



Iva Medvid

Iva Medvid

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

Ključne riječi:

**Brzi paketni pristup silaznom vezom, HSDPA, HSDPA+
Brzi paketni pristup, HSPA, HSPA +
Brzi paketni pristup uzlaznom vezom, HSUPA
Poboljšana uzlazna veza, EUL
Hibridni automatski zahtjev za ponovnim
slanjem paketa, H-ARQ
Dinamička alokacija kodova
Kodno multipleksiranje
16QAM Modulacija
3,5 generacija mobilnih sustava (3,5G)**

Key words:

**High Speed Downlink Packet Access, HSDPA, HSDPA +
High Speed Packet Access, HSPA, HSPA+
High Speed Uplink Packet Access, HSUPA
Enhanced Uplink, EUL
Hybrid Automatic repeat Request, H-ARQ
Dynamic Code Allocation
Code Multiplexing
16QAM Quadrature Amplitude Modulation
Wideband Code Division Multiple Access
3,5 Generation (3,5G)**

Sažetak:

Članak sadrži opis metoda kojima se postiže povećanje brzine koju osigurava brzi paketni pristup silaznom vezom (HSDPA - *High Speed Downlink Packet Acces*) na standard HSDPA faze 2 (brza silazna veza) te nadogradnjom na brzi paketni pristup uzlaznom vezom (HSUPA - *High Speed Uplink Packet Access*) koja omogućava brzu uzlaznu vezu i kombinaciju brze silazne i uzlazne veze. Konkretno, radi se o povećanju brzine s 1,8 Mbps/3,6 Mbps na 7,2 Mbps u silaznoj vezi (HSDPA *stage 2*), tj. s 384 Kbps na 1,4 Mbps (ubuduće do 5,6 Mbps) u uzlaznoj vezi (HSUPA). Aktualnost ove teme sadržana je i u činjenici da se ovom nadogradnjom podatkovni pristup preko mobilnih mreža po svojim mogućnostima izjednačio, a u nekim segmentima i prednjači nad aktualnim xDSL tehnologijama.

Abstract:

This article deals with methods required to achieve acceleration of packet access speeds in the upgrade from High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) to HSDPA stage 2, and High Speed Packet Access (HSPA) upgrade option, which enables high speed uplink packet access. In figures, we are dealing with speed upgrade from 1.8 Mbps/3.6 Mbps to 7.2 Mbps in downlink speed (HSDPA phase 2), and from 384 Kbps to 1.4 Mbps (5.6M bps in the future) in uplink speed (HSUPA - High Speed Uplink Packet Access). This is currently interesting because with this upgrade, mobile network packet access features and speeds have reached, and in some areas, exceeded those of currently market-available xDSL technologies.

1. Uvod

U skladu s prvotnom namjenom širokopojasnoga višestrukoga pristupa s kodnom raspodjelom kanala (WCDMA – *Wideband Code Division Multiple Access*) razvija se i funkcionalnost svjetskoga sustava pokretnih telekomunikacija (UMTS - *Universal Mobile Telecommunications System*). Sam karakter mobilnih komunikacija evoluirao je te pozornost s glasovnih komunikacija, prelazi na multimedijske usluge, što korisnicima omogućuje novu perspektivu korištenja već postojećih usluga, i proširenje palete širokopojasnih usluga.

Nakon nedavne nadogradnje na brzi paketni pristup silaznom vezom (HSDPA - *High Speed Downlink Packet Access*) i postizanja brzina od 1,8 Mbps odnosno 3,6 Mbps u silaznoj vezi, HSDPA faza 2 predstavlja sljedeći korak u nadogradnji već postojeće UMTS/HSDPA mreže (koja je detaljno obrađena u Reviji 1/2006) te omogućava postizanje brzina do 7,2 Mbps/14,4 Mbps u silaznoj vezi.

HSPA - tehnologija opisana je u šestoj reviziji dokumenata organizacije 3GPP (*Third Generation Partnership Project, Release 6*).

Pregled trenutno aktualnih tehnologija prijenosa podataka pri mobilnim mrežama:

UMTS - u Hrvatskoj implementirana prva UMTS mreža 2001. godine, omogućava brzine do 384 Kbps silazno;

HSDPA - Nadogradnja UMTS mreže na 1,8 Mbps u silaznoj vezi, u Hrvatskoj je bila dostupna prva HSDPA mreža u travanju 2006. godine HSDPA faza 2 (HSDPA *stage 2*) - nadogradnja HSDPA na maksimalnu brzinu od 7,2 Mbps u silaznoj vezi (2007.);

HSUPA - predstavlja nadogradnju brze uzlazne veze do 1,4 Mbps;

HSPA - predstavlja kombinaciju HSDPA faze 2 (HSDPA *stage 2*) i HSUPA, tj. za sada 7,2 Mbps, tj. 7,4 Mbps silaznu i 1,4 Mbps uzlaznu brzinu.

Osim gore navedenih termina, u praksi i literaturi koriste se i termini:

HSDPA+ - HSDPA *stage 2*,

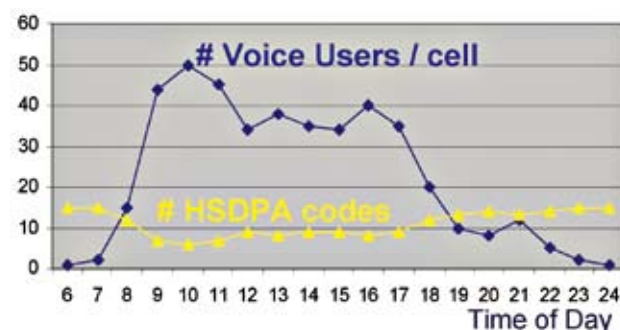
EUL - HSUPA,

HSPA+ - termin obuhvaća HSDPA fazu 2 i HSUPA

Prijašnja nadogradnja UMTS mreže HSDPA tehnologijom omogućuje:

- korištenje do 5 kodova po ćelijskom nositelju;
- fiksnu alokaciju kodova;
- brzine do 1,8 Mbps u silaznoj vezi po ćelijskom nositelju korištenjem QPSK modulacije;
- brzine do 3,6 Mbps u silaznoj vezi po ćelijskom nositelju korištenjem 16 QAM modulacije;
- do 16 korisnika po ćelijskom nositelju;
- brzine do 384 kbps u uzlaznoj vezi po ćelijskom nositelju.

S obzirom na to da je prva faza HSDPA tehnologije detaljno opisana u Reviji 1/2006. u uvodnom dijelu dat će se kraći osvrt poboljšanja funkcionalnosti u silaznoj vezi s kojima se za sada postižu brzine do 7,2 Mbps, a u budućnosti 14,4 Mbps.



Slika 1. Dijeljenje raspoloživih kodnih resursa između HS i R99 korisnika

Jednostavnim softverskim proširenjem već postojeće UMTS/HSDPA mreže, unaprijeđenom HSPA (tzv. HSUPA, HSDPA faza 2) tehnologijom, dobivamo mogućnost korištenja čak 79 novih ili poboljšanih značajki koje znatno unaprjeđuju korisničke brzine i kapacitivne mogućnosti mreže.

Uspoređujući s R99, kapacitivne mogućnosti ovom tehnologijom poboljšane su za čak 100-200%, dok je vrijeme odziva, tj. latencija smanjena do 70ms. Ovdje navodimo samo neke od glavnih poboljšanja u silaznoj vezi koja nam u konačnici daju navedena povećanja brzine i kapaciteta:

1. **MOGUĆE JE OPSLUŽIVATI DO 32 HSDPA KORISNIKA PO ĆELIJSKOM NOSITELJU;**
2. **KORIŠTENJE 10 ODNOSNO 15 KODOVA PO ĆELIJSKOM NOSITELJU UZ DINAMIČKU ALOKACIJU KODOVA (DYNAMIC CODE ALLOCATION).**

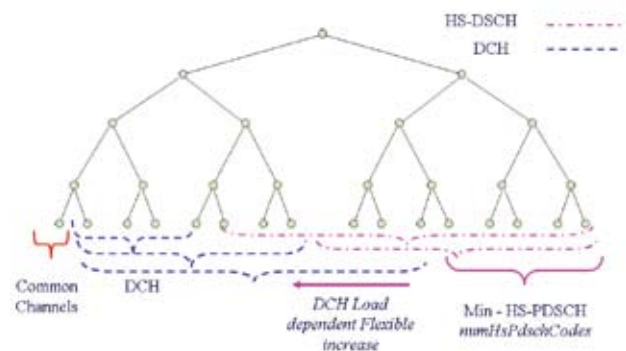
Korištenjem dinamičke alokacije povećava se broj slobodnih kodova za potrebe R99 prometa. Kako glasovna komunikacija ima prioritet nad R99 podatkovnim i HS prometom, u slučajevima visokog opterećenja glasovnog prometa u mreži kodovi se dodjeljuju glasovnom i R99 podatkovnom prometu, a ostatak je moguće alocirati za HS promet. Efikasnost dinamičkog dodjeljivanja kodova se značajno povećava upotrebom kodnog multipleksiranja.

Sadašnja Ericssonova softverska revizija podržava alokaciju do 15 HS-PDSCH kodova po ćelijskom nositelju. Dinamičku alokaciju kodova kontrolira radio bazna stanica (RBS – *Radio Base Station*) koja omogućuje:

- postizanje većih brzina u silaznoj vezi (7,2 Mbps uz korištenje 10 kodova);
- povećan broj HS korisnika;
- korištenje RLC PDU veličine 656 bita.

Ovisno o broju kodova koji su dodijeljeni HS korisniku i mogućnosti korisničke opreme, korisnik će naizmjence koristiti RLC PDU veličine 656 ili 336.

Kodno stablo se teorijski u potpunosti može koristiti za





Slika 2. Dinamička alokacija kodova

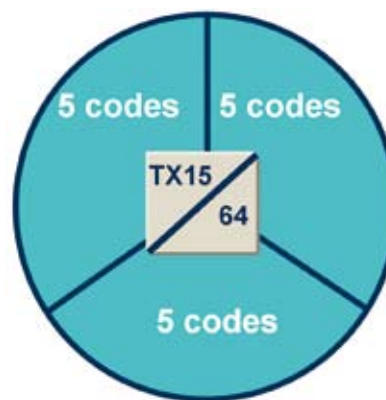
HSDPA promet, no ako nije implementiran poseban nosač (*carrier*) određen za prijenos HSDPA prometa, raspoložive kodove koriste R99 i HSDPA korisnici (Slika 1.). Dinamička alokacija kodova (Slika 2.) alocira dodatne HS-PDSCH kodove u slučaju da na kodnom stablu ima raspoloživih kodova, odnosno u slučaju pojave novih R99 korisnika raspušta HS-PDSCH kodove i dodjeljuje ih novim R99 korisnicima.

Kodni resursi se raspodjeljuju unutar RBS-a ovisno o opterećenosti pojedine ćelije. Ćelija s većim opterećenjem, tj. većim brojem korisnika, dobit će više kodova na raspolaganje.

Prilikom uspostave veze, korisnik će dobiti na raspolaganje maksimalni trenutačno mogući broj HS-PDSCH kodova. U slučaju pogoršanja radio uvjeta ili priključenja novih korisnika, broj dodijeljenih kodova se dinamički smanjuje.

Također, moguće je parametarski definirati koliki je inicijalni broj HS-PDSCH kodova koji će korisnik dobiti prilikom uspostave veze, ovisno o kvaliteti radio uvjeta i kapacitivnih mogućnosti.

Dinamička alokacija kodova je jedinstveno Ericssonovo rješenje koje omogućuje prijenos različitih vrsta prometa (HS, R99, voice), a smanjuje potrebu za uvođenjem dodatnog ćelijskog nositelja.



Slika 3. Fiksno dodjeljivanje kodova

Ova funkcionalnost u odnosu na fiksno dodjeljivanje kodova (Slika 3.) značajno poboljšava performanse usluge krajnjem korisniku, a operatorima omogućava efikasnije iskorištavanje kodnih resursa i resursa snage.

3. KODNO MULTIPLEKSIRANJE

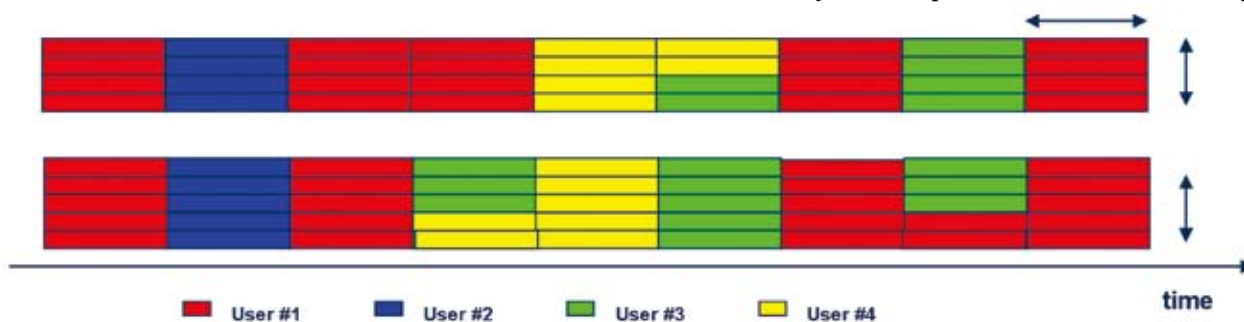
U vremenskom intervalu od 1 TTI (2 ms) do četiri korisnika mogu biti istovremeno multipleksirana na HS-DSCH kanalu, što znači da četiri korisnika mogu odašiljati informacije koristeći alocirane kodove.

Broj korisnika koji se multipleksiraju (1-4) moguće je parametarski kontrolirati (Slika 4.).

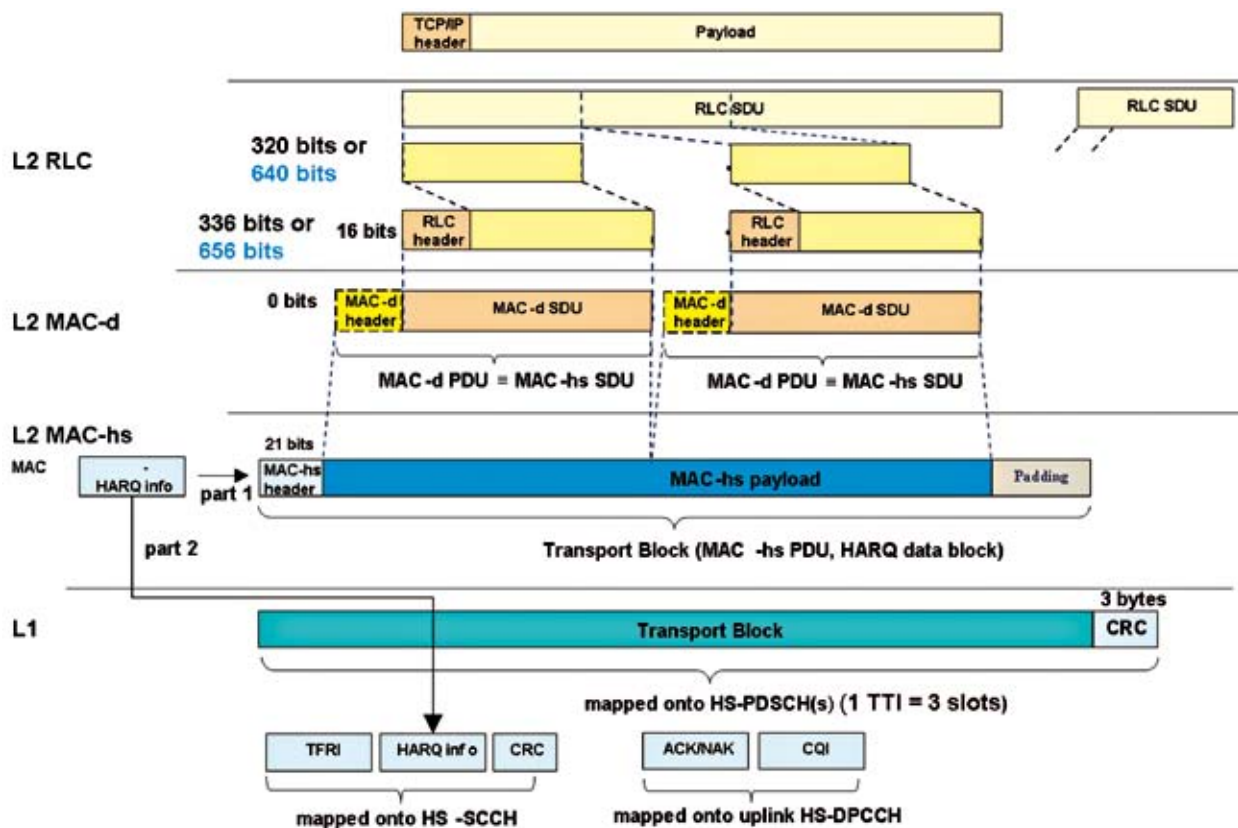
Kodno multipleksiranje nije moguće u slučajevima:

- velikog broja R99 korisnika u ćeliji, (R99 promet ima prioritet pred HS prometom);
- ako je dodjeljeni kodni kapacitet prilikom uspostave poziva veći ili jednak maksimalnom broju HS-PDSCH kodova na nositelju;
- u slučaju da je parametar koji govori o broju multipleksiranih korisnika jednak 1.

Kodno multipleksiranje omogućuje korištenje svih raspoloživih kodova tijekom vremenskog intervala TTI, čak i u slučajevima kada korisnička oprema ne podržava maksimalni broj kodova (npr. tri korisnička terminala koji



Slika 4. Kodno multipleksiranje HS korisnika



Slika 5. RLC PDU 336 & 656 bits

podržavaju do 5 kodova mogu biti istovremeno uslužena tijekom istog vremenskog isječka, TTI).

Ovakvim performansama značajno se povećava broja HS korisnika u ćeliji i ćeljska propusnost.

4. RLC PDU VELIČINE 656 BITA

U prvoj fazi implementacije tehnologije HSDPA bilo je moguće alocirati 5 kodova na zračnom sučelju, s obzirom da alokacija broja kodova izravno utječe na korisničke brzine, prvo izdanje HSDPA zahtijevalo je podržavanje propusnosti ~4 Mbps na RLC sloju.

Druga faza implementacije podržava alokaciju do 15 kodova. Da bi se ostvarila propusnost na RLC sloju do 13 Mbps potrebno je koristiti MAC-d PDU veličine 656 bita (Slika 5).

U HSDPA fazi 2 postoji mogućnost korištenja dvije veličine RLC PDU paketa veličine 336 ili 656 bita. Odabir korištenja različitih veličina PDU paketa moguće je za korisnike HSDPA prometa, a izravno ovisi o broju kodova koje pojedini korisnik ima na raspolaganju za korištenje i parametru za podešavanje ovog svojstava koji se nalazi na samom HS-DSCH kanalu.

U Tablici 1. prikazan je primjer postizanja mogućih brzina ovisno o:

- broju MAC-d PDU-ova – K;
- vrsti modulacije - QPSK/16 QAM (0 = QPSK, 1 = 16 QAM);
- broju korištenih kodova;
- broju bitova u TBS-u (*Transport Block Set*).

Vidljivo je da veći broj podatkovnih jedinica protokola (PDU – *Protocol Data Unit*) i telefonskoga obavijesnoga sustava (TBS – *Telephone Broadcasting System*) zahtijeva veću snagu potrebnu za prijenos od bazne stanice prema korisničkoj opremi. U slučaju da korisnik alocira svih 15 kodova, uz korištenje RLC-PDU veličine 640 bita i 16 QAM modulacije, postiže brzinu od 13,44 Mbps ($42 \cdot 640 / 2 \text{ ms} = 13,44 \text{ Mbps}$) na RLC sloju.

5. FLEKSIBILNO DODJELJIVANJE PRISTUPA

Količina HS prometa se brzo povećava te strategija kontrole pristupa ima sve veću važnost. Zbog toga se uz tri algoritma kontrole pristupa implementiranih tijekom prve faze:

- *Round Robin*
- *Proportional Fair Scheduling*
- maksimalni omjer C/I

u drugoj fazi proširuje izbor između pet različitih strategija kontrole pristupa:

- **ROUND ROBIN:**
 - algoritam jednakih značajki kao i u prvoj fazi, selekciju korisnika radi s obzirom na kašnjenje;
- **PROPORTIONAL FAIR:**
 - daje prednost korisnicima sa dobrim radio karakteristikama uz mogućnost stupnjevanja prednosti korisnika sa jačim signalom;
 - Nizak stupanj prednosti (*low*)
 - Srednji stupanj prednosti (*medium*)
 - Visok stupanj prednosti (*high*)
- **COEFFICIENT BASED:**
 - i uključivo Ericssonov algoritam, daje prednost korisniku s najboljim CQI vrijednostima;
- **EQUAL RATE:**
 - algoritam pokušava svim korisnicima dodijeliti istu brzinu prijenosa;
- **MAXIMUM CQI:**
 - CQI – algoritam korisnicima s boljom vrijednosti CQI daje prioritet.

Povećan izbor algoritama kontrole pristupa omogućava operatorima veću kontrolu HS karakteristika. S obzirom na naglo povećanje HSPA prometa, potrebno je odabrati metodu dodjele pristupa koja će najviše pridonijeti poboljšanju prometnih performansi na određenoj ćeliji.

U budućnosti se planira razvoj metoda pristupa koji će odrediti prioritete za određeni tok podataka i na taj način poboljšati performanse krajnjeg korisnika. Tom metodom moći će se odrediti prioritet npr. VoIP, strujuće sesije, promet „zlatnog“ korisnika nad ostalim prometom, operaterima će omogućiti razdvajanje ponuđenih usluga ovisno o aplikacijama i željama krajnjeg korisnika.

K	# of bits (TBS)	# of codes	QPSK/16QAM	RxQual Req
0	0	-	-	-
1	686	2	0	0,23
2	1356	4	0	9,99
3	2010	6	0	11,72
4	2677	8	0	12,83
5	3319	10	0	13,71
6	3970	13	0	14,44
7	4664	15	0	15,11
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
37	24659	15	1	28,74
38	25558	15	1	29,42
39	26020	15	1	29,83
40	26490	15	1	30,24
41	26969	15	1	30,66
42	27952	15	1	32,02

Tablica 1. Utjecaj parametara MAC sloja na brzine prijenosa

2. Pregled HSUPA tehnologije

U R99 uzlazna veza je implementirana na fizičkom sloju kanalima:

- DCH (*Dedicated Channel*) – namjenski kanal, koristi promjenjivi faktor širenja, može se realizirati mekim prekapčanjem (*soft handover*) i ima mogućnost unutrašnje kontrole snage;
- RACH (*Random Access Channel*) – zajednički kanal s konstantnom, dogovorenom vrijednosti faktora širenja (sf 256, 128, 64, 32), nema unutarnju kontrolu snage i mogućnosti mekoga prekapčanja.

Također, u R99 izdanju, metodu kontrole pristupa vrši RNC što ima za posljedicu:

- sporo dodjeljivanje pristupa korisnicima;
- veća kašnjenja;
- dulje vrijeme čekanja;
- proces ponovnog slanja podataka (retransmisije) vrši se u RNCu;
- duljina TTI-a jest 10/20/30/40/80 ms ovisno o opterećenju sustava;
- brzina prijenosa podataka u uzlaznoj vezi je ograničena na brzinu od maksimalnih 384 kbps.

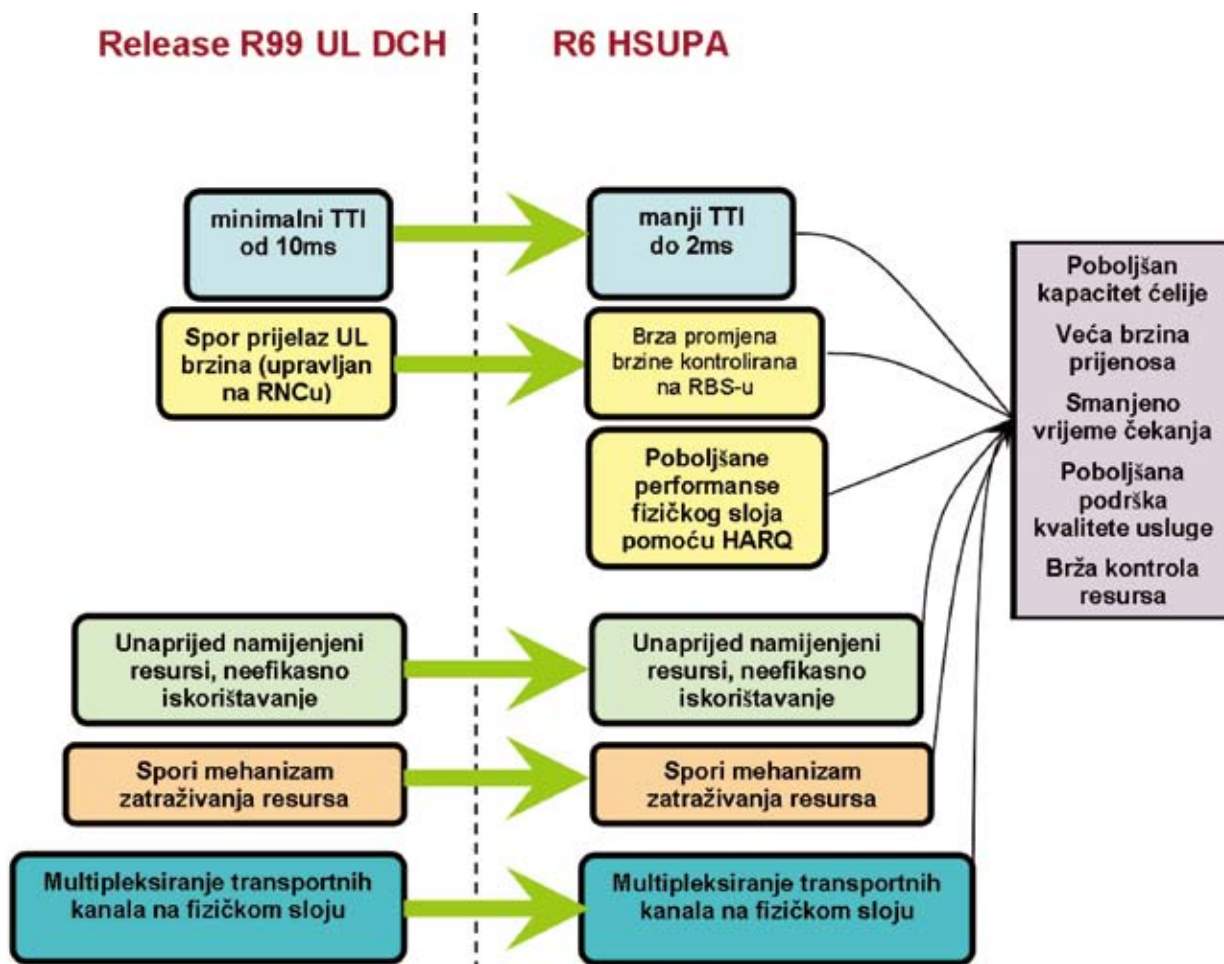
HSUPA, uvođenjem novih funkcionalnosti, nudi niz poboljšanja performansi sustava (*Slika 6.*):

- veća brzina prijenosa podataka u uzlaznoj vezi – omogućuje uvođenje i korištenje novih korisničkih usluga te efikasnije korištenje već postojećih;
- smanjeno vrijeme čekanja (latencije);
- metoda brzog dodjeljivanja pristupa i kontrole resursa snage – povećava efikasnost korištenja resursa;
- moguće je definirati željeni profil kvalitete usluge (QoS) ovisno o vrsti usluge i željenoj kvaliteti prijenosa;
- poboljšana kapacitet ćelije u uzlaznoj vezi;
- poboljšana pokrivenost u uzlaznoj vezi za prijenos podataka većim brzinama.

2.1. Promjene u protokolnoj strukturi uvođenjem HSUPA tehnologije

Na *Slici 7.* prikazana je protokolna struktura UTRAN radio sučelja koja se sastoji od tri sloja:

- fizički sloj – L1
- podatkovni sloj – L2
 - MAC (*Medium Access Control*) sloj
 - RLC (*Radio Link Control*)
- mrežni sloj – L3
 - RRC (*Radio Resource Control*).



Slika 6. Usporedba funkcionalnosti sustava HSUPA i R99

2.1.1. Promjene u strukturi fizičkih kanala

Najniži, fizički sloj (L1), pružatelj usluga višim slojevima, kontrolira RRC protokol (Slika 7).

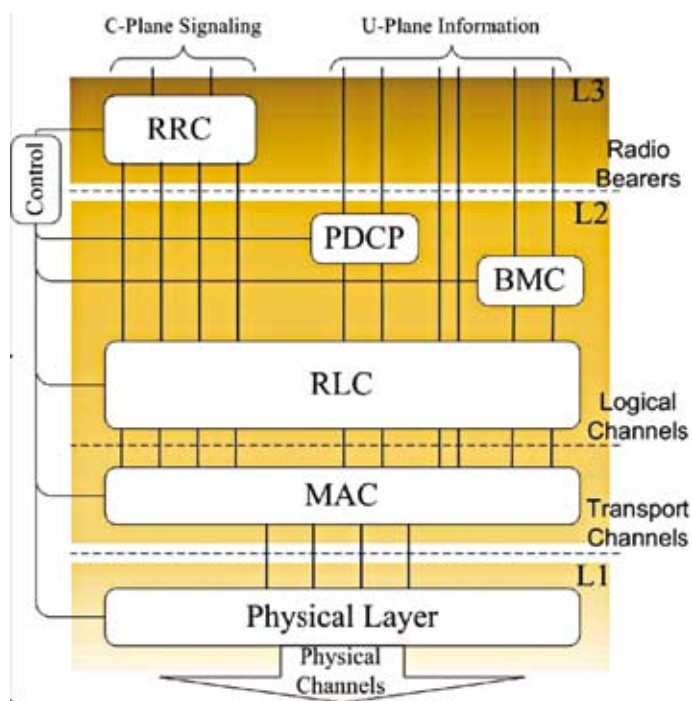
Uvođenjem HSDPA tehnologije fizički sloj doživljava niz promjena tijekom 3GPP izdanja, tako se povećava broj kanala i broj funkcija L1 sloja, a neke od funkcionalnosti koje su obavljane na RNC-u premještene su na NodeB. Za razliku od druge faze implementacije HSDPA, gdje nema važnih promjena u kanalnoj strukturi silazne veze, prva faza (HSDPA) donijela je najviše promjena u strukturi kanala u silaznoj vezi:

HS-PDSCH – kanal u silaznoj vezi, namijenjen je prijenosu korisničkih podataka. Koristi 16QAM ili QPSK modulaciju te SF 16;

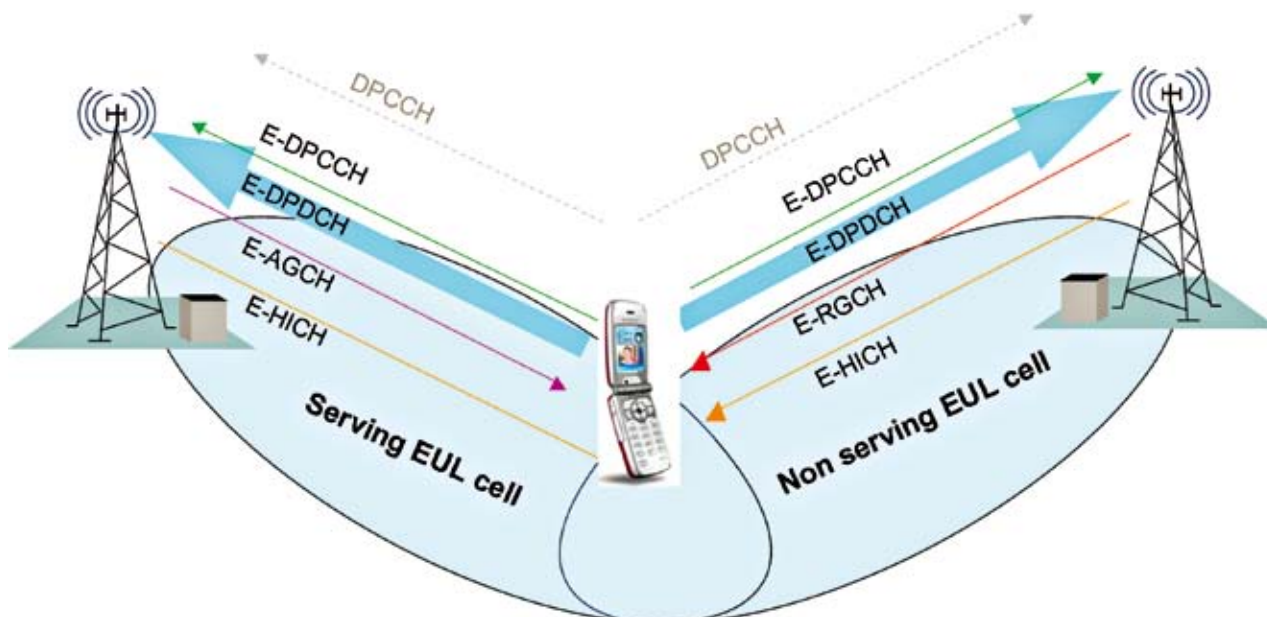
HS-SCCH – kanal u silaznoj vezi, namijenjen prijenosu kontrolnih informacija;

HS-PDSCH – kanal koristi QPSK modulaciju i SF 128;

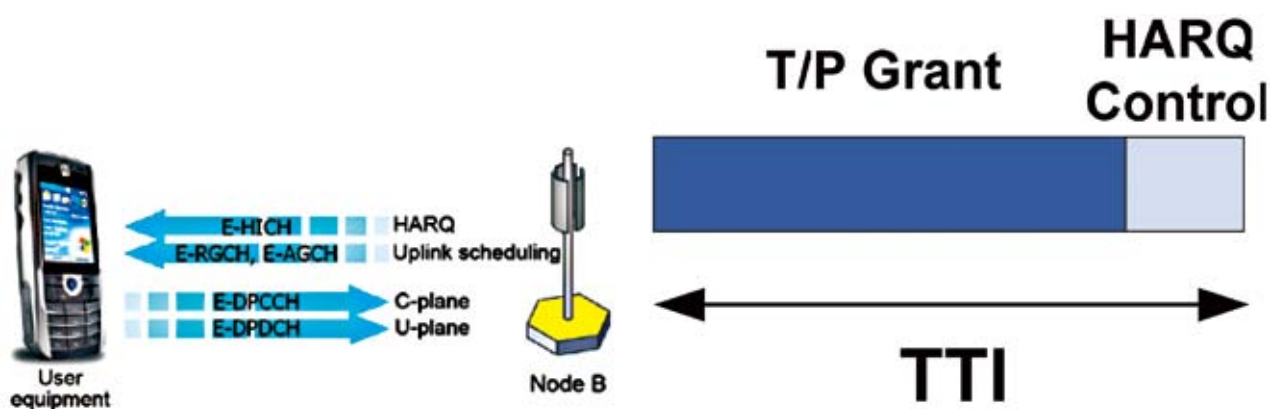
HS-DPCCH – kontrolni kanal u uzlaznoj vezi, koristi se za prijenos HARQ (ACK/NACK) informacija i CQI izvješće.



Slika 7. Protokolna struktura UTRAN radio sučelja



Slika 8. Konfiguracija kanala u HSUPA sustavu



Slika 9. Prikaz kanalne strukture HSUPA

Slika 10. Prikaz E-AGCH kanala

U uzlaznoj vezi (HSUPA) postoje značajnije promjene u strukturi kanala na fizičkom sloju. HSUPA uvodi pet novih kanala (Slika 8. i 9.):

- **E-AGCH** - *Enhanced Absolute Grant Channel* (Slika 10.) - kanal u silaznoj vezi, služi za prenošenje informacije o apsolutnoj snazi poslužujuće ćelije po kojoj se terminal prilagođava za prijenos podataka. Također prenosi identifikacijske informacije o korisniku (ID - E-RNTI). Unutar ćelije može biti više E-AGCH kanala, a svaki od njih može posluživati jednog ili više korisnika u ćeliji. Kanal koristi SF 256, QPSK modulaciju i fiksne je brzine od 30kbps.
- **E-RGCH** - *Enhanced Relative Grant Channel* (Slika 11.) - kanal u silaznoj vezi, koristi SF 128 i QPSK modulaciju. Prenosi informaciju o relativnoj snazi (u odnosu na apsolutnu) neposlužujuće ćelije. Indicira

E-DCH kanalu potrebu za povećavanjem, smanjivanjem ili zadržavanje trenutne prijenosne snage.

- **E-HICH** - *HARQ Indicator Channel* (Slika 12.) – kanal u silaznoj vezi, koristi SF 128 QPSK modulaciju. Prenosi korisničkoj opremi informacije o uspješnosti dekodiranja pripadajućeg prometa sa NodeB-a u vidu ACK/NACK poruka. Ovaj kanal je funkcijski analogan HS-DPCCH kanalu koji se koristi u HSDPA, no osnovna razlika jest da E-HICH ne prenosi informaciju o CQI, s obzirom da HSUPA ne koristi adaptivnu modulaciju.
- **E-DPDCH** - *Enhanced Dedicated Physical Channel* (Slika 13.) – kanal služi E-DCH kanalu za prijenos korisničkih podataka brzinama do 5.76 Mbps. Može koristiti SF: 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, BPSK

Up / Down / Hold



Slika 11. Prikaz E-RGCH kanala

modulaciju. Kanal može biti u mekom prekapčanju, što je vrlo bitno s obzirom na interferenciju u uzlaznoj vezi.

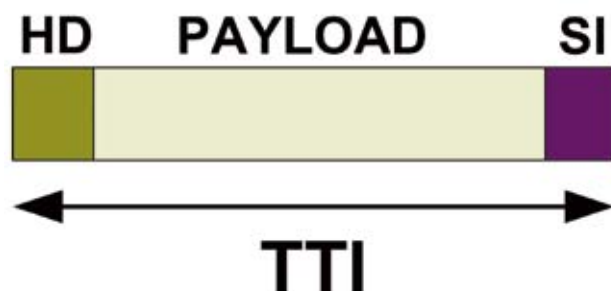
- **E-DPCCH** - *Enhanced Dedicated Physical Control Channel* (Slika 14.) - kontrolni kanal, pridružen E-DCH kanalu, služi za prenošenje kontrolnih informacija potrebnih E-DPDCH kanalu.

ACK/NAK



Slika 12. Prikaz E-HICH kanala

- **RSN** (*Retransmission Sequence Number*) 2 bita,
- **E-TFC** (*E-DCH Transport Format Combination*) 7 bita; UE i RBS šalju informaciju o međusobnoj snazi odašiljanja
- "Happy bit" 1 bit.

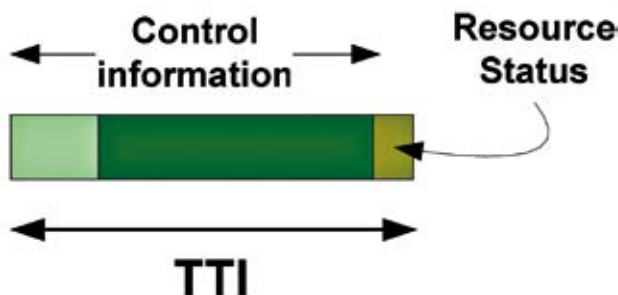


Slika 13. Prikaz E-DPDCH kanala

2.1.2. Promjene u protokolnoj strukturi podatkovnog sloja

Podatkovni sloj (L2) podijeljen je na četiri podsloja:

- *Medium Access Control* (MAC),
- *Radio Link Control* (RLC),
- *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP),
- *Broadcast/Multicast Control* (BMC).



Slika 14. Prikaz E-DPCCH kanala

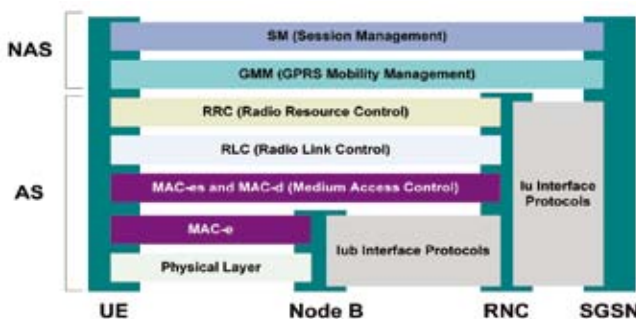
Podatkovni sloj osigurava uspostavu radio nositelja višim slojevima, a četiri podsloja kontrolira RRC protokol. Mrežni sloj podijeljen je na dvije logičke cjeline:

- korisnički dio (*user plane*)
- signalizacijski dio (*control plane*).

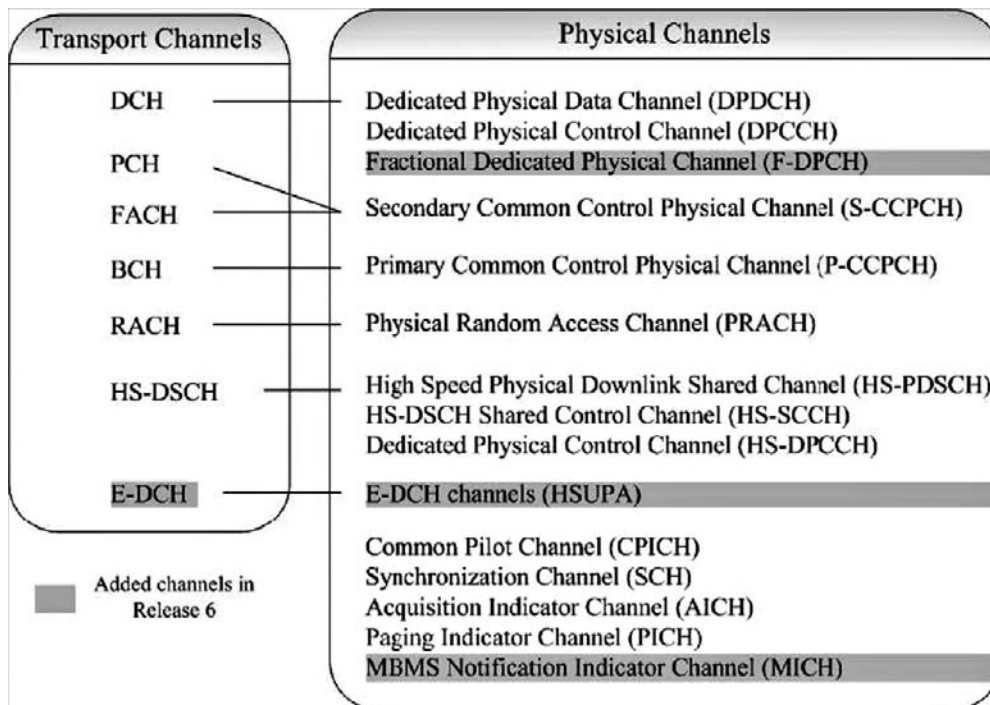
RRC (*Radio Resource Control*) je isključivo kontrolni dio mrežnog sloja, odgovoran za uspostavljanje radio sučelja na slojevima L1 i L2, prijenos informacija NAS (*Non Access Stratum*) porukama vezanim uz kontrolu poziva i upravljanje sesijom. NAS poruke izravno se izmjenjuju između korisničke opreme (UE) i jezgrenog dijela mreže (CN), Slika 15.

U daljnjim poglavljima biti će obrađena promjena u protokolima UTRAN dijela mreže u vidu povećanih funkcionalnosti i nove kanalne strukture.

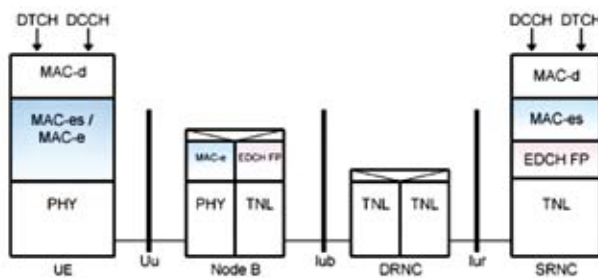
Uvođenjem HSUPA tehnologije transportni sloj proširen je pridijeljenim E-DCH kanalom (Slika 16.) koji predstavlja



Slika 15. Kontrolna ravnina UTRAN dijela mreže



Slika 16. Prikaz kanalne strukture HSUPA



Slika 17. Protokolna struktura HSUPA

svojevrsno proširenje DCH transmisije, a prenosi korisničke podatke u uzlaznoj vezi.

U usporedbi s HSDPA tehnologijom, gdje je uveden MAC-hs protokolni sloj na NodeB, HSUPA tehnologija uvodi promjene u protokolnoj strukturi u vidu MAC e/es sloja na korisničkoj strani, MACe sloja na NodeB strani, te MAC-es sloja na RNC u (Slike 15. i 17).

MAC-e – sloj implementiran na strani korisničke opreme i NodeB-a, odgovoran za MAC multipleksiranje (UE) i demultipleksiranje (NodeB), kontrolu pristupa (scheduling), HARQ, E-TFC selekciju.

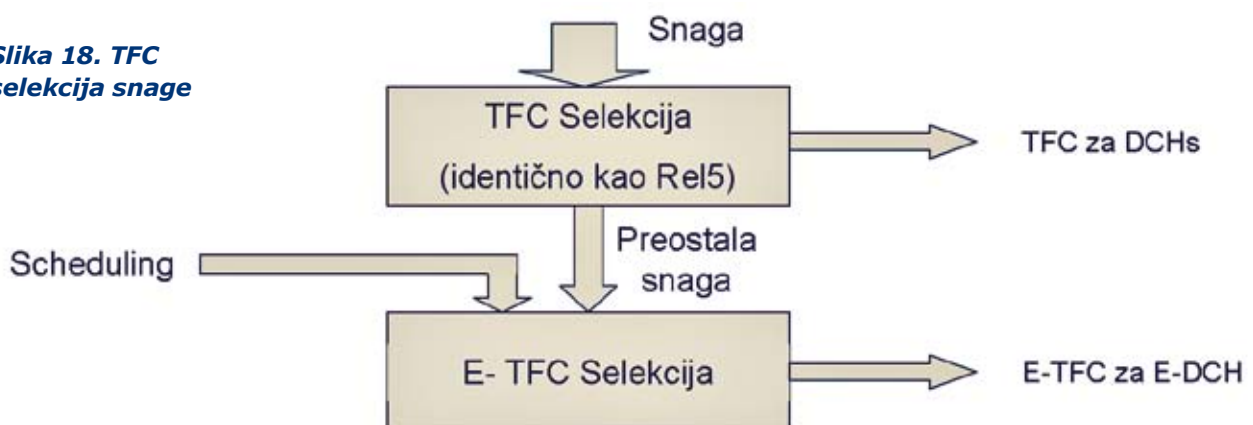
E-TFC (E-Transport Format Combination) svakih 10ms odabire snagu koju je moguće koristiti za prijenos podataka E-DCH kanalom (Slika 18).

Od ukupno raspoložive snage, prednost imaju R99 korisnici, dok se ostatak snage preraspodjeljuje HS korisnicima.

HS korisnici s boljim radio uvjetima (CQI vrijednost) imaju prednost prilikom dodjeljivanja resursa.

MAC-es – sloj implementiran na strani korisničke opreme i SRNC-a djelomično provodi multipleksiranje više MAC-d tokova u isti MAC-es tok. Na strani SRNC-a sloj obavlja preraspodjelu MAC-es tokova, demultipleksiranja MAC-d tokova te preraspodjelu MAC-d tokova u redove ovisno

Slika 18. TFC selekcija snage



o QoS karakteristikama, koji obično odgovaraju PDP kontekstu otvorenom na IuPS sučelju.

Činjenica da E-DCH kanal podržava meko prekapčanje, zahtijeva prisutnost MAC protokolnog sloja na strani NodeBa i SRNC-a. MAC sloj na NodeB-u obavlja vremenski kritične funkcije kao što su: HARQ, kontrola pristupa itd., dok MAC sloj na RNC-u obavlja funkcije vezane uz sekvencijalnu raspodjelu MAC-es okvira od istog korisnika ako je poslužen od pripadajućih baznih stanica.

Implementacijom novih MAC (MAC-es, MAC-e) slojeva omogućuje se, uz već implementirane funkcionalnosti s HSDPA tehnologijom, korištenje novih, a najvažnije će biti obrađene u sljedećim poglavljima.

3. Principi HSUPA tehnologije

S obzirom na to da je HSUPA usmjeren ka poboljšavanju kapaciteta sustava i brzina prijenosa podataka u uzlaznoj vezi, da bi ostvario željene performanse koristi sličnu metodu kao i HSDPA. Efikasnom kontrolom snage povećava brzine prijenosa korisnicima s dobrim radio uvjetima te smanjuje brzine prijenosa korisnicima s lošim radio uvjetima.

Da bi implementirala takav način kontrole snage, HSUPA primjenjuje principe (Slika 19):

- dodjeljivanja pristupa na baznoj stanici;
- HARQ;
- prilagodbu linka novim radio uvjetima;
- 2/10 ms duljinu TTI;
- meko prekapčanje.

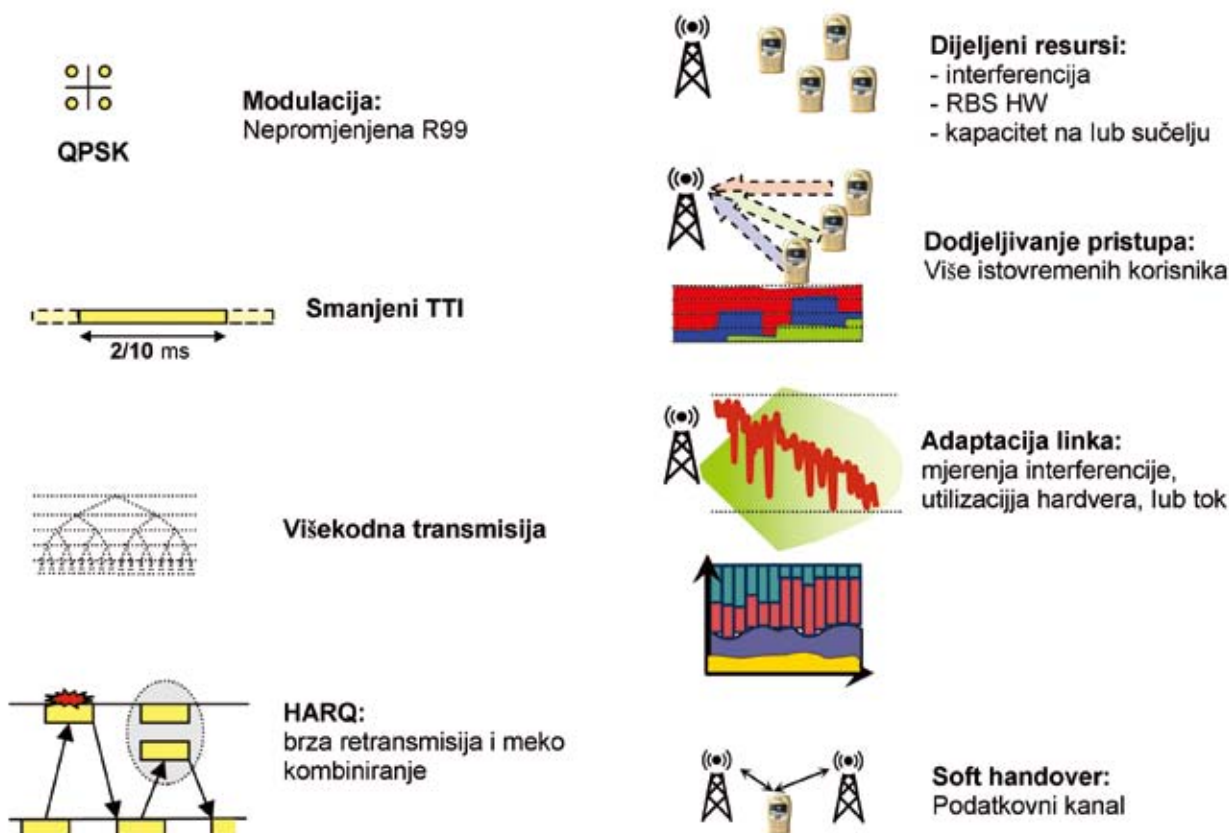
3.1. Brzi hibridni automatski zahtjev za ponovno slanje paketa - (HARQ)

HARQ funkcionalnost prikazana je na Slici 20., a poboljšana je:

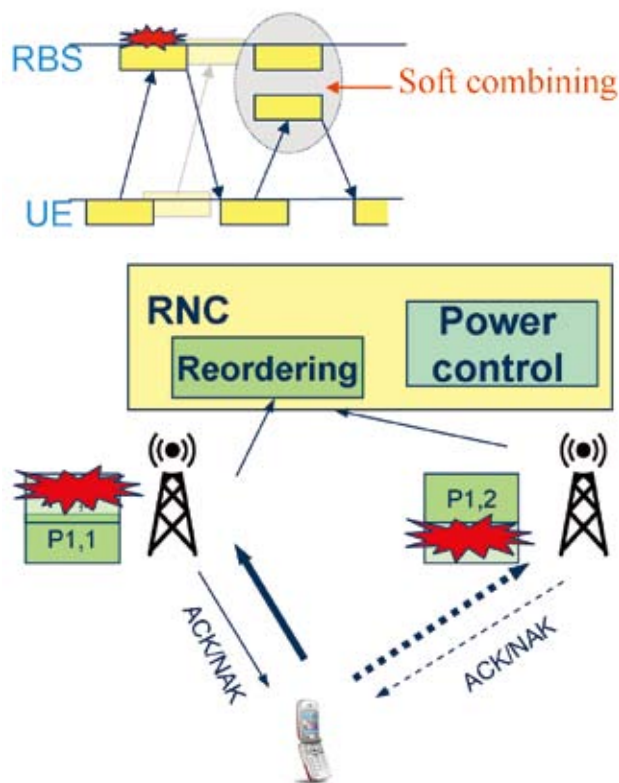
- brzim ponovnim slanjem paketa (retransmisijom) paketa - broj pokušaja ponovnog slanja paketa moguće je definirati parametarski;
- mekim kombiniranjem (*soft combining*) – koristeći meko kombiniranje UE pri prijenosu poruka „čuva“ snagu, dok mu je otpornost na nestabilnost kvalitete veze veća.

Svaki od MAC-d tokova ima H-ARQ profil u kojem je definiran maksimalni broj retransmisija.

Aplikacije neosjetljive na kašnjenje, koriste HARQ profil koji im omogućuje veći broj ponovnog slanja paketa, dok aplikacije osjetljive na kašnjenje (npr., glasovna



Slika 19. HSUPA principi



Slika 20. HARQ, meko kombiniranje

komunikacija) koriste profil s manjim brojem pokušaja ponovnog slanja.

3.2. Brza kontrola snage i meko prekapčanje

HSUPA zahtijeva stalnu kontrolu transmisijske snage koja se dodjeljuje E-DCH kanalu za prijenos podataka. Ona je neophodna kako bi se spriječilo preopterećenje bazne stanice.

Princip brze kontrole snage naslijeđen je iz osnova WCDMA sustava. Prijenosna snaga korisničke opreme je u izravnoj vezi s brzinom prijenosa podataka pa veće brzine prijenosa zahtijevaju niži faktor širenja (*spreading factor*), koji zahtijeva veću prijenosnu snagu od one koja je potrebna pri prijenosu informacija manjim brzinama i većim faktorom širenja.

Bazna stanica tolerira određenu granicu interferencije, nakon koje se pojavljuju problemi u dekodiranju transmisijske pojedinog UE-a.

Kada više korisnika odašilje u isto vrijeme, bazna stanica rješava problem interferencije regulirajući snagu pojedine korisničke opreme koja odašilje na E-DCH kanalu. Ovakva regulacija transmisijske snage je zapravo ekvivalentna brzom dodjeli pristupa u uzlaznoj vezi. Drugim riječima metoda dodjeljivanja pristupa u uzlaznoj vezi jest brzi mehanizam kontrole snage.

3.2.1. Što utječe na prijenosnu snagu

Kao što je opisano u prethodnim poglavljima, kanali za kontrolu snage su E-RGCH i E-AGCH. Kanali šalju informaciju korisničkoj opremi o potrebnoj regulaciji prijenosne snage. E-RGCH kanal prenosi informaciju o tome je li potrebno povećati ili smanjiti prijenosnu snagu ili ju zadržati na trenutnoj razini. Putem E-AGCH kanala bazna stanica šalje informaciju o predviđenoj apsolutnoj snazi na kojoj E-DCH kanal mora prenositi korisničke podatke.

Korisnička oprema i *NodeB* razmjenjuju podatke o transmisijskoj snazi, kako bi kontrolirali međusobnu snagu odašiljanja. Informacija se šalje po *DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)* kanalu (R99 kanal) čija je snaga izravno povezana s omjerom jačine signala i interferencije (*SIR - Signal to Interference Ratio*). Na osnovi *SIR* vrijednosti podešava se snaga E-DCH kanala (*Slika 21*).

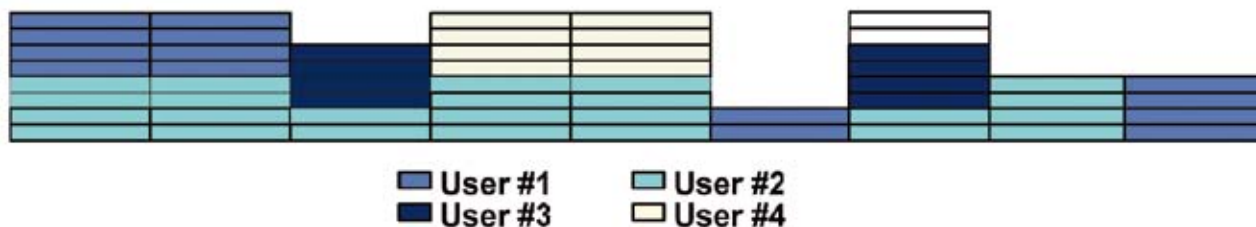
U slučaju pogreške, broje se pokušaji retransmisije, ovisno o čijoj vrijednosti se mijenja vrijednost *SIR*-a, a time i informacija UE-u o *TPC-u (Transmit Power Control)*, tj. o potrebi za smanjivanjem ili povećavanjem snage koja se trenutno koristi.

3.3. Dodjeljivanje pristupa u uzlaznoj vezi

Temelj metode dodjeljivanja pristupa je određivanje korisničkih brzina na osnovi ulaznih varijabli o raspoloživim resursima (*Slika 22*) i ovisno o korisničkim željama. Bazna stanica implementira dodjeljivanje pristupa



Slika 21. Odnos *SIR* vrijednosti i snage E-DCH kanala



Slika 22. Dodjeljivanje pristupa u uzlaznoj vezi

(scheduler) u uzlaznoj vezi. Dok HSDPA dodjeljuje HS-DSCH resurse, HSUPA kontrola pristupa dodjeljuje transmisijsku snagu pojedinom E-DCH kanalu koja je potrebna da bi se spriječilo preopterećenje bazne stanice. HSUPA kontrola pristupa alokira neiskorištene resurse DCH korisnika te ih dodjeljuje E-DCH korisnicima koji su poslali zahtjev za slanje podataka.

Na taj način raspoređuje se snaga između propuštenih korisnika i prilagođavaju brzine prijenosa.

Neke od funkcija metoda dodjeljivanja pristupa:

- određivanje brzine prijenosa koje će dobiti pojedini E-DCH korisnik, ovisno o raspoloživim resursima, pri čemu se izračun raspoloživih resursa vrši na osnovi ulaznih varijabli u dodjeljivač pristupa (scheduler), kako prikazuje Slika 24.:
 - opterećenje u uzlaznoj vezi na Uu sučelju;
 - opterećenje kontrole toka na Iub sučelju tj. raspoloživi resursi za sve ćelije koje posluhuje bazna stanica na dotičnom sučelju;
 - raspoloživi hardverski resursi na baznoj stanici za sve ćeliji definirane na dotičnom RBS-u;
- brine se da E-DCH korisnik dobije minimalne, od prije hardverski alocirane resurse;
- u slučaju da korisnik zatraži povećanje brzine prijenosa, metoda dodjeljivanja pristupa pokušat će (ovisno o raspoloživim resursima) povećati prijenosnu brzinu;
- u slučaju da veće brzine nije moguće dodijeliti korisniku bez smanjivanja brzine drugom korisniku, metoda dodjeljivanja pristupa će napraviti ponovno raspoređivanje.

3.3.1. Redoslijed dodjeljivanja pristupa

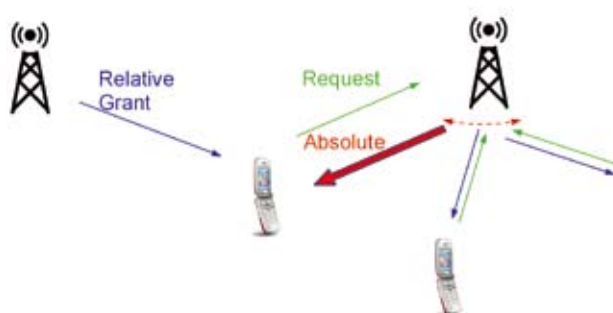
Slanje zahtjeva za pristup i dodjeljivanje pristupa može se sažeto svesti na tri osnovna koraka (Slika 23.).

- 1) Korisnik (tj. korisnička oprema, UE - User Equipment) šalje zahtjev za slanje podataka.

- Korisnik zahtjeva resurse za slanje podataka na osnovi informacije o dodjeli pristupa koja za ulazne podatke koristi količinu spremljenih podataka i raspoloživoj snazi terminala.
- 2) Bazna stanica odgovara na korisnikov zahtjev slanjem izračunate informacije o apsolutnoj snazi koju korisnik može koristiti i alokacijom potrebnih resursa u uzlaznoj vezi.
 - Bazna stanica određuje apsolutnu snagu terminala na osnovi praćenja interferencije u uzlaznoj vezi i razmatranjem korisničkog zahtjeva za željenim brzinama i realnim mogućnostima njihovoga ispunjavanja.
- 3) Korisnik dodijelenu snagu koristi za prijenos podataka prema baznoj stanici.
 - Koristeći informaciju o apsolutnoj snazi dobivenu od bazne stanice, korisnik na osnovi raspoloživih podataka i vlastite snage odabire E-DCH kanal za prijenos podataka i primjerenu snagu za prijenos.

3.3.2. Prioritet prilikom dodjeljivanja pristupa

Kao što je već spomenuto, bitni ulazni parametri na osnovi kojih se određuje kojem korisniku dodijeliti koji pristup i kakve brzine su (Slika 24.):



Slika 23. Postupak dodjeljivanja pristupa

- procjena opterećenja u uzlaznoj vezi na Uu sučelju;
- kontrola toka na Iub sučelju;
- hardverski resursi, odnosno, broj raspoloživih kanalnih elemenata.

U slučaju da više korisnika pošalje zahtjev za dodjelu pristupa ili povećanje brzina prijenosa ispunjavanje zahtjeva se vrši po definiranim prioritetnim listama. Prioritetne liste se formiraju posebno po svakoj ćeliji i Iub sučelju određene bazne stanice:

- lista korisnika u npr. ćeliji A, ovisno o brzini na Uu sučelju – analogno, prioritetne liste se formiraju za svaku od ćelija na baznoj stanici;
- lista korisnika na baznoj stanici, ovisno o brzini na Iub sučelju.

Da bi korisniku bio dodijeljen pristup ili povećana brzina prijenosa, on mora zadovoljiti određene zahtjeve definirane u prioritetnim listama.

Prioritetna lista koja se temelji na brzini prijenosa, dodjeljuje korisniku veću brzinu ili pravo pristupa po principu da korisnici s najmanjom brzinom prijenosa imaju najveći prioritet:

- korisnici s najmanjom brzinom prijenosa na Uu sučelju, imaju najveći prioritet na tom sučelju;
- korisnici s najmanjom brzinom na Iub sučelju imaju najveći prioritet, itd.

U slučaju da više korisnika ima jednaki prioritet, najranije poslan zahtjev dobiva prioritet.

3.4. Transportna implementacija HSUPA tehnologije

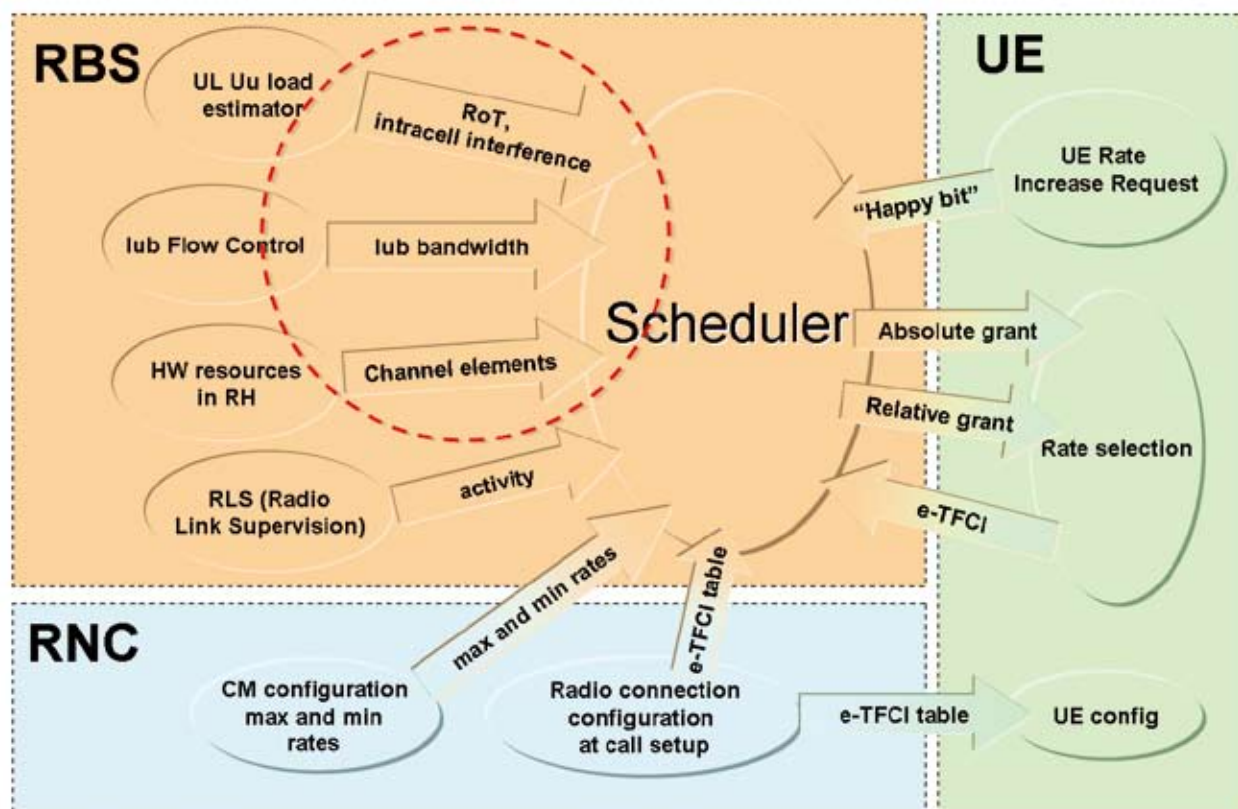
Uvođenjem HSUPA tehnologije, značajna su poboljšanja u transportnom dijelu mreže. U skladu s kvalitetom usluge (QoS – *Quality of Service*) klase C koja se definira uvođenjem HSDPA prometa, za HSUPA definira se nova *Best effort* QoS klasa D – klasa neodređene brzine koja prateći radio karakteristike, modificira transportne uvjete prijenosa HSUPA prometa.

Po svojoj definiciji QoS klasa D je:

- tolerantna klasa;
- koristi se za konekcije neodređene brzine prijenosa podataka;
- manjeg je prioriteta od C klase prometa.

Promet je moguće separirati ovisno o vrsti i prioritetu po QoS klasama:

- za promet visokog prioriteta, osjetljivog na kašnjenje (npr. glasovni promet) koristi se A klasa prometa – striktna klasa, tolerira kašnjenje do 5ms, opisuje se konstantnom brzinom prijenosa (CBR), a koristi se za konverzijske usluge (CS i PS strujećih aplikacija (PS64, CCH));
- za promet nižeg prioriteta koristi se B klasa



Slika 24. Postupak dodjeljivanja pristupa

prometa – striktna klasa, tolerira kašnjenje do 15ms, koristi se za prijenos paketskih usluga (npr. PS128, PS384), opisuje se varijabilnom brzinom prijenosa (VBR);

- za promet nižeg prioriteta, neosjetljivog na kašnjenje (HSDPA) i neodređene brzine prijenosa koristi se klasa C prometa, koja se opisuje neodređenom brzinom prijenosa (UBR).

Separacijom prometa na Iub sučelju omogućeno je operatorima da samostalno konfiguriraju Aal2 QoS klasu te na taj način, odvajajući HSPA korisnike koji koriste *Best effort* klasu, od DCH prometa, garantiraju performanse DCH korisnicima.

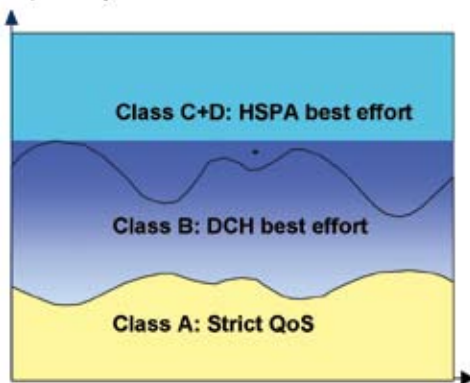
U daljnjem tekstu predstaviti će se tri različita načina transportne konfiguracije, ovisno o željama i prioritetima operatora.

3.4.1. Metode implementacije transportne konfiguracije

U mrežama koje podržavaju HSPA tehnologiju uvode se tri različita načina implementacije transportnog dijela na Iub sučelju:

1. odvajanje kvalitete usluge sa dva AAL2 kanala (Slika 25.);

Iub capacity



2. odvajanje kvalitete usluge sa dva AAL2 kanala uz osiguravanje minimalne širine prijenosa za HS promet (Slika 26.);
3. klase A,B,C i D definirane na istom AAL2 kanalu - ovakva konfiguracija omogućuje potpuno QoS razdvajanje prometa na virtualnom kanalu koji je opisan konstantnom brzinom prijenosa.

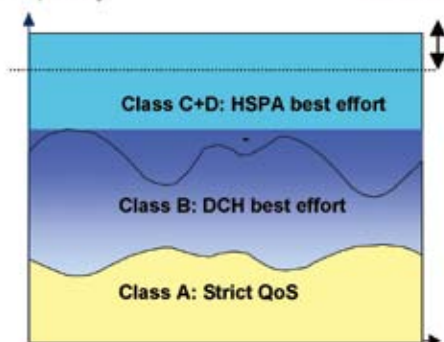
3.5. Promjene u mrežnoj opremi uvođenjem HSUPA funkcionalnosti

Jedna od bitnih prednosti ove tehnologije jest da je njena implementacija moguća na već izgrađenoj infrastrukturi UMTS mreže.

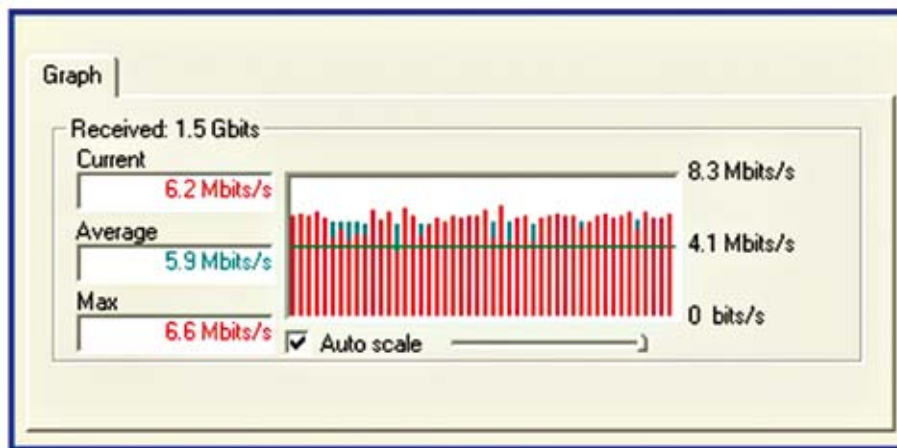
S obzirom na to da HSUPA funkcionalnost predstavlja poboljšanje brzina prijenosa u uzlaznoj vezi na radio sučelju, funkcionalne promjene su na RNC-u i RBS-u. S HSUPA instalirani su novi MAC entiteti (MAC-e, MAC-es) na RNC, RBS-u i korisničkoj opremi koji obavljaju funkcije brze retransmisije, HARQ, kontrolu pristupa, multipleksiranje i demultipleksiranje.

Slika 25. Odvajanje QoS s dva AAL2 kanala
Klase A, B definirane su virtualnim kanalom opisanim konstantom brzinom prijenosa (CBR); klasa C (koristi se za prijenos HSDPA prometa) i D (koristi se za prijenos HSUPA prometa) definirane su na istom AAL2 putu, s virtualnim kanalom opisanim neodređenom brzinom prijenosa (UBR). U ovoj konfiguraciji pojasna širina prijenosa za HS promet nije unaprijed osigurana.

Iub capacity Minimum HS rate



Slika 26. Minimalne širine prijenosa za HS promet
Klase A i B definirane su na istom AAL2 putu, a su opisane virtualnim kanalom s konstantnom brzinom prijenosa, klase C i D definirane na istom AAL2 putu i virtualnom kanalu koji je opisan neodređenom brzinom prijenosa, ali osigurava minimalnu širinu pojasa prijenosa za HS promet (UBR+). U ovoj konfiguraciji pojasna širina prijenosa za HS promet je osigurana minimalna prijenosna širina pojasa.



Slika 27. Brzine postignute u silaznoj vezi

3.5.1. Utjecaj na elemente u Ericssonovoj WCDMA pristupnoj mreži

Za postizanje HSUPA funkcionalnosti na RBS-u neophodno je potrebno:

- implementirati novi hardver (min: HS-TX15, TX3.x pločice, min: RAX R2 pločice);
- ažurirati na novu softversku verziju (min: P5.GA).

U slučaju da mreža ima implementiranu HSDPA tehnologiju, dovoljno je zadovoljiti uvjete za ažuriranjem softvera na P5 reviziju i implementaciju hardvera (RAX pločica).

RNC zahtijeva minimalne promjene kao što je, primjerice, ažuriranje softvera na P5GA reviziju.

Kao što je vidljivo, HSUPA tehnologijom se, uz minimalne zahvate na UMTS/HSDPA mreži, operatorima, isporučuju

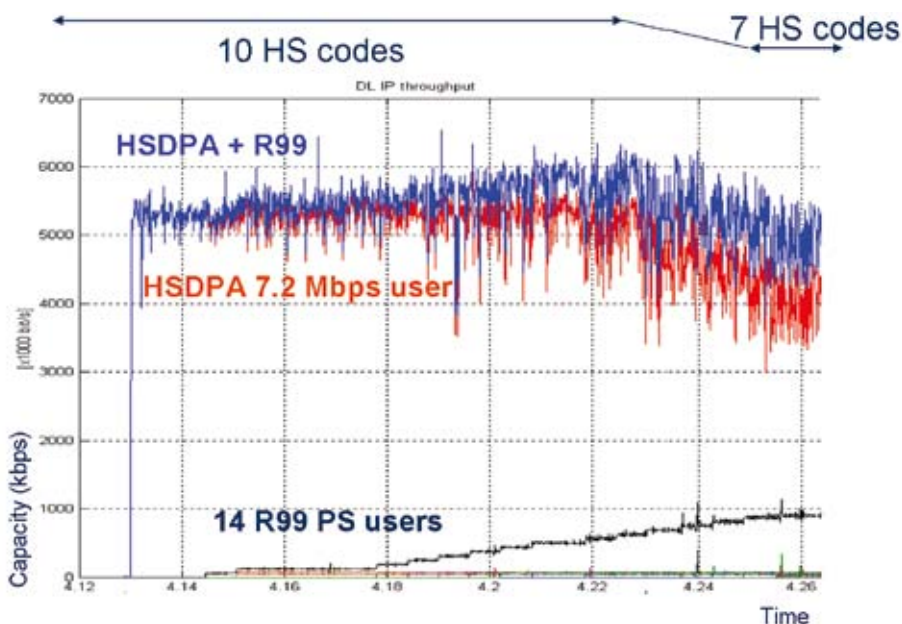
značajna unaprjeđenja u vidu brzine prijenosa podataka u uzlaznoj vezi i implementacije novih usluga koje omogućuju potpunu mobilnost korisnika, a time obogaćuju i olakšavaju korisnikov poslovni i privatni život.

4. HSPA performanse

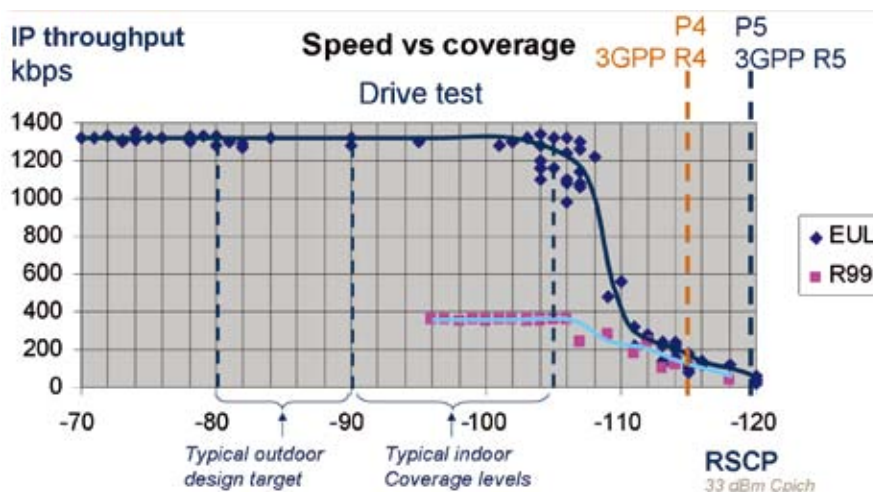
Performanse sustava su značajno poboljšane uvođenjem HSPA funkcionalnosti, a poboljšanja možemo promatrati u tri osnovne kategorije:

- performanse krajnjeg korisnika;
- nove korisničke usluge;
- usavršeni kapaciteti sustava.

Performanse krajnjeg korisnika poboljšane su korištenjem do 15 kodova, kodnog multipleksiranja, dinamičke alokacije kodova, fleksibilnim metodama dodjele pristupa, većom mobilnošću krajnjeg korisnika, većim brojem HS korisnika.



Slika 28. Ostvarivi kapacitet pri zajedničkom dijeljenju kodnih resursa R99 i HS korisnika



Slika 29. HSUPA brzine u ovisnosti o pokrivenost

Navedena svojstva:

- povećavaju brzinu prijenosa do 14 Mbps u silaznoj vezi; 1,4 Mbps u uzlaznoj vezi,
- povećavaju kapacitet sustava za +100-200%,
- smanjuju vrijeme čekanja na <70 ms,

i time omogućuju pogodnosti korištenja funkcionalnosti koje postaju krajnjem korisniku jasno vidljive.

Nove korisničke usluge utemeljene na HSUPA tehnologiji, osim što se realiziraju brzinama u uzlaznoj vezi do 5,6 Mbps (za sada 1,4 Mbps), također donose i niz drugih poboljšanja u vidu:

- smanjenog vremena čekanja (latencije) < 60ms
- povećanja kapaciteta (do čak 50%).

Uvedeno je čak 11 novih RAB-ova, od kojih je u ovom izdanju uveden govor+HSDPA, RAB koji omogućuje korisnicima istovremeno korištenje glasovne i podatkovne komunikacije.

Usavršen je kapacitet sustava pomoću:

- funkcije dinamičke alokacije kodova koja omogućava dijeljenje kodova unutar NodeB-a i između R99 i HS korisnika;

- dodatne metode aktivacije prijelaza na niži razred brzina (*downswitch*) u ovisnosti o propusnosti (*throughput*), uz naslijeđene metode iz prijašnjih izdanja u ovisnosti o kapacitetu, pokrivenosti, neaktivnosti korisnika.

Ericsson Nikola Tesla je među prvima u svijetu sudjelovao u implementaciji HSDPA faze 2 tehnologije, a prvi u Europi ju je i komercijalno implementirao (Slika 27).

Na Slici 28. prikazan je trenutno ostvarivi HS kapacitet u silaznoj vezi uz korištenje 10, odnosno 7 kodova i 16QAM modulacije.

Jedinstveno Ericssonovo rješenje dinamičke alokacije kodova omogućuje jednostavno i efikasno dijeljenje kodnih resursa R99 korisnika i HSDPA korisnika.

U skoroj budućnosti očekuju se brzine prijenosa u silaznoj vezi do 14,4 Mbps.

U uzlaznoj vezi, za sada je moguće postići maksimalnu brzinu do 1,4 Mbps na fizičkom sloju (Slika 29.) uz dobre radio uvjete.



Slika 30. HSPA korisnička oprema

E-DCH Category	Max number of E-DPDCH channels	Minimum SF	Supported TTI	Peak rate for TTI = 10 ms*	Peak rate for TTI = 2 ms
Category 1	1	SF 4	10 ms	711 kbps	--
Category 2	2	SF 4	2 & 10 ms	1448 kbps	1448 kbps
Category 3	2	SF 4	10 ms	1448 kbps	--
Category 4	2	SF 2	2 & 10 ms	2000 kbps	2886 kbps
Category 5	2	SF2	10 ms	2000 kbps	--
Category 6	4	SF2 + SF 4	2 & 10 ms	2000 kbps	5742 kbps

Tablica 2. Kategorije HSUPA terminala

5. Korisnička oprema

Ekspanziju HSPA vrlo slikovito opisuje činjenica brzog širenja ponude trenutno dostupnih HSDPA terminala na tržištu.

Do travnja 2007. godine komercijalno je dostupno 254 HSDPA terminala, što je gotovo dvostruko veća brojka od one objavljene prije tri mjeseca.

A broj isporučitelja HSDPA terminala se u istom vremenskom razdoblju udvostručio.

Komercijalno je za sada dostupno 40 terminala koji podržavaju ili mogu biti ažurirani na HSDPA faze 2, a 20 koji podržavaju tehnologiju HSUPA.

Njihov ozbiljniji proboj na tržište tek se očekuje, i to u obliku mobilnih telefona, PC kartica, ugradbenih PC modula, USB modema, prijenosnih računala ili bežičnih usmjeritelja (Slika 30.).

Definirano je više kategorija terminala koji podržavaju različite brzine HSUPA prijenosa podataka.

Kao što je vidljivo iz Tablice 2., ovisno o podržanom faktoru širenja, transmisijskom vremenskom intervalu te broju korištenih E-DPDCH kanala, postižu se različite brzine prijenosa. Trenutačno je u komercijalnoj upotrebi kategorija 3 terminala, koja podržava transmisijski interval od 10 ms, uz faktor širenja 4, a maksimalna brzina prijenosa koja se može postići ovom kategorijom terminala je oko 1,45 Mbps.

6. Zaključak

Ovaj članak donosi trenutačno aktualne novosti u razvoju paketnog prijenosa podataka u mobilnim mrežama. Prikazane su metode i principi nadogradnje postojećih sustava HUSPA i HSDPA tehnologijama, odnosno načini postizanja brzina od 7,2 Mbps u silaznoj vezi i 1,4 Mbps u uzlaznoj vezi. Nema dvojbe da je razvoj telekomunikacijske tehnologije u usponu, što rezultira mogućnostima naprednijim od onih koje osiguravaju podatkovne veze u segmentu prijenosa bakrenim paricama xDSL tehnologijom.

Prva komercijalna implementacija HSDPA+ tehnologije u Europi je nadogradnja Vipnetove mreže u izvedbi Ericssona Nikole Tesle. Između ostaloga i taj je projekt pozicionirao Ericsson kao lidera u tom segmentu tržišta. U budućnosti nas očekuje daljnje povećanje brzina, a u ovom trenutku predvidive su brzine od 14,4 Mbps u silaznoj vezi, odnosno od 5,6 Mbps HSUPA u uzlaznoj vezi.

7. Kratice

AAL2	ATM Adaptation layer 2
ACK	Acknowledge
CN	Core Network
CQI	Channel Quality Indicator
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
E-AGCH	Enhanced Absolute Grant Channel
E-DCH	Enhanced Dedicated Channel
E-DPCCH	Enhanced Dedicated Physical Control Channel
E-DPDCH	Enhanced Dedicated Physical Data Channel
E-HICH	Enhanced HARQ Indicator Channel
E-RGCH	Enhanced Relative Grant Channel
E-TFC	Enhanced Transport Format Combination
E-UL	Enhanced Uplink
HARQ	Hybrid Automatic Request
HS-DPCCH	High Speed Dedicated Physical Control Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSDPA stage 2	High Speed Downlink Packet Access faza 2
MAC	Medium Access Control
ME	Mobile Equipment
NACK	Non Acknowledge
NAS	Non Access Stratum
PDU	Protocol Data Unit
RLC	Radio Link Control
RRC	Radio Resource Control
RTT	Round Trip Time
SF	Spreading Factor
SIR	Signal to Interference Ratio
TPC	Transmit Power Control
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
3GPP	Third Generation Partnership Project
16QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation

8. Literatura

- [1.] Anwar Mousa: „Power Control tehnique for High Speed Downlink Packet Access system“, Journal of high speed networks, 14. izdanje
- [2.] D. Avidor, S. Mukherjee: ”Downlink Dimensioning for the HSDPA Standard”, Wireless Personal Communications
- [3.] Ingo Forkel, Hartmut Klenner, Andreas Kemper: High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)—Enhanced D Data Rates for UMTS Evolution, Computer Networks Aachen University, Germany
- [4.] T. Blajić: „Evolucija radijske pristupne mreže u mobilnim sustavima treće generacije“, Revija 2/2006
- [5.] 3GPP TS 25.309 “Technical Specification Group Radio Access Network; FDD Enhanced Uplink, Overall description”
- [6.] 3GPP TS 25.308 “High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), Overall description”
- [7.] Interna Ericssonova dokumentacija

Adresa autorice:

Iva Medvid

e-mail: iva.medvid@ericsson.com

Ericsson Nikola Tesla d.d.

Krapinska 45

p.p. 93

HR-10002 Zagreb

Hrvatska

Uredništvo je primilo rukopis 20. lipnja 2007.