

Predmet: Mobilne komunikacije
Podiplomski študij
Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana

HSDPA – hitri prenos podatkov do **uporabnika**

Evolucija WCDMA

Matjaž Beričič

Ljubljana, dne 25.06.2004

Ta članek vsebuje pregled koncepta HSDPA¹. Slednji pomeni novo funkcionalnost, ki prihaja v Release 5 specifikacije 3GPP WCDMA / UTRA-FDD standarda. Glavni cilj uvajanja HSDPA je povečanje najvišjih možnih podatkovnih hitrosti, kakovosti storitev in seveda izboljšanje spektralne učinkovitosti za rafalne paketne podatkovne prenose v smeri proti uporabniku. Pomeni evolucijo v smeri bolj kompleksnih omrežij in multimedijskih storitev. Vse to pa se dosega z uvajanjem hitrega in kompleksnega mehanizma kontrole kanalov, ki temelji na kratkem in fiksnem intervalu paketnega prenosa (TTI²), adaptivni modulaciji in kodiranju (AMC³) in hibridnem ARQ⁴ mehanizmu (H-ARQ). Zaradi omogočanja hitrega razvrščanja na osnovi TTI resolucije v odvisnosti od trenutne obremenitve radijskega vmesnika je HSDPA MAC funkcionalnost koncentrirana v node-B (UTRAN bazni postaji). HSDPA koncept prinaša maksimalne hitrosti prenosa podatkov preko 2 Mbit/s (teoretično okoli 10 Mbit/s). Veljajo ocene, da se bo prepustnost celice glede na prejšnje verzije UTRA-FDD povečala za 50% - 100%, kar pa je močno odvisno od faktorjev radijskega okolja in nenazadnje od operaterjeve strategije dodeljevanja storitev.

Uvod v HSDPA tehnologijo

V naslednjih letih (sicer že lep čas) pričakujemo znatno rast uporabe podatkovnih storitev v mobilnih omrežjih, ki naj bi pravzaprav postale prevladujoč del celotnega prometa mobilnih omrežij 3G. Že danes poleg govornih storitev obstaja cela kopica aplikacij, kot na primer igre, sporočanje, prihaja videotelefonija, strujanje avdio/video posnetkov ipd. Ne glede na njihov razvoj ni dvoma, da se bo zmogljivost mobilnih sistemov v smislu hitrosti prenosa morala povečevati, potrebno pa bo omogočanje storitev

z zelo različnimi QoS zahtevami. Različni tipi prometa zahtevajo različne prenosne zmogljivosti (pasovna širina, (ne)simetrija, ..). Znano je, da dvosmerna govorna komunikacija (conversational class) zahteva absolutno simetrijo kanalov iz zelo nizko (stabilno) latenco. V primerjavi s tem pa so storitve interneta (background class) pretežno asimetrične, rafalne in odporne na latenco. Storitve strujanja (streaming class) pa po eni strani zahtevajo stroge pogoje glede latence, toda večina količine prometa gre v smeri proti uporabniku; torej asimetrična situacija.

Že v Release 99 WCDMA/UTRA specifikacijah obstajajo različni tipi radijskih nosilcev v smeri k uporabniku, ki so namenjeni za omogočanje učinkovitega prenosa v primeru različnih razredov storitev. Kanal FACH⁵ je skupni kanal, ki omogoča nizko latenco. Toda, ker ne predvideva hitre kontrole moči s sklenjeno zanko, prinaša omejeno spektralno učinkovitost, zato je primeren le za prenose manjših količin podatkov. Kanal DCH⁶ je osnovni radijsko nosilec v WCDMA/UTRA in zaradi fleksibilnosti parametrov omogoča vse prometne razrede. Podatkovna hitrost se nastavlja z VSF⁷ (nastavljiv faktor razprševanja), pogostost napake bloka BLER⁸ pa se kontrolira z mehanizmi kontrole moči z notranjo in zunanjo povratno zanko. Vendar ima DCH za močno rafalni in hitri promet omejeno učinkovitost, saj je rekonfiguracija kanala relativno počasen proces (razreda 500 ms). Zato je pri določenih storitvah interneta z močno rafalno naravo in visoko zahtevano bitno hitrostjo izraba DCH kanala precej slaba. Za izboljšanje prenosne učinkovitosti kanal DSCH⁹ podpira možnost časovnega multipleksa različnih uporabnikov. Prednost DSCH pred DCH je ravno v hitrejši rekonfiguraciji kanala in postopku razvrščanja paketov (razreda 10 ms). Učinkovitost DSCH kanalov je pri hitri rafalni naravi prenosa mnogo večja kot pri DCH.

Koncept HSDPA lahko vidimo kot nadaljevanje razvoja DSCH in radijski nosilec v tem primeru označujemo kot HS-DSCH¹⁰. V naslednjih poglavjih najdemo razlago kako HSDPA za

¹ HSDPA – High Speed Downlink Packet Access

² TTI – Transmission Time Interval

³ AMC – Adaptive Modulation and Coding

⁴ ARQ – Automatic Repeat request

⁵ FACH – Forward Access Channel

⁶ DCH – Dedicated Channel

⁷ VSF – Variable Spreading Factor

⁸ BLER – Block Error Rate

⁹ DSCH – Downlink Shared Channel

¹⁰ HS-DSCH – High Speed Downlink Shared Channel

povečanje največje hitrosti asimetričnega rafalnega prenosa, povečanje spektralne učinkovitosti in kontrole QoS uvaja različne adaptivne in kontrolne načine. V tem članku so predstavljene funkcije, ki so pomembne za upravljanje z radijskimi viri (RRM¹¹), prav tako pa so predstavljeni vplivi na izvedbo terminalne opreme. Poleg tega pa vsebuje evaluacijo zmogljivosti HSDPA koncepta v različnih okoljih, na koncu pa povzema nadaljne izboljšave HSDPA, ki so v postopku za naslednje verzije 3GPP specifikacij. V času nastajanja članka so v pripravi že specifikacije Release 6.

Opis koncepta HSDPA

Primerjava osnovnih značilnosti DSCH in HS-DSCH je v Tabeli 1. Na HS-DSCH se je dve osnovni CDMA funkciji, VSF in hitro kontrolo moči zamenjalo za AMC, krajšo velikost paketa, večkodno delovanje in hitri L1 hibridni ARQ. Ob večji kompleksnosti pa zamenjava hitre kontrole moči s hitrim AMC prinaša izboljšanje močnostne učinkovitosti zaradi odstranitve režijske informacije (overhead) kontrole moči. V bistvu je faktor razprševanja SF postavljen na 16, kar daje dobro zrnatost podatkovne hitrosti pri sprejemljivi kompleksnosti. Zaradi povečanja hitrosti prilagajanja povezave in učinkovitosti MAC se trajanje paketa zmanjšuje iz 10 do 20 ms na 2 ms. Zaradi doseganja nizkih zakasnitev pri kontroli povezave se MAC funkcionalnost pri HS-DSCH seli iz RNC v Node-B. Tu gre za opazno razliko v arhitekturi v primerjavi z Release 5.

Feature	DSCH	HS-DSCH
Variable spreading factor (VSF)	Yes (4-256)	No (16)
Fast power control	Yes	No
Adaptive modulation and coding (AMC)	No	Yes
Fast L1 HARQ	No	Yes
Multi-code operation	Yes	Yes, extended
Transmission time interval (TTI)	10 or 20 ms	2 ms
Location of MAC	RNC	Node-B

Tabela 1: Primerjava osnovnih lastnosti DSCH in HS-DSCH

To bo seveda prineslo HW/SW spremembe glede na sedanje Release 99 izvedbe Node-B. Za HS-DSCH je v Release 5 predvidena le trda predaja zveze.

Modulacije in kodiranje v HSDPA

Zaradi nadomestitve funkcionalnosti hitre kontrole moči in VSF morajo modulacija, kodiranje in večkodna funkcionalnost HSDPA glede na pestrost kakovost kanala pri uporabniški opremi (UE¹²) pokrivati širok obseg dinamike. Sredstva za prilagajanje so kodno razmerje (code rate), modulacija, število hkrati uporabljenih kod, prav tako pa oddajna moč na kodo. HS-DSCH shema kodiranja temelji na Turbo kodiranju (hitrost 1/3; Release 99), poleg tega pa uporablja prilagajanje hitrosti na osnovi vcepljanja (puncturing) in ponavljanja, s čimer se dosega visoko ločljivost dejanske hitrosti kodiranja (od približno 1/6 do 1/1). Za doseganje visokih hitrosti prenosa podatkov HSDPA poleg QPSK (temelj Release 99 UTRA) dodaja 16QAM. Kombinacija 16QAM in na primer kanalskega kodiranja hitrosti $\frac{3}{4}$ omogoča maksimalno hitrost 712 kbit/s na kodo (SF=16). Višjo robustnost pa na primer prinaša kombinacija QPSK s hitrostjo kodiranja $\frac{1}{4}$, ob tem pa je seveda uporabniška hitrost prenosa nižja – le 119 kbit/s na kodo. Kombinacijo modulacije in kodiranja se označuje kot TFRC¹³. Pet primerov TFRC, ki so na voljo na HS-DSCH, prikazuje Tabela 2. Pri zadovoljivih pogojih na kanalu lahko posamezen uporabnik hkrati sprejema do 15 kod (multi-kod), kar predstavlja zelo visoko hitrost prenosa do 10,8 Mbit/s. To pa je tudi največja hitrost prenosa, ki jo podpira koncept HSDPA, a je dosegljiva le ob zelo ugodnih pogojih okolja in seveda ob uporabi sodobnih tehnologij oddaje / sprejema. V nadaljevanju bomo videli, da HSDPA koncept definira več razredov zmoglosti¹⁴ UE in da bodo najvišje hitrosti prenosa omogočali le višji razredi.

TFRC	Modulation	Eff. Code Rate	Data rate (1 code)	Data rate (5 codes)	Data rate (15 codes)
1	QPSK	$\frac{1}{4}$	119 kbps	0.6 Mbps	1.8 Mbps
2	QPSK	$\frac{1}{2}$	237 kbps	1.2 Mbps	3.6 Mbps
3	QPSK	$\frac{3}{4}$	356 kbps	1.8 Mbps	5.3 Mbps
4	16QAM	$\frac{1}{2}$	477 kbps	2.4 Mbps	7.2 Mbps
5	16QAM	$\frac{3}{4}$	712 kbps	3.6 Mbps	10.8 Mbps

Tabela 2: Primeri TFRC in pripadajoče hitrosti prenosa podatkov na 1. sloju (vključno z režijo). Ostale kombinacije najdemo v [1, 3].

Slika 1 predstavlja dinamični obseg AMC za posamezno kodo, prikazuje pa možno uporabniško hitrost v odvisnosti od trenutnega

¹² UE – User Equipment

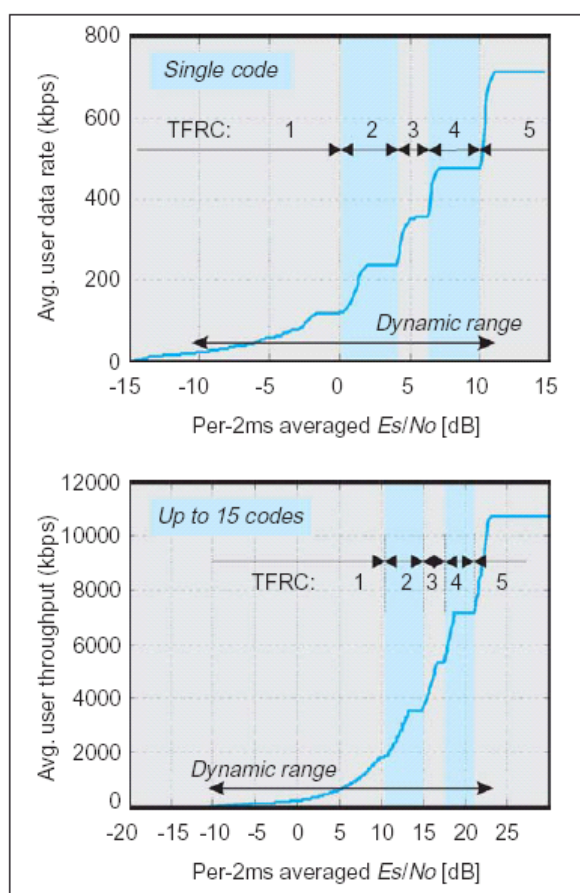
¹³ TFRC – Transport Format & Resource Combination

¹⁴ UE capability class

¹¹ RRM – Radio Resource Management

razmerja E_s/N_0 (na TTI). Krivulja vključuje tudi dobiček zaradi hitrega H-ARQ načina (ki temelji na »chase combining«), ki pomembno izboljša prepustnost pri nizkih vrednostih E_s/N_0 .

Obseg E_s/N_0 med prepustnostjo TFRC1 (32 kbit/s) in kjer prepustnost TFRC5 doseže maksimum (712 kbit/s), je reda 20 dB. Kot tudi prikazuje Slika 1, krivulja AMC postane gladka, ko se uporablja več kod - to pomeni, da večkodno delovanje prinaša večjo zrnatost AMC. Poleg tega pa večkodno delovanje z nizem razpoložljivih kod poveča dinamični obseg AMC. Tako je celotni dinamični obseg AMC s 15 multi-kodami razreda 32 dB. Če se uporabi celotna možnost zrnatosti hitrosti kodiranja, ki so na voljo HSDPA, bo potek AMC krivulje še bolj zvezen, kot je na Sliki 1, ki vključuje le pet primerov s Tabele 2.



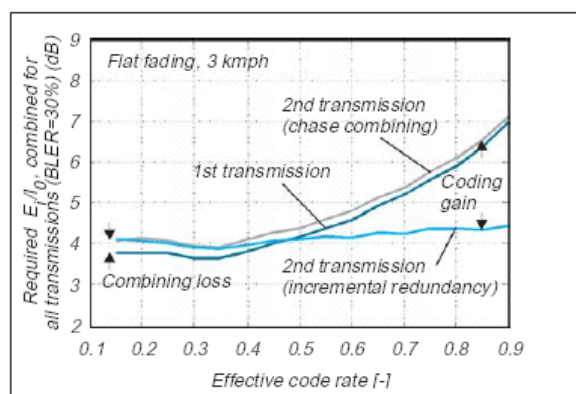
Slika 1: Dinamični obseg HSDPA AMC (Predpostavka simulacije: RAKE sprejemnik, ITU profil Pedestrian-A, 3 km/h)

Tehnike ponovnega prenosa na sloju 1 (L1)

Protokol H-ARQ, ki je izbran za HSDPA, je tipa »stop/wait« (SAW¹⁵). V primeru SAW oddajnik vztraja na prenosu trenutnega bloka vse dokler ga

sprejemnik (UE) uspešno ne sprejme. V izogib predolgemu čakanju na potrditve UE lahko uporablja N vzporednih SAW-ARQ procesov, pri čemer različni procesi oddajajo v ločenih TTI. Največja vrednost N je 8, a v praksi je zakasnitev med originalom in prvim ponovnim prenosom razreda 8-12 ms. Kontrola L1 H-ARQ se nahaja v MAC plasti, tako da je shranjevanje nepotrjenih podatkovnih paketov in razvrščanje ponovnih prenosov, ki sledi, ne obremenjuje RNC. S tem se izognemo potrebi po dodatni lub signalizaciji, kar zmanjša zakasnitev ponovnega prenosa. Postopek ponovnega prenosa je pri HSDPA mnogokrat hitrejši kot pri navadnih UMTS prenosih pod kontrolo RNC in na osnovi ARQ. To omogoča uporabo modernih strategij ponovnega prenosa z nižjim drhtenjem zakasnitev in višjo spektralno učinkovitostjo, kar je pri storitvah, ki so občutljive na zakasnitev (na primer pretočni video, strujanje) zelo pomembno.

Koncept HSDPA podpira tako IR¹⁶ kot CC¹⁷ v okviru strategije ponovnega prenosa. Osnovna ideja sheme CC je v tem, da sistem oddaja identično verzijo zaznanega napačnega podatkovnega paketa, dekodirator pa združi sprejete kopije, pred dekodiranjem utežene z razmerjem signal / šum. V primeru načina IR se dodatne redundantne informacije inkrementalno dodajajo v oddaji, če je dekodiranje ob začetku neuspešno. Skratka, sistem začne z oddajo ob visoki hitrosti kodiranja in jo po potrebi z dodajanjem redundance niža vse do zadovoljivega sprejema. Slika 2 prikazuje primerjavo zmogljivosti načina CC in IR. Diagram prikazuje razmerje energije informacijskega bita na motnje (E_b/I_0) potrebne, da se doseže BLER¹⁸ 30%.



Slika 2: Zmogljivost različnih načinov ponovnega prenosa

¹⁶ IR – Incremental Redundancy

¹⁷ CC – Chase Combining

¹⁸ BLER – Block Error Rate

¹⁵ SAW – stop and wait

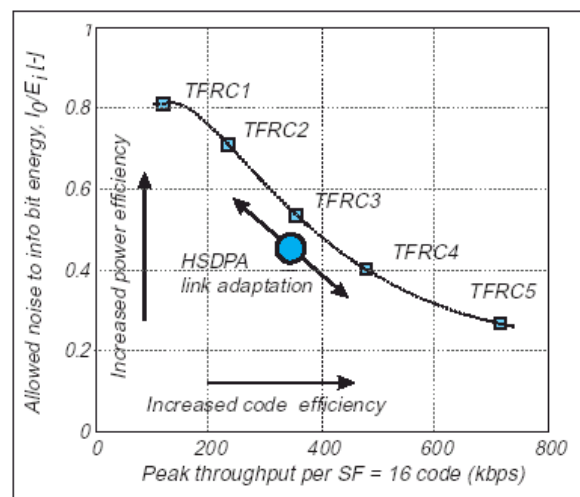
Vrednosti E_i/I_0 so podane kot funkcija efektivne hitrosti Turbo kodiranja. Krivulja z oznako »1st transmission« prikazuje potrebni E_i/I_0 , če je pri posameznem prenosu potrebno zagotavljati uspešno detekcijo s 30 % verjetnostjo. Krivulji z oznako »2nd transmission« označujejo potrebni E_i/I_0 , ki je izračunan kot linearna vsota E_i/I_0 posameznih prenosov, še vedno pa pri 30 % verjetnosti pravilne detekcije paketa. Kot vidimo za primer CC je potrebno računati na določeno izgubo zaradi združevanja (izguba je malo višja, če je zastavljen nižji BLER po drugem prenosu). Ta izguba je predvsem v samem združevanju. Kot je razvidno za hitrost kodiranja $3/4$, je velika prednost v uporabi IR principa, saj je hitrost kodiranja pa drugem prenosu blizu optimuma ($1/3$, kar je osnovna hitrost kodirnika). Za kodne hitrosti pod $1/2$ IR ne prinaša opazne izboljšave v primerjavi s CC, saj je praktično vsa informacija oddana že v prvi oddaji. Slabost IR v primerjavi s CC je v veliko večji pomnilniški zahtevnosti za UE. Možnost uporabe IR za določene TFRC in večkodno delovanje je določena z razredom UE zmožnosti. Pri ponovnih prenosih bodo vidiki CC in IR načinov uporabljeni v odvisnosti od primerjave podatkovne hitrosti z razredom zmožnosti UE, prav tako pa hitrosti kodiranja prvega prenosa. Če se uporablja 16QAM modulacija, bosta dva od štirih bitov, ki sestavljajo sprejeti simbol imela višjo verjetnost napake kot druga dva. Kompenzacijo te slabosti je mogoče doseči s preureditvijo postavitve bitnih tokov zaradi ponovnih prenosov na tak način, da vsi biti padejo pod enako verjetnost napake.

Učinkovitost ponovnih prenosov je odvisna od tega ali je kakovost kanala v zgornjem ali spodnjem koncu dinamičnega področja AMC oziroma če ga celo presega. Za doseganje optimalne spektralne učinkovitosti in preprosto krožno (round-robin) shemo razvrščanja (brez upoštevanja dejavnikov izrabe kod in opreme) bodo uporabniki, locirani na robu celice imeli na voljo povprečen BLER pri prvem prenosu okoli 30-60 %, medtem ko bo BLER pri prvem prenosu za uporabnike v neposredni bližini node-B znašal okoli 10-20 %. Razlog za višji BLER na robu celice je očiten – uporabnik s slabimi razmerami bo pogosteje v položaju, ko mu niti najbolj robusten TFRC ne bo zagotavljal pravilnega prvega sprejema.

Spektralna in kodna učinkovitost

Pred doseganjem maksimalne kapacitete je sinhroni WCDMA sistem morda kapacitetno

zasičen zaradi pomanjkanja moči ali kod. Ena ključnih prednosti koncepta HSDPA je v tem, da zagotavlja ravnovesje (kompromis) med močnostjo in kodno učinkovitostjo glede na trenutno stanje celice. Ta vidik prikazuje Slika 3, kjer je v diagramu prikazanih pet primerov TFRC v smislu močnostne in kodne učinkovitosti. Prva je merjena kot dopustno razmerje med močjo šuma in energijo uporabniškega bita pri BLER=10% (I_0/E_i), druga pa je prikazana z omogočeno podatkovno hitrostjo pri kodi.



Slika 3: Učinkovitost moči in kod pri različnih TFRC

Če ima Node-B na voljo razmeroma več moči kot kod (kodno omejena situacija), bo algoritem prilagajanja povezave deloval v smeri kodno učinkovitega TFRC, nasprotno pa bo v primeru, da je Node-B močnostno omejen – tedaj se išče bolj robusten TFRC z večkodnim načinom.

Prilagajanje povezave in podporni kanali

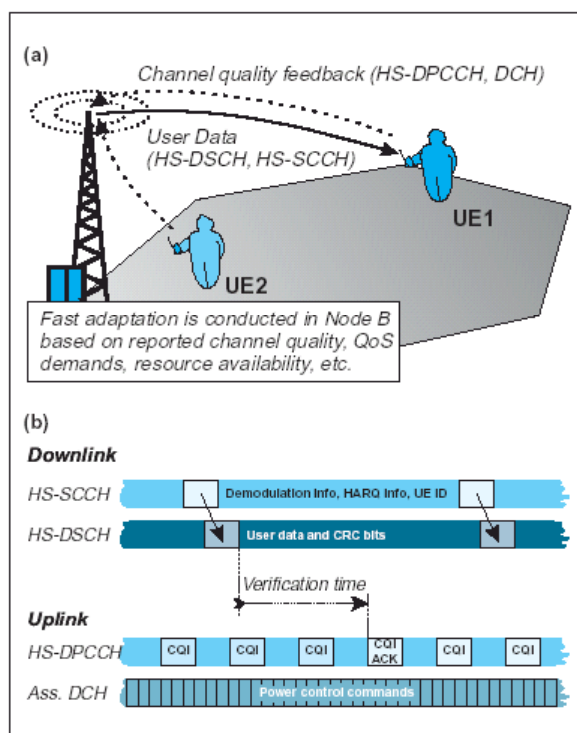
Splošni princip prilagajanja povezave (LA¹⁹) kanala HS-DSCH prikazuje Slika 4. Node-B spremlja kakovost radijskega kanala v smeri proti uporabniku s spremljanjem oddajne moči na ustreznem dodeljenem pridruženem DCH (ta moč pa se uravnava s prenosom ukazov na pridruženem DCH v smeri proti bazni postaji). Predvideno je tudi, da se od UE zahteva, da po HS-DPCCH²⁰ v smeri proti bazni postaji redno pošilja poseben indikator kakovosti kanala (CQI²¹). Ta pravzaprav označuje TFRC in večkodno število, ki ga trenutno podpira UE

¹⁹ LA – Link Adaptation

²⁰ HS-DPCCH – High Speed Dedicated Physical Control Channel

²¹ CQI – Channel Quality Indicator

(podprta prenosna hitrost). Povratna zanka HS-DPCCH CQI je nastavljena kot omrežni parameter v preddefiniranih korakih od 2 ms do neskončnosti (onemogočeno). Moč HS-DPCCH je nastavljena kot razlika do DPCCH v smeri proti bazni postaji, zaradi zagotavljanja (preverjanja) stalnosti pokrivanja pa se lahko uporablja način s ponavljanjem CQI. UE pa mora uporabljati način potrjevanja sprejema paketov po HS-DPCCH na osnovi CRC.



Slika 4: Splošni princip delovanja HSDPA

Konkreten način izvajanja prilagajanja povezave je odvisen od nastavitve parametrov Node-B s strani proizvajalca/operaterja. Na voljo ima torej princip, ki temelji bolj na ukazih kontrole moči po pridruženem DCH, informacijah na HS-DPCCH ali pa na kombinaciji med tema možnostima.

Node-B potem glede na prioritete paketov in razpoložljivost virov razvršča pakete do uporabnikov po HS-DSCH. Uporabniki se seveda časovno in kodno multipleksirajo, sploh ap imajo lahko UE različnih razredov zmogljivosti. Pred pošiljanjem podatkov po HS-DSCH Node-B aktivnim uporabnikom pošlje podrobno sporočilo o demodulaciji preko HS-SCCH. To sporočilo nosi informacijo o uporabljenem TFRC, večkodnem nizu, prav tako pa nadzor procesa H-ARQ. Pošlje se 2 časovni okni preden gre prenos na HS-DSCH. Mobilna postaja, ki je aktivna na HS-DSCH, mora biti sposobna sprejemati do 4 paralelne HS-SCCH,

da lahko ugotovi, če gre za podatke zanj o naslednji periodi. Informacija je za posamezno UE ločena tako, da se CRC polje v HS-SCCH zanjo specifično maskira z edinstvenim UE ID. Moč HS-SCCH določa Node-B, lahko pa varira po času. HS-DSCH vsebuje uporabniške podatke, a tudi eno 24-bitno CRC polje, ki je izračunavano po vseh oddanih več-kodah (t.j. en logični transportni kanal se preslikava v več fizičnih). Ta pristop zahteva uporabo prednosti Turbo kodiranja v primeru hitrih prenosov podatkov, ko kodirni blok naraste.

Zmogljivosti UE

Z uvajanjem HSDPA v specifikacije Release 5 se uvajajo nove generacije razredov zmogljivosti UE. Za določanje zmogljivosti UE na fizičnem nivoju se uporablja pet glavnih parametrov:

- Največje število HS-DSCH več-kod, da UE še lahko hkratno sprejema. Za učinkovito večkodno delovanje je potrebna podpora vsaj pet več-kod.
- Najmanjši inter-TTI interval, ki določa razdaljo med začetkom TTI in začetkom naslednjega TTI, ki je lahko dodeljen isti UE. Če je dovoljeni interval 2 ms pomeni, da UE lahko sprejema HS-DSCH pakete vsake 2 ms.
- Največje število bitov HS-DSCH prenosnega kanala, ki se lahko sprejmejo v času trajanja TTI.
- Največje število mehkih kanalskih bitov preko vseh HARQ procesov.
- Podpora 16QAM (omejitev kodne učinkovitosti).

Poleg tega obstajajo parametri, ki omrežje obveščajo o tem kolikšna je celotna velikost predpomnilnika na drugi plasti (L2: MAC in RLC) v UE. Tabela 3 povzema primere razredov zmogljivosti UE, ki jih predlaga 3GPP (3GPP TS25.306), toda možnih je še več kombinacij. Vidimo, da bo cenena HSDPA naprava podpirala največ pet hkratnih HS-DSCH kod in minimalno razdaljo med začetkoma zaporednih paketov 3 TTI (t.j. 6 ms). Taka naprava bo omogočala največ 7300 bitov v vsakem TTI, kar bo pomenilo, da spada v razred 1.2 Mbit/s. Drugi pomemben faktor razlikovanja je količina bitov mehkih kanalov, saj neposredno vpliva na zmogljivost sprejemnika UE, če se uporablja HARQ. Oprema z nizkim številom bitov mehkih kanalov ne bo mogla podpirati IR za najvišje prenosne hitrosti, zato bo njena zmogljivost nekoliko nižja.

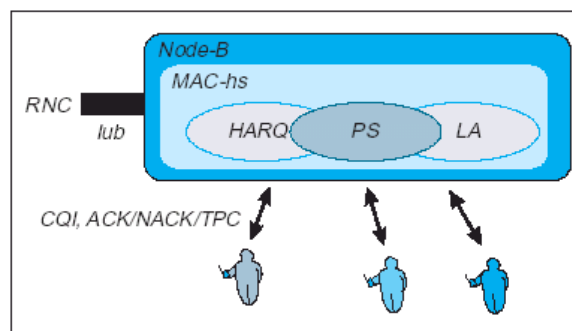
Reference combination	1.2 Mbps class	3.6 Mbps class	7 Mbps class	10 Mbps class
RLC and MAC-hs parameters				
Total RLC AM and MAC-hs buffer size (kbytes)	50	50	100	150
Maximum number of AM RLC entities	6	6	8	8
PHY parameters				
FDD HS-DSCH category	1	5	7	9
Maximum number of bits of HS-DSCH codes received	5	5	10	15
Minimum inter-TTI interval	3 (6 ms)	1 (2 ms)	1 (2 ms)	1 (2 ms)
Maximum number of bits of an HS-DSCH transport block received within an HS-DSCH TTI	7300	7300	14600	20432
Total number of soft channel bits	19200	57600	115200	172800

Tabela 3: Primeri HS-DSCH razredov zmogljivosti UE. Vse navedene kategorije omogočajo 16QAM.

Zasnova arhitekture in RRM

Izbira politike rangiranja pomena različnih storitev je stvar posameznega operaterja. Uteževanje se nanaša tako na prioritete v omrežju med ostalimi storitvami kot glede ciljev kakovosti storitve, na primer v smislu zagotovljenih podatkovnih hitrosti, najmanjših zakasnitev ipd. Primer je, da se naroča in uporablja različne QoS razrede, na primer zlat, srebrn in bronast. Naloga algoritmov RRM je izvajanje najboljše izkoriščenosti razpoložljivih virov omrežja ob zagotavljanju določenih storitvenih politik operaterja ob največjem izkoriščanju kapacitet sistema. Še posebej je naloga RRM, da upravljajo dodeljevanje virov med različnimi kanali, tako da lahko Node-B uravnava promet preko DCH, DSCH in HS-DSCH. Funkcija nadzora dostopanja (AC²²) je ključna za doseganje najboljšega ravnovesja med zmogljivostjo (kapaciteto) in kakovostjo posamezne storitve. Zagotavljanje dogovorjenega nivoja kakovosti (QoS) zahteva učinkovit AC mehanizem, ki upošteva QoS in prilagaja kriterije dostopa uporabnikov glede na zahteve storitev tako aktivnih kot prihajajočih uporabnikov. Dodeljevanje virov celic glede moči in kod med različne tipe kanalov se izvaja v RNC, gre pa za razmeroma počasen proces, če ga primerjamo s TTI za HS-DSCH. Uporablja pa sporočila za prekonfiguriranje celic. Močnostni in kodni viri, rezervirani za HS-DSCH in HS-SCCH, se tako sporočijo Node-B (MAC-hs) preko odprtega vmesnika Iub. Če omejitev moči ni definiranih, lahko Node-B za HS-DSCH uporabi vso presežno moč, ki je ne rabi za ostali promet. Število kanalskih kod za HS-DSCH (SF=16) in HS-SCCH (SF=128) je izrecno

določeno s strani RNC, medtem ko ima MAC-hs možnost, da prosto razdeljuje moč med kanali uporabniškega in kontrolnega prometa. Razvrščanje paketov (PS²³) skrbi za uravnavanje prometa uporabnikov HS-DSCH. Kompleksnost razvrščanja je še posebej v tem, da mora upoštevati zmogljivosti različne UE (na primer multipleksiranje kod), QoS zahteve in prioritete, trenutno kakovost kanala uporabnika, zraven pa so še čakajoči ponovni prenosi. Za tem se izvaja postopek prilagajanja povezave in postopek določanja SAW kanala. HS-DSCH omogoča spreminjanje bitne hitrosti za posamičen TTI in časovno/kodno multipleksiranje med različne uporabnike. Zato je MAC-hs, ki vsebuje HSDPA PS, prilagajanje povezave in elemente HARQ, premaknjen v domeno Node-B. To ponazarja Slika 5.



Slika 5: Elementi HSDPA RRM v Node-B

Razvrščanje paketov

Hitro razvrščanje paketov v kombinaciji z velikim obsegom dinamike AMC, ki je na voljo HSDPA, omogoča izvajanje razvrščanja paketov glede na radijske pogoje in tudi glede na količine podatkov, ki morajo biti poslani različnim uporabnikom. Za doseganje tega HSDPA izvaja strategije razvrščanja paketov na osnovi principa »Waterfilling«, ki omogoča doseganje ustrezne (»pravične«) optimizirane prepustnosti v celicah. Metode izvajanja PS so v splošnem določene z:

Perioda/frekvenca razvrščanja: perioda v kateri se uporabniki časovno vnaprej razvrščajo. PS lahko upošteva hitre spremembe v kanalih in sledi hitremu presihu polja za počasno premikajoče se uporabnike. Krajše periode zahtevajo višjo procesorsko kompleksnost Node-B.

Vrstni red strežbe: to je vrstni red, po katerem se streže uporabnike, na primer naključni red ali pa glede na kakovost kanala (C/I, prepustnost).

²² AC – Admission Control

²³ PS – Packet Scheduling

Zahtevnejši načini zahtevajo višjo procesorsko kompleksnost Node-B.

Način dodeljevanja: kriterij za dodeljevanje virov: na primer enaka količina podatkov ali enaki viri moči/kod/časa za vse razvrščujoče se uporabnike na interval dodeljevanja.

zagotavljanje pravičnejšega načina razvrščanja je posebno določiti in izračunavati merilo RICQ²⁷, ki je potem osnova za izbiro in prioritete. Merilo RICQ je ponavadi identično razmerju uporabnikove trenutne prepustnosti in uporabnikove povprečne strežene prepustnosti. V izračunu se uporablja CQI informacijo kot tudi

PS method	Scheduling rate	Serve order	Allocation method
Fair throughput (FT)	Slow	Round robin in random order	Resources according to same data amount (up to max. allocation time)
Fair time (FR)	Slow	Round robin in random order	Same resources (time, code, or power) and uneven data amount
C/I or throughput (TP)	Slow	Based on highest average C/I (fast enough to track shadowing)	Same resources (time, code, or power) and uneven data amount
Proportional fair resource (P-FR)	Fast	Based on highest relative instantaneous channel quality (tracks fast fading)	Same resources (time, code, or power) and uneven data amount
Max C/I or throughput (M-TP)	Fast	Based on highest instantaneous channel quality (tracks fast fading)	Same resources (time, code, or power) and uneven data amount

Tabela 4: Primejava različnih poenostavljenih načinov razvrščanja paketov

Primerjava nekaterih načinov razvrščanja paketov in njihovih karakteristik je v Tabeli 4. FT²⁴ razvrščevalnik streže uporabnike v naključnem redu in glede na enako količino podatkov. Tako bodo (teoretično) vsi trenutno aktivni uporabniki sistema soočeni z enakimi zakasnitvami in prepustnostjo. Pri FR²⁵ razvrščevalniku uporabniki v naključnem redu dobivajo na voljo enake vire, pri tem pa jim bodo na voljo različne podatkovne hitrosti glede na kakovost kanala. C/I PS način (označen tudi kot TP²⁶ način) pa deluje tako, da je strežen uporabnik z najboljšim C/I dokler se vrsta ne izprazni. To pa med uporabnike prinaša zelo različne pogoje storitve, še posebej pa je način nevaren za uporabnike z izstopajoče slabo kakovostjo kanala. Hitrost razvrščanja pri teh načinih je nizka, da se hitre spremembe kanalov ne vključijo v odločanje (povprečenje). V HSDPA je možno realizirati zelo hitro razvrščanje, ki sledi vsem spremembam hitrega presihanja. Pri tem je možno celo, da so uporabniki na vrsti razvrščanja le, ko prihaja do konstruktivnega presiha – to bi seveda močno izboljšalo celotno prepustnost. Metoda Max C/I oziroma M-TP je najbolj drastična, saj v TTI streže le najboljšega uporabnika (t.j. uporabnika z največjim pretokom). V primerjavi s TP razvrščevalnikom je ta do uporabnikov bolj pravičen, saj spremembe presiha posameznega uporabnika ponavadi presegajo povprečno razliko C/I med uporabniki na različnih lokacijah v celici. Toda slabost te metode še vedno ostaja. Za

algoritme ocenjevanja kakovosti povezave, ki so v Node-B. Ta hitra metoda razvrščanja se imenuje P-FR²⁸ metoda razvrščanja. Posedica uporabe te metode je, da se za vse uporabnike predvideva približno enaka verjetnost, da postanejo aktivni, čeprav imajo lahko na voljo zelo različno povprečno kakovost kanala.

Opisani načini razvrščanja predstavljajo modele razvrščevalnikov, ki za izrabo in razdeljevanje kapacitete omrežja uporabljajo različne prijeme. V osnovi prinašajo različne kompromise med uporabniško pravičnostjo in kapaciteto celic. Klasifikacija uporabnikov na osnovi QoS razredov bo v splošnem prevladala nad načini razvrščanja, ki so nanizani v Tabeli 4. Tako razvrščanje bo potem učinkovalo le znotraj skupine uporabnikov z najvišjo prioriteto.

Zmogljivost in učinkovitost

Zmogljivost HS-DSCH je odvisna od množice različnih vidikov, kot so pogoji kanala vključno z medcelično interferenco, časovno disperzijo, demodulacijske zmogljivosti UE, značilnosti in natančnosti RRM algoritmov in značilnosti strojne opreme. Zmogljivost prepustnosti v odvisnosti od dodeljene kodne moči ene povezave za različne profile kanalov in povprečne vrednosti I_{or}/I_{oc} je prikazana na Sliki 6. Treba je pričakovati določeno napako v oceni kakovosti kanala UE (E_s/N_0) pri Node-B. Pri prikazanih simulacijah je bila predpostavljena lognormalno porazdeljena napaka s standardno deviacijo 1 dB in 2 ms zakasnitvijo AMC. A v

²⁴ FT – Fair Throughput

²⁵ FR – Fair Resource

²⁶ TP - Throughput

²⁷ RICQ – Relative Instantaneous Channel Quality

²⁸ P-FR – Proportional Fair Resource

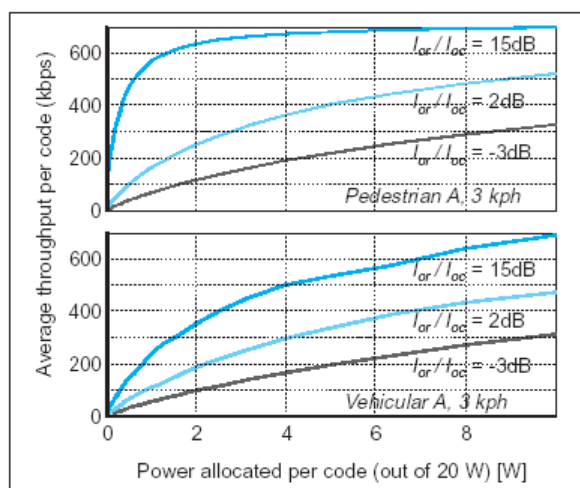
splošnem HARQ omogoči precejšnjo robustnost LA na omenjene napake in zakasnitve. Obstajajo ocene, da je degradacija prepustnosti zaradi napak ocene kanala pri sistemu s hitrim L1 HARQ pol manjša kot pri sistemu brez HARQ.

Za analizo na nivoju celice vzemimo dva različna scenarija. Prvi primer (macrocell/Veh-A) je makrocelično zunanje okolje kjer se predpostavlja ITU Vehicular-A profil kanala (s precejšnjo časovno disperzijo). Drugi primer (microcell/Ped-A) je mikrocelično zunanje/notranje okolje, z značilno ugodno I_{or}/I_{oc} porazdelitvijo zaradi boljše izoliranosti celice in tudi ITU Pedestrian-A profila (nižja časovna disperzija). Porazdelitve I_{or}/I_{oc} se preko hitrega presiha povprečijo. Ostale predpostavke simulacije so v Tabeli 5.

Parameter	Setting
HSDPA power	75% of Node-B power
Common channel power	20% of Node-B power
HSDPA code allocation	15 (SF=16)
HSDPA cell coverage	90%
Number of users	32
UE velocity	3 kmph
TFRC resolution	See Table 2
Download request	400 kbit for all users
Node-B PCDE*	-36 dB (SF=256)

Tabela 5: Predpostavke simulacije²⁹

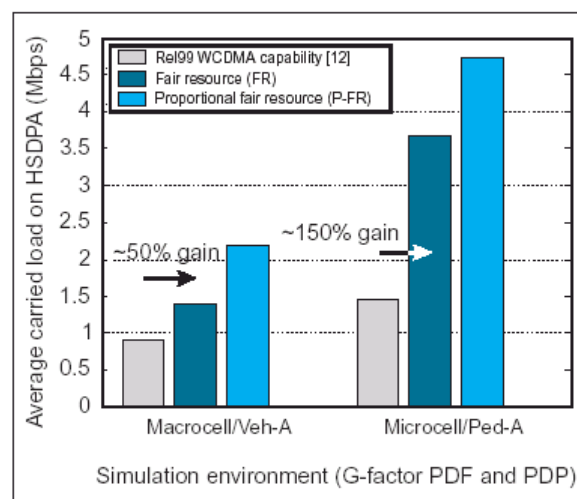
Razmeroma pravično razvrščanje se pogosto obravnava v povezavi s HSDPA konceptom. Bilo je obravnavano v okviru predpostavk v Tabeli 4.



Slika 6: Kodna prepustnost proti dodeljeni kodni moči

²⁹ PCDE – AWGN model za neperfektnost Node-B strojne opreme glede na Release 5 nivo (Peak Code Domain Error)

Predviden je le en razred prioritet uporabnikov in razvrščanje paketov ni omejeno s QoS omejitvami. Ker TCP in višjeležeči protokoli niso predmet evaluacije, poskušamo z manjboljšo možno simulacijo, ki ne predvideva degradacij zaradi npr. učinkov počasnega starta. Povprečne kapacitete celic pri različnih načinih razvrščanja paketov so primerjane na Sliki 7, kjer prav tako vidimo referenčne številke za Release 99 WCDMA.



Slika 7: Povprečna prepustnost celice pri različnih načinih razvrščanja

Vidi se, da je izboljšanje zmogljivosti pri hitrem razvrščanju v primerjavi s počasnim v tem primeru s skoraj optimalnimi razmerami znatno. V makroceličnem okolju je dobitok prepustnosti celice reda 56%. V mikroceličnem okolju imajo uporabniki že tako dovolj dobre pogoje kanala in v momentih dobrih pogojev presiha presegajo dinamično področje AMC. Zaradi tega dobitok hitrega razvrščanja dosega »le« 29%. Razpoložljiva prepustnost celice v mikroceličnem primeru pri FR in P-FR razvrščanju presega 3.5 Mbit/s in 4.5 Mbit/s. Pri interferenčno omejenemu makroceličnem scenariju je FR prepustnost okoli 1.4 Mbit/s. V primerjavi s številkami, ki veljajo za Release 99 zmogljivost WCDMA, je prepustnost celice s HS-DSCH v makroceličnem okolju višja za 50%, v ugodnejših okoljih, kjer je DCH/DSCH kodno omejen, pa je ob uporabi zmogljivega paketnega razvrščanja še mnogo večja.

Nenehna evolucija

HSDPA prinaša znatno povečanje kapacitete za paketni podatkovni promet v WCDMA in je tako pomemben del nenehne evolucije 3G. Ker HSDPA koncept prinaša povečano kodno

učinkovitost in povečan dinamični obseg uporabniških podatkovnih hitrosti, lahko izkoristi tudi izboljšave zmogljivosti detekcije, ki prihajajo. Kot tak je lahko nosilec naprednejših komunikacijskih tehnik z uporabo izenačevalnikov, večuporabniškim in večkodnim izničevanjem motenj, kot tudi z zahtevnimi tehnikami MIMO³⁰. HSDPA je v omrežje smiselno uvajati postopoma in to s postopnim uvajanjem naprednih načinov razvrščanja paketov, pa tudi načinov izboljšav povezav. Zmogljivost in vidiki razmerja med kompleksnostjo in stroški nadaljnjih izboljšav bodo obravnavani v okviru nadaljnjega dela na standardizaciji 3GPP, ki naprej razvija WCDMA.

Viri

[1] 3GPP TS25.211, "Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD)", version 4.4.0.

[2] 3GPP TS25.855, "High Speed Downlink Packet Access; Overall UTRAN Description", version 5.0.0.

[3] 3GPP TS25.308, "UTRA High Speed Downlink Packet Access (HSDPA); Overall description; Stage 2", version 5.2.0

[4] 3GPP TS25.306, "UE radio access capabilities definition", version 5.2.0.

[5] 3GPP TS25.877, "High Speed Downlink Packet Access: Iub/Iur protocol aspects ", version 5.0.0.

[6] J.M. Holtzman, "CDMA Forward Link Waterfilling Power Control", Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1663-1667, September 2000.

[7] Troels Emil Kolding, Klaus Ingemann Pedersen, Jeroen Wigard, Frank Frederiksen, »High Speed Downlink Packet Access: WCDMA Evolution«, IEEE Vehicular Technology Society News, February 2003

[8] Dr. Alexander Seeger, »High Speed Downlink Packet Access: The Power of Link Adaptation«, Siemens, Tech. Univ. M Muenchen, Master, April 2003

³⁰ MIMO – Multiple Input Multiple Output