Koncept budućih bežičnih mreža šeste generacije – 6G

UGLJEŠA D. UROŠEVIĆ, Univerzitet Crne Gore,

Prirodno-matematički fakultet, Podgorica, Crna Gora

ZORAN I. VELJOVIĆ, Univerzitet Crne Gore,

Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora

Pregledni rad

UDC: 621.39

DOI: 10.5937/tehnika2103335U

Uporedo sa početkom implementacije bežičnih mreža pete generacije (5G sistema), započelo je istraživanje sledeće generacije mobilnih bežičnih sistema – mreža šeste generacije, 6G. Imajući u vidu već započeta razmatranja na komponentama buduće 6G tehnologije, neophodno je pratiti date tehnološke trendove, koji nas čekaju nakon 5G ere. U ovom radu objasniće se spektar komunikacionih potreba i tehnologija u okviru buduće 6G. Očekuje se da 6G uključi tri glavna aspekta, mobilnu ultra širokopojasnu mrežu, super Internet-of-Things (IoT – Internet stvari) i vještačku inteligenciju (AI – Artificial Intelligence). U radu će se prikazati pregled ključne tehnologije kojom se planira da se ostvare prva dva aspekta. Konkretno, THz komunikacija bi se mogla koristiti za podršku mobilne ultra širokopojasne mreže, a simbiotski radio i satelitske komunikacije za podršku super IoT. Za svaku tehnologiju će biti dat osnovni princip funkcionisanja, ključni izazovi i trenutno aktuelni pristupi i rješenja. Biće posebno naglašeno šta 6G donosi u odnosu na 5G, odnosno koje su ključne nove karakteristike.

Ključne reči: bežične mreže, 5G, 6G

1. UVOD

Kako će izgledati digitalno društvo nakon 5G ere? Iako će pametni telefoni i tableti još uvek biti u upotrebi, vjerovatno će se pojaviti novi interfejsi čovjek-mašina koji će znatno olakšati upotrebu i kontrolu informacija. Očekuju se mnoge novine. Portabilni uređaji, poput ušnih čepova i uređaja ugrađenih u odjeću će postati uobičajeni, uz nerijetko uređaje na koži i bio-implantate, zatim prenosivi predmeti će neometano funkcionisati jedni sa drugima, pružajući prirodne, intuitivne interfejse. Ekran na dodir će vjerovatno postati istorija. Gestikulacija i razgovor sa bilo kojim uređajem za izvršavanje komandi postaće norma. Uređaji će biti potpuno svjesni konteksta, a mreža će postati sve sofisticiranija u predviđanju potreba korisnika. Ova kontekstualna svijest u kombinaciji sa novim interfejsima čovjek-mašina učiniće interakciju sa fizičkim i digitalnim svijetom mnogo intuitivnijom i efikasnijom. Computing potreban za ove uređaje vjerovatno neće postojati na samim uređajima zbog faktora kom-

pleksnosti i kapaciteta baterije. Umjesto toga, vjerovatno će morati da se oslanjaju na lokalno dostupne računarske resurse, u okviru edge cloud-a. Mreže će igrati značajnu ulogu u sutrašnjem interfejsu čovjek-mašina. Današnji konceptualni automobili koji se autonomno kreću biće dostupni do 2030-ih. Sami automobili će zahtijevati značajno više podataka, npr. od mnoštva senzora, preuzimanja mapa visoke rezolucije, direktnog povezivanja vozila.

Dalje, doći će do masovne primjene bežičnih kamera kao senzora. Sa napretkom vještačke inteligencije, mašinskog vida i njihovog kapaciteta da prepoznaju ljude i objekte (ili uopšte generalno, automatski prikupljaju informacije sa slika i video zapisa), kamera će postati univerzalni senzor koji se može koristiti svuda. Pitanja privatnosti vjerovatno će se rešavati ograničavanjem pristupa podacima i anonimiziranjem informacija. Takođe, radio i drugi modaliteti poput akustike koristiće se za prikupljanje informacija o okruženju. Kombinacija različitih modaliteta koristiće se za skeniranje kroz područja sa velikom koncentracijom ljudi, a ne samo na ulazima. Radio senzori će biti suštinska komponenta ovog scenarija, podržanog od strane komunikacionih sistema budućnosti. Digitalni novac i ključevi mogu postati norma, s tim da se transakcije u fizičkom i digitalnom svijetu odvijaju kroz mnoštvo uređaja. Mreža budućnosti trebalo bi da

Adresa autora: Uglješa Urošević, Univerzitet Crne Gore, Prirodno-matematički fakultet, Podgorica, Džordža Vašingtona bb, Crna Gora

e-mail: ugljesa@ucg.ac.me

Rad primljen: 01.04.2021.

Rad prihvaćen: 10.06.2021.

pruži sigurnost i privatnost koja je od suštinske važnosti za takvu transformaciju. Brojni kućni servisni roboti dopuniće npr. usisavače ili kosilice koje danas poznajemo. Oni mogu imati oblik klastera manjih robota koji zajedno rade na izvršavanju zadataka. Roboti će biti opremljeni video kamerama koje emituju sadržaj na lokalni računski server za obradu u stvarnom vremenu. To vodi ka porastu broja uređaja i veće potrebe za kapacitetima unutar naših kućnih mreža.

U akademskoj i industrijskoj zajednici već je započelo istraživanje ključnih tehnologija koje će omogućiti aplikacije i zahtjeve u 6G konceptu. U ovom momentu, ključno je uočiti viziju budućih komunikacija kako bi se pružile smjernice za istraživanja. U radu su opisane očekivano bitne 6G tehnologije.

2. OČEKIVANE PREDNOSTI 6G U ODNOSU NA 5G

Uzimajući u obzir trenutni razvoj bežičnih komunikacija, 5G je još daleko od ispunjenja potreba u budućnosti zbog određenih nedostataka [1]-[3]. Prvo, nove aplikacije, kao što je holografija, mogu zahtijevati brzinu prenosa podataka do Tb/s, što je oko tri reda veće od brzine prenosa podataka kod 5G. Drugo, uz eksponencijalno povećanje i širenje IoT uređaja u budućnosti, neophodno je dodatno poboljšati povezivanje i pokrivenost 5G IoT-a. Treće, trenutne mrežne konfiguracije/optimizacije obično se postižu ručno. Ručne mrežne konfiguracije/optimizacije više neće biti pogodne, zbog velikih razmjera, komplikovanih/višedimenzionalnih/dinamičkih profila u smislu potrebe korisnika, radio resursa, saobraćajnog opterećenja i topologije mreže. Kao rezultat, očekuje se da će 6G pružiti odgovarajuća rješenja za prevazilaženje ovih nedostataka. Konkretno, 6G će uključiti tri glavna aspekta, a to su mobilna ultra-širokopojasna mreža (UMB - Ultra Mobile Broadband), super Internet-of-Things (IoT) i vještačka inteligencija (AI - Artificial Intelligence), [4]-[6]. Na slici 1 su dati tipični slučajevi upotrebe za širokopojasne komunikacije u 6G.

Slika 1 - Tipični slučajevi upotrebe Ultra-broadband komunikacije u 6G

Mobilni ultra širokopojasni pristup može osigurati prenos Tb/s bežičnom transmisijom, [7]-[9]. Super IoT može poboljšati mogućnost povezivanja i pokrivenost trenutnog IoT-a. Vještačka inteligencija može inteligentno konfigurirati/optimizovati bežičnu mrežu u budućnosti. Tačnije, THz komunikacija može se koristiti za podršku mobilne ultra-širokopojasne mreže, dok se simbiotski radio i satelitske komunikacije mogu koristiti za postizanje super IoT-a, a tehnike mašinskog učenja su obećavajući kandidati za vještačku inteligenciju. Za THz i super IoT tehnologiju u ostatku rada pružaju se osnovni principi, ključni izazovi i rješenja.

3. SUPER IOT

U ovom dijelu će biti opisan 6G super IoT, omogućen simbiotskim radiom i satelitskom podrškom IoT komunikacijama, [10]-[12]. Konkretno, simbiotski radio može podržati veći broj povezanih IoT uređaja, dok IoT komunikacije uz pomoć satelita mogu pružiti veću pokrivenost za IoT uređaje. Na slici 2 su dati tipični slučajevi upotrebe Super IoT u 6G.

Slika 2 - Tipični slučajevi upotrebe Super IoT u 6G

5G IoT će biti raspoređen u licenciranom opsegu, npr. unaprijeđeni mašinski tip komunikacije (eMTC - enhanced Machine Type Communication) i uskopojasni internet stvari (NB-IoT - Narrowband Internet of Things) ili u nelicenciranom opsegu (npr. Sigfox i LoRa). Konkretno, IoT licencirani opseg podrazumijeva namjenske opsege (npr. reframed GSM opseg) za podršku prenosa podataka između IoT uređaja i pristupnih tačaka (AP - Access Point). IoT u nelicenciranom opsegu realizuje prenos podataka dijeljenjem opsega nelicenciranog spektra (npr. frekvencijski opseg 2,4 GHz) sa ostalim naslijeđenim sistemima. Zbog manjka resursa licenciranog spektra i komplikovanih interferencija u nelicenciranom spektru, broj IoT uređaja je vrlo ograničen.

Alternativno, simbiotski radio omogućava istovremeno prenos celularnih i IoT podataka dijeljenjem celularnog spektra, [13]-[14]. Konkretno, integriše celularnu komunikaciju i ambijentalnu reflektovanu

(backscattering) komunikaciju, koja podržava prenos celularnih i IoT podataka. Ima dvije glavne prednosti u odnosu na 5G IoT. Prvo, IoT prenos podataka se obavlja postojećim celularnim radio signalima i ne utiče na zahtjeve dodijeljenog spektra. Drugo, cijena IoT uređaja je niska jer simbiotski radio ne koristi aktivne RF komponente na IoT predajniku. Iako simbiotski radio liči na ambijentalnu *backscattering* komunikaciju, oni su u određenoj mjeri različiti. Konkretno, ni mobilni korisnik niti mobilne pristupne tačke ne prepoznaju prisustvo IoT uređaja u ambijentalnim backscattering komunikacionim tehnologijama. Bez simbiotskog radija, celularni i IoT prenos interferiraju zbog nedostatka kooperacije. Suprotno tome, u simbiotskom radiju i celularni i IoT prenos mogu biti zajedno dizajnirani da bi se postigle obostano korisne performanse.

Pretpostavimo scenario u kojem mobilni korisnik emituje uplink radio signal do bazne stanice (BS - Base Station) dok IoT uređaj koristi ambijentalnu backscattering komunikacionu tehnologiju kako bi prenio svoje podatke IoT AP-u. Konkretno, IoT uređaj najprije moduliše svoje podatke na primljenom celularnom radio signalu, a zatim reflektuje modulirani signal ka IoT pristupnoj tački. U zavisnosti da li IoT pristupna tačka dijeli infrastrukturu mobilne pristupne tačke ili ne, mrežne topologije simbiotskog radija mogu se podijeliti u dvije kategorije kao što je prikazano na slici 3 (a) i (b).

a)

b)

Slika 3 - Tipične mrežne topologije simbiotskog radija

Jasno je da i celularna i IoT pristupna tačka mogu istovremeno da primaju dva signala, tj. direktan signal od mobilnog korisnika i odbijeni signal sa IoT uređaja. Mobilni podaci su sadržani i u direktnom signalu i u

reflektovanom signalu, a IoT podaci nalaze se samo u reflektovanom signalu. Izvlačenjem potrebnih podataka iz primljenih signala na mobilnoj i IoT pristupnoj tački završava se i celularni i prenos IoT podataka. Ključni izazovi za realizaciju simbiotskog radija uključuju dizajn predajnog signala (npr. snaga i beamforming) kod celularnog korisnika, dizajn modulacije na IoT uređaju, algoritam za detekciju podataka na svakoj pristupnoj tački.

Na prethodnoj slici pod a) postoji i celularna i IoT pristupna tačka, a pod b) postoji na jednoj lokaciji zajednička celularna/IoT pristupna tačka.

Podešavanjem snage i usmjeravanjem snopa signala (beamforming) predajnog signala kod celularnog korisnika, primljena snaga direktnog signala i reflektovanog signala na svakom AP-u se veoma razlikuje, što rezultuje različitim performansama prenosa celularnih i IoT podataka. Dakle, presudno je pravilno dizajnirati snagu i beamforming predajnog signala kod celularnog korisnika, da bi se uravnotežio ćelijski i IoT prenos podataka.

Za detekciju podataka na celularnoj pristupnoj tački, jer i direktni signal i reflektirani signal sadrže celularne podatke, pristupna tačka može zajednički detektovati podatke iz oba signala radi poboljšanja prijema. Za detekciju IoT podataka na IoT pristupnoj tački, pošto su IoT podaci samo i u reflektovanom signalu, koji je manje snage od direktnog signala, IoT podaci mogu biti pod uticajem interferencije direktnog signala. IoT pristupna tačka može primijeniti tehniku poništavanja interferencije.

5G će koristiti bespilotne letjelice (UAV –Unmanned Aerial Vehicle) kao komunikacionu tehnologiju da pruži široku pokrivenost za IoT scenarije zajedno sa zemaljskim komunikacionim tehnologijama poput eMTC, NB-IoT, Sigfox i Lora. Bez obzira na to, ove tehnologije daleko su od toga da ispune zahtjev za neprekidno pokrivanje sveprisutnih IoT uređaja. Kao alternativa, satelitske komunikacije mogu pružiti globalnu pokrivenost za uređaje na zemlji i na taj način se mogu koristiti za IoT aplikacije. Nedavno, 3GPP je inicijalizovao standarde satelitskih komunikacija kako bi pomogao budućim zemaljskim komunikacijama. Pored toga, mnoge komercijalne kompanije su tokom poslednjih godina angažovane u razvoju namjenskih satelita za buduću IoT, npr. Iridium, GlobalStar i ORBCOMM. Stoga će satelitske IoT komunikacije biti ključne komponente u 6G mrežama. Niske LEO orbite su poželjnije za satelite povezane sa IoT jer su udaljenosti od LEO do zemlje obično između 500-2000 km. Spektral za satelitsku podršku u IoT komunikaciji može da uključuje VHF, UHF, L i S opsege. Antene na ovim opsezima mogu biti omnidirekzione, pa nije potrebno praćenje satelita, ali su i dovoljno male da se

moгу lako ugraditi u IoT uređaje. Slika 4. prikazuje opštu strukturu satelitskog sistema IoT komunikacije, [15]–[16].

Slika 4 – Satelitska podrška IoT komunikacijama za udaljena područja

Za prenos podataka sa IoT uređaja na jezgro mreže, sateliti prvo prikupljaju podatke sa IoT uređaja, a zatim podatke isporučuju satelitskom *gateway*-u koji je na zemlji i povezuje se u jezgro mreže žičanom ili bežičnom vezom. U poređenju s drugim satelitskim zemaljskim komunikacijama poput satelitskog telefona, jasno je da glavni izazov realizacije satelitskog IoT komunikacionog sistema leži u prenosu podataka između IoT uređaja i satelita zbog hardverskih ograničenja IoT uređaja. Jedna tipična topologija za prenos podataka između IoT uređaja i satelita je direktni režim. U ovom režimu IoT uređaji direktno prenose podatke prema satelitima. Glavna karakteristika direktnog režima je da, pošto je udaljenost od IoT uređaja do satelita velika, emisiona snaga IoT uređaja mora biti velika. Ovaj režim postavlja stroge zahtjeve za IoT uređaje i poželjniji je u scenarijima u kojima su prenosi podataka rijetki.

Za scenarije čestog prenosa podataka, može se primijeniti hibridni režim. U hibridnom režimu, agregator podataka je raspoređen (ako je moguće) za prikupljanje IoT podataka unutar svog domena pokrivanja, iako nije povezan direktno sa pristupnim tačkama. Konkretno, agregator podataka prvo koristi zemaljske komunikacione tehnologije za prikupljanje podataka sa obližnjih IoT uređaja, a zatim podatke šalje satelitu. Budući da broj agregatora podataka može biti mnogo manji nego broj IoT uređaja, lako je održavati agregatore podataka. Na primjer, baterije agregator mogu se ručno zamijeniti ili bežično napuniti putem bespilotne letjelice.

4. DVA KANDIDATSKA SPEKTRA ZA 6G

Od samog početka funkcionisanja mobilnih mreža tokom 1980-ih, postoje stalni zahtjevi za većim dodijeljenim spektralnim resursima, u svakoj novoj generaciji zbog konstantne težnje za većom brzinom prenosa podataka. Jedan od glavnih ciljeva 6G je

osiguravanje Tb/s agregirane brzine prenosa i neizbježno je da će 6G koristiti veće frekvencije za raspoloživi spektar i propusni opseg. THz i vidljiva svjetlost su dva kandidatska dijela spektra.

4.1. THz komunikacije

Prenos u opsegu niskofrekventnog spektra ima svojstvo široke pokrivenosti, ali postiže se mala brzina prenosa zbog relativno uskog opsega. Uz povećanje zahtjeva za velikom brzinom prenosa podataka, predlaže se da 5G koristi mmWave opseg, koji može da obezbijedi nove širine opsega reda nekoliko GHz. Ipak, mmWave opseg uvijek ne ispunjava zahtjeve za širinom opsega u 6G scenarijima. Da bi se dodatno povećao propusni opseg i povećala brzina prenosa, predviđeno je da 6G koristi THz opseg, u kome je raspon širine opsega teoretski tri reda veći nego u mmWave opsegu. U stvari, IEEE je formirao posebnu studijsku grupu IEEE 802.15 za THz spektralne alokacije i standardizaciju. Isto tako, više kompanija poput Huawei-a i Intel-a sprovode *indoor/outdoor* (u zatvorenim i otvorenim prostorima) eksperimente u tim opsezima.

U proteklim decenijama izazov je bio generisati THz signale i razviti potpuno funkcionalni THz sistem zbog nedostatka THz primopredajnika, što čini THz opseg jednim od najmanje proučenih dijelova spektara. Ipak, tehnološkim napretkom predviđa se da će THz komunikacija postati stvarnost u narednih nekoliko godina.

Budući da je THz opseg između mikrotalasnog opsega i optičkog frekvencijskog opsega, THz je previsok za elektronske uređaje koji se koriste za generisanje mikrotalasnih signala i prenizak je za uređaje koji se zasnivaju na fotonima koji se koriste za generisanje optičkih signala. Kao takvi, postojeći THz signali se generišu ili iz elektronskih uređaja zasnovanih na frekvencijskom multipleksiranju ili iz fotonaponskih uređaja zasnovanih na photomixing-u. U posljednje vrijeme tehnologija koja se zasniva na grafenu pojavljuje se kao obećavajući kandidat za generisanje THz signala zbog izvanrednih elektro-optičkih svojstava grafena. Generisani THz signali mogu se podijeliti u dvije kategorije: impulsni signal i kontinualni signal. Impulsni signali su široko proučavani u postojećoj literaturi o THz komunikacijama, jer se može generisati razumnom veličinom i složenošću predajnika/antene. Suprotno tome, stvaranje kontinualnog signala ima strožije zahtjeve u vezi veličine i složenosti predajnika/antena i stoga je potrebno više ispitivanja kako bi se olakšale THz komunikacije u budućnosti.

THz signali imaju velike gubitke prilikom propagacije u slobodnom prostoru. Gubitak usled propagacije nastaje širenjem elektromagnetnog talasa u slobodnom prostoru i proporcionalan je kvadratu radne

frekvencije i rastojanja između dva komunikaciona čvora na osnovu Friis-ovog zakona. Dodatno, gubitak molekularne apsorpcije prouzrokuje činjenica da se djelimična energija THz signala pretvara u unutrašnju kinetičku energiju molekula u vazduhu, a dominantan uzrok je vodena para. Na slici 5 su prikazani gubici usled propagacije u THz opsegu.

Slika 5 - Gubici usled propagacije u THz opsegu

THz opseg može podržati samo kratke udaljenosti (reda metara i manje), ali ne i bežične komunikacije na srednjoj/većoj udaljenosti. Za prevazilaženje ograničavanja rastojanja istražuju se različite tehnike, kao što su dizajn fizičkog sloja koji proračunava udaljenosti, ultra-masivnu MIMO (više predajnih i više prijemnih antena) komunikaciju, reflektorska polja i inteligentne površine. Pored toga, molekularna apsorpcija uzrokuje pikove na krivama gubitaka usled propagacije, što formira prenosne prozore, tj. segmente propusnog opsega. Za rastojanje ispod 1 metra, efekat molekularne apsorpcije je zanemarljiv, a prenosni prozor je gotovo 10 THz. Na udaljenosti većoj od jednog metra, efekat molekularne apsorpcije postaje značajan i prenosni prozori postaju uski.

Za razliku od bežičnog prijemnika koji radi na mikrotalasnom opsegu, koji je osjetljiv na aditivni Gausov bijeli šum (AWGN - Additive White Gaussian Noise), postoje dvije vrste šuma na bežičnom prijemniku koji radi na THz opsegu, tj. šum molekularne apsorpcije i AWGN. Konkretno, molekularni šum apsorpcije proizvodi vibracione molekule koji ponovo zrače dio svoje apsorbovane energije. Pošto različiti molekuli mogu da proizvode različite količine apsorpcionog šuma, molekularni apsorpcioni šum određuje se i vrstama i količinama molekula kroz koje prolazi THz talasni snop. Treba naglasiti da je šum molekularne apsorpcije obojen, jer različite vrste molekula imaju različite rezonantne frekvencije i apsorpciona svojstva.

4.1.1. Potencijalne primjene

THz talasi imaju široku perspektivu primjene u ultra brzom bežičnoj komunikaciji i satelitskoj

komunikaciji, tako da globalna regulatorna tijela već pokušavaju da ubrzaju razvoj novih komunikacionih tehnologija u THz spektru.

U martu 2019. godine, US FCC (Federal Communications Commission) je izglasao dozvolu za eksperimentalne aplikacije u licenciranom i nelicencirane dijelu spektra, između 95GHz i 3THz i objavio novi tip licence - Spektrum Horizons Licence sa malim barijerama i minimalnim troškovima kako bi se ubrzao razvoj THz tehnologija.

U Evropi je Horizon 2020, najveći program za istraživanje i inovacije u EU, finansirao nekoliko projekata u okviru programa „Mrežno istraživanje izvan 5G“, od kojih je većina usmjerena na THz tehnologije.

IEEE je počeo da preduzima prve korake za standardizaciji THz komunikacije formiranjem IEEE 802.15 WPAN mreže (Wireless Personal Area Network – bežične personalne mreže) Task Group 3-D 100 Gb/s Wireless (TG 3d 100 G) i stvorio prvi standard u frekventijskom opsegu od 250 do 350 GHz, koji opseg dijeli u 32 kanala širine od 2,16 GHz.

Međunarodna unija za telekomunikacije odlučila je da klasifikuje 0,12THz i 0,2THz opsege u bežičnu komunikaciju.

Ministarstvo unutrašnjih poslova i komunikacija Japana uspostavilo je program istraživanja i razvoja za ključnu tehnologiju u THz frekventijskim opsezima i podržalo je dosta srodnih istraživanja, poput CMOS tehnologije.

THz opseg može udovoljiti zahtjevima za velikom brzinom za prenos podataka. Tipični scenariji uključuju male ćelije sa velikom brzinom prenosa podataka, odnosno WPAN-ove. U malim ćelijama, THz pristupna tačka može da podrži intenzivne širokopojasne aplikacije poput virtuelne/proširene stvarnosti, ili udaljenu holografiju za statičke i mobilne korisnike unutar malog dometa pokrivanja (reda metara). THz opseg je atraktivan resursni spektar koji treba da zadovolji potrebe kapaciteta pristupnih tačaka umjesto žičanih rješenja, posebno kada je žičano rješenje neizvodljivo ili je cijena njegove primjene neprihvatljivo visoka. U lokalnim WPAN-ovima moguće je uspostaviti Tb/s linkove između uređaja u neposrednoj blizini na THz opsegu. Prenos sadržaja između dva bliska uređaja i lokalni gaming mogu biti ostvareni skoro u realnom vremenu.

Sigurnost bežične komunikacije obično se odnosi na mogućnost zaštite od prisluškivanja i ometanja (jamming). Imajući u vidu da je snop THz signala uzak, predajni snop bi trebalo skoro savršeno da se usmjerava na prijemnu antenu. Kao takav, prislušni uređaj ne može primiti THz signal, ili čak ne može ni primiti THz signal kad se nalazi izvan predajnog snopa. Prema tome, teško je neovlašćeno preuzeti

informacije sadržane u THz signalu. S druge strane, masivna propusnost čini da je THz komunikacija otporna na ometanja.

4.2. Komunikacija putem vidljive svjetlosti

Optička bežična komunikacija (OVC - Optical Wireless Communications) smatra se komplementarnom tehnologijom za RF mobilne komunikacije i frekvenzijske opsege infracrvene, ultraljubičaste i vidljive svjetlosti. Spektar vidljive svjetlosti (430-790THz) je najperspektivniji spektar OVC komunikacije zbog tehnološkog napretka i širokog prihvatanja LED dioda. Jedan od najupečatljivijih aspekata LED-a koji se razlikuje od starije tehnologije je to što se mogu brzo mijenjati različiti nivoi intenziteta svjetlosti, što omogućava da se na različite načine kodiraju podaci u emitovanoj svjetlosti. Komunikacija putem vidljive svjetlosti (VLC - Visible Light Communication) u potpunosti koristi prednosti LED dioda za postizanje dvostruke svrhe, osvjetljenja i komunikacije. VLC za kratke domete (do nekoliko metara) ima brojne prednosti u odnosu na klasičnu radio komunikaciju. Prvo, spektar vidljive svjetlosti pruža izuzetno visoki propusni opseg (THz), a spektar je slobodan i nelienciran. Drugo, vidljiva svjetlost, ne može proći kroz neprozirne prepreke. To znači da je prenos mrežnih informacija ograničen na jednu zgradu, a prijemnici izvan zgrade nisu u mogućnosti da prime signal, što garantuje bezbjednost prenosa informacija i smanjuje smetnje koje su vrlo ozbiljne u RF komunikaciji. Treće, VLC koristi izvore osvjetljenja kao bazne stanice, kojima nisu potrebni skupi troškovi izgradnje i održavanja baznih stanica koji su potrebni u RF komunikaciji. Konačno, VLC komunikacija ne stvara elektromagnetno zračenje i imuna je na spoljne elektromagnetne interferencije. Zbog toga je pogodana za posebne situacije osjetljive na elektromagnetno zračenje, kao što su letjelice i bolnice.

Maksimalna dostižna brzina prenosa podataka u velikoj mjeri zavisi od tehnologije osvjetljenja. Brzina prenosa podataka VLC komunikacije zasnovane na fosfornom plavom LED-u je do 1 Gb/s, dok brzina prenosa zasnovana na RGB LED-u može dostići više Gb/s. LED sa najboljim performansama je mikro LED, koji je u laboratoriji postigao brzinu prenosa podataka veću od 10 Gb/s. Sa kontinualnim unapređivanjem životnog vijeka i svjetlosne efikasnosti LED sijalica i napretkom srodnih tehnologija (npr. tehnologija digitalne modulacije), očekuje se da će VLC dostići brzinu prenosa podataka od stotina Gb/s ili čak Tb/s u 6G eri.

5. ZAKLJUČAK

Ekspanzija mobilnih celularnih mreža koja je započela uvođenjem jeftinih IoT tehnologija u 4G-u i URLLC IoT-a u 5G-u nastaviće se u 6G-u. Brz

napredak vještačke inteligencije/mašinskog učenja i efikasnost u rješavanju problema u nekoliko domena, ukazuje na 6G sistem koji će u osnovi iskoristiti ove nove mogućnosti za poboljšanje performansi i bolje prilagođavanje operativnom okruženju. Kako se gustina infrastrukture povećava, zajedno sa upotrebom spektra većih širina opsega, naročito u zatvorenom prostoru, nove mogućnosti za korišćenje ovog sistema za lokalizaciju i senzitivnost podstaci će 6G dizajn koji neće biti optimizovan samo za komunikaciju, već i za percepciju i razumijevanje fizičkog svijeta i potreba ljudi.

LITERATURA

- [1] S. K. Sharma, I. Woungang, A. Anpalagan, Toward Tactile Internet in Beyond 5G Era: Recent Advances, Current Issues, and Future Directions, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 56948 - 56991, March 2020.
- [2] Y. Yang, K. Hua, Emerging Technologies for 5G-Enabled Vehicular Networks, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 181117 - 181141, November 2019.
- [3] I. Selinis, K. Katsaros, The Race to 5G Era; LTE and Wi-Fi, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 56598 - 56636, September 2018.
- [4] H. Viswanathan, P. E. Mogensen, Communications in the 6G Era, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 57063 - 57074, March 2020.
- [1] Q. Qi, X. Chen, Integration of Energy, Computation and Communication in 6G Cellular Internet of Things, *IEEE Communications Letters*, vol. 24, no. 6, pp. 1333 - 1337, June 2020.
- [2] S. Zhang, C. Xiang, 6G: Connecting Everything by 1000 Times Price Reduction, *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, vol. 1, pp. 107 - 115, March 2020.
- [3] I. F. Akyildiz, J. M. Jornet, C. Han, Terahertz band: Next frontier for wireless communications, *Phys. Commun.*, vol. 12, pp. 16-32, September 2014.
- [4] I. Akyildiz, J. Jornet, and C. Han, Teranets: ultra-broadband communication networks in the Terahertz band, *IEEE Wireless Commun.*, vol. 21, no. 4, pp. 130-135, Aug. 2014.
- [5] Z. Chen et al., A survey on terahertz communications, *China Commun.*, vol. 16, no. 2, pp. 1-35, Feb. 2019.
- [6] L. Zhang, Y. Liang, 6G Visions: Mobile ultra-broadband, super internet-of-things, and artificial intelligence, *China Communications*, DOI: 10.23919/JCC.2019.08.001, August 2019.
- [7] W. Dong, Z. Xu, Low-Cost Subarrayed Sensor Array Design Strategy for IoT and Future 6G Applications, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 7, Issue 6, pp. 4816 - 4826, June 2020.

- [8] H. Ghorbani, M. Saeed Mohammadzadeh, Modeling for Malicious Traffic Detection in 6G Next Generation Networks, 2020 International Conference on Technology and Entrepreneurship - Virtual (ICTE-V), DOI: 10.1109/ICTE-V50708.2020.9113777, April 2020.
- [9] R. Long, H. Guo, L. Zhang, and Y.-C. Liang, Full-duplex backscatter communications in symbiotic radio systems, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 21597-21608, Feb. 2019.
- [10] Q. Zhang, L. Zhang, Y.-C. Liang, and P. Y. Kam, Backscatter-NOMA: A symbiotic system of cellular and Internet-of-Things networks, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 20000-20013, Feb. 2019.
- [11] Z. Jia, M. Sheng, LEO Satellite-Assisted UAV: Joint Trajectory and Data Collection for Internet of Remote Things in 6G Aerial Access Networks, *IEEE Internet of Things Journal*, DOI: 10.1109/JIOT.2020.3021255, September 2020.
- [12] M. Giordani, M. Zorzi, Satellite Communication at Millimeter Waves: a Key Enabler of the 6G Era, 2020 International Conference on Computing, *Networking and Communications* (ICNC), DOI: 10.1109/ICNC47757.2020.9049651, Feb. 2020.
- [13] K. B. Letaief, W. Chen, The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks, *IEEE Communications Magazine*, DOI: 10.1109/MCOM.2019.1900271, Aug. 2019.
- [14] B. Mao, Y. Kawamoto, AI-Based Joint Optimization of QoS and Security for 6G Energy Harvesting Internet of Things, *IEEE Internet of Things Journal*, DOI: 10.1109/JIOT.2020.2982417, March 2020.

SUMMARY

A CONCEPT OF FUTURE SIXTH GENERATION WIRELESS NETWORKS - 6G

Simultaneously with the beginning of the implementation of the fifth generation wireless networks (5G systems), the research of the next generation mobile wireless systems - the sixth generation network 6G, has began. Having in mind the already started considerations on the components of the future 6G technology, it is necessary to follow the given technological trends, which are waiting for us beyond 5G era. This paper will explain the range of communication needs and technologies within the future 6G. 6G is expected to include three main aspects, mobile ultra broadband, super Internet-of-Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). The paper will present an overview of the crucial technology that is planned to achieve the first two aspects. In particular, THz communication could be used to support mobile ultra-broadband, while symbiotic radio and satellite communications to support super IoT. For each technology, the basic principle of functioning, key challenges and currently current approaches and solutions will be given. It will be especially emphasized what 6G brings in relation to 5G, ie what are the key new characteristics.

Key words: wireless networks, 5G, 6G

ПОЛАГАЊЕ СТРУЧНОГ ИСПИТА ЗА ОБАВЉАЊЕ ПОСЛОВА У ОБЈЕКТИМА ЗА ПРОИЗВОДЊУ, ПРЕНОС И ДИСТРИБУЦИЈУ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

У складу са Уговором потписаним између Министарства рударства и енергетике Републике Србије и Савеза инжењера и техничара Србије, а на основу Правилника о условима, програму и начину полагања стручног испита за обављање послова у објектима за производњу, пренос и дистрибуцију електричне енергије (Сл. Гласник број 24/15 од 06. марта 2015. године) СИТС-у је поверено обављање административно техничких послова везаних за полагање стручног испита.

Министарство рударства и енергетике Републике Србије је формирало Комисију пред којом ће се обављати полагање стручног испита у саставу:

Председник: Зоран Илић, дипл. инж. маш
Заменик председника: проф. др Никола Рајаковић
Члан: Оливера Гуцулић, дипл. инж. ел.
Неда Мијатовић Бојановић, дипл. правник - испитивач општег дела
Заменик члана: Марина Андријашевић, дипл. инж. ел.
Гордана Хајвасовић, дипл. правник - испитивач општег дела

Испитивачи – ментори:

- **За објекте за производњу електричне енергије који су прикључени на дистрибутивни систем и објекте за дистрибуцију електричне енергије**

Шкундрић Војислав, дипл. инж. ел.
мр Јаковљевић Александар, дипл. инж. маш.

- **За објекте за производњу електричне енергије који су прикључени на преносни систем и објекте за пренос електричне енергије**

Петровић Небојша, дипл. инж. ел.
Анђелковић Драган, дипл. инж. ел.

Право на полагање испита

Правилником је предвиђено да за **послове техничког руковођења** у објектима за производњу, пренос и дистрибуцију електричне енергије стручни испит могу да полажу лица која имају стечено високо образовање на студијама другог степена (дипломске академске студије - мастер, специјалистичке академске студије, специјалистичке струковне студије), односно на основним студијама у трајању од најмање четири године, као и стечено високо образовање на студијама првог степена (основне академске студије, основне струковне студије) и која имају најмање три године радног искуства у струци на пословима техничког руковођења.

Правилником је такође предвиђено да за **послове руковања и одржавања** у објектима за производњу, пренос и дистрибуцију електричне енергије стручни испит могу да полажу лица која имају стечено средње образовање електро, машинске или друге одговарајуће техничке струке и која имају најмање две године радног искуства у струци на пословима руковања и одржавања.

TEHNIKA

SAOBRAĆAJ

Transport – Transport – Verkehr – Транспорт

GODINA 68 – 2021.

BROJ 3

ODGOVORNI UREDNIK

Prof. dr **Jadranka J o v i ć**, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

REDAKCIONI ODBOR

Prof. dr **Vladeta Č o l i ć**, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

Dr **Vladimir D e p o l o**, Direkcija za građevinsko zemljište
i izgradnju, Beograd

Prof. dr **Milan M a r k o v i ć**, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

Prof. dr **Petar M i r o s a v l j e v i ć**, Univerzitet u
Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd

Prof. dr **Pavle G l a d o v i ć**, Univerzitet u Novom Sadu,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. dr **Vladimir Đ o r i ć**, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

REDAKCIJA I ADMINISTRACIJA: Savez inženjera i
tehničara Srbije, 11000 Beograd, Kneza Miloša 7a/I, Telefon
(011) 32 35 891, Fax (011) 32 30 067