

5G – omrežje prihodnosti

Tomi Mlinar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

E-pošta: tomi.mlinar@fe.uni-lj.si

5G – future network

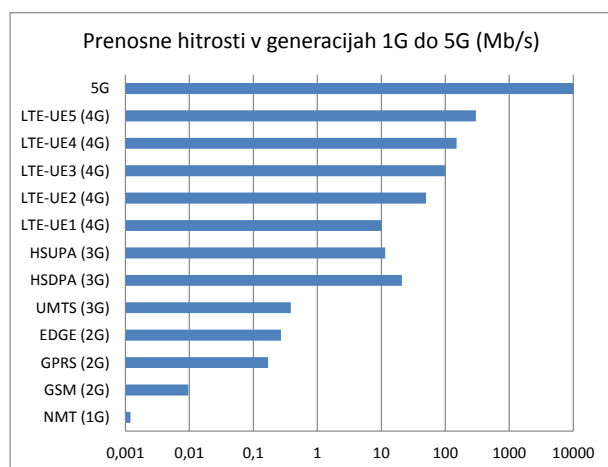
This paper describes next generation of mobile communications (5G). Expansion of 5G is expected after year 2020. Currently mobile operators around the globe are heavily involved in construction of fourth generation of mobile communications (4G). Description of 5G in this paper gives some predictions and goals of technological innovation and expected services after six years from today.

1 Uvod

Prispevek obravnava generacijo mobilnih komunikacij, katere razmah pričakujemo po letu 2020. Glede na to, da je trenutno v vzponu četrta generacija mobilnih komunikacij (4G), zajemajo opisi pete generacije (5G) le predvidevanja in cilje, kakšne tehnološke novosti naj bi vsebovala in katere storitve naj bi nudila čez dobrih šest let in več.

2 Generacije mobilnih komunikacij do danes

Začetki množičnih brezžičnih komunikacij za splošno uporabo so se začeli v začetku osemdesetih let prejšnjega stoletja, vendar s precej omejenimi geografskimi pokrivanji, največkrat omejenimi po posameznih državah ali celo samo delih držav. Prenosne hitrosti v vseh generacijah mobilnih komunikacij so zajete na sliki 1.



Slika 1. Prenosne hitrosti v mobilnih omrežjih

Med prvo generacijo štejemo več tehnologij, kot npr. NMT (Skandinavija, Slovenija ...), AMPS (ZDA) in druge. Ta generacija je bila še analogna, namenjena pa je bila skoraj izključno govornim komunikacijam, samo majhne skupine zanesenjakov so v poznejših letih uporabe izkoriščale možnost prenosa podatkov s hitrostjo 1.200 b/s (!).

Največji razmah so mobilne komunikacije doživele v devetdesetih letih, ko je enoten standard druge generacije (GSM) pomenil popolno prevlado Evrope na tem področju. Nadgradnji sistema s tehnologijo GPRS (ang. General Packet Radio System) ali EDGE (ang. Enhanced Data rate for Global Evolution) sta že omogočili prve korake v svet podatkovnih komunikacij. Prenosne hitrosti so dosegale do 270 kb/s, kar so bile za takratne čase zelo spodobne hitrosti.

Z novim tisočletjem se je začel tudi nagel razvoj tretje generacije (UMTS), ki je tehnološko že dodobra poenotil večji del sveta, pomembne razlike so bile več ali manj le v frekvenčnih območjih uporabe. Vendar ta generacija, ki je ves čas iskala neko 'ubijalsko' aplikacijo, katera bi pomenila njen razmah in pa obljube o visokih prenosnih hitrostih (384 kbit/s), niso pripeljale do pravega uspeha. Prvi pravi uspeh za tretjo generacijo mobilnih komunikacij je pomenil razvoj tehnologije HSPA (ang. High Speed Packet Access), ki smo jo razglasili za generacijo 3,5G. Ta je omogočil prenosne hitrosti nekaj megabitov na sekundo v obeh smereh (nesimetrično), kar je tretjo generacijo mobilnih komunikacij postavilo ob bok tehnologijam na bakrenih parih (xDSL), koaksialnemu kablu (DOCSIS) in celo optiki. Vse to se je dogajalo proti koncu prvega desetletja v novem tisočletju. Razvoj pa je ves čas tekkel nemoteno naprej. Konec leta 2008 smo dobili prvi standard, ki je že podrobno opisal novo tehnologijo LTE (ang. Long Term Evolution). Takrat smo to tehnologijo označevali kot 3,9G, torej še ne kot četrto generacijo.

Prava četrta generacija 4G naj bi bila zapisana šele v določilih *3GPP različica 10* (2010) in *različica 11* (2012), ki so jo poimenovali LTE-Advanced. V letu 2014 je predviden sprejem nove različice standarda (*3GPP različica 12*), ki pa z nekaterimi tehnološkimi novostmi že koraka v smeri pete generacije. Poleg vrste tehnoloških novosti, ki jih uporablja LTE, pa je pomembna novost tudi ta, da je tudi za prenos govora uporabljena paketna komutacija in nič več vodovna komutacija, ki je bila običajna v preteklih treh generacijah. Prenos govora sicer ni primarna storitev v omrežju LTE, je pa mogoč na enem od naslednjih treh načinov:

- VoLTE (ang. Voice over LTE), prenos govora v obliki IP),
- CSFB (ang. Circuit Switch Call Fall Back), prenos govorne zveze v povezanem omrežju 2G ali 3G) in
- dvojna pripravljenost (ang. Dual Standby), terminal je hkrati v stanju pripravljenosti na omrežju 2G/3G in 4G ter podpira hkratno uporabo storitev 2G/3G in 4G.

Peta generacija do zdaj še ni dobila komercialnega poimenovanja, označujemo jo le s kratico 5G.

Vse generacije mobilnih komunikacij in njihove lastnosti so prikazane na sliki 2 [1].

Generacija	Naprave	Lastnosti
1G		1G: - Leto 1981 - Standard: NMT, AMPS, TACS - Tehnologija: analogna - Pasovna širina: / - Prenosna hitrost: /
2G		2G: - Leto 1991 - Standard: GSM, GPRS, EDGE - Tehnologija: digitalna - Pasovna širina: ozkopasoven sistem - Prenosna hitrost: do 80–100 kb/s
3G		3G: - Leto 2001 - Standard: UMTS, HSPA - Tehnologija: digitalna - Pasovna širina: širokopasoven sistem - Prenosne hitrosti: do 2 Mb/s
4G		4G: - Leto 2010 - Standard: LTE, LTE Advanced - Tehnologija: digitalna - Pasovna širina: mobilni širokopasoven sistem - Prenosne hitrosti: uporabniška izkušnja podobna kot pri xDSL
5G		5G: - Leto 2020–2030 - Standard: / - Tehnologija: digitalna - Pasovna širina: vedno povezan - Prenosne hitrosti: uporabniška izkušnja podobna kot pri optiki

Ljudje

Ljudje & naprave

Slika 2. Generacije mobilnih komunikacij od 1G do 5G

3 Omrežje naslednje generacije

O omrežjih naslednje generacije na splošno (ang. Next Generation Networks, NGN) so bila napisana prva priporočila že leta 2001 (*Priporočilo ITU-T Y.2001*). Ta omrežja naj bi bila paketna, poleg ostalega bi zagotavljala telekomunikacijske storitve, omogočala uporabo različnih širokopasovnih tehnologij, podpirala spremenljivo kakovost storitve (QoS), storitve pa bi bile neodvisne od transportnih tehnologij.

Leta 2009 je Mednarodna telekomunikacijska zveza ITU ustanovila posebno študijsko skupino FG–FN (ang. Focus Group on Future Networks), ki se je začela ukvarjati z omrežji prihodnosti. Skupina se je dogovorila, da se omrežja prihodnosti umestijo v obdobje od leta 2015 do 2020. Tako imajo vsi deležniki (raziskovalci, proizvajalci in operaterji) dovolj časa za

vse pripravljalne aktivnosti. Zasnova omrežij prihodnosti, ki bi komercialno začela delovati po letu 2020, pa naj bi zadovoljila potrebe vsaj do leta 2050.

Trenutno je v državah po svetu v porastu izgradnja omrežij četrte generacije mobilnih komunikacij (4G). Prenosne hitrosti so lahko teoretično v teh omrežjih tudi več kot 100 Mbit/s (z uporabo novejših tehnik, kot je npr. MIMO), praktične hitrosti na uporabnika pa dosegajo nekaj deset megabitov na sekundo (nesimetrično).

Informacijsko in komunikacijsko bolj razvite države, kot na primer Južna Koreja in Japonska, že zdaj pospešeno vlagajo v naslednjo generacijo (5G). Južna Koreja je v zadnjem obdobju namenila peti generaciji mobilnih komunikacij milijardo in pol dolarjev [2]. Omrežje naj bi bilo za komercialno uporabo razvito do leta 2020, prvo testno omrežje pa bo predvidoma v uporabi že leta 2017. Evropska komisija je namenila razvoju pete generacije 50 milijonov evrov, še veliko več pa razvoju nadgradenj četrte generacije, ki bodo uporabne tudi v naslednji generaciji.

Pomembna lastnost omrežja 5G je ta [3], da bo poleg pričakovanih večjih prenosnih hitrostih (vsaj 10 Gb/s) na radijskem delu omrežja zajel vsa frekvenčna območja, ki jih zdaj uporabljajo trenutne ali starejše generacije in tako povezal vse storitve v eno omrežje pete generacije. Z vidika uporabnosti in varnosti bo moralo omrežje 5G delovati kot skupek vseh predhodnih omrežij in frekvenčnih območij oziroma kot eno inteligentno omrežje. V takem omrežju bo centralna omrežna inteligenca uporabnika vedno priklopila na optimalno tehnologijo in optimalen frekvenčni pas. Velja pravilo, da morajo biti razvojni dosežki novih generacij uporabni tudi za predhodne generacije.

Konec leta 2013 je Evropska komisija ustanovila združenje, ki ga je poimenovala Javno zasebno partnerstvo 5G (ang. 5G Public Private Partnership) [4]. To združenje naj bi razvilo potrebno tehnologijo in infrastrukturo za omrežje 5G. Člani združenja so različne raziskovalne institucije ter podjetja iz sektorja telekomunikacij in informacijske tehnologije. Po načrtih Evropske komisije naj bi ta do leta 2020 investirala v razvoj pete generacije 700 milijonov evrov.

Faze razvoja 5G PPP naj bi si po letih sledile takole:
 2012–2014 – začetna faza (projekt METIS),
 2014–2016 – faza I (osnovno raziskovalno delo, postavljanje vizije),
 2016–2018 – faza II (optimizacija sistema, pred standardi),
 2018–2020 – faza III (obsežnejša testiranja, prvi standardi).

Začetna faza partnerskega razvoja pete generacije je projekt METIS (ang. Mobile and Wireless Communication Enablers for Twenty-twenty Information Society) [5], katerega namen je postaviti temelje za peto generacijo. Njegov proračun je preko 27 milijonov evrov. Konzorcij sestavlja 29 partnerjev, proizvajalcev telekomunikacijske opreme, operaterjev omrežij, avtomobilska industrija in znanstvene

institucije. Nekateri projekti razvoja posameznih segmentov mobilnih omrežij naslednje generacije, ki že tečejo in so večinoma podprti z denarjem Evropske komisije v okviru Sedmega okvirnega programa, so: 5G NOW (Non-orthogonal Waveforms for asynchronous signalling), iJOIN (cilj je povezati majhne celice omrežij prihodnosti s t. i. omrežjem v oblaku), TROPIC (projekt želi povezati majhne femto ali domače celice in računalništvo v oblaku v eno omrežje), COMBO (Convergence of fixed and Mobile Broadband access/aggregation networks), MOTO (Mobile Opportunistic Traffic Offloading Projekt), PHYLAWS (PHYsical LAyer Wireless Security) in drugi.

4 Peta generacija mobilnih komunikacij

Da bodo omrežja pete generacije res izkoristila nadgradnje prejšnjih generacij in zadnje razvojne dosežke, morajo biti izpolnjeni pogoji, ki so opisani v nadaljevanju [6, 7]. Pomemben preskok iz četrte v peto generacijo mobilnih komunikacij pa je v načinu dožemanja in uporabe novosti. Visoka prenosna hitrost (10 Gb/s in več) je v 5G sama po sebi umevna, bolj pomembno postaja, kako izkoristiti tehnološke prednosti novega omrežja, da bo zadovoljilo vse nove družbene in gospodarske potrebe. V novjšem *poročilu ITU-T Y.3001* [8] so opisani cilji in usmeritve omrežij prihodnosti. Štirje ključni segmenti, ki opisujejo omrežja prihodnosti, so storitve, podatki, okolje ter socialna dejavnost in gospodarstvo.

V nadaljevanju so opisana pomembnejša razvojna področja, ki naj bi pomembno vplivala na uspeh pete generacije mobilnih komunikacij.

4.1 Širokopasovna povezava med dvema točkama, ki dosega ali presega pričakovanja uporabnikov

V omrežju naslednje generacije ni cilj le večja hitrost dostopa, pač pa boljša uporabniška izkušnja, kjer ni območij brez pokrivanja ali pa so prenosne hitrosti nizke, kjer ni izpadov zvez, kakovost zvoka je boljša (kot pogovor v živo) in podobno.

Za premostitev 'lukenj' naj bi pomagale majhne celice ali heterogeno omrežje, zakasnitve naj bi se približale vrednosti nič milisekund.

Prilagodljivo omrežje mora zagotoviti odpravo lokalnih zasičenj v omrežju, na splošno pa mora biti omrežje vseprisotno (na prostem, v velikih dvoranah, v tunelih itd.) in odporno proti vremenskim vplivom, izpadom električne energije in podobno.

4.2 Dinamično dodeljevanje virov

Pričakuje se uporaba kombinacije več frekvenčnih območij v enem sistemu, saj je zdajšnje fiksno razdeljevanje frekvenčnega prostora za različne segmente uporabe zelo neekonomično in neučinkovito. Tako pa bo vsak segment omrežja (dostop, hrbtenica itd.) dobil frekvenčno območje in pas po trenutni potrebi in vsaka aplikacija frekvenčno območje in širino pasu po potrebi.

Korak naprej pri dodeljevanju radijskih virov je lahko vnaprejšnje predvidevanje po zahtevanih virih.

4.3 Uporabniku prilagojena uporabniška izkušnja

Uporabnik naj bi dobil zelo dobro podporo za različne aplikacije, predvsem tako, da si bo sistem zapomnil uporabniške preference in vzorce uporabe.

QoS se bo prilagajala aplikaciji (na primer, če bo uporabnik želel vzpostaviti video zvezo, mu bo operater ponudil ustrezen podatkovni paket in omrežje v okolici se bo samodejno prilagodilo na zahteve).

4.4 Ad-hoc mobilna omrežja

Taka omrežja delujejo brez strukture in imajo lastnost samostojnega organiziranja. Brezžična vozlišča komunicirajo med seboj z večkratnim podaljševanjem zveze, ne da bi komunikacija tekla preko centralne dostopne točke ali bazne postaje. Če bo nek terminal zunaj dosega omrežja, bo vzpostavil zvezo z najbližjim terminalom, ki bo v omrežju, in bo deloval kot repetitor in/ali pametna antena. Ta princip se uporablja v vojaške namene in v primeru nesreč, komercialno pa še ne.

4.5 Internet stvari

Gre za komunikacijo med napravami (M2M). Lahko je komunikacija preko RFID, ki je povezana z unikatnim naslovom IP. Naprave z naslovom IP lahko komunicirajo med seboj brez posredovanja ali vedenja človeka. Na primer, zdravstveno osebje bo lahko ves čas nadziralo delovanje naprav, ki jih bodo imeli bolniki (npr. srčni spodbujevalnik), ali pa se bo pri vožnji z avtomobilom domov 20 minut pred prihodom vklopilo hišno gretje.

4.6 Uporaba frekvenčnih območij centimetrskih in milimetrskih valovnih dolžin

Trenutno se operaterji potegujejo za frekvenčna območja pod 3 GHz, ki so že zelo zasedena, prav tako pa so na voljo le relativno ozki frekvenčni pasovi. Prihaja čas uporabe višjih frekvenčnih območij (30 GHz, 60 GHz, 100 GHz). Ta območja imajo širine kanalov nekaj gigahertzov in so idealna za širokopasovne komunikacije kratkega dosega.

4.7 Pametni in učinkoviti sprejemniki

Sprejemniki v mobilnih napravah so v zadnjem času naredili velik napredek, še veliko pa bo treba narediti na področju čim nižje porabe energije (baterij). Tu se računa tudi na inteligenco terminalov, ki se bodo ves čas zavedali svoje okolice in bodo namesto z oddaljeno bazno postajo komunicirali kar preko bližnjega mobilnega terminala, ki bo med uporabnikom in bazno postajo.

Zadnji dosežki tehnike, ki so standardizirani od leta 2012 (3GPP Rel.11) in so trenutno v uporabi v četrto generaciji mobilnih komunikacij, bodo najverjetneje v uporabi tudi v naslednji generaciji. Nekateri od njih so naštet v nadaljevanju:

- tehnika usklajenega večtočkovnega delovanja oddaje in sprejema CoMP (ang. Coordinated Multi-Point operation);
- izboljššan nadzorni kanal fizične povezave navzdol ePDCC (ang. Enhanced Physical Downlink Control Channel);

- izboljšana tehnika za koordinacijo medceličnih motenj eICIC (ang. Enhanced Inter-cell interference coordination);
- združevanje nosilnikov CA (ang. Carrier Aggregation);
- tehnika uporabe več oddajnih in več sprejemnih anten MIMO (ang. Multiple In Multiple Out)
- in drugi.

5 Sklep

Ob omrežju pete generacije mobilnih komunikacij, ki je predvideno po letu 2020, danes še nimamo oprijemljivih standardov. Predvideva pa se, da bo omrežje 5G vključevalo zadnje dosežke tehnike, ki jih že ali pa jih še bodo uporabljale aktualne generacije mobilnih in fiksnih komunikacij. Teoretična prenosna hitrost se bo precej povečala (10 Gb/s in več), pomembno pa bo obvladovanje velike količine priključenih naprav (nekaj deset milijard) in velike količine podatkov (big data). V omrežjih 5G pa se predvideva sodelovanje vseh ravni omrežja, dinamično dodeljevanje virov (frekvenčnih območij in pasovnih širin), direktno komunikacijo, samoorganizacijo omrežja, predvsem pa inteligenten pristop omrežja do uporabnika, z dobrim poznavanjem njegovega obnašanja, navad, potreb ...

Slovenska industrija IKT, operaterji, strokovna združenja, univerze in inštituti imajo veliko priložnost, da s sodelovanjem v delovnih telesih raznih mednarodnih organizacij (npr. ITU), v evropskem združenju 5G PPP, v že prej omenjenih raziskovalnih projektih (glej 3. poglavje) ali nekaterih novih, sodelujejo pri razvoju omrežij prihodnosti. To je izjemnega pomena za ohranitev visoke ravni razvitosti slovenskega sektorja IKT, prenosa znanja v vse smeri, pravočasne izrabe prednosti, ki jih prinašajo omrežja prihodnosti in nenazadnje za pripravo dobre strategije razvoja informacijsko-komunikacijskega sektorja v državi. K slednjemu morajo dodati svoj košček strokovnjaki te stroke, če ne neposredno, pa preko že prej omenjenih institucij.

Literatura

- [1] Digitalna Agenda: <https://ec.europa.eu/digital-agenda>
- [2] D. Gross, South Korea spending \$1.5 billion for '5G' network, CNN, January 2014.
- [3] U. Ewaldsson, 5G is about integrated wireless technologies, not just speeds, Mobile Europe, September 2013, D. Gross, South Korea spending \$1.5 billion for '5G' network, CNN, January 2014.
- [4] 5G PPP Factsheet: http://ec.europa.eu/research/press/2013/pdf/ppp/5g_factsheet.pdf.
- [5] Projekt METIS 2020: <http://www.metis2020.com>.
- [6] T. Mlinar, Omrežja pete generacije mobilnih komunikacij, 30. delavnica o telekomunikacijah VITEL, zbornik referatov, str. 53–57, Brdo pri Kranju, maj 2014.
- [7] T. Mlinar, Širokopasovne telekomunikacije, Življenje in tehnika, str. 30–37, junij 2014.
- [8] ITU-T, Recommendation ITU-T Y.3001, Future networks: Objectives and design goals, 05/2011

Kratice in izrazi

3GPP (Third Generation Partnership Project) – Združenje, ki skrbi za pripravo tehničnih podlag za standarde tretje in četrte generacije mobilnih komunikacij.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) – Tehnologija, ki omogoča hiter prenos podatkov prek bakrenih parov (klasično telefonsko omrežje). Uporabna je za razdalje do nekaj kilometrov od centrale. Hitrost prenosa k uporabniku je večja kot v obratni smeri.

DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) – Standard, ki omogoča prenos hitrega interneta po kabelskih omrežjih.

EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) – Nadgradnja sistema GSM, ki je omogočila prenosne hitrosti do 270 kb/s.

GPRS (General Packet Radio System) – Nadgradnja sistema GSM, ki je omogočila prenosne hitrosti do 115 kb/s. Gre za paketni način prenosa informacij.

GSM (Global System for Mobile Communications) – Sistem mobilnih komunikacij druge generacije (2G). Je prva generacija digitalnih komunikacij. V osnovi še vedno namenjen govornim komunikacijam.

HSDPA (High Speed Downlink Access) – Hiter prenos podatkov v smeri proti uporabniku. Običajno dvakrat hitreje kot v obratni smeri.

HSUPA (High Speed Uplink Access) – Hiter prenos podatkov v smeri od uporabnika.

IP (Internet Protocol) – Internetni protokol, ki postaja najpogostejši protokol za komunikacijo med napravami.

LTE (Long Term Evolution) – Drugo ime za četrto generacijo (4G) mobilnih komunikacij.

MIMO (Multiple In Multiple Out) – Tehnika, kjer pri oddaji in sprejemu uporabljamo več anten. Na ta način povečamo prenosno hitrost. Število anten na oddaji in na sprejemu je lahko različno, povečanje hitrosti pa je sorazmerno najmanjšemu številu. Če imamo na oddaji npr. štiri antene in na sprejemu dve, označimo to s 4 x 2 MIMO. Dobitek je dvakraten.

NMT (Nordic Mobile Telephony) – Eden od analognih mobilnih sistemov prve generacije, ki smo ga uporabljali tudi v Sloveniji.

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) – Sistem mobilnih komunikacij tretje generacije (3G).

VDSL (Very high bit rate Digital Subscriber Line) – Tehnologija, ki omogoča še malo hitrejši prenos podatkov prek bakrenih parov, kot ADSL. Prenosne hitrosti proti uporabniku so do 52 Mbit/s, od uporabnika pa do 16 Mbit/s.