



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

Hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem paketa, H-ARQ

3,5 generacija mobilnih sustava (3,5G)

Brza adaptacija veze

Upravljanje brzim pristupom mediju, MAC-hs

Brze metode dodjeljivanja prava pristupa

Adaptivna modulacija i kodiranje, AMC

QPSK

16QAM

Key words:

High Speed Downlink Packet Access, HSDPA

Hybrid Automatic repeat Request, H-ARQ

3,5 Generation (3,5G)

Fast Link Adaptation

Medium Access Control - high speed, MAC-hs

Fast Channel Scheduling

Adaptive Modulation and Coding, AMC

Quadrature Phase Shift Keying, QPSK

Quadrature Amplitude Modulation, 16QAM

Prikaz funkcionalnosti brzoga paketnog pristupa silaznom vezom

Sažetak

U sljedećih nekoliko godina očekuje se značajno povećanje paketnog prometa i pretpostavlja se da će on postati dominantni dio 3G prometa u mreži.

Tehnologija brzoga paketnog pristupa silaznom vezom (HSDPA - *High Speed Downlink Packet Access*) nudi značajno poboljšanje u odnosu na širokopojasni višestruki pristup s kodnom raspodjeljom kanala (WCDMA – *Wideband Code Division Multiple Access*) u silaznoj vezi. HSDPA tehnologija poboljšava kapacitet sustava i značajno povećava brzinu prijenosa podataka (do 14 Mbps), što rezultira boljim performansama krajnjeg korisnika i kraćim vremenima odaziva i uspostave konekcije.

U ovom članku opisane su tehnike kojima su postignute ovako velike brzine prijenosa podataka, skraćeno vrijeme transmisijskog intervala, hibridni automatski zahtjev za retransmisiju, amplitudna modulacija i kodiranje, metode prava pristupa, dinamičko alociranje snage, transmisijska zajedničkim kanalima te upravljanje brzim pristupom mediju (MAC-hs - *Medium Access Control - high speed*). Također su opisane promjene u mrežnoj tehnologiji uvođenjem HSDPA funkcionalnosti (na RBS-u i RNC-u), transportni načini implementacije HSDPA tehnologije te osnovne performanse HSDPA sustava.

High Speed Downlink Packet Access

Abstract

Data services are expected to have significant growth over the next few years and will likely become the dominant source of 3G traffic. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) provides impressive enhancements over Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) for the downlink. It offers peak data rates of up to 14 Mbps, resulting in a better end-user experience for downlink data applications, with shorter connection and response times. This article is organized as follows:

First comes the description of HSDPA physical channel configuration and protocol layer changes. Next, HSDPA key aspects and new features are presented (short TTI, Shared Channel Transmission, Fast Channel-Dependent Scheduling, Fast Link Adaptation, Amplitude Modulation and Coding, Fast Hybrid ARQ, Power Allocation). Also, transport network configuration and architectural impact are presented and a comparison to Release'99 downlink packet access possibilities is made.

1. Uvod

Od pojave prvih čelijskih mreža, osamdesetih godina prošlog stoljeća, bežične komunikacije dugo su bile usmjerene na prijenos govora.

U počecima razvoja bežične telefonije, prva generacija mreža (*Slika 1.*) počivala je na analognom bežičnom sustavu - Nordic Mobile Telephony (NMT), koji je koristio frekvencijsku modulaciju za prijenos govora i *Frequency Shift Keying* (FSK) za signalizaciju. U NMT sustavu koristio se višestruki pristup u frekvencijskoj podjeli (FDMA - *Frequency Division Multiple Access*). On se ostvaruje dodjeljivanjem posebne frekvencije svakom komutacijskom kanalu, a različiti se frekvencijski pojasevi dodjeljuju u silaznoj (DL - *Down Link*) i uzlaznoj vezi (UL- *Up Link*).

Nedostaci ovakve bežične komunikacije bili su brojni, međunarodno su NMT sustavi bili nekompatibilni, prisluškivanje je bilo jednostavno, mobilni uređaj je bio prevelič, a vijek baterije prekratak.

Devedesete godine prošlog stoljeća karakterizira ekspanzi-

prilagodbu. U skladu s time se u sljedećim generacijama bežičnih mreža težilo brzoj integraciji prijenosa glasa i naprednim tehnikama prijenosa podataka (pristup LAN mrežama, video konferencija). Tako nastaju 2,5G bežične mreže, odnosno mreže tehnički smještene između 2G i 3G mreža.

Predstavnici ove generacije bežičnih mreža su:

Brzi prijenos podataka s komutacijom kanala (HSCSD - *High Speed Circuit Switched Data*) - ovom tehnologijom postizale su se brzine do 57,6 kbit/s te je djelomično riješen problem premale brzine prijenosa podataka u GSM-u.

Osnovni princip je da se mobilnom korisniku dodjeli više od jednog kanala kako bi se ostvario veći protok podataka. Maksimalan broj kanala koji se može dodjeliti korisniku je šest, pa maksimalna brzina prijenosa iznosi 57,6 Kbit/s.

Opće paketne radijske usluge (GPRS - *General Packet Radio Service*) predstavljaju važnu prijelaznu fazu k trećoj generaciji bežičnih mreža. Za uvođenje GPRS-a nužno je bilo integrirati dva nova čvora: SGSN (*Serving GPRS Support Node*) i GGSN (*Gateway GPRS Support Node*). Paketi se

Standard	Frekvencija (MHz)	Broj kanala
NMT 450	453-457,5 463-467,5	180

Slika 1: Mobilni sustav prve generacije

ja digitalnih bežičnih mreža druge generacije (GSM-*Global System for Mobile Communication*), potpuno novog sustava u odnosu na prethodni NMT (*Slika 2.*).

Prijenos govora i signalizacije je digitalan, postignuta je međunarodna usuglašenost (standard), mreža odašiljača je gusta te je postignuta dobra pokrivenost.

Koristi se višestruki pristup u vremenskoj podjeli (TDMA - *Time Division Multiple Access*) koji omogućuje da se na svakoj prijenosnoj frekvenciji izvede više kanala u vremenskoj podjeli, pa ukupan broj kanala odgovara umnošku broja frekvencija i vremenskih kanala.

2G mreže ostvaruju brzinu prijenosa podataka do 9,6 kbit/s, što je sa stanovišta korisnika vrlo mala brzina za paketni prijenos, nedovoljna za većinu usluga.

Uz nedovoljnu brzinu prijenosa, veliki nedostatak ove tehnologije jest da GSM od samoga početka nije bio zamisljen kao lokalna mreža (LAN - *Local Area Network*), prijenos podataka se bazirao na komutaciji kanala (CS - *Circuit Switched*). Također, GSM se odlikovao vrlo komplikiranom strukturonom protokola, što je zahtijevalo njihovu promjenu i

Standard	Frekvencija (MHz)	Broj kanala
GSM 900	890-915 935-960	992
DCS 1800	1710-1785 1805-1880	2992

Slika 2: Mobilni sustav druge generacije

mogu direktno usmjeravati od GPRS mobilne stanice prema paketnim mrežama, npr. X.25, IP mrežama teoretskim brzinama do 115 kbit/s. Također je moguće definirati željeni profil kvalitete usluge (QoS - *Quality of Service*), ovisno o željenoj kvaliteti prijenosa. Tako je podešavanjem parametara kvalitete usluge (kašnjenje, prioritet, pouzdanost, protok, itd.) moguće definirati željenu kvalitetu usluge, ovisno o raspoloživim resursima i korisničkim potrebama.

Tehnologija poboljšane brzine prijenosa za globalnu evoluciju (EDGE - *Enhanced Data rates for Global Evolution*) je omogućila teoretske brzine oko 230 kbit/s, dok u praksi brzina prijenosa ovisi o broju korisnika, kvaliteti signala i tipa mobilnog telefona. Najvažnije promjene ova tehnologija je donijela u radio dijelu mreže. Promijenjen je protokolni složaj i koristi se 8-PSK modulacija, što omogućuje veće brzine i sigurniji prijenos.

Ideja EDGE tehnologije bila je ostvarivanje što veće brzine prijenosa, istodobno koristeći već postojeće resurse GSM mreže.

Trendovi u razvoju tehnologije i sve veći zahtjevi korisnika

postavili su mnogo veće kriterije u pogledu brzina prijenosa podataka i potpune pokretljivosti (terminala i korisnika).

Pojavom mreža treće generacije, postižu se znatno veće brzine prijenosa: teorijska brzina od 144 kbit/s (u praksi 128 kbit/s) je brzina garantirana u svim uvjetima, na otvorenom prostoru postiže se brzina do 384 kbit/s. Ovakvo povećanje brzine omogućuje širok spektar usluga u 3G mreži od usko-pojasnih (govor), do širokopojasnih (multimedija). Na Slici

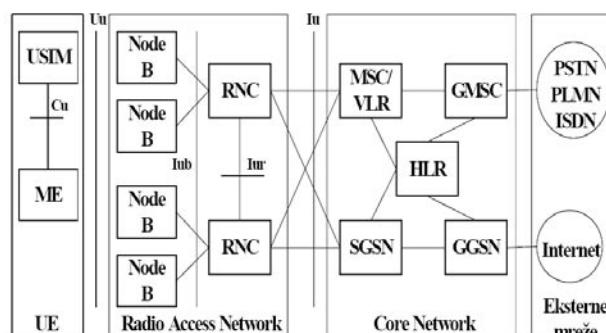
Standard	Frekvencija (MHz)
UMTS	1920 – 1980 2110 - 2170

Slika 3: Frekvencijski opseg UMTS

3. je prikazan frekvencijski opseg UMTS tehnologije.

Također, poboljšana je kvaliteta usluge: smanjeno je kašnjeњe, brza komutacija paketa, unificirano rukovanje poruka, korisnicima je omogućen konstantan pristup govornim i paketnim komunikacijama, usluga postaje jednostavna, sigurna, pouzdana i fleksibilna.

Tehnička izvedba UMTS mreže (Slika 4.) koja omogućava ovakvo poboljšanje bazira se na širokopojasnom pristupu



Slika 4: Arhitektura UMTS sustava

s kodnom podjelom (WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access).

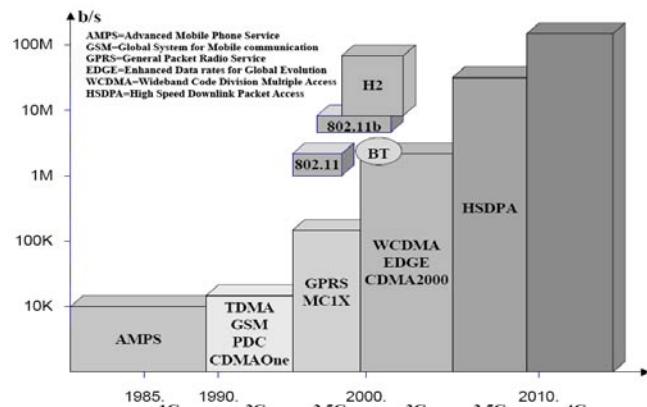
Razvoj tehnologije zapravo je diktirala kontinuirana težnja za usavršavanjem i razvojem novih tehnologija, potaknuta vjećitim ljudskim streljenjem k boljem, što rezultira konstantnim uvođenjem novih tehnologija ili poboljšanjem već postojećih.

U skladu s time, iako mreže treće generacije još uvijek nisu dosegle svoju potpunu i maksimalnu komercijalnu upotrebu, već se planira uvođenje 4G mreže, odnosno, standarda

iza 3G mreža, koji označava unaprjeđenu verziju 3G mreže s potpunim paketnim prijenosom i širokim propusnim opsegom (Slika 5.).

U ovako izazovnom i brzom razvoju telekomunikacijskih tehnologija trenutačno se nalazimo u tehnički prijelaznoj fazi između 3G i 4G mreže.

Brzi paketni pristup silaznom vezom (HSDPA -High Speed Downlink Packet Access) predstavlja tehničku nadogradnju WCDMA 3G mreže koja je obrađena u 3GPP R5, R6 specifikacijama.



Slika 5: Razvoj telekomunikacijskih mreža

Tehnologija HSDPA predstavlja novi korak u razvoju telekomunikacijskih sustava, tj. 3.5G generaciju, dakle korak smo bliže četvrtoj generaciji mobilnih sustava.

HSDPA tehnologija predstavlja značajno unaprjeđenje brzina u paketnom prijenosu. U praksi se za sada postižu brzine do 1.8 Mbit/s u silaznoj vezi, dok je teoretski ova tehnologija dizajnirana za podržavanje brzina od 14 Mbit/s.

Uz veliko povećanje brzine, smanjeno je kašnjeњe prilikom video, audio učitavanja (*download*) ili drugih većih mapa podataka, što omogućuje ugodan rad s aplikacijama u stvarnom vremenu (*real-time applications*).

Tehnološke promjene, odnosno, nova implementirana svojstva koja omogućuju ovakvo poboljšanje su sljedeća:

AMC - Adaptive Modulation and Coding

H-ARQ – Fast Hybrid Automatic repeat Request

FCSS – Fast Cell Site Selection

TTI – Short Transmission Time Interval

Shared Chanell Transmission

Fair and fast scheduling at Node B.

2. Tehnološki pregled HSDPA tehnologije

Značajna promjena koju donosi HSDPA je proširenje postojećih UMTS kanala za promet na silaznoj vezi (DCH,

DSCH, FACH) s fizičkim i logičkim kanalima namijenjenim za HSDPA promet.

Također, važne su i promjene u protokolnom sloju promjena modulacijske tehnike (AMC - *Adaptive Modulation and Coding*) kojom se, kako sam naziv govori, na osnovi čestih povratnih informacija o kvaliteti kanala (*channel conditions*) odlučuje o korištenju najbolje modulacijske tehnike i sheme kodiranja da bi se u tom segmentu optimizirala brzina prijenosa podataka.

Dinamika ovog procesa je vrijednost transmisijskog vremenskog intervala (TTI - *Transmission Time Interval*).

Sama vrijednost TTI je značajno smanjena (TTI = 2 ms) u usporedbi s R99 (TTI = 10, 20, 40 ili 80 ms).

Daljnji, ali ne manje važni razlog učinkovitosti HSDPA tehnologije je nova tehnika retransmisije podataka - brzi hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem paketa

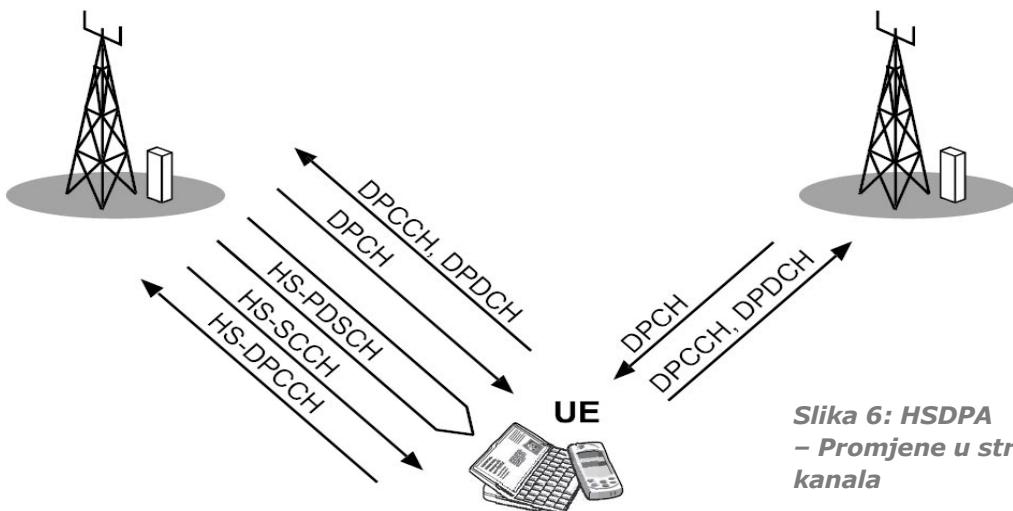
- **High Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH)**

koristi se za prijenos korisničkih podataka u silaznoj vezi i predstavlja transportni mehanizam za logičke HSDPA kanale – HS-DSCH. Iako je 3 GPP standardima predviđeno korištenje do 15 HS-PDSCH kanala po celiji, za sada se koristi maksimalno 5 kanala po celiji s konstantnim faktorom širenja (SF - *Spreading Factor*).

- **High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)**

je transportni kanal u silaznoj vezi, koji mogu zajednički koristiti svi korisnici u celiji.

HS-DSCH kanal koristi zajedničke resurse kodova pridjeljenih kanalima (*channelization*) koji se dinamički dijele između korisnika. Dinamičko dijeljenje među HSDPA korisnicima se radi u vremenskoj domeni, svakih 2 ms. Osim



Slika 6: HSDPA – Promjene u strukturi kanala

(H-ARQ - *Fast Hybrid Automatic Repeat Request*), omogućuje korisničkoj opremi (UE - *User Equipment*) da iz aktivnog seta odabere RBS s trenutačno najboljim radio uvjetima za prijenos podataka (podržano u kasnijim softverskim verzijama).

Kao što se može naslutiti, implementacija HSDPA zahtijeva veće promjene na fizičkom sloju, dok protokolne promjene zahtijevaju novi MAC identitet nazvan MAC – hs.

Na ostalim mrežnim slojevima, promjena je minimalna.

2.1. Promjene u fizičkoj i logičkoj strukturi kanala

HSDPA je rezultat kontinuiranog napretka mobilne tehnologije. Jedna od bitnih tehnoloških promjena koje su dovele do ovako značajnog povećanja brzina jest uvođenje nove kanalne strukture, odnosno nadogradnja već postojeće strukture novim HSDPA kanalima: HS-PDSCH, HS-DSCH, HS-SCCH, HS-DPCCH (*Slika 6*).

dinamičkog dijeljenja ovim kanalom se kontinuirano, svakih 2 ms, šalju informacije o potrebi retransmisije paketne jedinice (PDU - *Packet Data Unit*), odnosno informacije vezane uz H-ARQ te podaci o transportnom formatu koji će se koristiti za prijenos podataka (TFRC - *Transport Format and Resource Combination*).

Ovaj kanal podržava brzu adaptaciju veze, HARQ i metode dodjeljivanja pristupa.

Prva faza uvođenja HSDPA tehnologije podržava 5 kodova, no maksimalni broj kodova je 15. Kako bi se omogućila funkcionalnost HS-DSCH kanala, uvedena su dva dodatna kontrolna kanala:

- **High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)**

je kanal u uzlaznoj vezi (SF=256). Svaki pojedini korisnik koristi po jedan HS-DPCCH kanal u celiji za prijenos signalizacijskih poruka o uspješnosti dekodiranja pripadajućeg DL prometa (ACK / NACK) te informacije o izmjerenoj kvaliteti kanala u silaznoj vezi. Tu informaciju RBS dobiva

u obliku poruke o kvaliteti kanala (CQI - *Channel Quality Indicator*), potrebne RBS-u za AMC. Kanal može biti jedino u softverskom prekapčanju (*Software HO - Software Hand Over*) s obzirom da terminira na RBS-u.

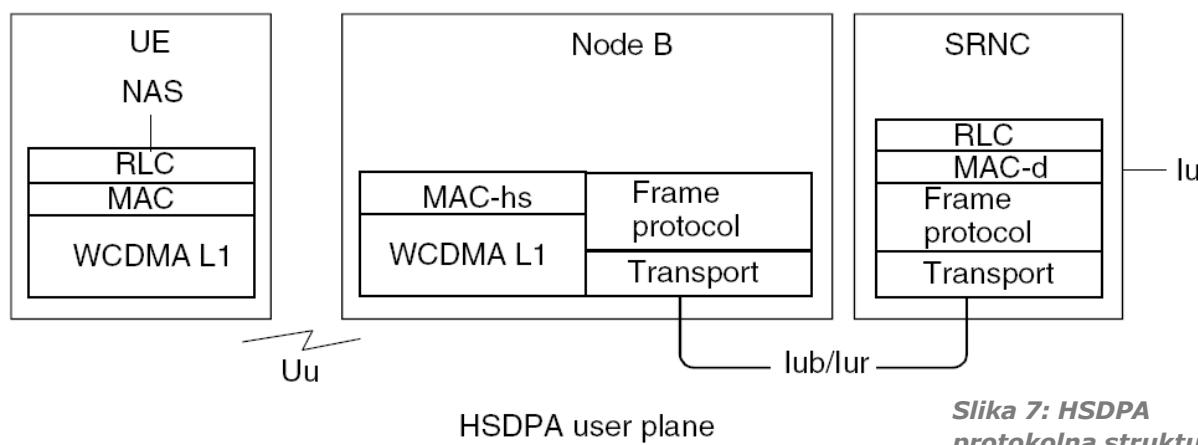
• High-Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)

je kanal u slaznoj vezi ($SF=128$), koji se koristi za prijenos signalnih informacija. Informacija potrebna svake 2 ms, sastoji se od: UE ID (*identity*), informacije vezane za H-ARQ i TFRC parametre potrebne HS-DSCH kanalu. Glavni mu je zadatak da odredi koji UE će primati podatke na HS-DSCH kanalu.

dužine okvira. Promjenjivu duljinu okvira spominjemo kao kratki vremenski interval za transmisiju. TTI se odabire ovisno o tipu podržanog prometa i broju podržanih korisnika. Tipična vrijednost je 2 ms. Na ovaj način omogućeni su kratki intervali između transmisije, za vrijeme dok više korisnika dijeli jedan kanal.

Od ovako kratkog TTI naročite su koristi imale nove HSDPA funkcionalnosti:

• Brza adaptacija veze - Fast Link Adaptation



Kako su te signalne informacije u svakom trenutku potrebne samo jednom UE u ćeliji, HS-SCCH kanal je za sada jedinstven u svakoj ćeliji, no on ne podržava softverski HO.

2.2. Promjene u protokolnoj strukturi

Da bi se omogućila brza adaptacija linka, brzi H-ARQ i brza metoda dodjeljivanja pristupa uvodi se novi *Medium-Access Control* podsloj (MAC-hs) koji se definira na RBS-u, dok su MAC-d i RLC protokolni slojevi sačuvani u RNC protokolnoj strukturi (Slika 7).

U dalnjim poglavljima opisane su novoimplementirane HSDPA tehnologije kojima je postignuto povećanje brzine uz očuvanje kompatibilnosti s već postojećom opremom.

2.2.1. Kratki vremenski interval za transmisiju

HSDPA uvodi mnogo kraći TTI u odnosu na prijašnje vrijednosti. On je glavni razlog smanjenog kašnjenja na radio sučelju, osim toga, smanjeno je i cijekupno kašnjenje, a povećana brzina praćenja karakteristika kanala. Ukoliko vrijeme čekanja smanjeno je za oko 75 ms. Performanse krajnjeg korisnika su osjetno poboljšane kod usluga koje koriste TCP/IP protokol za prijenos podataka (npr. pretraživanje Interneta), gdje naročito dolazi do izražaja smanjenje Round Trip Timea.

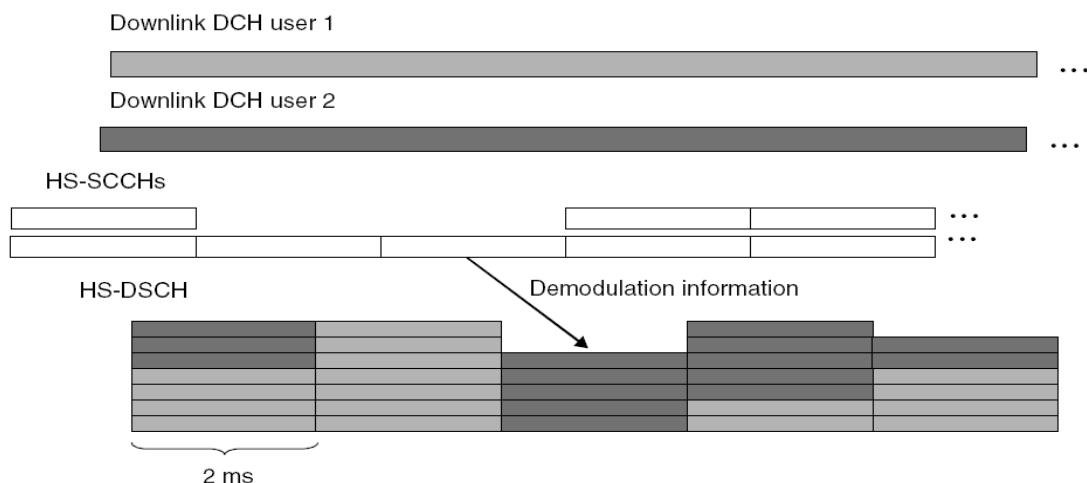
HS-DSCH dodan HSPDA standardu je resurs varijabilne

- Brzi hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem paketa- Fast Hybrid ARQ
- Brza metoda dodjeljivanja pristupa - Fast Channel - Dependent Scheduling.

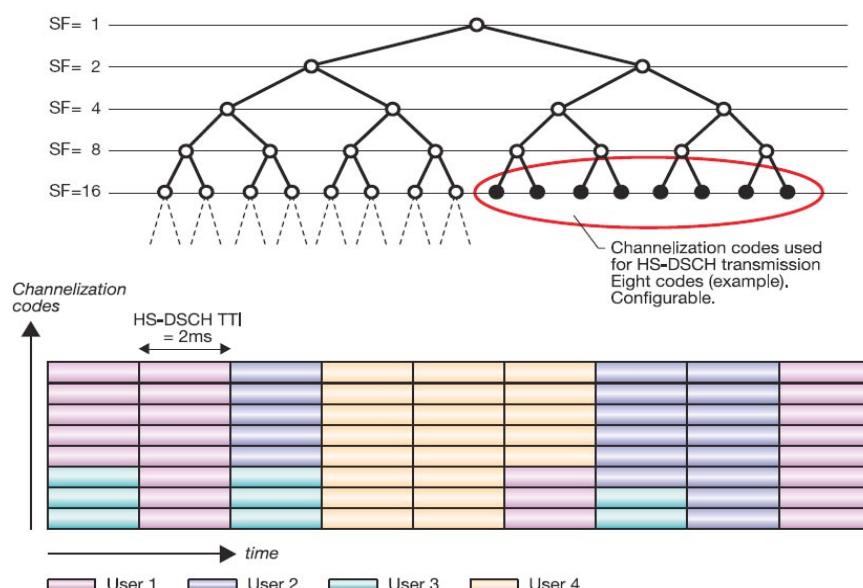
2.2.2. Transmisija dijeljenjem kanala

HSDPA uvodi novi transportni kanal u slaznoj vezi: HS-DSCH. U vidu kodne domene, faktor raspršenja ($SF - Spreading Factor$) za ovaj kanal je uvek 16, a moguća je višekodna transmisija i multipleksiranje različitih korisnika. Dakle, sama ideja ovog kanala je podjela (*sharing*) kodnih resursa između više paketnih korisnika u slaznoj vezi, prvenstveno u vremenskoj domeni, čime se postiže transmisija dijeljenjem kanala (*Shared Channel Transmission*). Kodovi su osigurani korisniku isključivo prilikom korištenja za prijenos podataka, što vodi puno efikasnijem iskorištanju kodnih resursa i resursa snage. Najveći broj kodova koji može biti osiguran je 15, ali broj kodova ovisi o mogućnostima terminala koji mogu primati najviše 5, 10 ili 15 kodova, ovisno o vrsti terminala. Za sada se može koristiti maksimalno 5 kodova.

Na Slici 8. je prikazana situacija kada dva korisnika koriste isti HS-DSCH kanal. Oba korisnika provjere informaciju na HS-SCCH kanalu da bi otkrili koji od HS-DSCH koda je potrebno koristiti kako bi se postiglo dijeljenje kanala (*de-spreading*), kao i ostale parametre potrebne za demodulaciju.



Slika 8: Transmisijska dijeljenjem kanala



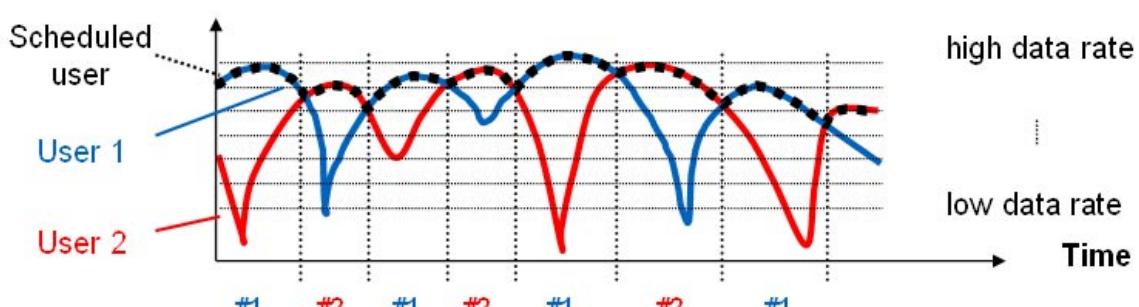
Slika 9: HS-DSCH kanal u vremenskoj i kodnoj strukturi

2.2.3. Metode dodjeljivanja pristupa

Kako HS-DSCH kanal zajednički koristi više korisnika, potrebna je metoda određivanja pristupa (*Scheduling*) da bi se omogućio pristup svim korisnicima. Metodom dodjeljivanja pristupa određuje se koji će UE odašiljati podatke u određenom vremenskom intervalu i kojom brzinom (Slika

9.). Ovo svojstvo, implementirano na RBS-u, je dio MAC-hs protokola. Za svaku vrijednost TTI, on određuje brzinu kojom se HS-DSCH kanal odašilje i, u suradnji s mehanizmom za adaptaciju veze, određuje brzinu odašiljanja.

Osnovna ideja ovog svojstva jest da se favorizira prijenos podataka na onaj UE koji ima najbolje radio karakteristike (Slika 10.).



Slika 10: Metoda dodjeljivanja pristupa ovisno o radio karakteristikama

U HSDPA postoje tri metode dodjeljivanja prava pristupa:

- **Algoritam Proportional Fair Scheduling**
- **Algoritam Round Robin**
- **Maksimalni omjer C/I.**

Algoritam *Proportional Fair Scheduling* favorizira korisnike s dobrim radio uvjetima, istovremeno osiguravajući dovoljnu količinu resursa korisnicima sa lošijim radio uvjetima. Ova metoda:

- **povećava kapacitet sustava;**
- **omoguće ispravnu podjelu kanalnih resursa korisnicima.**

Mehanizam za dodjelu pristupa odašilje informacije prema svakom korisniku, periodički, u vremenskom intervalu od 2 ms (TTI). Pri tome se koriste UE mjerena (UE measurement reports) koja odražavaju gušenje na radio dijelu - kratkotrajni gubitak jačine polja (*path loss*), promjena jakosti signala (*fading*) i interferencija. Tako se korisniku odašilju informacije, onda kada su radio uvjeti optimalni, te se na taj način povećava kapacitet sustava. Pravednost raspodjele se postiže i tako da se uzima u obzir raspodjela vremenskih resursa.

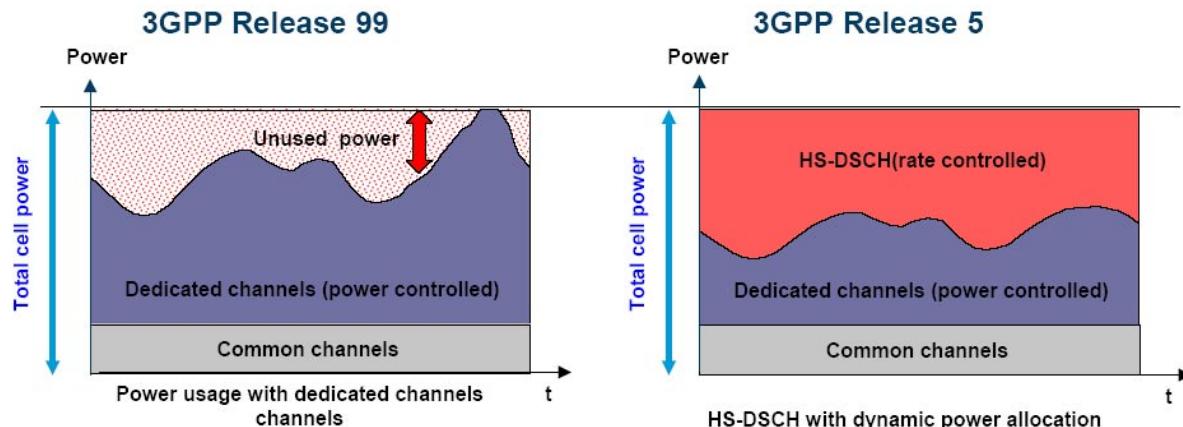
Proporcionalno dodjeljivanje se može postaviti na razini ćelije, a ćelija kojoj nije postavljeno će koristiti tzv. *Round Robin* dodjelu pristupa.

funkcionirati između algoritama *Round Robin* i Max C/I. Koji od ta dva algoritma i kada koristiti, najviše ovisi o vrsti i količini prometa. Pravilni odabir algoritma za dodjelu pristupa najviše dolazi do izražaja kod velike količine prometa. Za interaktivnu "best effort" klasu podataka, preporučljivo je koristiti *Proportional Fair* algoritam da bi se izbjegla situacija da neki korisnici ne dobiju nikakvu prošnosnost.

2.2.4. Adaptivna modulacija i kodiranje

S HSDPA, dva osnovna WCDMA svojstva - promjenjivi SF (*Spreading Factor*) i brza kontrola snage - su zamjenjeni adaptivnom modulacijom i kodiranjem (AMC - *Adaptive Modulation and Coding*), širokim multi-kodnim funkcijama te brzom i efikasnom metodom retransmisije.

HS-DSCH ne koristi kontrolu snage da bi se kompenzirala varijacija u kvaliteti kanala, već HS-DSCH mijenja brzinu kanala ovisno o trenutačnim radio uvjetima i raspoloživom predajnom snagom na RBS-u. Nakon posluživanja zajedničkih (*common*) i pridjeljenih kanala (*dedicated channel*), ostatak ćelijske snage se raspodjeljuje HS-DSCH kanalu što rezultira efikasnijom upotrebo snage (*Slika 11*). Koristeći brzu adaptaciju linka, za usluge koje mogu tolerirati podrhtavanje signala (*jitter*), moguće je funkcioniranje skoro na maksimalnoj snazi, a da istovremeno omogućuju konstan-



Slika 11: Dinamička alokacija snage

Algoritam *Round Robin* uzima u obzir jedino faktor kasnjenja. Red prioriteta s većim vremenom čekanja u "redu" dobit će viši prioritet od reda s manjim vremenom čekanja. Rezultat je algoritam koji daje jednaku mogućnost prioritetnim redovima s podacima u međuspremniku da budu izabrani. Sam algoritam je vrlo jednostavan, ali loših performansi.

Algoritam Max C/I Ratio dodjeljuje korisniku kanal s najboljim karakteristikama, a ne utječe na pravednost raspodjele kanala korisnicama.

Najbolje primjenjiv algoritam za dodjelu pristupa trebao bi

tnu brzinu prijenosa određenim uslugama na pridjeljenim kanalima.

Kako je TTI za HS-DSCH kanal mnogo kraći nego u R99, odluke o metodi dodjeljivanja pristupa i adaptaciji veze su periodične i donose se za svaki TTI. Adaptacija veze na kanalu je vrlo brza. Također je moguće i prilagođavanje brzine, promjenom efektivne brzine kodiranja, modulacijske sheme i promjene broja kodova.

Osim QPSK modulacije HS-DSCH može koristiti 16QAM modulaciju kojom se postižu veće brzine prijenosa podataka (*Tablica 1*) i omogućeno je efikasnije iskorištavanje po-

TFRC	Modulation	Effective code rate	Max. throughput (Mbps)
1	QPSK	$\frac{1}{4}$	1.8
2	QPSK	$\frac{2}{4}$	3.6
3	QPSK	$\frac{3}{4}$	5.3
4	16 QAM	$\frac{2}{4}$	7.2
5	16 QAM	$\frac{3}{4}$	10.7

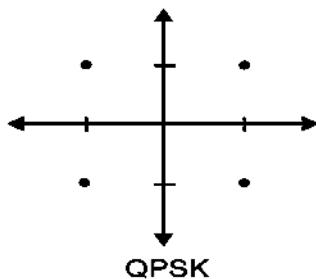
Tablica 1: Brzine prijenosa u HSDPA ovisno o modulacijskoj tehnici efektivnom stupnju kodiranja

jasa propusnosti, no takva modulacija zahtijeva bolje uvjete radio kanala.

16QAM je komplementarna modulacija u odnosu na QPSK koja primarno povećava brzinu prijenosa podataka u povoljnim radio uvjetima, a tek sekundarno kapacitet sistema. Također, brzina prijenosa znatno ovisi o efektivnom stupnju kodiranja (*effective code rate*). Osim o ova dva čimbenika brzina prijenosa ovisi o korištenoj ARQ metodi.

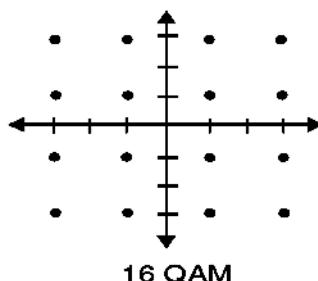
Ova metoda modulacije:

Slika 12: QPSK i 16QAM modulacija



gućnosti da kod pojedinih usluga (usluga neodređene brzine prijenosa podataka), nije potrebno koristiti konstantnu brzinu prijenosa podataka, dok je za usluge na pridjeljenim kanalima (npr. glas, video) moguće osigurati konstantnu brzinu prijenosa.

2.2.5. Brzi hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem paketa



- **povećava brzinu prijenosa podataka u povoljnim radio uvjetima**

- **povećava kapacitet sistema: kako se postiže veća brzina prijenosa podataka, vrijeme potrebno za transmisiju se skraćuje, što omogućava ostalim korisnicima da dobiju pravo pristupa.**

U usporedbi s QPSK modulacijom, ovom metodom moguće je postići transmisiju dva puta više bitova na fizičkom sloju (*Slika 12.*).

Modulacijska tehnika koja će se koristiti, kao što je već pišano, se odabire na osnovi TTI = 2ms ovisno o radio uvjetima i UE mogućnosti. Ako UE podržava ovu modulaciju i ako radio uvjeti dopuštaju, korisnik će dobiti veću brzinu prijenosa podataka.

16QAM modulaciju može koristiti korisnička oprema s boljim prijemnicima, smještenim bliže RBS anteni, micro/indoor ćelijama, odnosno dijelovima mreže koji omogućavaju dobre radio uvjete.

Konfiguracija 16QAM modulacije moguća je na ćelijском nivou, a ako ćelija nije posebno konfigurirana, koristit će se QPSK modulacija.

Osnovna ideja metode brze adaptacije veze nalazi se u mo-

Brzi hibridni automatski zahtjev za ponovnim slanjem paketa (H-ARQ – *Fast Hybrid Automatic repeat Request*) je sustav u kojem prijamna stanica šalje ACK poruku pošiljaljelskoj stanici da je paket uspješno primljen. Uvjet za određivanje uspješnosti prijema, obično je usporedba zbroja za provjeru (CRC - *Cyclic Redundancy Checksum*) koji je poslan s podacima. U slučajevima kada je zbroj za provjeru koji je poslan s paketom različit od onog koji je prijamna stanica izračunala, šalje se NACK (*Negative Acknowledgment*) poruka pošiljaljelu. Nakon primitka NACK poruke, vrši se ponovna transmisija neispravno primljenog paketa.

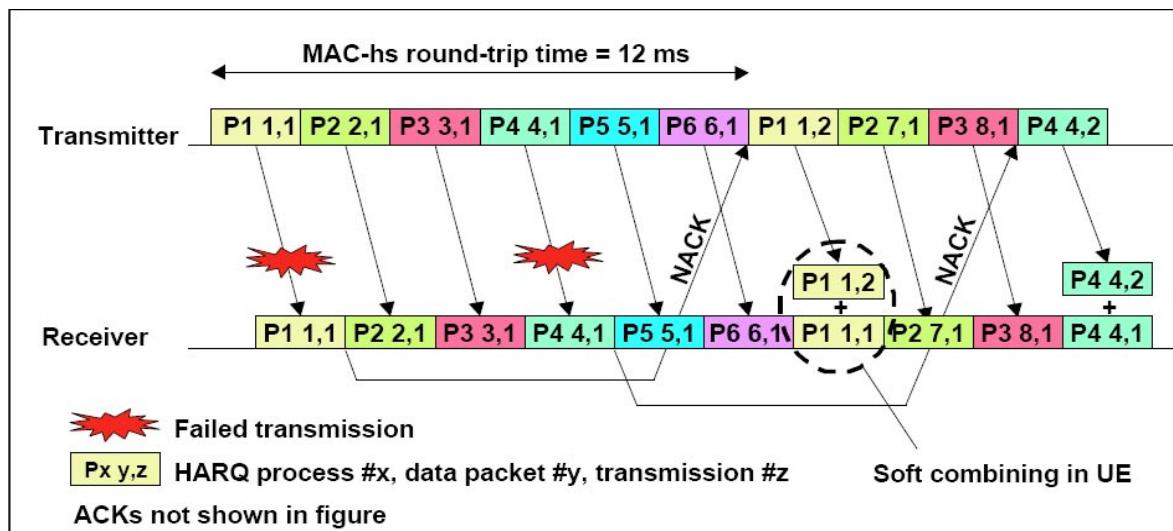
U HSDPA ova procedura je poboljšana dvjema metodama:

- **Soft Combining**
- **Incremental Redundancy (IR)**

te je potreba za ponovnom transmisijom paketa minimalizirana (*Slika 13.*).

Soft Combining

Korisnička oprema pokušava dekodirati svaki primljeni transportni blok podataka, i periodično, svakih 5 ms šalje informaciju RBS-u o ispravnosti ili neispravnosti primljenih blokova. Ako UE detektira da je paket neispravno primljen, šalje NAQ poruku RBS-u. Neispravan paket biti će sačuvan, a ne odbačen. U slučaju da je ponovno poslan pa-



Slika13: Princip rada H-ARQ svojstva

ket neispravno primljen, on će se kombinirati s prethodnim neispravno primljenim paketom koji je ostao sačuvan te će se pokušati kompletirati cijeli ispravni paket. Kod svake retransmisije paketa korištena je ista shema kodiranja. Na kraju, paket će biti ili ispravno primljen i UE će se oporaviti od pogrešaka, ili će se dostići maksimalni broj retransmisijskih pogrešaka, ili će se ispravak pogreške vršiti viši protokoli.

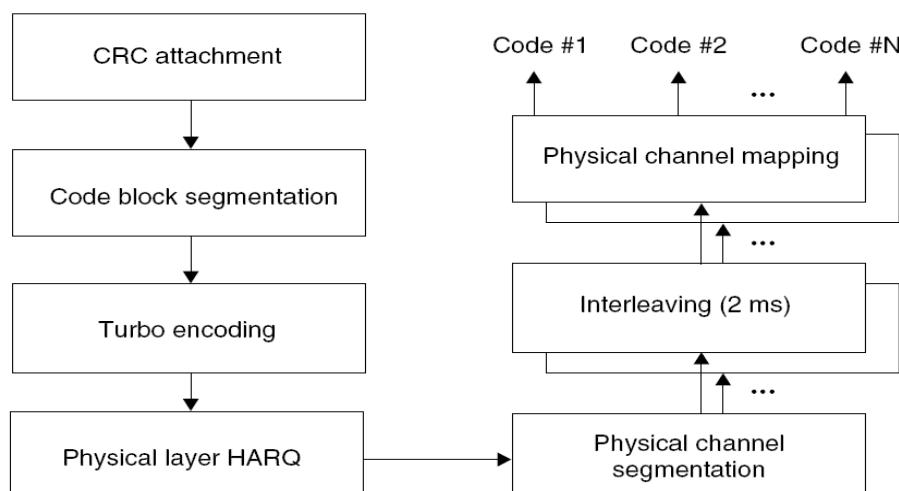
Incremental Redundancy (IR)

IR je sličan proceduri *Soft Combininga*, ali za razliku od njega podaci koji su ponovno poslati, bivaju kodirani korištenjem inkrementalne redundantne informacije kako bi se povećale šanse da će paket biti ispravno primljen ili da se dovoljno pogrešaka može ukloniti kako bi se omogućilo spajanje sa prethodnim paketima i ispravak pogreške (Slika 14.).

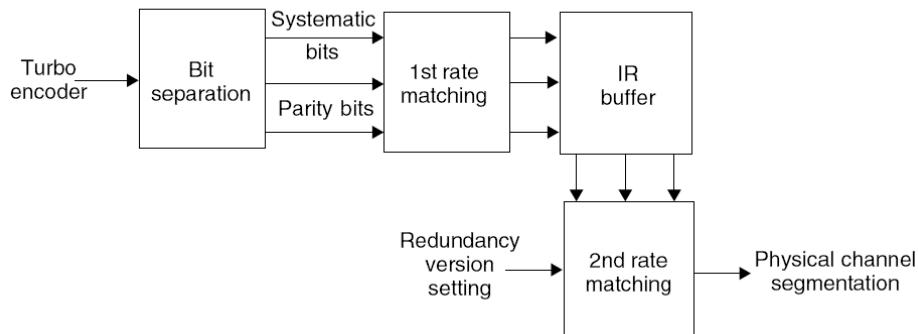
UE je u stanju brže slati zahtjeve za retransmisijom, a HARQ mehanizam u RBS-u je u stanju vrlo brzo odgovarati na te zahtjeve, što značajno smanjuje Round Trip Time na 60 ms (Slika 15.).

3. Promjene u mrežnoj opremi uvođenjem HSDPA funkcionalnosti

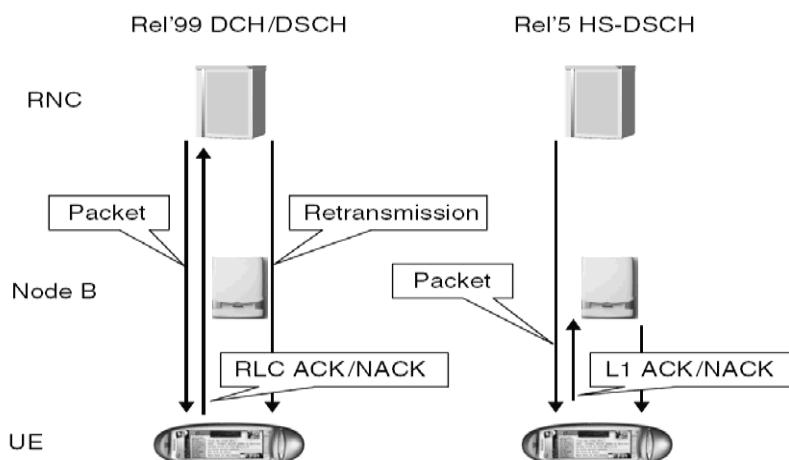
Kao što je prije pisano, HSDPA omogućava niz poboljšanja uz korištenje već implementirane opreme. Najvažnije svojstvo HSDPA je da omogućuje brzu prilagodbu veze promjenjivim radio uvjetima i brzi prijenos podataka.

Slika
14: HS-
DSCH faze
kodiranja
kanala

S HSDPA novi MAC-hs sloj je instaliran na RBS-u, a samim time retransmisiju kontrolira izravno RBS, što također vodi bržoj retransmisiji i smanjenom kašnjenju kod paketnog prijenosa kada je to potrebno.



Slika 15: Princip funkcioniranja HARQ svojstva



Slika 16: Retransmisija koju kontrolira direktno RBS

3.1. Utjecaj na elemente u Ericsson WCDMA radio pristupnoj mreži (RBS i RNC)

Za postizanje HSDPA funkcionalnosti na RBS-u neophodno je potrebno (Slika 16.):

- implementirati novi hardver koji podržava dodatni MAC-hs protokol (min: HS-TX15, TX3.x pločice)
- ažurirati na novu softversku verziju (min: P4.GA).

Kako HSDPA uvodi poboljšanja prvenstveno na zračnom sučelju, odgovarajuće funkcionalnosti su smještene u njegovoj blizini, tj. prvenstveno u RBS-u: brza adaptacija linika, metoda dodjeljivanja pristupa, hibridni ARQ.

Može se reći da su glavne promjene, uvođenjem HSDPA funkcionalnosti, imale utjecaja na arhitekturu RBS-a, načito uvođenjem novog MAC-hs protokolnog sloja.

Za postizanje HSDPA funkcionalnosti na RNC-u neophodno je potrebno

- ažurirati softverske verzije (min: P4.GA).

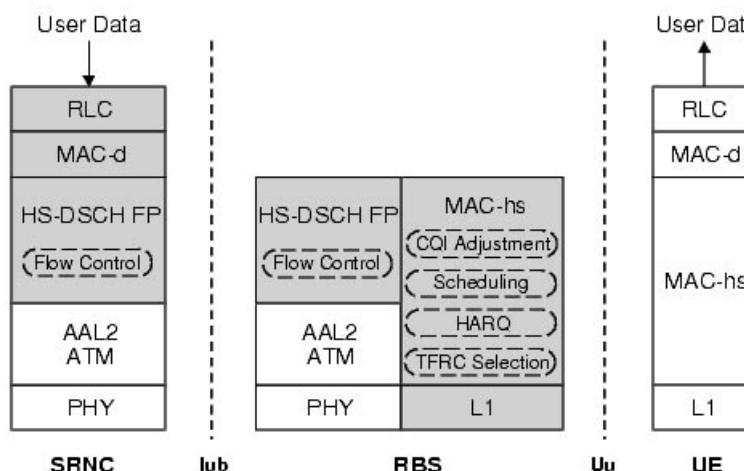
Na Slici 17. dan je prikaz promjena u protokolnoj strukturi na korisničkoj ravnini.

Kao što je vidljivo, HSDPA tehnologijom se, operaterima koji već imaju implementiranu UMTS/WCDMA tehnologiju, isporučuju značajna unaprjeđenja u vidu brzine prijenosa podataka i implementacije novih usluga te poboljšanja već postojećih (strujeći video, mobilno pretraživanje interneta) koje obogaćuju i olakšavaju korisnikov poslovni, privatni i život u pokretu uz minimalne zahvate i promjene na UMTS/WCDMA mreži.

4. Transportna implementacija HSDPA funkcionalnosti

Poboljšanja u transportnom dijelu su također velika. Za HSDPA promet definira se nova Best Effort Aal2 QoS klasa C - klasa neodređene brzine prijenosa, koja prilagođava transportne mehanizme novim radio karakteristikama koje su opisane u prijašnjem tekstu.

Također, moguće je definirati Unspecified Bit Rate (UBR) VC za AAL2 promet.



Slika 17:
Protokolna
struktura na
korisničkoj
ravnini

UBR omogućava uslugu neodređene brzine prijenosa (*best effort*), bez garancija o kašnjenju i varijacijama kašnjenja, tipično je korišten za HSDPA promet, a moguće ga je koristiti za B klasu prometa u "*best effort*" konfiguraciji.

HSDPA tok korisničkih podataka RBS - RNC (HSDPA Iub Flow Control)

Svrha Iub kontrole toka je održavanje prioritetnih redova na RBS-u prikladno popunjениm da bi se izbjeglo preopterećenje transportne mreže. Algoritam Iub kontrole toka računa i odlučuje kada bi RNC trebao poslati MAC-d okvire RBS-u. Kalkulacija Iub kontrole toka je temeljena na nekoliko parametara i na konfigurabilnim atributima povezanim s ukupnim pojasom propusnosti na Iub sučelju i kapacitetu Aal2 puta klasa C na RBS-u.

Uvodi se separacija QoS, što znači da su korisničkim konekcijama za govorne i podatkovne usluge dane različite QoS klase na Aal2 putu.

Poboljšanja koje nosi ovakva separacija

Dodata klasa C prometa koja se definira za HSDPA najviše se koristi za interaktivni/pozadinski promet u HSDPA, karakteristike stvarno-vremenskih usluga su osigurane u WCDMA RAN, tj. govorne usluge i ostale stvarno-vremenske usluge imaju prednost.

"*Best effort*" promet u HSDPA je strogo odvojen od QoS prometa na DCH-u. Time su garantirane performanse DCH prometa.

4.1. Principi konfiguracije HS prometa na Iub sučelju

U ovom dijelu poglavlja dano je objašnjenje vrste prometa i prometnih parametara u R99 i HSDPA:

Class A: Stringent class – high, delay target < 5 (2-10) ms
For speech and other conversational services

Class B: Stringent class – medium, delay target < 15 (5-20) ms
For other scheduled transfers with strict arrival deadlines

Class C: Tolerant class – high. Unspecified delay
For best effort HSDPA connections

Klasa prometa A: Striktna klasa, koristi se za govor i konverzacijeske usluge, definira kašnjenje manje od 5 ms (CBR).

Klasa prometa B: striktna klasa, koristi se za prijenos paketnih usluga (glas/video), definira kašnjenje manje od 15 ms.

Klasa prometa C: tolerantna klasa, nije definirano kašnjenje, koristi se za konekcije neodređene brzine prijenosa podataka.

U HSDPA razlikujemo tri kategorije usluga i prometa:

- uslugu konstantne brzine prijenosa - CBR (Constant Bit Rate)
- uslugu promjenljive brzine prijenosa - VBR (Variable Bit Rate)
- uslugu neodređene brzine prijenosa - UBR (Unspecified Bit Rate)

CBR usluga koristi se za prijenos celijskog toka konstantne brzine. Takav tok najčešće stvaraju nekomprimirani glas i video, no mogu ga stvoriti i drugi izvori. Usluga je garantirana rezervacijom resursa.

VBR usluga koristi se za prijenos audio i video sadržaja u realnom vremenu. Pri uspostavi veze izvor specificira vršnu i srednju brzinu toka kojeg će uputiti u mrežu.

VBR usluga ima dvije potkategorije: stvarno-vremenski VBR (VBR-rt - *real-time*) i nestvarno-vremenski VBR (nrt-VBR - *non-real-time*).

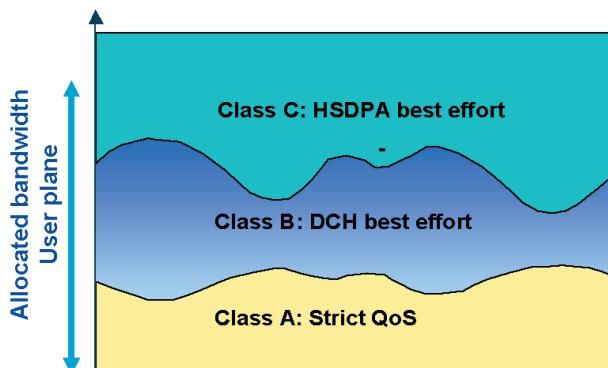
rt-VBR služi za prijenos video i audio sadržaja u stvarnom vremenu, dok nrt-VBR usluga služi za prijenos videa i audia bez vremenskog ograničenja dostave informacije na odredište (npr. multimedijski e-mail).

UBR usluga koristi se za prijenos podataka bez ikakvih jamstava o kvaliteti usluge i njene isporuke. Jedini parametar koji se predaje mreži je vršna brzina kojom izvor može slati podatke u mrežu. Mreža nije odgovorna za vrijeme dostave, niti za izgubljene celije.

U HSDPA moguća je definicija QoS klase B i C kao "*Best effort*" klasa (Slika 18.).

HSDPA omogućuje mnogo učinkovitiju implementaciju interaktivnih i pozadinskih QoS klasa. Visoke brzine prijenosa podataka povećavaju i poboljšavaju korištenje stružećih aplikacija, dok će mala vremena *round-trip* kašnjenja poboljšati korištenje *Web* aplikacija.

Dva osnovna principa konfiguracije HSDPA:



Slika 18: Klase prometa u HSDPA

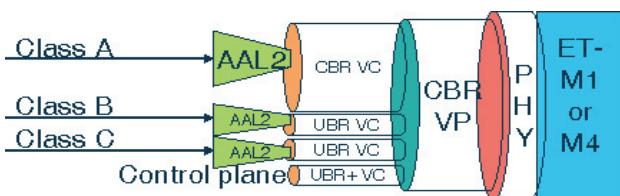
- svaka klasa prometa je na svome Aal2 putu (Slika 19.).

Takva konfiguracija je preporučena za korištenje na ETM1 ili ETM4 pločicama. Ova opcija je tehnički lako izvediva, ali ne pruža najbolje preformanse.

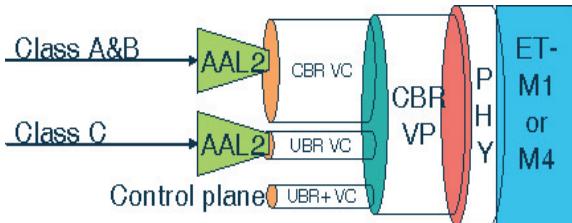
- Više klase prometa dijele isti Aal2 put (Slika 20., 21. i 22.).

5. HSDPA performanse

Kako se dva, gotovo osnovna svojstva WCDMA sustava,



Slika 19: Svaka klasa prometa definirana na posebnom Aal2 putu



Slika 20: A i B klasa prometa (CBR) dijele isti Aal2 put, dok je klasa C (HSDPA) promet definiran na posebnom Aal2 putu, ovakva konfiguracija je izvediva na ETM1/ETM4/ETMC1 pločicama

brza kontrola snage i varijabilni SF, ne koriste u HSDPA sustavima, procjena HSDPA performansi razmatra svojstva različita od onih u WCDMA sustavu.

5.1. Čimbenici koji utječu na HSDPA performanse

Način rada HSDPA sustava podrazumjeva prilagođavanje promjenama u okolini i performansama kanala brzom adaptacijom modulacije, kodiranja i kodnih resursa. Performanse HSDPA sustava ovise o više faktora, a neki od njih su:

- Stanje kanala:

Cetiri bitna faktora: vremenska disperzija, stanje ćelije, brzina terminala i omjer vlastite interferencije ćelije naspram interferencije druge ćelije. Mjerenja pokazuju rast interferencije u sustavu upotrebom HSDPA: tipične vrijednosti omjera do -5dB u usporedbi sa približno -2 do 0 dB za DCH kanal.

- Performanse terminala:

Osjetljivost i mogućnost potiskivanja smetnji kao i podržane HSDPA usluge, npr. vršni *bitrate* i broj multi-kodova.

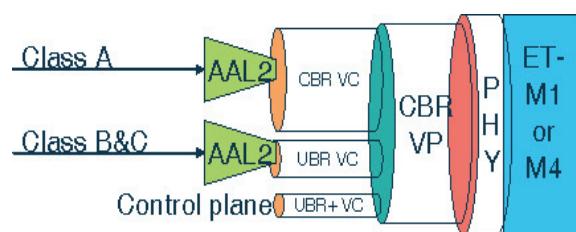
Definirano je 12 kategorija terminala koji omogućuju implementaciju HSDPA tehnologije nižeg i višeg ranga s brzinama prijenosa podataka od 0.9 Mbps do 14Mbps.

Tablica 2. prikazuje 10 kategorija terminala i njihove mogućnosti:

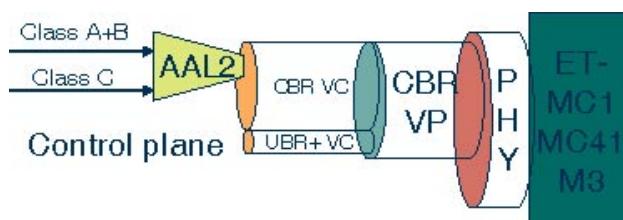
- Tip i točnost upravljanja radio resursima (RRM - Radio Resource Management)

Snaga i kodni resursi dodjeljeni HSDPA kanalu, točnost i način procjene omjera signala i šuma (SIR - Signal to Interference Ratio) i algoritama dodjele prava pristupa.

Terminali s većom moći detekcije bi mogli biti stavljeni u viši protočni razred što bi direktno poboljšalo performanse krajnjem HSDPA korisniku. To potiče proizvođače na proizvodnju kvalitetnijih terminala.



Slika 21: Klase B i C (UBR) dijele isti Aal2 put dok je klasa A definirana na posebnom Aal2



Slika 22: Sve klase prometa (A + B govor, CS i PS streaming, PS64, PS128 i PS384 klasa C za HSDPA) dijele zajednički Aal2 put, ovakva konfiguracija je izvediva na ETMC1, ETMC41, ETM3 pločicama. Ovaj slučaj je poseban jer se ne koristi QoS separacija.

Kategorija	Maksimalni broj paralelno korištenih kodova	Minimalni inter-TTI interval	Broj bitova na transportnom kanalu za TTI	Tip ARQ korišten za maksimalnu brzinu prijenosa podataka	Maksimalne postignute brzine na fizičkom sloju
1	5	3	7300	Soft	1.2
2	5	3	7300	IR	1.2
3	5	2	7300	Soft	1.8
4	5	2	7300	IR	1.8
5	5	1	7300	Soft	3.6
6	5	1	7300	IR	3.6
7	10	1	14600	Soft	7.2
8	10	1	14600	IR	7.2
9	15	1	20432	Soft	10.2
10	15	1	28776	IR	14.4

Tablica 2: Mogućnosti terminala

5.2. Brzine prijenosa u HSDPA

Kao što je već pisano, trenutačne brzine prijenosa podataka u HSDPA su pet puta veće u usporedbi s R99.

Korištenjem 15 kodova, uz 3/4 efektivno kodiranje i QPSK modulaciju, postiže se maksimalna teorijska brzina od 5.3 Mbps, a dva puta veća korištenjem 16QAM modulacije. Uz korištenje IR ARQ metode, 16 QAM modulacije te uz 3/4 efektivno kodiranje postiže se maksimalna brzina od 14.4 Mbps. Koristeći vremensko i kodno multipleksiranje korisnika, ove brzine se postižu po korisniku ili dijele između nekoliko njih. Ovim načinom mreža može upravljati dodjeljenim kodnim resursima i snagom prema mogućnostima aktivnog terminala i njegovim zahtjevima za prijenosom podataka.

Kod WCDMA i spektralna i kodna efikasnost su bitni optimizacijski kriteriji zbog prilagodbe kodno limitiranih i snagom limitiranih stanja sustava. U tom smislu HSDPA pruža neka bitna poboljšanja u odnosu na R99 (DSCH i DCH).

Spektralna efikasnost je poboljšana pri nižim SIR dometima uvođenjem efikasnijeg kodiranja i brzog H-ARQ s kombiniranjem zalihosti. Nadalje, opsežne višekodne operacije

nude visoku spektralnu efikasnost, slično varijabilnom SF, ali s većom razlučivošću. Pri vrlo dobrom SIR uvjetima (u blizini RBS-a), HSDPA nudi veće vršne brzine i stoga bolju iskoristivost kanala i spektralnu efikasnost.

Kodna efikasnost se postiže pomoću više korisničkih bita po simbolu i stoga više podataka po channelization kodu. To je postignuto modulacijama višeg reda i povećanim efektivnim kodiranjem. Nadalje korištenje multipleksiranja i djeljenih kanala općenito vodi ka većoj kodnoj efikasnosti za snopovit promet.

6. Zaključak

Jedina konstanta u mobilnim mrežama je kontinuirani napredak u smislu količine i kvalitete usluga. HSDPA je tu i nudi nekoliko puta veće performanse od prethodne generacije mobilnih sustava, što krajnjem korisniku pruža mogućnost znatno šireg spektra usluga i ugodnijeg korištenja postojećih usluga zbog brže i kvalitetnije podatkovne veze. U uzlaznoj vezi se brzine kreću do 384kbps, u silaznoj vezi do 1.8Mbps (proširivo do 14Mbps). Također, s mrežne strane brojna su poboljšanja u smislu znatnog povećanja iskoristivosti postojećih resursa i optimiziranog korištenja zra-

čnog sučelja, metodama efikasnije retransmisije, efikasnije podjele snage odašiljanja, kraćeg TTI intervala, dinamičke podjele kodnih resursa i brze adaptacije veze.

U budućnosti se očekuje poboljšanje HSDPA mreže u smjeru povećanja brzine prijenosa podataka i boljih performansi same radio mreže, znatnog povećanja brzine prijenosa podataka u uzlaznoj vezi (HSUPA - *High Speed Uplink Packet Access*) tehnologijom kojom bi se trebale postići brzine do 5.76 Mbps te se razvoj kreće u smjeru četvrte generacije mobilnih sustava. Sada se nalazimo na polu puta između treće i četvrte generacije, odnosno 3.5G, a u budućnosti se očekuje *all-IP* mreža te je u tom smislu ovo pojačanje radio strane bitan korak na tom putu.

U Hrvatskoj je prvi operator koji je objavio HSDPA funkcionalnost bio VIPnet u travnju 2006.

7. Kratice:

AAL2	- ATM Adaptation layer 2
ACK	- Acknowledge
AMC	- Adaptive Modulation and Coding
ATM	- Asynchronous Transfer Mode
CBR	- Constant Bit Rate
CS	- Circuit Switched
CQI	- Channel Quality Indicator
DCH	- Dedicated Channel
DL	- Downlink
DPCP	- Downlink Dedicated Physical Channel
DPDCH	- Dedicated Physical Data Channel
DSCH	- Downlink Shared Channel
EDGE	- Enhanced Data rates for Global Evolution
FACH	- Forward Access Channel
FCSS	- Fast Cell Site Selection
FDMA	- Frequency Division Multiple Access
FP	- Frame Protocol
FSK	- Frequency Shift Keying
GGSN	- Gateway GPRS Support Node
GPRS	- General Packet Radio Service
GSM	- Global System for Mobile communication
H-ARQ	- Fast Hybrid ARQ
HO	- Handover
HSCSD	- High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	- High Speed Downlink Packet Access
HS-DPCP	- High Speed- Dedicated Physical Control Channel
HS-DSCH	- High Speed- Downlink Shared Channel
HS-PDSCH	- High Speed-Physical Downlink Shared Channel
HS -SCCH	- High Speed - Shared Control Channel
HSUPA	- High Speed Uplink Packet Access
IP	- Internet Protocol
IR	- Incremental Redundancy
LAN	- Local Area Network
L1	- Layer 1
MAC-hs	- Medium Access Control – high speed
NACK	- Non Acknowledge
NMT	- Nordic Mobile Telephony
PDU	- Packet Data Unit
PS	- Packet Switched
PSK	- Phase Shift Keying
RBS	- Radio Base Station

RLC	- Radio Link Control
RNC	- Radio Network Controller
R99	- Release 99
SF	- Spreading Factor
SGSN	- Serving GPRS Support Node
SIR	- Signal to Interference Ratio
TCP	- Transmission Control Protocol/
TDMA	- Time Division Multiple Access
TFRC	- Transport Format and Resource Combination
TTI	- Transmission Time Interval
UBR	- Unsuspected Bit Rate
UE	- User Equipment
UE ID	- User Equipment Identity
UL	- Uplink
UMTS	- Universal Mobile Telecommunications System
VBR	- Variable Bit Rate
VBR-rt	- Variable Bit Rate real time
VBR-nrt	- Variable Bit Rate non real time
VC	- Virtual Channel
VP	- Virtual Path
QoS	- Quality of Service
QPSK	- Quadrature Phase Shift Keying
QAM	- Quadrature Amplitude Modulation
WCDMA	- Wideband Code Division Multiple Access
3GPP	- Third Generation Partnership Project

8. Literatura

1. Harri Holma, Antti Toskala
"WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications", John Wiley&Sons, 2000

2. Interna Ericssonova dokumentacija

Adresa autora:

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 5. srpnja 2006.