

Mobilna omrežja

Zdenek Becvar, Pavel Mach, Ivan Pravda

Avtorji: Zdenek Becvar, Pavel Mach, Ivan Pravda
Naslov: Mobilna omrežja
Prevedel: Žarko Čučej
Izdan: České vysoké učení technické v Praze
Preveden: Fakulta elektrotechnická
Kontakt: Technická 2, Praha 6, Czech Republic
Telefonska številka: +420 2 2435 2084
Print: (only electronic form)
Število strani: 95
Izdaja: 1. izdaja

ISBN 978-80-01-05308-9

Recenzent: Andrej Knuplež

Innovative Methodology for Promising VET Areas
<http://improvet.cvut.cz>



**Program
Vseživljenjsko
učenje**

Izvedba tega projekta je financirana s strani Evropske komisije.
Vsebina publikacije (komunikacije) je izključno odgovornost avtorja in v nobenem primeru ne predstavlja stališč Evropske komisije.

RAZLAGA



Definicija



Zanimivo



Zapisek



Primer



Povzetek



Prednosti



Slabosti

PRIPOMBA

Modul vsebuje informacije o osnovnih principih mobilnih omrežij različnih generacij. Nadalje vsebuje opise karakteristik različnih tehnik oziroma tehnologij, ki se uporabljajo v mobilnih omrežjih (GSM, CSD, HCS, GPRS, EDGE, UMTS, LTE-(A), HSPA, HSUPA itd).

CILJI

V modulu je razlaga mobilnih omrežij druge generacije GSM, to je digitalnih celičnih sistemov. Študentom so na voljo jasne razlage principov mobilnih omrežij, posebnosti funkcij organizacije celičnih omrežij in posebnosti delovanja njenih posameznih delov.

LITERATURA

- [1] M. Sauter, "From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband" Wiley, 2011.
- [2] H. Holma, A. Toskala, "LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced," Second edition, Wiley, 2011.
- [3] G. Heine, H. Sagkob, „GPRS: Gateway to Third Generation Mobile Networks“, ISBN: 1-58053-159-8, 2003.
- [4] T. Halonen, J. Romero, J. Melero, „GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS“, ISBN: 0-470-86694-2, 2004.
- [5] H. Holma, A. Toskala, „WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, third edition, ISBN: 978-0-470-87096-9, 2006.
- [6] H. Holma, A. Toskala, „HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communication“ ISBN: 978-0-470-01884-2, 2006.
- [7] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband," Academic Press, 2011.
- [8] METTALA, Riku. Bluetooth Protocol Architecture, Version 1.0. White Paper, 1999.
- [9] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Profiles, Volume 2, February 2001.
- [10] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.0 + EDR, Volume 0 – 3, November 2004.

- [11] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connection Made Easy, Core Package version 2.1 + EDR, Volume 0 – 4, July 2007.
- [12] Specification of the Bluetooth System: Wireless Connections Made Easy, Core Package version 3.0 + HS, Volume 0, April 2009
- [13] Specification of the Bluetooth System: Experience More, Core Package version 4.0, Volume 0, June 2010
- [14] Global Positioning System Standard Positioning Service: Performance Standard, 4th edition, September 2008
- [15] Global Positioning System Standard Positioning Service: Signal Specification, 2nd edition, June 1995
- [16] Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces: Interface Specifications, Revision D, December 2004
- [17] Galileo Open Service: Signal In Space Interface Control Document, Draft 0, May 2006
- [18] S. Steiniger, M. Neun, A. Edwardes, "Foundations of Location Based Services", University of Zurich.
- [19] ROYER, Elizabeth. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. 1999.
- [20] GAST, Matthew. *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*. 1st edition, 2002. 464s. ISBN 0-596-00183-5.
- [21] BESTAK, R. - PRAVDA, I. - VODRAZKA, J.: *Principle of Telecommunication Systems and Networks*. 1. ed. Prague: *Ceska technika - nakladatelstvi CVUT*, 2007. 134 p. ISBN 978-80-01-03612-9.
- [22] JANSEN H., RÖTTER H. and coll.: *Informationstechnik und Telekommunikationstechnik (Lernmaterialien)*, Europa-Lehrmittel, Haan 2003. ISBN 3-8085-3623-3.

Vsebina

1	Uvod.....	8
1.1	Radijske prenosne poti	8
1.2	Osnovna razvrstitev radijskih virov	10
1.3	Pregled tehnik in tehnologij	11
2	Mobilna telekomunikacijska omrežja	13
2.1	Uvod	13
2.2	Celična mobilna omrežja	15
2.3	Princip delitve na sektorje	17
2.4	Tehnike dostopa do prenosa	18
2.5	Izročanje povezave pri prehajanju med celicami	20
3	GSM mobilan omrežja: mobilna omrežja druge generacije.....	23
3.1	Osnove GSM sistema	23
3.2	Sistem GSM in njegovi standardi.....	24
3.3	Arhitektura GSM omrežij.....	25
3.4	Storitve & aplikacije.....	27
3.5	Zgradba in funkcije mobilnih postaj (MS)	28
3.6	Mobilni terminal in njegova povezava z bazno postajo	29
3.7	Prenos podatkov v GSM omrežjih in 2,5 generacija mobilnih omrežij	30
3.8	Prenos podatkov CSD v omrežjih GSM.....	32
3.9	HSCSD prenos podatkov v omrežjih GSM.....	33
3.10	GPRS prenos podatkov v omrežjih GSM.....	35
3.11	EDGE prenos podatkov v omrežjih GSM.....	37
4	Univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem (UMTS)	39
4.1	Uvod	39
4.2	Alokacija frekvenc za UMTS.....	40
4.3	WCDMA	41
4.4	Standardizacija in evolucija UMTS	42
4.5	Arhitektura omrežja.....	43
4.6	HSDPA	45
4.7	HSUPA	50
4.8	Storitve in diferencirana kakovost storitev	52
5	Evolucija LTE-A	54
5.1	Uvod	54
5.2	Arhitektura omrežja.....	56

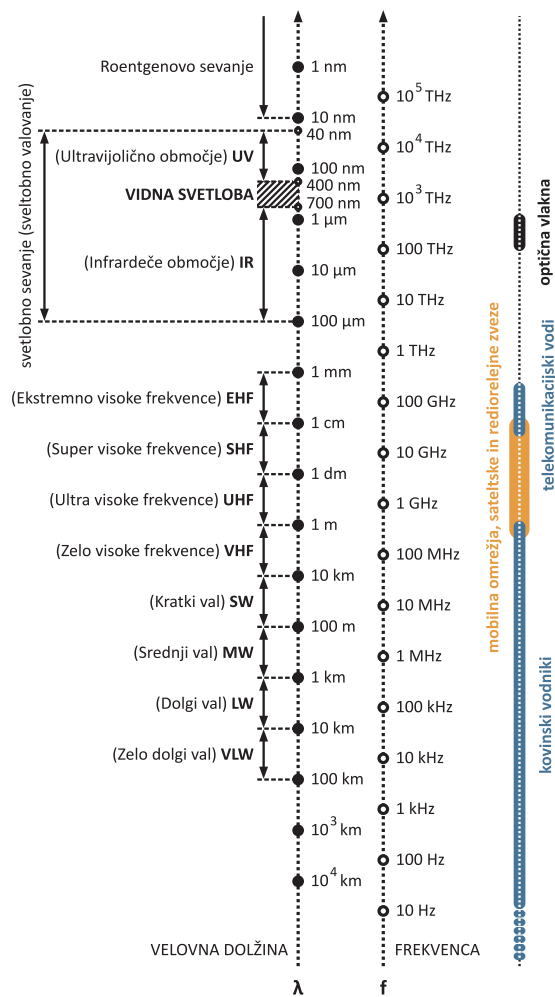
5.3	Fizična plast pri LTE/LTE-A	58
5.4	Oblikovanje antenskega snopa	62
5.5	Oddajanje z več antenami.....	63
5.6	Združevanje nosilnikov	64
5.7	Storitve in aplikacije v LTE/LTE-A.....	66
5.8	Femto celice	68
5.9	Relejske naprave.....	70
6	Ad hoc omrežja.....	72
6.1	Ad hoc omrežja	72
6.2	Protokoli MAC	75
6.3	Usmerjevalni protokoli.....	76
6.4	Varnost	78
6.5	Tehnologije ad hoc omrežij	79
6.6	Brezžična senzorska omrežja	82
6.7	Zankasta omrežja.....	83
7	Večtočkovni razdelilni sistemi.....	85
7.1	Krajevni večtočkovni razdelilni sistemi (LMDS)	85
7.2	Večkanalni večtočkovni razdelilni sistem	87
8	Storitve vezane na lokacijo	89
8.1	Storitve vezane na lokacijo.....	89
8.2	Satelitski pozicijski sistem	90
8.3	Lokalizacija z mobilnim omrežjem	94
9	Trendi v mobilnih komunikacijah	95

1 Uvod

1.1 Radijske prenosne poti

Elektromagnetno valovanje, ki se pri določenih frekvenca lahko učinkovito širi skozi prazen prostor, lahko uporabimo za radijski prenos. Primerna skupina elektromagnetnega valovanja imenujemo radijski valovi. Radijske valove lahko razdelimo na osnovi njihove uporabe v različne kategorije (glej spodnji seznam in sliko):

- Radijski pas (frekvenčni pas med nekaj sto kHz do nekaj deset MHz) – *dolgi val (LW: Long Waves), srednji val (MW: Medium Waves), kratki val (SW: Short waves), ultra kratki val (UKV) oziroma zelo visoke frekvence (VHF: Very High Frequency)*
- TV pas (frekvenčni pas med nekaj 10 MHz do nekaj sto MHz)
- Mobilna omrežja and Mikrovalovni pas (frekvenčni pas v razredu enega GHz)
- Satelitske povezave, Radijske relejne povezave and Širokopasovna brezžična dostopovna omrežja (frekvenčni pas do nekaj deset GHz)



Frekvenčni pasovi, ki jih uporabljamo v radijskih pasovih



Radijski sistem je lahko dopolnilo fiksnim oziroma žično dostopnim virom, posebej, ko je to lažje narediti, pri ponudbi širokega portfelja storitev.



Največjo ekonomsko korist radijskih sistemov se doseže predvsem v težko dostopnih in redko naseljeni področjih, kjer je gradnja kabelskih omrežij zelo draga. Brežžično omrežje ponuja veliko prilagodljivost. Lahko ga na primer uporabimo tudi za začasno povezavo z omrežno infrastrukturo, če jo stranka zahteva takoj (na primer za koncerte, razna srečanja itd.)

1.2 Osnovna razvrstitev radijskih virov



Radijske vire lahko razvrstimo na različne načine. Na primer glede na:

- frekvenčni pas – ozkopasovni radijski sistemi in širokopasovni radijski sistemi
 - smer prenosa – enosmerni radijski sistemi in dvosmerni radijski sistemi
 - konfiguracija radijskih sistemov – točka-točka in točka-več točk
 - mobilnost naročnika – fiksne brezžične lokalne zanke ali mobilni terminali
 - uporaba prenosnih virov – zemeljske povezave ali satelitske povezave
 - plačljivi frekvenčni pasovi (pasovi s koncesijo) vs. pasovi brez koncesije (zelo pomembno pri načrtovanju in kreiranju brezžičnih omrežij)
-



Glede na ponujene storitve, lahko radijske vire in omrežja razdelimo na govorna, podatkovna itd.



Drugi način razvrstitve radijskih virov so glede na:

- frekvenčni pas
- vrsta modulacije in kodiranja
- način delitve pasovne širine (**FDM**: *Frequency Division Multiplex*) and **TDM** (*Time Division Multiplex*))
- Dostop do porazdeljenih virov (**FDMA**: *Frequency Division Multiple Access*, **TDMA**: *Time Division Multiple Access*, **CDMA**: *Code Division Multiple Access*) in **OFDMA**: *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

Nenazadnje, radijske vire lahko delimo tudi na javna in zasebna itd.

1.3 Pregled tehnik in tehnologij

Radijske komunikacijske tehnike lahko razdelimo na pet področij glede njihovega namena, uporabe in tehnik, ki jih omogočajo. Kratek opis in analiza so v naslednjih odstavkih.

V prvo področje radijskih komunikacijskih tehnologij lahko prištevamo analogne in digitalne brezžične sisteme, ki dopolnjujejo in v nekaterih primerih povsem nadomeščajo tradicionalne telefone. Sem nedvomno spade brezžični telefon **CT**: *Cordless Telephone*), ki obstaja v različicah CT0, CT1, CT2 in sistem **DECT** (*Digital European Cordless Telephone*). Cilj razvoja teh sistemov je bil omogočiti uporabniku mobilnost znotraj manjšega prostora, na primer pisarne, stanovanja in podobno. Zato je za te sisteme značilen ozkopasovni prenosni/dostopovni sistem, ki omogoči mobilnost (na omejenem prostoru) sicer fiksnim telefonskim priključko. Zato te sisteme označujemo označujemo fiksna brezžična telefonska omrežja. Zanje pogosto uporabljamo kratico **WLL** (*Wireless Local Loop*)..

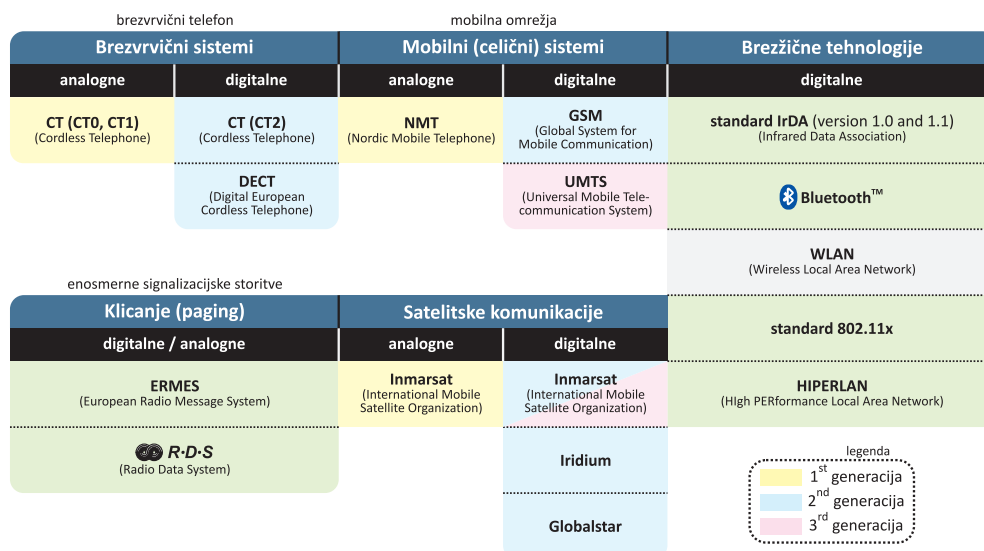
Drugo področje zajema analogne in digitalne celične radijske sisteme, s katerimi je zgrajena infrastruktura mobilnih radijskih omrežij. Primeri teh omrežij so prva generacija (ta je uporabljala analogno radijsko tehniko). Kot primer lahko nevedemo mobilni sistem prve generacije, imenovan **NMT** (*Nordic Mobile Telephone*), kateremu je sledil mobilni sistem druge generacije (digitalni), imenovan **GSM** (*Global System for Mobile Communication*). Mobilni sistem tretje generacije je znan kot **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*) in zadnji, mobilni sistem četrte generacije, pod imenom **LTE-A** (*Long Term Evolution-Advance*). Naštete tehnologije bodo podrobneje predstavljene v kasnejših poglavjih.

Tretje področje je integracija brezžičnih tehnologij, ki se uporabljajo v osebnih (**PAN**: *Personal Area Network*), lokalnih (**LAN**: *Local Area Network*), mestnih (**MAN**: *Metropolitan Area Network*) in razprostranjenih (**WAN**: *Wide Area Network*). PAN vključuje tudi standarda **IrDA** (*Infrared Data Association*) verzij 1.0 in 1.1 in Bluetooth™ tehnologijo, ki je trenutno v zelo dinamičnem nadaljnjem razvoju. Pregled bomo zaokrožili s pregledom tehnologij **WLAN** (*Wireless Local Area Network*) na osnovi standardov 802.11x in **HIPERLAN** (*High Performance Local Area Network*), ki je evropska alternativa standardu IEEE 802.11.

Četrto področje je lahko kombinacija s tehniko paging. Izraz opisuje enosmerni radijski sistem za osebno klicanje. Opis radijskega osebne sistema vključuje evropski sistem **ERMES** (*European Radio Message System*) ali globalni sistem **RDS** (*Radio Data System*)

Zadnje, peto področje zajema nekoliko specifično področje radijskih sistemov, to so satelitske komunikacije. To ni sistem dostopa v pravem pomenu besede, saj njegovo področje vključuje velik del zemeljske površine. Poleg medcelinskih povezav so satelitske komunikacije posebej pomembne pri povezavi morskega in letalskega prometa ter pri povezavi nedostopnih, redko poseljenih območij. Kot predstavnike tega področja radijskih analognih in digitalnih sistemov omenimo **INMARSAT** (*International Mobile Satellite Organization*), **Iridium** ali **Globalstar**.

Sistemi satelitske navigacije je komplementarno področje k našemu pregledu. Med temi sistemi so ameriški **GPS** (*Global Positioning System*), evropski **Galileo** (ki je še v nastajanju) in ruski sistem **GLONASS**. Za skupno ime teh sistemov se pogosto uporablja kratica **GNSS** (*Global Navigation Satellite System*). Grafični prikaz omenjenih pofročij vidimo na sliki 2.



Pregled tehnologij v mobilnih komunikacijah

Poleg omenjenih področij bomo v naslednjih poglavjih podrobno opisali digitalni celični sistem.

2 Mobilna telekomunikacijska omrežja

2.1 Uvod

Mobilna omrežja podobno kot fiksna uporabljamo za prenos govora in podatkov. Poleg radijskega dela, mobilno omrežje vključuje tudi fiksno (žično ali radijsko) infrastrukturo oziroma jedrno omrežje, ki zagotavlja storitve vseh vrst. Vsaka nova generacija mobilnih omrežij ima večjo zmogljivost, da lahko zadosti stalno naraščajočim zahtevam uporabnikov. Digitalna tehnika prenosa je danes in v bližnji ter daljni prihodnosti edina alternativa mobilnih omrežij.



GSM je digitalni mobilni sistem druge generacije. Njegova glavna značilnost je digitalni celični mobilni telefonski sistem.



Tretja, že zelo razširjena generacija mobilnih sistemov je UMTS. Ta digitalni sistem deluje v 2 GHz frekvenčnem pasu. Integrira različne brezžične tehnike dostopa, ki se danes masivno uporabljajo. Ponuja široko izbor multimedijskih storitev z zajemeno kakovostjo.

Četrto generacijo mobilnih sistemov označujemo z LTE-A. Osredotoča se na nadaljnje večanje zahtev uporabnikov po zmogljivosti in malim zakasnitvam pri različnih storitvah. Med tem ko je četrta generacija v Severni ameriki že zelo razširjena, se v Evropi šele počasi uvaja.

Generacije mobilnih sistemov

Generacija	Ime/kratica	značilnost
1. generacija (1980 do 1995)	NMT (<i>Nordic Mobile Telephone</i>); FIN, S, N, DK (uporabljali smo ga tudi v Sloveniji) AMPS (<i>Advanced Mobile Telephone System</i>); ZDA TACS (<i>Total Access Communication System</i>); UK, IRL RADIOCOM 2000; FR	analogni sistem nacionalni sistem govor
2. generacija (od 1992 dalje)	GSM (Global System for Mobile Communication) DAMPS (Digital AMPS), resp. IS136; ZDA PCS 1900 (Personal Communication System); ZDA PDC (Personal Digital Communication) GPRS (General Packet Radio Service); imenujemo ga tudi 2.5 generacija EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution); imenujemo ga tudi 2.75 generacija	Digitalni sistem Govor + podatki
3. generation (od 2004 dalje)	CDMA 2000 (1×EV-DO, 1×EV-DV) UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>) HSPA (<i>High Speed Packet Access</i>), HSPA+; imenujemo ga tudi 3.5 generacija LTE (<i>Long Term Evolution</i>); imenujemo ga tudi 3.9 generacija	multimedija
4 th generation (v uvajanju)	LTE-A (<i>Long Term Evolution-Advanced</i>)	multimedija

2.2 Celična mobilna omrežja

Mobilne telefonske zveze lahko omogočajo radijski komunikacijski viri, katerih delovanje sledi delovanju fiksnih telefonskih omrežij. Končno izvedbo sestavljajo:

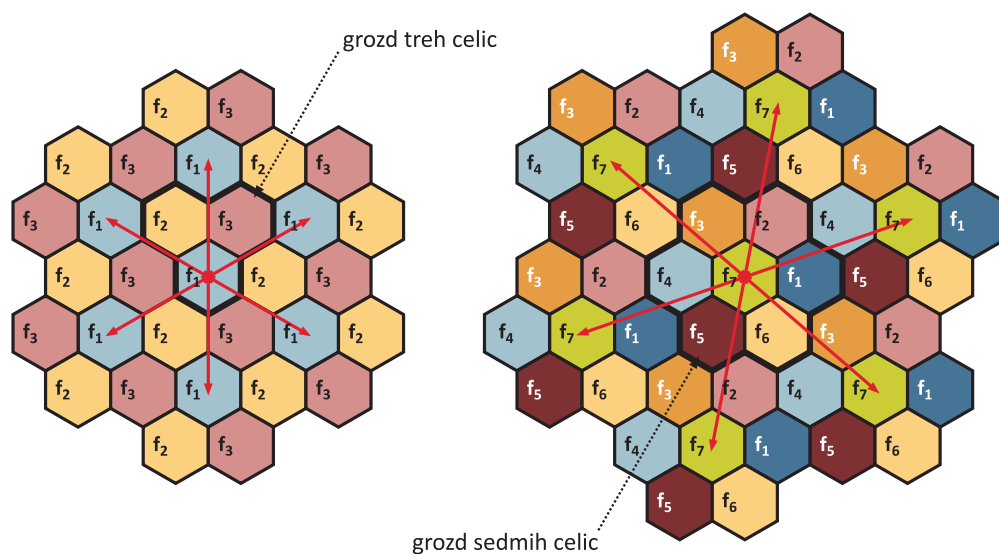
- Mreža fiksni bazni postaji **BS** (*Base Station*)
- Mobilne postaje **MS** (*Mobile Station*) oziroma terminali



Temelj modernih mobilnih omrežij je razdelitev teritorija na področja, kjer se lahko vzpostavi mobilna povezava med baznimi postajami in mobilnimi terminali. Ta območja imenujemo celice.

Velikost celic je dovisna predvsem od vrste in namena mobilnega omrežja. Glede na to jih delimo na:

- Femto celice (majhno stanovanje ali pisarna) – pokrivajo področja, kjer ostale celice lahko zagotovijo le šibek signal. Uporabljamo jih v zaprtih prostorih in in imajo radij delovanja le nekaj metrov.
- Piko celice (pisarniško ali stanovanjsko okolje) – radij delovanja je nekaj deset metrov.
- Mikro celic (gosto naseljeno urbano področje) – namenjeno predvsem počasi se premikajočim uporabnikom (na primer avtomobili v mestnem prometu, pešci). Mikrocelica ima radij nekaj sto metrov.
- Makro celice (velika in redko naseljena področja) – so namenjena za hitro gibajočim se uporabnikom (na primer v vozilih na izvenmestnih cestah). Te celice pokrivajo področje z radijem nekaj kilometrov.
- Satelitske celice (področja dosegljiva s telekomunikacijskimi sateliti) – omogočajo zvezo na področjih kjer je z ostalimi celicami ne moremo pokriti. Območje sprejema satelitskega signala je odvisna od pozicije satelita, njegove orbite in parametrov oddajnika ter sprejemnika.



Razdelitev teritorija delovanja na celice



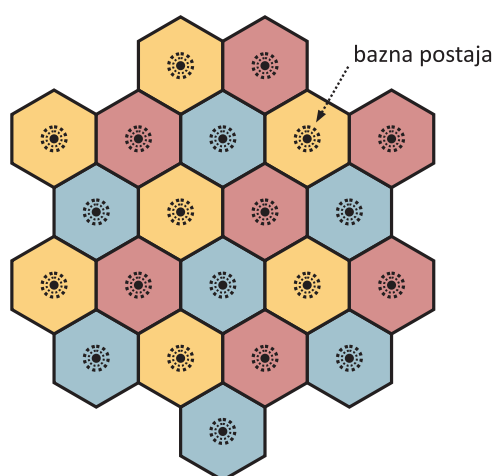
Celična struktura omrežja GSM je ponavadi zgrajena iz makro celic s polmerom nekaj kilometrov. Na primer, teritorij, ki ga pokrijemo s celicami, prikazuje prejšnja slika. Pri izgradnji celičnih mobilnih omrežij moramo izdelati frekvenčni plan. Ta lahko vsebuje tri ali sedem različnih frekvenc. Ise frekvence (f_1 do f_3 , ali f_1 do f_7) lahko uporabljamo v poljubni gruči. Področje gručice treh ali sedem frekvenc je približno enako interferenčni coni (področju, kjer med njimi lahko nastanejo interferenčne motnje)

2.3 Princip delitve na sektorje

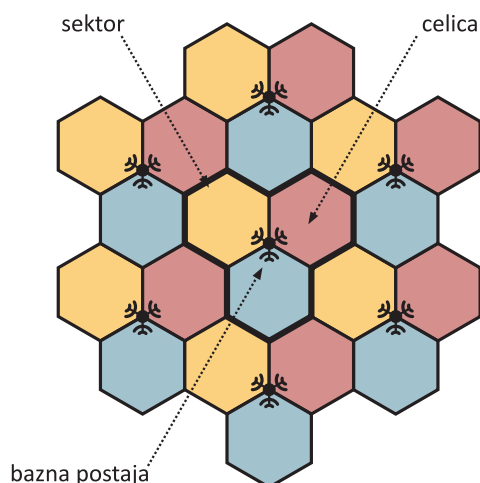
V prejšnjem poglavju smo spoznali, da vsaka celica mobilnega omrežja deluje z eno bazno postajo. Ta koncept pri velikih področjih ni primeren, posebej s stališča velikega števila baznih postaj. Njihovo število lahko močno zmanjšamo z uporabo sektorjev.



Razdelimo gručo prikazano v prejšni sliki na 21 manjših celic (glej sliko a) spodaj). S tem se število razpoložljivih kanalov ne spremeni veliko, poveča pa se število baznih postaj za 21. Število baznih postaj lahko z radelitvijo območja na sektorje zmanjšamo na 7. To je dosegljivo pod pogojem, da bazne postaje niso nameščene v središču celic ampak na stičišču treh sosednjih celic, ki tako tvorijo en sektor (glej sliko b) spodaj).



a) omrežje brez sektorizacije



b) omrežje s sektorizacijo

Princip razdelitve celičnega omrežja na sektorje



V vsaki od sedmih baznih postaj so nameščene trije ločene smerne antene priključene vsaka na svoj oddajnik in sprejemnik. V tem primeru je število baznih postaj enako kot v prejšnji sliki b) pri delitvah na celice, vendar z mnogo večjio učinkovitostjo zaradi operativnih značilnosti (na primer manjša oddajna moč in povečanje števila mobilnih postaj, ki lahko sočasno delujejo).



V območjih z visoko gostoto uporabnikov potrebujemo majhne celice (z radijem delovanja od 10 do 500 m), na območjih, kjer gostota uporabnikov manjša, lahko celice imajo večji radij delovanja (z približno od 1 do 10 km) in v območjih z zelo majhno obremenitvijo lahko ima celica radij delovanja še večji.

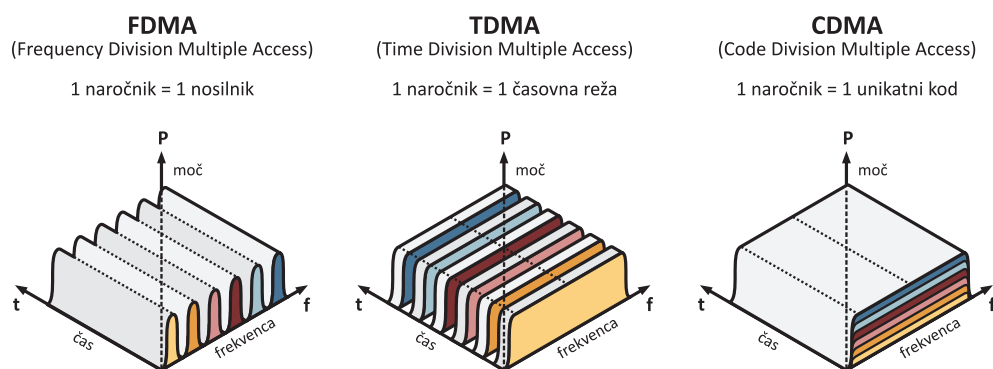
2.4 Tehnike dostopa do prenosa



Vsaka celica mora zagotoviti sočasno povezavo med svojo bazno postajo in večjega števila mobilnih postaj v vsakem obdobju. To omogočajo metode sodostopa.

Do frekvenčnega pasu danega radijskega sistema lahko dostopamo na enega od naslednjih načinov:

- Tehnika FDMA razdeli dodeljeni frekvenčni pas v frekvenčne podkanale, ki jih dodeli vsakemu komunikacijskemu kanalu.
- Tehnika TDMA razdeli frekvenčni podkanal na časovne reže, ki jih dodeli komunikacijskim kanalom po principu časovnega multipleksa
- Tehnika CDMA izkorišča lastnost modulacije z razprševanjem spektra (SSM), kjer lahko signale v istem frekvenčnem pasu in sočasno prisotnostjo medsebojno ločimo z izbiro medsebojno ortogonalnih (pravokotnih) psevdoslučajnih sekvenc, s katerimi razpršimo spekter signala pri oddajanju in pri sprejemu spekter zlijemo nazaj v spekter originalnega signala.
- Tehnika OFDMA je kombinacija dostopov s časovnim in frekvenčnim multipleksom. Pri njej je razpoložljivi frekvenčni pas razdeljen na podnosilnike, ki so v posameznih časovnih režah na voljo posameznim uporabnikom za komunikacijski kanal.



Tehnike sodostopa



V praktičnih aplikacijah na kratko opisane osnovne tehnike dostopa pogosto kombiniramo (na primer FDMA in TDMA itd).

Dostop do dodeljenih frekvenčnih pasov je možen z **dupleksnim časovnim multipleksom (TDD: Time Division Duplex)** ali **dupleksnim frekvenčnim dostopom (FDD: Frequency Division Duplex)**. V primeru uporabe TDD, se prenos do uporabnika (»prenos navzdol«) in prenos od uporabnika (»prenos navzgor«) vsak v svoji časovni reži v istem frekvenčnem kanalu. Taka povezava po

eni strai bolje izkoristi razpoložljji spekter, po drugi strani pa zahteva dobro sinhronizacijo med komunikacijskimi partnerji. Pri uporabi FDD, se za prenos v vsako smer uporabi svoj frekvenčni kanal. V tem primeru je prenos v obe smeri sočasen. Vendar tu potrebujemo v vsaki postaji dve anteni, eno za sprejem in eno za prenos. V večini držav se FDD uporablja v manj kompleksnih komunikacijskih sistemih.

2.5 Izročanje povezave pri prehajanju med celicami

Mobilna postaja vedno komunicira z najbližjo bazno postajo, natančneje s postajo, ki v trenutni lokaciji mobilne postaje ima najmočnejši signal. Če se mobilna enota premakne v sosednjo celico, se ta samodejno preklopi na bazno postajo te celice.



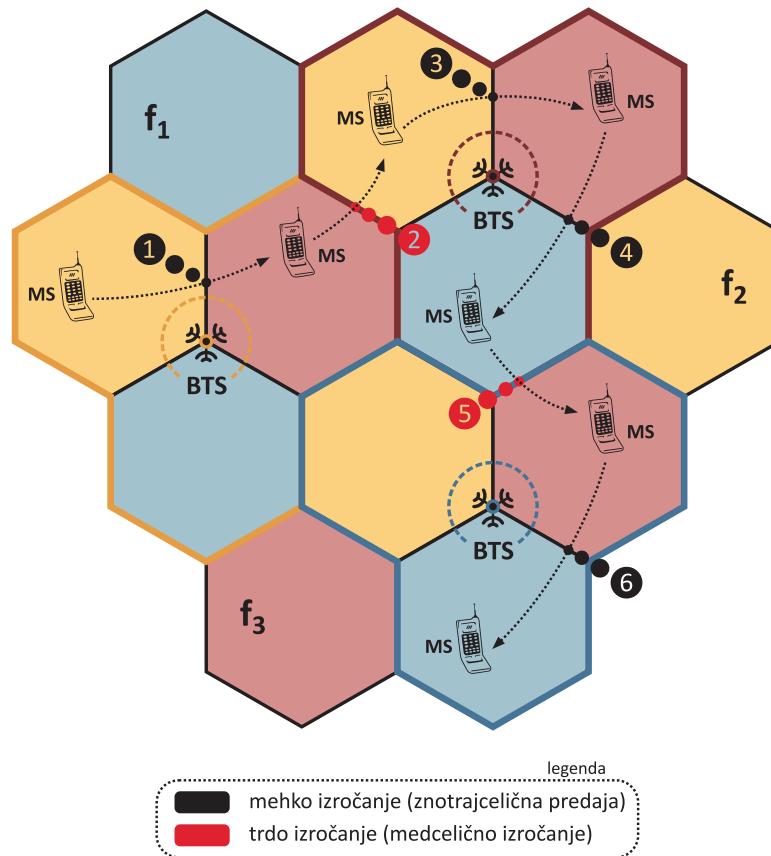
Ta način delovanja imenujemo izročanje

Tehnika izročanja omogoča prehajanje mobilnih postaj med celicami mobilnega omrežja. Njena naloga je zagotoviti neprekinjeno povezavo med mobilnimi in bazno postajo, ki nudi visoko kakovost storitev (QoS) ali uravnava obremenitev omrežja.

Stalno spremljanje trenutne lege mobilne postaje v omrežju omogoča samodejno vzpostavljanje zveze med mobilnim in baznimi postajami. Mobilno omrežje hrani trenutne lege mobilnih postaj v registru mobilnih postaj, ki omogoča usmerjanje povezav med klicujočimi neposredno v območje, kjer se trenutno nahaja postaja.



Pri določanju komunikacijskih kanalov se vedno uporablja planiranje frekvenc tako, da imajo sosednje celice različne frekvence. Ko se mobilni naročniki premaknejo izven določene celice omrežja, se mora izvesti uglasitev teh mobilnih postaj na nove frekvenčne kanala.



Princip izročanja

V osnovi lahko razlikujemo dva mehanizma izročanja:

- Trdo izročanje – pri njemu mobilna postaja (MS) najprej prekinemo povezavo s trenutno bazno postajo, nato pa takoj, ko se prekinitve izvede, se izvede povezavo za novo bazno postajo. Zaradi kratke prekinitve povezave med MS in bazno postajo ta mehanizem izročanja imenujemo tudi »prekini-preden naredi«. Dolžina prekinitve pri izročanju je odvisna od pretoka potrebnih sporočil za upravljanja izročitve. Tako je dolžina prekinitve odvisna od več dejavnikov, kot so uporabljena brezžična tehnologija (npr. LTE, WiMAX itd), dolžine fizičnega okvira ali obremenitve omrežja. V splošnem prekinitve traja od nekaj deset do nekaj sto milisekund.
- Mehko izročanje – omogoča ga sočasno priključitev mobilnih postaj na več baznih postaj. Zato uporabnik pri komunikaciji ne opazi prekinitve pri izročanju. Zato to izročitev imenujemo tudi »naredi -pred-prekinitvijo«. Mehka izročitev se lahko izvede kot **MDHO** (*MacroDiversity HandOver*) ali **FCS** (*Fast Cell Selection*), ki jo označujemo tudi s **FBSS** (*Fast Base Station Switching*). Pri MDHO, to je z izročanjem z makroraznolikostjo, se združuje signale iz več baznih postaj v aktivni niz (pri WiMAX ga imenujemo niz raznolikosti). Pomanjkljivost tega mehanizma je velika zahtevnost in zapletena izvedba. V primeru FCS, to je z izročanjem z hitro izbiro celice, se v aktivnem nizu izmed sočasno sprejetih okvirov iz vseh mobilnih postaj

izbere najboljše sprejetega. Kljub temu, da je ta mehanizem enostavnejši od MDHO, je še vedno bistveno bolj zapleten kot mehanizem trdega izročanja. Zato je v vseh mobilnih omrežjih obvezno trdo izročanje, mehko pa je lahko le opcija.

3 GSM mobilan omrežja: mobilna omrežja druge generacije

3.1 Osnove GSM sistema

Trenutno je GSM še vedno najbolj razširjeni digitalni celični sistem. GSM je bil zasnovan kot evropski odprti standard. Omogoča, da lahko mobilna postaja gostuje v vseh GSM omrežjih neglede v kateri državi se nahajajo. Z drugimi besedami, z eno telefonsko številko lahko telefoniramo v vseh državah, ki imajo instalirane GSM omrežja.



Pomemben element sistema GSM je sistem identifikacije uporabnika. Ta temelji na edinstveni kartici naročnika, ki jo vobče imenujemo **SIM** (*Subscriber Identity Module*) kartica.



SIM kartica ne vsebuje samo osnovne identifikacijske podatke, temveč tudi mnoge druge individualne specifične podatke, kot so identifikacijska številka naročnika, ključne za avtentikacijo, informacije o predplačniški telefonski storitvi ali seznam pogosto klicanih telefonskih števil (zasebni telefonski imeni). Mobilne postaje je mogoče uporabiti le z aktivacijo SIM. Izjema v tem so klici v sili, ki jih je mogoče izvesti tudi brez SIM kartice. Kodiranje in šifriranje informacij, ki bistveno otežuje možnost prisluškovanja, je drugi pomembna lastnost z vidika uporabnikov.

Proces izročitve (prehoda iz ene bazne postaje na drugo) se začne v trenutku, ko aktivni klic poslati začetnih signalizacijske podatke. Eden od najpomembnejših začetnih postopkov je nadzor dostopa upravičenosti za mobilne postaje v omrežju.



Mobilna postaja () pošlje svojo identifikacijsko številko **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*) preko bazne postaje in **BSC** (*Base Station Controller*) v **MSC** (*Mobile Switching Centre*). Na to se odzove **AuC** (*Authentication Centre*), ki pošlje MS naključno število. To število MS preoblikuje glede na individualne podatke in algoritme v svoji SIM kartici in ga pošlje nazaj v MSC. Tam se posamezni podatki zaporedoma primerjajo s podatki v podatkovni bazi, ki se nahaja v bloku VLR. Če se podatki ujemajo, se mobilni postaji dovoli dostop v mobilno omrežje.



Da se zagotovi anonimnost, naročnikova postaja komunicira z bazno postajo z začasno dodeljeno identifikacijsko številko **TMSI** (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), katero prepozna MSC. Ko MS preklopi na drugi MSC, se mu dodeli nova začasna identifikacijska številka. Prenos podatkov se lahko prične šele po končanju teh procesov (identifikacije).

3.2 Sistem GSM in njegovi standardi

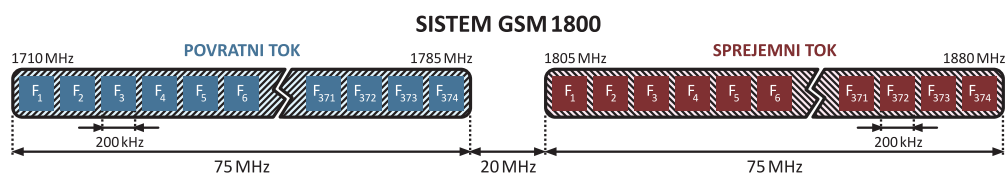
Osnovni frekvenčni pas za GSM je pri 900 MHz. Uspeh omrežja je zahtevala povečanje zmogljivosti GSM. Ta danes v več frekvenčnih pasovih, kjer imajo različno število prenosnih kanalov. Določajo jih trije standardi:

- GSM 900 – frekvenčni pas pri 900 MHz, največja zmogljivost 2×124 kanalov, pasovna širina 2×25 MHz
- GSM 1800 – frekvenčni pas pri 1800 MHz, največja zmogljivost 2×374 kanalov, pasovna širina 2×75 MHz
- GSM 1900 – frekvenčni pas pri 1900 MHz, največja zmogljivost 2×298 kanalov, pasovna širina 2×75 MHz



Kasnejše verzije GSM, to sta GSM 1800 in GSM 1900 včasih označimo s kratico **DCS** s pomenom *Digital Communication System* ali *Digital Cellular System*.

Naslednja slika prikazuje dodelitev frekvenčnega pasu za GSM 1800 v Evropi.



Frekvenčni pasovi in njihovo ločevanje pri sistemu GSM 1800

Sistem GSM 1800 ne prinaša večjih tehnoloških inovacij, ampak predvsem omogoča večje število naročnikov, še posebej v mestih. Sistem omogoča delovanje samostojnega omrežja ali omrežja v kombinaciji s sistemom GSM 900. Njihovo kombinacijo običajno sestavljajo makrocelice z GSM 900 in mikrocelice z GSM 1800. Slednje so namenjene zagotovitvi storitev na območjih z visoko koncentracijo uporabnikov (kot so nakupovalna središča ali središča mest). To kombinacijo lahko izkoristijo le mobilne naprave, ki zmorejo delovanje v obeh omrežjih (to zmorejo vsi današnji mobilni).

3.3 Arhitektura GSM omrežij

Vso osnovno strukturo sistema GSM prikazuje spodnja slika. To strukturo lahko razdelimo na tri temeljne dele: Podsistem bazne postaje, Podsistem komutacije in podsistem podpore delovanju omrežja.

Podsistem bazne postaje (BSS)

Komunikacija v GSM poteka med mobilnimi in bazno postajo, bazne postaje pa so povezane z nadzorom bazne postaje. Njegova glavna naloga je razporeditev in sprostitvev prostih radijskih kanalov za komunikacijo z mobilnimi postajami in zagotovitev pravilnega izročanja pri prehodu mobilne postaje iz ene celice v drugo. Delovanje sistema zahteva, da vsaka mobilna postaja, ki je aktivna, sistemu priskrbi informacije o celici, v kateri se nahaja. Prav tako mobilna postaja spremlja tudi signale iz najbližjih sosednjih baznih postaj. Na tej osnovi vedno izbere bazno postajo, s katero lahko vzpostavi optimalno povezavo.

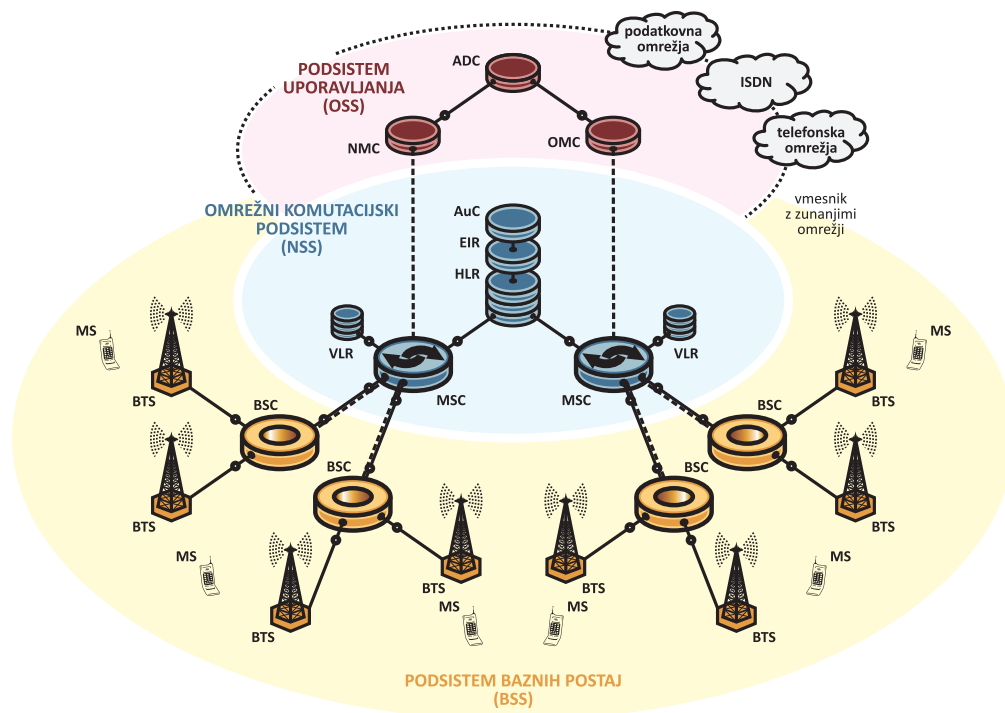
Podsistem komutacije (NSS)

Ta podsistem izvaja paketno komutacijo. Deluje podobnokot digitalne telefonske centrale, vendar je podsistem dopolnjen z dodatnimi funkcijami, ki so potrebne zaradi mobilnosti uporabnikov. Dodatne funkcije so shranjene v različnih podatkovnih bazah:

- **HLR** (*Home Location Register*) – vodi evidenco o vseh udeležencev na svojem območju. Overjanje (identifikacija) naročnika izvede AuC. Vsak član omrežja je shranjen samo v eni bazi HLR.
- **VLR** (*Visitor Location Register*) – začasno shrani najnovejše informacije o položaju mobilne postaje v območju MSC. VLR vedno zahteva in pridobi podatke iz HLR. Če mobilne postaje zapustijo celico, se podatki v zvezi njimi vedno izbrišejo iz baze VLR.
- **EIR** (*Equipment Identity Register*) – vsebuje podatke o mobilnih postajah (na primer seznam pooblaščenih ali ukradenih postajah itd).

Podsistem podpore delovanu (OSS)

Podsistem OSS skrbi za delovanje BSS in NSS. Vsebuje nadzorni blok **ADC** (*Administrative Centre*), ki obravnava upravne naloge (npr. poročila o naročninah, obračun itd), potem administrativni blok **NMC** (*Network Management Centre*), ki skrbi za celovito upravljanje pretoka informacij v omrežju in operativno storiteveni blok, **OMC** (*Operation and Maintenance Centre*), ki skrbi za vzdrževanje in obratovanje omrežja.



Arhitektura sistema GSM

3.4 Storitve & aplikacije

Sistem GSM omogoča tako telekomunikacijske storitve (telestoritve) kot storitve prenosa (prenosne storitve).

Telekomunikacijske storitve lahko razdelimo na:

- telefonija (vključno s klici v sili in z gostovanjem v vseh drugih omrežjih)
- sporočila, to so storitve **SMS** (*Short Message Services*), to storitev kratkih sporočil. Ta sporočila lahko imajo največ 160 znakov. Pošljemo jih lahko določenemu uporabniku ali s pomočjo storitve **CBS** (*Cell Broadcast Service*) vsem mobilnim postajam v celici. Slednja sporočila so lahko namenjena za obvestila o prometu in vremenu.
- glasovna pošta
- elektronska pošta (servis in povezava z elektronsko pošto Interneta)
- bančne storitve
- informacijske storitve
- Med prenosne storitve lahko štejemo:
- duplexni asinhronski prenos podatkov s prenosno hitrostjo med 300 in 9600 b/s
- duplexni asinhronski prenos podatkov s prenosno hitrostjo med 2400 in 9600 b/s

Storitve GSM se neprestano širijo. Seznam ponujanih storitev je odvisen od operatorja omrežja (ponudnika). Trenutno mednje spada povečana prenosna hitrost do 14.4 kb/s skupaj s spremenjenim kodiranjem vse do 21.4 kb/s.

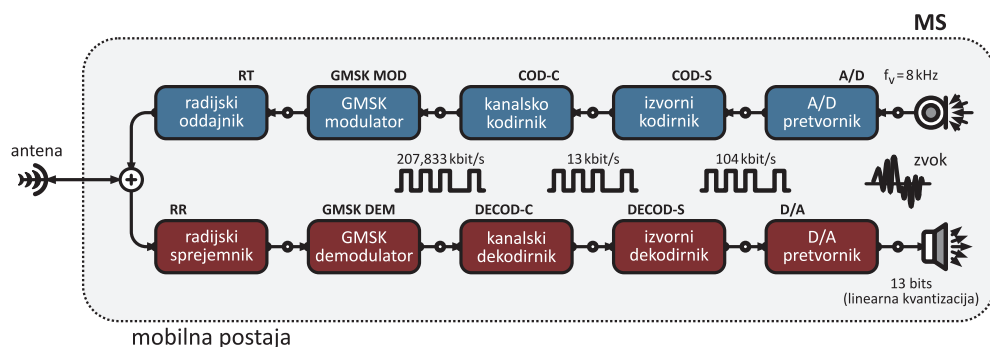
Obstajajo tudi storitve za povečanje udobja uporabniku. Na primer, takojšnja računovodska storitev (Hot Billing) omogoča uporabo predplačniških kartic, ki ustvari skupino anonimnih uporabnikov, ki ne plačujejo pavšalne mesečne naročnine.

3.5 Zgradba in funkcije mobilnih postaj (MS)

V naslednjih dveh poglavjih opisujemo zgradbo in delovanja mobilnih postaj in njihovo priključevanje na bazne postaje.



MS sestavljajo oddajni in sprejemni del, krmilni mikroprocesor, SIM cartica in drugi dodatki (telefon, tipkovnica, zaslon, itd.).



Blokovna shema mobilne postaje

Prvi blok je A/D pretvornik, ki digitalizira analogni signal iz mikrofona. Deluje na principu PCM (s frekvenco vzorčenja 8 kHz, 13 bitna pretvorba, linearna kvantizacija, prenosna hitrost $v_p = 8000 \times 13 = 104$ kbit/s). Naslednji blok **COD-S** (*CODer of Source*) je vokoder in vrši izvorno kodiranje. To temelji na metoda vzbujanja **RPE** (*Regular Pulse Excitation*). S tem se zmanjša prenosna hitrost na $v_p = 13$ kbit/s.

Signalu se kodu govora doda še kod, ki vsebuje uporabnikove podatke. Ti so, da se prepreči neposredni nadzor komunikacij, šifrirani. Zaradi tega se prenosna hitrost komunikacijskega kanala mobilne postaje poveča na $v_p = 22.8$ kbit/s.

Po vključitvi signala v okvir **TDMA** se izvede b bloku **GMSK-MOD** (*Gaussian Minimum Shift Keying MODulator*) še modulacija tipa **GMSK**. Po vsem tem je skupna prenosna hitrost $v_p = 270,833$ kbit/s (fizični okvir z 156,25 bitov se posreduje vsakih 0,577 ms).

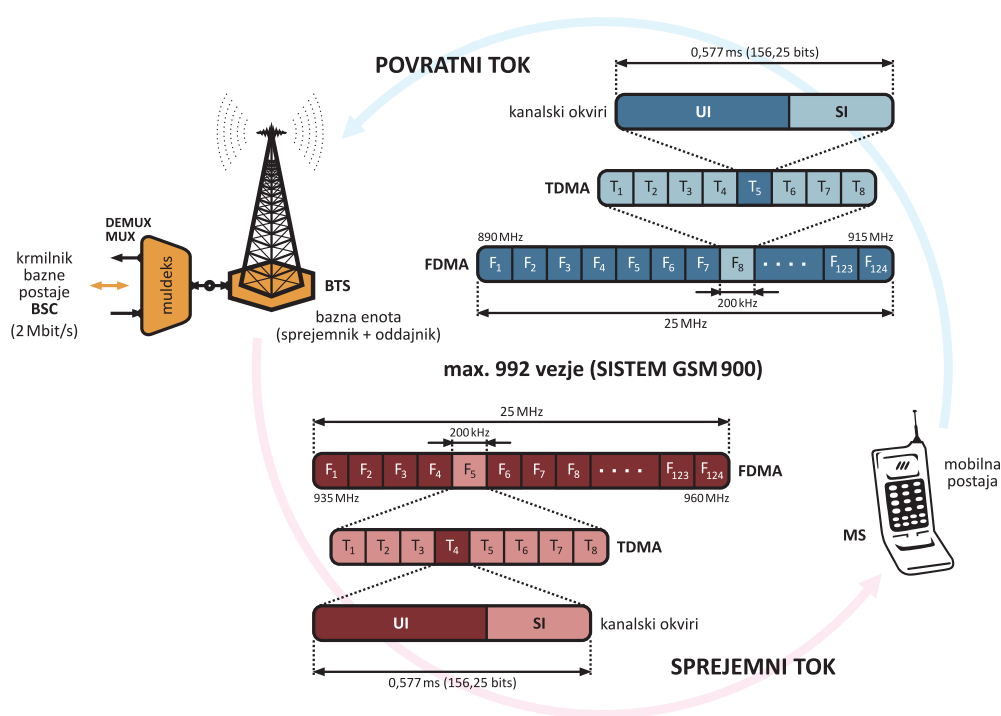
Po procesiranju signala v drugih vezjih radijskega oddajnika (**RT**: *Radio Transmitter*), se signal posreduje anteni mobilne postaje. Glede na moč sevanega signala so mobilne postaje razdeljene v pet razredov z močmi od 0,1 do 20 W.

Na sprejemni strani se signal, ki ga oddaja antena vodi v blok **RR** (*Radio Receiver*), kjer se obdelava v demodulatorju (**DEM**) in v obeh dekodirjih (**DECODing-C**, **DECODing-S**). D/A pretvornik digitalni signal pretvori v analognega, ki ga lahko slišimo v telefonu.

3.6 Mobilni terminal in njegova povezava z bazno postajo



GSM 900 za prenos signalov uporablja dva frekvenčna pasova s širino 25 MHz. Medsebojno sta razmaknjena za 45 MHz. Zgornji pas, nahaj se med 935 MHz in 960 MHz je namenjen prenosu signala iz bazne postaje v mobilne terminale, spodnji pas, nahaja se med 890 MHz in 915 MHz, pa je namenjen prenosu v nasprotni smeri. Tehnika dostopa mobilnih postaj do prenosnega kanala je kombinacija tehnik TDMA in FDMA. FDMA razdeli oba frekvenčna pasova na 124 podpasov (F_1 do F_{124}) s širino 200 kHz. Vsak frekvenčnem podpas TDMA razdeli na 8 časovnih rež (T_1 do T_8). Bazna postaja v celici GSM 900 lahko sočasno streže 992 zvez mobilnih postaj z bazno postajo.



Blokovna shema mobilne postaje skladne s standardom GSM 900



Vsak okvir v kanalu ima dolžino 156,25 bitov in traja 0,577 ms. Okvir vsebuje tudi podatke o uporabniku (UI) in storitvah (SI).



Za sinhronizacijo GSM uporablja uro z nazivno frekvenco $f_t = 13$ MHz. Osnovna hitrost prenosa je $v_p = 13\,000\,000/48 = 270\,833,33$ bit/s. En okvir TDMA (vključuje 8 časovnih rež) trajanje 4,615 ms (multi-okvir sestavlja 26 okvirov, traja pa 120 ms).

3.7 Prenos podatkov v GSM omrežjih in 2,5 generacija mobilnih omrežij

Osnovna prenosna med mobilnimi postajami v GSM omrežju je 13,2 kb/s. Ta kanal lahko uporabimo tako za posredovanje klicev kot tudi za prenos podatkov, ki temelji na vodovni komutaciji (**CSD**: *Circuit Switched Data*). Nazivna prenosna hitrost prenosa podatkov je 9,6 kb/s. Kasneje so jo z zmanjšanjem redundantnih bitov za zaščito povečali na 14,4 kbps.

Večje povečanje prenosne hitrosti imajo mobilni sistemi 2,5 generacije. Dosežejo jo z:

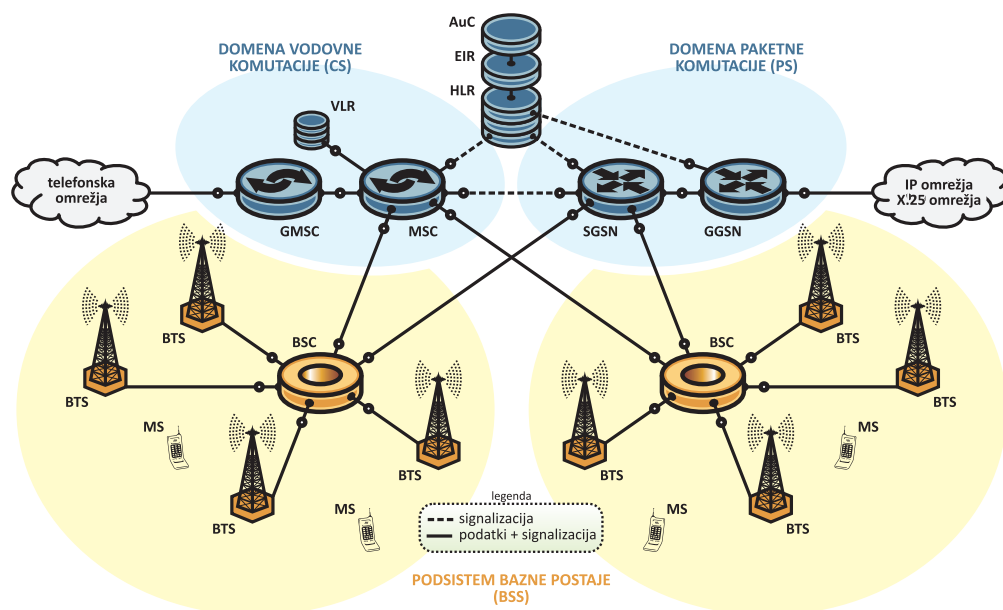
- **GPRS** (*General Packet Radio Service*), ki omogoča prenosno hitrostjo do 171 kb/s (teoretično). Uporablja paketno komutacijo, ali
- **HSCSD** (*High Speed Circuit Switched Data*), ki omogoča prenosno hitrostjo do 115 kb/s (teoretično). Uporablja vodovno komutacijo.



Nadaljno povečanje prenosne hitrosti omogoča tehnika **EDGE** (*Enhanced Data for GSM Evolution*). Pri tej tehniki se večja prenosna hitrost doseže z uporabo modulacije 8-PSK (digitalna 8-terna fazna modulacija). Teoretično doseže prenosno hitrost 473,6 kb/s.



Za uporabo generacije 2,5 v GSM omrežjih moramo pri teh dopolniti infrastrukturo s podatkovnim vozliščem **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*), ki komunicira z radijskim delom GPRS. Za prenos podatkov v druga paketna omrežja, na primer v Internet, je potrebno dodati še podatkovni prehod **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*). GGSN deluje kot usmerjevalnik. Poenostavljeno infrastrukturo mobilnega omrežja generacije 2.5 prikazuje spodnja slika.



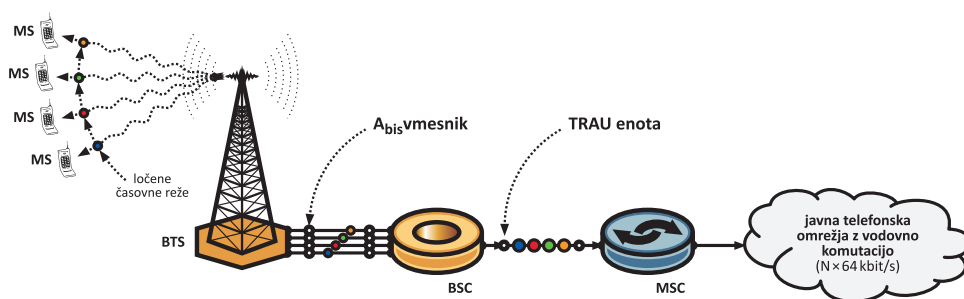
Poenostavljena shema infrastrukture mobilnih omrežij generacije 2,5

3.8 Prenos podatkov CSD v omrežjih GSM

Digitalna mobilna omrežja, kot je GSM, so bila namenjena predvsem za prenos govora. Seveda se v njih ta prenaša v digitalni obliki. Digitalni prenos (govora) je seveda enostavno uporabiti tudi za prenos splošnih podatkov. Vendar pri tem obstajajo nekatere omejitve – te so povezane predvsem z dosegljivo prenosno hitrostjo.



En radijski kanal v GSM zmore maksimalno prenosno hitrost 33,8 kb/s. Kljub temu je za prenos podatkov na voljo največ 9,6 kb/s. Razlog temu je, da se 11 kb/s prenosne zmogljivosti porabi za storitve, ki so potrebne za delovanje omrežja GSM. Preostala zmogljivost 13,2 kb/s zagotavlja zanesljivost prenosa, odpravljanju napak in okvar. Takšen način prenosa podatkov imenujemo CSD.



Prenos podatkov s CSD



Čez čas so s testi pokazali, da prenos podatkov ne zahteva tako močno zaščito pred napakami. Zato lahko prenosno hitrost pri prenosu podatkov povečamo na račun zmanjšanja zaščite pred napakami pri prenosu. Na ta račun so prenosno hitrost podatkov povečali na 14,4 kb/s, vendar je ta dosegljiva le, če ima signala dovolj visoko kakovost.

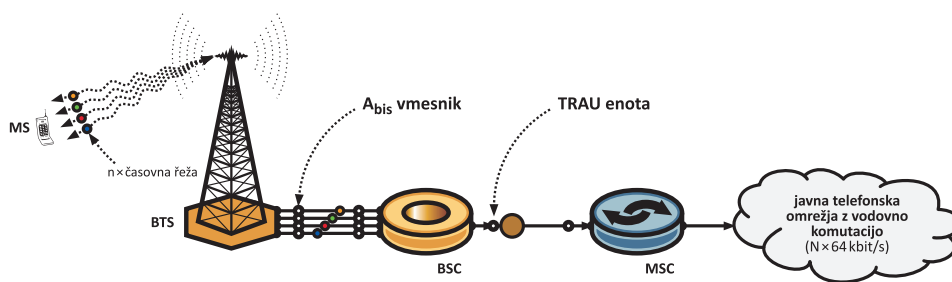
Pri prenosu podatkov lahko zanesljivost prenosa povečamo tudi brez dodajanja redundantnih bitov. Namesto tega lahko uporabimo protokole za odpravo napak. Prejemnik podatkov v primeru, da v sprejetih podatkih odkrije napako, preprosto zahteva ponovno pošiljanje teh podatkov. Tak prenos seveda zahteva, da obe strani uporabljata enak protokol. Za mobilna omrežja so v ta namen razvili protokol **RLP** (*Radio Link Protocol*).

3.9 HSCSD prenos podatkov v omrežjih GSM

Kot smo navedli v prejšnjem poglavju, je največja razpoložljiva prenosna hitrosti pri prenosu podatkov znotraj ene časovne reže 14,4 kb/s.



Prenosno hitrost lahko v obstoječem omrežju GSM povečamo z dinamičnim dodeljevanjem večih časovnih intervalov enemu uporabniku. Za tak način prenosa podatkov ponavadi uporabljamo kratico **HSCSD** (*High-Speed Circuit-Switched Data*). Ta tehnika še vedno uporablja vodovno komutacijo oziroma CSD, vendar v primerjavi z njim omogoča mnogo večje povečanje prenosne hitrosti.



Prenos podatkov s HSCSD



Kot vidimo na prejšnji sliki, se komunikacija pri HSCSD med MS in BS izvaja preko skupine združenih časovnih rež po katerih se prenesejo podatki iz BS v MS. Dodeljevanje časovnih rež je odvisna od trenutnega števila razpoložljivih radijskih kanalov in od zmogljivosti mobilne postaje (MS). Podatki se iz BS in BSC (A_{bis} vmesnik) prenašajo preko vsakega kanala z bitno hitrostjo 16 kb/s, tako da skupina 32 povezanih radijskih kanalov s prenosno hitrostjo 64 kb/s da skupno prenosno hitrost $32 \times 64 \text{ kb/s} = 2 \text{ Mb/s}$. Vsak od teh kanalov je razdeljen na štiri podkanale s prenosno hitrostjo 16 kb/s.



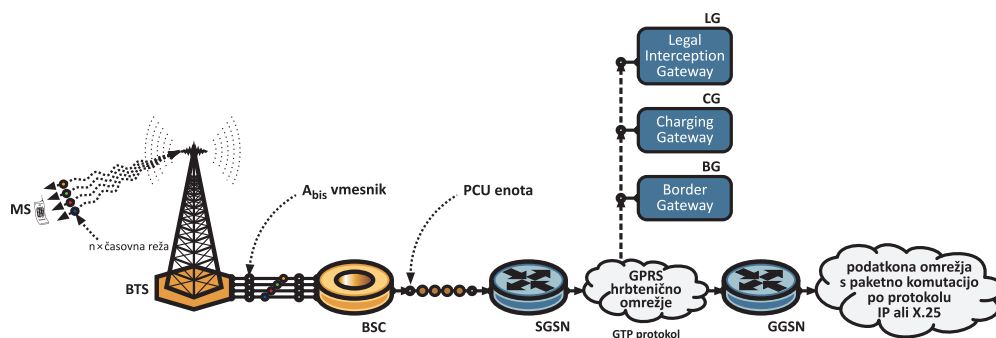
Kanal s prenosno hitrostjo 16 kb/s lahko uporabimo za prenos govora (13 kb/s) ali splošnih podatkov (14,4 kb/s). Podatki so zaporedno združevani v standardizirani kanal (64 kb/s). Združevanje izvaja BSC v enoti **TRAU** (*Transcoder and Rate Adaptation Unit*). Ta enota je namenjena pretvorbi kodiranega signala govora (s hitrostjo 13 kb/s) v standardni govorni PCM kanal (s hitrostjo 64 kb/s) ali za spremembo prenosne hitrosti podatkov na 64 kb/s. Zato je največja prenosna hitrost podatkov v enem kanalu, ki ga omogoča ta tehnologija 64 kb/s

Prenos podatkov, ki ga omogoča HSCSD, je lahko v večini primerov asimetričen. To pomeni, da na primer prenosu podatkov iz MS v omrežje BSC dodeli po tri zaporedne časovne reže, v nasprotni smeri pa le eno režo. Taka metoda dodeljevanja zmogljivosti radijske postaje se pogosto uporablja, posebej pri povezavi MS z Internetom, kjer se več podatkov prenaša iz omrežja v MS kot obratno. Standard, ki določa HSCSD, deli razpoložljive načine prenosa na 18

razredov glede na to, koliko časovnih rež (prenosnih kanalov) se lahko uporablja pri prenosu v obe smeri.

3.10 GPRS prenos podatkov v omrežjih GSM

Glavna omejitev pri povečevanju prenosne hitrosti v omrežjih GSM je vodovna komutacija, ki jo uporablja pri vzpostavljanju povezav med mobilnimi postajami. Večje prenosne hitrost lahko dosežemo s paketno komutacijo. Ta pa zahteva, kot prikazuje spodnja slika, dodatno opremo. Z njo dopolnjena omrežja GSM imenujemo **GPRS** (*General packet radio service*).



Prenos podatkov z GPRS

Podatkovno vozlišče SGSN komunicira z radijskim delom omrežja GPRS. Za prenos podatkov v druga paketna omrežja, kot je na primer Internet, se uporablja podatkovni prehod GGSN, ki deluje kot usmerjevalnik. Dostop uporabnika do izbranega omrežja dovoljuje **APN** (*Access Point Name*). Z dodelitvijo APN le določeni skupini SIM kartic, lahko operater storitve GPRS na primer zasebni skupini uporabnikov. Njihov je strogo ločen od prometa ostalih udeležencev v prometu omrežja GSM. Iz podatkov, omenjeno že zgoraj, javna podatkovna omrežja ali zasebnih omrežij podatki se lahko oblikujejo na ta način. Prenos podatkov prek dostopne točke je lahko tudi drugačen način, kako določiti ceno posamezne storitve ponudnika, kot so **WAP** (*Wireless Application Protocol*) ali **MMS** (*Multimedia Messaging Service*).



Dostop do interneta je mogoč tudi s protokolom WAP, ki mobilnim postajam omogoči dostop do vsebin spletnih strani preko kanalov z majhno zmogljivostjo in uporabo zaslonov z nizko resolucijo. S podatkovno komunikacije in WAP lahko pri GPRS (paketni prenos) in izboljšano prenosno hitrostjo lahko teoretično dosežemo 192 kb/s. Vedeti pa moramo, da izvajanje te storitve zahteva veliko bolj obsežne in drage naložbe in to ne samo v strukturo omrežja GSM, ampak tudi v mobilne postaje.



V omrežju GSM z GPRS za dodeljevanje prenosnih zmogljivosti v sodelovanju skrbita SGSN in BSC. Prenosne zmogljivost so mobilnim postajam dodeljene le v primeru, ko te imajo pripravljene podatke za pošiljanje in/ali prejemanje.

+

Pri GPRS, v nasprotju s konvencionalnim prenosom podatkov v omrežju GSM, ki uporablja HSCSD, prenosne poti niso stalno blokirane.

Večjo prenosno hitrost v GPRS omogoča združevanje več (zaporednih) časovnih rež za en prenos ter izbira ustreznega kodnega sistema. Združevanje časovnih rež – prenosnih kanalov – je ponavadi v kombinacijah 3 + 1, 4 + 1 ali 4 + 2 reži (kjer prva številka velja za prenos iz BS k MS, druga pa v nasprotno smer). Če pri GPRS uporabljamo asimetrični prenos podatkov, se za prenos k naročniku vedno uporabi višja prenosna hitrost. Razpoložljiva prenosna hitrost so močno odvisne od lokacije naročnika v celici (kakovosti signala) in obremenitve bazne postaje.

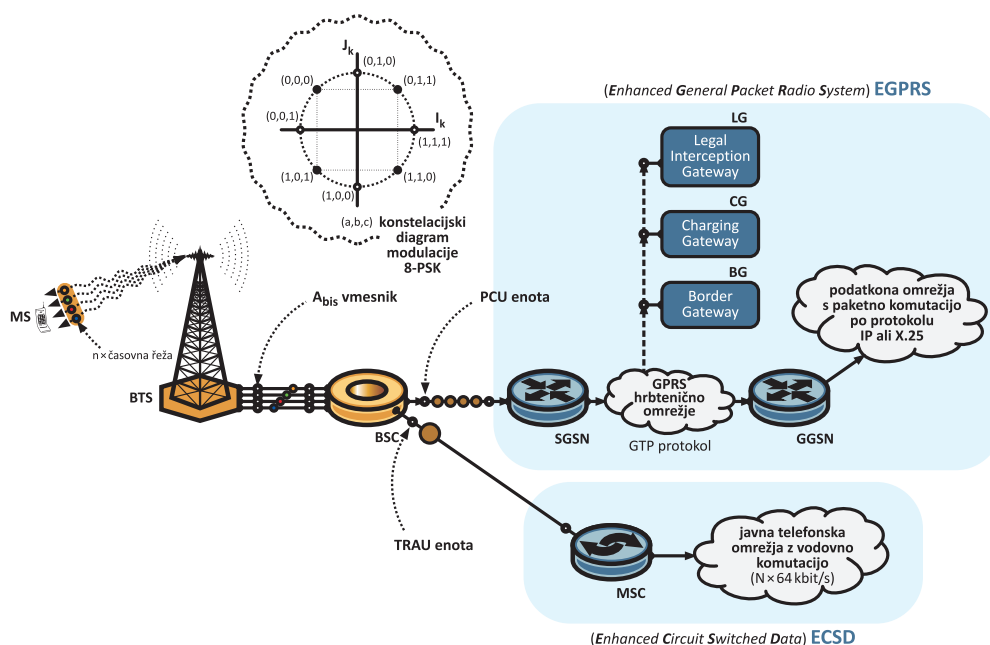
—

V omrežjih z GPRS lahko opazimo negativni vpliv zakasnitev. Te nastanejo zaradi podatkovnih paketov pri prehodu skozi paketno omrežje. Na velikost zakasnitev močno vpliva dolžina paketov. Kratki paketi (do 100 zlogov) imajo prenosno zakasnitev od pol do ene sekunde¹, odvisno odvisno od obremenitve omrežja. Paketi z dolžino 1000 zlogov so lahko zakasneni celo nekaj sekund.

3.11 EDGE prenos podatkov v omrežjih GSM

Tehnika prenosa podatkov **EDGE** (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) imenujemo tudi mobilna omrežjih generacije 2.75 oziroma zanjo uporabljamo tudi kratico 2.75G za povečanje prenosne zmogljivosti uporablja uporablja osem-nivojsko fazno modulacijo **8-PSK** (*Phase Shift Keying*), ki zagotovi pri isti simbolni hitrosti (merimo jo v Baudih) večjo bitno hitrost kot jo zmogljiva modulacija **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*) v omrežjih GSM.

S tehniko EDGE dosežemo povečanje prenosne zmogljivosti z manj stroški kot tehnikama HSCDS (izboljšano kodiranje) ali GPRS (združevanje prenosnih kanalov, ki jih določajo časovne reže). Zato se ti tehnike danes vse manj uporabljata.



Prenos podatkov s tehniko EDGE



Simbolna hitrost je pri EDGE enaka kot prej. V enem frekvenčnem kanalu s širino 200 kHz znaša 270,833 ksymbols/s oziroma 270 833 baudov. Ker vsak simbol pri EDGE določajo trije biti, imamo pri tej modilaciji trikrat večjo prenosno zmogljivost v primerjavi s prvotno, binarno modulacijo **GMSK**. Največja teoretično dosegljiva bitna prenosna hitrost pri 8-PSK znaša 473,6 kb/s (59,2 kb/s na časovno režo). Ta hitrost je dosegljiva le, če se v prenosu podatkov uporablja vseh osem časovnih rež in je razmerje signal/šum, torej prenosni pogoji dovolj ugodni.

Uvedba EDGE zahteva zamenjavo obstoječih radijskih oddajnikov v baznih postajah (torej v vsaki celici, kjer želimo uporabljati EDGE). Poleg tega je potrebno posodobiti programsko opremo v bazni postaji. Kombinacija EDGE

s GPRS in HSCSD je videti zelo uspešna, še posebej pri širokopasovnem prenosu in pri uporabi nove. Skupno uporabo teh tehnik imenujemo in **ECSD** (*Enhanced Circuit Switched Data*) in **EGPRS** (*Enhanced General Packet Radio System*). EDGE je zadnji korak v izboljševanju prvotnega sistema GSM pred uvedbo tretje generacije mobilnih omrežij: UMTS.

4 Univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem (UMTS)

4.1 Uvod

Druga generacija telekomunikacijskih sistemov, kot so GSM, omogoča enostaven (digitalen) brezžični prenos govornega prometa. Pri prenosu podatkov pa ta omrežja ne morejo slediti naraščajočim potrebam pri prenosu podatkov. Te zahteve so posledice hitrega razvoja mobilnih aplikacij kot so video na zahtevo, nalaganje slik z visoko resoluciji itd.). Zato so razvili novo generacijo mobilnih omrežij, v splošnem jih označujemo kot 3G omrežja, ki so mnogo bolje prilagojena naraščajočim potrebam in zahtevam kot so omrežja 2G.

Za pripravi standardov za globalna mobilna omrežja 3G so v decembru 1998 ustanovili partnerstvo za razvoj tretje generacije mobilnih omrežij: **3GPP** (*3G Partnership Project oziroma Third Generation Partnership Project*). To partnerstvo sestavljajo člani organov za standardizacijo iz vsega sveta, kot so Evropa (ETSI), ZDA (ANSI) in na Japonskem (ARIB). Standardi za 3GPP temeljijo na splošnem standardu 3G radio, ki ga ponavadi navajamo kot UMTS. Kljub temu, da izraz 3G ne označuje določene tehnike in tehnologije ali standarda, zajema številne tehnične specifikacije, ki so bile postopoma standardizirane s ciljem izboljšati UMTS, da je lahko sledil naraščajočim zahtevam.

V naslednjih poglavjih bomo podrobneje opisali alokacijo frekvenc, osnovne principe prenosa in modulacijo oziroma tehniko dostopa **WCDMA** (*Wideband Code Division Multiple Access*), ki se uporablja v UMTS. Opisujemo tudi evolucijo 3G tehnologije, ki se osredotoča predvsem na zelo hitre dostope do podatkov. Poleg tega bomo povzeli storitve in aplikacij, ki se uporabljajo v omrežjih 3G, skupaj s klasifikacijo kakovostjo storitev QoS (*Quality of Service*).

4.2 Alokacija frekvenc za UMTS

Frekvenčni pasovi za prenos signalov omrežja UMTS je približno pri 2 GHz, kjer so še dosegljive ustrezne lastnosti prenosa, nizko slabljenje signala in širjenje signala v notranjosti stavb. Od dodeljenega frekvenčnega pasu je odvisno, ali UMTS pri svojem delovanju uporablja (dvosmerno) časovni multipleks (**TDD**: *Time Division Duplex*) ali frekvenčni multipleks (**FDD**: *Frequency Division Duplex*).

Minimalna širina frekvenčnega pasu oziroma spektra za delovanja UMTS s FDD je 2×5 MHz in 5 MHz za UMTS s TDD prenosno tehniko. Frekvenčni pasovi za UMTS so (žal) v Evropi in ZDA pri drugih frekvencah. Tako je v Evropi za povezavo MS z BS s prenosom TDD namenjeni frekvenčni pasovi med 1900 MHz in 1920 MHz in za v nasprotno smer pa pasovi med 2010 MHz in 2025 MHz. Pri FDD so ekvivalentni frekvenčni pasovi dvakrat širši. Za prenos »navzgor« – od MS k BS – je dodeljen frekvenčni pas med 1920 MHz in 1980 MHz, v nasprotno smer pa frekvenčni pasovi med 2110 MHz in 2170 MHz.



Frekvenčni pasovi za prenos »navzgor« se najhajajo pri nižjih frekvencah, ker pri njih zaradi manjše absorpcije valovanja v atmosferi in prehodu skozi snov za isto prenosno razdaljo potrebujemo manj energije v mobilnih postajah. Pri prenosu »navzdol« mora ustrezno moč signala zagotoviti bazna postaja, kjer je vir energije mnogo manj kritičen kot pri MS in zato lažje zagotovi večjo moč radijskega signala. Ta je na anteni bazne postaje ponavadi med 43 in 46 dBm, medtem ko je v prenosnem terminalu ponavadi le 23 dBm.

4.3 WCDMA

Tehniki prenosa in dostopa do omrežja TDMA in FDMA, ki se uporabljata v omrežjih 2G, sta premalo učinkoviti za uporabo v omrežjih 3G. Zato so za UMTS izbrali bolj sofisticirano tehniko dostopa do omrežja – WCDMA. Ta temelji na CDMA, ki smo ga na kratko opisali v 3. poglavju. Pri WCDMA so biti podatkov razpršeni na mnogo širši frekvenčni pas kot so pri klasičnem CDMA. S tem se doseže, da je posameznim uporabnikom na voljo večja prenosna hitrost. Podobno kot pri CDMA so tudi pri WCDMA podatki pomnoženi s psevdonaključnim nizom čipov signala, s katerimi razpršimo spekter signala. Pri UMTS je hitrost tega niza 3,84 Mc/s (mega čipov na sekundo), kar pri prenosu zahteva pasovno širino 5 MHz. Pomembna razlika med UMTS in GSM je tudi izkoriščenost spektra. Zaradi uporabe WCDMA dobimo boljše izkoriščenost frekvenčnega pasu, saj vse celice uporabljajo isti frekvenčni pas (v nasprotju z GSM, kjer je vsaka celica uporablja posamezne frekvence za zmanjšanje motenj).

Izkoristek frekvenčnega pasu, ki ga ima WCDMA, ima pomemben vpliv na standard UMTS. Tako so standardizirane naslednje rešitve:

- Rake (večkanalni, grabljični) sprejemnik – v mobilnih omrežjih je širjenje radiskega signala zelo odvisno od značilnosti terena. Ta zaradi ovir, kot so zgradbe, v hribih, vegetacija itd, povzroči odboje, lom (difrakcijo) in spreminjajoče se slabljenje signala (fading). Te težave pri sprejemu lahko učinkovito razrešimo z večkanalnim (grabljičnim) sprejemnikom. Ta »zna« komponente signala, ki prispejo v sprejemnik po večih poteh, sestavi v en signal z močjo, ki je enaka vsoti moči sprejetih komponent.
- Regulacija moči – ena od najbolj pomembnih lastnosti UMTS je hitra regulacija moči signala, posebej v kanalih »navzgor« (od MS k BS). Brez nje bi lahko vsak posamezni uporabnik oddajal s preveliko močjo in s tem blokiral delovanje celotne celice. Tako pa je – zaradi hitre regulacije – moč vseh signalov iz MS sprejetih v BS, enaka. Pri HSPA je to možno, kot je opisano kasneje, doseči le deloma,.
- Mehko izročanje – ker vse celice uporabljajo isto frekvenco, so uporabniki lahko hkrati povezan z dvema baznima postajama (uporabljati morajo le dva psevdosločajna koda). To omogoči izročanje MS med dvema celicama, kot smo že prej opisali, brez prekinitve povezave.

4.4 Standardizacija in evolucija UMTS

Razvoj omrežja 3G se je začel leta 1999. Takrat je bila objavljen prvi predlog standarda za UMTS z imenom »Release (izvedba) 99«. Od takrat je bilo odobrenih veliko oddobrite. Opisujemo jih v nadaljevanju.

Release 99

Določitve v tem dokumentu še temeljijo na omrežju GSM. Zato je omrežje UMTS združljivo z omrežjem GSM ter je tako mogoča povezljivost med njima. V primerjavi z omrežji 2G, dokument Release 99 predpisuje popolnoma novo vrsto radijskega dostopovnega omrežja **UTRAN** (*UMTS Universal Radio Access Networks*). Teoretična hitrost prenosa podatkov, ki jih omogočajo specifikacije v tem dokumentu sta 2 Mb/s v navzdol in 384 kb/s navzgor (iz MS v BS).

Release 4

Ta izvedba, ki je bil sprejet leta 2001, uvaja številne spremembe v jedrno omrežje in GERAN. Glavne značilnosti so: ločitev prometa od nadzora v **CS** (*Core Switched*) omrežja, uvajanje novih vmesnikov v jedrnem omrežju, ki omogočajo znižanje frekvence čipov in predvsem uvajanje **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*).

Release 5

Glavna prispevek te izvedbe k prejšnjim je vpeljava tehnike prenosa **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*). HSDPA povečuje bitno hitrost v smeri navzdol (od BS k MS) na približno 14 Mb/s.

Release 6

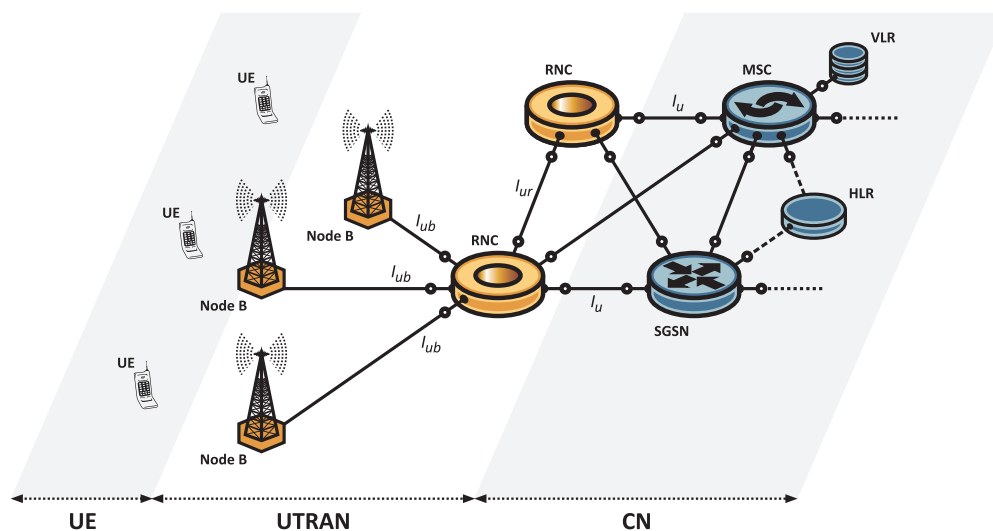
Podobno kot prejšnja izvedba tudi ta prinaša napredek pri prenosu podatkov z uvajanjem tehnike **HSUPA** (*High Speed Uplink Packet Access*). HSUPA omogoča bitno prenosno hitrost v smeri navzgor vse do 5,76 Mb/s. Poleg tega pomembno dopolnjuje podsistem IMS.

Release 7

Ta izvedba prinaša tehniko HSPA +. Imenujemo jo tudi Evolved High Speed Packet Access«. To še povečuje dosegljive bitne prenosne hitrosti tako v smeri navzgor kot v smeri navzdol. Povečanje bitne prenosne hitrosti omogočata modulacija 64-QAM (en simbol določa 6 bitov) in tehnika **MIMO** (*Multiple Input Multiple Output*), ki omogoča uporabo več anten tako v sprejemniku kot v oddajniku. Skupni učinek da maksimalno teoretično bitno prenosno hitrost do 42 Mbit/s navzdol in do 11,5 Mbit/s navzgor.

4.5 Arhitektura orežja

Arhitekturo omrežja UMTS tvorijo, kot vidimo na sliki 16, trije glavni deli. Ti so ostali isti tudi pri najnovejših izvedbah UMTS, le njihove funkcije postopno dograjevali in izboljševali. Arhitektura omrežja UMTS je logično razdeljen na tri dele: uporabnikova oprema **UE** (*User Equipment*), radisko omrežje **UTRAN** (*UMTS Universal Radio Access Networks*) in jedrno omrežje **CN** (Core omrežje). Posamezni deli so povezani z vmesniki, ki so jih določili 3GPP. Glavni namen vmesnikov je, da omogočajo neposredno komunikacijo med posameznimi subjekti in s tem optimirajo njihovo sodelovanje in usklajevanje.



Struktura omrežja UMTS

Prvi del omrežne arhitekture UMTS, torej UE, vsebuje dva bloka:

- *Mobilni Terminal (MT)* – to je fizična naprava, ki zmore rokovalje z vso komunikacijo na vmesniku U_u (poleg njega obstajajo še vmesniki I_u , I_{ub} and I_{ur}). To so mobilni telefoni, prenosni računalniki ali dlančniki. MT ima isto funkcijo kot MS v omrežjih 2G.
- *Identifikacijska kartica USIM (UMTS Subscriber Identity Module)* – kartica vsebuje podatke specifične za uporabnika: prepoznavanje uporabnika, algoritem preverjanje pristnosti (avtentikacija) in druge naročniške informacije. Kartica USIM je ekvivalent kartice SIM v omrežjih 2G.

Drugi del arhitekture omrežja UMTS je UTRAN. Ta del se najbolj razlikuje od rešitev znanih iz omrežij 2G. UTRAN je sestavljena dva omrežna elementa:

- *Bazna postaja (NodeB)* – NodeB ima analogne funkcije kot BTS v omrežjih 2G. Sestavljajo ga antenski drog, antene ter programska in strojna oprema bazne postaje. Glavni namen NodeB je omogočiti radijsko povezavo (preko vmesnika U_u) naročnikov z omrežjem 3G. Zato NodeB nadzira povezave navzgor in navzdol ter zagotavlja funkcije radijske postaje.

- Nadzor radijskega omrežja (RNC: Radio Network Controller) – je analogen BSC vozlišču v omrežju 2G. RNC je podobno kot BSC odgovoren za nadzor nad omrežjem povezanih baznih postaj, to je NodeB. Oba, tako RNC kot nekdanji BSC, imata več podobnih funkcij pri upravljanju radijskih virov (dodelitev radijskih virov NodeB, krmiljenje dostopa, nadzor zamašitev itd.). V primerjavi z BSC ima RNC več odgovornosti pri upravljanju mobilnosti uporabnikov. Za pomoč pri reševanju problemov z mobilnostjo sta bila omrežje 2G uvedena MSC in SGSN.



Kot zanimivost omenimo, odkod za bazno postajo ime NodeB. NodeB? V omrežjih 2G (GSM) so bazno postajo logično imenovali BTS, ki je kratica za Base Transceiver Station. Pri razvoju omrežja 3G so posamezne entitete, označevali z »vozliščeA« (nodeB) za mobilno opremo in »vozliščeB« (nodeB) za bazne postaje, da so s tem lahko ločili imena za podobne naprave v 2G. Kasneje so vsem objektom – razen bazni postaji – ustrezno spremenili imena (da so postala bolj logična glede na njihove funkcije). Za bazno postajo niso našli ustreznega pomenskega imena, ki bi bilo različno od imena, ki se uporablja v omrežjih 2G, zato je ime NodeB ostalo.

Zadnji del omrežja UMTS tvori jedrno omrežje CN. CN je razdeljena v dva sklopa: vodovna komutacija (CS: Circuit Switching) in paketna komutacija (PS: packet Switching). Ker je zgradba CN skoraj enaka kot v omrežjih 2G, tu naptevamo samo njune medsebojne razlike (podrobni opis posameznih elementov CN je v razdelku 8):

- Kot smo že omenili, je pri UMTS del upravljanja mobilnosti preseljen v UTRAN.
- V UMTS so varnostne funkcije izboljšane s sprejetju novih šifrirnih algoritmov. Izvajanje šifriranja namesto CN izvaja RNC.
- Funkcije prenosa govora vrši CN. V omrežjih 2G to vrši BSS.

IP Multimedijški podsistem

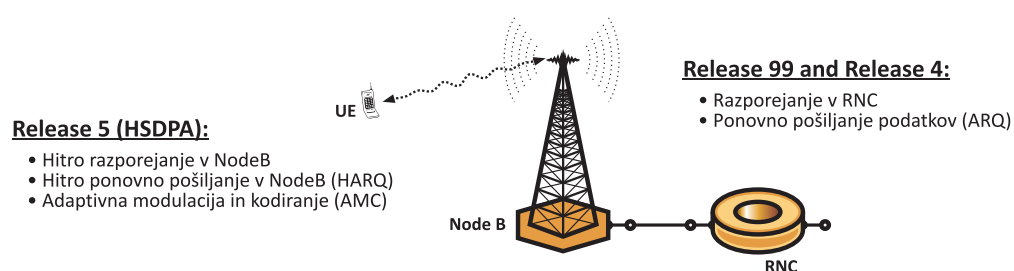
Pomemben del jedrnega omrežja CN v UMTS je IMS. Internetni multimedijški sistem IMS je pomembno za prožen in hiter razvoj ter za uvajanje novih storitev v omrežja 3G. Natančneje, IPS na osnovi IP nudi standardni okvir za uvajanje aplikacij naslednje generacije, ki vključuje široko paleto integriranih medijev, videa, besedil in podatkov.

IMS je bil uveljavljen v četrti izvedbi UMTS, v kateri so njegovo arhitekturo, da lahko zagotovi neodvisen nadzor, odvojili od dostopnega omrežja. V izvedbi UMTS 6 so IMS še razširili v smeri, da je neodvisen od dostopa do infrastrukture omrežja. Zato se lahko IMS integrira tudi v ostala dostopna omrežja, ki temeljijo na GPRS ali EDGE tehnologiji.

Standard za IMS uporablja protokol SIP (Session Initiation Protocol) za vzpostavitev IP povezav med opremo uporabnikov (na primer za govorno ali video konferenco), ali IP povezavo med UE in aplikacijskimi strežniki.

4.6 HSDPA

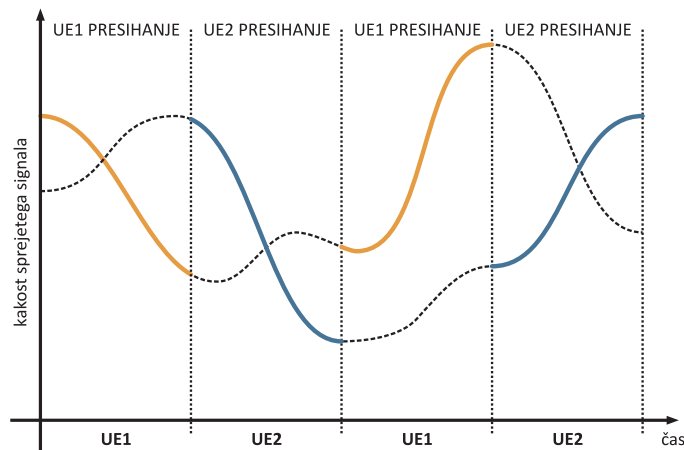
Tehnika prenosa HSDPA je bila uvedena z UMTS izvedbe 5. Z njo so znatno povečali hitrost prenosa podatkov v smeri navzdol (v smeri navzgor je prenosna hitrost ostala enaka), tako je pri njeni uporabi najvišlja teoretična prenosna hitrost bitov narasla iz 2 Mb/s na 14,4 Mb/s. Povečanje prenosne hitrosti so dosegli predvsem s spremembami v UTRAN. Med njimi je ključna premik več postopkov upravljanja radijskih virov iz RNC (kot sta predpisovali izvedba 99 in 4) v NodeB. Prednost tega premika je, da sedaj NodeB veliko "bližje" UE. Zato se sedaj lahko mnogo hitreje odziva na spremembe kakovosti radijskega kanala. Slika 17 prikazuje postopke, ki so pri HSDPA preseljeni v NodeB.



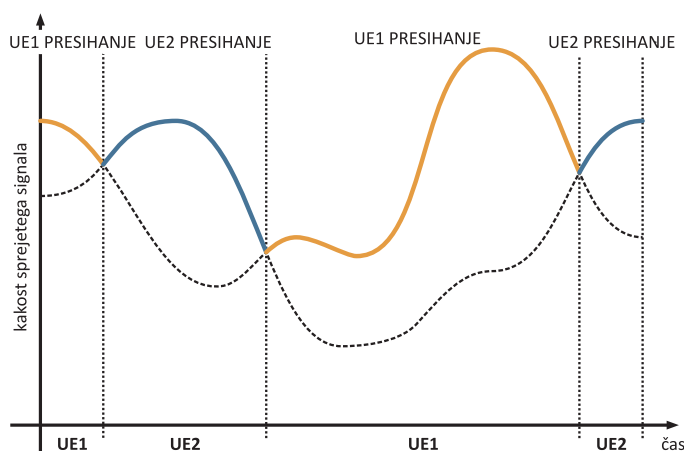
Izboljšave NodeB pri HSDPA: primerjava z izvedbo 99 in 4

Hitro razvrščanje podatkov

Pomemben vidik HSDPA je, da si večino resursov delijo aktivni uporabniki. Preostali radijski resurse so namenjeni aktivnim uporabnikom za bitni tok govora in medijskega prenosa (več je opisano v poglavju 23). Z razvrščanjem podatkov se trenutne radijske resurse NodeB razdeli med njegove uporabnike. Trajanje dodelitve imenujemo **TTI** (*Time Transmission Interval*). Znaša le 2 ms medtem kot v UMTS izvedbe 99 ali 4, kjer minimalna velikost TTI 10 ms. Zato to razvrščanje imenujemo "hitro razvrščanje" podatkov. Interval razvrščanja so lahko skrajšali, ker sedaj NodeB neposredno komunicira z UE in tako neposredno dobiva posodobitve informacij o zahtevani kakovosti radijskega kanala. Slika 18 prikazuje več strategij razvrščanja radijskih resursov za kanale navzdol.



RR RAZPOREJEVALNIK



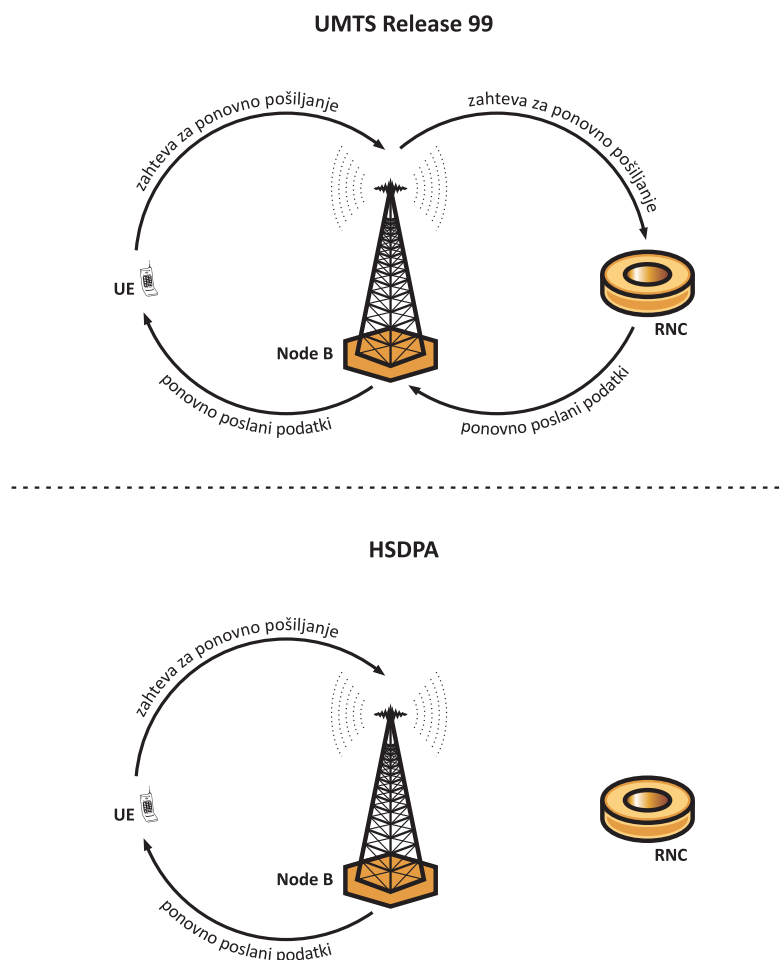
MAX C/I RAZPOREJEVALNIK

Tehnike razvrščanja v HSDPA

Najbolj enostaven in zato priljubljen algoritem razvrščanja je algoritem *Round Robin (RR)*, kjer so uporabniki HSDPA razvreščajo z enako verjetnostjo neodvisno od pogojev v prenosnem kanalu. Glavna pomanjkljivost tovrstnega razvrščanja je, da so radijski resursi slabo izkoriščeni (uporabniki s slabimi prenosnimi pogoji v kanalu ne morejo dosegati prenosnih hitrosti). Druga metoda razvrščanja je *Maximum Carrier-to-Interference ratio (Max-C/I)*. Ta vse radijske resurse dodeli uporabnikom, ki imajo najboljšo kakovost prenosnih kanalov in tako maksimira prenosno zmogljivost v celici. Tudi ta način ni dober, saj imajo uporabniki, ki so blizu NodeB prednost pred uporabniki bol na robu celice, ker ti zaradi večje prenosne razdalje dosegajo slabšo kakovost prenosnega kanala. Razumen kompromis med obema mehanizmoma razvrščanja mehanizem *Proportional Fair (PF)*. Pri njej je verjetnost, da bo UE lahko sprejemal podatke je odvisna od kakovosti kanala in količine prej prejetih podatkov. Zato se UE, ki je že dalj časa neaktiven, povečuje njegova prioriteta za sprejem podatkov.

Hitro ponovno pošiljanje podatkov

Če UE pri dekodiraju sprejetih podatkov odkrije napako, takoj zahteva njihovo ponovno pošiljanje. V prejšnjih izvedbah UMTS, je UE zahtevo po ponovnem pošiljanju podatkov poslal RNC, pri HSDPA pa se zahteva za ponovno pošiljanje razreši kar v NodeB (zato se ta procedura imenuje »hitro« ponovno pošiljanje). Princip hitrega ponovnega pošiljanja prikazuje naslednja slika.

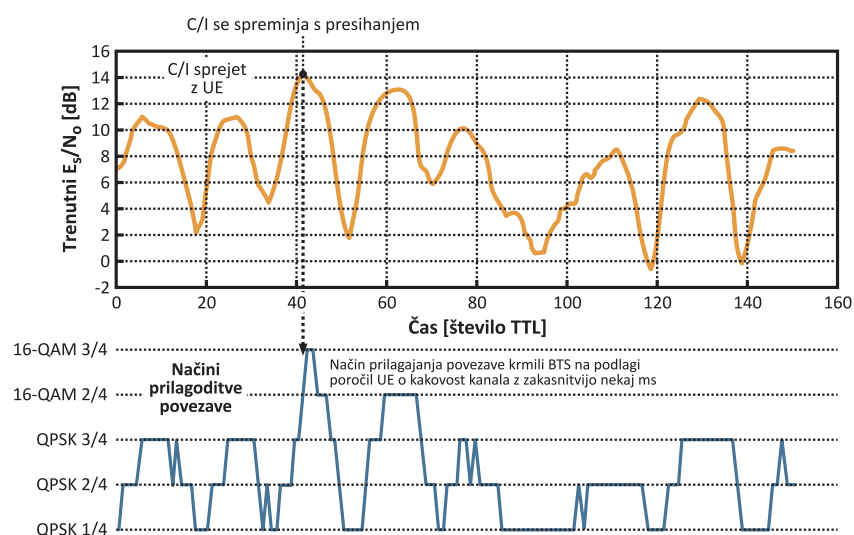


Procedura hitrega ponovnega pošiljanja podatkov pri HSDPA

Dodatna novost, ki o prinaša HSDPA, izbira mehanizma ponovnega pošiljanja. Medtem ko je v prvotni UMTS uporabljal preprosti mehanizem *Automatic Repeat request (ARQ)*, HSDPA uporablja modificirano izvedbo tega mehanizma. Imenujemo jo *Hybrid ARQ (HARQ)*. HARQ lahko začasno shrani poškodovane podatke v vmesnem pomnilniku, ki jih lahko kombinira z novo sprejetimi podatki in tako poveča verjetnost njihovega uspešnega dekodiranja. Na ta način se zelo zmanjša število ponovnih prenosov in prihrani (dragocene) radijske vire za druge prenose.

Hitro prilagajanje povezave

Prilagajanje povezave pomeni nenehno prilagajanje parametrov za radijskega kanala njegovi trenutni kakovosti. Hitro prilagajanje pravtako omogoča premik te funkcije v NodeB. V UMTS izvedbe 99 in 4 se prilagajanje povezave vrši v glavnem s hitro regulacijo moči signala. Pri HSDPA pa se v ta namen uporablja nov postopek – adaptivna modulacija in kodiranje (**AMC: Adaptive Modulation and Coding**), ki pri prenosu navzdol dinamično izbira ustrezno modulacijo in kodno shemo (**MCS: Modulation and Coding Scheme**). Ta mehanizem pri slabi kakovosti radijskega signala izbere bolj robustno shemo MCS, ki zmanjša prenosno hitrost, pri kateri lahko zagotovi nizko razmerje paketov z napakami (**PER: Packet Error Rate**). Takoj, ko se v zadostni meri izboljša kakovost radijskega kanala, to je poveča ramerje med močjo nosilnika in interferenc (**C/I: Carrier/Interference**), NodeB izbere učinkovitejšo MCS in poveča hitrost prenosa podatkov (glej sliko 20). Prilagajanje modulacij pri HSDPA je mogoče, ker ta poleg QPSK modulacij (iz prejšjih izvedb UMTS) podpira še modulacijo 16-QAM.



Hitra adaptacija radijskih kanalov pri HSDPA

Evolucija HSDPA

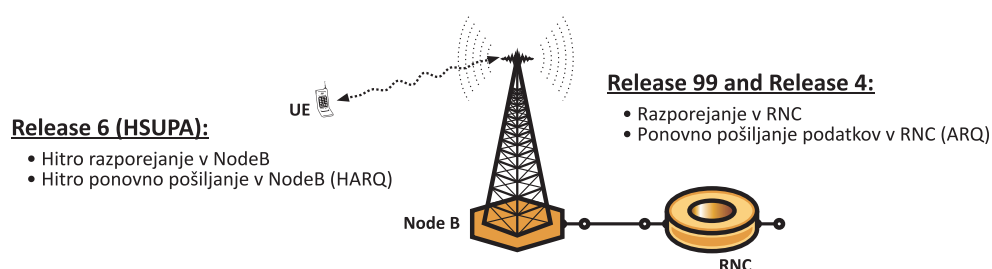
Nadaljnje izboljšave UMTS, ki omogočajo še hitrejši prenos podatkov, je prinesla izvedba 7. Ta prvič uvaja tehniko MIMO (Multi Input/Multi Output) s konfiguracijo 2×2 (podrobnejša razlaga tehnike MIMO je v poglavju 27). Z njo je največjo teoretično hitrost prenosa navzdol v celici podvojila iz 14 Mb/s na 28 Mb/s. Ta se pri uporabi modulacije 64-QAM poveča na 42 Mb/s. Izvedba 8 je vpeljala pri prenosu navzdol še princip DC (Dual Cell), to je združevanje nosilnikov (v večini primerov združuje dva nosilnika in tako poveča pasovno širino kanala na 10 MHz). S tem se največja teoretična hitrost prenosa podatkov navzdol poveča vse do 84 Mb/s.



Poudarimo: prenosne hitrosti podatkov, ki smo jih navedli zgoraj, so zgolj teoretične. V praksi je od nje dosežemo le majši del. Vzrokov je več. Prvi, je, da je maksimalne teoretične prenosne hitrosti v realnem sistemu ni ni mogoče doseči. Razpoložljiva zmogljivost ene celice je močno odvisna od kakovost radijske postaje (izkoristek MCS), največje dovoljene moči signala in režije pri prenosu podatkov, ki je potrebna za upravljanje nadzornih postopkov. Nadalje se kapaciteta celice deli med aktivne UE. Naslednja omejitev je zmogljivost UE. Uporabnikova oprema (UE) ni obvezna podpirati vseh bitnih hitrosti, ki jih zagotavlja NodeB. Rezultat vseh teh omejitev je, da današnja omrežja 3G omogočajo prenosno hitrost le nekaj Mb/s na enega uporabnika.

4.7 HSUPA

Hitri paketni prenos do uporabnika (**HSUPA: High-Speed Uplink Packet Access**) so prvič predstavili v UMTS izvedbi 6. Ta tehnika prenosa zveča najvišjo bitno hitrost v prometu navzgor na 5,76 Mb/s na celico. Medtem ko je pri HSDPA spremenjena programska oprema le za NodeB in RNC, je pri HSUPA spremenjena tudi v UE. To je razumljivo, saj HSUPA veča zmogljivosti v prometu navzgor, zato pa so potrebne nekatere spremembe tudi v UE. Prenos ponovnega pošiljanja je pri HSUPA enak kot pri HSDPA, torej analogen HARQ. Mehanizem hitrega razvrščanja pri HSUPA pa je povsem drugačen od mehanizma v HSDPA. Prilagajanje povezave k spreminjanju lastnosti prenosnega kanala se vrši s hitro regulacijo oddajnikove moči.



Izboljšave, kijih uvaja HSUPA v nodeB – primerjava z izvedbo 99 in 4

Hitro razvrščanje podatkov

Največja razlika med HSDPA in HSUPA je pri razvrščanju podatkov. Medtem kot se pri povezavah navzdol radijski resursi delijo med individualne uporabnike, se pri povezavah navzgor – te izboljšuje HSUPA – vsem uporabnikom delež resursov določa sočasno v intervalih z dolžino, ki je odvisna od zmogljivosti UE. Obvezen je interval dolžine 10 ms, kot opcija se lahko uporablja interval s časom trajanja 2 ms.

Pri HSUPA pri hitrem razvrščanju podatkov UE najprej pošlje zahtevo za dodelitev radijskih resursov za povezavo navzgor. Nanjo se nodeB odzove z dodelitvijo radijskih resursov. Razvrščanje samo pa se vrši z izboljšanim upravljanjem oddajnikove moči.



Ker UMTS za radijski prenos uporablja WCDMA, je sistem v glavnem omejen z največjo močjo oddajanja in s tem močji interference. Zato razvrščanje radijskih virov prej pomeni določitev oddajnikove moči v posameznem UE kot določitev deleža pasovne širine (maksimalno moč oddajnika v NodeB določi RNC). Zato je dodelitev radijskih virov s hitrim razvrščanjem podatkov dejansko prilagajanje oddajne moči UE glede na trenutne potrebe. Če se zahteva velika prenosna hitrost, mora UE povečati svojo oddajno moč. To pa lahko zahteva zmanjšanje oddajne moči ostalih UE, saj mora biti skupna oddajna moč vseh UE manjša od vnaprej določenega praga. Podobno lahko UE zmanjša oddajno moč (in s tem varčuje z virom energije) pri manjši količini podatkov.

Evolucija HSUPA

Tudi pri HSUPA lahko podobno kot pri HSDPA na enak način izboljšujemo zmogljivosti povezave navzgor. Med najpomembnejšimi izboljšavami je uporaba tehnike MIMO. Z njo lahko podvojimo teoretično dosegljivo prenosno hitrost na približno 11,5 Mb/s.



Kombinacijo HSDPA in HSUPA pogosto označujemo s kratico **HSPA** (*High Speed Data Access*). Kombinacijo HSDPA/HSUPA pri izvedbi 7 pogosto označujemo z HSPA+.

4.8 Storitve in diferencirana kakovost storitev

Mobilna omrežja 2G, to je GSM, nudijo storitve vodovne komutacije in preprosto pošiljanje tekstovnih sporočil (SMS) in relativno drago zmogljivost prenosa podatkov preko vodovne komutacije (CSD, HSCSD). Evolucija GSM v omrežja 2,5G (GPRS) in 2,75G (EDGE) je prinesla paketno komutirane podatkovne storitve, kot so spletni brskalnik, WAP in večpredstavnostna sporočila (MMS). GPRS in EDGE zmoreta realno prenosno hitrost do približno 50 kb/s oziroma do 200 kb/s. Tudi slednja prenosna hitrost ne zadostuje za bolj zahtevne multimedijske storitve.

Omrežja 3G, torej omrežja UMTS, ponujajo široko paleto novih storitev. Te večinoma temeljijo na podpori UMTS internetnemu prometu. Te opsegajo IP-multimedijske aplikacije, ki zahtevajo hitrosti prenosa podatkov do nekaj Mb/s. Med temi aplikacijami so pomembne oziroma popularne:

- Pretok videa na zahtevo – uporabniki lahko zahtevajo pretok filmov, glasbe, športnih dogodkov itd v UE.
- Igre v realnem času – UMTS glede na svojo izvedbo lahko podpira igranje omrežnih iger. Za igre, ki zahtevajo velike prenosne hitrosti in majhne zakasnitve se lahko igrajo le v omrežjih UMTS izvedbe 5 ali novejših.
- Prenašanje multimedijskih vsebin – uporabnik lahko enostavno nalaga glasbo v mp3 datotekah, fotografije in drugo interaktivno vsebin.
- Sporočilne storitve – med tem ko omrežja 2G omogočajo le SMS in/ali preprosta MMS sporočila, omrežja 3G podpirajo vključevanje kratkih videoposnetkov itd.
- Video telefonija in konferiranje – sočasna interakcija več mobilnih uporabnikov, ki lahko v medsebojnem komuniciranju uporabljajo govor in video.
- Storitve odvisne od lokacije – uporabnikom ponujajo navigacijske storitve kot so usmerjanje uporabnika končnemu cilju, obveščanju o zanimivih točkah v okolici kot so restavracije, športni centri, trgovski centri znamenitosti ter izboljšajo storitev v nujni.
- Pritisni za pogovor – s preprostim pritiskom na tipko lahko uporabnik takoj prične s pogovorom z drugim uporabnikom. Podobno kot pri napravah walkie-talkie.

Za zgoraj omenjene storitve v omrežju UMTS so določili diferencirano kakovost storitev. V primeru visokih obremenitev omrežja nekatere storitve, da lahko izpolnijo kakovost svoje storitve od-konca-do-konca, potrebujejo prioriteto pri prenosu podatkov. Zaradi tega omrežja UMTS uvajajo štiri razrede kakovosti storitev (glej tabelo spodaj). Razlike med njimi so v glavnem določene glede na občutljivost na zakasnitev pri dostavi paketov:

Razred storitve	Opis
Pogovorni razred	Visoke zahteve do zakasnitev, simetrični ali skoraj simetrični promet z namenskim deležom radijskih virov
Pretočni razred	V primerjavi s konverzijskim razredom manjše zahteve do zakasnitev, vendar še vedno namenski delež radijskih virov
Interaktivni razred	Visoke zahteve do zakasnitev, brez namenskega deleža radijskih virov
Osnovni razred	Nizke zahteve tako pri zakasnitvah kot deležu radijskih virov



Pogovorni razred skupaj s pretočnim razredom uporabljamo pri aplikacijah v realnem času (RT), kot sta prenos govora (pogovorni razred) ali pretok videa (pretočni razred). Interaktivni in osnovni razred sta bila določena za aplikacije, ki ne zahtevajo delovanja v realnem času. Te aplikacije pri dostopu do omrežja uporabljajo tehniko najboljšega poskusa (BE: Best Effort). Uporabljamo jih pri storitvah kot sospletne igre, lokacijske storitve (interaktivni razred) ali brskanje po svetovnem spletu (osnovni razred).

5 Evolucija LTE-A

5.1 Uvod

Naslednji korak v razvoju mobilnih omrežij UMTS so omrežja z evolucijo na dolgi rok (**LTE: Long Term Evolution**). Strategijo evolucije je opredelila skupina 3GPP v dokumentih Release 8 in 9. V primerjavi z UMTS omrežja LTE za modulacijo uporabljajo ortogonalno frekvenčno modulacijo oziroma za dostop do medija pri prenosu navzdol tehniko OFDMA in pristopa do medija pri prenosu navzgor **SC-FDMA** (*Single Carrier FDMA*). Zaradi tega se lastnosti prenosa precej razlikujejo od prenosa pri UMTS. Kljub temu se LTE še vedno upošteva del 3G sistemov, saj ne izpolnjuje zahtev, ki jih je za omrežja 4G določil ITU.

Prvi standard, ki so ga označili kot 4G je standard **LTE-A** (*Long Term Evolution - Advanced*). Po metodologiji 3GPP je standard označen z Release 10, Sprejet je bil junija 2011. Specifikacije v izvedbi 10 so evolucija specifikacij za LTE v izvedbah 8 in 9. Te temeljijo na enakih načelih kot LTE v obeh izdajah, vendar so usklajene s sklopom zahtev v IMT-Advanced, ki jih določa mednarodna zveza za telekomunikacije ITU. LTE dodaja nove funkcije in možnosti na vrhu LTE. V primerjavi z LTE so v LTE-A novosti združevanje nosilnikov, koordinacija interferenc med celicami in izboljšani antenski sistem (MIMO). Vse te izboljšave so omogočile LTE, da izpolni zahteve IMT-Advanced za mobilna omrežja 4G. Z njimi vršna prenosna hitrost podatkov sega vse do 1 Gb/s. Poleg LTE-A je bil za četrto generacijo mobilnih omrežij sprejet tudi standard IEEE 802.16m **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Ker je malo verjetno, da se bo WiMAX razširil v Evropi, se v opisih naslednjih poglavjih osredotočamo le na LTE/LTE-A. V njih je najprej kratek pregled razvoja LTE/LTE-A kot sledi iz dokumentov 3GPP Release 8, 9, 10 in 11 s poudarki na novostih gleda na omrežja 3G.

Izvedba 8

V tej izvedbi je za dostop uporabnikov do prenosa predpisana modulacija OFDMA. Dodatno lahko imajo prenosni kanali širši frekvenčni pas, v glavnem samo za povezave navzdol. Večjo pasovno širino se doseže z združevanjem radijskih kanalov (**DC: Dula Cell**). S tem pri modulaciji 64-QAM lahko prenosna hitrost za navzdol doseže 84 Mb/s.

Izvedba 9

S to izvedbo so v arhitekturo omrežij vključene tudi femtocelice, ki jih imenujemo tudi *Home eNodeB* (**HeNB**). Ta izvedba še nadalje podpira storitve **MBMS** (*Multimedia Broadcast Multicast Services*) in izboljšane storitve **LBS** (*Location Based Services*).

Izvedba 10

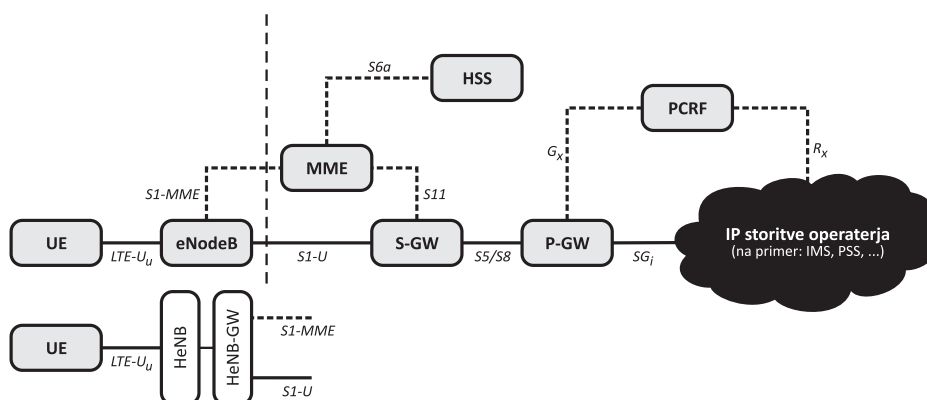
Ta izvedba je prvo omrežje 3GPP, ki izpolnjuje standard za omrežja četrte generacije (4G). Standard zajema specifikacije za združevanje nosilnikov, izboljšano MIMO povezavo za navzdol in podporo relejskim postajam. Za gosto razporeditev femtocelic je določena izboljšana koordinacija interferenc.

Izvedba 11

Ta izvedba je še vedno v razvoju. V primerjavi z izvedbo 10 se predvideva nadaljna izboljšava združevanja nosilnikov, vpeljava kooperativne večtočkovne komunikacije (**CoMP**: *Cooperative MultiPoint communication*), povečanje izkoristka spektra in energije.

5.2 Arhitektura omrežja

Arhitekturo omrežja LTE so izpeljali iz arhitekture omrežij GSM in UMTS. V nosprotju z njimi je LTE omogoča samo paketno komutacijo. Omrežje tvori, glej sliko 22, dostopovno omrežje **E-UTRAN** (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) in **EPC** (*Evolved Packet Core*).



Arhitektura omrežja LTE

Dostopovni del, E-UTRAN, sestavljajo bazne postaje, ki jih v LTE imenujemo eNodeB (ime je prevzeto iz UMTS: NodeB; dodane "e" ima pomen "evolved", torej evolucija originalne bazne postaje). Ti eNodeB skrbijo za upravljanje radijskih virov, njihovo dodeljevanje, nadzor mobilnosti, razvrščanje virov za povezave navzdol in za navzgor, šifriranje radijskega prenosa podatkov in za povezavo z **EPC** (*Evolved Packed Core*). Če omrežje uporablja tudi femtocelice so tudi te del E-UTRAN. V tem primeru se za podporo velikega števila **HeNB** (*Home eNode B*) med HeNB in EPC vstavi prehod (HeNB GW: GeNB gateway).

EPC sestavlja več entitet. Naloga prehoda **S-GW** (*Serving Gateway*) je prenos vseh IP paketov vsem uporabnikom v omrežju. Služi kot lokalno sidro mobilnosti pri izročanju med eNodeB. Prehod tudi usmerja pakete na poti iz ali k uporabnikom. Ta prehod v primeru gostovanja uporabnika tudi zaračunava promet med operaterji. Druga entiteta, MME, nadzira in upravlja signalizacijo med UE in EPC, vključno z avtentikacijo, avtorizacijo, varnostnim nadzorom, vzpostavitev povezave med UE in omrežjem, gostovanje in postopke, ki so povezani z lokacijo uporabnika. Nazadnje, prehod P-GW skrbi za dejavnosti, ki so povezane s kakovostjo storitev in upravljanjem prometnega toka. To pomeni, da prehod filtrira uporabnikov pakete, uveljavlja QoS za zagotovitev zahtevane prenosne hitrosti ali nadzira nivo storitev v povezavah navzdol in navzgor.

Poleg teh treh entitet, sta lahko del arhitekture LTE-A EPC še dve logični funkciji:

- **PCRF** (*Policy Control and Charging Rules Function*), ki določa pravila zaračunavanja in gogovor o nadzoru. Določa akcije in pravila reševanje

problemov pri nekonsistentnosti med profili QoS uporabnika in ponujene storitve.

- **HSS** (*Home Subscriber Server*), ki vsebuje informacije o naročniških razmerjih uporabnikov, kot so profil QoS ali profil gostovanja. Prav tako vsebuje informacije o uporabnikovem domačem MME (to je MME, na katerega je povezan UE).

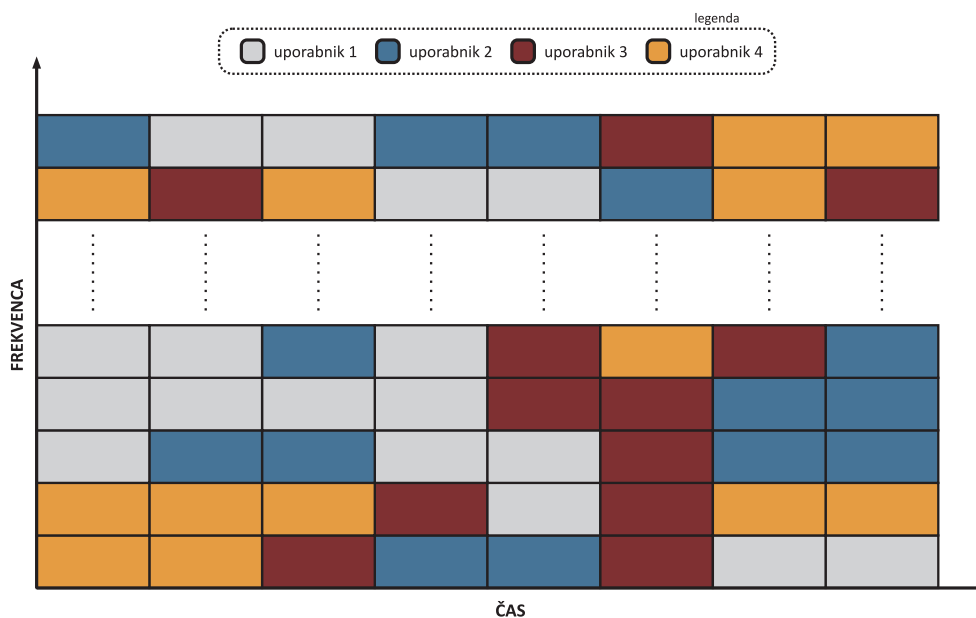
5.3 Fizična plast pri LTE/LTE-A

Fizična plast komunikacijskega modela LTE/LTE-A se razlikuje od te plasti pri UMTS. Za povezavi navzdol in navzgor določa tehniki OFDMA in SC-FDMA. Prav tako določa širše frekvenčne pasove. Teh jso do sedaj za omrežja 4G določili 25, od tega 17 parovfrekvenčnih pasov za FDD in 8 posameznih frekvenčnih pasov za TDD. Pasovi so razmeščeni pri frekvencah pod 1 GHz (700-900 MHz) ter pri 2 GHz, 2,6 GHz in pri 3,5 GHz.

Sodostop z OFDMA izkoriščanja OFDM. OFDM za prenos uporablja množico sorazmerno gosto razporejenih pod-nosilnikov, ki jih prenosnim kanalom dodeli s tehnikama FDMA in TDMA (glej sliko 23). Gosto razporeditev podnosilcev omogoča lastnost njihove medsebojne ortogonalnosti (ki odpravlja interferenco med frekvenčnimi pasovi). To pomeni, da se maksimum spektra enega podnosilca prekriva z minimumi spektrov ostalih nosilcev. Zaradi uporabe FDM in TDMA so radijski viri razdeljeni po času in frekvenci. Časovne intervale podnosilcev, ki jih določa TDMA, predstavlja simbol OFDM. Vsak simbol vsebuje modulirane podatke. Vsak simbol lahko ima drugačno modulacijo. Medsimbolno interferenco **ISI** (*InterSymbol Interference*) zmanjšamo s ciklično predpono **CP** (*cyclic prefix*) k simbolu. Ciklična predpona je v času zasukana kopija zadnjega otipka simbola. S predpono preprečujemo časovno prekrivanje simbolov.



V fizični plasti LTE/LTE-A so radijski viri, z razliko od UMTS, predstavljeni s simboli OFDMA.



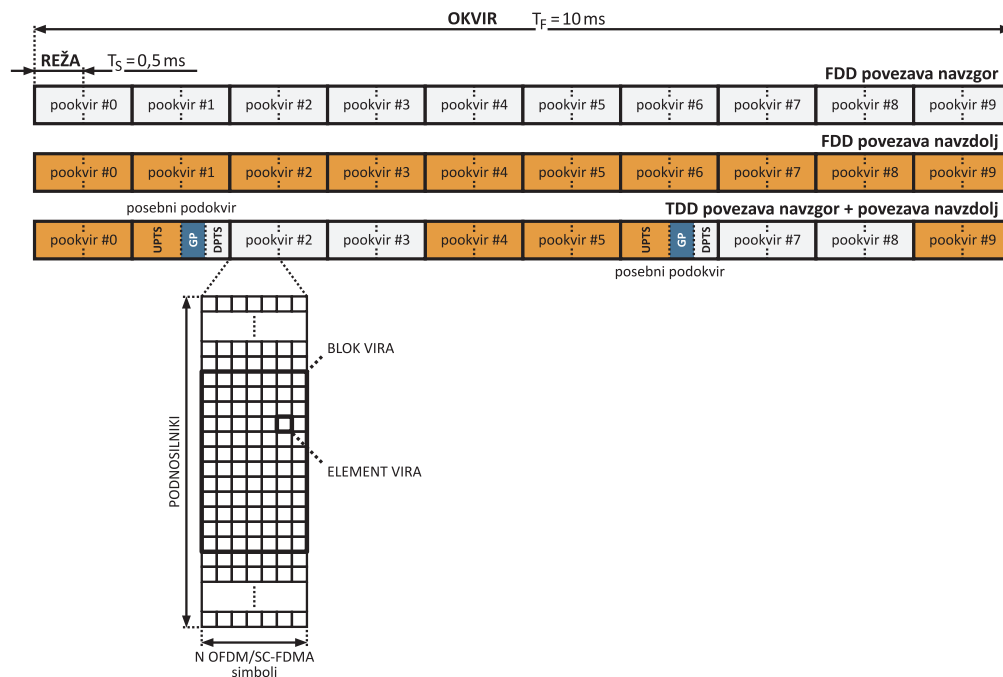
Dodeljevanje virov uporabnikom

OFDMA in dodelitev virov pri LTE/LTE-A.

Slabost OFDMA so velike razlike v moči, ki je dodeljena vsakemu podnosilniku. Ta izhaja iz neodvisne modulacije posameznih podnosilnikov. Zato se lahko zgodi, da je nekaterim podnosilnikom dodeljena velika moč, drugim pa zelo mala. To vodi k visokemu razmerju med vršno in povprežno močjo (**PAPR: Peak to Average Power Ratio**) v prenosnem kanalu. To seveda ima negativen vpliv na porabo energije. Pri SC-FDMA je PARR mnogo ugodnejši kot pri OFDMA. Zato to modulacijo uporabljamo pri kanalih navzgor. Pri SC-FDMA se vsi sočasno prenašani podatki modulirajo kot linearna kombinacija njihovih (SC-FDMA) simbolov. Zato simboli na podnosilnikih vsebujejo komponente informacij preslikanih na ostale komponente. S tem se zmanjša PAPR, kar tudi vodi k zmanjševanju interferenc med kanali in zmanjšanju potrebne energije v UE.

Omrežje LTE, podobno kot UMTS, v prenosu uporablja tehniki FDD in TDD. Zanj sta določena dva tipa fizičnih okvirov, označujemo ju »Tip 1« in »Tip 2« (glej sliko 24). Okvir Tip 1 se uporablja v FDD prenosu, tako v dupleksnem kot poldupleksnem načinu, Tip 2 pa v TDD prenosu. Dolžine okvirov in enot njegove strukture so mnogokratniki osnovne časovne enote $T_S = 1/30\,720\,000$ sekunde. Dolžina fizičnih, to je radijskih okvirov, je 10 ms oziroma $T_{frame} = 307\,200 \cdot T_S$ sekund. Vsak okvir je razdeljen na deset enako dolgih podokvirov z dolžino 1 ms. Razvrščanje v obeh smereh prenosa (navzdol in navzgor) se pri prenosu vrši na osnovi podokvirov. Vsak podokvir je razdeljen na dve reži, dolžine 0,5 ms oziroma $T_{slot} = 30\,720 \cdot T_S$. Vsak slot sestavljajo OFDM simboli, ki jih je lahko sedem (pri običajni predponi simbola) ali šest (pri razširjeni predponi simbola).

Podnosilniki v LTE/LTE-A so v frekvenčnem prostoru razdeljeni v bloke s frekvenčno širino 170 kHz, ki so jo deli 12 enakomerni porazdeljenih podnosilnikov. Frekvenčna razdalja med njimi je tako 15 kHz. Tudi LTE/LTE-A podobno kot UMTS uporablja adaptivno modulacijo in kodiranje. Izbira modulacije in kodiranja je odvisna nivoja signala. Zato je količina bitov, ki določa en simbol vira, odvisna od izbrane modulacije in kodne sheme (MCS). Pri LTE/LTE-A so na voljo tri modulacije: QPSK, 16-QAM in 64-QAM.



Struktura okvirov TDD in FDD pri LTE-A

V okviru FDD se za vsako smer prenosa uporabljajo druge frekvence. Zato lahko deset podokvirov uporabljamo za prenos navzdol (DL: downlink) in deset za prenos navzgor (UL: uplink) ter poteka prenos v obe smeri sočasno. S tem pri prenosu v obe smeri dosežemo enakomerno razporeditev radijskih virov.

V okviru TDD se v obeh smereh prenosa uporabljajo iste frekvence. Za vsako smer prenosa se lahko dodeli različno število podokvirov. Razmerja DL:UL so lahko od 2:3 do 9:1. Na splošno je lahko vsak podokvir namenjen samo prenosu navzdol (v tabeli so označeni kot D podokviri), samo prenosu navzgor (U okviri) ali kombinacija prenosov v obe smeri (specilani oziroma S okviri). Prvi in šesti podokvir sta vedno D neglede na to, kašna konfiguracija je izbrana, drugi podokvir je vedno S in tretji vedno U. Glede na trajanje preklopa med DL in UL, je lahko sedmi podokvir ali D (pri periodi 10 ms) ali S (pri periodi 5 ms). Tip ostalih podokvirov je odvisna od DL-UL konfiguracije (glej spodnjo tabelo).

Dodelitev podokvirov glede na konfiguracije DL-UL pri TDD

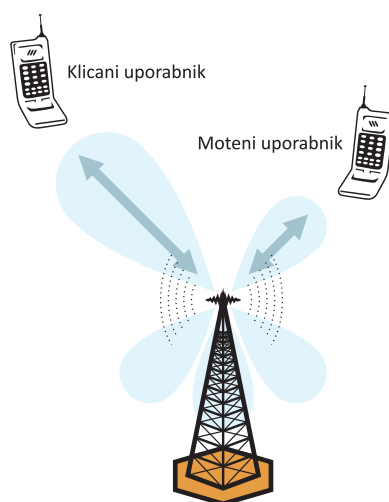
Konfiguracija DL-UL	Komutacijska erioda DL- UL [ms]	Podokvir #									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Podokvir S sestavljajo trije deli : DL del, ki ga imenujemo tudi pilotska časovna reža navzdol (DwPTS: Downlink Pilot Time Slot), črna perioda (GP: Guard Period) in UL dela, ki ga imenujemo tudi (UpPTS: Uplink Pilot Time Slot). V delu DwPTS so ponavadi podatki za DL, podobno kot pri navadnem D podokviru, le da so krajši. Njegova dolžina se giblje med 3 in 12 simbolov, glede na konfiguracijo podokvira S. V delu UpPTS sta lahko en ali dva simbola SC-FDMA, ki sta namenjena le prenosu krmilnih kanalov (ne prenašata podatkov). GP se nahaja takoj za DwPTS. V času njegovega trajanja se izvede preklon antene iz oddajnega v sprejemni režim. Zato v GP ni mogoče pošiljati podatkov. Njegova dolžina je sorazmerna času propagacije signala do roba celice, zato določa največjo velikost celice.

5.4 Oblikovanje antenskega snopa

Ko se pri radijskem prenosu uporablja le ena antena, potem prenos nekemu uporabniku povzroča interference vsem drugim uporabnikom v isti celici. V primeru, ko na oddajni strani uporabljamo več anten, lahko zmanjšamo interference z oblikovanjem antenskega snopa. Z usmerjanjem snopa k določenemu uporabniku, lahko oddajnik zmanjša velikost interferenc pri ostalih uporabnikih (ki niso v smeri antenskega snopa).

Oblikovanje in usmeritev snopa naredimo z množenjem pošljanjega signala s kompleksno utežnostno funkcijo, s katero mastavimo amplitudo in fazo signala na posameznih antenah. Za pravilno usmeritev antene mora oddajnik vedeti, v kateri smeri se oddajnik nahaja. Ko to oddajnik ve, izračuna uteži utežnostne funkcije ali pa jih izbere iz preddefinirane knjižnice kodne knjige, ki jo določa standard. Smer lahko izpeljemo iz poročil o kakovosti kanala, ki jih eNodeB zbere pri uporabnikih. Kljub temu način določevanja smeri snopa ni določana s standardi za LTE.



Princip oblikovanje antenskega snopa

5.5 Oddajanje z več antenami

Oddajanje z več antenami je tehnika, v kateri pri komunikaciji uporabljamo več kot eno sprejemno ali oddajno anteno. Z njimi ustvarimo več vzporednih komunikacijskih kanalov, s katerimi lahko dosežemo večjo prenosno hitrost. Z več antenami lahko dosežemo različno antensko ojačenje, na primer ga povečamo v smeri, od koder prihajajo signali s fadingom.

Več anten lahko namestimo samo na eni strani (samo pri sprejemniku ali samo pri oddajniku) SISO (Single input, Multiple output) ali MISO (Multiple Output/Single Output) sistem, ali na pri namestitvi več anten na obeh straneh pa dobimo MIMO (obeh straneh). Pri namestitvi samo na eni strani dobimo SIMO. Na primeru je označen kot SIMO (Multiple Input/Output Output) sistem.

Pri večantenskih sistemih se predvideva, da so pri UMTS, le dve anteni na vsaki strani, pri LTE/LTE-A pa lahko MIMO sistem vsebuje 4 do 8 anten na vsaki strani kanala. Razporeditev moduliranih podatkov (simboli) za posamezne antene se opravi z anteno blok kartiranje. Ker so prenosi razporejeni hkrati / frekvence virov, vzporedni prenos uvede motnjo. Zato napredno obdelavo signalov, je treba uporabljati na podoben način kot za oblikovanje snopa. Zato je vsak tok iz antene pomnoži z utežmi kompleksnih sprememb faze signala.

Dodelitev moduliranih signalov (simbolov) posamezni anteni vrši antenski blok preslikav. Ker oddajni signal časovno frekvenčno razporejen vsem radijskim virom, se ustvari paralelno oddajanje, ki povzroča interference. Zato je potrebna napredna obdelava signalov kot jo imamo to oblikovanju snopa. Zato je vsak tok k anteni utežen s kompleksno utežno funkcijo, ki oddajanemu signalu spremeni amplitudo in fazo.

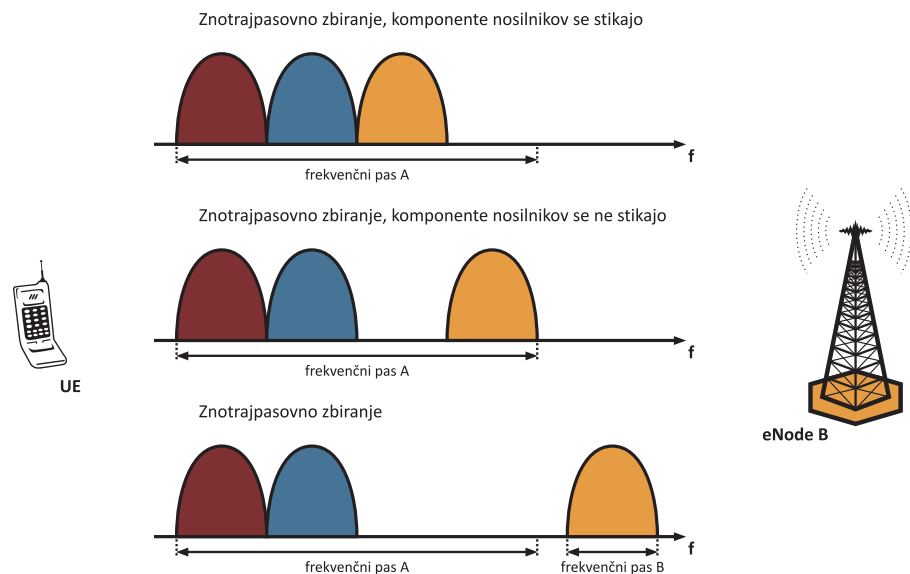
5.6 Združevanje nosilnikov

Četudi LTE-A izvedbe 10 dosega večjo spektralno učinkovitost v primerjavi s prejšnjimi izvedbami LTE, je največja prenosna hitrost 1 Gb/s, ki jo v mobilnih omrežjih zahteva IMT-Advanced v omrežjih 4G s pasovnimi širinami do 20 MHz, nedosegljiva. Za tako visoko prenosno hitrost moramo povečati pasovno širino prenosnih kanalov. Zato LTE omogoča združevanje radijskih virov in vršenje paralelnega prenosa podatkov do UE. Ta način hitrega prenosa podatkov imenujemo agregacija nosilnikov. Agregacija nosilnikov razširi zmogljivost DC tehnike, ki pri UMTS lahko podvoji pasovno širino kanala, na zdrževanje do 5 komponent za prenos navzdol in 5 komponent za prenos navzgor. Torej z agregacijo nosilnikov dobimo 100 MHz pasovne širine za vsako smer prenosa.

Združene – agregirane – komponente delimo na primarno in sekundarne. Tako ima vsako smer eno osnovno – primarno – komponento do največ štiri sekundarne komponente. Primarna komponenta je namenjena stalni signalizaciji v času mirovanja prenosa, sekundarne pa se uporabijo za povečanje pasovne širine samo pri prenosu podatkov. Določitev, katera komponenta bo primarnih in katere bodo sekundarne, je odvisna od UE. Zato se razporeditev komponent med primarno in sekundarne razlikuje od UE do UE.

Pri dodeljevanju nosilnikov UE ni potrebno, da so ti »frekvenčni sosedje«. Možne so tri vrste združevanja nosilnikov (slika 26):

- Agregacija sosednjih nosilnikov znotraj pasu – to je najlažji način združevanje nosilnikov, saj je združen frekvenčni pas iz UE videti kot en element. Zato v tem primeru ni posebnih zahtev tako za UE kot za HeNB (ne potrebujejo dodatnih oddajnikov ali sprejemnikov).
- Agregacija nesosednjih nosilnikov znotraj pasu – v takih primerih signal več ne moremo obravnati kot en prenos. Zato je za prenos potrebnih več oddajnikov in sprejemnikov. To seveda poveča ceno opreme.
- Agregacija nosilnikov v različnih pasovih – podobno kot prej, moramo zaradi razlik v frekvenci nosilnikov pri prenosu uporabiti več oddajnikov in sprejemnikov.



Vrste agregacije nosilnikov

Vsi UE, ki podpirajo združevanje nosilnikov, lahko dostopajo do vseh komponent hkrati. Če UE tega ne podpira, še vedno lahko dostopa do vsakega nosilnika posebej, na običajen način LTE. Tako so zagotovili kompatibilnost med obema sistemoma prenosa.



Združevanje – agregacija – nosilnikov je na voljo tako pti TDD kot pri FDD načinu prenosa. Seveda pa je možno le znotraj enega načina prenosa. Pri TDD morajo podokviri biti enako konfigurirani za obe smeri prenosa, med tem kot pri specilanih podokvirih so lahko konfigurirani različno za vsako komponento.

5.7 Storitve in aplikacije v LTE/LTE-A

Podobno kot predhodna mobilna omrežja tudi omrežja LTE/LTE-A omogočajo različne aplikacije z različnimi nivoji QoS (kot os pogovor, nalaganje podatkov s FTP ali video konference), ki potekajo istočasno. Jasno je, da pogovor in video konference zahtevata manjše drhtenje zakasnitve kot so lahko te pri nalaganju podatkov s FTP. Po drugi strani, se FTP pri zmanjša čas prenosa datotek, če je na voljo večja zmogljivost prenosa in in manjše razmerje napak med prenosom podatkov. Da ustreže tako različnim kakovostnim zahtevam, lahko v LTE-A določimo več različnih nosilcev, ki izpolnjujejo različne zahteve. Za razlikovanje posameznih zahtev LTE-A uvaja identifikator kakovosti (**QCI: QoS Class Identifier**). QCI določa devet razredov glede na niz štirih prenosnih parametrov (glej spodnjo tabelo).

Identifikator kakovosti pove, ali je na voljo zagotovljena hitrost prenosa (**GBR: Guaranteed Bit rate** – zjamčena bitna hitrost) ali ne (Non-GBR). Za GBR se v prenosnem sistemu rezervira določen, fiksni del radijskih storitev. Za ta del prenosne zmogljivosti ni nujno, da se neprestano uporablja. Za Non-GBR storitve so na voljo prenosni viri, ki niso rezervirani za GBR. Ta vrsta storitev ne zagotavlja nobene bitno hitrost. Na začetku take storitve se sicer nastavi največja pričakovana bitna prenosna hitrost te storitve, ta pa se kasneje v odvisnosti od obremenitve omrežja.

Drugi pomemben parameter določa prioriteto paketov. Ta vpliva na prednost pri obdelavi. Na primer, v preobremenjenem vozlišču se pakete z višjo prioriteto razvrsti pred paketi z nižjo prioriteto.

Naslednji parameter je zakasnitev paketov. Podaja največjo zakasnitev paketa pri dani QCI.

Zadnji parameter, razmerje paketov z napakami, je povezan s pogostostjo izgube paketov zaradi napak v paketih, ki so nastale med prenosom. Predstavlja količino izgubljenih paketov ali paketov, v katerih so bile pri sprejemu odkrite napake, onemogoča njegovo nadaljnjo obdelavo.

Service classes in LTE-A

QCI	GBR / Non-GBR	Prioriteta	Zakasnitev paketov	Razmerje izgube paketov	Primer storitev
1	GBR	2	100	10^{-2}	pogovor
2	GBR	4	150	10^{-3}	Video pogovor
3	GBR	5	300	10^{-6}	Pretok videa
4	GBR	3	50	10^{-3}	Igre, igranje v realnem času
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	Signalizacija
6	Non-GBR	7	100	10^{-3}	Govor, video (pretok v živo)
7	Non-GBR	6	300	10^{-6}	Video (pretok z izravnavanjem)
8	Non-GBR	8	300	10^{-6}	WWW, FTP, elektronska pošta, mail, sporočanje
9	Non-GBR	9	300	10^{-6}	Enako kot pri QCI 8, vendar z nižjo prioriteto

5.8 Femto celice

Mnogo študij uporabe mobilnih omrežij kaže, da se večina prometa ustvari v prostorih (stanovanjih, pisarnah itd). Omrežja 4G ne delujejo le v (relativno) nizkih frekvenčnih pasovih (npr. na 800/900 MHz), ampak tudi na frekvencah nad 2 GHz. Signali z višjimi frekvencami imajo pri svojem širjenju skozi prostor večje slabljene kot signali pri nižjih frekvencah. Ta razlika še posebej naraste pri širjenju v stavbah. Zato v njih mnogokrat ni mogoče doseči zadostno kakovost signala za njegov sprejem. Te težave se lahko rešijo z gradnjo femto celic (v LTE-A jih označujemo s HeNB), s katerimi povečamo prepustnost omrežja uporabnikom znotraj stavb, hkrati pa makro celice razbremenimo povezav s slabo kakovostjo.



Femto celica je poceni bazna postaja, ki je nameščena v hišah ali poslovnih prostorih. S hrbteničnim omrežjem (internetom) je povezana z žično povezavo, kot sta **DSL** (*Digital Subscriber Line*) ali optično vlakno. Z njo je femtocelica povezana strežnikom ali drugim uporabnikom in obratno. Oddajnikova moč femto celice po navadi zadošča le za pokrivanje manjšega notranjega prostora, v katerem zagotovi zadostno kakovost signala.



Največja moč oddajnika v femto celici je do 21 dBm. Zato je območje femto celice veliko le nekaj deset metrov

Femto celice ponujajo tri tipe dostopa:

- **Odperti dostop:** vsi uporabniki v območju femto celice se lahko povezujejo v njo. Radijski viri kot zmogljivost hrbtenice se deli enakopravno med vse uporabnike femto celice. Prednost odprtega dostopa je razbremenitev sprostitev makro celice uporabnikom, ki se nahajajo v območjih z veliko prometa ali krajevno zelo oddaljenim uporabnikom. Slabost uporabe večjega števila femtocelic pa je povečanje obremenitve mehanizma izročanja uporabnikov med femtocelicami ali femto in makro celico.
- **Omejeni dostop:** femto celice z omejenim dostopom so na voljo le uporabnikom, ki so vpisani na seznam skupine bižnjih uporabnikov (**CSG: Close Subscriber Group**) za to celico. Seznam upravlja naročnik, torej uporabnik, ki je zadolžen za femto celico. V femto celice z omejenim dostopom je ponavadi vključeno štiri do osem uporabnikov. Zato je tem zagotovljena visoka kakovost radijskega dostopa kot tudi povezave z internetom. Po drugi strani lahko femtocelica vsem na njenem območju in ki niso vključeni v njo, povzroči precejšnje interferenčne motnje.
- **Hibridni dostop:** hibridni dostop je kombinacija odprtega in omejenega dostopa. Pri tem dostopu imamo seznam uporabnikov, za katere je vedno rezerviran del kapacitet tako radijske kot hrbtenične povezave. Preostale radijske in hrbtenične zmogljivosti se lahko delijo med ostale uporabnike.

Glavni problem pri uporabi femto celic so interference. Te pri femtocelicah lahko razdelimo na na intereference, ki jih povzročijo femto celice uporabnikom makro celice (križne interference) in interference med femto celicami (so-motnje). Raven negativnih vplivov interferenc je odvisna tudi od dodelitvi radijskih virov med femto in makrocelicami. Te lahko dodelimo na dva načina:

- So-kanalna razporeditev: pri njej se prekrivajo frekvenčni pasovi femto in makro celic. V tem primeru lahko interference zmanjšamo z regulacijo moči oddajnika femtocelice ali z dodeljevanjem radijskih virov.
- Ortogonalne (ali namensko) razporeditev kanalov: pri njej imajo femto in makrocelice različne nosilnike. Zato pri njih križne interference odstranjene. Slaba stran tega je, da ni mogoča ponovna uporaba frekvenčnih pasov ter je zato slabša izkoriščenost radijskih virov.

5.9 Relejske naprave

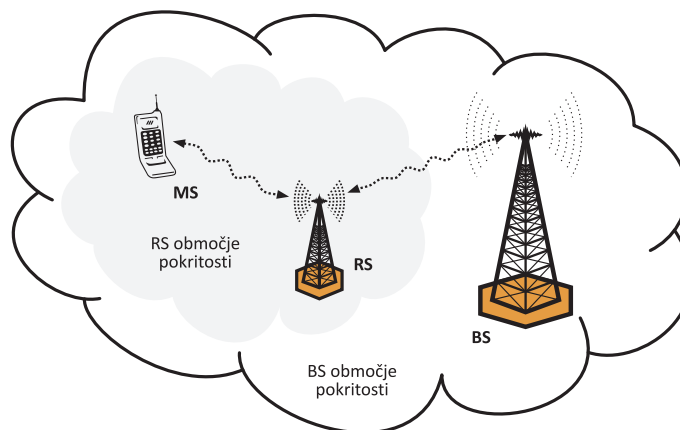
Poleg femto celic imajo omrežja 4G še relejne naprave. Na splošno so to poenostavjeni (in zato poceni) eNodeB, ki prenašajo podatke iz (prave) eNodeB do uporabnika. Tako je lahko izmenjava podatkov med UE in omrežjem poteka preko ene ali več relejskih naprav.



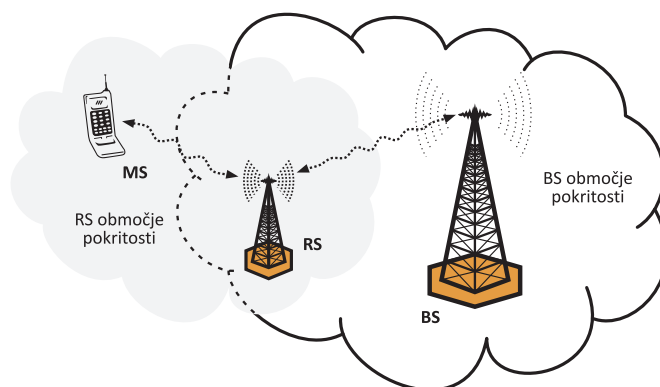
Vsak komunikacija med dvema napravama (na primer, med EU in relejsko napravo, med relejskima napravama, med relejsko napravo in eNodeB itd) je ena etapa na komunikacijski poti. Zato komunikacijo preko relejnih naprav imenujemo večetapna komunikacija.

Relejske naprave se lahko uporablja za povečanje območja, ki ga s signalom pokriva en eNodeB ali za povečanje prepustnosti na določenem območju, slika 27. Ko z relejskimi napravami želimo povečati prepustnost znotraj celice, jih namestimo v območju, ki ga pokriva eNodeB. Prepustnost se poveča, ker se z namestitvijo relejskih naprav zmanjša razdalja med komunikacijskimi vozlišči in s tem poveča nivo signala. Ko želimo povečati območje celice, relejske naprave namestimo blizu roba originalne celice, ki jo pokriva eNodeB. Relejska naprava je lahko nameščena tudi izven roba celice, kot ga zaznavajo UE. Vendar mora v tem primeru biti nameščena tako, da je med relejsko napravo in eNodeB vidna razdalja in je zato med njima kakovostnejši signal kot bi bil med UE in eNodeB.

Relejske naprave so, v nasprotju s femto celicami, v celoti pod nadzorom ponudnika omrežja. Njihova povezava z omrežjem je izvedena preko radijskih kanalov, ki jih eNodeB zagotavlja uporabnikom.



a) Izboljšana prepustnost



b) Razširitev območja pokritosti

Namestitov ter namen relejnih naprav

Releje lahko razlikujemo glede na njihovo mobilnost na:

- Fiksne reljne naprave – te so stalno nameščene na istem kraju. Nihove specifikacije so določene v LTE-A izvedbi 10.
- Mobilne reljene naprave – za te se predpostavlja da so nameščene na vozilih, kot so avtobusi ali vlaki. Za te relejske naprave se predpostavlja, da med svojim premikanjem zmorejo vršiti pogoste izročitve med eNodeB tudi če relejska naprava streže mnogim UE. Specifikacije za mobilne reljne naprave bodo vključene v LTE-A izvedbe 11.

6 Ad hoc omrežja

6.1 Ad hoc omrežja

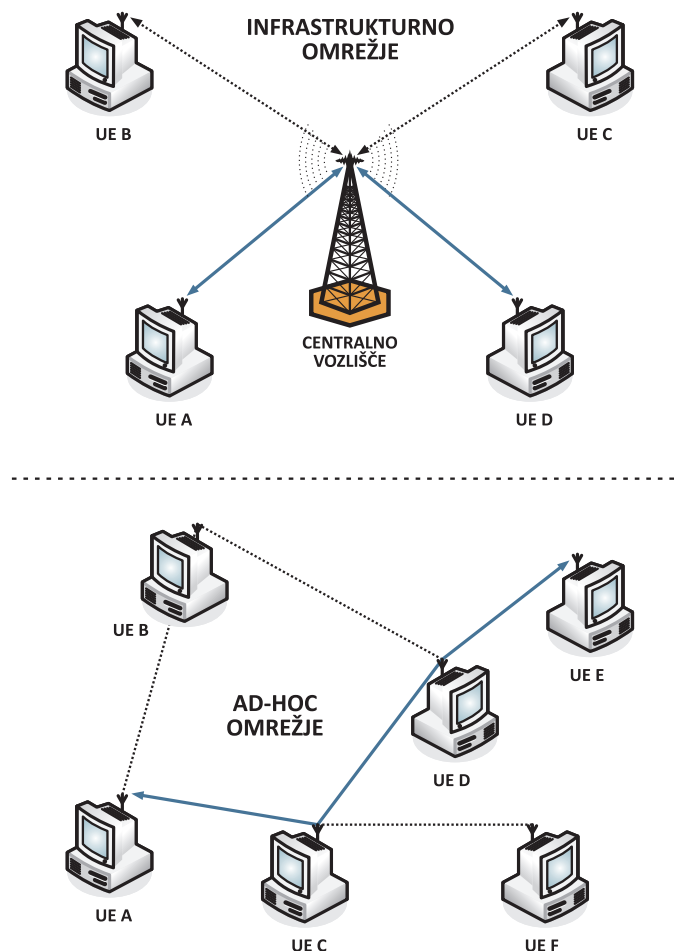
Glavna značilnost topologije ad hoc omrežja je, da nima osrednje krmilne enote, kot ga imajo infrastrukturna omrežja. To pomeni, da mobilna omrežja nimajo bazne postaje (ki bi vršila nadzor in upravljanje omrežja), kot jih imajo GSM, UMTS, LTE ali nimajo dostopne točke do omrežja, kot ga ima brezžično računalniško omrežje **WiFi** (*Wireless Fidelity*, omrežja po standardih ISO 8802.11). Mobilne postaje v celičnih omrežjih so s stališča dostopa podrejene postaje. Same skrbijo le za svojo povezavo z bazno postajo. V nasprotju s tem morajo v ad hoc postajah biti mobilne postaje medsebojno enakopravne in morajo biti sposobne direktne medsebojne komunikacije. Poudarimo še, da je obstoj ad hoc omrežja časovno omejeno in ne trajno, kot so infrastrukturna omrežja.



Ime »ad hoc« je vzeto iz latinščine. Dobesedni prevo je »s tem« oziroma pomeni, da je nekaj narejeno brez planiranja.

Začetno ozadje razvoja ad hoc omrežja je bila povezava večjega števila UE, ki so medsebojno oddaljeni za razdalje z možno direktno medsebojno komunikacijo (to je tudi definicija ad hoc WiFi omrežij). Z drugimi besedami, v ad hoc omrežje se lahko poveže le tista uporabniška oprema (UE), ki se nahaja dovolj blizu, da si lahko medsebojno izmenjuje podatke.

Novi trend v telekomunikacijah je omogočiti mobilnost vsem uporabnikom v omrežju. To pri direktnih povezavah med uporabniki lahko povzroča pogosto spreminjanje topologije mobilnega omrežja – ta se spremeni, takoj, ko nek UE ni več dosegljiv. S časom so razvili omrežja, ki podpirajo ad hoc delovanje in mobilnost uporabnikov. Taka omrežja imenujemo mobilna ad hoc omrežja, oziroma zanje uporabljamo kratico **MANET** (*Mobile Ad Hoc Network*). Odlika omrežij MANET je dovoljena mobilnost in komuniciranje preko več etap. Zato lahko sta lahko vir in prejemnik podatkov v omrežju MANET, podobno kot releji v omrežjih LTE-A, medsebojno komunicirajo, četudi ni med njima ni mogoče vzpostaviti neposredne zveze. Podatki med njima potujejo preko sosednjih postaj, ki so v medsebojni komunikacijski zvezi. Primerjava topologije ad hoc in infrastrukturnih omrežij prikazuje slika 28.



Primerjava topologije ad hoc in infrastrukturnih omrežij

Prednosti in slabosti ad hoc omrežij v primerjavi z infrastrukturnimi omrežji so:

+

- Preprostost izgradnje omrežja, saj ad hoc omrežja nimajo centralnih vozlišč.
- Ni potrebna prisotnost zunanjih omrežij.
- Enostavna postavitve, konfiguracija in instalacija.
- Poceni in hitro širjenje omrežja, ko je to potrebno.

—

- UE lahko komunicirajo z drugim UE, ki se nahaja v komunikacijski razdalji (velja le za ad hoc omrežja z eno dovoljeno etapo in temeljijo na standardu za Wi-Fi).
- Ker vse mobilne postaje delujejo na isti frekvenci, lahko nastanejo močne interference.

- Pogosto spreminjanje topologije zaradi mobilnosti uporabnikov in nujnost spremljanja razpoložljivih poti med posameznimi UE zahteva veliko režijo pri prenosu podatkov (velja le za MANET).
 - Omejitve moči.
 - Varnostni problemi in zaščita pred različnimi napadi.
-

Ad hoc omrežja, posebej MANET, uporabljamo na različne načine:

- Vojaške komunikacije
- Nujne storitve (kot so iskalne in reševalne akcije, nesreče, policijske in gasilske intervencije)
- Gospodarstvo in družbeni dogodki (dinamični dostop do baze podatkov, mobilne pisarne, športni stadion, sejmi, itd)
- Domača in poslovna omrežja (domača/pisarniška brezžična omrežja, konference, sejne sobe, osebna omrežja, gradbišča itd).
- Izobraževanje (univerze, fakultete, navidezne učilnice)

Za upravljanje komunikacije v ad hoc omrežjih in za spopadanje z njenimi številnimi izzivi, morajo imeti uporabnikove naprave instalirane protokole za brezžični **MAC** (*Medium Access Control*) in usmerjanje (v primeru MANET). Opisani bodo naslednjih poglavjih.

6.2 Protokoli MAC

Pri ad hoc omrežij je zelo pomembna izbira ustreznega protokola za dostop do radijskega omrežja MAC. Pri njegovi izbiri glavni izziv preprečevanje trkov sporočil in dobra izraba radijskega kanala. Protokole MAC lahko razdelimo deterministične in nedeterministične:

- Deterministični protokoli – Pri njih UE nimajo pravice tekmovati za dostop do prenosnega medija. Namesto tega se uporabljajo krmilni mehanizmi kot so TDMA, FDMA CDMA, zaporedno klicanje ali podajanje žetonov. Glavna prednost teh mehanizmov je, da pri njih ni trkov med sporočili in da zato lahko jamčimo velikost zakasnitev od-konca-do-konca ter druge specifične zahteve QoS.
- Nedeterministični protokoli – Pri teh dostopih UE medsebojno tekmujejo za dostop do medija. V bistvu vse tehnike nedeterminističnega dostopa do medija temeljijo na protokolih ALOHA in ALOHA z rezo. Pri ALOHA protokolu UE prične oddajati tako, ko ima podatke, ki jih želi poslati. Če dve UE pošljeta podatke sočasno, se zgodi trk signalov, ki prepreči pravilno pošiljanje. Ta problem delno reši protokol ALOHA z rezo, kjer oddajanje dovoljeno le v predpisanih (in sinhroniziranih) intervalih.

V sodobnih brezžičnih omrežij, kot je na primer WiFi, se za dostop do medija najpogosteje uporabljajo metode, ki temeljijo na **CSMA** (*Carrier Sensing Multiple Access*). Kot že ime pove, UE najprej "posluša" medij, ali je ta že zaseden s pošiljanjem podatkov. Ko je medij prost, prične s svojim pošiljanjem. S poslušanjem se zelo zmanjša verjetnost trka, povsem odpravi pa ne. Za njihovo razreševanje so razvili različne metode, med katerimi se najpogosteje uporabljata **CSMA-CD** (*CSMA – collision detection*) in **CSMA-CA** (*CSMA – collision Avoidance*).

6.3 Usmerjevalni protokoli

Osnovni gradnik omrežij MANET so usmerjevalni protokoli. Obstaja velika množica teh protokolov. Pri svojem delovanju – izbiri optimalne poti skozi omrežje – upoštevajo različne metrike (kriterije). Na splošno so vse usmerjevalnih protokolov zajema tri osnovne mehanizme:

- Odkrivanje poti – Ta mehanizem išče optimalno pot med dvema postajama, ki si izmenjujeta podatke. Najbolj razširjeni način iskanja je tako imenovani algoritem preplavljanja. Pri njem postaja, ki želi poslati pakete, pošilja pakete **RREQ** (*Route Request*). Ti potujejo po vseh možnih poteh. Ko prvi prispe do ciljne postaje (kateri se želi poslati podatke), se ta odzove s paketom **RREP** (*Route Response*) in ga pošlje po poti, po kateri je prispel RREQ, in poslal nazaj na postajo vira. Pri tem je glavni problem, kako najti optimalno pot pri minimalni signalni režiji.
- Izbira poti – med odkritjem poti se lahko odkrije več uporabnih. Zato je glavni cilj izbirnega mehanizma, da izmed njih izbere najprimernejšo pot za prenos. Izbira poti lahko temelji na različnih metrikah, kot so zmogljivosti povezav, število etap na poti, zanesljivost in stabilnost povezave itd.
- Vzdrževanje poti – Ko se izbere ustrezna pot skozi omrežje, je treba zagotoviti, da se bo ta pot ohranila vsaj tako dolgo, dokler bosta postaji, ki ju pot povezuje, medsebojno komunicirali. Zaradi mobilnosti uporabnikov se lahko neprestano spreminja topologija omrežja. Zato je cilj vzdrževanja, da se najde nova pot za usmerjanje paketov, ko stara ni več na voljo.

Vrste usmerjevalnih protokolov

Usmerjevalne protokole lahko glede princip delovanja in uporabe razdelimo v več skupin. Največ usmerjevalnih protokolov temelji na topologiji. Ti ob vsaki spremembi topologije izberejo novo pot skozi omrežje. Tovrstne protokole delimo na:

- Proaktivne – Proaktivni protokoli periodično posodabljaajo podatke o trenutni topologiji omrežja. Vse informacije o topologiji so zapisane v usmerjevalnih tabelah, zato jih imenujemo tudi tabelno gnani protokoli. Njihova prednost je, da ko potrebujemo ustrezno pot, je ta že znana. Zato pri njih ni zakasnitev zaradi iskanja optimalne poti. Njihova slaba stran je, da je potrebno veliko signalizacije, da se vzdržuje tabela z ažurnimi podatki o topologiji omrežja. Proaktivno protokoli so v glavnem uporabni pri manjših omrežjih z majhno mobilnostjo uporabnikov. Najbolj znani tovrsti protokoli so **DBF** (*Distributed Bellman-Ford*), **DSDV** (*Distance Source Distance Vector*), **WRP** (*Wireless Routing Protocol*) in **OLSR** (*Optimized Link State Routing*).
- Reaktivne (znani tudi kot protokoli "na zahtevo") – ti protokoli vzdržujejo informacije o posameznih poteh le med izmenjavo podatkov. Izbira nove poti pa se aktivira tik pred prenosom podatkov. S tem se zmanjša režija signalizacije in se varčuje z radijskimi viri. Slaba stran so lahko zakasnitve, ki nastanejo pri iskanju novih poti. Med reaktivnimi protokoli so zelo znani **DSR**

(*Dynamic Source Routing*), **AODV** (*Ad-hoc On Demand Distance Vector*) ali **SSR** (*Signal Stability Routing*)

- Hibridne – Ti protokoli združujejo prednosti proaktivnih in reaktivnih protokolov. Med njimi so najbolj znani **ZRP** (*Zone Routing Protocol*) in **ZHLS** (*Zone-based Hierarchical Link State*).

Poleg protokolov na osnovi topologije obstajajo še drugi protokoli. Na primer protokol **DREAM** (*Distance Routing Effect Algorithm for Mobility*), ki pot izbere glede na pozicijo, ali pa protokol **CPC** (*Cluster Power Control*), ki pot izbere glede na varčevanja z energijo v akumulatorjih.

6.4 Varnost

Varnost je še en pomemben vidik uporabe ad hoc omrežij. Ta nimajo varnostne infrastrukture. Napade na ad hoc omrežja lahko razdelimo v dve skupini: na pasivni in aktivni. Medtem ko je pri pasivnih napadih običajno prisluškovanje, lahko aktivni napadi povzročijo spremembe ali celo izbris izmenjanih podatkov. Najpogostejši napadi na omrežja ad hoc so naslednji:

- **DDoS** (*Distributed Denial of Service*) – Porazdeljeno zavračanje storitev najpogosteje povzročijo z namernim motenjem komunikacij in s tem preprečijo delovanje omrežja.
- **Lažno predstavljanje** – Napadalec skuša pridobiti dostop do omrežja kot glavni uporabnik omrežja s ciljem dostopa ali uničenja podatkov.
- **Razkritje** – Napadalec s prisluškovanjem pridobi zaupne informacije in jih izkoristi za druge napade.
- **Napad na usmerjanje** – Varovanje usmerjanja je zaradi ad hoc narave omrežja zelo zahtevno opravilo. Če napadalec v omrežje vrine zlonamerno vozlišče, lahko selektivno uzposča posamezne komunikacije (selektivni napad na predajanje sporočil), zavrže vse pakete (napad s črno luknjo).

Komunikacijo smatramo za varno, če zagotovi naslednje:

- **Razpoložljivost** – Jamstvo, da komunikacija ne bo motena zaradi napadov DDoS.
- **Avtentikacija** – Preden se lahko uporabnik vključi v ad hoc omrežje, se preveri njegova istovetnost (zaščita pred oponašanjem).
- **Zaupnost** – jamstvo, da so podatkovni paketi zaščiteni pred zlorabo.
- **Integriteta** – Jamstvo, da se podatki med prenosom niso spremenili.

Običajne metode za zavarovanje komunikacije v omrežju uporabljajo simetrične ali asimetrične metode šifriranje. Asimetrične metode zahtevajo certifikat, ki ga je v ad hoc omrežjih, ki nimajo infrastrukture, težko zagotoviti. Četudi v ad hoc omrežjih lahko zagotovimo varno certificiranje, so razvili algoritem usmerjanja **TIARA** (*Technique for Intrusion Resistant Ad hoc Routing Algorithm*), ki je odporen na vdore v ad hoc omrežja. Poleg njega je znanih še več drugih algoritmov za varno usmerjanje, na primer **SRP** (*Secure Routing Protocol*) ki temelji na DST ali **SAODV** (*Secure AODV*).

6.5 Tehnologije ad hoc omrežij

Najbolj razširjena brezžična ad hoc omrežja so WiFi in Bluetooth omrežja, ki temeljita na standardih IEEE 802.11 in IEEE 802.15.1.

WiFi

Brezžično omrežje WiFi se uporablja predvsem za lokalna omrežja z dosegom do največ 100 metrov. Omogoča hiter dostop do interneta. Uporablja se predvsem domačem okolju, pisarnah nakupovalnih centrih itd. Prenosne hitrosti pri WiFi so odvisne od standarda, ki ga oprema podpira. Še vedno se najpogosteje uporablja standard IEEE 802.11g, ki omogoča prenosno hitrost do 54 Mb/s, novejši standard IEEE 802.11n pa do 300 Mb/s.

Prednost omrežij WiFi je predvsem v nizkih stroških in delovanje v prostih frekvenčnih pasovih ISM (industrija, znanost in medicina) na 2,4 GHz in 5 GHz.

- 2,4 GHz – Večina Evropskih držav uporablja 13 frekvenčnih kanalov s pasovno širino 22 MHz. Razvrščeni so med frekvencama med 2,4 GHz in 2,484 GHz. V ameriki je dovoljenih le 11 frekvenčnih kanalov, ki se delno prekrivajo. Tako so samo trije kanali, ki se medsebojno ne motijo.
- 5 GHz – Ta frekvenčni pas je razdeljen na tri podpasove:
 - 1. podpas (5150 – 5250 MHz) – uporablja znotraj stavb
 - 2. podpas (5250 – 5350 MHz) – uporablja znotraj stavb (v EU morajo naprave, ki delujejo v tem pasu, sposobne regulirati oddajno moč ali preklopiti v drugi frekvenčni pas, če se pojavijo interference z radarji)
 - 3. podpas (5725 – 5850 MHz) – pri uporabi veljajo enaka pravila kot za drugi podpas

Ker so WiFi omrežja zelo razširjena, so dodeljeni radijski kanali pogosto preobremenjeni. Zato je bilo določenih veliko sprememb v optimalno delitev radijskih kanalov in dostopa do njih. Zato je vloženega veliko navora v razvoj novih različic WiFi, ki imajo izboljšane rešitve izogibanja kolizijam, večjo prepustnost in prenosno zmogljivost (trenutno so že komercialno dosegljive WiFi naprave skladne s standardom IEEE 802.11 ac s prenosno hitrostjo do 1 Gb/s).

Vse naprave, ki temeljijo na IEEE 802.11, morajo imeti certifikat o kompatibilnosti s standardom. Podeljuje ga združenje, ki se je do leta 2002 imenovalo **WECA** (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), sedaj pa se imenuje WiFi Alliance

Standard IEEE 802.11 določa funkcije in izvedbe fizičnih plasti in podplasti MAC. V podplasti MAC so specifikacije mehanizma dostopa do prenosnega medija, fragmentacije in defragmentacije podatkovnih paketov, zgradbe krmilnih okvirov itd. Standard določa več fizičnih plasti. Medsebojno se razlikujejo v uporabljenih tehnikah modulacij (modulacije z razprševanjem spektra s frekvenčnim skakanjem ali z direktnim razprševanjem, OFDM). Kot smo že

omenili, WiFi omrežja lahko imajo infrastrukturna ali ad hoc topologijo, opcijsko tudi topologijo zazankanih omrežij, ki jih opisujemo kasneje.

Bluetooth

Bluetooth je osebno brezžično omrežje. Zanj je značilna mala moč oddajnika in nizka cena. Prvotni namen je bil z njim nadomestiti žične povezave med napravami kot so mobilni telefoni, slušalke, prenosni računalniki, miške itd.

Osnovna prenosna hitrost v omrežjih Bluetooth je do 1 Mb/s, to so v verziji Bluetooth 2.0 z **EDR** (*Enhanced Data Rates*) povečali na do 3 Mb/s, v verziji Bluetooth 3.0 + **HS** (*High Speed*) povečali na 24 Mb/s. Ta verzija lahko deluje tudi v frekvenčnih pasovih WiFi. Zadnja verzija, Bluetooth v4.0 se osredotoča na zmanjšanje porabe energije. Zato jo imenujemo tudi verzija **LE** (*Low Energy*).

Vse različice Bluetooth uporabljajo modulacijo z razprševanjem spektra, varianto s skakanjem frekvence: **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). Z njo se spopadajo z interferencami in usihanjem signalov. V FHSS skakanje frekvenc določa psevdonaključni vzorec. Frekvenca skakanja je 1600 skokov na sekundo.

Fizična plast uporablja brezlicenčni frekvenčni pas med 2,4 GHz in 2,483,5 GHz (njegova širina je 83,5 MHz). Pri osnovni prenosni hitrosti in pri EDR je ta pasovna širina razdeljena na 79 prenosnih kanalov in dva zaščitna kanala. Zgornji in spodnji varnostni pas sta široka 2 MHz oziroma 3,5 MHz. Tako pri osnovni prenosni hitrosti kot pri EDR se uporablja duplexni prenos in TDD prenosna shema.



Pri osnovni prenosni hitrosti (1 Mb/s) Bluetooth uporablja binarno modulacijo **GFSK** (*Gaussian Frequency Shift Keying*). V kasnejših verzijah se za višje prenosne hitrosti uporabljajo **PSK** (*Phase Shift Keying*) modulacije: pri EDR prenosu se pri 2 Mb/s uporablja **$\pi/4$ -DQPSK** (*$\pi/4$ Rotated Differential Quadrature Phase Shift Keying*) in pri 3 Mb/s modulacija **8-DPSK** (*8 phase Differential Phase Shift Keying*). Da se doseže prenosna hitrost 24 Mb/s, se mora dovoliti delovanje v takoimenovan **AMP** (*Alternate MAC/PHYs*) načinu, to je alternativnem načinu delovanja fizične plasti. Tu potem, ko vzpostavi EDR radijsko kanal, AMP poišče alternativni širši frekvenčni pas in v njega prestavi prenos podatkov.

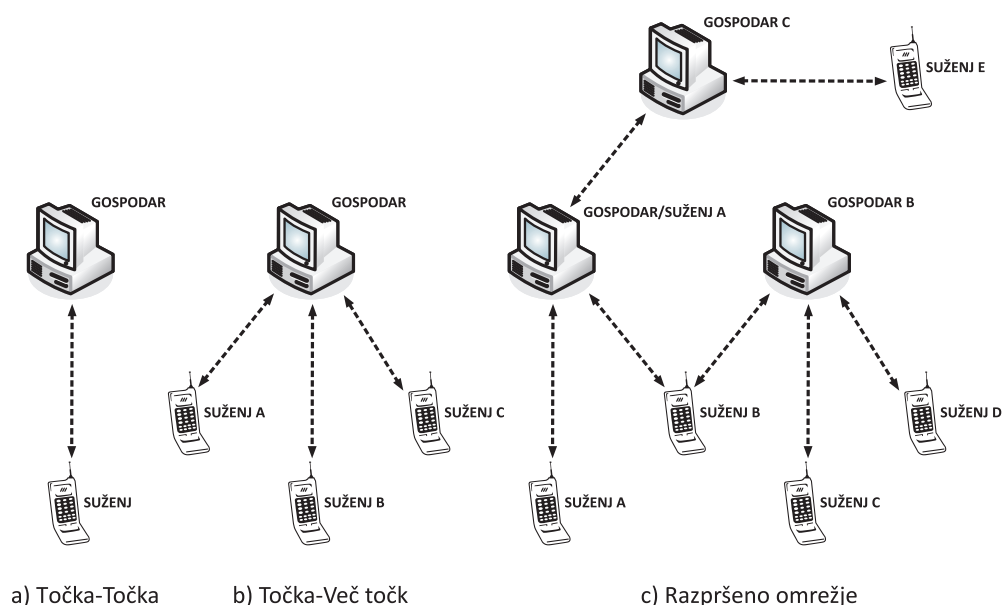
Za Bluetooth LE so določili drugačne fizične kanale in tehnike dostopa do prenosnega medija. Izbira je sledila minimizaciji potrošnje energije, zato so v nasprotju z osnovno prenosno hitrostjo in prenosom EDR, predpisali samo modulacijo GFSK. Določena je enaka pasovna širina, vendar z drugačno razporeditvijo podkanalov. Te je 40 kanalov, katere pri višji frekvenci loči taščitni pas širine 2 MHz in pri nižji frekvence pirine 1,5 MHz. Za mehanizem dostopa do kanalov se lahko uporablja TDMA ali FDMA. Trije kanali so namenjeni »oglaševanju«, ostalih 37 kanalovpa je namenjenih prenosu podatkov. V oglaševalskih kanalih naprava sporoča, kaj nprorava namerava izvesti (na primer, vzpostaviti povezavo za prenos podatkov).

Bluetooth podpira komunikacije točke – točke in točka – več točk. Naprave, ki si delijo isti prenosni kanal, tvorijo takoimenovani pikoomrežje. Vsak pikoomrežje ima gospodarja (komunikacij), ostale naprave pa imajo funkcijo »sužnjev« oziroma v komunikaciji podrejenih naprav. S komunikacijo lahko začne le gospodar. Vse podrejene naprave morajo biti sinhronizirane z gospodarjem in morajo slediti njegovim frekvenčnim skokom. Sporočila se lahko izmenjavajo samo med gospodarjem in podrejeno napravo. Direktna komunikacija med podrejenimi enotami ni dovoljena.

V eni pikocelici je lahko pri komunikaciji z osnovno hitrostjo ali z EDR do sedem aktivnih podrejenih naprav. Poleg njih je lahko v pikocelici še 255 naprav, ki pa ne komunicirajo (so v takoimenovanem parkiranem stanju). V Bluetooth LE je število aktivnih naprav omejeno z velikostjo radijskih virov gospodarja.

Bluetooth naprave se lahko vključijo v več kot eno pikoomrežje. To je mogoče, če se območja pikoomrežij celic prekrivajo. Tako topologijo imenujemo scatternet oziroma rapršeno omrežje. V tem njem imajo pikoomrežja še vedno le enega gospodarja. Ker je lahko vsaka naprava je gospodar in to le v enem pikoomrežju, se mora v razpršenem omrežju preklapljati njena vloga gospodarja ali podrejene naprave.

Če se prekrivata dve pikoomrežji, ki imata različna gospodarja, potem se v vsakem pikoomrežju uporablja drugačen vzorec skakanja frekvenc. Zato mora naprava, ki sodeluje v obeh pikoomrežju uporabljati časovno multipleksiranje za »sodelovanje« v obeh pikoomrežjih (da lahko izmenoma uporablja vzorca skakanja frekvenc obeh pikoomrežij).



Topologije omrežja Bluetooth

6.6 Brezžična senzorska omrežja

Brezžična senzorska omrežja **WSN** (*Wireless Sensor Network*) sestavljajo vozlišča organizirana v kooperativno omrežje s ad hoc omrežno topologijo. V osnovi je brezžično senzorsko omrežje v mnogih pogledih podobno omrežju MANET. Obe omrežji se sami konfigurirata, vozlišča so brezžično povezana in komunikacija med njimi poteka preko več etap. Seveda pa se ti omrežji tudi razlikujeta v več temeljnih vidikih. Našteti so v spodnji tabeli.

Primerjava omrežij MANET in WSN

Vidik	MANET	WSN
Izkoristek in uporaba	Namenjeno ljudem. Uporabljamo ga za prenos podatkov, mobilne aplikacije itd.	Namenjeno senzorjem. Vgrajeno v okolje, uporabljamo za zbiranje podatkov (na primer pri merjenju temperature, nadzora ekologije itd) in detekcijo dogodkov (na primer požarov, vlomov itd)
Velikost naprav	Radisjke postaje, dlančniki, prenosni računalniki	Mali senzorji (velikost tudi v razredu milimetrov)
Število vozlišč v omrežju	Do deset ali sto vozlišč	Do tisoč in več vozlišč
Glavni vzrok spreminjanja topologije	Mobilnost uporabnika	Izpad vozlišča

Podobno kot pri omrežju MANET sta tudi pri WSN najbolj kritična protokol MAC in protokoli za usmerjanje podatkov. Protokoli MAC, ki jih uporabljamo v omrežjih MANET, niso primerni za WSN zaradi njegovih posebnosti. Pri WSN je pri izbiri protokola glavna metrika poraba energije, preprečevanje trkov in malo potrebnega pomnilnika.

6.7 Zankasta omrežja

Zankasta omrežja imajo perspektivno topologijo, ki združuje karakteristike infrastrukturnih in ad hoc omrežij. Podobno kot infrastrukturna omrežja, imajo tudi zankasta omrežja centralna vozlišča (na primer bazne postaje, dostopne točke itd), ki omogočajo povezljivost, na primer z Internetom, poleg tega, za razliko od mobilne telefonije, omogoča še direktno povezovanje med UE. Ti lahko nato komunicirajo med seboj brez posredovanja osrednjega vozlišča. V primerjavi z ad hoc in MANET omrežji, se pri zankastih omrežjih predpostavlja fiksno topologijo z večinoma fiksnimi vozlišči. Inherentno prepletenim omrežjem je komunikacija preko več etap. Zato je pri njih zelo pomembno optimalno usmerjanje poti skozi omrežje. Zato se za usmerjanje se uporabljajo posebni usmerjevalni protokoli, podobno kot v omrežjih MANET ali WSN.

Zankasta omrežja lahko gradimo z WiFi tehnologijo, ki jo opisuje dodatek k standardu IEEE 802.11s. Med tem ko se porabniki s starejšo WiFi opremo (skladno s standardi IEEE 802.11a/b/g) se lahko vključujejo v zankasta omrežja, ne morejo pa v njem delovati kot vmesna vozlišča (ki usmerjajo in posredujejo promet) na poti do dostopne točke.

Topologijo zankastih omrežij predvidevajo tudi omrežja WiMAX. Ta temelji na standardu IEEE 802.16d, ki predpostavlja fiksno topologijo. Obstajajo pa že novejša verzija tega standarda IEEE 802.16e/j/m, ki podpirajo mobilnost in izključuje zankasto topologijo. To, zaradi zapletenosti njene implementacije, adomeščajo s topologijo PMP in relejsko.

Prednosti zankaste topologije so:

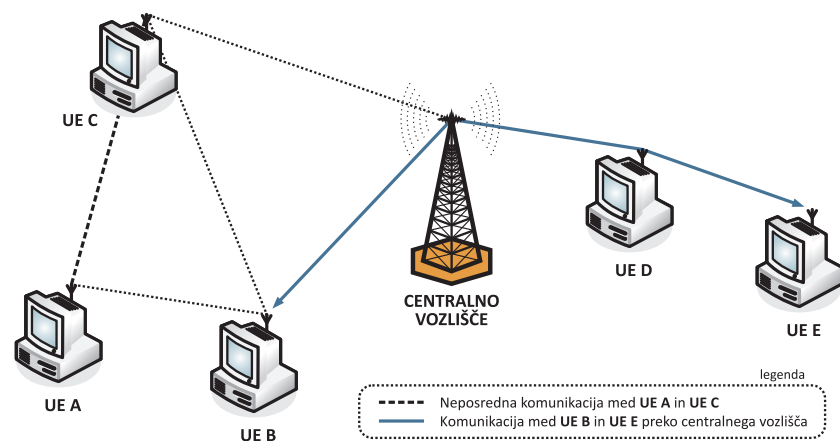
+

- Poveča območje pokritosti z radijskim signalom. Če se UE nahaja izven območja, se lahko vključi vanj preko bližnjega sosedu (ni potrebna instalacija novih dostopovnih točk).
- Velika fleksibilnost in zanesljivost (možnih je več poti do točk dostopa).

Slabosti zankastih omrežij:

—

- Uporabnikova oprema (UE) se lahko uporablja za posredovanje prometa drugih UE, zato potroši več energije.
- Zmanjšanje prepusnosti omrežja v primerih, ko isti vir večkrat pošlje podatke istemu prejemniku.
- Večja režija kot pri infrastrukturnih omrežjih (obvezno vzdrževanje usmerjevalnikov).



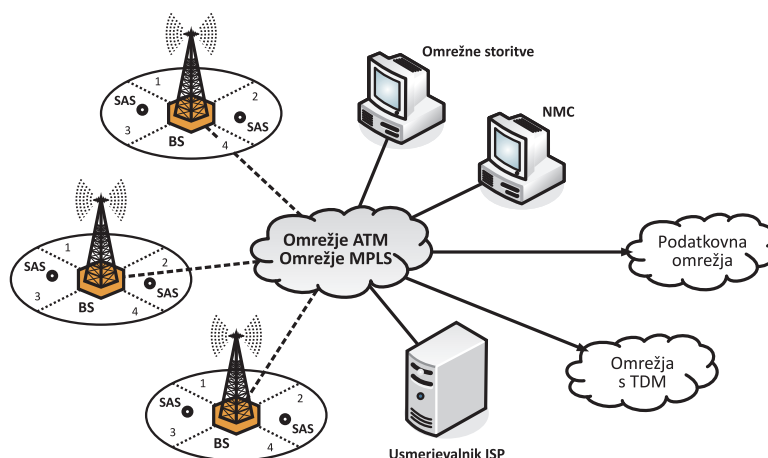
Zgled strukture zankastega omrežja in komunikacije med posameznimi postajami

7 Večtočkovni razdelilni sistemi

7.1 Krajevni večtočkovni razdelilni sistemi (LMDS)

LMDS (*Local Multipoint Distributive System*) je brezžična širokopasovna dostopovna tehnologija, ki je bila prvotno namenjen za prenos digitalne televizije (DTV). Zasnovana je bila kot fiksno brezžično omrežje vrste »točka-več točk« za prenos DTV signala na zadnjem kilometru poti do sprejemnika. Sistem LMDS ponavadi uporablja frekvenčni pasove pri frekvencah 26 GHz in 29 GHz. V Združenih državah Amerike se uporabljajo tudi frekvenčni pas med 31,0 GHz in 31,3 GHz.

Uporabniki LMDS so fiksne brezžične terminalske postaje. Zanje ponavadi uporabljamo kratico **SAS** (*Subscriber Access System*). Naprave SAS imajo usmerjene antene, te so usmerjene proti bazni postaji.



Zgradba omrežja pri sistemu LMDS



Prenosna zmogljivost razdalja zanesljive povezave je odvisna od splošnih omejitev radijskih povezav in uporabljene modulacije. Ta je ali **PSK** (*Phase Shift Keying*), torej fazna modulacija ali **AM** (*Amplitude Modulation*), torej amplitudna modulacija. Prenosna razdalja je običajno omejena na približno 2 km ali 3 km, večja razdalja zaradi usihanja signala pri dežju ni priporočljiva. Večje razdalje, vse do 8 km od bazne postaje, so mogoče le pri uporabi usmerjenih anten, ki imajo dovolj veliko ojačenje, v povezavah točka-točka.



Čeprav nekateri operaterji v Evropi uporabljajo LMDS sisteme za storitve dostopa med različnimi omrežji, se LMDS pogosteje uporablja za visoke zmogljive povezave med omrežji, kot so GSM, UMTS, WiMAX in Wi-Fi.

Število sektorjev v BS in njihova dodelitev je odvisna od števila dostopnih mest in skupne zmogljivosti prenosa podatkov, ki se usmerijo v določeno BS. Fizična razdelitev sektorjev ni fiksna, njihova sprememba je povezana s povečano uporabo omrežja. Osnovna dodelitev ozemlja in njenega pokritja (s signalom) se izvaja z dvema kanaloma (A in B), kot je dvojni frekvenčni plan.

Zaradi velikih težav z medsebojnimi interferencami med sektorji uporabljamo dualni frekvenčni plan. Obstaja več načinov, kako zmanjšati medsebojne interference. Prvi pogoj za njihovo zmanjšanje je uporaba kakovostnih usmerjenih anten v BS, ki več energije signala sevajo v določeni sektor. Drugi pogoj je, da za SAS uporabimo ozko usmerjene parabolične antene. Drugi način zmanjševanja interferenc je, da vsakemu sektorju BS dodelimo različne frekvence kanale ali izberemo v sosednjih sektorjih različno polarizacijo valov radijskega signala (vodoravno ali navpično polarizacijo).

7.2 Večkanalni vačtočkovni razdelilni sistem

Sistem **MMDS** (*Multichannel Multipoint Distribution Service*), imenujemo tudi **BRS** (*Broadband Radio Service*) ali tudi **Wireless Cable**, je brezžična telekomunikacijska tehnika, ki jo uporabljamo predvsem v širokopasovnih omrežjih, ponavadi kot alternativno metodo za sprejem programov kabelske televizije.

Sistemi MMDS uporabljajo frekvence 2,1 GHz in frekvence med 2,5 GHz in 2,7 GHz. Za sprejem televizijskih programov oziroma podatkov v sistemu MMDS se uporablja usmerjena antena (montirana na strehi objekta). Antena je priključena na oddajno-sprejemno enoto, ki omogoča sprejem in pošiljanje mikrovalovnih signalov s frekvencami nosilnikov, ki so določeni s standardimi tunerji v TV aparatih (podobno kot pri satelitskih antenah, kjer se signali transponirajo na frekvence, ki so združljive s standardom za kabelsko televizijo). Nekatere antene imajo integrirano oddajno-sprejemno enoto. Digitalne televizijske kanale lahko dekodiramo s standardnim kabelskim kominkatorjem ali z digitalnim sprejemnikom, ki je vgrajen neposredno v televizor. Splošne podatke lahko dekodiramo s kabelskim modemom, ki podpira standard **DOCSIS** (*Data Over Cable Service Interface specifikacija*). Kabelski modem je priključen na isto anteno in oddajno-sprejemno enoto.

Frekvenčni pas sistemov MMDS je razdeljena na frekvenčne kanale s pasovno širino 34 MHz. Zakupijo se jih lahko na dražbi, podobno kot frekvenčni pasovi za druge razdelilne sisteme. Osnovni koncept je namenjen predvsem temu, kako omogočiti visoko zmogljive prenose preko več zelo velikih radelitvenih kanalov in kako v vsakem kanalu z digitalno tehniko multipleksirati več televizijskih in radijskih programov ter kasneje splošnih podatkov. Podobno kot pri digitalnih televizijskih kabelskih kanalih, vsak kanal zmore pri 64-QAM modulaciji prenos do 30 Mb/s, oziroma 42 Mb pri modulaciji 256-QAM. Zaradi uporabe FEC (Forward Error Correction) in druge režije, je podatkovni del pretoka približno 27 Mb/s pri 64-QAM in 38 Mb/s pri 256-QAM.



V najnovejših frekvenčnih planih za MMDS se pripravljajo spremembe pri velikosti kanala in lincencah, ki bodo omogočile uporabo nove tehnike WiMAX TDD tako na fiksni kot na mobilni opremi.



Sistemi LMDS in MMDS so prilagojeni za protokol DOCSIS, ki se drugače uporablja v kabelskih modemih. Različica DOCSIS, ki je prirejena za brezžični širokopasovni prenos, se imenuje DOCSIS +.

Robustnost prenosa podatkov v MMDS se doseže z njihovim šifriranjem prometnih tokov med širokopasovni brezžični modem in sistemom **WMTS** (*Wireless Modem Termination System*), ki se nahaja v bazni postaji poudnika omrežja. Pri šifriranju se uporablja standard **Triple DES** (*Triple Data Encryption Standard*).



Sistemi MMDS imajo bistveno večji doseg kot sistemi LMDS. Vendar z razvojem novega standarda 802.16 WiMAX, odobren je bil leta 2004, bodo sistemi MMDS lahko zastareli. Včasih so bili sistemi **MMDS** razširjeni kot mikrovalovni večtočkovni razdelilni sistemi (*Multipoint Microwave Distribution System*) ali večkanalni večtočkovni razdelilni sistem (*Multichannel Multipoint Distribution System*). Vsi trije pojmi se v principu nanašajo na istio tehniko.

8 Storitve vezane na lokacijo

8.1 Storitve vezane na lokacijo

Poznavanje geografske lokacije omogoča uporabnikom nove storitve. Na primer pri varnosti, zdravju, zabavi ali delu. Geografsko lokacijo uporabnika določajo njegove prostorske koordinate.



Storitve, ki izkoriščajo geografske informacije o uporabniku imenujemo storitve vezane na lokacijo. Zanje bomo ponavadi uporabljali angleško kratico **LBS** (*Location Based Services*).

Zgled storitev vezanih na lokacijo je navigacija, sledenje ljudjem ali vozilom, turistična navodila. Naslednja pomembna storitev LBS je poznavanje lokacije v primeru nujne pomoči (na primer pri avtomobilski nesreči, poškodbah ljudi itd). V teh primerih se lahko lokacija uporabnika posreduje avtomatsko in zahtevana pomoč se lahko usmerja na kraj nesreče brez uporabnikove pomoči.

Za LBS je potrebna arhitektura sestavljena iz:

- Uporabnikova naprava – je vmesnik med uporabnikom in LBS sistemom. Uporabnikova naprava je običajno mobilna naprava, kot so mobilni telefon, prenosni računalnik, tablični računalnik, navigacijska naprava itd.
- Komunikacijsko omrežje – zagotavlja prenos podatkov in zahtev uporabnika naprave k ponudniku storitve in za dostavo pridobljenih informacij iz sistema nazaj k uporabniku.
- Naprava za določanje pozicije – določa geografsko lego uporabnika.
- Ponudnik LBS – uporabniku nudi storitve vezane na lokacijo. Obdeluje uporabnikove zahteve.
- Ponudnik vsebin – ponudnika LBS oskrbuje z vsebino storitev. Ta je shranjena pri ponudniku LBS. Vsebine so lahko viri zemljevidov, pozicije objektov, informacije, ki se nanašajo na te objekte, informacije o javnem prevozu itd.

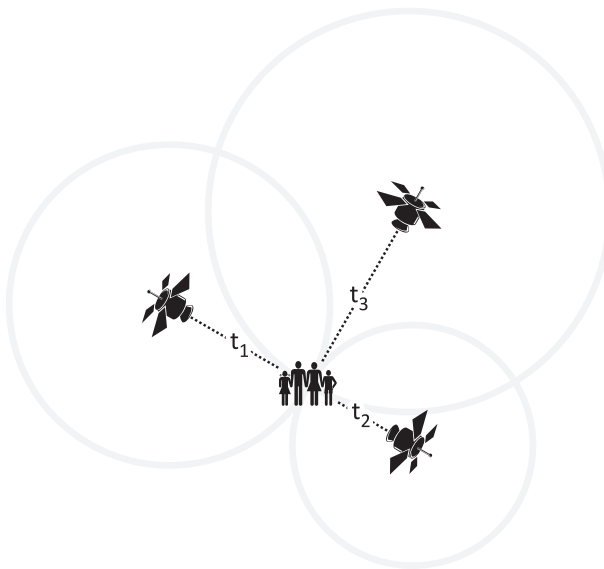
Določanje lokacije uporabnika z ustrezno napravo je ključnega pomena za učinkovitost in uspešnost LBS. Netočno določene lokacije omejuje možnosti LBS. Lokacijo lahko določimo na več načinov. Najpogosteje se v ta namen uporabljata satelitski pozicijski sistem ali mobilno omrežje. Oba ta sistema sta opisana v naslednjem razdelku.

8.2 Satelitski pozicijski sistem



Možnost uporabe satelitov v lokalizaciji je odkrila skupina raziskovalcev, ki jo je vodil dr. Richard B. Kershner v času spremljanja radijskega signala iz prvega satelita – Sputnika. Ekipa je opazila, da se frekvenca signala zaradi Dopplerjevega pojava spreminja s kroženjem satelita. Na podlagi teh sprememb frekvence so lahko določili položaj satelita. Pri poznavanju lege satelitov lahko inverzno določimo pozicijo uporabnika ali objektov.

Satelitski sistemi za določanje položaja temeljijo na meritvi časa širjenja signala satela iz satelita. Iz časa širjenja t pri znani hitrosti signala, ki je enaka hitrosti svetlobe v vakumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, lahko iz znanega obrazca $s = c \cdot t$ izračunamo razdaljo s med satelitom in uporabnikom. Pri znanem položaju satelita in času širjenja lahko določimo lego kot sfero točk, ki se nahajajo na isti razdalji od satelita. Z drugimi besedami, vsak satelit omogoča določitev področja potencialnih lokacij uporabnika. Položaj predmeta določajo štirje parametri: zemljepisna širina in dolžina, nadmorska višina in čas. Za določitev vsakega parametra potrebujemo eno sfero točk. V idealnem primeru, ko pri meritvah ni pogreškov, se te sfere sekajo v eni točki, ki določa lokacijo. Če razdalj do satelitov ne moremo točno določiti, potem presek sfer določa področje potencialnih lokacij uporabnika. Velikost tega področja je sorazmerna pogreškom meritev razdalj. Zmanjšamo jih lahko z upoštevanjem podatkov iz dodatnih satelitov.



Princip določanja pozicije uporabnika

Ta, splošni princip se uporablja v satelitskih navigacijskih sistemih kot so ameriški sistem GPS, evropski Galileo, ruski Glonass in kitajski Compass

GPS

GPS je globalni navigacijski satelitski sistem, ki so ga razvili za ameriško obrambno ministrstvo za vojaške namene. Začetek projekta sega v leto 1973, vendar je bil prvi poskusni satelit izstreljen šele 1978. Danes se GPS uporablja ne le za vojaške ampak tudi za civilne namene. Omogoča določanje položaja, navigacijo in določanje točnega časa. Sistem sestavljajo trije segmenti: vesoljski, nadzorni in uporabniški.

- **Vesoljski segment:** tvori najmanj 24 satelitov z orbitami približno 20.200 kilometrov nad Zemljo. Zemljo obkrožijo v 11 urah in 58 minutah. Orbit je šet, njihov naklon proti ekvatorju je 55. Najmanjše število satelitov določa pogoja, da so iz vsake točke na zemlji hkrati vidni vsaj štirje sateliti. V letu 2011 je bila do takratna konstelacija satelitov nekoliko spremenjena. Dodali so še tri satelite, tako je sedaj v osnovni konstelaciji 27 satelitov. V zadnjih letih ima vesoljski segment GPS 31 aktivnih satelitov in tri ali štiri rezervne. Vsi sateliti oddajajo informacije za določitev pozicije uporabnika.
- **Nadzorni segment:** je lociran na zemlji in je namenjen spremljanju, nadzoru in upravljanje satelitov vesoljskega segmenta. Jedro nadzornega sistema je glavna krmilna enota se nahaja v zvezni državi Kolorado v Združenih državah Amerike. Ta skrbi za upravljanje vseh nadzornih postopkov. Ta ima za primere okvar v Kaliforniji še nadomestno jedro. Glavna krmilna enota sprejema in analizira podatke iz satelitov (npr. informacija o statusu, posredovane navigacijske informacije itd) in navigacijske podatke iz 16 zemeljskih monitorskih postaj. Monitorske postaje spremljajo satelite in njihovo pošiljanje navigacijskih informacij. Na osnovi zbranih informacij glavna krmilna enota pošilja satelitom ukaze, ki zagotovijo pravilne in zanesljive storitve (na primer za spremenitev položaja satelita). Ukazi, informacije ali druge podatke se pošilja satelitom preko 12 zemeljskih anten, ki so razporejene po vsem svetu.
- **Uporabniški segment:** je GPS sprejemnik. Ta obdela informacije, ki jih sprejme iz satelitov. GPS sprejemnik vsebuje čip GPS z radijskim sprejemnikom, digitalni signalni procesor, pomnilnik, krmilni del in vmesnik k gostiteljski napravi. GPS posreduje gostitelju navigacijske s protokolom NMEA (*National Marine Electronics Association*).

Sateliti posredujejo tri vrste signalov. Prvi, signal vsebuje kod P (Precision Code), je šifriran s psevdo slučajnim kodom s frekvenco 10,23 MHz. Ta kod v primeru potrebne zaščite pred prevaro lahko nadomesti kod Y. Tretji signal s kodom C/A (coarse/acquisition code) se uporablja za civilne namene ali za pridobivanje P(Y) koda. C/A določa psevo slučajni kod s frekvenco 1,023 MHz. Navigacijska sporočila, to je sporočila z informacijami za določanje položaja uporabnikov, se prenašajo s hitrostjo 50 b/s. Ta sporočila so dodana tako C/A kot P(Y) kodu. Oba dobljeni sekvenci modulatorata nosilnik L1 in dodatno še nosilnik L2 s frekvenco 1575,45 MHz. Nadalje, zaporedje, ki nastane pri dodajanju navigacijskega sporočila k P (Y) kodu modulatorata nosilnika L1 in L2 s frekvenco 1227,6 MHz. Oba modulatorata nosilnika L1 in L2 se nato posredujeta GPS sprejemnikom pri uporabnikih. Poleg tega se lahko pošljejo še dodatni signali L2C (1227 MHz), L5 (1176 MHz) in L1C (1575 MHz), s katerimi minimiziramo pogoške pri določanju

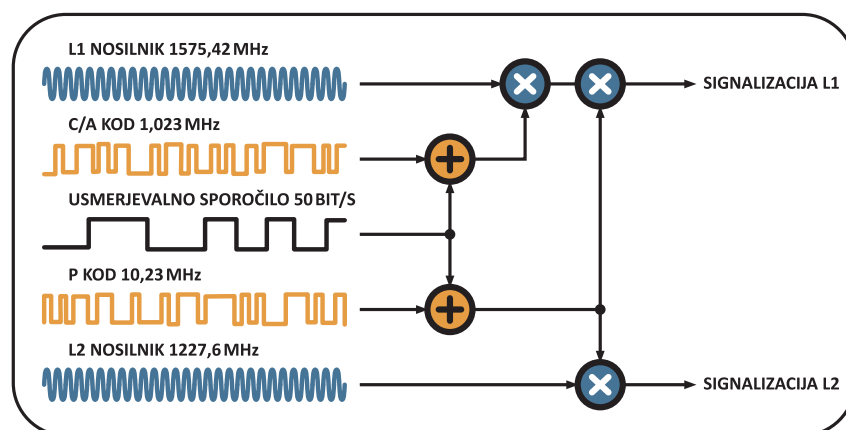
pozicije pri komercialnih, sistemih, sistemih varovanja človeškega življenja ter za interoperabilnost z drugimi sistemi. Ker vsi sateliti uporabljajo isto frekvenco nosilnika, se za sodostop do različnih satelitov uporablja mehanizem CDMA.



Dolžina okvirov navigacijskih sporočil znaša 1500 bitov. Vsak okvir sestavlja pet podokvirov, ki vsebujejo različne informacije, kot so pozicija satelita, zdravje, korekcije ure, učinek zakasnitve v ionosferi in status konstelacije satelitov ali informacije o orbitah satelitov. Prenos celega okvira traja 30 sekund (1500 bitov se prenaša s hitrostjo 50 b/s).

Ker čas za prenos vseh podatkov iz satelita predolg (to je čas med vklopom naprave in določitvijo položaja uporabnika), lahko mobilna komunikacijska omrežja v kombinaciji s satelitskim navigacijskim sistemom izkoristimo za dostavo nekaterih podatkov. Ta pristop imenujemo »Assisted GPS«. Tako lahko pospešimo inicializacijo GPS.

Na točnost pozicioniranja vpliva več vidikov: merjenje časa prihoda signala, atmosferski vplivi (predvsem v ionosferi učinki), Višestazni razmnoževanje, satelitska položaj sprememba, časovna sinhronizacija in količino vidnih satelitov. Najpomembnejši prišlo je uvedla ionosfere, vendar je mogoče zmanjšati z upoštevanjem več signalov (npr. L1 in L2) kot vpliv ionosfere vplivov posameznih frekvenc drugače. Skupna napaka je, da števec za GPS (običajno do 8 metrov). Natančnost se lahko še poveča s pomočjo diferencialnih GPS tleh vozlišč z natančno določeno mesto v natančnem položaju, ki izhaja iz satelitov.



Signali, ki jih pošiljajo sateliti GPS

Galileo

Evropska alternativa sistemu GPS je sistem Galileo. V vesoljskem segmentu je planiranih 27 operativnih in trije rezervni sateliti. Nameščeni bodo v treh orbitah z naklonom 56° in elevacijo 23 222 km nad Zemljo. Čas obhoda je 14 ur. Kontrolni segment sestavljata dva kontrolna centra, eden v Oberpfaffenhofnu, Nemčija in drugi v Fucinu, Italija. Nadalje sta še dva centra **LEOP** (*Lunch and Early Operations*) v Toulousu, Franciji in v Darmstadt, Nemčija. Podobno kot

GPS, ima tudi Galileo 5 postaj za telemetrijo, sledenje in kontrolo, 40 senzorskih postaj. Deset postaj za prenos na satelite za spremljanje in nadzorovanje satelitov bo razporejenih po celem svetu.

Sateliti, kot pri GPS, prenašajo več navigacijskih signalov (E1, E5a, E5b, E6). Prvi signal, E1, s frekvenco 1,023 MHz nosi nešifrirane navigacijske podatke modulirane s frekvenco 1575,42 MHz. Ta signal, s prenosno hitrostjo 125 b/s je na voljo civilni uporabi (imenuje se odprta storitev), poslovne storitve in storitve za varovanje človeškega življenja. Drugi in tretji signal, E5a in E5b, sta analogna signalu E1, vendar sta modulirata nosilnika s frekvenco 1176,450 MHz in 1207,140 MHz. Pri obeh je frekvenca kodnega niza 10,23 MHz. Signal E5a prenaša podatke za navigacijo in določanje časovnih funkcij. V nasprotju z E1 in E5b, E5a uporablja bolj robustno modulacijo, zato je pri njemu prenosna hitrost le 25 b/s. Tudi ta je namenjen odprtim storitvam. Signal E6 je namenjen plačljivim komercialnim namenom. Zato je šifriran. Frekvenca nosilnika tega signala je 1278.750 MHz, frekvenca njegovega kodnega zaporedja pa je 5,115 MHz. Omogoča prenosno hitrost 500 b/s.

Ostali navigacijski sistemi

Princip določanja pozicije uporabnika je tudi pri ostalih satelitskih navigacijskih sistemih podoben kot prej opisanima sistemoma:

- **GLONASS** (*GLObalnaja NAvigacionnaja Sputnikovaja Sistema*) – Predpostavlja 26 satelitov v treh orbitah. Vsak satelit je prvotno uporabljal svojo frekvenco, zato so sprejemniki tipa FDM. Od leta 2011 uporablja tudi CDMA, tako da je od takrat kompatibilen tudi s sistemoma GPS in Galileo.
- **COMPASS**, znan je tudi pod imenom BeiDou 2, je Kitajski navigacijski sistem, ki trenutno pokriva le Kitajsko ozemlje. Pričakuje se, da bo kmalu razširjen po vsem svetu (s 35 sateliti).
- **IRNSS** (*Indian Regional Navigational Satellite System*) sestavlja 7 satelitov v vesoljskem segmentu, trije so v geostacionarni orbiti in 4 v geosinhroni orbiti, ki pokriva Indijski podkontinent.

8.3 Lokalizacija z mobilnim omrežjem

Mobilna omrežja omogočajo tudi oceno položaja uporabnikov. Ocene temeljijo na poznavanju lege baznih postaj. Obstaja več metod lokalizacije uporabnika z mobilnimi komunikacijskimi mrežji. Ti se medsebojno razlikujejo v parametrih, ki se uporabljajo pri ugotavljanju pozicije uporabnika.

Prvi način imenujemo **COO** (*Cell Of Origin*) oziroma celica izvora. Ta način pri določanju pozicije uporabnika izkorišča identifikacijo baznih postaj (ID celice). Določi lahko le, v kateri celici se uporabnik trenutno nahaja. Torej je pogrešek pozicije uporabnika enak polmeru celic.

Večjo točnost določanja pozicije omogoča metoda **TOA** (*Time Of Arrival*), ki temelji na merjenju zakasnitve med trenutkoma začetka pošiljanja in začetka sprejemanja sporočila. Ker signal potuje s svetlobno hitrostjo, lahko razdaljo med uporabnikom in bazno postajo izračunamo na enak način kot pri satelitski navigaciji.

Če uporabnik lahko sprejema signala iz več kot ene bazne postaje, lahko metodo TOA razširimo v **TDOA** (*Time Difference of Arrival*) oziroma na razliko časov prihoda. V tem primeru se upošteva signale iz vseh sosednjih baznih postaj. Pozicija uporabnika je na presečišču krožnic z radijem ocenjenih razdalj od posamezne bazne postaje. Pri metodi TDOA se časi prihodov obdelujejo v omrežju. Če to računanje zmore oziroma izvaja mobilna postaja, potem algoritem metode imenujemo *Enhanced Observed Time Difference* (**E-OTD**) oziroma slovensko izboljšano ocenjevanje časovne razlike. Algoritem E-OTD zahteva v omrežju posebno opremo *LMU* (*Location Measurement Unit*) za merjenje. Ta zagotavlja natančno koordinacijo ur in točnost podatkov.

Če bazne postaje uporabljajo usmerjene antene, oziroma se te uporabljajo v mobilni postaji, lahko določimo smer, iz katere prihaja signal. Metodo, ki to izkorišča, imenujemo **AOA** (**Angle Of Arrival**). Pozicijo pri tej metodi lahko določimo s triangulacijo, podobno kot pri v TDOA.

9 Trendi v mobilnih komunikacijah

Trendi razvoja mobilnih omrežij gre v razvoj novih tehnik in algoritmov, ki omogočajo še višje prenosne hitrosti in zagotovijo popolno, brezhibno mobilnost. Zato morajo s sodelovanjem med celicami doseči boljšo izkoriščenost radijskega spektra. Pričakujemo lahko, da bodo prihodnja mobilna omrežja na gosto razporejena, celice bodo imele mali doseg, zlasti v gosto naseljenih območjih. Prednost povečane gostote celic zahteva tudi zmogljivejšo povezavo med njimi. Zanj so najprimernejše omrežja z optičnimi vlakni kot prenosnim medijem. Prihodnost omrežja bodo heterogena. Terminali bodo sposobni sprejemati/oddajati signale različnih vrst. Seveda vsak, še tako napreden terminal, ne bo mogel zadostiti vsem uporabnikovim željam. Tako bo potrebno širiti razpoložljivo pasovno širino, razvoj gre združevanja tehnik in tehnologij uporabe spektra in razvoj in kognitivnega – razmišljujočega – radija. Za varčevanje radijskih virov. Bodo uveljavljene tehnike direktne medsebojne komunikacije (brez uporabe omrežne infrastrukture). Drugi vidik, ki privablja vedno več pozornosti, je energetska učinkovitost. Od novih mobilnih omrežij se pričakuje večja prijaznost do okolja in zmanjšanje potrošnje energije. Zato bodo omrežja imele entitete, ki bodo inteligentno porazdeljevale radijske vire tako, da bodo varčevanje z energijo še bolj učinkovito.