

Razvoj bežičnih mobilnih tehnologija

Dragan Rastovac, Božo Ilić

Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu

Novi Sad, Srbija

rastovac@vtsns.edu.rs, ilic@vtsns.edu.rs

Sažetak— Porast zahteva korisnika kada je u pitanju prenos različite vrste podataka putem bežične mreže (govor, slika, multimedija) inicira unapređivanje i konstantno poboljšanje mrežne infrastrukture. Odnosno, vremenski osetljive aplikacije (strimovanje multimedije, govor preko IP-a i onlajn igre), zahtevaju ozbiljniju podršku tehnologije mobilne komunikacije. Tako se ozbiljnost bežičnih širokopoljanskih tehnologijama ogleda u implementaciji novih mobilnih mrežnih sistema. U radu je predstavljen kratak pregled strukture generacija mobilnih komunikacionih mreža počevši od prve generacije (1G) pa zaključno sa petom (5G). Izvršen je kratak opis kako mrežne arhitekture tako i najznačajnijih prednosti i nedostataka prethodnih i sadašnjih generacija bežičnih mrežnih sistema.

Ključne riječi - bežična mreža; arhitektura; tehnologije mobilne komunikacije;

I. UVOD

Imajući u vidu razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT), tokom poslednjih decenija, uspostavljena je uska veza međusobne zavisnosti kao i uticaja na ljudsko društvo, ekonomiju i životnu sredinu. Društveni razvoj koji se paralelno zasniva na znanju i ekonomskoj razvijenosti uslovljava buduće napredovanje i osavremenjavanje tehnike i tehnologije, a samim tim i razvoj u vezi sa pristupom i usvajanjem IKT. Generalnim posmatranjem IKT je postala nezaobilazni deo ljudskih života, počevši od dečijeg uzrasta i zaključno sa najstarijim stanovnicima naše planete. Na taj način, imamo zastupljenost IKT u svim nivoima obrazovanja, industriji, poslovnim aktivnostima kao i privatnim životima [1], [2].

Nagli razvoj Internet inteligentnih uređaja (Internet of Things - IoT) i multimedije visokog kvaliteta rezultuje veoma veliko povećanje protoka podataka čiji trend se nastavlja iz godine u godinu. U skladu sa tim, trenutni kapaciteti bežične mreže će biti sve zagušeniji, dok će kvalitet usluge (Quality of service - QoS) prema mobilnim korisnicima početi da opada [3], [4]. Pored navedenih zahteva ne treba zaboraviti i brzinu prenosa informacija putem bežične mreže, tako da je tzv. četvrta industrijska revolucija u svoj domen uvrstila i razvoj mobilne komunikacione mreže (tj. petu generaciju - 5G), koja treba da nasledi LTE/LTE-A (Long Term Evolution/LTE-Advanced). Kako dosadašnje tradicionalne mreže ne mogu da ispune navedene zahteve za uslugu, International Mobile

Telecommunications-2020 (IMT2020) predlaže tri glavna pravca za scenarije primene 5G [5]:

- uključujući poboljšani mobilni širokopoljanski pristup (enhanced mobile broadband - eMBB),
- masovnu komunikaciju tipa mašine (massive machine type communications - mMTC) i
- ultra-pouzdana komunikacije niske latencije (ultra-reliable low-latency communications - URLLC).

II. ISTORIJSKI RAZVOJ MOBILNE MREŽE

Realizacija prve mobilne telefonske usluge uspostavljena je u Sent Luisu 17. juna 1946. godine. Razgovor je obavljen sa telefona koji je bio ugrađenog u automobil. Nakon toga, 1947. godine AT&T (American multinational telecommunications holding company) pokrenula je uslugu mobilne mrežne telefonije između Bostona i Njujorka vođena uspehom u Sent Luisu. Telefonski uređaji koji su upotrebljeni poznati su pod nazivom voki-toki (push-to-talk). Međutim, zbog velikog broja korisnika, dolazi do tzv. "gužve u mrežnom saobraćaju". Tako da su mrežni operateri koristili liste čekanja, dok su korisnici čekali nadajući se da će imati sreće i uspostavljanju veze putem mobilnog telefona. Uzrok liste čekanja je ograničenje najznačajnijeg resursa mobilne mreže a to je frekvencijski spektar. Na osnovu navedenog problema ovakav vid mobilne komunikacije nije doživio uspeh. Dolazak savremenih mobilnih komunikacionih sistema koji koriste ćelijsku strukturu pomogao je da se smanji problem frekvencijskog spektra nudeći efikasnije korišćenje njegovog prostora [6], [7].

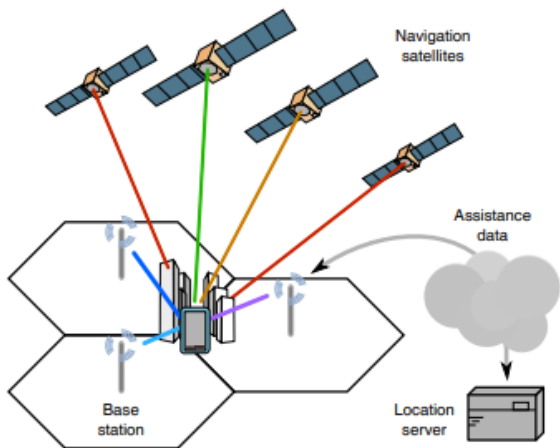
Mobilne komunikacione tehnologije razvijane su u uzastopnom generacijskom procesu. Pojedini autori [8], [9] nazivaju nultom generacijom mobilnih komunikacija (zero generation technology - 0G) sve pokušaje implementacije do zvaničnog nastanka prve generacije. Prva generacija (1G) bili su analogni sistemi koji su se pojavili osamdesetih godina prošlog veka [10], [11]. Drugu generaciju (2G) mobilnih komunikacionih sistema predstavljao je "Globalni sistem za mobilnu komunikaciju" (Global System for Mobile communication- GSM), na scenu stupa devedesetih godina prošlog veka [12]. Između druge i treće generacije mobilnih komunikacija imamo tzv prelazni period, odnosno nastala je 2.5G čiji su predstavnici (General Packet Radio Service - GPRS) tj. GSM - GPRS, i (Enhanced Data rates for Global Evolution -EDGE), tj. GSM-EDGE. Prema [13]

od 1987. godine počinje se razvijati (Universal Mobile Telecommunication System – UMTS) standard koji se smatra trećom generacijom (3G). Međutim, prvi 3G standardi usvojeni su 1999. godine [14], dok su prve komunikacione mreže, ovog tipa, počele sa implementacijom i radom 2004. godine. Krajem 2005. godine uspostavljaju se temelji mobilne telefonije četvrte generacije (4G), poznate pod nazivom (Long Term Evolution - LTE) u okviru standarda (Release 8). Komercijalna upotreba započela je 2009. godine. Takođe, rađeno je na modifikaciji LTE, poznatoj pod nazivom LTE-Advanced čije su specifikacije date u okviru standarda (Release 9 and 10) [15], [16]. Usklađivanje 5G standarda na osnovu ITU-R IMT 2020 započeto je 2014. godine, dok je komercijalna upotreba u Evropi počela 2020. godine a u Aziji i SAD nešto ranije [17].

III. SPECIFIKACIJA MOBILNIH MREŽA

A. 1G mobilna mreža

Prema [17], na osnovu [18], [19], 1G ćelijski sistemi (Sl. 1) bili su zasnovani na analognim tehnologijama namenjenim pružanju govornih usluga. Spektar frekvencija unutar ćelije je podeljen na broj kanala, gde je svaki poziv koristio odvojeni uskopojasni frekvencijski kanal (koristeći frekvencije oko 900 MHz i analognu modulaciju). Na taj način, broj kanala nije bio efikasan u smislu dostupnog radio spektra, čime je ograničen broj poziva koji se mogu obaviti u bilo kom trenutku. Važno je napomenuti da su analogni sistemi zasnovani na tehnologiji komutacije kola i nude samo govornu komunikaciju. Ključne karakteristike i mogućnosti 1G: zasnovan na analognom sistemu, podržava brzinu podataka do 2,4 kbps, bežični telefon. Osnovni nedostaci 1G: samo govor, bez komunikacije podataka, mali kapacitet, loša predaja, manje bezbedno, loša glasovna veza.

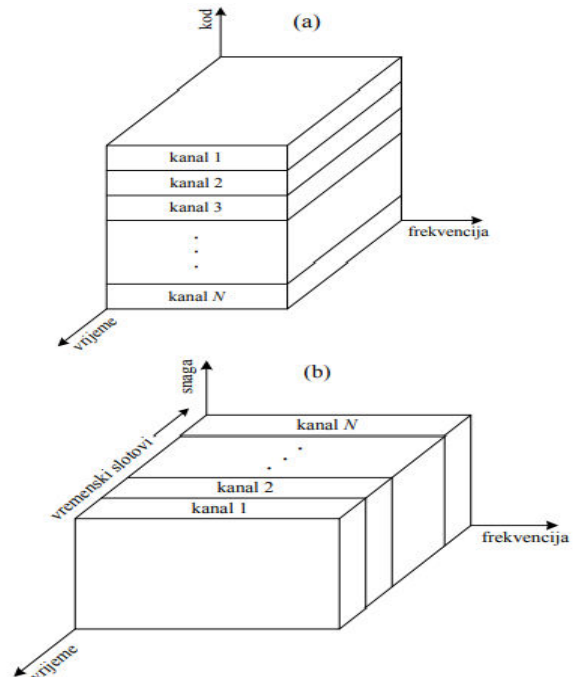


Slika 1. 1G mobilna mreža (preuzeto iz [17])

B. 2G mobilna mreža

Mobilne komunikacije druge generacija zasnovane su na digitalnoj tehnologiji i mrežnoj infrastrukturi. U sklopu svojih usluga, 2G su obezbeđivale tekstualne poruke, poruke u vidu slika i multimedijalne poruke (multimedia messages - MMS). Nad tekstualnim porukama je izvršeno digitalno šifrovanje, čime se postiže “jedinствeni prijem” (samo određeni prijemnik može da primi i pročita poruku). Kada su u pitanju pristupne tehnike koje treba da omoguće komunikaciju više korisnika u okviru jednog frekvencijskog opsega 2G upotrebljava višestruki pristup sa podelom vremena (time division multiple access - TDMA) ili višestruki pristup sa podelom koda (code division multiple access - CDMA), (Sl. 2). TDMA pristup omogućava podelu signala na vremenske slotove dok CDMA pristup svakom korisniku dodeljuje poseban kod. Iako CDMA važi za napredniju tehniku pristupa, sa većim kapacitetom od TDMA, kod 2G mobilnih komunikacija najzastupljeniji je GSM standard koji se zasniva na TDMA. Zahvaljujući ovom standardu, realizovana je usluga rominga, čime su korisnici mogli ostvarivati mobilnu komunikaciju nezavisno od toga da li se nalaze u zemlji svog operatera ili inostanstvu (što nije bila karakteristika 1G). GSM se koristi u opsezima od 900 i 1800 MHz u svim delovima sveta osim Severne Amerike gde je opseg 1900 MHz [20] - [22].

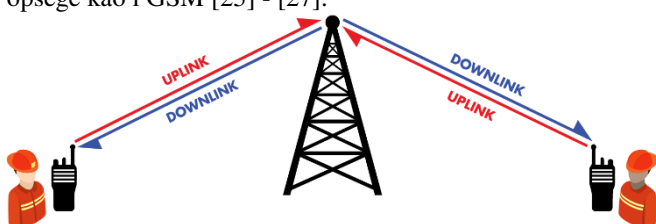
Ključne karakteristike i mogućnosti 2G: poboljšana efikasnost spektra, obezbeđuje brzinu prenosa podataka do 64 kbps, poboljšani kapacitet sistema i pokrivenost mrežom, roaming objekat, usluge govora i podataka, povećana bezbednost. Osnovni nedostaci 2G: ne podržava visoke brzine prenosa podataka, slabiji digitalni signal, nesposobnost za rukovanje složenim podacima [23].



Slika 2. Koncept razdvajanja korisnika kod: (a) CDMA; (b) TDMA tehnike (preuzeto iz [24])

C. 2.5G mobilna mreža

Potreba za povećanjem brzine prenosa podataka uslovljena od strane korisnika, ima za posledicu dalji razvoj GSM tehnologije poznatije pod nazivom GPRS i EDGE, čime je započeta era 2.5G. U GSM-u, korisniku je dodeljen jedan vremenski slot downlink (kanal se koristi za prenos od bazne stanice BS prema mobilnom korisniku- UE) i jedan uplink (kanal se koristi za prenos od UE prema BS), Sl. 3. GPRS je zasnovan na tehnologiji sa komutacijom paketa koja omogućava efikasno deljenje radio resursa među korisnicima i mogućnost neprekidnog rada. Dodatno poboljšanje brzine obezbedila je EDGE, obzirom da su praktične brzine GPRS bile manje nego što je to implementirala teorija. Tako je EDGE dao veliki doprinos operaterima, jer su bili u mogućnosti da postiču brzinu prenosa do 250 kbps sa kašnjenjem od 150 ms. Takođe, važno je napomenuti da se sve ovo može postići minimalnom promenom hardvera u postojećim tehnološkim strukturama. GPRS i EDGE koriste iste frekvencijske opsege kao i GSM [25] - [27].



Slika 3. Prikaz uplink i downlink (preuzeto iz [28])

D. 3G mobilna mreža

Kada je GSM počeo sa komercijalnom upotrebom, Evropski institut za telekomunikacijske standarde (European Telecommunications Standards Institute – ETSI) započeo je rad na standardizaciji nove mobilne telekomunikacione mreže - 3G. Sistem treće generacije nazvan je Univerzalni mobilni telekomunikacioni sistem (Universal Mobile Telecommunications System - UMTS). Rast Interneta već je stvorio osnovu masovnog tržišta za multimedijalne i informacione usluge sa tehnologijama žičnog pristupa kao što su digitalna pretplatnička linija (digital subscriber line - xDSL) i kablovski modemi. U skladu sa izazovima prenosa, gde se međusobno prepliću govor i podatak velike brzine uz minimalne gubitke neophodno je poboljšati prenos Internetom. Na taj način obezbeđuje se funkcionisanje novih aplikacija (video konferencije). Tako da je 3G mreža imala obavezu obezbediti zadovoljavajuće karakteristike mobilnog Interneta (različite brzine prenosa, usluga u realnom vremenu usluga sa komutacijom paketa ili kola). Kasnije se vodeće kompanije u telekomunikacijama udružuju u tzv. Third Generation Partnership Project (3GPP) program. Njihov osnovni zadatak jeste definisanje specifikacija za 3G sistem zasnovan na ETSI tj. “univerzalni zemaljskom radio pristup” (Universal Terrestrial Radio Access - UTRA) - radio interfejsu i poboljšanom delu

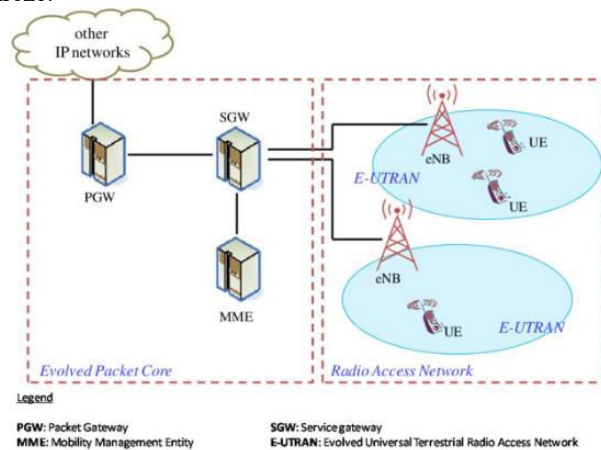
GSM/GPRS mobilne aplikacije (enhanced GSM/GPRS Mobile Application Part - MAP). Propusni opsezi frekvencija IMT-2000 su: 1885–2025 MHz i 2110–2200 MHz [29] - [31].

Ključne karakteristike i mogućnosti 3G: veće brzine prenosa podataka, podržava multimedijalne aplikacije, usluge dodatne vrednosti (kao što su mobilna televizija, GPS, video pozivi i video konferencije), pristup mobilnom Internetu velike brzine, povećani kapacitet. Osnovni nedostaci 3G, cena nadogradnje na 3G uređaje je skupa, potrošnja energije je velika, 3G zahteva manje rastojanja baznih stanica čime povećava ulaganja [32].

E. 4G mobilna mreža

4G mobilna komunikaciona mreža u okviru svojih mogućnosti korisnicima obezbeđuje pozive putem govora i videa, tekstualne poruke, ostale multimedijalne usluge i bežični Internet. Osnovnu strukturu čini radio pristupna mreža (radio access network; RAN, Evolved UTRAN; E-UTRAN), koja upravlja terminalima, bežičnih resursa, kao i osnovna mreža (core network EPC) koja je zadužena za prenos podataka i proveru identiteta korisnika (UE), Sl. 4 E-UTRAN koja obezbeđuje bežično komunikaciono okruženje, smeštena je između EPC i terminala. Bazna stanica (eNB) je glavna komponenta E-UTRAN-a koja vrši pokrivanje određenih oblasti signalom i upravlja bežičnim resursima [13], [33], [34]. EPC se sastoji od pet glavnih komponenti [35]:

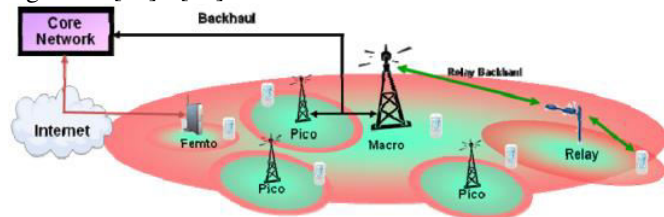
- MME (Mobility Management Entity), to je centralni kontrolni čvor koji je odgovoran za signalizaciju između UE i osnovne mreže.
- S-GW (Serving Gateway), prenosi pakete podataka sa eNB na P-GW.
- P-GW (Packet Data Network Gateway) ostvaruje komunikaciju sa spoljnim mrežama.
- PCRF (Policy and Charging Rules Function), nije prikazana na slici, vodi računa o procedurama za donošenje odluka i kvalitetu servisa (Quality of service ;QoS).
- HSS (Home Subscriber Server), takođe nije prikazan na slici i predstavlja sveobuhvatnu bazu podataka koja sadrži informacije o svim pretplatnicima operatera mobilne mreže.



Slika 4. Struktura 4G mobilne mreže (preuzeto iz [36])

F. 4G (LTE –A) mobilna mreža

Long-Term Evolution Advanced (LTE-A) predstavlja nadogradnju predhodne verzije LTE 4G bežične mobilne mreže. LTE-A ima poboljšane karakteristike kao što su; agregacija nosioca, višestruki ulaz i više izlaza (MIMO), koordinisani prenos na više tačaka (Coordinated Multi-Point transmission and reception - CoMP), velike brzine podataka za uplink (75 Mbps) i downlink (100 Mbps). Navedena unapređenja naročito su došla do izražaja kod prenosa multimedijalnih aplikacija, kao što su video strimovanje, multimedijalne onlajn igre, Voice over IP (VoIP), „surfovanje“ na Internetu itd. Sve ovo je postignuto zahvaljujući uvođenju relejnih čvorova (F) za efikasno poboljšanje heterogene mreže (heterogeneous network - HetNets), Sl. 5. HetNets čini kombinacija velikih (makro) i malih (mikro i piko) BS koje pokrivaju određenu oblast signalom [37] - [39].



Slika 5. Izgled HetNets mreže i relejnih čvorova (preuzeto iz [40])

G. 5G mobilna mreža

5G arhitektura ide ka težnji da omogući podršku velikom broju inovativnih usluga kao što su: tehničke i poslovne inovacije u okviru automobilske industrije, zdravstvu, čime se postiže konkurentna prednost za industriju. Što se tiče samih korisnika to je bolja dostupnost, manji troškovi i viši kvalitet korisničkih usluga. Arhitektura 5G mreže, Sl. 6, treba da napravi razliku u odnosu na prethodne generacije mreža, uvodeći velike promene ne samo u radio interfejsu, već i iz perspektive fleksibilnog upravljanja mrežom. Konkretno, 5G će iskoristiti principe softverski definisanog umrežavanja (SDN), virtuelizacije mrežnih funkcija (NFV) i mobile edge computing-MEC (predstavlja prebacivanje „cloud computing“ od centra za skladištenje podataka do mreže) kako bi doprineli fleksibilnom upravljanju mreže [41], [42].

U sklopu arhitekture 5G funkcionalni blokovi su raspoređeni u tri grupe [43]. Prva grupa je u okviru kontrolne ravni i njihove funkcije su slične onima koje obavljaju blokovi u EPC:

- Core Access and Mobility Management Function (AMF) -Uspostavlja komunikaciju, proveru identiteta pristup i lokaciju UE. Nešto slično poput mobilnosti EPC-ovog MME.

- Session Management Function (SMF) - Upravlja UE sesijom, što podrazumeva dodelu IP adrese, dodeljivanje funkcije korisničke ravni, kontrolna QoS-a i kontrola

rutiranja korisničke ravni. Sinonim je EPC-ovog MME-a i radnjama koji se odnose na kontrolu EPC-ovog PGW-a.

- Funkcija kontrole politike (PCF) - Upravlja pravilima politike koje druge kontrolne ravni zatim primenjuju. Pandam je EPC-ovom PCRF-u.

- Upravljanje podacima (UDM) - Upravlja identitetom korisnika, odnosno generiše potvrdu za identitet UE. Zastupljen je deo funkcija EPC-ovog HSS-a.

- Server za autentifikaciju (AUSF) - Server za proveru identiteta UE. Kao i u prethodnom, zastupljen je deo funkcija EPC-ovog HSS-a.

Druga grupa takođe radi u kontrolnoj ravni, ali nema direktne pandane u EPC:

- Mrežna funkcija za skladištenje strukturiranih podataka (SDSF) - „pomoćni“ servis koji se koristi za skladištenje strukturiranih podataka. Može se implementirati pomoću „SQL baze podataka“ u sistemu zasnovanom na mikroservisima.

- Mrežna funkcija za skladištenje nestrukturiranih podataka (UDSF): „pomoćni“ servis koji se koristi za skladištenje nestrukturiranih podataka. Može se implementirati pomoću „Skladišta ključeva/vrednosti“ u sistemu zasnovanom na mikroservisima.

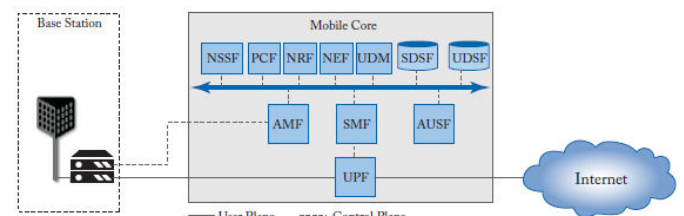
- Mrežna funkcija izloženosti (NEF) - mogućnost usluga trećih strana, uključujući prevod između internih i eksternih reprezentacija podataka. Može se implementirati pomoću „API servera“ u sistemu zasnovanom na mikroservisima.

- Funkcija NF spremišta (NRF) - Sredstva za otkrivanje dostupnih usluga. Može biti implementiran od strane „Usluga otkrivanja“ u sistemu zasnovanom na mikroservisima.

- Funkcija selektora mrežnog preseka (NSSF) – vrši izbor mrežnog preseka koji će opsluživati datog UE. Mrežni iseći zapravo predstavljaju način kako bi se razlikovala usluga koja se daje različitim UE. Ovo ujedno predstavlja i glavnu karakteristiku 5G.

Treća grupa uključuje jednu komponentu koja radi u korisničkoj ravni:

- Funkcija korisničke ravni (UPF): koordinira podacima između RAN i Interneta, što odgovara kombinaciji S/PGW u EPC. Osim prosleđivanja paketa, odgovoran je za primenu politike, izveštavanje o korišćenju komunikacija i nadzor QoS-a.



Slika 6. Struktura 5G mobilne mreže (preuzeto iz [43])

IV. ZAKLJUČAK

Generacije novih mobilnih komunikacionih mreža zahvaljujuću HetNets strukturi omogućavaju bolju pokrivenost signalom na osnovu dodatnog broja BS različitih

konfiguracija (mikri, piko). Takođe, dodatnim relay nodes poboljšavaju se performanse propusne moći UE na ivici ćelije. Zatim, za očekivati je ispunjenje zahteva potražnje pružanjem usluga na desetine Gbps u smislu brzina prenosa podataka, većeg opsega mobilnosti, niže latencije (lower latencies) i drugo [44]. Zahvaljujući 5G bežičnoj mreži, odnosno svojom arhitekturom da podeli fizičku mrežu na više logičkih mreža, zaživela je IoT tehnologija koja ima veliki odziv od strane korisnika [45]. Iskreno se nadamo da će i budući bežični mrežni sistemi pratiti potrebe korisnika i svoje strukture zasnivati u tim pravcima.

LITERATURA

- [1] F. Huang, T. Teo, J. C. Sánchez-Prieto, F. J. García-Peñalvo and S. Olmos-Migueláñez, "Cultural values and technology adoption: A model comparison with university teachers from China and Spain", *Comput. Educ.*, vol. 133, pp. 69-81, 2019.
- [2] A. E. Torkayesh and S. E. Torkayesh, "Evaluation of information and communication technology development in G7 countries: An integrated MCDM approach", *Technol. Soc.*, vol. 66, 2021.
- [3] S. C. Wang, W. S. Hsiung, K. Q. Yan, Y. T. Tsai, "Optimal agreement achievement in a fog computing based IoT," *Journal of Internet Technology*, vol. 20, no. 6, pp. 1767-1779, 2019.
- [4] C. Zhang, H. H. Cho, C. Y. Chen, T. K. Shih, H. C. Chao, "Fuzzy-based 3-D stream traffic lightweighting over mobile P2P network," *IEEE Systems Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 1840-1851, 2020.
- [5] W.-C. Chien, S.-Y. Huang, C.-F. Lai and H.-C. Chao, "Resource management in 5G mobile networks: Survey and challenges", *J. Inf. Process. Syst.*, vol. 16, no. 4, pp. 896-914, 2020.
- [6] T. Dunnewijk and S. Hultén, "A brief history of mobile communication in Europe", *Telematics Inform.*, vol. 24, no. 3, pp. 164-179, 2007.
- [7] J. Agar, *Constant Touch: A global history of the mobile phone*, Icon Books UK, Duxford, Cambridge, UK, 2013.
- [8] R. G. S. Rao and R. Sai, "5G - Introduction & Future of Mobile Broadband communication Redefined", *International Journal of Electronics Communication & Instrumentation Engineering Research and Development*, vol. 3, no. 4, pp. 119-124, 2013.
- [9] M. S. Pandey, M. Kumar, A. Panwar and I. Singh, "A survey: Wireless mobile technology generations with 5G", *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, Apr. 2013.
- [10] Y.-C. Hu, A. Perrig and D. B. Johnson, "Packet leases: A defense against wormhole attacks in wireless networks", *Proceedings of IEEE Infocom*, 2003.
- [11] A. R. Sivaraman, A. K. Sivaraman, M. Lakshmi, "Towards Mobile Computing Technology: The Vision of Fifth Generation Mobile Networks," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, International Conference on Innovations in Engineering and Technology (ICIET'14), vol. 3, no. 3, pp. 1613-1618, 2014.
- [12] W. Scharnhorst, L. M. Hilty & O. Jolliet. Life cycle assessment of second generation (2G) and third generation (3G) mobile phone networks. *Environment international*, 32(5), 656-675, 2006.
- [13] F. Hillebrand. *GSM and UMTS: the creation of global mobile communication*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.; 2002.
- [14] ETSI (European Telecommunications Standards Institute). *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS): general UMTS architecture*, Sophia Antipolis, 1999b.
- [15] D. Martín-Sacristán et al., "On the way towards fourth-generation mobile: 3GPP LTE and LTE-advanced", *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2009, Mar. 2009.
- [16] <https://whatsag.com/mobile-technology/the-history-of-4g.php>
- [17] J. A. del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo and G. Seco-Granados, "Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1G to 5G", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 20, no. 2, pp. 1124-1148, 2nd Quart. 2017.
- [18] T. Farley, "Mobile telephone history," *Elektronikk*, vol. 101, no. 3/4, p. 22, 2005.
- [19] F. Hillebrand, "The creation of standards for global mobile communication: GSM and UMTS standardization from 1982 to 2000," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 20, pp. 24-33, Oct. 2013.
- [20] J. D. Vriendt, P. Laine, C. Lerouge and X. Xu, "Mobile network evolution: A revolution on the move", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 4, pp. 104-111, Apr. 2002.
- [21] X. Li, A. Gani, R. Salleh and O. Zakaria, "The future of mobile wireless communication networks", *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Softw. Netw.*, pp. 554-557, 2009.
- [22] J. R. Churi, T. S. Surendran, S. A. Tigdi and S. Yewale, "Evolution of networks (2G-5G)", *Proc. Int. Conf. Adv. Commun. Comput. Technol.*, vol. 51, pp. 8-13, 2012.
- [23] S. Akhtar. *2G-5G networks: Evolution of technologies, standards, and deployment*. Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking, 522-532, 2009.
- [24] https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609798/objava_138999/fajlovi/GLAVA%205.pdf
- [25] H. Inamura, G. Montenegro, R. Ludwig, A. Gurtov, and F. Khafizov, "TCP over second (2.5G) and third (3G) generation wireless networks," RFC-3481, February 2003.
- [26] A. R. Mishra, *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5 G/3G... Evolution to 4G*, Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2004.
- [27] K. N. Babu & K. K. Vinaymurthi. *GSM-EDGE modulators for 2.5 G system, an efficient parallel implementation on FPGA*. In 2011 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), pp. 1-5, 2011.
- [28] <https://rsibda.com/kb/uplink-and-downlink-offset>
- [29] Y.S. Rao, Wing-Cheong Yeung and Anil Kripalani, "Third-Generation (3G) Radio Access Standards", *Communication Technology Proceedings 2000. WCC - ICCT 2000. International Conference on*, vol. 2, pp. 1017-1023, 21-25 Aug. 2000.
- [30] J. Korhonen. *Introduction to 3G mobile communications*, Artech House, 2003.
- [31] S. Uskela, "Key concepts for evolution towards beyond 3G networks", *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 10, pp. 43-48, Feb. 2003.
- [32] J. Agrawal, R. Patel, P. Mor, P. Dubey and J. M. Keller. *Evolution of Mobile Communication Network: from 1G to 4G*, the journal of IJMCR, vol. 3, pp. 1100-1103, Nov/Dec 2015.
- [33] S. Park, S. Kim, J. Oh, M. Noh and C. Im, "Threats and countermeasures on a 4G mobile network", *Proc. 8th Int. Conf. Innov. Mobile Internet Services Ubiquitous Comput. (IMIS)*, pp. 538-541, Jul. 2014.
- [34] G. Barb and M. Ottesteanu, "4G/5G: A comparative study and overview on what to expect from 5G", *Proc. 43rd Int. Conf. Telecommun. Signal Process.*, pp. 37-40, 2020.
- [35] R. K. Singh and R. Singh, "4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards", *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*, vol. 5, no. 12, pp. 1-6, 2016.
- [36] F. Capozzi, G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia and P. Camarda, "Downlink packet scheduling in LTE cellular networks: Key design issues and a survey", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 15, no. 2, pp. 678-700, 2nd Quart., 2013.
- [37] O. E. David & E. I. Okhueigbe, *Roadmap and Challenges to the Deployment of 4g Lte Network: The Nigerian Experience*. *American Journal of Networks and Communications*, 6(5), pp. 74-78, 2017.
- [38] T. K. Ramesh, "A survey on scheduling algorithm for downlink in LTE cellular network", *Second International Conference on Smart System and Inventive Technology*, pp. 219-223, 2019.

- [39] Yahaya, M. M., Y., Surajo, & A. H. Rawayau. An enhanced resource allocation scheme for Long term evolution advanced network. *FUDMA JOURNAL OF SCIENCES*, 7(3), pp. 7-12, 2023.
- [40] N.M. Elshennawy, "Modified Proportional Fair Scheduling Algorithm for Heterogeneous LTE-A Networks", *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, vol. 14, no. 10, pp. 22, Jun. 2020.
- [41] B. Blanco et al., "Technology pillars in the architecture of future 5G mobile networks: NFV MEC and SDN", *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 54, pp. 216-228, Nov. 2017.
- [42] W. Xiang, K. Zheng and X. Shen, *5G Mobile Communications*, Geneva, Switzerland:Springer, 2017.
- [43] L. Peterson and O. Sunay, "5G Mobile Networks: A Systems Approach", Springer International Publishing, 2020.
- [44] O. O. Erunkulu, A. M. Zungeru, C. K. Lebekwe, M. Mosalaosi and J. M. Chuma, "5G mobile communication applications: A survey and comparison of use cases", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 97251-97295, 2021.
- [45] S. Wijethilaka and M. Liyanage, "Survey on network slicing for Internet of Things realization in 5G networks", *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 23, no. 2, pp. 957-994, 2nd Quart., 2021.

ABSTRACT

The increase in user requirements when it comes to the transmission of various types of data via wireless network (voice, image, multimedia) initiates the upgrading and constant improvement of the network infrastructure. That is, time-sensitive applications (streaming multimedia, voice over IP and online games) require more serious support of mobile communication technology. Thus, the seriousness of wireless broadband technologies is reflected in the implementation of new mobile network systems. The paper presents a brief overview of the structure of generations of mobile communication networks, starting with the first generation (1G) and ending with the fifth (5G). A brief description of both the network architecture and the most significant advantages and disadvantages of previous and current generations of wireless network systems has been made.

DEVELOPMENT OF WIRELESS MOBILE TECHNOLOGIES

Dragan Rastovac, Božo Ilic