

OMOGUĆAVANJE BRZE INTERNETSKJE VEZE NA UDALJENIM I TEŠKO DOSTUPNIM PODRUČJIMA

Kurti, Bekim

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Algebra University College / Visoko učilište Algebra**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:225:227247>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**



Repository / Repozitorij:

[Algebra University College - Repository of Algebra University College](#)



VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA

ZAVRŠNI RAD

**OMOGUĆAVANJE BRZE INTERNETSKE
VEZE NA UDALJENIM I TEŠKO
DOSTUPNIM PODRUČJIMA**

Bekim Kurti

Zagreb, veljača 2020

„Pod punom odgovornošću pismeno potvrđujem da je ovo moj autorski rad čiji niti jedan dio nije nastao kopiranjem ili plagiranjem tuđeg sadržaja. Prilikom izrade rada koristio sam tuđe materijale navedene u popisu literature, ali nisam kopirao niti jedan njihov dio, osim citata za koje sam naveo autora i izvor, te ih jasno označio znakovima navodnika. U slučaju da se u bilo kojem trenutku dokaže suprotno, spreman sam snositi sve posljedice uključivo i poništenje javne isprave stečene dijelom i na temelju ovoga rada“.

U Zagrebu, datum.

Predgovor

Kao prvo i najvažnije ovdje želim zahvaliti svojoj obitelji koja je imala strpljenja i razumijevanja za sve one dane koje nisam s njima proveo i gdje im nisam bio na raspolaganju za njihove izazove zbog moje želje i odluke da se školujem. Također zahvaljujem svim suradnicima na poslu koji su mi omogućili dovoljno vremena svojim dodatnim angažmanom.

Posebna zahvala ide i mentoru koji me je gurao i koji mi je uvelike pomogao da završim ovaj rad. Naposljetku želim iskazati poštovanje svim predavačima, asistentima i djelatnicima Algebre s kojima sam prošao ovaj dio života.

Prilikom uvezivanja rada, Umjesto ove stranice ne zaboravite umetnuti original potvrde o prihvaćanju teme završnog rada kojeg ste preuzeli u studentskoj referadi

Sažetak

Pristup brzjoj internetskoj vezi je prepoznat kao pravo svakog građana Europske Unije od strane Europske komisije. Cilj EK je da se do 2020. godine postigne pokrivenost mrežama nove generacije minimalne brzine od 30 Mbit/s cjelokupna populacija u Europskoj uniji. Postizanje ovakve pokrivenosti je veliki izazov za mala ruralna mjesta što predstavlja hendikep za njihov razvoj i zadržavanje populacije.

Ovaj rad je praktično pokazao da je ipak moguće ostvariti dobru internetsku vezu i na udaljenim i teško dostupnim područjima korištenjem lako dostupne opreme i uz minimalna financijska sredstva.

U prvom dijelu rada se objašnjavaju pojmovi vezani uz trenutno uspostavljenu infrastrukturu bežičnih računalnih mreža kako lokalnih tako i onih na širem geografskom području, a i satelitskih internetskih mreža.

U drugom dijelu se opisuje planirana infrastrukturu za omogućavanje brze internetske veze, a u trećem se opisuje praktično izvođenje planirane infrastrukture iz drugog dijela i obavljanje mjerenja.

Internetska veza na udaljenim i teško dostupnim područjima uspostavljena je na četiri načina:

- dohvatom internetske veze komercijalnog poslužitelja internetskih usluga korištenjem point- to- point usmjerenih WI-FI antena
- postavljanjem antenskog sustava LTE visoko iznad prepreka
- korištenjem pojačivača (repeater) signala mobilnog interneta komercijalnog poslužitelja mobilnih internetskih usluga
- uporabom satelitskog interneta

Na kraju su se analizirali podaci dobiveni mjerenjem i situacije koje su se pojavile tijekom praktičnog dijela.

Ključne riječi: LTE, 5G, Wi-Fi, P2P, ka-band, Internet na otvorenom, Internet u šumi

European Commission has recognized that fast internet connection is right of every citizen of European Union. EC objective is to establish coverage over all EU population with New Generation Networks with data rate of 30 Mbit/s or more by 2020. This is very challenging objective for small rural places what is big disadvantage for their further development.

In this paper has been demonstrated in a practical way that is possible to achieve good internet connection even in the remote and hard to reach areas by using easily accessible equipment and with minimal funding

First part of the paper consists of explanation of terms and concepts related to the currently established infrastructure of wireless local and wide area networks as well as satellite Internet networks.

The second part of paper describes the planned infrastructure for facilitating high-speed Internet connection, and the third part of paper describes the practical implementation of the planned infrastructure and measurements performed.

Four methods to establish an Internet connection in remote and hard-to-reach areas were deployed:

- retrieving the Internet connection of a commercial Internet server using point-to-point WI-FI antenna
- by placing the LTE antenna system high above obstacles
- using the LTE signal booster of a commercial mobile ISP
- using satellite internet

Keywords: LTE, 5G, Wi-Fi, P2P, ka-band, outdoor Internet, Internet in forest

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled korištenih bežičnih tehnologija.....	2
2.1.	Bežične lokalne mreže (WLAN)	3
2.1.1.	IEEE 802.11g (Wi-Fi 3).....	4
2.1.2.	IEEE 802.11n (Wi-Fi 4).....	5
2.1.3.	IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5).....	8
2.2.	Bežične mreže pokrivanja uslugom na širem geografskom području	10
2.2.1.	Sustav 2G (GSM, GPRS, EDGE).....	10
2.2.2.	Sustav 3G (HSDPA, HSUPA, HSPA+).....	13
2.2.3.	Sustav 4G (LTE, LTE Advanced)	15
2.3.	Satelitski pristup internetu	18
3.	Planiranje povezivanja na internet.....	21
3.1.	Dohvat brzog interneta korištenjem sustava WLAN.....	21
3.1.1.	Wi-Fi infrastruktura u vanjskim uvjetima	21
3.1.2.	Omogućavanje brzog Interneta s P2P usmjerenim Wi-Fi antenama.	22
3.2.	Dohvat brzog interneta korištenjem sustava WAN	24
3.2.1.	Izdizanje LTE prijemne antene na visoku točku	24
3.2.2.	Korištenje repetitora LTE signala.....	26
3.3.	Dohvat brzog interneta korištenjem sustava MSIA	27
4.	Praktična provedba povezivanja na brzi internet i rezultati mjerenja.....	29
4.1.	Dohvat brzog interneta korištenjem P2P Wi-Fi antena	29
4.1.1.	Postavljanje infrastrukture	29
4.1.2.	Mjerenje performansi pri prijenosu podataka	30

4.2.	Dohvat brzog interneta izdizanjem LTE prijemne antene	32
4.2.1.	Postavljanje infrastrukture	32
4.2.2.	Mjerenje performansi pri prijenosu podataka	32
4.3.	Dohvat brzog interneta korištenjem repetitora LTE signala.....	34
4.3.1.	Postavljanje infrastrukture	34
4.3.2.	Mjerenje performansi pri prijenosu podataka	34
4.4.	Dohvat brzog interneta korištenjem sustava MSIA	36
4.4.1.	Postavljanje infrastrukture	36
4.4.2.	Mjerenje postignute brzine prijenosa podataka	37
5.	Analiza dobivenih mjerenja	39
6.	Zaključak	41
	Popis kratica.....	43
	Popis slika.....	47
	Popis tablica.....	49
	Literatura.....	51
	Prilog.....	Error! Bookmark not defined.

1. Uvod

Tema ovog rada je ispitati mogućnost uspostave brzog pristupa internetu na udaljenim i teško dostupnim područjima. U ta područja spadaju primjerice planine, šume, kanjoni i slična mjesta na kojima uobičajenom korisničkom opremom (laptop, tablet, pametni telefon) ne možemo pristupiti internetu uopće ili taj pristup nije brzi pristup.

U prvom poglavlju rada se daje teoretski pregled i opis tehnologija koje će se koristiti za postizanje cilja, u drugom poglavlju se opisuju planirane metode i topologije ostvarivanja cilja rada, u trećem poglavlju se opisuje praktična provedba plana te mjerenje brzina uspostavljenih topologija, a u četvrtom poglavlju se analiziraju dobiveni podaci mjerenja iz kojih se izvodi zaključak.

Cilj rada je odrediti metodu odnosno infrastrukturu kojom će se omogućiti pristup internetu korištenjem pametnih telefona idealno brzinama većim od 30 Mbit/s ili barem brzinama koje će omogućiti dijeljenje slika i postova na web portalima, slanje e-mailova, video razgovora korištenjem aplikacija Viber i Messenger na udaljenim i teško dostupnim mjestima.

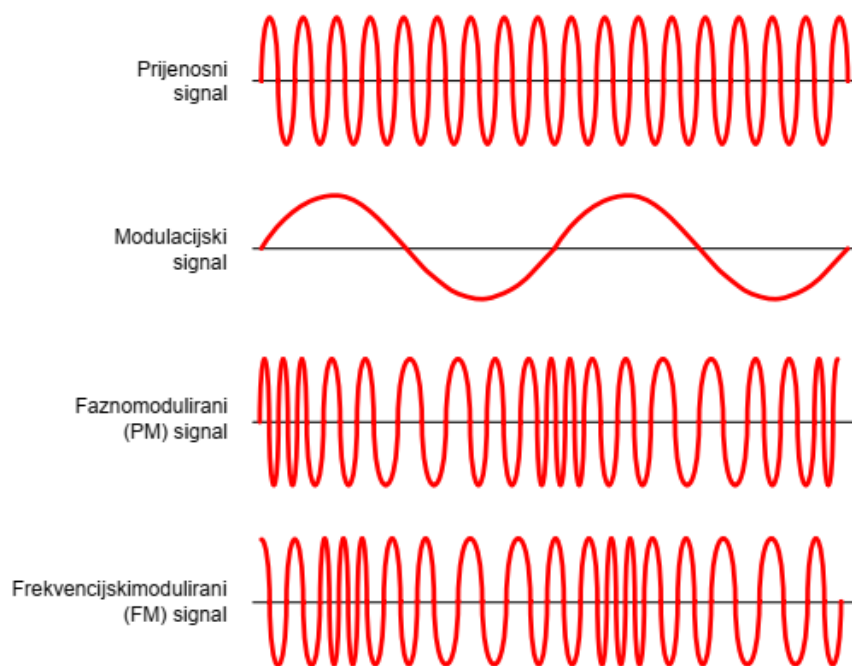
Mjerenja će se raditi pametnim telefonom koji je korisnička oprema koja će se i inače koristiti na ovakvim terenima u realnim situacijama. Pretpostavka je da treba omogućiti pristup internetu za minimalno 10 klijenata koji će koristiti pametne telefone ili tablete za komunikaciju. Vezu treba biti moguće ostvariti u vrijeme kad dođe do potrebe komuniciranja. Veza ne treba biti stalna, ali mora je u slučaju potrebe biti moguće uspostaviti u roku od nekoliko minuta pri čemu treba također odrediti i najpogodniji i k tome ekološki prihvatljiv način za osiguravanje električne energije.

U radu će se metode usporediti prema kompliciranosti dopreme i održavanja opreme za omogućavanje internetske veze pošto se radi o udaljenim i teško dostupnim područjima koja često nemaju osiguran pristup motornim vozilima.

2. Pregled korištenih bežičnih tehnologija

Minimalni zahtjev kod prijenosa podataka je da podatak bude prenesen. Dakle mora se osigurati da svaki podatak koji se šalje s odašiljača stigne na prijemnik. Kako kod prijenosa podataka dolazi do gubitaka dijela podataka (dolazi do „šuma“ u vezi), podaci se moraju kodirati na takav način da se i uz gubitak određenog podatka ipak dobije nedvosmislena informacija. Taj proces se zove kodiranje i označava postupak koji povećava količinu podataka koji se prenose kako se ne bi izgubila informacija.

Fizička prezentacija podatka u radio valu koji prenosi taj podatak se naziva modulacija. Podatak može biti analogni ili digitalni pa tako razlikujemo i postupke modulacije vala nositelja kao analogne modulacijske procese, procese koji analognim signalom moduliraju val koji prenosi informaciju, te digitalne modulacijske procese, procesi koji digitalnim signalom moduliraju val koji prenosi informaciju. Val koji prenosi informaciju je uvijek analogni i njemu se može mijenjati amplituda, frekvencija i faza.



Slika 2.1 Modulacije signala nosioca [2]

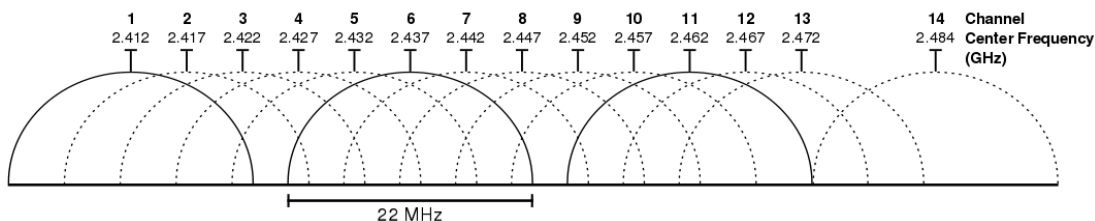
Slika 2.1Error! Reference source not found. prikazuje faznu modulaciju i frekvencijsku modulaciju signala nosioca. Iz slike je vidljivo da se na prijenosnom valu mijenjaju

amplituda ili frekvencija s obzirom na modulirajući sinusni signal koji predstavlja analognu informaciju.

2.1. Bežične lokalne mreže (WLAN)

IEEE 802.11 su skupina standarda koji se koriste kod uspostavljanja bežičnih lokalnih mreža WLAN (eng. *Wireless Local Area Network*), a posebno bežičnih mreža između računala, printera, pametnog telefona, televizora i sl. IEEE 802.11 su najčešće korišteni standardi koji se koriste za bežično povezivanje na svijetu, a njihov je razvoj počeo još 1990. godine kad je IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) oformio radnu skupinu koja je trebala analizirati i standardizirati korištenje bežičnih mreža u tom vremenu. Ista radna skupina je tek 1997. godine izašla s prvim standardom [1].

U frekvenzijskom ISM (engl. *Industrial Scientific Medical*) pojasu (2.400 MHz – 2.483,5 MHz) definirana su 13 kanala širine 22 MHz od kojih se samo 3 ne preklapaju (u Japan je definirano 14 kanala od kojih se 4 ne preklapaju), kako je to prikazano na Slika 2.2 Ova podjela spektra je ostala na snazi sve do danas.

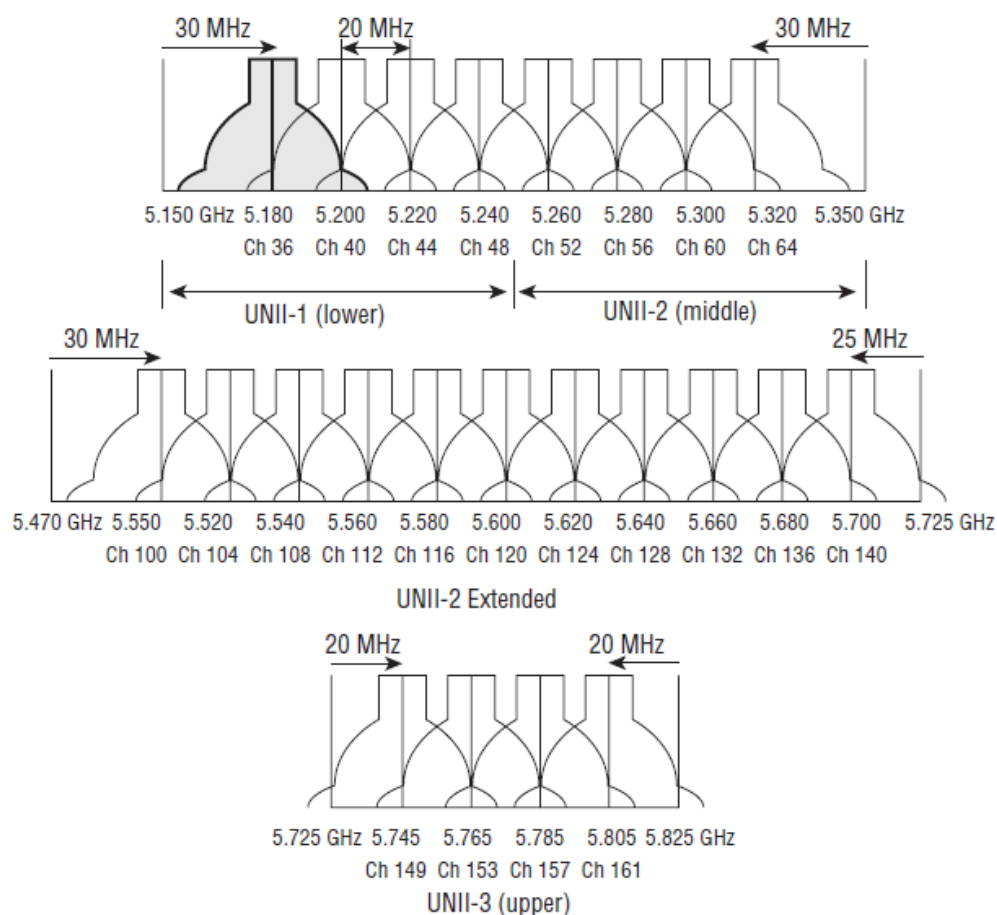


Slika 2.2 grafički prikaz 13 (14) Wi-Fi kanala ¹

Dio spektra u 5 GHz se također koristi za WLAN mreže². Taj dio spektra, prikazanog na Dio spektra 5 GHz koji se koristi za WLAN mreže, se koristi u novijim IEEE 802.11 standardima (WiFi 4, WiFi 5). Za upotrebu na otvorenim prostorima je pogodniji 2,4 GHz spektar jer je otporniji na prepreke od 5 GHz spektra.

¹ [1] https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

² https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels



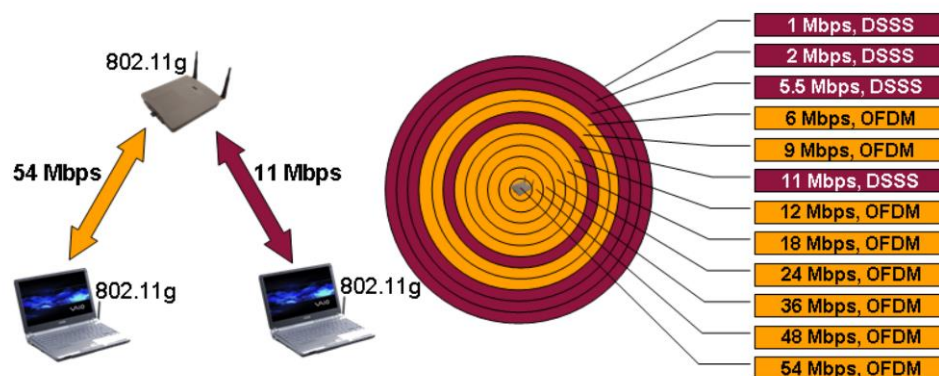
Slika 2.3 Dio spektra 5 GHz koji se koristi za WLAN mreže ³

2.1.1. IEEE 802.11g (Wi-Fi 3)

Ovaj standard ratificiran 2003. godine koristi 2,4 GHz ISM frekvencijski pojas, ali za razliku od ranijih verzija u prijenosu koristi OFDM (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) modulaciju i CSMA/CA (engl. *Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance*) metoda višestrukog pristupa. OFDM radi na način da se frekvencijski pojas nosioca podijeli na velik broj frekvencija koje su međusobno ortogonalne i tako ne smetaju jedne drugoj. Podaci se prenose paralelno na svim ortogonalnim frekvencijama. Na ovaj način 802.11g omogućava prijenos podataka brzinama i do 54 Mbit/s. Kako je 802.11g standard kompatibilan s 802.11b, koji je bio jako zastupljen među korisnicima Wi-Fi-a, 802.11g je zbog toga bio širom prihvaćen od proizvođača bežičnih mrežnih uređaja već u

³ <https://mrncciew.files.wordpress.com/2014/10/cwap-24-5ghz-04.png>

siječnju 2003. godine kad još nije bio niti ratificiran, što je još jednom pokazalo da tržište ne čeka na birokraciju ako vidi potencijal u nekom proizvodu. Nedostatak mrežnih uređaja koji koriste 802.11g standard je da na radijskom sučelju potencijalno trpe smetnje drugih uređaja koji koriste 2,4 GHz ISM frekvencijski pojas za svoj rad. Naime ISM je nelicencirani frekvencijski pojas u kojem jednako tako rade i *bluetooth* uređaji, mikrovalne pećnice, bežične tipkovnice i miševi te uređaji za nadzor djece i sl.



Slika 2.4 Brzine prijenosa podataka definirane standardom 802.11g [3]

Error! Reference source not found. prikazuje brzine prijenosa podataka koje podržava 802.11g s obzirom na jačinu signala pristupne točke i kojim modulacijskim metodama one odgovaraju (izvor: predavanje).

2.1.2. IEEE 802.11n (Wi-Fi 4)

Novost u ovom standardu je da se koriste višestruke antene za povećanje brzine prenošenja podataka (do 4x4:4 pri čemu prvi broj u nizu znači broj antena za slanje koji radio može koristiti, drugi broj u nizu znači broj prijemnih antena koje radio može koristiti, a treći broj u nizu označava broj prostornih tokova podataka koje radio može koristiti). Ovakvu metodu zovemo MIMO (engl. *Multiple-Input Multiple-Output*) metoda. Korištenjem ove metode osiguravaju se veće brzine prijenosa podataka kao i veći broj korisnika koji se mogu spojiti na mobilnu mrežu. Kako bi se smanjile smetnje uslijed interferencije te povećala brzina prijenosa podataka standard 802.11n se koristi i metodu oblikovanja snopa (engl.

Beamforming) i to moduliranjem amplitude i faze signala tako da dobiveni signal bude u stvari 'uska' zraka na koju ne djeluju nikakve smetnje⁴.

U 802.11n standardu koristi se 20 MHz ili 40 MHz široki frekvencijski kanal s OFDMA (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) višestrukim pristupom. Višestruki pristup korištenjem ortogonalnih frekvencija se zasniva na korištenju uskih međusobno ortogonalnih frekvencijskih kanala za ostvarivanje komunikacije više korisnika istovremeno. Frekvencije ortogonalnih kanala se dobivaju korištenjem Furierovog teorema. Korištenjem ove metode višestrukog pristupa omogućava se puno veća spektralna efikasnost, tj. prenosimo više bitova informacije po jedinici frekvencije. Jedini izazov ove metode je visoki PAPR (engl. *Peak to Average Power Ratio*), a to posljedično zahtjeva veliku količinu energije pa je mobilni uređaji koji rade na baterijski pogon ne mogu koristiti za slanje podataka nego samo za primanje, a za slanje koriste neku drugu metodu višestrukog pristupa.

Standardom 802.11n se također postavljaju standardi podrške za agregaciju paketa (engl. *Frame Aggregation*) korištenjem MSDU (engl. *Media Access Control Service Data Unit*) agregacije MPDU (engl. *Media Access Control Protocol Data Unit*) agregacije s BA (engl. *Block Acknowledgement*) shemom što je uvedeno u 802.11e standardu, a optimizirano u 802.11n standardu. Obje metode se oslanjaju na činjenicu da svaki preneseni okvir sadrži određenu količinu dodatnih podataka koji među ostalim opisuju i sučelja s kojih podaci idu i sučelja na koja podaci idu pa se ti podaci agregiraju u jednom okviru. Na taj se način omogućava manje trošenje kapaciteta za prijenos dodatnih podataka. Također je sigurnost bežičnog prijenosa podataka u ovom standardu povećana⁵.

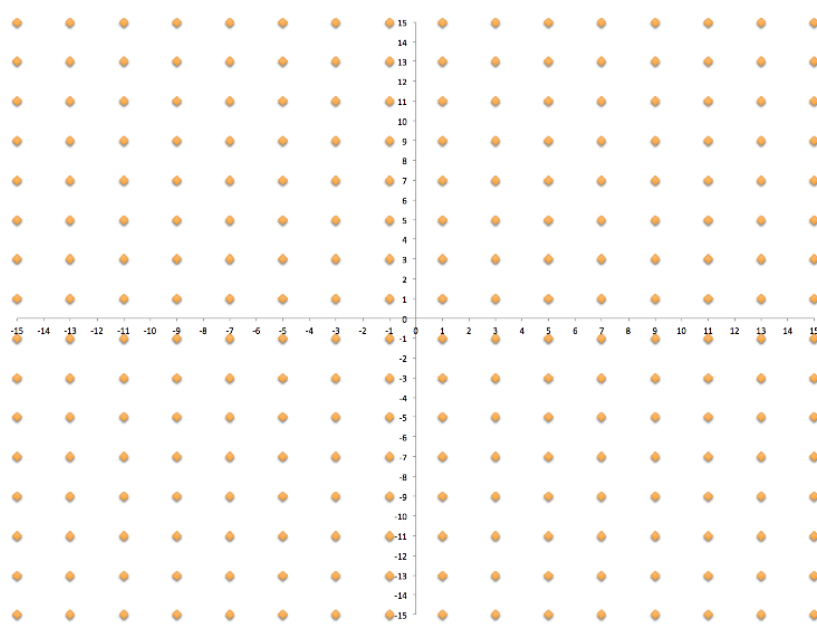
802.11n koristeći 64-QAM modulaciju uz 4 prostorna toka podataka i 5/6 kodiranje može postići brzine prijenosa i do 600 M bit/s što se vidi iz Tablica 2.1. QAM (engl. *Quadrature Amplitude Modulation*) je modulacijska tehnika kod koje informaciju određuje veličina amplitude, frekvencija ali i faza u kojoj se prijenosni val nalazi. Na ovaj način se povećava broj simbola koje u jednom momentu prijenosni val može prikazati. Ova tehnika se najviše koristi u modernim bežičnim vezama.

⁴ <https://www.extremetech.com/computing/160837-what-is-802-11ac-and-how-much-faster-than-802-11n-is-it>

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009

802.11n je u osnovi napravljen da radi na frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz, ali može raditi i na frekvencijskom pojasu od 5 GHz.

Slika 2.5 **Error! Reference source not found.** prikazuje konstelacijski dijagram 256 QAM modulacijske tehnike. Ova tehnika omogućuje prikaz 256 različitih simbola u svakom momentu što znači da svaki simbol prikazuje 8 bitova informacije. Ova tehnika iziskuje vrlo dobru vezu između odašiljača i prijemnika.



Slika 2.5 Modulacija 256 QAM⁶

⁶ [1] <https://blogs.arubanetworks.com/solutions/mobility/what-is-qam/>

Tablica 2.1 Brzine prijenosa podataka definirane standardom 802.11n ⁷

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^[a]			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150
8	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30
9	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60
10	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90
11	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120
12	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180
13	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240
14	2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
15	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300
16	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45
17	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90
18	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135
19	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180
20	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270
21	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360
22	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405
23	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450
24	4	BPSK	1/2	26	28.8	54	60
25	4	QPSK	1/2	52	57.6	108	120
26	4	QPSK	3/4	78	86.8	162	180
27	4	16-QAM	1/2	104	115.6	216	240
28	4	16-QAM	3/4	156	173.2	324	360
29	4	64-QAM	2/3	208	231.2	432	480
30	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540
31	4	64-QAM	5/6	260	288.8	540	600
32	1	BPSK	1/4	N/A	N/A	6.0	6.7
33 – 38	2	Asymmetric mod.		Depends	Depends	Depends	Depends
39 – 52	3	Asymmetric mod.		Depends	Depends	Depends	Depends
53 – 76	4	Asymmetric mod.		Depends	Depends	Depends	Depends
77 – 127		Reserved		N/A	N/A	N/A	N/A

2.1.3. IEEE 802.11ac (WI-FI 5)

802.11ac standard je uveo veći broj antena po uređaju (do 8) šire frekvencijske kanale (do 160 MHz-a u 5 GHz frekvencijskom području) i modulaciju višeg reda (256 QAM, a neki proizvođači koriste i van standardni 1024 QAM), a omogućeno je do 8 prostornih tokova podataka. Također se koristi MU-MIMO (engl. *Multiple User MIMO*) za do 4 klijenta uvođenjem pametnih antena koje uz karakteristike MIMO antena iz 802.11n standarda dodatno su još i pokretne⁸ i prate korisnika tako da je metoda oblikovanja snopa još bolja i omogućava još veće brzine prijenosa podataka.

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009

⁸ <https://www.extremetech.com/computing/160837-what-is-802-11ac-and-how-much-faster-than-802-11n-is-it>

Ovaj standard je pušten u upotrebu u dvije verzije (Wave1 i Wave2), pri čemu je certifikacija uređaja po Wave 1 802.11ac standardu počela provoditi od 2013. godine (3 antene, 80MHz frekvencijski kanal), a 2016. godine je predstavljen i Wave 2 802.11ac standard (4antene, MU-MIMO, 160 MHz širina frekvencijskog kanala za prijenos podataka).

Tablica 2.2 pokazuje brzine prijenosa podataka koje se mogu postići uređajima koji su napravljeni po 802.11ac standardu.

Tablica 2.2 Brzine prijenosa podataka definirane standardom 802.11ac⁹

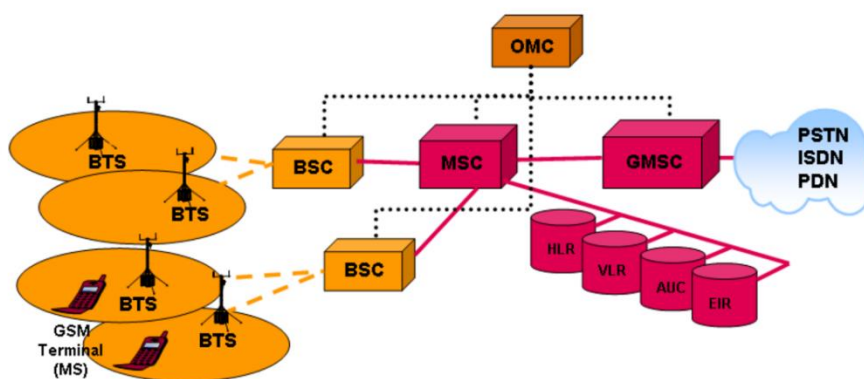
MCS index ^[a]	Spatial Streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (in Mbit/s) ^{[16][b]}							
				20 MHz channels		40 MHz channels		80 MHz channels		160 MHz channels	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	1	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7
0	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
1	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
2	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
3	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120	234	260	468	520
4	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
5	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240	468	520	936	1040
6	2	64-QAM	3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170
7	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300
8	2	256-QAM	3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
9	2	256-QAM	5/6	N/A	N/A	360	400	780	866.7	1560	1733.4
0	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
1	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
2	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
3	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180	351	390	702	780
4	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270	526.5	585	1053	1170
5	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
6	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405	N/A	N/A	1579.5	1755
7	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450	877.5	975	1755	1950
8	3	256-QAM	3/4	234	260	486	540	1053	1170	2106	2340
9	3	256-QAM	5/6	260	288.9	540	600	1170	1300	2340	2600
0	4	BPSK	1/2	26	28.8	54	60	117.2	130	234	260
1	4	QPSK	1/2	52	57.6	108	120	234	260	468	520
2	4	QPSK	3/4	78	86.8	162	180	351.2	390	702	780
3	4	16-QAM	1/2	104	115.6	216	240	468	520	936	1040
4	4	16-QAM	3/4	156	173.2	324	360	702	780	1404	1560
5	4	64-QAM	2/3	208	231.2	432	480	936	1040	1872	2080
6	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540	1053.2	1170	2106	2340
7	4	64-QAM	5/6	260	288.8	540	600	1170	1300	2340	2600
8	4	256-QAM	3/4	312	346.8	648	720	1404	1560	2808	3120
9	4	256-QAM	5/6	N/A	N/A	720	800	1560	1733.2	3120	3466.8

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac

2.2. Bežične mreže pokrivanja uslugom na širem geografskom području

U računalnoj terminologiji WAN (engl. *Wide Area Network*) je pojam koji podrazumijeva mrežu međusobno spojenih, žično ili bežično, elektroničkih uređaja, računala, printera, pametnih telefona, tableta i sl., koji se nalaze na širem geografskom području i međusobno komuniciraju. Komunikacija se najčešće ostvaruje TCP/IP (engl. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) protokolom. Najšira WAN mreža je sam internet. Za povezivanje na internet u ovom zadatku će se koristiti infrastruktura komercijalnih davatelja mobilnih internetskih usluga ili komercijalnih davatelja satelitskih internetskih usluga. Pretpostavka je da su pristupne točke mreže komercijalnih davatelja fiksnih internetskih usluga previše udaljene od lokacija na kojima planiramo omogućiti pristup internetu. Trenutno u Hrvatskoj infrastrukturu mobilnih internetskih mreža pokrivaju mobilne mreže EDGE (engl. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*) i LTE (engl. *Long Term Evolution*) tehnologija, a postoji i infrastruktura satelitskog interneta. U slijedećim poglavljima će biti riječi o tim infrastrukturama.

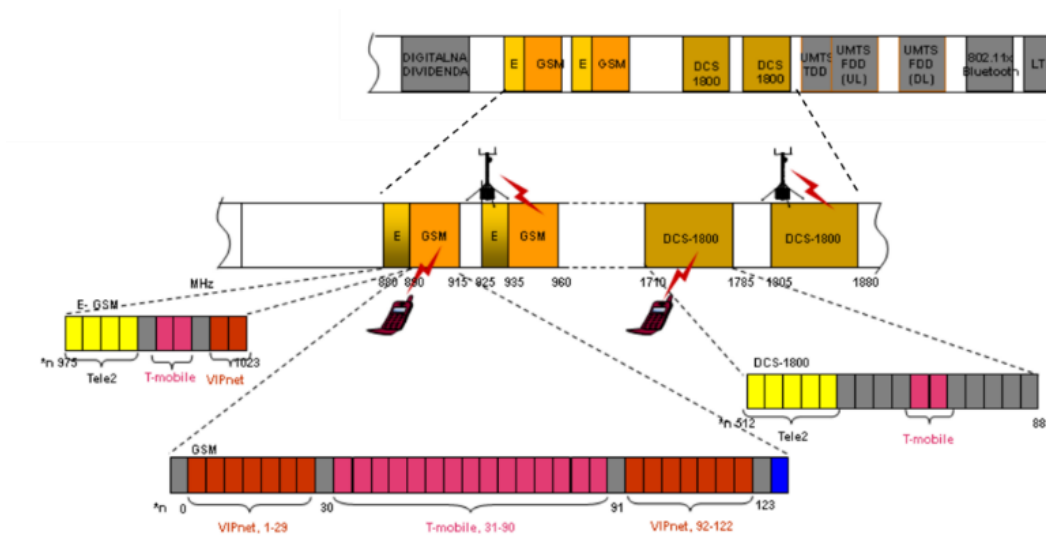
2.2.1. Sustav 2G (GSM, GPRS, EDGE)



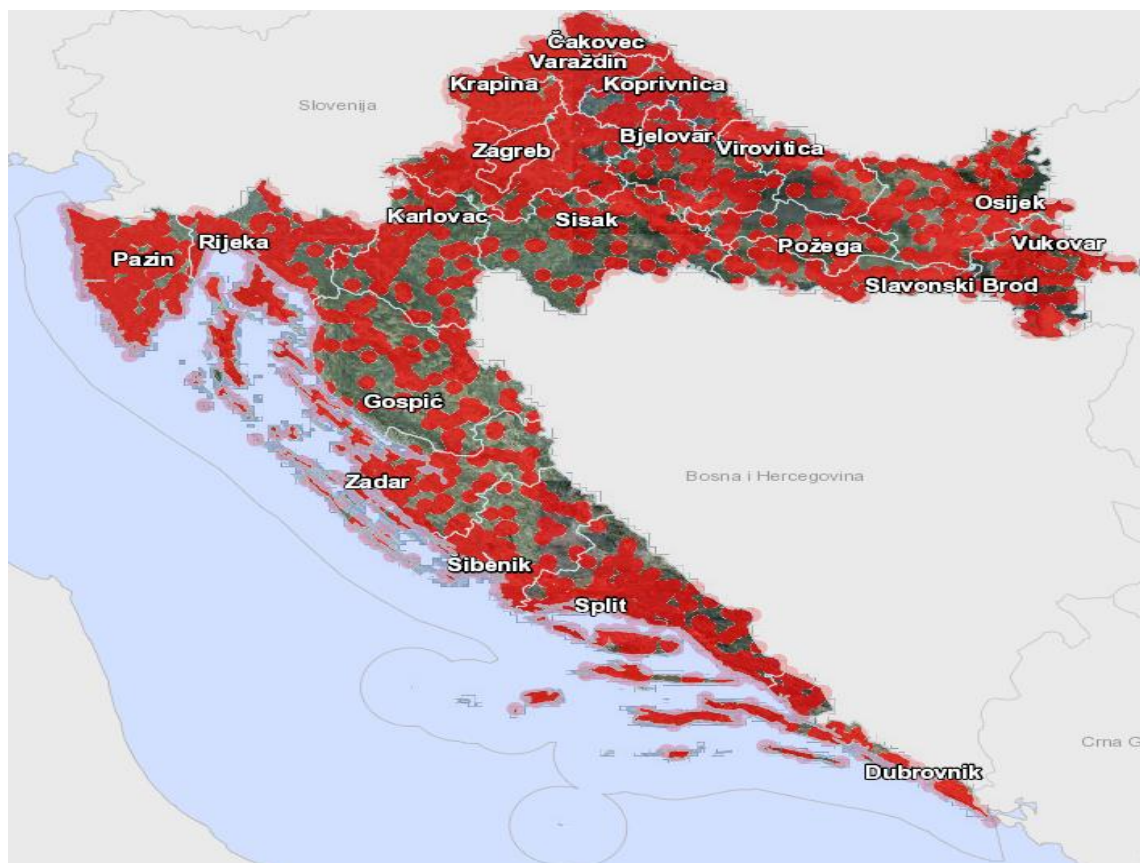
Slika 2.6 Arhitektura GSM sustava [4]

Na Sliku 2.6 je prikazana arhitektura GSM (eng *Global System for Mobile Communications*) sustava koja se sastoji od

- -MS (engl. *Mobile Station*)- mobilne stanice mobilni uređaj sa SIM (engl. *Subscriber Identity Module*) karticom
- -BTS (engl. *Base Station Subsystem*)- sustav baznih stanica sastoji se od baznih stanica i kontrolora baznih stanica BSC (eng. *Base Station Controller*) koji administrira i daljinski upravlja radom većeg broja baznih stanica od upravljanja vezama prema mobilnim stanicama uključujući i *handover* proceduru do konfiguriranja dijela mreže
- -SS (engl. *Switching System*) sustav centrala sastoji se od:
 - mobilnih centrala MSC (eng. *Mobile Switching Center*) koje sadržavaju registar domaćih pretplatnika HLR (engl. *Home Location Register*), registar gostujućih pretplatnika VLR (engl. *Visitor Location Register*), središte za provjeru vjerodostojnosti AuC (engl. *Authentication center*) i registar identifikacije opreme EIR (engl. *Equipment Identity Register*) i
 - pristupnog čvora mobilne centrale GMSC (engl. *Gateway Mobile Switching Center*) koji predstavlja sučelje mobilne mreže prema fiksnoj telefonskoj mreži.
- OMC (engl. *Operation and Maintenance Centar*) središte za održavanje je zadužen za održavanje mreže i rješavanje problema na regionalnoj razini dok sjedište za upravljanje NMC (engl. *Network Management Center*) centralizirano nadzire i rješava probleme cijele mreže.



Slika 2.7 Frekvencijski pojasevi rezervirani za GSM [5]



Slika 2.8 Koncentracija GSM radio postaja području Republike Hrvatske¹⁰

EDGE je zadnji stupanj razvoja 2G (engl. *Second-Generation*) mreže (klasificira se kao 2.75G tehnologija). Za EDGE se uvodi 8-PSK (engl. *Phase-Shift Keying*) modulacijska tehnika, a koristi se i algoritam koji prilagođava modulacijsku i kodnu shemu MCS (engl. *Modulation and Coding Schemes*) sukladno trenutnoj kvaliteti radio signala. Uz sva poboljšanja EDGE tehnologija ne može omogućiti brzine prijenosa veće od 1Mbit/s. Hakom (Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti) regulira licenciranje korištenja frekvencija određenih za korištenje od strane operatera internetskih mobilnih mreža ISP (engl. *Internet Service Provider*). Na Slika 2.7 su prikazani frekvencijski pojasevi dodijeljeni hrvatskim operaterima mobilnih mreža dok Slika 2.8 prikazuje koncentraciju GSM postaja u Hrvatskoj.

¹⁰ <http://mapiranje.hakom.hr/hr-HR/InteraktivniPreglednik#>

2.2.2. Sustav 3G (HSDPA, HSUPA, HSPA+)

Razvojem interneta i aplikacija za isti došlo je do potrebe za mobilnom mrežom koja će omogućavati veće brzine prijenosa podataka, ali i fleksibilno podešavanje brzine prijenosa podataka i vremena kašnjenja u prijenosu podataka i to za veći broj klijenata po baznoj stanici. Organizacija ITU-R (engl. *International Telecommunication Union – Radio Communication Sector*) izradila IMT-2000 (engl. *International Mobile Telephony 2000*) okvir za globalne 3G standarde. Organizacija ETSI (engl. *European Telecommunication Standards Institute*) je poslala prijedlog da zračno sučelje radi na sustavu s višestrukim pristupom s kodnom raspodjelom WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*). Novi standard je dobio naziv UMTS, a ustanovljeno je i tijelo koje donosi specifikacije za UMTS pod nazivom 3GPP (engl. *3G Partnership Project*).

UMTS sustav dijeli sve usluge na 4 klase usluga i prema tome im podešava brzinu prijenosa podataka i vremena kašnjenja:

- Konverzijska klasa - npr. govor preko kanalno komutiranog nosioca u realnom vremenu
- *Streaming* klasa – npr. online radio stanice ili TV (engl. *Television*) kanali i sl.
- Interaktivna klasa – npr. krajnji korisnik traži od servera podatke i server mu ih šalje
- Pozadinska klasa – npr. SMS (engl. *Short Message Service*), *e-mail* i sl.

UMTS tehnologija koristi *UTRA FDD* (engl. *Universal Terrestrial Radio Access/Frequency Division Duplex*) sustav u kojem korisnici dobivaju PN (engl. *Pseudonoise Sequence*) kodove prema kojima ih bazna stanica razlikuje pa svi korisnici mogu odašiljati podatke u istom frekvencijskom pojasu u isto vrijeme CDMA (engl. *Code Division Multiple Access*) sustav). Bazne stanice dobivaju ortogonalne kodove OSVF (engl. *Orthogonal Variable Spreading Factor*) kojima označavaju podatkovne kanale, a u silaznoj vezi i za označavanje kojem korisniku su ti podaci namijenjeni i PN kod kojim označavaju tko podatke šalje.

UMTS (UTRA FDD) sustav također koristi sustav kontrole snage kako bi se osiguralo da svaki korisnik dobije vezu s baznom stanicom. *NodeB* je naziv za baznu stanicu kod UMTS sustava. Kad bi dvije korisničke opreme UE (engl. *User Equipment*) koristile istu frekvenciju, a jedna UE se nalazila jako blizu *NodeB*-a, dok je druga UE na rubu ćelije, moglo bi se dogoditi da *NodeB* ne čuje udaljeniju UE. Zbog toga se ujednačavaju snage svih UE-a u ćeliji što se naziva kontrola snage.

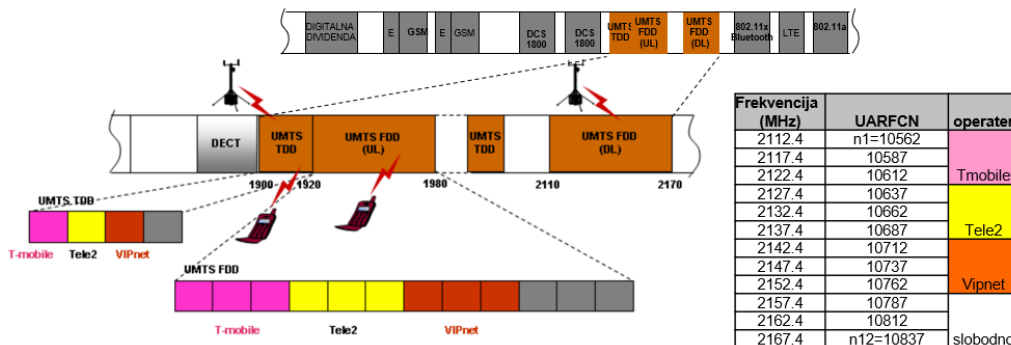
Frekvencijski pojas rezerviran za UMTS

FDD način rada:

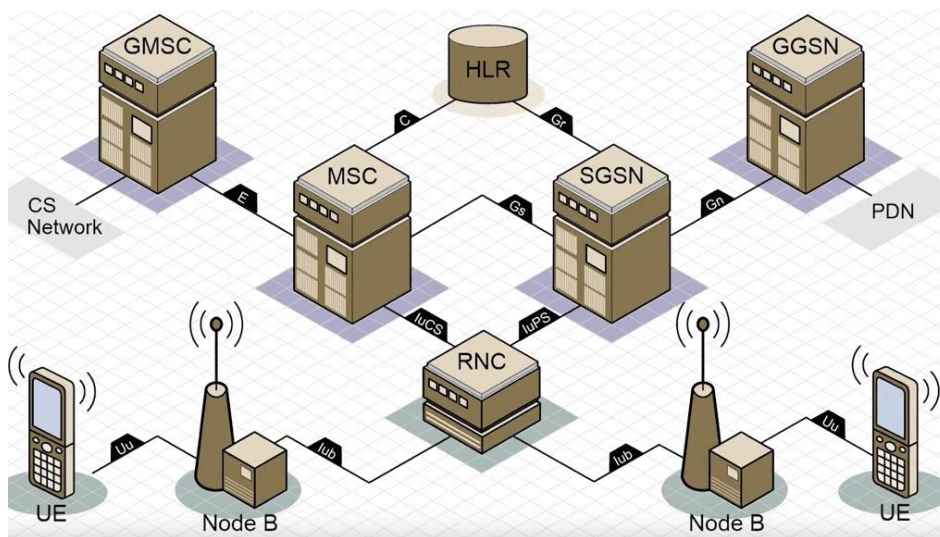
- > 1920 – 1980 MHz: FDD mode, Up-link (UE odašilje, Node B prima)
- > 2110 – 2170 MHz: FDD mode, Down-link (Node B odašilje, UE prima)
- > (2 x 60 MHz= 12 paketa od 2 x 5 MHz; dupleksni razmak = 190 MHz)

TDD način rada

- > 1900 – 1920 MHz: licencirani TDD (20MHz = 4 paketa od 5 MHz)---NIJE SAŽIVIO



Slika 2.9 Frekvencijski pojasevi rezervirani za UMTS [6]



Slika 2.10 Arhitektura UMTS mreže¹¹

Arhitektura UMTS mreža je prikazana na Slika 2.10 i slična onoj GSM mreže, a frekvencijski pojasevi dodijeljeni mobilnim ISP-evima su prikazani na Slika 2.9. Elementi UMTS mreže se grupiraju u jezgrenu mrežu CN (engl. *Core Network*) koja je odgovorna za komutaciju i usmjeravanje poziva i podatkovnih veza k vanjskim mrežama.

¹¹ <https://www.youtube.com/watch?v=qNddSi0wugw>

U CN spadaju:

- MSC (engl. *Mobile Switching Centre*) poslužitelj
- MGw (engl. *Media Gateway*) medijski pristupnik
- SGSN (engl. *Serving GPRS Support Node*) čvor
- GGSN (engl. *Gateway GPRS Support Node*) čvor

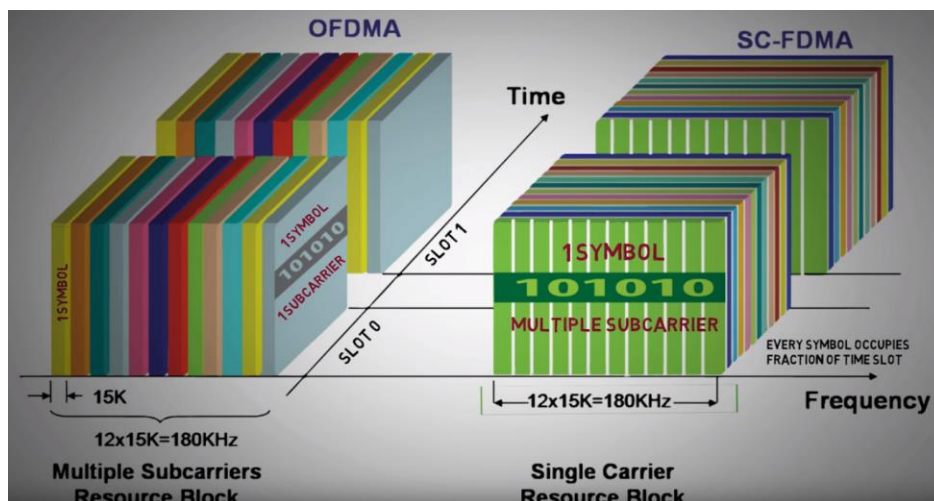
Na sve njih se vežu HLR, VLR, AuC i fleksibilni registar brojeva FNR (engl. *Flexible Numbering Register*).

HSPA+(engl. *Evolved High Speed Packet Access*) je zadnji stupanj razvoja 3G mreža koji je predstavljen u 3GPP Release 7. HSPA+ je uveo 64QAM modulaciju, MIMO, oblikovanje snopa (*beamforming*) i DC-HSDPA[7] (engl. *Dual-Carrier High Speed Downlink Packet Access*) što predstavlja istovremeno korištenje dva frekvencijska nosioca širine 5 MHz svaki. To je bila prva primjena agregacije frekvencijskih pojasa u mobilnim sustavima. 2012. godine je izašao 3GPP Release 11 koji je standardizirao HSPA s 8 nosioca u nepovezanim frekvencijskim pojasevima i s 4X4 MIMO. 3GPP Release 11 je teoretski omogućavao brzine prijenosa podataka do čak 672 Mbit/s u idealnim uvjetima kad je UE blizu *NodeB* i kad nema nikakvih ometanja. HSPA+ ne možemo miješati s LTE tehnologijom koja koristi OFDMA dok HSPA+ koristi WCDMA.

2.2.3. Sustav 4G (LTE, LTE Advanced)

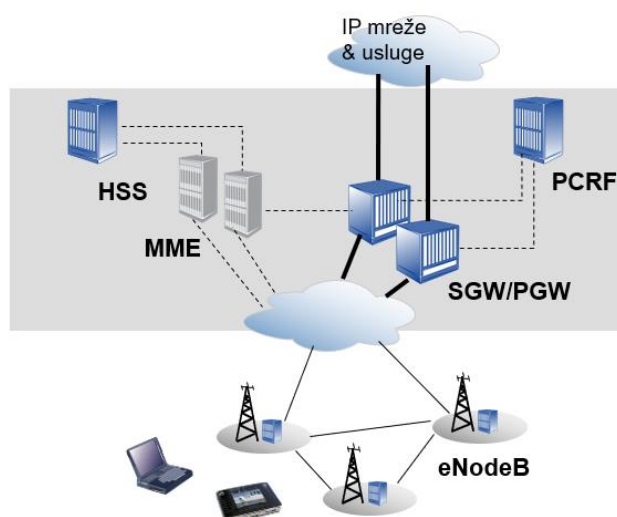
LTE¹² sustav uvodi OFDMA na silaznoj vezi i SC-FDMA (engl. *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) na uzlaznoj vezi kao pristupne metode čime se ostvaruje ortogonalnost među korisnicima, smanjuje međudjelovanje i povećava kapacitet sustava[8]. SC-FDMA je metoda koja se izvodi kao i OFDMA, ali se svaki simbol prenosi u kraćem vremenskom odsječku, i to na svim frekvencijama podnosioca kao što je i prikazano na Slika 2.11.

¹² <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>



Slika 2.11 Usporedba OFDMA-a i SC-FDMA¹³

Frekvencijski pojasevi se ovisno o raspoloživosti za vezu dodijeliti u širini od 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz ili 20 MHz, pri čemu teoretski pojas od 20 MHz uz korištenje 2X2 MIMO omogućava maksimalnu silaznu brzinu od 150 Mbit/s odnosno uz korištenje 4X4 MIMO maksimalna silazna brzina raste na 300 Mbit/s. Maksimalna uzlazna brzina je u ovom slučaju 75 Mbit/s, obzirom da korisnici za uzlaznu vezu koriste jednu antenu zbog energetske ograničenja baterija.



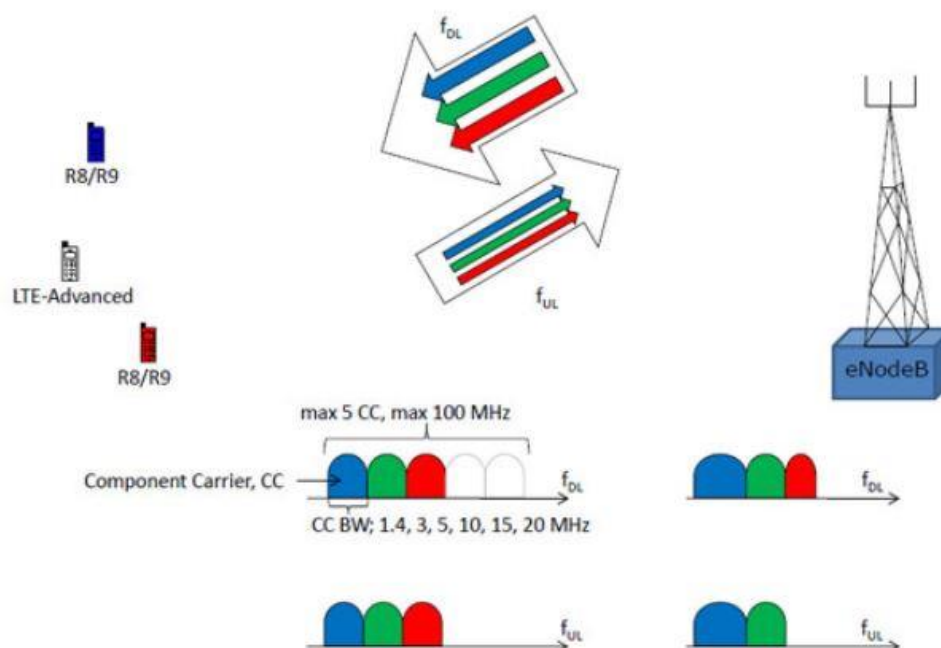
Slika 2.12 Arhitektura LTE sustava[21]

¹³ <https://www.youtube.com/watch?v=MBcGO3EC3Qs>

Arhitektura LTE sustava je prilično pojednostavljena u odnosu na izvedbe prijašnjih sustava mobilnog interneta (GSM, UMTS) kao što se vidi na Slika 2.12 i sastoji se od:

- UE – pametni telefoni, tableti i sl. koji u sebi imaju USIM kojim se registriraju u LTE mrežu i čiji podaci se nalaze u HSS
- eNodeB – (engl. *evolved NodeB (eNB)*) bazna stanica – bazne stanice su međusobno povezane preko X2 sučelja (X2 je logičko sučelje) i nema centraliziranog pametnog upravitelja koji kontrolira njihov rad nego je sve smješteno u baznu stanicu kako bi se povećala brzina uspostavljanja veze i brzina handovera. Bazne stanice upravljaju handoverom i nakon obavljenog handovera obavještavaju o tome
- MME (engl. *Mobility Management Entity*) -vodi brigu o korisničkim uređajima (UE) koji su u neaktivnom modu i upravlja signalizacijom
- PGW (engl. *Packet Data Network Gateway*) – upravlja prometom podataka prema vanjskim mrežama, omogućava razlikovanje domaćih i roaming mreža te daje podršku naplati
- SGW (engl. *Serving Gateway*) upravlja mobilnosti unutar LTE sustava, upravlja usmjeravanjem paketa s aktivnih UE prema PGW, neaktivnim UE se oduzimaju resursi koji su im dodijeljeni na eNodeB pa SGW *bufferira* podatke za UE koji su u neaktivnom stanju i od MME traži pokretanje povezivanja istih na mrežu, upravlja sigurnošću sustava a može prikupljati i informacije povezane s naplatom
- PCRF (engl. *Policy and Charging Resource Function*) služi za upravljanje uslugama u smislu kvalitete i kontrolom naplate
- HSS (engl. *Home Subscription Server*) sadrži trajne pretplatničke podatke domaćih pretplatnika, privremenu informaciju o MME koji trenutno poslužuje pretplatnika, popis ostalih mreža na koje pretplatnik može preći u roamingu.

Novija verzija LTE sustava je LTE Advanced. LTE Advanced tehnologija omogućava daleko brži prijenos podataka i to do 3 Gbit/s u silaznoj vezi i do 1.5 Gbit/s u uzlaznoj vezi. Navedene brzine se postižu agregiranjem više pojedinačnih nosioca koji svaki može koristiti frekvencijski pojas od 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz ili 20 MHz, s tim da ih ne može biti više od pet pa tako i svi skupa ne mogu prijeći 100 MHz kao što je prikazano na Slika 2.13. Broj agregiranih nosioca ne mora biti isti u uzlaznoj i u silaznoj vezi, s tim da broj agregiranih nosioca u silaznoj vezi ne može biti manji od broja nosioca u uzlaznoj vezi.



Slika 2.13 LTE Advanced sustav agregiranja nosioca¹⁴

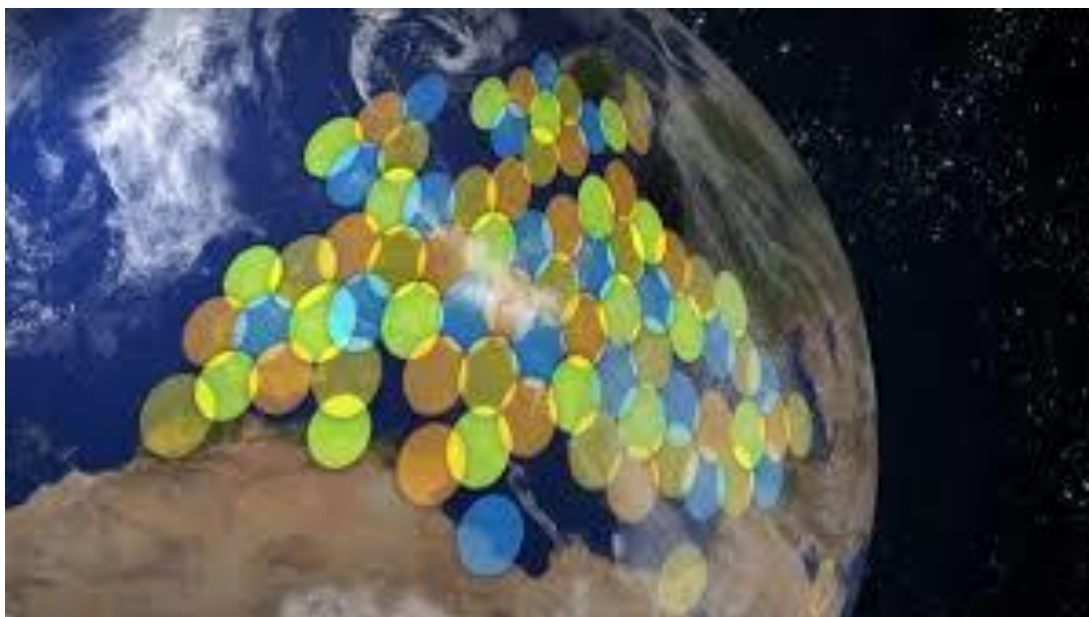
2.3. Satelitski pristup internetu

Najveća zapreka širenju radio signala su fizičke prepreke kao što su zgrade, drveća, planine. Satelitski internet se razvija upravo s idejom postavljanja bazne stanice u zemljinu orbitu, dakle visoko iznad zemlje kako bi sa svih točaka na zemlji bila vidljiva i na taj način bi se trebalo izbjeći ili barem izbjeći u velikoj mjeri zaklanjanje bazne stanice fizičkim preprekama na Zemlji.

Još 1990. godine je tvrtka Teledesic pokrenula projekt postavljanja 840 satelita u nisku Zemljinu orbitu na visinu od 700 km koji bi omogućavali brzine u silaznoj vezi od 720 Mbit/s i uzlaznoj vezi od 100 Mbit/s¹⁵. Cijeli projekt je propao 2003. godine, što je splasnulo entuzijazam za satelitski internet na neko vrijeme, ali već 2004. godine se razvoj nastavio lansiranjem prvog satelita visoke propusnosti (Anik F2).

¹⁴ <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

¹⁵ <https://en.wikipedia.org/wiki/Teledesic>



Slika 2.14 Satelitske zrake za prekrivanje Europe i mediteranskog bazena satelitskim internetom¹⁶

Najveći problem kod današnjeg satelitskog interneta je da se geostacionarni sateliti koji služe kao „bazne stanice“ nalaze na udaljenosti od skoro 36 000 km od Zemlje (visokoj Zemljinoj orbiti) što drastično utječe na vrijeme kašnjenja kod prijenosa podataka (engl. latency) koju nazivamo i latencija. Latencija je tako i do 0,7 s tj. 700 ms, što je neusporedivo s kašnjenjima koja se postižu u trenutnim internetskim vezama. Također mnogi TCP/IP protokoli nisu dizajnirani za rad u okruženju s velikim latencijama. TCP/IP označava skup protokola koji omogućuju komunikaciju podatkovnim mrežama od lokalnih mreža pa sve do globalnog interneta.

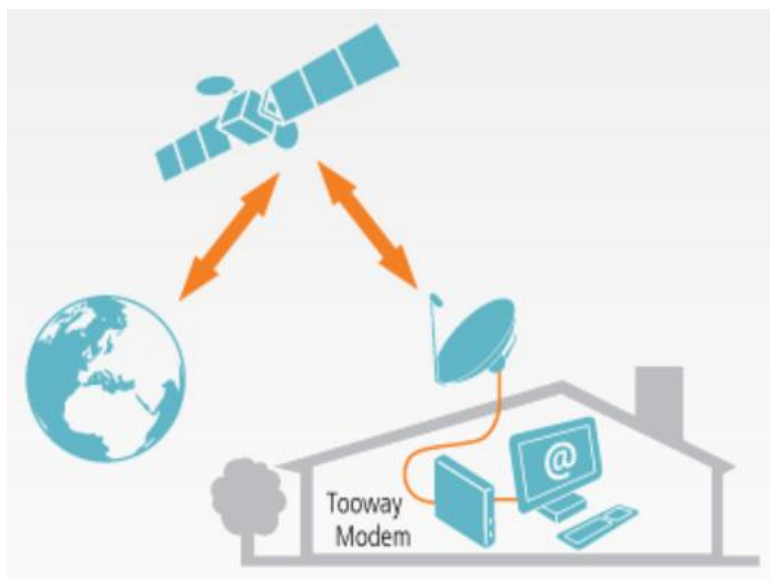
Od 2014. godine veći broj tvrtki je objavio da rade na uspostavljanju satelitskog sustava koji će biti pozicioniran u niskoj Zemljinoj orbiti na nekih 500 km visine i koji bi tada trebao imati konkurentne brzine i vremena kašnjenja i postati nezaobilazni dio internetske infrastrukture. To su tvrtke kao SpaceX Elona Muska, OneWeb iz Londona koja radi s Airbusom te Amazon. Svoje bi servise trebale početi nuditi već od 2021. godine.

U današnje vrijeme postoje satelitski internetski servisi koji nude brzine prijenosa i do 50 Mbit/s u downloadu i do 10 Mbit/s u uploadu. Tooway (prema shemi na Slika 2.15) je jedna od tvrtki koja na području Europe trenutno nudi uslugu satelitskog interneta preko Eutelsat geostacionarnog satelita KA-SAT, prvog europskog satelita koji radi u Ka band

¹⁶ <https://i.insider.com/561d534cdd0895d45d8b4630?width=800&format=jpeg&auto=webp>

frekvencijskom pojasu (26.5–40 GHz). Slika 2.14 pokazuje površine koje prekrivaju 72 zrake Eutelsatovog geostacionarnog satelita KA-SAT.

Za prijenos podataka se koristi DVB-S2 (engl. *Digital Video Broadcasting – Satellite-Second Generation*) standard razvijen od strane međunarodnog industrijskog konzorcija DVB Project i predstavljen 2003. godine, a 2005 godine ratificirao ga je i ETSI. DVB-S2 standard je dizajniran za usluge satelitskog prijenosa televizijskog programa u standardnoj i HDTV (engl. *High Definition Television*) kvaliteti, preuzimanje digitalnih podataka, *broadcasting* velike količine podataka (npr. dnevni tisak) . Standard koristi četiri selektivne modulacije, ovisno o kvaliteti signala QPSK (engl. *Quadrature Phase-Shift Keying*) modulaciju, 8 PSK, 16 APSK (engl. *Amplitude And Phase-Shift Keying*) i za jako dobar signal s visokim S/N (engl. *Signal To Noise Ratio*) omjerom se koristi 32 APSK (5 bita po signalu), a za kodiranje se koristi LDPC (engl. *Low Density Parity Check*) kodiranje koje ima različite sheme za različite S/N omjer (1/4 kodiranje se koristi za QPSK, a 9/10 kodiranje za 32-APSK).



Slika 2.15 Infrastruktura satelitskog interneta¹⁷[25]

¹⁷ <http://www.ing-servis.com/rjesenja/eutelsat-konnect-newsspotter>

3. Planiranje povezivanja na internet

3.1. Dohvat brzog interneta korištenjem sustava WLAN

3.1.1. Wi- Fi infrastruktura u vanjskim uvjetima

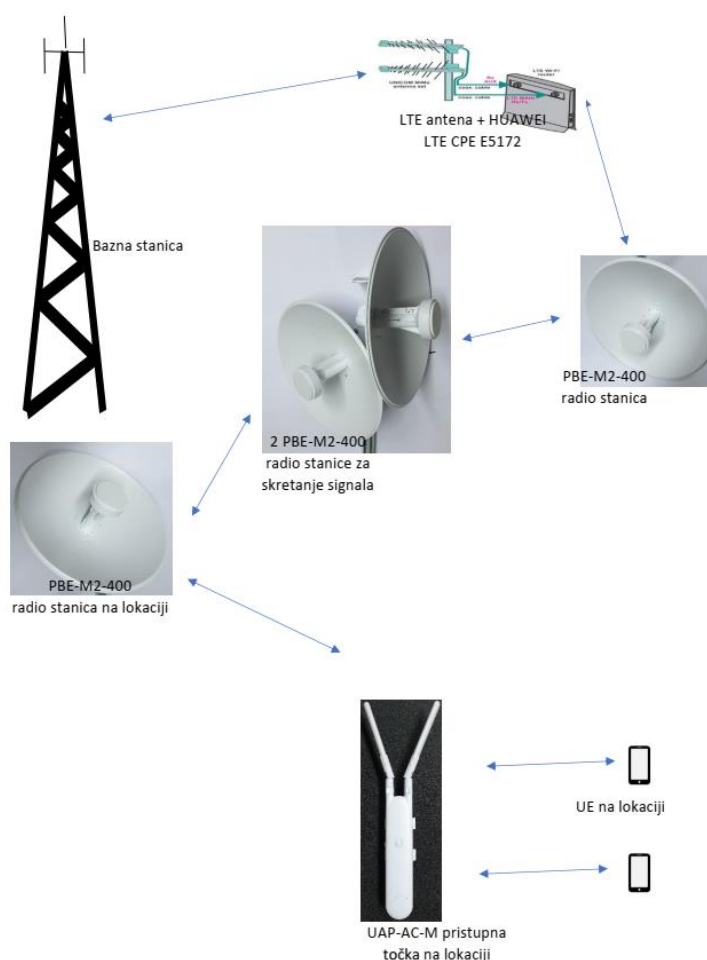
Omogućavanje internetske veze na udaljenim i teško dostupnim područjima je izazovno najviše zbog konfiguracije terena i udaljenosti od baznih stanica. Naime, takva područja najčešće nisu pokrivena nikakvim signalom komercijalnih pružatelja internetskih usluga zbog udaljenosti od baznih stanica i naravno zbog drveća i konfiguracije tla koji zaklanjaju vidno polje prema baznim stanicama. Drugi očiti izazov je osiguravanje električne energije za uređaje (antena, demodulator/modulator, Wi-Fi pristupna točka, P2P (engl. *Point To Point*) radio veze za Wi-Fi). Automobilske akumulatori su teški, a ostala baterijska rješenja su kratkotrajna.

Cijeli zadatak može se podijeliti na dva dijela. Prvi dio je dobiti internetsku vezu do željene lokacije, a drugi dio je omogućiti korištenje te veze osobama koji su od pristupne točke udaljeni stotinjak metara što bi trebalo zadovoljiti potrebe nekog radilišta u šumi ili na polju.

Prvi dio zadatka se rješava spajanjem na satelitski internet, spajanjem na slabi signal nekog od komercijalnih mobilnih ISP-eva antenom koja se postavlja visoko iznad zemlje gdje je signal jači, a zadnja mogućnost je spajanje na internetsku vezu pružatelja mobilnih internetskih usluga na mjestu gdje je signal dovoljno jak i prosljeđivanje te veze P2P antenama koje rade u ISM frekvencijskom pojasu do željene lokacije.

Drugi dio zadatka se rješava Wi-Fi pristupnom točkom za internetsku vezu dobivenu spajanjem preko satelitskog interneta, P2P Wi-Fi antenama ili pojačivačem signala mobilnog interneta (engl. *Repeater*) koji se dobije korištenjem antene koju se diže visoko u zrak.

3.1.2. Omogućavanje brzog Interneta s P2P usmjerenim WI-FI antenama



Slika 3.1 Shema infrastrukture za dobavu internetske veze uz pomoć paraboličnih usmjerenih antena i tok podataka

Na mjestu koje je udaljeno od lokacije gdje je potrebno dobiti internetsku vezu, a na kojem je signal mobilnog interneta komercijalnog ISP-a dobar, mobilnim usmjernikom HUAWEI LTE CPE E5172 se spoja na mobilni internet komercijalnog ISP-a. Mrežnim kablom se na usmjernik povezuje PBE-M2-400 radio stanica s reflektirajućom paraboličnom antenom koja služi za usmjeravanje radio valova. PBE-M2-400 radio stanica se usmjerava prema lokaciji na kojoj se postavlja druga PBE-M2-400 radio stanica. Ove dvije radio stanice se povezuju u P2P vezu. Na PBE-M2-400 radio stanicu na udaljenoj lokaciji se mrežnim kablom spaja Ubiquiti UAP-AC-M pristupna točka koja omogućava lokalnim korisnicima

pristup na internet. Više Ubiquiti UAP-AC-M može poslužiti i za formiranje Wi-Fi *mesh* mreže i na taj način se može omogućiti pristup internetu na puno većem području.

HUAWEI LTE CPE E5172 je jednostavan LTE usmjernik s priključkom za jednu antenu, ali prihvaća sve signale mobilnog ISP-a prema SIM kartici koja se umetne. Za postavljanje parametara u operativnom sustavu ima jednostavno grafičko sučelje i ne daje previše mogućnosti, ali sasvim dovoljno za potrebe internetskog pristupa u „divljini“. Ima ugrađen DHCP server, ima podršku za do 4 različita SSID-a za WLAN mreže i sigurnosne postavke za autentifikaciju WPA2-PSK (engl. *Wi-Fi Protected Access 2 - Pre-Shared Key*), WPA-PSK (engl. *Wi-Fi Protected Access - Pre-Shared Key*) i WEP (engl. *Wired Equivalent Privacy*) s TKIP (engl. *Temporal Key Integrity Protocol*) i AES (engl. *Advanced Encryption Standard*) šifriranjem, a na njemu se može omogućiti i vatrozid te zaštita tajnim brojem¹⁸.

BE-M2-400 je Wi-Fi radio stanica koja ima usmjerivač u obliku tanjura kojim postiže usmjerenu zraku za P2P vezu sa istim takvim uređajem na udaljenosti i do 20 km s brzinom prijenosa podataka i do 150 Mbit/s.

Sastavljanje dijelova ovog uređaja je jednostavno i intuitivno čak i bez uputstava koje se nalaze u svakoj kutiji, a postoje i online uputstva kao i video uputstva na *youtube-u*.

Parametri uređaja PBE-M2-400 se podešavaju u grafičkoj web konzoli operativnog sustava uređaja koji se zove airOS. Sve su postavke prilično intuitivne, a postoji i velik broj video uputstava na *youtube-u* kako se što i gdje treba postaviti da bi se dobio optimalan rad uređaja Ubiquiti PBE-M2-400. Također postoji dokumentacija o svim softverskim rješenjima je dostupna na proizvođačevoj internetskoj stranici¹⁹.

Ubiquiti Inc. je američka tvrtka koja se bavi proizvodnjom mrežnih komponenti i jedan je od lidera u tom segmentu. Sastavljanje dijelova mrežnih komponenti ovog proizvođača je intuitivno i vrlo jednostavno, a upravljačka konzola za upravljanje operativnim sustavom njihovih antena je smisljena i laka za koristiti što je jedan od glavnih razloga zbog čega su odabrane baš njihove mrežne komponente kod uspostavljanja dalekometnih veza između pristupne točke na radilištu i usmjernika koji je povezan na infrastrukturu pružatelja mobilnih internetskih usluga.

¹⁸ <https://www.4g-store.com/ftp/files/HUAWEI%20E5172As-22%20Datasheet.pdf>

¹⁹ <https://www.ui.com/software/>

Sigurnosne postavke uređaja Ubiquiti Networks PBE-M2-400²⁰ se postavljaju u web konzoli *airOS* operativnog sustava koji je vrlo intuitivan i jednostavan za upravljati. Moguće su razne kombinacije sigurnosnih postavki od sigurnosnog protokola WPA2-AES s PSK-om i tajnim ključem ili EAP-om (engl. *Extensible Authentication Protocol*) u kombinaciji sa serverom za autentikaciju. Također je omogućeno filtriranje po MAC adresi korištenjem MAC ACL-ova (engl. *Access-Control list*). Uređaj Ubiquiti UAP-AC-M²¹ je dual band (2,4 GHz i 5 GHz) pristupna točka licencirana prema standardima 802.11 a/b/g/n/ac dometa do 183 m koja je konstruirana za unutarnje (*indoor*) i vanjske (*outdoor*) uvjete. Može se nabaviti kod raznih dobavljača mrežne opreme. Jednostavna je za primjenu. Napajanje je riješeno preko 802.3af aktivnog PoE ili 24V pasivnog PoE sustava napajanja. Podešavanje postavki Ubiquiti UAP-AC-M pristupne točke se radi preko računala korištenjem besplatne UniFi Controller aplikacije koja je dostupna za preuzimanje s internet stranica proizvođača²². Instaliranje ovog softvera moguće je jednostavno i intuitivno postaviti sve parametre u grafičkom sučelju. Postoje više video uputstava na youtube-u kako i što treba postaviti u kojoj prilici koja uvelike pojednostavljaju korištenje ovog uređaja. Za početno postavljanje parametara na Ubiquiti UAP-AC-M može se koristiti i mobilna aplikacija UniFi mobile app koja je dostupna na AppStore (iOS) kao i na Google PlayTM trgovini aplikacija. Sigurnosne postavke pristupne točke se postavljaju unutar UniFi Controller web konzole koja se instalira sa stranica proizvođača. Mogućnosti sigurnosnih postavki na UAP-AC-M su raznovrsne od korištenja RADIUS-a (engl. *Remote Authentication Dial-In User Service*), VLAN-ova (engl. *Virtual Local Area Network*), *User Groups*-a do filtriranja uređaja prema MAC (engl. *Media Access Control*) adresi i na nama je da odaberemo najprikladnije za naše uvjete rada.

3.2. Dohvat brzog interneta korištenjem sustava WAN

3.2.1. Izdizanje LTE prijemne antene na visoku točku

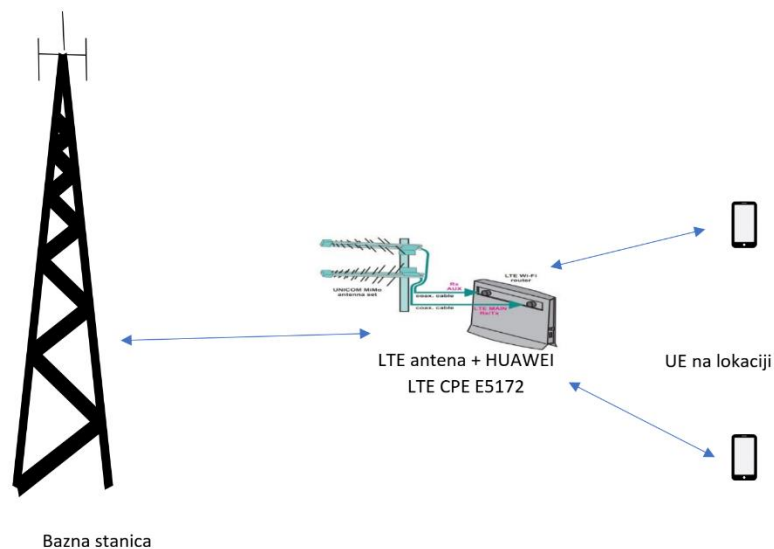
Uz pretpostavku da iako je signal blizu zemljine površine slab i nestabilan ili ga uopće nema da je moguće spojiti se na najbližu baznu stanicu u okolini ako se dovoljno visoko dignu i pravilno usmjerena antenu prema baznoj stanici. Za povezivanje na internet na ovaj način prvo se na HAKOM-ovoj interaktivnoj karti odrediti gdje se nalazi najbliža bazna stanica

²⁰ <https://www.ui.com/airmax/powerbeam/>

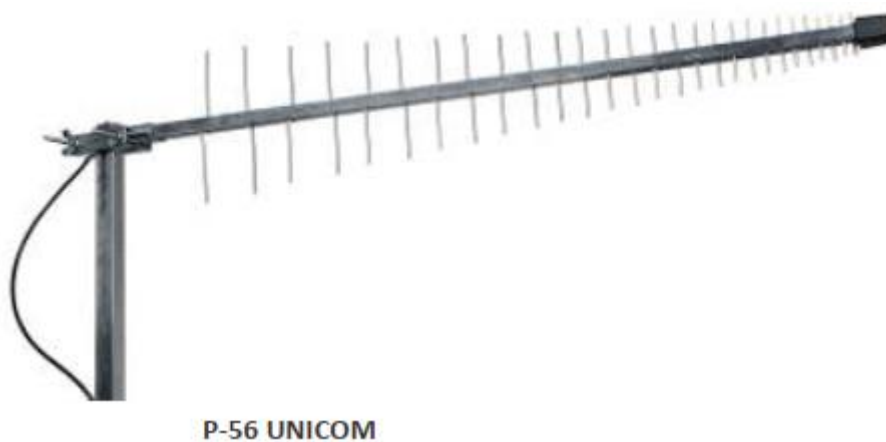
²¹ <https://www.ui.com/download/unifi/unifi-mesh/uap-ac-m>

²² www.ubnt.com/download/unifi

komercijalnih ISP-eva ²³. Antena koja se koristi za spajanje na usmjernik HUAWEI LTE CPE E5172 je usmjerena antena P-56 UNICOM proizvođača Iskra kao na Slika 3.3.



Slika 3.2 Shema spajanja na internet izdizanjem LTE prijemne antene na visoku točku



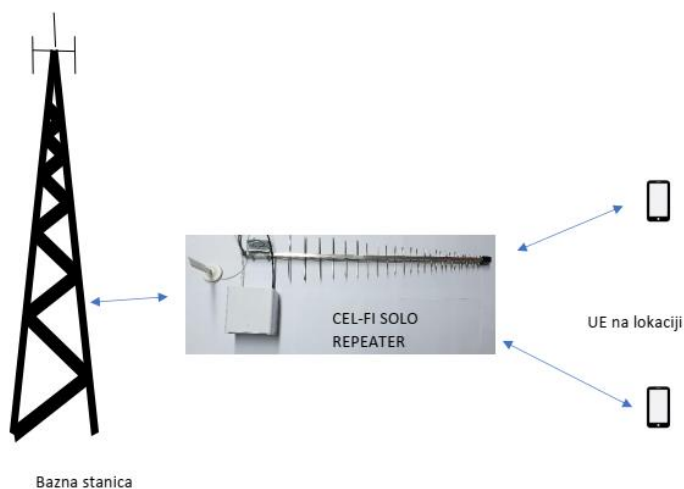
Slika 3.3 Antena P-56 UNIKOM²⁴[26]

²³<http://mapiranje.hakom.hr/hr-HR/InteraktivniPreglednik#sthash.hp0d7RMP.dpbs>

²⁴ <https://www.iskra.eu/en/MIMO/Mimo-Antenna-P-56-UNICOM>

3.2.2. Korištenje repetitora LTE signala

Repetitor LTE signala se postavi na mjesto gdje postoji signal mobilnog ISP-a bilo kako slab taj signal bio. Postojanje signala utvrdimo mobilnim uređajem. Na metalni stup visine 6 m se postavi usmjerena LTE antenu P-56 UNIKOM i spoji na repetitor CEL-FI SOLO²⁵ američkog proizvođača NEXTIVITY na mjesto gdje se spaja donor antena. Pokrene se aplikacija WAVE istog proizvođača koja se bluetooth vezom poveže s CEL-FI SOLO repetitorom i pomoću aplikacije se izvrši testiranje položaja antene tako da se antenu postavi u 8 različitih smjerova i za svaki od njih izmjeri kvaliteta signala. Aplikacija odredi koji je najprikladniji smjer antene i pa se antena postavi u taj položaj. Na priključak za poslužiteljsku antenu se spoji druga usmjerenu antenu P-56 UNIKOM koju se usmjeri u smjeru budućih korisnika i može se pristupiti mjerenju. Napajanje repetitora signala se može vršiti agregatom, spajanjem na auto punjač (12 V) ili spajanjem na baterijsko napajanje. Korištenje samog uređaja je jednostavno i prilagođeno svakoj punoljetnoj osobi.

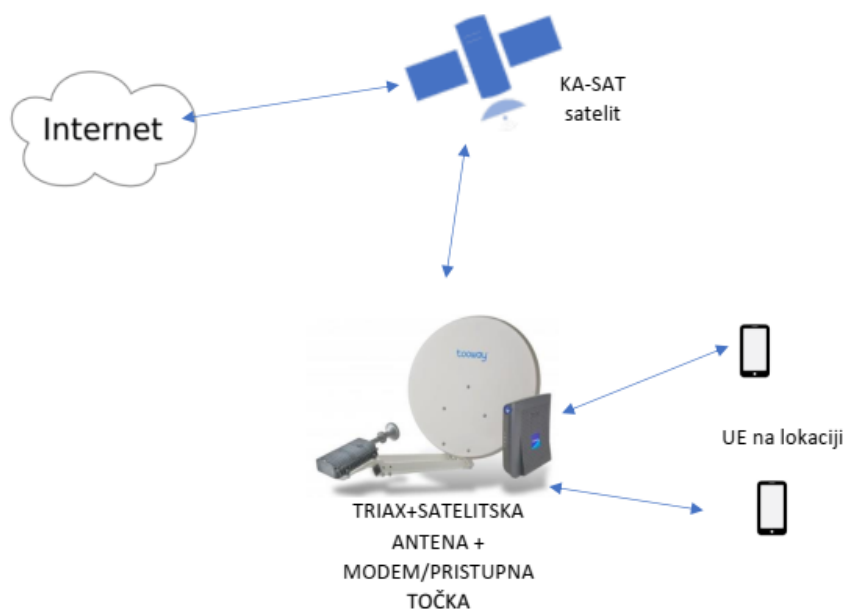


Slika 3.4 Shema spajanja na internet korištenjem pojačivača signala mobilnog ISP-a

²⁵ http://content.cel-fi.com/content/doc/solo_datasheet.pdf

3.3. Dohvat brzog interneta korištenjem sustava MSIA

Za ostvarivanje internetske veze korištenjem satelitskog interneta upotrijebit će se infrastruktura francuske tvrtke Eutelsat Communications S.A. koja tu infrastrukturu nudi na korištenje preko Tooway^{TM26} usluge koja se može zakupiti i kod hrvatskih prodajnih partnera zajedno s potrebnom opremom i aparaturom. Veza sa satelitom se ostvaruje paraboličnom satelitskom antenom promjera 60-70cm koja se kablovski povezuje na satelitski modul koji je istovremeno i preklopnik s Wi-Fi pristupnom točkom preko koje se korisnici spajaju na satelitski internet.



Slika 3.5 Shema spajanja na internet korištenjem satelitskog interneta i toka podataka

Kako se ova veza ostvaruje tako da podaci putuju od satelitskog modula preko parabolične antene do satelita i onda se sa satelita podaci šalju u zemaljski satelitski centar u Torinu i dalje idu fiksnom internetskom infrastrukturu, za očekivati je da će ostvarivanje ovakve internetske vez biti prilično izazovno. Eutelsat Communications S.A. garantira raspoloživost ToowayTM usluge od 99,5% na godišnjoj razini i to u brzinama slanja podataka od 10 Mbit/s

26

https://www.viasat.com/sites/default/files/media/documents/residential_broadband_terminal_datasheet_014_web.pdf

i brzinama preuzimanja podataka od 50 Mbit/s. Zakupljen je paket koji garantira brzine slanja od 6 Mbit/s, a brzinu preuzimanja podataka od 30 Mbit/s.



Slika 3.6 Sadržaj opreme u Tooway paketu koja se treba spojiti za povezivanje na KA-SAT satelit

Oprema za ToowayTM uslugu prikazana na Slika 3.6 se kupuje kod potpisivanja ugovora s tvrtkom zastupnikom Eutelsat-a (vlasnika satelita KA-SAT preko kojeg se uspostavlja satelitski internet prema ToowayTM usluzi) u Republici Hrvatskoj. Oprema se dobije u kutiji i potrebno ju je spojiti i montirati prema uputstvima koja su priložena u kutiji. Također postoje video uputstva na youtube-u²⁷ pa je samo spajanje prilično jednostavno i intuitivno, kao i podešavanje parametara u postavkama modula za spajanje na ToowayTM uslugu. Zastupnici omogućuju i dolazak njihovog tehničara za spajanje i montiranje opreme uz naknadu, a također postoji telefonska podrška.

²⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=yUBZ4-7NY4Q>

4. Praktična provedba povezivanja na brzi internet i rezultati mjerenja

4.1. Dohvat brzog interneta korištenjem P2P Wi-Fi antena

4.1.1. Postavljanje infrastrukture

Postavi se infrastruktura prema shemi sa Slika 3.1.

Ova metoda zahtjeva da su radio stanice PBE-M2-400 jedna drugoj u vidnom polju, a istovremeno bi najbolje bilo da se ne mora penjati po drveću kako bi se to čisto vidno polje ostvarilo. Uređaji PBE-M2-400 su prethodno konfigurirani. Na početnoj točki, gdje je internetska veza mobilnog ISP-a dovoljno dobre kvalitete spajanje na internet se ostvaruje preko usmjernika HUAWEI LTE CPE E5172 na koji se mrežnim kablom (preko PoE pasivnog injektora) spoja prva radio stanica PBE-M2-400. Na lokaciju gdje se treba omogućiti internetska veza postavlja se druga radio stanica PBE-M2-400. Korištenjem mobilnih radio stanica u *simplex* modu usmjeravaju se obje radio stanice tako da je ostvarena najbolja moguća veza. Na drugu radio stanicu PBE-M2-400 mrežnim kablom se spoja pristupna točka UAP-AC-M koja je prethodno konfigurirana. Vrše se tri mjerenja latencije i brzine prijenosa podataka za svaku odabranu udaljenost od pristupne točke. Postavljanje ove infrastrukture je vremenski i organizacijski zahtjevno u šumskim uvjetima jer je teško doći do čiste vidljivosti između dvije radio stanice. Dizanje radio stanica iznad drveća najčešće nije opcije jer su drveća viša od lako dobavljivih stupova. U krajevima s niskim raslinjem vrlo je jednostavno postaviti ovakvu infrastrukturu.

Napajanje električnom strujom za sve komponente ove veze se ostvaruje korištenjem XT-20000QC3-PA baterija. Baterija ima kapacitet od 20100 mAh (3.7 V) / 73 Wh i tri izlaza USB (5 V), USB QC3 (3,8-12 V) koji podržava QC3 (engl. Quick Charge Standard 3) standard brzog punjenja te izlaz za laptop (NB) koji podržava napone od 12 V, 15 V, 16,5 V, 19 V, 20 V i 24 V i može služiti i za punjenje baterije kao i izvor električne energije. Omogućuje kontinuirani rad uređaja snagom do 50 W, a omogućuje i kratkotrajno opterećenje do 65 W.

4.1.2. Mjerenje performansi pri prijenosu podataka

Rezultati mjerenja vremena kašnjenja i postignutih brzina prijenosa podataka su u tablicama: Tablica 4.1, Tablica 4.2, Tablica 4.3, Tablica 4.4 i Tablica 4.5.

Tablica 4.1 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 5 m od pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	18	37,5	27,8
Mjerenje 2	19	39,2	29,3
Mjerenje 3	17	37,2	29,8

Tablica 4.2 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 25 m od pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	19	31,2	26,2
Mjerenje 2	17	31,9	27,5
Mjerenje 3	18	31,5	27,1

Tablica 4.3 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 50 m od pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	18	33,3	28,0

Mjerenje 2	17	33,3	27,5
Mjerenje 3	17	20,9	27,5

Tablica 4.4 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 100 m od pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	18	29,7	27,6
Mjerenje 2	18	37,1	27,8
Mjerenje 3	17	10,1	17,2

Tablica 4.5 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 200 m od pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	16	17,1	26,6
Mjerenje 2	17	16,0	27,6
Mjerenje 3	17	4,86	11,1

Video poziv je radio na svim udaljenostima.

4.2. Dohvat brzog interneta izdizanjem LTE prijemne antene

4.2.1. Postavljanje infrastrukture

Postavlja se infrastrukturu prema shemi na Slika 3.2.

Prvo se utvrdi pozicija najbliže bazne stanice prema podacima na web portalu HAKOM-a²⁸. Antena se pričvrsti na metalni stupi digne u zrak. Stup omogućava da antena bude iznad svih prepreka u okolici. Jakost signala se prati na konfiguracijskom sučelju usmjernika pod karticom „dijagnoze“²⁹.

Napajanje električnom strujom usmjernika iz ove veze se ostvaruje korištenjem XT-20000QC3-PA baterija kao i u prethodnom primjeru. Kvaliteta signala se prati prema dobivenim rezultatima za RSRP (engl. *Reference Signals Received Power*) i RSRQ (engl. *Reference Signal Received Quality*)³⁰. Kad se ustale najbolje vrijednosti izvrše se tri mjerenja vremena kašnjenja i brzine prijenosa podataka (na 5 m, 25 m, 50 m, 75 m i 100 m pristupne točke).

4.2.2. Mjerenje performansi pri prijenosu podataka

Izmjerene brzine prijenosa podataka i vremena kašnjenja su u tablicama: Tablica 4.6, Tablica 4.7, Tablica 4.8, Tablica 4.9 i Tablica 4.10.

Tablica 4.6 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 5m od usmjernika/pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	15	33,9	34,7
Mjerenje 2	29	43,8	34,0
Mjerenje 3	21	35,1	35,5

²⁸ <http://mapiranje.hakom.hr/hr-HR/InteraktivniPreglednik#sthash.hP0d7RMP.dpbs>

²⁹ <http://192.168.1.1/html/management/diagnose.asp>

³⁰ https://wiki.teltonika.lt/view/RSRP_and_RSRQ

Tablica 4.7 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 25 m od usmjernika/pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	63	15,7	17,2
Mjerenje 2	28	28,6	16,1
Mjerenje 3	67	17,7	10,2

Tablica 4.8 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 50 m od usmjernika/pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	67	13,2	8,68
Mjerenje 2	64	9,07	6,49
Mjerenje 3	19	7,65	6,75

Tablica 4.9 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 75 m od usmjernika/pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	17	14,9	6,26
Mjerenje 2	18	5,69	3,16
Mjerenje 3	28	11,1	6,34

Tablica 4.10 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 100 m od usmjernika/pristupne točke

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	21	0,26	0,73
Mjerenje 2	28	4,36	2,55
Mjerenje 3	25	3,78	2,70

Na svim udaljenostima je uspostavljen video poziv preko Viber aplikacije mada na udaljenosti od 100 m od pristupne točke je dolazilo do pucanja poziva zbog loše kvalitete veze.

4.3. Dohvat brzog interneta korištenjem repetitora LTE signala

4.3.1. Postavljanje infrastrukture

Postavi se infrastruktura prema shemi sa Slika 3.4.

Na mjesto gdje postoji signal mobilnog ISP-a u blizini područja gdje se treba omogućiti brza internetska veza se na metalni stup postavi LTE antena P-56 UNIKOM. Antena se spoja na repetitor CEL-FI SOLO na mjesto za donor antenu. Aplikacijom za pametne telefone naziva WAVE koja se bluetooth vezom poveže s CEL-FI SOLO repetitorom se izvrši testiranje položaja antene tako da se antenu postavi u 8 različitih smjerova i za svaki od njih izmjeri kvaliteta signala. Aplikacija odredi koji je najprikladniji smjer antene. Antena se postavlja u taj položaj. Na priključak za poslužiteljsku antenu se spoja druga antena P-56 UNIKOM koju se usmjerava u smjeru budućih korisnika. Napajanje repetitora signala se ostvaruje spajanjem na auto punjač (12 V).

4.3.2. Mjerenje performansi pri prijenosu podataka

Rezultati mjerenja su u slijedećim tablicama Tablica 4.11, Tablica 4.12 i Tablica 4.13.

Tablica 4.11 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem pojačivača signala (repetitora) na udaljenosti od 5 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	36	40,11	28,70
Mjerenje 2	18	41,3	28,40s
Mjerenje 3	9	35,7	31,50

Tablica 4.12 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem pojačivača signala (repetitora) na udaljenosti od 500 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	27	14,7	3,5
Mjerenje 2	25	15,2	4,3
Mjerenje 3	23	14,3	3,7

Tablica 4.13 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem pojačivača signala (repetitora) na udaljenosti od 1000 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	28	12,6	2,7
Mjerenje 2	23	13,7	2,3
Mjerenje 3	25	11,8	3,7

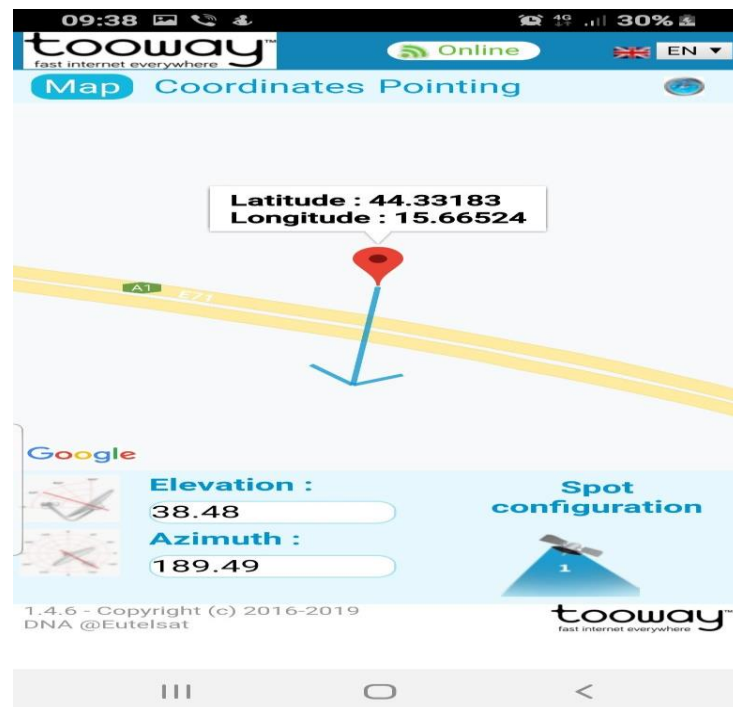
4.4. Dohvat brzog interneta korištenjem sustava MSIA

4.4.1. Postavljanje infrastrukture

Infrastruktura se postavlja prema shemi sa Slika 3.5.

Prije dolaska na samu lokaciju gdje će se testirati pristup internetu pripremi se parabolična antena pošto to oduzima najviše vremena, a antena se može transportirati i sastavljena, ali pažljivo da se ne bi koji dio zavinuo ili da se ne ošteti TRIA (primopredajnik signala).

Na lokaciji se provjeri koji parametri se moraju postaviti u postavkama modema te koji su kutovi koje treba postaviti antenu kako bi bila usmjerena pravilno prema satelitu. Cijeli postupak je traje otprilike sat vremena nakon čega se izvrši mjerenje brzine pristupa internetu. Na samoj lokaciji se paraboličnu antenu s primopredajnom radio stanicom učvrsti na stalak i usmjeri prema satelitu uzimajući u obzir prethodno očitane podatke u aplikaciji KaSatFinder kao što se vidi na Slika 4.1. Antenu se poveže na prethodno konfigurirani modem i izvršili mjerenja prema tablicama u nastavku. Napajanje električnom energijom se vrši preko auto punjača i adaptera na 230 V.



Slika 4.1 Podaci za postavljanje parabolične antene za satelitski Internet

4.4.2. Mjerenje postignute brzine prijenosa podataka

Rezultati mjerenja u tablicama Tablica 4.14,

Tablica 4.15,

Tablica 4.16 i

Tablica 4.17 u nastavku.

Tablica 4.14 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 5 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	676	32,09	6,64
Mjerenje 2	652	31,05	6,75
Mjerenje 3	644	30,27	5,98

Tablica 4.15 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 25 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	694	30,22	5,75
Mjerenje 2	699	29,87	5,77
Mjerenje 3	706	28,75	5,88

Tablica 4.16 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 50 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
--	-----------------	--------------------------	------------------

Mjerenje 1	755	15,12	2,1
Mjerenje 2	786	13,7	1,95
Mjerenje 3	812	12,75	2,05

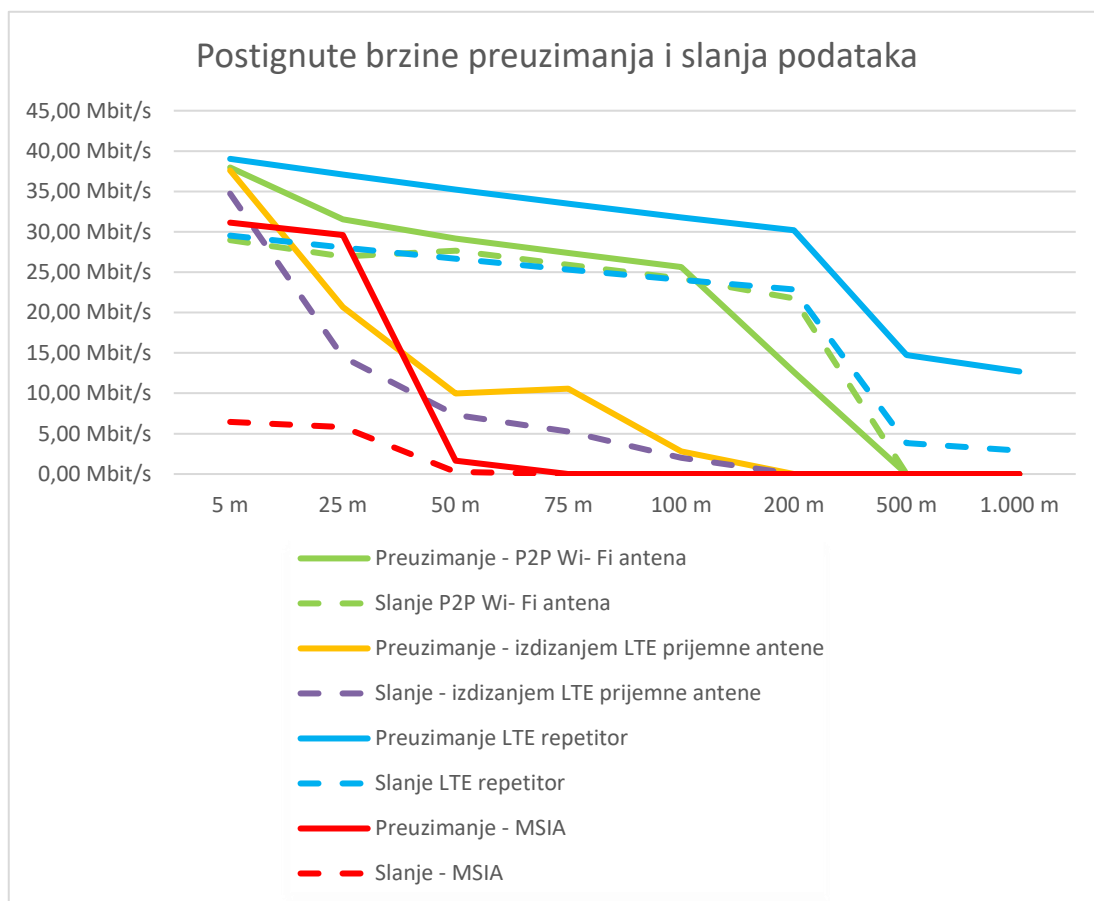
Tablica 4.17 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 75 m

	Latencija/ [ms]	Preuzimanje/ [Mbit/s]	Slanje/ [Mbit/s]
Mjerenje 1	725	1,32	0,25
Mjerenje 2	731	2,11	0,11
Mjerenje 3	689	1,56	0,41

Na svim udaljenostima do 50 m je uspostavljen video poziv preko Viber aplikacije, ali udaljavanjem od satelitskog modema koji je istovremeno i WiFi pristupna točka, kod video poziva je dolazilo do zamrzavanja slike.

5. Analiza dobivenih mjerenja

Svi podaci dobiveni mjerenjem upišu se u excel tablicu a zatim se napravi analitička obrada i grafički prikaz zavisnosti postignute brzine prijenosa podataka u silaznoj i uzlaznoj vezi s obzirom na udaljenost mjernog instrumenta od pristupne točke odnosno repetitora LTE signala kao što se vidi na Slika 5.1.



Slika 5.1 Grafički prikaz brzina preuzimanja i slanja podataka s obzirom na udaljenost od WiFi pristupne točke

Može se zaključiti da od svih istraženih metoda pristupa, najbolje rezultate daje metoda omogućavanja brze internetske veze korištenjem *repeater-a* LTE signala čiji signal se i najdalje mogao uloviti. To se moglo i pretpostaviti imajući u vidu da se LTE signal odašilje na nižim frekvencijama (800 MHz u ruralnim područjima) nego što je to slučaj za Wi-Fi signal (2,4 MHz i 5 MHz) pa je time i manje osjetljiv na prepreke.

P2P Wi-Fi sustav je također prilično dobar i u tom zadnjem dijelu omogućavanja internetske veze jer je parabolična antena očito formirala jak snop koji se uspio „probiti“ i kroz prepreke. Interesantno je da je uzlazna veza kod P2P metode omogućavala veće brzine prijenosa podataka od silazne na zadnjih 50 metara što nije slučaj ni kod jedne druge metode.

Metoda izdizanja LTE antene iznad prepreka i daljnjeg propagiranja internetske veze preko 4G pristupne točke, tj. usmjernika koji se spaja na LTE antenu, a istovremeno se ponaša i kao Wi-Fi pristupna točka može se koristiti ukoliko se na lokaciji na kojoj je potrebna internetska veza može LTE antena izdići iznad prepreka i usmjeriti prema baznoj stanici. LTE antenom se uspostavlja puno kvalitetnija veza s baznom stanicom nego što je to moguće pametnim telefonima ili tabletima. Međutim ako je riječ o visokoj šumi, teško je izdići LTE antenu iznad visokog drveća na siguran način, a tu dolazi do izražaja i duljina antenskog kabla. Ali ako je izdizanje ipak moguće, tada je doprema i postavljanje opreme vrlo jednostavno i lagano, a i potrošnja energije je mala i može se koristiti baterijsko napajanje Li-ionske baterije.

P2P Wi-Fi metoda je prilično zahtjevnja za postaviti jer se moraju pravilno usmjeriti parabolične antene kako bi međusobno uspostavile kontakt i prijenos podataka i to iziskuje dosta truda i znanja, a i potrebno je naći lokacije s kojih će antene imati optičku vidljivost, i to bez da ima bilo kakvih prepreka između njih, na što se troši puno vremena.

Pojačivač LTE signala se jednostavno postavlja i ima prilično dalek doseg veze, ako se koristi u kombinaciji s usmjerenim antenama. Lakši je od satelitskog interneta, a u usporedbi sa satelitskim internetom troši manje energije.

Satelitski internet koji smo testirali je fizički težak za prenošenje, višestruko teži od bilo koje druge metode. I samo spajanje na satelit, pri čemu se satelitska parabolična antena mora dobro usmjeriti nije nimalo jednostavno. Nedostatak leži i u činjenici da troši dosta struje u usporedbi s ostalim sustavima, ali tamo gdje nijednom drugom metodom nije moguće uspostaviti uslugu, satelitski internet radi. Brzina prijenosa podataka je prihvatljiva u blizini samog uređaja, inače s udaljenošću značajnije opada u odnosu na druge metode, ali se to da riješiti dodatnom pristupnom točkom. I naravno latencija mu je najveća obzirom da je udaljenost između odašiljača i prijemnika otprilike 38.000 km.

6. Zaključak

Iako se uvelike radi na uspostavljanju brze internetske infrastrukture i u mjestima s malim brojem stanovnika još uvijek su velika područja s niskom gustoćom stanovništva zakinuta za brzu internetsku vezu. Najvjerojatnije nikad sva područja neće biti pokrivena jednakom kvalitetom usluge brzog interneta.

Ovaj rad je istražio praktične metode kojima je moguće ostvariti pristup brzom internetu i onima koji su za to trenutno najviše zakinuti, a radi se o osobama koje žive i rade u ruralnim i teško dostupnim područjima. Istražujući tržište došlo se do nekoliko ideja kako bi se mogla izgraditi infrastruktura koja bi pojedincima ili grupama omogućila brzu internetsku vezu uz minimalna ulaganja. Već su u razradi teorijskog dijela rada pri planiranju potencijalne infrastrukture do izražaja došle izgledne operativne prepreke s kojima će se biti potrebno praktično suočiti tijekom testiranja i probati naći efikasno rješenje. Kao najveći izazovi tijekom provedenog testiranja na terenu pokazali su se problemi napajanje električnom strujom, pogotovu kad ni kod mrežne opreme ne postoji točno određen standard za korištenje istosmjernog (baterijske) izvora, te praktično određivanje najbolje sheme veza te konfiguracija tla. Tek kod dolaska na lokaciju na kojoj treba omogućiti brzu internetsku vezu postaje jasno da određivanje mjesta gdje se može doći do signala nije nimalo jednostavno. Na terenu se dobije prava slika kompleksnosti pronalaženja pogodnih lokacija za ostvarenje internetskih veza jer vrleti i šume ne pomažu u tome ni malo, a ni nedostatak cesta za motorna vozila koja bi pomogla kod dostave opreme.

Ipak na kraju svakog obavljenog testiranja uspješno se pronašlo rješenje i za prilično zahtjevnije lokacije. Ni jedna od četiri opisane metode omogućavanja brze internetske veze nije pogodna za svaku situaciju, mada LTE repetitor i P2P Wi-Fi radio stanice mogu riješiti većinu potreba jer omogućavaju puno bržu internetsku vezu i za njih je lakše naći baterijsko rješenje napajanja električnom energijom. Također su i fizički lakši, pa se i lakše prenose nego primjerice oprema za satelitski internet koja teži i nekoliko puta više od ova dva sustava. Na nekim stacionarnim mjestima je ipak jednostavnije staviti solarne panele i potrebne pretvarače da se dobije potrebni napon od 30 V i postavi satelitska antena preko koje se mogu upućivati i telefonski pozivi. Izdizanje LTE antene iznad prepreka može poslužiti ako već postoji barem slab signal koji treba pojačati, ali tada je ipak najbolje tako izdignutu antenu spojiti na LTE repetitor i dobiti dovoljno jak signal komercijalnih operatera

mobilnih mreža. Jedna od prepreka ovoj metodi je da se mora dobiti odobrenje mrežnog operatera za pojačavanje njegovog signala na otvorenom, ali uvijek ostaje mogućnost korištenja WiFi pristupne točke.

Tijekom praktičnog obavljanja ovog rada dobiveno je mnoštvo novih ideja kao primjerice korištenje radio stanice namijenjene za P2P vezu kao pristupne točke, čime se postiže dalekosežnija pokrivenost WiFi signalom, ali naravno samo u određenom smjeru.

Iako na kraju izgleda da su rješenja korištena u ovom radu jednostavna i sama po sebi razumljiva, ovaj je rad spojio nekoliko različitih domena uključujući mobilnu tehnologiju (WiFi, mobilni internet, satelitski Internet) sustave napajanja te praktičnu mehaniku (metalna, plastična i drvena galanterija za izradu stupova za antene) kako bi na cjelovit način realizirali rješavanje realnog problema jednog dijela građana i industrije.

Popis kratica

WLAN	<i>Wireles Local Area Network</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISM	<i>Industrial Scientific Medical</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multitple Access</i>
PAPR	<i>Peak to Average Power Ratio</i>
MSDU	<i>Media Access Control Service Data Unit Agregacije</i>
MPDU	<i>Media Access Control Protocol Data Unit</i>
BA	<i>Block Acknowledgement</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
MU-MIMO	<i>Multiple User MIMO</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
BTS	<i>Base Station Subsystem</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
SS	<i>Switching System</i>

MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
AuC	<i>Authentication center</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
GMSC	<i>Gateway Mobile Switching Center</i>
OMC	<i>Operation and Maintenance Center</i>
NMC	<i>Network Management Center</i>
2G	<i>Second-Generation</i>
PSK	<i>Phase-Shift Keying</i>
MCS	<i>Modulation and Coding Schemes</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ITU-R	<i>International Telecommunication Union – Radio Communication Sector</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telephony 2000</i>
ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access.</i>
3GPP	<i>3G Partnership Project</i>
TV	<i>Television</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
PN	<i>Pseudonoise Sequence</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple</i>
OSVF	<i>Orthogonal Variable Spreading Factor</i>
UE	<i>User Equipment</i>
CN	<i>Core Network</i>
MSC	<i>Mobile Switching Centre</i>

MGw	<i>Media GatewayMedijski</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
HSPA+	<i>Evolved High Speed Packet Access</i>
DC-HSDPA	<i>Dual- Carrier High Speed Downlink Packet Access</i>
SC-FDMA	<i>Single Carrier- Frequency Division Multiple Access</i>
eNobeB	<i>Evolved NodeB (eNB)</i>
MME	<i>Mobility Management Entity</i>
PGW	<i>Packet Data Network Gateway</i>
SGW	<i>Serving Gateway</i>
PCFR	<i>Policy and Charging Resource Function</i>
HSS	<i>Home Subscription Server</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
DVB-S2	<i>Digital Video Broadcasting – Satellite- Second Generation</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase-Shift Keying</i>
APSK	<i>Amplitude and Phase-Shift Keying</i>
LDPC	<i>Low Density Parity Check</i>
S/N	<i>Signal To Noise Ratio</i>
WPA2-PSK	<i>Wi-Fi Protected Access 2 - Pre-Shared Key</i>
WPA-PSK	<i>Wi-Fi Protected Access - Pre-Shared Key</i>
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i>
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
EAP	<i>Extensible Authentication Protocol</i>
ACL	<i>Access-Control List</i>
RADIUS-A	<i>Remote Authentication Dial-In User Service</i>

VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
RSRP	<i>Reference Signals Received Power</i>
RSRQ	<i>Reference Signal Received Quality</i>

Popis slika

Slika 2.1 Modulacije signala nosioca [2]	2
Slika 2.2 grafički prikaz 13 (14) Wi-Fi kanala	3
Slika 2.3 Dio spektra 5 GHz koji se koristi za WLAN mreže	4
Slika 2.4 Brzine prijenosa podataka definirane standardom 802.11g [6].....	5
Slika 2.5 Modulacija 256 QAM	7
Slika 2.6 Arhitektura GSM sustava [12]	10
Slika 2.7 Frekvencijski pojasevi rezervirani za GSM[13].....	11
Slika 2.8 Koncentracija GSM radio postaja području Republike Hrvatske	12
Slika 2.9 Frekvencijski pojasevi rezervirani za UMTS [15]	14
Slika 2.10 Arhitektura UMTS mreže.....	14
Slika 2.11 Usporedba OFDMA-a i SC-FDMA	16
Slika 2.12 Arhitektura LTE sustava[21].....	16
Slika 2.13 LTE Advanced sustav agregiranja nosioca	18
Slika 2.14 Satelitske zrake za prekrivanje Europe i mediteranskog bazena satelitskim internetom.....	19
Slika 2.15 Infrastruktura satelitskog interneta[25]	20
Slika 3.1 Shema infrastrukture za dobavu internetske veze uz pomoć paraboličnih usmjerenih antena i tok podataka	22
Slika 3.2 Shema spajanja na internet izdizanjem LTE prijemne antene na visoku točku ...	25
Slika 3.3 Antena P-56 UNIKOM[26].....	25
Slika 3.4 Shema spajanja na internet korištenjem pojačivača signala mobilnog ISP-a	26
Slika 3.5 Shema spajanja na internet korištenjem satelitskog interneta i toka podataka.....	27
Slika 3.6 Sadržaj opreme u Tooway paketu koja se treba spojiti za povezivanje na KA-SAT satelit.....	28
Slika 4.1 Podaci za postavljanje parabolične antene za satelitski Internet.....	36

Slika 5.1 Grafički prikaz brzina preuzimanja i slanja podataka s obzirom na udaljenost od WiFi pristupne točke	39
--	----

Popis tablica

Tablica 2.1 Brzine prijenosa podataka definirane standardom 802.11n	8
Tablica 2.2 Brzine prijenosa podataka definirane standardom 802.11ac	9
Tablica 4.1 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 5 m od pristupne točke	30
Tablica 4.2 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 25 m od pristupne točke	30
Tablica 4.3 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 50 m od pristupne točke	30
Tablica 4.4 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 100 m od pristupne točke	31
Tablica 4.5 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem P2P usmjerenih radio stanica i WI-FI pristupne točke na 200 m od pristupne točke	31
Tablica 4.6 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 5m od usmjernika/pristupne točke	32
Tablica 4.7 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 25 m od usmjernika/pristupne točke	33
Tablica 4.8 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 50 m od usmjernika/pristupne točke	33
Tablica 4.9 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 75 m od usmjernika/pristupne točke	33
Tablica 4.10 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka na 100 m od usmjernika/pristupne točke	34
Tablica 4.11 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem pojačivača signala (repetitora) na udaljenosti od 5 m	35
Tablica 4.12 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem pojačivača signala (repetitora) na udaljenosti od 500 m	35

Tablica 4.13 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka korištenjem pojačivača signala (repetitora) na udaljenosti od 1000 m	35
Tablica 4.14 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 5 m	37
Tablica 4.15 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 25 m	37
Tablica 4.16 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 50 m	37
Tablica 4.17 Postignute brzine spajanja na internet i prijenosa podataka satelitskim internetom na udaljenosti od 75 m	38

Literatura

- [1] A. Teković, Bežične računalne mreže, Priručnik, Algebra d.o.o., (2010); ISBN 978-953-322-030-7
- [2] Gordan Šišul, Odabrana poglavlja elektroničkih komunikacija – fizički sloj, 50 stranica [online], citirano 12.02.2020., dostupno na:
<https://www.coursehero.com/file/49704770/ELEKOM-skriptapdf>.
- [3] A. Teković, RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje15.ppt, Visoko učilište Algebra, 8 stranica [online], citirano 12.02.2020, dostupno na
<https://student.racunarstvo.hr/pretinac/main.php?what=mpred&do=show&tip=&letter=&student=775&pred=1045/RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje15.ppt>.
- [4] A. Teković, RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje07.ppt, Visoko učilište Algebra, 3 stranica [online], citirano 12.02.2020, dostupno na
<https://student.racunarstvo.hr/pretinac/main.php?what=mpred&do=show&tip=&letter=&student=775&pred=1045/RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje07.ppt>
- [5] A. Teković, RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje08.ppt, Visoko učilište Algebra, 3 stranica [online], citirano 12.02.2020, dostupno na
<https://student.racunarstvo.hr/pretinac/main.php?what=mpred&do=show&tip=&letter=&student=775&pred=1045/RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje08.ppt>
- [6] A. Teković, RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje10.ppt, Visoko učilište Algebra, 7 stranica [online], citirano 12.02.2020, dostupno na:
<https://student.racunarstvo.hr/pretinac/main.php?what=mpred&do=show&tip=&letter=&student=775&pred=1045/RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje10.ppt>
- [7] Klas Johanson, Johan Bergman, Dirk Gerstenberger, Mats Blomgren, Anders Wallen; *Multi-Carrier HSPA Evolution*; Ericson, 2 stranica [online], citirano 18.12.2019., dostupno na:
https://web.archive.org/web/20130526034623/http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/journal_conference_papers/atasp/multi-carrier_hspa_evolution.pdf
- [8] A. Teković, RVS-BezicneRacunalneMreze-Predavanje11-12.ppt, Visoko učilište Algebra, 17 stranica [online], citirano 12.02.2020, dostupno na:
<https://student.racunarstvo.hr/pretinac/main.php?what=mpred&do=show&tip=&letter=&student=775&pred=1045/BezicneRacunalneMreze-Predavanje11-12.ppt>