih stroškov in mnoge druge. Poleg tega tudi še ni jasno, ali bodo vlogo integratorja odprtih RAN prevzeli operaterji, dosedanji veliki proizvajalci opreme ali namenska podjetja.

Zahvala

Delo je podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru projekta J2-3048 in raziskovalnega programa P2-0246.

Literatura

- [1] Boštjan Batagelj. Širokopasovni internet je tudi - 5G. Monitor. jun. 2021, letn. 31, št. 6, str. 32-34, <https://www.monitor.si/clanek/sirokopasovni-internet-je-tudi-5g/207663/>.
- [2] <https://www.o-ran.org/>
- [3] P. Chanclou et al., "Optical fiber solution for mobile fronthaul to achieve cloud radio access network," 2013 Future Network & Mobile Summit, 2013, pp. 1-11.
- [4] A. Checko et al., "Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 405-426, Firstquarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2014.2355255.
- [5] I. A. Alimi, A. L. Teixeira and P. P. Monteiro, "Toward an Efficient C-RAN Optical Fronthaul for the Future Networks: A Tutorial on Technologies, Requirements, Challenges, and Solutions," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 1, pp. 708-769, Firstquarter 2018, doi: 10.1109/COMST.2017.2773462.
- [6] Nicola Carapellese, M. Shamsabardeh, Massimo Tornatore, Achille Pattavina. Chapter 10: BBU Hotelling in Centralized RadioAccess Networks, "Fiber Wireless Convergence" Chapter: 3.3, Publisher: Springer Optical Networks Series.
- [7] Mehmet Alp Ilgaz, Kristjan Vuk Baliž, Boštjan Batagelj, "Improved Next-Generation Radio Access Networks Using a Centralized Opto-Electronic Oscillator", Journal of Mobile Multimedia, vol. 18, iss. 5, 2022, DOI: <https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.1855>.
- [8] S. Park, C. -B. Chae and S. Bahk, "Large-scale antenna operation in heterogeneous cloud radio access networks: a partial centralization approach," in IEEE Wireless Communications, vol. 22, no. 3, pp. 32-40, June 2015, doi: 10.1109/MWC.2015.7143324.
- [9] Batagelj, B., L. Pavlovic, L. Naglic, and S. Tomazic. 2011. Convergence of Fixed and Mobile Networks by Radio over Fibre Technology. Info. MIDEM 41: 144–149.
- [10] Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification, CPRI Specification V7.0 (2015-10-09).
- [11] Common Public Radio Interface: eCPRI Interface Specification, eCPRI Specification V2.0 (2019-05-10).
- [12] <https://www.newfocus-cost.eu/>
- [13] Emma Brown, Caroline Gabriel. Open RAN: a framework for understanding the vendor ecosystem, Analysys Mason, marec, 2022, https://www.analysismason.com/contentassets/606b19e4080c4e2db4558ccb33092d89/analysys_mason_open_ran_framework_mar2022_samples_rma18.pdf
- [14] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (Release 14), 3GPP TR 38.801 V14.0.0, marec 2017.
- [15] NGMN Alliance, "NGMN Overview on 5G RAN Functional Decomposition", 24. februar 2018. https://ngmn.org/wp-content/uploads/Publications/2018/180226_NGMN_RAN_FSX_D1_V20_Final.pdf
- [16] Yajima, Anil Umesh Tatsuro, Toru Uchino and Suguru Okuyama. "Overview of O-RAN Fronthaul