

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Hannu Pusa

HSDPA UMTS-matkaviestinverkoissa

Tutkintotyö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi insinööritutkintoa varten
Tampereella 19.4.2006

Työn ohjaaja

Ari Rantala

Tekijä:	Hannu Pusa
Työn nimi:	HSDPA UMTS-matkaviestinverkoissa
Päivämäärä:	19.4.2006
Sivumäärä:	44 sivua, 1 liitesivu
Hakusanat:	HSDPA, UMTS, WCDMA, 3G, datasiirto
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja:	lehtori Ari Rantala
<p>Kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmät ovat yleistyneet viimeisen parin vuoden aikana perinteisten toisen sukupolven järjestelmien rinnalle. Matkaviestinverkkojen tiedonsiirtovaatimukset ovat kasvaneet, ja siksi järjestelmiä on voimakkaasti kehitetty entistä suurempien datasiirtonopeuksien saavuttamiseksi.</p> <p>Tässä työssä keskitytään UMTS-verkkoihin kehitettyyn datasiirtonopeuksia lisäävään HSDPA-palvelulaajennukseen. Se moninkertaistaa UMTS-verkkojen käyttämän WCDMA-radorajapinnan tarjoaman datasiirtonopeuden. Työn tarkoituksena oli saada aikaan suomenkielinen tiivistelmä HSDPA-palvelukokonaisuuden teknisestä rakenteesta ja sen tuomista uusista komponenteista UMTS-verkkoon. Lisäksi tarkastellaan HSDPA:n käyttöönoton vaatimia muutoksia verkkojen teknisessä toteutuksessa ja radioverkkosuunnittelun toimintatavoissa.</p> <p>Työn tuloksena syntynyttä raporttia voidaan hyödyntää haluttaessa tietoa HSDPA:n keskeisistä ominaisuuksista ja sen toimintaedellytyksistä suomeksi esitettyinä.</p>	

Author:	Hannu Pusa
Name of the thesis:	HSDPA service in UMTS-based mobile telephony networks
Date:	19.4.2006
Number of pages:	44 pages, 1 appendix page
Keywords:	HSDPA, UMTS, WCDMA, 3G, data transfer
Degree programme:	Computer Systems engineering
Specialisation:	Telecommunication engineering

Supervisor:	senior lecturer Ari Rantala
--------------------	-----------------------------

During the past couple of years, third generation mobile communication networks have become quite common alongside the second generation networks. The need for fast data transfer capabilities among mobile communication networks has constantly been growing, and it is the key reason for aggressive development carried out to achieve greater data transfer speeds.

This thesis focuses on HSDPA service standard addition, which aims to speed up data transfer capabilities offered by the existing UMTS networks. HSDPA multiplies the transfer speed specified in WCDMA radio interface, which is used in the UMTS networks. The purpose of this thesis is to offer a brief, but yet detailed report on HSDPA service entity. HSDPA's technical structure and the required additions and changes to existing networks when introducing HSDPA are discussed. In addition, this report handles also the challenges HSDPA brings to radio network planning procedures.

ALKUSANAT

Aihevalintaani innoitti kiinnostukseni matkaviestinteknologiaan, joka heräsi tietotekniikkaharrastuksen ja työn myötä lukio-opiskelujeni aikaan 1990-luvun lopulla. Tällöin syttynyt kipinä motivoi minua suuntautumaan nyt opiskelemalleni alalle ja on innostanut seuraamaan matkaviestintekniikan kehitystä jatkuvasti. Opiskeluaikana opin lisää kolmannen sukupolven matkaviestinteknologiasta ja olen seurannut erityisesti Suomessakin käytössä olevaa UMTS-järjestelmää, joka käyttää radorajapintanaan WCDMA-tekniikkaa. Suorittamani työharjoittelujakso radioverkkosuunnittelun parissa lisäsi entisestään mielenkiintoani radio- ja matkaviestinverkkoja kohtaan.

Haluan kiittää erityisesti työn valvojaa, lehtori Ari Rantalaa ymmärtämyksestä ja kannustuksesta tämän tutkintotyön tekemisen aikana ja erinomaisesta opetuksesta koko opiskeluaikani ajan. Haluan myös ilmaista kiitokseni avopuolisolleni, jonka tuki ja kannustus työn tekemisen aikana oli korvaamattoman arvokasta.

Tampereella 19. huhtikuuta 2006

Hannu Pusa

TIIVISTELMÄ	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
SISÄLLYSLUETTELO	iv
LYHENTEET	v
1 JOHDANTO	1
2 DATASIIRTO MATKAVIESTINVERKOISSA ENNEN WCDMA:TA	2
2.1 Matkaviestinverkkojen ensimmäinen sukupolvi	2
2.2 Toisen sukupolven matkaviestinverkot	3
2.2.1 Datasiiroto GSM-verkoissa	4
2.2.2 HSCSD GSM-verkoissa	5
2.2.3 GPRS GSM-verkoissa	6
2.2.4 EDGE GSM-verkoissa	7
3 DATASIIRTO KOLMANNEN SUKUPOLVEN MATKAVIESTINVERKOISSA	8
3.1 Kolmannen sukupolven matkaviestinverkoista	8
3.2 UMTS-verkon WCDMA-radorajapinta	9
3.2 UMTS-radioverkon datasiirto	10
3.3 HSDPA UMTS-verkoissa	12
4 HSDPA:n tekniikka	12
4.1 HSDPA:n peruskäsitteet	12
4.2 Mukautuva modulaatio ja koodaus (AMC)	14
4.3 Automaattiset uudelleenlähetyspyynnöt (HARQ)	17
4.3.1 Chase Combining -yhdistely	17
4.3.2 Lisätty redundanssi	18
4.3.3 Konstellaation uudelleenjärjestely	19
4.4 Nopea liikennöinnin ajoitus (Fast scheduling)	21
4.5 Saumaton solunvaihto	23
5 HSDPA:N KÄYTTÖÖNOTTO JA TOIMINTA WCDMA-VERKOISSA	24
5.1 Tilajalaitteisiin vaadittavat muutokset	24
5.2 Verkkoihin vaadittavat muutokset	24
5.3 Radioverkkoyhteyksien suunnittelu	26
5.3.1 Suunnittelun erityispiirteet HSDPA:n yhteydessä	26
5.3.2 Linkkibudjettisuunnittelu, tehomitoitus	27
5.4 HSDPA:n fyysisen kerroksen toiminta	28
5.5 HSDPA:n suorituskyky datasiirrossa	30
6 HSDPA TALOUDELLISESTA NÄKÖKULMASTA	32
6.1 HSDPA ja sen kilpailijat	32
6.2 HSDPA-palvelujen hinnoittelu	33
7 TULOKSET	35
LÄHTEET	36
LIITTEET	

LYHENTEET

2G	Termi, jolla yleisesti viitataan toisen sukupolven matkaviestinverkkoihin
3G	Termi, jolla yleisesti viitataan kolmannen sukupolven matkaviestinverkkoihin
8PSK	8-Phase Shift Keying, EDGE:n yhteydessä käytettävä modulaatiomenetelmä
16QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation, HSDPA:n yhteydessä käytettävä modulaatiomenetelmä
ACK	Acknowledged, viesti, joka lähetetään tilaajalaitteelta tukiasemaan, kun datakehys on vastaanotettu ja sen oikeellisuus on todennettu
AMC	Adaptive Modulation and Coding, menetelmä, jolla verkon ja tilaajalaitteiden välistä viestintää radioyhteydellä pyritään nopeuttamaan hyödyntäen nopealle datasiirrolle edullisia radioverkon olosuhteita
BS	Base Station, yleisnimitys matkaviestinverkon kiinteälle tukiasemalle
BTS	Base Transceiver Station, katso BS
CC	Chase Combining, uudelleen lähetettyjen datapakettien ja virheellisten datapakettien yhdistelymenetelmä
CoRe	Constellation Rearrangement, konstellaation uudelleen järjestely 16QAM-modulaation yhteydessä entistä paremman virheensietokyvyn saavuttamiseksi
CRC	Cyclic Redundancy Check, virheentarkistusmenetelmä, jossa vastaanotetun datan oikeellisuus tarkistetaan mm. siitä laskettavan bittisumman ja pariteettibittien avulla
CS	Coding Scheme, nimitys valittujen koodaustapojen yhdistelmälle
CQI	Channel Quality Indicator, käytettävän liikennöintikanavan laatua kuvaava viisibittinen luku
DCH	Dedicated Channel, WCDMA:n fyysinen liikennekanava
DSCH	Dedicated Shared Channel, WCDMA:n fyysinen downlink-suunnan liikennekanava
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution, GSM-verkkojen yhteydessä käyttöön otettu menetelmä pakettimuotoisen datasiirron nopeuttamiseksi
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute, Euroopan televiestinnän standardointi-instituutti
FACH	Fast Access Channel, WCDMA:n fyysinen downlink-suunnan liikennekanava

FCSS	Fast Cell Site Selection, menetelmä, jonka avulla tilaajalaite voi valita nopeasti sille datasiirtonopeudeltaan edullisimman matkaviestinverkon solun
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying, GSM:n käyttämä modulaatiomenetelmä
GPRS	General Packet Radio Service, GSM:n yhteyteen kehitetty pakettikytkentäinen datasiirtotapa
GSM	Groupé Special Mobile, myöhemmin Global System for Mobile Communications, toisen sukupolven digitaalinen matkaviestinjärjestelmä, jossa on aikajakoinen kanavakoodaus
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request, menetelmä automatisoitujen uudelleenlähetyspyyntöjen käsittelyä varten
HSCSD	High-Speed Circuit Switched Data, GSM:n yhteyteen kehitetty piirikytkentäisen datasiirron nopeuksia lisäävä tekniikka
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access, suurempia datasiirtonopeuksia verkon suunnasta tilaajalaitteelle mahdollistava WCDMA-standardien laajennus
HS-DPCCH	High-Speed Dedicated Physical Communication Channel HSDPA:n käyttämän radioyhteyden liikennöintikanava, jolla kuljetetaan yhteyden ohjaus- ja laatuviestejä
HS-DSCH	High-Speed Downlink Shared Channel, HSDPA:n käyttämä radioyhteyden liikennöintikanava
IS-95	Toisen sukupolven matkaviestinverkkostandardi, joka on käytössä lähinnä USA:ssa
ITU	International Telecommunication Union, YK:n alaisuudessa toimiva kansainvälinen järjestö, joka koordinoi televiestintäjärjestelmien käyttöä
MAC	Medium Access Control, radioverkon hallinnassa käytettävä protokolla
MAC-hs	Medium Access Control-high speed, HSDPA:n vaatimat laajennukset MAC-protokollaan
MCS	Modulation and Coding Scheme, nimitys valittujen koodaus- ja modulaatiotapojen yhdistelmälle
NACK	Negative acknowledge, viesti, joka lähetetään tilaajalaitteelta tukiasemaan, kun datakehys on vastaanotettu ja sen on todettu sisältävän virheitä
NMT	Nordic Mobile Telephone system, ensimmäisen sukupolven analoginen matkapuhelinjärjestelmä
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor, ortogonaalinen, vaihtelevanpituinen levityskerroin
QoS	Quality of Service, verkon palvelutason laatua kuvaava informaatio

QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, WCDMA:n yhteydessä käytetty modulaatiomenetelmä
RNC	Radio Network Controller, radioverkon ohjain
RRC	Radio Resource Control, radioresurssien hallinnointi verkossa
RV	Redundancy Version, ilmaisu, jolla kuvataan CoRe:n yhteydessä suoritettua databittien järjestelyä
SINR	Signal-to-Interference and Noise Ratio, suhdeluku, joka kuvaa signaalin voimakkuutta suhteessa häiriöiden ja kohinan voimakkuuksien summaan
TDMA	Time Division Multiple Access, liikennöintitapa, jossa samalla kanavalla liikennöivien eri tilaajalaitteiden erottaminen toisistaan toteutetaan jokaisen laitteen yksilöllisellä liikennöintiajan vuorottelulla
TTI	Transmission Time Interval, aikajakso, jonka kuluessa purskemuotoista radioliikennettä yksittäisen tilaajalaitteen ja matkaviestinverkon välillä suoritetaan
UE	User Equipment, yleisnimitys matkaviestinverkon käyttäjän matkaviestinlaitteelle
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, nimitys, jota käytetään pääasiallisesti Euroopassa yleisesti käyttöön valitusta kolmannen sukupolven matkaviestinverkon tyypistä
WCDMA	Laajakaistainen, koodijakoinen hajaspektriradorajapinta. Eräs kolmannen sukupolven matkaviestinverkoissa käytettävistä radorajapinnoista. Käytössä UMTS-verkoissa
WLAN	Wireless Local Area Network, yleisnimitys langattomien yhteyksien avulla rakennetuista lähiverkoista

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen kohteena on kolmannen sukupolven matkaviestinverkko UMTS:iin kehitetty datasiirtonopeuksia lisäävä asynkroninen lisäpalvelu HSDPA. Tiedonsiirtonopeuksien lisäämisen jatkuva tarve on ollut erityisesti kuluneen 15 vuoden aikana keskeisenä tekijänä niin kiinteiden kuin langattomienkin tietoverkkojen kehittämisessä.

Tutkimus tulee keskittymään HSDPA-palvelukokonaisuuden yhteydessä käytettäviin uusiin tekniikoihin, palvelun käyttöönoton edellytyksiin ja HSDPA-palveluiden yleistymisen tulevaisuuden näkymiin.

Laajakaistaisen Internet-yhteyden hyödyt niin mediasisällön seuraamisen, ihmisten keskinäisen viestinnän kuin yhteiskunnallisten ja kaupallisten toimijoiden asiointin yksinkertaistamisessa ovat kiistattomia. Suuri osa yhteiskunnan palveluista on jollakin tapaa käytettävissä sähköisen asiointin kautta ja jo pitkään Internet on ollut elintärkeä toimialue monille kaupallisille toimijoille. Trendi on maailmanlaajuinen ja Suomi on globaalisti tarkasteltuna erityisen kehittynyt julkisen sektorin sähköisten asiointimahdollisuuksien tarjonnassa.

Matkaviestinlaitteiden käyttö maailmanlaajuisen tietoverkon Internetin palveluiden käyttö ja sisällön lataaminen sekä siihen suojattuna liitettyjen yritysten ja yhteisöjen omien, erillisten tietoverkkojen sisällön käyttäminen työnteon apuvälineenä ovat yleistyneet. Liikkuvia käyttäjiä palvelevien langattomien tietoverkkojen kysyntä on yleisesti toteutusteknologiasta riippumatta lisääntynyt. Langattomuuden koetaan olevan nykyajan korkeinta teknologiaa. Verkoissa jaettavan tai siirrettävän informaation sisällön tuottaminen on kuitenkin todennäköisesti vielä pitkään vähäisempää kuin jo verkoissa olemassa olevan tiedon lataaminen käyttäjän laitteiston käytettäväksi.

2 DATASIIRTO MATKAVIESTINVERKOISSA ENNEN WCDMA:TA

Datasiirtoa matkaviestinverkoissa alettiin kehittää voimakkaasti vasta matkaviestinverkkojen kehityttyä digitaalisiksi 1990-luvulla. Tässä luvussa keskitytään tarkemmin verkkoihin, jotka ovat olleet pohjoismaisesta ja eurooppalaisesta näkökulmasta merkittäviä kehityksen etappeja kehityskulussa kohti kolmannen sukupolven verkkoja.

2.1 Matkaviestinverkkojen ensimmäinen sukupolvi

Matkaviestinverkkojen ensimmäisestä sukupolvesta puhuttaessa tarkoitetaan tyypillisesti analogisia matkapuhelinverkkoja. Puhelinverkko-termiä voitaneen käyttää ainoastaan puhuttaessa ensimmäisen sukupolven verkoista, koska ne oli alun perin suunniteltu ainoastaan äänipuheluiden välittämiseen. Vuonna 1981 Ruotsissa otettiin käyttöön NMT-järjestelmä (*Nordic Mobile Telephone System*), joka laajeni pian muihinkin Pohjoismaihin ja myöhemmin myös Keski- ja Itä-Eurooppaan. Suomessa järjestelmiä oli käytössä kaksi, aluksi 450 MHz:n taajuusalueella toimiva, myöhemmin rinnalle avattiin entistä suuremman käyttäjäkapasiteetin omaava 900 MHz:n taajuusalueella toimiva järjestelmä. NMT:n yhteydessä kanavointi eli usean samanaikaisen tilaajalaitteen käyttö verkossa toteutettiin taajuusjakoisena. Järjestelmien operaattorina toimi silloinen Suomen valtion omistama kansallinen puhelinoperaattori Tele. Järjestelmät ajettiin alas lopullisesti 31.12.2002, kun käyttäjien määrä oli laskenut jo vuosia ja korvaavan GSM-verkon katsottiin omaavan riittävän laajan peittoalueen.

NMT-verkoissa sinänsä hyvää puheyhteyden laatua heikensivät verkon ohjausviestien välittäminen puhekanavalla puhelun aikana ja ajoittain esiintynyt kanavien ylikuuluminen. Tilaajalaitteella saattoi kuulla osia toisen käyttäjän puheluista, koska minkäänlaista tilaajalaitteet yksilöivää salausta ei käytetty. Datasiirto-ominaisuuksia ei ollut tarpeellista juurikaan kehittää, muun tietotekniikan liikku-

vuus oli heikkoa ja työasemien datasiirto suoritettiin tyypillisesti lankaverkkoa käyttäen. Kokeiluja aiheesta suoritettiin, mutta kuluttajakäyttöön asti NMT-datasiirto ei koskaan kehittynyt.

2.2 Toisen sukupolven matkaviestinverkot /1,2,4/

1990-luvun alkupuolella esiteltiin ensimmäiset, toista sukupolvea (2G) edustavat digitaaliset matkaviestinverkot. Kehitystä motivoi lisäkapasiteetin tarve, NMT-verkot olivat tasoittaneet tietä matkapuhelimien yleistymiselle. Laitteet ja käyttö olivat halventuneet ja matkaviestinnälle oli niin kaupallista kuin sosiaalistakin ”tilausta”. Datasiirron kehittämiseen suhtauduttiin tosissaan, koska liikkuva työ ja tietotekniikan ja viestintäyhteyksien tarpeet työn ohessa olivat yleistyneet. Digitaalinen järjestelmä mahdollisti analogista huomattavasti suuremman spektritehokkuuden, digitoitua puhetta pystyttiin pakkaamaan reilusti, samalla kun puheluiden äänenlaatu näennäisesti parani. Parempi laatu saatiin aikaan myös siirtämällä verkon ohjausviestit suurelta osin omille kanavilleen ja ottamalla käyttöön tilaajalaitteiden yksilöllinen salausta.

Alkujaan 2G-järjestelmät toimivat pääasiallisesti 900 MHz:n taajuusalueella. Myöhemmin, jälleen kapasiteetin laajennustarpeen vauhdittamana, 2G-järjestelmiä laajennettiin 1800 MHz:n taajuusalueelle. Taajuusalueiden käytöstä poikkesi Yhdysvallat, jossa 2G-järjestelmille varatut taajuusalueet ovat 800 ja 1900 MHz ja Japani, jossa käytetään 800 ja 1500 MHz:n alueita. Aikaisempaa laajemman taajuusalueen käytöllä pyrittiin luomaan paikallista lisäkapasiteettia paikkoihin, joissa käyttäjitiheys on suuri ja käyttäjien liikkeet hitaita, esimerkiksi kaupunkien keskustoissa, julkisissa tiloissa, kuten näyttely- ja urheiluhalleissa ja joukkoliikenteen asemapaikoilla, joissa suurin osa käyttäjistä on jalankulkijoita.

2G-verkoissa pyrittiin lisäämään kapasiteettia laajentamatta silti järjestelmän käyttämää taajuuskaistaa analogisiin verkkoihin nähden. Liikennöinnin taajuusjakoinen kanavointi (FDMA) säilytettiin, mutta samalla voitiin lisätä kanavan liikennöintiin

aikajakoisuus (*TDMA*). Se tarkoittaa, että radiotiellä tapahtuva liikennöinti tukiaseman ja tilaajalaitteen välillä tapahtuu purskeisena. Tilaajalaite voi lähettää tai vastaanottaa tietyn määrän databittejä sille yksilöidyn, mutta vakiomittaisen ajanjakson aikana. Useat tilaajalaitteet voivat käyttää taajuudeltaan samaa kanavaa, mutta ne on eroteltu käyttämillään aikajaksoilla. Vaikka kanavointitapa on yhdistelmä FDMA:sta ja TDMA:sta, järjestelmien kanavoinnista käytetään usein vain nimitystä TDMA.

Myös koodijakoinen, 2G-järjestelmäksi määritelty matkaviestinverkko on olemassa. Yhdysvaltalaisen cdmaOne-verkon käyttämä radiorajapinta on nimeltään IS-95 ja se on ensimmäinen kuluttajakäyttöä varten avattu koodijakoinen järjestelmä. Koodijakoisessa järjestelmässä tilaajalaitteiden yksilöinti tapahtuu radiotiellä siirrettävän datan sisältämän koodin perusteella, kukin laite tunnistaa kohinan kaltaisesta signaalista ennalta allokoitun koodin perusteella omaan käyttönsä tarkoitetun hyötysignaalin.

2.2.1 Datsiirto GSM-verkoissa

Toisen sukupolven järjestelmistä hallitsevaan rooliin nousi GSM-standardi. Vuonna 1991 maailman ensimmäinen GSM-puhelu soitettiin suomalaisen kaupallisen operaattorin, Radiolinjan verkossa. Vuoden 1992 kuluessa GSM yleistyi Euroopassa ja se on myöhemmin otettu laajalti käyttöön myös muualla maailmassa lukuun ottamatta Yhdysvaltoja ja Japania. GSM:n kehitystyö aloitettiin 1982, vuonna 1988 perustettiin ETSI, Euroopan televiestinnän standardointi-instituutti, joka on siitä lähtien vastannut GSM-standardin kehittämistä. ETSI on edelleen muodollisessa vastuussa GSM-standardin kehittämistä, mutta teknistä kehitystyötä on jatkettu 3GPP:n alaisuudessa. 3GPP-projektiyhteenliittymä (*Third Generation Partnership Project*) perustettiin 1998 standardoimaan UMTS-järjestelmää ja vuonna 2000 GSM:n kehittäminen edelleen lisättiin 3GPP:n tehtäväkenttään. ETSI on myös jäsenenä 3GPP:ssä. /4/

GSM:llä on ollut tärkeä rooli myös kehityksen suuntaajana kolmannen sukupolven matkaviestinverkkoja suunniteltaessa ja toteutettaessa. Siksi on aiheellista perehtyä erityisesti GSM:n datasiirron ominaisuuksiin myös tämän työn piirissä.

GSM:n datasiirto suunniteltiin aluksi piirikytkentäiseksi eli yhteydelliseksi yhteydeksi. Sekä kiinteät verkot että GSM:n radiorajapinta tarjoavat resurssinsa piirikytkentäisessä muodossa. Se tarkoittaa, että tilaajalaitteen ja verkon välille avataan jatkuva yhteys, jossa dataa siirretään. Alkuperäisellä konfiguraatiolla kanavan kahdeksasta aikavälistä yhtä käytetään verkosta tilaajalaitteeseen suuntautuvaan liikenteeseen (*downlink*) ja ajallisesti limitettynä toisen kanavan yhtä aikaväliä tilaajalaitteesta verkon suuntaan suuntautuvaan liikenteeseen. Liikennettä varten on olemassa omat fyysiset kanavat, lisäksi käytetään kolmatta ajallisesti limitettyä kanavaa liikenteen ohjaukseen. Datanopeudeksi muodostui 9,6 kbit/s. Myöhemmin datanopeutta nostettiin arvoon 14,4 kbit/s, jolloin virheenkorjaukseen ja oikeellisuuden varmistamiseen käytettävien bittien määrää vähennettiin. Näin yksittäisen aikavälin aikana voitiin lähettää suurempi määrä käyttäjän tilaamaa dataa, koska. Näin toimien siirron virheiden sietokyky eli redundanssi luonnollisesti pieneni.

2.2.2 HSCSD GSM-verkoissa

Entistä suurempi askel otettiin 1990-luvun puolivälissä, kun datasiirron nopeusvaatimukset olivat edelleen kasvaneet. Kehittämisen perusvaatimuksena oli saada parannusta nopeuksiin yksinkertaisesti ja mahdollisimman pienillä muutoksilla olemassa oleviin standardeihin ja laitteistoon. Kehitettiin HSCSD (*High-Speed Circuit Switched Data*), jossa ideana on allokoida yhdelle tilaajalaitteelle dataliikennettä varten useampi kuin yksi aikaväli kahdeksan aikavälin mittaisesta liikennöintikykyksestä, kuitenkin enintään neljä aikaväliä. Modulaatiomenetelmänä käytetään GMSK:ta. HSCSD:n tiedonsiirron maksiminopeus on neljällä aikavälillä neljä kertaa yhden aikavälin sallima nopeus, 14,4kbit/s eli 57,6 kbit/s. Yhteydellisenä yhteytenä HSCSD sopii hyvin tiedonsiirtoon, jossa yhteyden nopeuden ja viiveiden toivotaan pysyvän vakioina.

2.2.3 GPRS GSM-verkoissa

Tiedonsiirtonopeuden tarpeen edelleen kasvaessa GSM:n datasiirtoa on kehitetty yhteydettömän liikennöinnin suuntaan. GPRS (*General Packet Radio Service*) on standardi, jossa GSM-verkoissa voidaan siirtää pakettimuotoista dataa. Pakettikytkennässä verkko pilkkoo lähetettävänä olevan datan paketeiksi ja otsikoi paketteihin vastaanottajan tiedon. Paketit välitetään vastaanottajalle verkon kautta ja vastaanottaja eli tilaajalaitte koostaa paketit jälleen yhtenäiseksi dataksi. GPRS ei varaa verkon kapasiteettia, kun siirrettävää dataa ei ole, toisin kuin HSCSD, jolloin sen varaama verkon kapasiteetti on mukautuvampi kuormituksen suhteen kuin HSCSD:n. Tämä johtaa siirtokapasiteetin näennäiseen kasvuun tilaajien näkökulmasta. Siirrettäessä dataa GPRS voi käyttää HSCSD:n tapaan useampaa kuin yhtä aikaväliä liikennöintiin. GPRS mahdollistaa datasiirron aikaisten äänipuheluiden muodostamisen tai vastaanottamisen. Standardiin on määritelty GPRS:n ja puhelutoiminnan samanaikainen toiminta, ns. GPRS-laiteluokka A, mutta käytännössä kaikki laitteet tällä hetkellä ovat laiteluokan B laitteita, joissa GPRS-datasiirtoa tauotetaan tilaajalaitteen äänipuheluiden ajaksi. Luokka C tarkoittaa laitetta, jossa käyttäjän on erikseen valittava toimintatila datasiirron tai äänipuheluiden välillä. GPRS:n nopeuslisä tavanomaiseen GSM-datasiirtoon on paitsi entistä useamman aikavälin käytön (*multislot*), myös tehokkaamman kanavakoodauksen käytön ansiota. Kanavakoodaustapoja on neljä ja niitä kutsutaan yksinkertaisesti koodaustavoiksi (*Coding Schemes, CS*). GPRS-tilaajalaitteen tulee tukea kaikkia neljää koodaustapaa, mutta verkon edellytetään tukevan vain yksinkertaisinta, CS-1:tä. Tyypillisesti käytössä on myös CS-2. Koodaustavat CS-3 ja CS-4 edellyttävät huomattavan yksityiskohtaista radioverkkosuunnittelua ja siksi ne toimivat toivotulla tavalla tyypillisesti vain hyvissä olosuhteissa ja lyhyellä tilaajalaitteen ja tukiaseman etäisyydellä. Datasiirtonopeus on suurimmillaan CS-4:n yhteydessä ja pienimmillään CS-1:n yhteydessä. CS-1 aikaväleittäinen datasiirtonopeus on 8,8 kilobittiä sekunnissa ja CS-4:n 17,6 kilobittiä sekunnissa. Todellinen siirtonopeus voi olla siis jopa kahdeksankertainen, koska GPRS voi allokoida kahdeksan aikaväliä käsittävästä liikennöintikehyksestä useamman kuin yhden aikavälin yksittäiselle tilaajalaitteelle. GPRS-tilaajalaitteet luokitellaan vielä erikseen GPRS-luokkiin (*GPRS*

Classes), jotka kuvaavat niiden kykyä hyödyntää aikavälejä. Esimerkiksi Nokia 6310 on kaksitaajuuspuhelin, jonka GPRS-luokitus on 6. Luokassa 6 voidaan käyttää samanaikaisesti viittä aikaväliä, mutta enimmillään kolmea aikaväliä joko downlink- tai uplink-suunnan liikenteessä. Näin ollen, mikäli vastaanotetaan kolmella aikavälillä, samanaikaisesti voidaan suorittaa lähetystä kahdella aikavälillä.

2.2.4 EDGE GSM-verkoissa

EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) on eräänlainen GPRS:n jatkokehite. EDGE:n yhteydessä GSM:ään esiteltiin ensi kertaa uusi modulaatiomenetelmä GSM:n alkuperäisen GMSK:n rinnalle, 8PSK. 8PSK parantaa siirtokapasiteettia merkittävästi GMSK:hon nähden. Kuten GPRS:n yhteydessä, EDGE toi lisäkapasiteettia uusien kanavakoodaustapojen käytössä. EDGE:n modulaatio- ja kanavakoodausyhdistelmiä kutsutaan MCS:ksi (*Modulation and Coding Scheme*) ja GPRS:n CS:ien tapaan ne on numeroitu juoksevilla numerolla siten, että pienin numero vastaa hitainta datasiirtonopeutta. EDGE käsittää yhdeksän MCS-tapaa, joista neljä ensimmäistä ovat itse asiassa GPRS:n CS:t 1-4. Näin ollen ne käyttävät myös GMSK-modulaatiota ja datanopeudet ovat identtiset GPRS:n kanssa. MCS:t 5-9 hyödyntävät 8PSK-modulaatiota ja tarjoavat aikaväleittäisiä siirtonopeuksia välillä 22,4...59,2 kbit/s. Usean aikavälin käyttö (*multislot*) on käytössä, kuten GPRS:n yhteydessä ja luokitukset ovat samankaltaiset. Mitä suurempi MCS-luokan nopeus on, sitä vähemmän verkko seuraa liikennettä, koska kanavakapasiteettia ei enää ole käytettävissä seuranta-, laatu- ja ohjausviestintää varten koska se on valjastettu lähes yksinomaan käyttäjän datan siirtoa varten. Näin ollen myös virheenkorjaus ja virheiden sietokyky ovat vähäistä, kun liikennöintinopeus on suuri. Kuten jo GPRS:n yhteydessä tuli ilmi, korkeamman CS-luokan käyttö edellyttää todella pikkutarkkaa radioverkkosuunnittelua toimiakseen suunnitellulla tavalla. Siksi myös EDGE:n korkeimmat siirtonopeudet ovat saavutettavissa ainoastaan huomattavan suotuisissa radioliikenneolosuhteissa ja todella lähellä tukiasemaa. Mikäli operaattori haluaa kuitenkin tarjota korkeita EDGE-nopeuksia, verkon solu-

ja täytyy tihentää lisäämällä määrää samalla peittoalueella, jolloin etäisyydet eivät pääse kasvamaan kovin suuriksi.

3 DATASIIRTO KOLMANNEN SUKUPOLVEN MATKAVIESTINVERKOISSA

Kolmannen sukupolven matkaviestinverkkojen kehitystyössä ja käyttöönotossa on ollut alusta asti selvää, että nopeat datasiirtomahdollisuudet ovat elinehto verkkojen menestykselle ja yleistymiselle ja siksi datasiirron kehittämiseksi on annettu erityistä painoarvoa.

3.1 Kolmannen sukupolven matkaviestinverkoista

Kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmiksi voidaan laskea useita eri standardeja. Tässä työssä käsitellään niistä erityisesti Euroopassa yleistynyttä UMTS:ia (*Universal Mobile Telecommunication System*). ETSI:n (*European Telecommunication Standard Institute*) mukaan UMTS:n radorajapinnoiksi on määritelty WCDMA-, GSM- ja EDGE-tekniikat. GSM (*Global System for Mobile communications*) on jo 1990-luvulla käyttöön otettu aikajakoinen toisen sukupolven matkaviestintään suunniteltu digitaalinen radorajapinta. EDGE on GSM:n jatkokehityksen tuloksena GSM:n yhteyteen syntynyt datasiirtonopeuksia parantava teknologia. GSM, sen datasiirto ja EDGE ovat esitelty yksityiskohtaisemmin kappaleessa 2.2.

Puhekielessä 3G, kolmas sukupolvi, UMTS ja WCDMA usein sekoittuvat. Terminologian selkeyttämiseksi voidaan lyhyesti todeta, että *UMTS on siis WCDMA-radorajapintamääritelmää hyödyntävä kolmannen sukupolven (3G-) matkaviestinjärjestelmä, joka on käytössä enemmistöllä eurooppalaisista matkaviestinoperaattoreista.*

Muilla mantereilla käytössä olevista kolmannen sukupolven järjestelmistä maininnan arvoisia ovat ITU:n (*International Telecommunications Union*) kehitysprojekti IMT-2000 (*International Mobile Telephony 2000*). Yhdysvalloissa on myös kehitetty omaa CDMA2000-järjestelmää, joka pohjautuu osin siellä käytössä olevaan toisen sukupolven IS-95-järjestelmään.

3.2 UMTS-verkon WCDMA-radorajapinta /2/

UMTS-verkko on WCDMA-radorajapintansa myötä koodijakoinen, laajakaistainen hajaspektrijärjestelmä. Järjestelmä toimii kahdella n. 5 MHz:n levyisellä taajuuskaistalla (*downlink ja uplink*). Yhteensä 10 MHz:n kaista on huomattavan suuri tyypillisen koodijakoisen järjestelmän taajuuskaistaksi verrattuna esimerkiksi koodijakoiseen IS-95-järjestelmään (*cdmaOne*), jonka taajuuskaista koostuu kahdesta 1,25 MHz:n levyisestä kaistasta.

Hajaspektrisyys tarkoittaa, että käyttäjälle tarkoitettu hyötysignaali levitetään koko järjestelmän käyttämälle 5 MHz:n taajuuskaistalle. WCDMA:n yhteydessä käytetään suorasekvenssilevitystä. Pääperiaate on, että suorasekvenssilevityksessä hyötysignaali kerrotaan ennen lähetystä verkon ja tilaajalaitteen keskenään sopimalla kohinan kaltaisella signaalilla koko kaistan levyiseksi. Tilajalaitteen vastaanotin poimii radiotieltä signaalia ja tilaajalaite kertoo vastaanottamansa signaalin itsenäisesti verkon ja tilaajalaitteen sopimuksen mukaisesti generoidulla kohinan kaltaisella signaalilla. Tämän yhteydessä syntynyt signaali suodatetaan likimain hyötydatan lähetystaajuutta vastaavalla kaistanpäästösuotimella, jolloin suodatuksen läpäisystä signaalista voidaan indikoida alkuperäinen hyötysignaali. Kuvattulla menetelyllä saadaan aikaan hyvä sietokyky radioyhteyksien laatuun vaikuttavia sähkömagneettisia häiriöitä vastaan.

Koodijakoisuus tarkoittaa, että jokainen tilaajalaite voi erottaa näennäisesti kohinan kaltaisesta kokonaissignaalista omaan käyttöönsä tarkoitetun hyötysignaalin. Erot-

taminen suoritetaan verkon ja tilaajalaitteen välillä ennalta sovitulla koodauksella, jonka avulla vastaanotettuun signaaliin lisättävä levityskoodi muodostetaan. Levityskoodin käyttö esitettiin edellisessä kappaleessa. Jokaisella tilaajalaitteella on oma yksilöity koodinsa, jolloin useat tilaajalaitteet voivat liikennöidä samalla kaisalla.

3.2 UMTS-radioverkon datasiirto /1,2/

Tässä työssä keskitytään käsittelemään pelkästään UMTS-järjestelmää siten, kuin sen on määritellyt maailmanlaajuinen 3G Partnership Project-projektiyhteenliittymä (3GPP). 3GPP:n tehtävä on muodostaa standardeja UMTS-järjestelmälle ja neuvotella niihin liittyviä kompromisseja huomioiden poliittiset, teolliset ja taloudelliset vaatimukset, joita eri maanosissa toimivat standardoinnista ja teknisistä määrittelyistä vastaavat toimijat esittävät.

Alkujaan 3GPP päätti valmistella määritelmiä vuosittaisella tasolla. Tämän vuoksi ensimmäinen määritelmäjulkaisu nimettiin ”3GPP System Release 99”:ksi. Tästä nimeämistä on sittemmin luovuttu ja tässä työssä viitataan useimmin Release 99:ä seuraaviin määritelmäjulkaisuihin ”Release 4” ja ”Release 5”, koska työssä myöhemmin käsitellyn HSDPA:n (*High Speed Downlink Packet Access*) tekniset määrittelyt on pääosin julkaistu niissä.

Release 4 -julkaisun määrittelyissä WCDMA:n downlink-suunnan pakettimuotoista dataliikennettä suoritetaan kolmea kanavaa käyttäen:

- DCH (*Dedicated Channel*)
- DSCH (*Dedicated Shared Channel*)
- FACH (*Forward Access Channel*)

DCH-kanavalla ja DSCH-kanavalla liikennöitäessä datanopeus riippuu tukiaseman (*base station, BS*) mobiililaitteelle määräämien yksilöllisen koodien levityskertoimesta. Levityskerroin kuvaa OVVSF-koodin (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) pituutta, jolla käyttäjän laitteistoon tukiasemalta vastaanotettava data levitetään

käytössä olevalle taajuuskaistalle. Tämän kaistan leveyden määrää verkon vapaa kapasiteetti ja käyttäjän tarvitsema datasiirtonopeus. Verkko säätelee OVFS-koodia ja näin ollen levityskertoimen pituutta solun käyttäjätiheyden ja käyttäjän mobiililaitteen lähettämien siirtonopeuspyyntöjen mukaan. Mikäli tukiaseman ”alaisuuteen” liittyy useita laitteita, jotka lähettävät varauspyyntöjä siirtonopeudesta, tukiasema saattaa lähettää kaikille palvelemilleen tilaajalaitteille uudet, pidemmät OVFS-koodit. Tällöin levityskerroin suurenee, jolloin jokaisen laitteen suhteellinen datasiirtonopeuden maksiminopeus laskee. Vastaavasti, mikäli tukiaseman piiristä poistuu tilaajia muiden solujen palveltavaksi, se voi lähettää tilaajalaitteille uudet, pienemmän levityskertoimen lyhyemmät OVFS-koodit, jolloin solun palveltavaksi jääneet tilaajat voivat liikennöidä jälleen suuremmalla datasiirtonopeudella. DCH-kanavalla levityskerroin on vakio koko liikennöintiajan, DSCH-kanavalla liikennöitäessä levityskerroin voi muuttua mm. verkon kuormitustilanteen mukaan jokaisen 10 millisekunnin mittaisen lähetyksesyklin aikana. Koska DSCH-kanava on jaettu eri tilaajien kesken, usea tilaajalaitte voi käyttää samaa kanavaa samanaikaisesti. DSCH-kanava on suunniteltu käytettäväksi aina DCH-kanavan rinnalla, koska näin molempien kanavien parhaita puolia voidaan hyödyntää yhdessä, osa datasta voidaan siirtää DSCH:lla, jonka siirtonopeus saattaa vaihdella jatkuvasti, mutta tasaisen siirtonopeuden tarpeeseen vastaava DCH on jatkuvasti käytössä. DCH-kanavaa voitaisiin ajatella käytettävän esimerkiksi reaaliaikaisen videokuvan välittämiseen, jolloin siirrettävän datan määrä pysyy jatkuvasti lähes muuttumattomana ja tarve saada datapaketit kokonaisuudessaan perille on kriittinen. FACH-kanavaa voidaan myös käyttää datasiirtoon, sillä on kiinteä levityskerroin ja tyypillisesti korkea tehotaso, mutta sitä ei voida käyttää tapauksissa, joissa puheensierro ja pakettimuotoinen datasiirto ovat samanaikaisesti käytössä.

3.3 HSDPA UMTS-verkoissa

HSDPA eli High-Speed Downlink Packet Access on sovellus, joka on kehitetty lisäämään WCDMA-pohjaisesta UMTS-verkosta mobiililaitteeseen suuntautuvaa (*downlink-suuntaista*) pakettimuotoista tiedonsiirtoa.

HSDPA:n merkittävin käyttäjälle näkyvä hyöty on siirtonopeuden kasvu verkosta mobiililaitteeseen karkeasti viisinkertaiseksi WCDMA:n normaaliin verrattuna. WCDMA:n datasiirron maksiminopeus on DSCH-kanavalla liikennöitäessä 384 kilobittia sekunnissa. Tyypillisesti nopeuden ilmoitetaan vaihtelevan 64...384 kbit/s. HSDPA pystyy yli 10 megabitin, jopa 14,4 megabitin sekuntinopeuteen datasiirroissa. Vaihteluväli on 0,9...14,4 Mbit/s. Koska on kyse radioverkon sovellutuksesta, nopeus on luonnollisesti huomattavan riippuvainen vallitsevasta verkon vapaasta tiedonsiirtokapasiteetista, radioliikenneolosuhteista sekä operaattorin ja käyttäjän laitteistosta.

4 HSDPA:n tekniikka

HSDPA:n perusajatus on lisätä pakettimuotoisen liikenteen nopeutta vastaavanlaisilla keinoilla kuin EDGE-tekniikka lisäsi GSM-järjestelmän datasiirtonopeuksia. EDGE:stä periytyviä periaatteita ovat radioyhteyden mukauttaminen ja nopea datapakettien uudelleen lähettäminen tarvittaessa.

4.1 HSDPA:n peruskäsitteet /1, 2/

HSDPA-määrittelyssä lisätään jaetulla kanavalla (*DSCH*) tapahtuvaan eri tilaajien datapakettien lähetykseen aikamultipleksointiominaisuus. Tällaista kanavaa kutsutaan HS-DSCH:ksi (*high-speed downlink shared channel*). HS-DSCH:n levityseroin ei vaihtele aikajakson sisällä, kun HSDPA on käytössä. Muuttuva levityseroin

roin nopeuttaa näennäisesti yksittäisen tilaajan keskimääräistä datasiirtonopeutta, koska tilaajien tarvitsema nopeus vaihtelee käytön mukaan – mukautuva levityskerroin voi lisätä toisen tilaajan keskeneräisen vastaanoton datanopeutta, kun toinen tilaaja on jo vastaanottanut tarvitsemansa datan. Levityskertoimen vaihtelumahdollisuuden puute eliminoidaan HSDPA:n yhteydessä tavoilla, jotka käsitellään seuraavissa luvuissa.

HSDPA:n yhteydessä on myös luovuttu HS-DSCH-kanavan osalta nopeasta tehonohjauksesta, joka muuten on äärimmäisen tärkeä koodijakoisen järjestelmän toiminnan kannalta. Tehonohjauksen periaate on seuraava: mikäli solun palvelemien mobiililaitteiden käyttämiä lähetystehoja ei ohjattaisi, lähellä tukiaseman antennia sijaitsevat laitteet tukkisivat omilla läheteillään järjestelmän taajuuskaistan ja näin ollen kauempana olevat tilaajalaitteet tai muuten suuresta radiotien vaimenuksesta kärsivät tilaajalaitteet putoaisivat verkosta. HSDPA-datayhteydellä ei käytetä WCDMA:n tyypillistä nopeaa tehonohjausta, vaan ongelmat pyritään välttämään ja suorituskykyä parantamaan mukautuvalla modulaatiolla ja koodauksella (*AMC, adaptive modulation and coding*). AMC:tä käsitellään tarkemmin sen omassa luvussa.

HSDPA-palvelussa pyritään lisäämään spektritehokkuutta entistä nopeammalla reagoinnilla lyhytaikaisiin käyttöolosuhteiden muutoksiin. Siksi tukiasemassa käytetään HSDPA:n myötä uutena ominaisuutena nopeaa liikenteen ajoitusta. Tukiasema tekee ajoituspäätökset aikaisempaa tarkemmin tilaajalaitteeltaan saamiensa laatutietojen perusteella. Näitä laatutietoja ovat mm. vastaanotetun datan laatu, tilaajalaitteen vastaanottokyky, vastaanottopuskurin tila ja haettavan datan prioriteetti. Tukiasema pyrkii ennakoimaan kanavan laatua näiden tilaajalaitteilta saamiensa palautetietojen avulla, tehonohjauksella ja ns. ACK/NACK-suhteella (*acknowledge/negative acknowledge*). ACK/NACK-viestintä tilaajalaitteen ja tukiaseman välillä kuvaa datasiirron onnistumista. Mikäli tilaajalaitte vastaa verkolta datapaketin virheettömänä, se lähettää ACK-viestin, josta verkko ja tukiasema saavat tiedon, että kyseinen paketti on mennyt perille. NACK-viesti taas kuvaa, että perille tullut data on ollut virheellistä, jolloin verkko ja tukiasema ryhtyvät toimiin

paketin uudelleenlähettämiseksi. Yksi HSDPA:n kehittämisen keskeinen ajatusmalli on kehittää datasiirron ajoitusta niin nopeasti mukautuvaksi, että tarvittaessa yksittäisen verkon solun kapasiteetti voidaan lähes yksinomaan kohdistaa yhdelle tilaajalaitteelle hyvin lyhyeksi ajaksi kerrallaan, mikäli olosuhteet verkossa ovat suopeat. Optimitalanteessa tämänkaltaisella ajoituksella voitaisiin huomioda radioyhteydessä esiintyvä nopea häipymä.

Seuraavissa luvuissa perehdyn HSDPA:n neljään keskeiseen toiminnalliseen kokonaisuuteen, jotka ovat:

- mukautuva modulaatio ja koodaus (*AMC, adaptive modulation and coding*)
- automaattiset uudelleenlähetyspyynnöt (*HARQ, hybrid automatic repeat request*)
- nopea liikennöinnin ajoitus (*fast scheduling*)
- ”saumaton” solunvaihto (*seamless cell change*)

4.2 Mukautuva modulaatio ja koodaus (AMC) /1, 2/

Mukautuvalla modulaatiolla ja koodauksella pyritään kompensoimaan radiotien jatkuvaa epästabiilisuutta. Radiotien mukauttamiseen voidaan käyttää useita keinoja, kuten esim. adaptiivisia antennoja ja tehonohjausta. HSDPA:n yhteydessä nopea tehonohjaus hylättiin, koska se olisi johtanut liialliseen monimutkaisuuteen. Mukautuvan modulaation ja koodauksen tarkoitus on hienosäätää ns. fyysisen kerroksen eli todellisen, muodostetun radioyhteyden modulaation ja koodauksen parametreja radiokanavan muutoksia vastaaviksi. Parametrikorjauksia tehdään mobiililaitteelta tukiasemalle saatavia radioyhteyden mittausarvoja hyödyntäen. Näiden lisäksi käytetään QoS-määrittelyä (*Quality of Service*), josta saadaan tietoa, millaista dataa ollaan siirtämässä sekä mm. mikä on sen perillemenon kriittisyysaste.

WCDMA:ssa käytetään tyypillisesti modulaatiotapana QPSK-modulaatiota (*Quadrature Phase Shift Keying*), joka on määritelty käyttöön teknisessä määrittelyssä Release 4. Release 5 ottaa tarkemmin kantaa myös HSDPA:han ja Release 5:ssä on hyväksytty HSDPA:n yhteydessä käytetylle HS-DSCH-kanavalle toiseksi modulaatiotavaksi 16QAM (*16-Quadrature Amplitude Modulation*) Release 4:ssä määritellyn QPSK:n lisäksi. Tutkittaessa Release 5:een erilaisia mahdollisia modulaatiotapoja käytettäväksi HSDPA:n yhteydessä, myös 8-PSK ja 64QAM-modulaatiotavat olivat ”ehdolla”, mutta ne hylättiin heikon suorituskykynsä ja monimutkaisuutensa vuoksi lopullisesta teknisestä määrittelystä. 16QAM-modulaation käytön monimutkaisuutta kuvaa se, että QPSK-modulaatiota käytettäessä vain vaiheen ennakoiminen on tarpeen, mutta 16QAM-modulaatiolla myös amplitudi täytyy ennakoida ennen demodulointia, jotta konstellaatiopisteet voidaan erottaa. QPSK:ta tarkempaa vaiheinformaatiota tarvitaan, koska 16QAM:n yhteydessä signaalitilojen muutoksia paljastava konstellaatiopisteiden etäisyys on pienempi vaihetasossa. Kun 16QAM-modulaatiota käytetään, liikennöitäessä HS-DSCH-kanavalla palveleva tukiasema ei saa säätää lähetystehoaan liikennöintikehysten aikana, koska tilaajalaitteen on ennakoitava kanavan suhteellinen tehotaso CPICH-kanavan (*common pilot channel*) kantoaaltoon nähden vastaanottonsa aikana.

WCDMA:n QPSK:ta ja GSM:n GMSK:ta monimutkaisempi modulaatiomenetelmä parantaa spektritehokkuutta ja näin ollen se mahdollistaa suurempien datasiirtonopeuksien käytön. Näin ollen kanavakoodausta suoritettaessa voidaan yksilöllisesti valita kulloiseenkin tilanteeseen parhaiten sopiva, suurimman mahdollisen siirtonopeuden mahdollistava modulaatiotapa. Menetelmänä mukautuva modulaatio ja koodaus ei ole kuitenkaan täysin aukoton. Koska päätökset käytettävästä modulaatiotavasta tehdään tilaajalaitteelta saatujen mittausarvojen perusteella, ne ovat jonkin verran viiveellisiä todelliseen radiotien tilanteeseen nähden. Pienuudestaan huolimatta kyseinen viive saattaa muuttua merkitykselliseksi mm. nopean häipymän vuoksi. Tilaajalaitteelta saatu informaatio saattaa olla myös virheellistä, mikä aiheuttaa näin ollen virheellisiä olettamuksia liikennöintitavan valinnassa.

Mukautuvan modulaation ja koodauksen yhteydessä käytettävistä verkon laatutiedoista tärkein on CQI-informaatio (*Channel Quality Indicator*). CQI kuvaa kanavan laatua numeroarvolla ja tilaajalaite lähettää sitä uplink-suunnan ohjauskanavalla, HS-DPCCH-kanavalla, verkon suuntaan. Verkko ohjeistaa tilaajalaitteelle, miten usein laatutieto lähetetään. Release 5:n mukaan lähetystä voidaan pyytää suoritettavaksi 0, 1, 2, 4, 5, 10, 20, 40 ja 80:n HS-DPCCH-kanavalla liikennöintiin käytetyn alikehyksen välein. Alikehyksen kesto on kolme peräkkäistä aikaväliä 15 aikavälin ja 10 millisekunnin kestoisesta HS-DPCCH:n liikennöintikehyksestä eli 2 millisekuntia, mistä voidaan suoraan päätellä, miten usein laatutietoa kerätään. CQI-arvo on viisibittinen luku, jonka tilaajalaite määrittelee vastaanottamaansa tietoon määritellyn modulaatitavan, fyysisen HS-PDSCH-kanavan koodien lukumäärän ja kulloinkin siirrettävän lohkon koon mukaisesti. Tilaajalaite lähettää CQI-arvon verkolle ja tukiasema käsittelee sen arvioiden liikennöintitapansa muutostarvetta CQI-palautteen jälkeen. CQI-palautte kanavan laadusta on vain ohjearvo tukiasemalle, se voi tehdä poikkeavia päätöksiä, jotka voivat olla perusteltuja muista syistä kuin tukiaseman ja yksittäisen tilaajalaitteen välisen yhteyden muutoksista – esimerkiksi muun liikenteen lisääntyminen solussa. CQI-raportoinnin taajuus vaikuttaa suoranaisesti taajuuteen, jolla siirron parametreja voidaan muuttaa. HSDPA:n yhteydessä käytetty tiheä raportointiväli parantaa mahdollisuuksiin saavuttaa mahdollisimman suuri tilaajalaittekohtainen siirtonopeus ja laaja verkon mukautuvuus käyttötilanteeseen, mutta johtaa myös luonnollisesti kasvaneisiin resursivaatimuksiin uplink-suunnan ohjauskanavalla, jossa CQI-raportointi liikkuu. Raportointivälin optimointi maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi onkin radioverkkosuunnittelun yhteydessä harkittava kompromissi, johon voi vaikuttaa mm. solun sijoitus. Esimerkiksi solussa, jossa suurimman osan käyttäjistä voidaan olettaa liikkuvan jalan, olosuhteet muuttuvat hitaasti ja raportointiväli voi olla pidempi kuin solussa, jossa käyttäjien oletetaan liikkuvan autolla.

4.3 Automaattiset uudelleenlähetyspyynnöt (HARQ)

Datasiirto radioyhteyttä hyväksi käyttäen on hyvissäkin olosuhteissa melko epäluotettavaa radioyhteyden jatkuvien muutosten vuoksi. Tämän vuoksi vastaanotettua datan oikeellisuutta on tarkkailtava jatkuvasti ja virheiltä on suojauduttava. Vaikka tekniikka on kehittynyt virheiden välttämiseksi, eri syistä radioteitse ei aina pystytä lähettämään täysin virheetöntä informaatiota. Siksi virheenkorjausta ja virheistä toipumista varten on kehitetty erilaisia menetelmiä.

HSDPA:n yhteydessä käytetty HARQ käsittää uudelleenlähetystarpeen arvioimiseksi kolmea tapaa, jotka ovat Chase Combining -yhdistely, lisätty redundanssi (*IR, Incremental Redundancy*) sekä 16QAM-moduloinnin yhteydessä konstellaation uudelleenjärjestely CoRe (*Constellation Rearrangement*).

4.3.1 Chase Combining -yhdistely /1, 2, 7/

Virheellinen datakehys voidaan pyytää lähetettäväksi uudelleen, jos tilaajalaite tulee kehyksen vastaanoton ja demoduloinnin jälkeen tulokseen sen virheellisyydestä. Kuten muussakin datasiirrossa on tyypillistä, HSDPA:n yhteydessä tilaajalaite tutkii jokaisen datakehys vastaanotettuaan, oliko kehyksen oikean mittainen, vai puuttuiko siitä odotettua dataa. Tarkistus suoritetaan paketin sisältämän CRC-sekvenssin (*Cyclic Redundancy Check*) tarkastuksella. Demoduloinnin ja dekodauksen jälkeen tilaajalaite lähettää tukiasemalle ACK/NACK viestin tukiasemalle siirron onnistumisesta. Mikäli siirto ei onnistunut, tilaajalaite lähettää NACK-viestin ja pyytää kehyksen välitöntä uudelleenlähetystä. Uudelleenlähetysten jälkeen tilaajalaite yhdistelee tietoja muistiinsa jättämästä virheellisestä datakehuksesta ja vastaanottamastaan eheästä datakehuksesta. Täten saavutetaan suurempi todennäköisyys saada aikaan ehjä, oikeellinen datakehys pienemmällä uudelleenlähetysten lukumäärällä. Tätä menettelyä kutsutaan nimellä Chase Combining (CC). Verkon puolesta voidaan myös säätää kehyksen lähetysparametreja automaattisesti

vastaanotettujen radioyhteyden laatutietojen ja saadun ACK/NACK-informaation mukaan. ACK/NACK-informaatio lähetetään samalla HS-DPCCH-ohjauskanavalla kuin CQI-viestitkin. Uudelleenlähetyskertojen suurin sallittu lukumäärä on määrätty verkonhallinnan parametreissa.

4.3.2 Lisätty redundanssi /5/

Lisätty redundanssi, IR, toimii nimensä mukaisesti siten, että pyydettyä uudelleenlähetystä toteutettaessa uudelleenlähetettävään pakettiin voidaan liittää virheenkorjaukseen ja virheiden tarkistukseen liittyvää lisäinformaatiota. Verkko lisää siirrettäväksi tarkoitetun datapaketin sisältöön virheentarkistukseen käytettäviä bittejä. Lisäystä kutsutaan CRC-sekvenssiksi. Alkuperäisen datan ja CRC-sekvenssin muodostama lohko koodataan radioyhteydellä käytetyn siirtokehyksen mittaiseksi. Aluksi lohko sovitetaan tilaajalaitteen käyttämän IR-puskurin mittaiseksi, jolloin osa lohkon biteistä poistetaan eli lävistetään (*puncturing*). CRC-sekvenssin avulla data voidaan rekonstruoida tilaajalaitteessa. Toinen vaihe lohkon sovituksessa siirtotielle (*rate matching*) on ns. redundanssiversioparametrin (*RV, Redundancy Version*) valinta. Lohkosta lävistetään bittejä toistamiseen valitun RV-parametrin mukaisessa järjestyksessä. Kerrallaan lähetetään vain yhden RV-parametrin mukaisesti lävistetty datalohko. Kun datalohko on lähetetty, tilaajalaite demoduloi lohkon ja siirtää sen IR-puskuriinsa, purkaa koodauksen ja suorittaa CRC-virhetarkastuksen. Mikäli tässä vaiheessa vastaanotettu data havaitaan CRC-tarkastuksen myötä virheelliseksi, lähetetään NACK-viesti ja pyydetään uudelleenlähetystä. Tässä vaiheessa verkko lähettää toisella RV-parametrilla lävistetyn lohkon. Tilajalaite yhdistelee uudelleenlähetetyn lohkon demoduloinnin jälkeen virheelliseksi todetun aiemman lohkon kanssa. Todennäköisyys CRC-tarkistuksen onnistumiseen kasvaa. Mikäli edelleen todetaan, että vastaanotetut paketit ovat virheellisiä jatketaan NACK-viestin lähetyksellä ja verkko lävistää datalohkon jälleen uuden RV-parametrin mukaisesti. Perusajatuksena on siis lisätä virhesietoisuutta muuttamalla paikkoja, joista lohkon bittejä lävistetään. Toimimalla näin pyritään ehkäisemään esimerkiksi demoduloinnissa tapahtuvan virheellisen tulkinnan toistuminen.

4.3.3 Konstellaation uudelleenjärjestely /5/

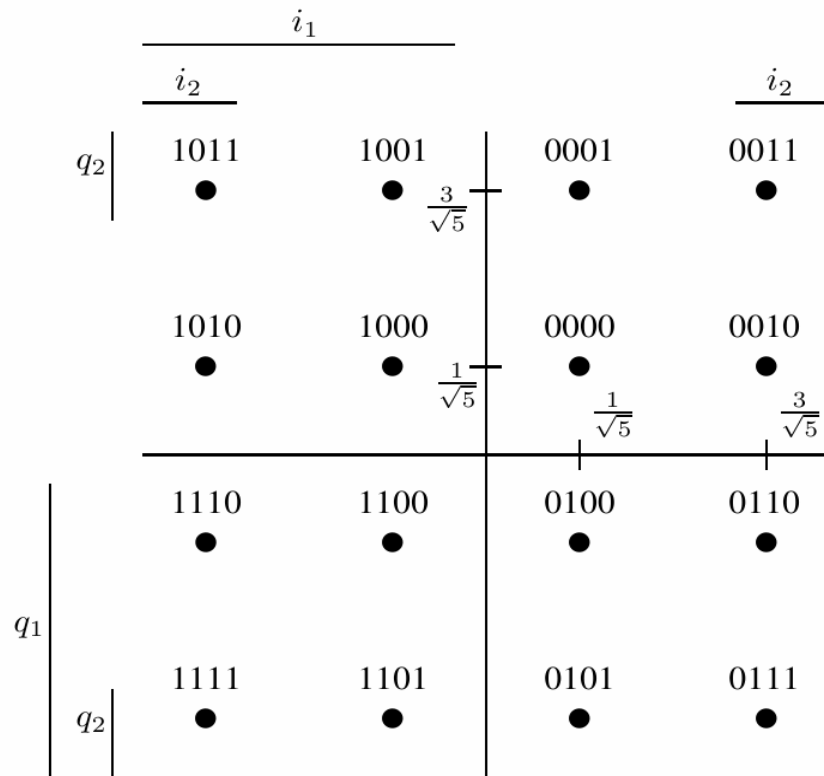
Konstellaation uudelleenjärjestely on mahdollista vain käytettäessä 16QAM-modulaatiota. 16QAM-modulaation yhteydessä yksi symboli, eli 16QAM-modulaation konstellaatiokaavion mukainen reaali- ja imaginääriosan arvosta koostuva signaalitila voi edustaa neljän bitin mittaista sanaa siirrettävästä datasta. Signaalitilojen eli symbolien muodostaminen siirrettävänä olevista bittisanoista voidaan Bliudzen, Billyn ja Krobin esityksen /5/ mukaan tehdä seuraavasti:

$$s = \frac{\tilde{i}_1(2 - \tilde{i}_2) + j \cdot \tilde{q}_1(2 - \tilde{q}_2)}{\sqrt{5}} \quad [1]$$

jossa käsiteltävä bittijono on $i_1q_1i_2q_2$ ja j imaginääriyksikkö. Kaavasta havaitaan, että sanan ensimmäinen ja kolmas bitti muodostavat symbolin reaalikomponentin ja toinen ja viimeinen bitti muodostavat imaginääriosan. Tilajalaite voi vastaanoton jälkeen rekonstruoida sanan symbolista s vertaamalla sen reaali- ja imaginääriosia nollaan, jolloin se kykenee muodostamaan ensimmäisen ja toisen bitin. Kolmas ja neljäs bitti muodostetaan vertaamalla symbolin reaali- ja imaginääriosien itseisarvoja kynnsarvoon

$$\frac{2C}{\sqrt{5}} \quad [2]$$

jossa vakio C riippuu vallitsevista radio-olosuhteista ja käytetystä lähetystehosta.



Kuva 1. 16QAM-konstellaatiokaavio /5/

Koska yksi symboli edustaa neljää databittiä, 16QAM-modulaation käyttö periaatteessa kaksinkertaistaa siirtonopeuden, koska QPSK-modulaatiossa yksi symboli edustaa kahta databittiä. Vastaavasti monimutkaisempi modulaatiomenetelmä vaatii suorituskypyisempää laitteistoa. Tämä on huomionarvoinen seikka erityisesti tiilajalaitteiden parissa, joiden jatkuvasti pienenevä fyysinen koko, virrankulutusvaatimukset ym. asettavat rajoituksia laitteiden suunnittelulle. 16QAM:n haittapuolena on sen alttius virhetulkinnolle signaalitilojen määrän vuoksi. Vain vähänkin virheellisesti tulkittu symboli aiheuttaa väärän bittisanan muodostamisen. Edellä mainitun kaltaisia virhetulkintoja ehkäisemään on kehitetty konstellaation uudelleenjärjestely. Uudelleenjärjestelyllä bittisanoja vastaavia symboleita ei muodosteta suoraan, vaan niistä voidaan painottaa merkitsevimmät bitit ja ”suojella” niitä vähemmän merkitsevien bittien kustannuksella. Uudelleenjärjestelymahdollisuuksia on neljä ja ne ovat numeroituja. Käytetyn järjestelytavan numerotunnus on yksi komponentti edellisessä kappaleessa mainitusta redundanssiversioparametrissa (RV). RV koostuu kolmesta komponentista, joista kaksi muuta kuvaavat lohkon sovituksessa (*rate matching*) tehtäviä toimenpiteitä IR:n yhteydessä.

Taulukko 1. Uudelleenjärjestelymahdollisuudet /5/

Konstellaatioversion parametri	Bittisekvenssi	Suoritettu operaatio
0	$i_1 q_1 i_2 q_2$	Oletusarvoinen konstellaatio
1	$i_2 q_2 i_1 q_1$	Merkitsevimpien ja vähiten merkitsevimpien bittien paikat vaihdetaan keskenään
2	$i_1 q_1 \overline{i_2 q_2}$	Invertoidaan vähiten merkitsevät bitit
3	$i_2 q_2 \overline{i_1 q_1}$	Vaihdetaan MSB ja LSB paikkoja, invertoidaan merkitsevimmät bitit

Tilaajalaitteen näkökulmasta konstellaatiokuvan kulmissa olevat signaalitilat ovat kaikkein varmin erotettavissa toisistaan, jolloin virhetulkintojen todennäköisyys pienenee. Konstellaation uudelleenjärjestely voidaan toteuttaa siten, että kaikkein merkitsevimmät siirrettävän datan nelibittiset sanat voidaan ilmaista konstellaatiokuvan kulmia vastaavilla symboleilla. Uudelleenlähetyksessä RV-parametrin muutoksella voidaan myös muuttaa konstellaatiojärjestelyä, jolloin voidaan taas painottaa erikseen haluttua 16 bitin pituista (neljän kulman nelibittiset sanat) yhdistelmää. Kaikkein tehokkaimmillaan konstellaation uudelleenjärjestely on neljällä uudelleenlähetyksellä, joista jokaisella käytetään eri konstellaatioparametria. Tällöin saadaan kerrallaan painotettua kaikki mahdolliset nelibittiset yhdistelmät. Uudelleenjärjestelymenettely lisää virhesietoisuutta, eikä se monimutkaista 16QAM:n modulointi- tai demodulointiprosessia. Ainoa tarvittava tilaajalaitteen laajennus on pysyvästi muistiin tallennettu taulukko konstellaatioparametreista ja niitä vastaavista toimenpiteistä. Bittisanojen bittijärjestyksen muutokset ja invertointi ovat hyvin yksinkertaisia toimenpiteitä, eivätkä näin ollen aiheuta lisävaatimuksia tilaajalaitteen demodulaation suunnittelussa.

4.4 Nopea liikennöinnin ajoitus (Fast scheduling) /1, 2, 3/

AMC:n ja HARQ:n on pystyttävä toimimaan tarkoituksenmukaisella tavalla niin nopeasti, että nopean häipymän ilmentyessä radiotiellä lähetettävien datapakettien (-kehysten) lähetysparametreja voidaan muokata tukiasemassa paremmin tilanteeseen sopiviksi ennen niiden lähetystä. Tätä muokkausta sovelletaan jokaisen

HSDPA:ta käyttävän tilaajan kohdalla, jota yksittäinen tarkastelun kohteena oleva solu palvelee. Vasta nämä ehdot täyttäessään HSDPA tuottaa kehitystyössä tavoitellun kaltaista etua datasiirrossa verrattuna perinteiseen, WCDMA:n aiemmissä määrittelyissä kuvattuun datasiirtotapaan. Lisäksi on hyvä muistaa, että tavallisessa Release '99:n mukaisessa DCH- ja DSCH-kanavilla tapahtuvassa WCDMA:n datasiirrossa on pyritty ehkäisemään nopean häipymän aiheuttamia ongelmia nopealla tehonohjauksella ja muuttuvalla levityskertoimella, mutta näistä kumpikaan ei ole käytössä HS-DSCH-kanavalla liikennöitäessä HSDPA-määritelmän mukaisesti.

Jotta liikennöinnin ajoitus saataisiin tarpeeksi nopeaksi, HSDPA:n yhteydessä liikennöinnin ajoituksesta vastaava packet scheduler-lohko (*PS*) on sijoitettu tukiasemaan (*BS, Node B*) radioverkko-ohjaimen (*RNC*) sijasta. *PS*:n siirto *RNC*:sta tukiasemaan on määritelty Release 5:ssä, aikaisemmissä määrittelyissä *PS* oli radioverkon ohjaimen osana. Packet scheduler -toimilohkossa hoidetaan käytännössä liikenteen ajoittaminen ja modulaatio- ja koodaustavan valinta sekä radioresurssien allokointi kullekin tilaajalaitteelle. *PS* pyrkii jakamaan käytettävissä olevat radiotien resurssit tilaajalaitteiden keskinäisen priorisoinnin mukaan niin monelle käyttäjälle kuin on tarpeen tai mahdollista. Kun ajoitus hoidetaan paikallisesti verkon tukiasemassa, vältytään tukiaseman ja *RNC*:n välisessä liikennöinnissä syntyvästä viiveestä. Liikennöinnissä syntyvä viive vaikuttaa suoraan tilaajalaitteen ja tukiaseman välisen radioyhteyden laatutietojen luotettavuuden heikkenemiseen, ovathan käytettävissä olevat tiedot aina jo vähintään liikennöintiviiveen verran ”vanhempia” kuin todelliset olosuhteet.

Asiaa voidaan myös tarkastella laajemmasta kuin yksittäisen käyttäjän näkökulmasta. Koska jokaisen solussa asiakkaana olevan tilaajalaitteen radioyhteyden laadun voidaan ajatella vaihtelevan jatkuvasti, mitä pidempään päätöksenteko verkon puolella kestää, sitä ”epäreilumpi” päätös todennäköisesti on yksittäistä tilaajalaitetta kohtaan. Lähetysten alkaessa eri tilaajalaitteiden ja tukiaseman välisten radioyhteyksien laatu on saattanut muuttua jopa ratkaisevasti, osalla olosuhteet ovat muuttuneet nopealle liikennöinnille edullisemmiksi, osalla huonommiksi. Edellä

kuvattujen ”epäreilujen” tilanteiden syntyä pyritään ehkäisemään nopealla liikenteen ajoituksella.

HSDPA:n keskeisten ajatusten, nopeuden ja mukautuvuuden, hengessä tuntuisi oudolta ajatella, jos muutoksiin reagointi ja liikennöinnin ajoittaminen tapahtuisi mahdollisimman nopeasti, mutta sitä tehtäisiin erittäin harvoin. Ajateltaessa radioyhteyden vaikuttavia seikkoja ja kaikkien liikennöintiin vaikuttavien fyysisten seikkojen muutosten esiintymistiheyttä tullaan pian tulokseen, että lähes kaikkien suureiden arvot muuttuvat jatkuvasti. Sää, laitteen liikkeet, käyttäjän liikkeet, radiotaajuiset häiriöt – kaikki muuttujia, joiden vaikutusta on todella vaikea ennakoida ja joiden vaikutukset tilaajalaitteen ja palvelevan tukiaseman väliseen liikenteeseen saattavat muuttua sekunnin murto-osissa. Siksi myös liikennöinnin ajoitusta on voitava muokata todella nopealla tahdilla. Tämän vuoksi HSDPA:n yhteydessä on HS-DSCH-kanavalla määritelty käytettäväksi liikennöintikehyksen kestoksi 3 HS-DSCH:n peräkkäistä aikaväliä, joiden yhteiskesto on 2 millisekuntia. Kehys on varsin lyhyt verrattuna Release '99:ssä määriteltyjen DSCH-, DCH- ja FACH-kanavien kehyksen kesto, joka on 10 - 80 millisekuntia.

4.5 Saumaton solunvaihto /2/

Saumaton solunvaihto sallii HSDPA-tilaajalaitteen kytkeytyä kuuluvuusalueellaan olevan, laadultaan parhaan tukiaseman asiakkaaksi pyrkien samalla pitämään tilaajalaitteen datayhteyden tilaajan näkökulmasta muuttumattomana ja erityisesti katkottomana. Periaatteessa valinnan parhaasta solusta voi tehdä joko verkko tai tilaajalaite, mutta Release 5:n määrittelyissä solunvaihdon määrää verkossa toimiva radioresurssien ohjaukseen (*RRC, Radio Resource Control*) käytettävä merkinanto. Palvelevan verkon solun havaitessa yhteyden laadun heikkenemistä, se käynnistää erillisen prosessin verkon sisällä, jossa pyritään etsimään tilaajalaitteelle uusi, parempaan palveluun kykenevä solu. Solun vaihdossa on huomioitava, että verkon solu jonka asiakkaaksi HSDPA:ta käyttävä tilaajalaite siirtyy, saattaa palvella jo muita HSDPA-käyttäjiä. Tämän kaltaisessa tilanteessa solun on järjesteltävä uudel-

leen kapasiteettijako, HARQ-kokonaisuudet ja tilaajien priorisointi kaikkien palveliensa tilaajien osalta luodakseen solun palveltavaksi siirtyvälle asiakkaalle tarvittavan siirtokapasiteetin.

5 HSDPA:N KÄYTTÖÖNOTTO JA TOIMINTA WCDMA-VERKOISSA

HSDPA-palvelun käyttöönotto vaatii operaattoreilta jonkin verran taloudellista panostusta käytössä oleviin UMTS-verkkoihin. Tässä luvussa tarkastellaan HSDPA:n kannalta tarpeellisia muutoksia ja arvioidaan muutosten edellyttämää taloudellista panostusta niin verkkotekniikan kuin tilaajalaitteidenkin osalta.

5.1 Tilajalaitteisiin vaadittavat muutokset /1/

HSDPA:n mukaantulo WCDMA:n palvelukirjoon tuo jonkin verran lisävaatimuksia. Tilajalaitteiden on luonnollisesti kyettävä hallitsemaan HARQ-uudelleenlähetyspyynnöt sekä mukautuvan modulaation ja koodauksen signalointi. Kirjoitushetkellä (huhtikuussa 2006) HSDPA-tilajalaitteita on esitelty vasta muutama, eikä niiden saatavuudesta kuluttajakäyttöön tai hinnoista ole vielä julkistettu tarkkoja tietoja.

5.2 Verkkoihin vaadittavat muutokset /1/

HSDPA:n käyttöönotto vaatii käytännössä tukiasemakaluston päivittämistä. HSDPA:n myötä tukiaseman vastuulle siirtyy aiemmin radioverkon ohjaimen (RNC) hallitsema liikennöinnin ajoitus. Tukiasema on myös vastuullinen mukautuvan modulaation ja koodauksen parametrien hallinnasta, kuten HARQ:sta. Vaikka HSDPA-ominaisuuksien lisääminen tukiasemiin voidaan tehdä pääosin ohjelmisto-

päivityksin, myös fyysisten komponenttien vaihtotarvetta saattaa ilmetä erityisesti vanhalla tukiasemakalustolla. Lisäksi on huomioitava kasvaneen siirtokapasiteetin vaikutus transmissioyhteyksien mitoittamiseen. Transmissioyhteydellä tarkoitetaan kiinteää verkkoyhteyttä tukiaseman fyysiselle sijaintipaikalle. Datasiirtonopeuden lisäys, alimmillaankin jopa noin kolminkertaiseksi WCDMA:n vastaavasta, saattaa aiheuttaa tarvetta transmissioyhteyksien uudelleensuunnittelulle sekä yhteyksien lisärakentamiselle.

Radioresurssien hallinnan viestintään saatetaan joutua tekemään muutoksia ja radioverkon ohjaimen (*RNC*) pariin lisätään uusia ominaisuuksia MAC-hs-protokollalaajennuksen (*Media Access Control-high speed*) myötä. MAC-protokollan avulla hallinnoidaan liikennettä sekä verkon sisäisten ohjausviestien, että tilaajalaitetason ohjausviestien kautta. MAC-protokollakokonaisuuteen kuuluu kaikkien fyysisellä tasolla käytettävien loogisten kanavien liikenteenhallinta riippumatta kanavilla liikkuvan datan tai kanavalle ominaisesta luonteesta. MAC määrittää siirtokehyksen koon radiotiellä käytettäville fyysisille kanaville. MAC-hs laajennus käsittelee vain HSDPA:n yhteydessä käytettävien kanavien liikennöinnin seuranta ja hallintaa. HS-DSCH-kanavan hallintaa varten MAC-hs-protokollalaajennus on sekä tukiasemassa että tilaajalaitteessa. Laitteiden MAC-hs kokonaisuudet toimivat asynkronisesti, koska HSDPA on luonteeltaan asynkroninen, vain downlink-suunnan palvelu. HARQ toimii MAC-hs:n alaisuudessa, joten MAC-hs ohjaa myös uudelleenlähetyksiä, valvoo radioyhteyden laatutietoja ja mm. järjestellee tilaajalaitteen vastaanottamat paketit oikeaan käsittelyjärjestykseen. MAC-hs asettelee lähetettäväksi tarkoitetun datan tukiasemassa jonoihin prioriteetin mukaisesti. Jokaisella 2 ms pituisella liikennöintijaksolla (*TTI, Transport Time Interval*) voidaan lähettää dataa vain yhdestä jonosta kerrallaan.

5.3 Radioverkkoyhteyksien suunnittelu /6/

Radioverkkosuunnittelu vaatii operaattoreilta runsaasti taloudellisia resursseja, koska se vaatii yksityiskohtaista erityisosaamista. HSDPA:n aiheuttamat lisävaatimukset radioverkkosuunnittelulle saattavat edellyttää operaattoreilta suunnittelijoiden kouluttamista, jolloin HSDPA:han sijoitettu taloudellinen panostus kasvaa.

5.3.1 Suunnittelun erityispiirteet HSDPA:n yhteydessä

HSDPA vaikuttaa jonkin verran radioyhteyden linkkibudjettiin. Linkkibudjetilla kuvataan suurinta sallittua signaalin vaimentumaa siirtotiellä ja se luonnollisesti riippuu niin verkon kuin tilaajalaitteenkin lähetinyksikön suurimmasta käytettävissä olevasta lähetystehosta sekä molempien vastaanotinyksiköiden alimmasta mahdollisesta herkkyystasosta. Uplink-suunnan linkkibudjettiin HSDPA:lla ei oletettavasti pitäisi olla vaikutusta – HSDPA:han on suunniteltu vain downlink-suunnan nopeuksien lisäämiseen. Kuitenkin uplink-suuntaan liikkuu tietoa HSDPA:n ohjauskanavan, HS-DPCCH:n (*High-Speed Dedicated Physical Control Channel*) kuljettamana. HS-DPCCH-kanavaa käytetään aikaisemmin mainittujen, liikennöintiin liittyvien ACK/NACK- sekä CQI-signaalien välittämiseen tilaajalaitteelta verkon käyttöön. Periaatteessa tukiasema varaa downlink-suuntaan HSDPA-siirtoa varten vakiona pysyvän tehoreservin. Reservitehot ovat kahden kanavan käytössä: HS-PDSCH (*High-Speed Physical Downlink Shared Channel*) sekä HS-SCCH (*High-Speed Shared Control Channel*). Solujen kantama, peittoalue ja HSDPA-siirtonopeus voidaan arvioida suunnitteluvaiheessa. Suunnittelun yhteydessä tapahtuvan arvioinnin parametrina HSDPA:n siirtonopeudesta käytetään yleensä keskiarvoista nopeutta tilaajalaitetta kohti HSDPA:ta tukevan solun peittoalueella, tai keskiarvoista tilaajalaitteen nimellistä siirtonopeutta peittoalueen epäedullisimmassa kohdassa, tyypillisesti solun reunamilla. Suunnittelu on monimutkaisempaa kuin esim. suunniteltaessa tyypillisen WCDMA:n DCH-kanavan ominaisuuksia, johtuen mm. HSDPA:n mukautuvasta modulaatiosta ja koodauksesta. Muutoksia radioyhteyden ominaisuuksiin voidaan tehdä 2 millisekunnin välein.

5.3.2 Linkkibudjettisuunnittelu, tehomitoitus

Uplink-suunnan liikennöinnissä on huomioitava siis HS-DPCCH-kanavalla tapahtuva liikenne, joka syntyy tilaajalaitteen suorittamien radioyhteyden laatumittauksien lähetyksestä sekä ACK/NACK-merkinannosta verkon suuntaan. HS-DPCCH-kanavan liikenteen vuoksi uplink-suunnassa linkkibudjetista on varattava lisämarginaalia lisäinformaation lähetykseen varatun uplink-suunnan liikenteessä käytettyä DCH-kanavan nopeudesta riippuen seuraavasti:

Taulukko 2. Liikennöintitietojen kapasiteettivarauksen aiheuttama tehontarve uplink-suunnan DCH-kanavan linkkibudjetissa /6/

Uplink DCH bittinopeus	Varattava tehomarginaali
64 kbps	1,3 dB
128 kbps	0,6 dB
384 kbps	0,4 dB

Downlink-suunnassa HSDPA tarvitsee hieman enemmän tehoreserviä, joten otettaessa HSDPA käyttöön olemassa olevan WCDMA-verkon laajenuksena, linkkibudjetit tulee tarkastaa DCH-mitoituksien osalta. HS-PDSCH-kanava ei tue ns. pehmeää solunvaihtoa (*soft handover*), jolloin pehmeän solunvaihdon tuoma vahvistus jätetään huomioimatta. Linkkibudjetin mitoitus WCDMA:n dataliikennekanava DCH:lle tehdään vaaditun signaali-kohinasuhdetason ja BLER-arvon (*Block Error Rate*) mukaisesti. HS-PDSCH-kanavan suunnittelussa käytetään näistä poiketen keskiarvoista HSDPA:n SINR-arvoa (*Signal-to-Interference-and-Noise Ratio*), joka on suhdeluku signaalin voimakkuudesta suhteessa häiriöiden ja kohinan voimakkuuksien summaan. HSDPA:n verkon puolen lähetysteho vaikutuksia SINR:n suuruuteen voidaan todeta Laihon, Wackerin ja Novosadin /6/ esityksestä:

$$SINR = 16 \cdot \frac{P_{HSDPA} - P_{HS-SCCH}}{P_{tot} \cdot \left(1 - \alpha + \frac{1}{G}\right)} \quad [3]$$

Kaavassa P_{HSDPA} riippuu käytettävissä olevasta lähetystehosta, jonka tyypillisesti oletetaan olevan BS:n maksimiteho, josta on vähennetty Release '99:n määrittelyn mukainen liikennöintiteho sekä CCH-kanavan teho. Oletuksesta poiketen HSDPA:lle allokoitu tehoreservi voi olla esimerkiksi poikkeava operaattorin näke-

myksen mukaan. $P_{\text{HS-SCCH}}$ on HS-SCCH-kanavan teho. Kerroin α on ns. ortogonaalisuuskerroin, joka riippuu vallitsevasta monitie-etenemisestä. Mikäli monitie-etenemistä ei esiinny lainkaan, α on arvoltaan 1. Mikäli hetkellisesti vastaanotetaan kahta samankaltaista, tehotasoltaan yhtä suurta signaalia, vastaanottimen näkökulmasta vain puolet häiriöistä kuolettuu ja α on arvoltaan 0,5. Kerroin G kuvastaa geometriakerrointa, joka määritetään jakamalla palvelevalta solulta vastaanotettu teho muilta soluilta vastaanotetun tehon ja lämpökohinan summalla. Geometriakerroin kuvaa tilaajalaitteen etäisyyden tukiaseman antennista ja sen vaihteluväli on tyypillisesti $-3 \dots 20$ dB. P_{tot} on downlink-suunnan kokonaislähetysteho mukaan lukien HSDPA:n osuus kokonaistehosta, koska monitie-eteneminen vaikuttaa samoin kaikkiin kanaviin. 16 on vakioksi määritellyn levityskertoimen (SF , *spreading factor*) arvo ja tätä voidaan käyttää myös prosessointivahvistuksen arvona linkkibudjettimäärittelyissä HSDPA-käyttäjille.

Seuraavaksi on määriteltävä tilaajalaitteen saavuttaman SINR:n ja saavutettavissa olevan tai operaattorin suunnittelussa määrittelemän vaadittavan keskimääräisen siirtonopeuden suhde. Tämän jälkeen määritellään yhtälön ortogonaalisuus- ja geometriakertoimet. Kertoimien arvot voivat olla suunnittelussa annettavia operaattorin määrittelemiä, tai ne voivat olla verkon toiminnan simuloinnista saatuja. Laskennan ja simuloinnin tuloksena saadun HSDPA:lle allokoitavan tehoreservin sopivuus downlink-suunnan kokonaiskuormaan on tarkastettava. Mikäli kokonaiskuorma ylittyy, HSDPA-peitto on toteutettava mahdollisuuksien mukaan lisäämällä radioresursseja. Tämä tarkoittaa usein myös uusien tukiasemien perustamista.

5.4 HSDPA:n fyysisen kerroksen toiminta /2/

HSDPA-palvelun käytön alkaessa tukiaseman liikennöinnin ajoituksesta vastaava lohko tutkii yksilöllisesti jokaisen HSDPA-tilaajalaitteen osalta, paljonko kullekin siirrettäväksi tarkoitettua dataa on tukiaseman puskurimuistissa, kuinka kauan aikaa on kulunut käyttäjän edellisestä palvelemisesta ja onko palveltavilta tilaajilta voimassa olevia uudelleenlähetyspyyntöjä. Yksityiskohtainen huomioitavien seik-

kojen tutkiminen ja niiden merkitysten painotus riippuu paitsi operaattorin asetuksista, myös laitteiston valmistajan määryksistä.

Kun tilaajalaitteelle allokoidaan oma liikennöintiäikaväli (*TTI*), tukiasema tutkii tarvittavat parametrit HS-DSCH-kanavalla liikennöintiä varten, esimerkiksi HARQ:n ja AMC:n tarvitsema informaatio verkon tilasta.

Tukiasema aloittaa lähetyksen HS-SCCH-kanavalla (*High-Speed Shared Control Channel*), jolloin tilaajalaite saa tiedon HS-DSCH-kanavan tuloillaan olevasta datasta. HS-SCCH-kanavalla lähetetään tietoa HS-DSCH-liikenteessä käytettävästä liikennöintitavasta, jolloin tilaajalaite ehtii valmistella toimintansa vastaanottoa varten. Tilaajalaite tarkkailee verkon sille ohjeistamaa HS-SCCH-kanavaa. Yhtäaikaisessa lähetyksessä yhdellä tukiasemalla voi olla samanaikaisesti neljä HS-SCCH-kanavaa. Mikäli edellisessä HS-DSCH-kanavan liikennöintikehyksessä ei lähetetty dataa kyseessä olevalle tilaajalaitteelle, HS-SCCH-kanavan valinta on vapaa, ts. se voi olla mikä tahansa neljästä mahdollisesta. Kaksi siirtokehyksen aikaväliä eli noin 1,3 millisekuntia myöhemmin tukiasema aloittaa datan lähetyksen HS-DSCH-kanavalla. Kun tilaajalaite on purkanut HS-SCCH-kanavalta vastaanottamansa itselleen tarkoitetun datan koodauksen, se puskuroid HS-DSCH:lta sille välitetyn datan ja koodit. Kun tilaajalaite on vastaanottanut loputkin HS-SCCH:lta sille välitetyt parametrit, se voi niiden avulla purkaa HS-DSCH:lta vastaanottamansa puskuroidun datan koodauksen. Dekoodauksen jälkeen tilaajalaite suorittaa HS-DSCH-kanavalta saadun datan CRC-tarkastuksen ja lähettää ACK/NACK viestin verkolle HS-DPCCH-kanavalla CRC-tarkastustuloksen mukaan. Mikäli verkko on indikoinut lähettävänsä seuraavissa liikennöintikehyksissä tilaajalaitteelle kuuluvaa dataa HS-DSCH:lla, tilaajalaite pysyy myös samalla HS-SCCH-kanavalla.

Liikennöintikehyksen vastaanoton jälkeen verkko odottaa tilaajalaitteelta ACK/NACK-merkinantoa ja muuta yhteyden laatutietoa. Ajallisesti tarkasteltuna ACK/NACK- ja laatuviestintä tulee pyrkiä suorittamaan siten, että se aloitetaan 7,5 aikavälin kuluttua HS-DSCH-liikennöintikehyksen päättymisestä. Yhden aikavälin kesto on n. 0,67 ms, joten aikaa CRC-tarkastukseen, laatutietojen ja uudelleenlähe-

tystarpeen laatimiseen lähetystä varten on noin viisi millisekuntia. Tilaajalaite ilmaisee viestinnässään myös kykynsä vastaanottaa dataa seuraavassa liikennöintikehyksessä. Käyttäjän dataa sisältävien liikennöintikehyksien välistä aikaa ei ole määritelty sitovasti, koska se riippuu tilaajalaitteen resursseista, jotka oletettavasti ovat heikosti ennakoitavissa verkon puolesta.

5.5 HSDPA:n suorituskyky datasiirrossa /2/

HSDPA:ta tukevat tilaajalaitteet on jaoteltu 12 eri kategoriaan, joiden pohjalta mahdolliset suurimmat saavutettavat datasiirtonopeudet ovat väliltä 0,9...14,4 megabittiä/sekunnissa. Seuraavassa taulukossa esitellään laitteiden suorituskykyluokat ja niitä vastaavat datanopeudet.

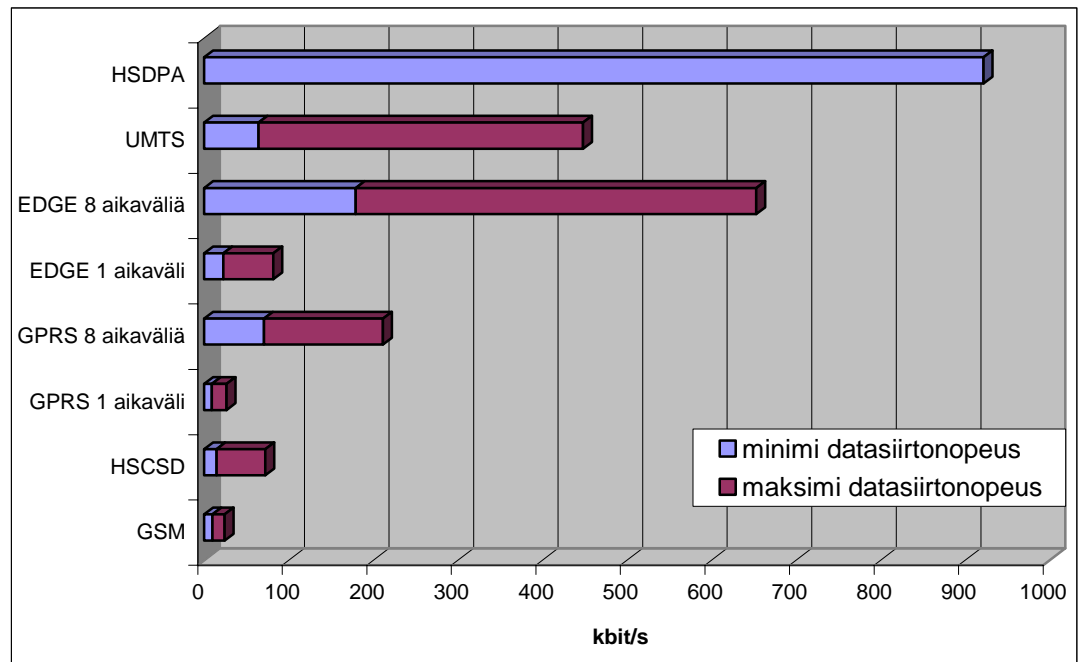
Taulukko 3. HSDPA:n suorituskykyluokat /2/

Kategoria	HS-DSCH-kanavan rinnakkaisten koodien enimmäismäärä	Peräkkäisten liikennöintiäikävälien (TTI) väliin jäävien aikavälien vähimmäismäärä	Bittimäärä / liikennöintiäikäväli (2ms TTI)	HARQ-tyyppi	Saavutettavissa oleva suurin siirtonopeus
1	5	3	7289	CC	1,2 Mbps
2	5	3	7289	IR	1,2 Mbps
3	5	2	7289	CC	1,8 Mbps
4	5	2	7289	IR	1,8 Mbps
5	5	1	7289	CC	3,6 Mbps
6	5	1	7289	IR	3,6 Mbps
7	10	1	14411	CC	7,2 Mbps
8	10	1	14411	IR	7,2 Mbps
9	15	1	20251	CC	10,2 Mbps
10	15	1	27952	IR	14,4 Mbps
11	5	2	3630	CC	0,9 Mbps
12	5	1	3630	CC	1,8 Mbps

Taulukossa HARQ-tyyppi ilmaisee HARQ:n yhteydessä käytetyn uudelleenlähetyksen käsittelytavan. ”CC” tarkoittaa luvussa 4.3.1 kuvattua liikennöintikehyksen datasisällön yhdistelyä. ”IR” tarkoittaa luvussa 4.3.2 kuvailtua lisätyn redundanssin menetelmän käyttöä. Ensimmäisessä kymmenessä kategoriassa luetelluista 12:sta tilaajalaitteelta edellytetään 16QAM-modulaation tukea. Viimeisissä kahdessa kategoriassa modulaatiotapana on käytössä vain QPSK. Kategorioiden suurimmat

erot syntyvät tuesta rinnakkaisten HS-DSCH-kanavalla käytettävien koodien määrälle ja edellytetäänkö tilaajalaitteelta vastaanottokykyä peräkkäisten liikennöintikehyksen aikana.

Seuraavassa kuvaajassa esitetään graafinen vertailu tässä työssä esiteltyjen järjestelmien datasiirtonopeuksien välillä.



Kuva 2. Datasiirtonopeuksien vertailu GSM, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS ja HSDPA.

Kuvaajasta on huomioitava, että siitä on luettavuuden helpottamiseksi jätetty pois HSDPA:n siirtonopeuden maksimiarvo, 14475 kbit/s. Kahdeksan aikavälin siirtonopeudet GPRS- ja EDGE-yhteyksillä ovat mahdollisia, mutta harvinaisia. Sama pätee muihinkin tiedonsiirtonopeuksien maksimiarvoihin, ne ovat ohjeellisia, mutta käytännön olosuhteissa harvoin saavutettavissa.

6 HSDPA TALOUDELLISESTA NÄKÖKULMASTA

Tässä kappaleessa pyritään arvioimaan HSDPA:n käyttöönottoon liittyvän taloudellisen panostuksen kannattavuutta. Lähinnä arvioidaan HSDPA:n taloudellisen menestymisen ja yleistymisen mahdollisuuksia verrattuna kilpaileviin langattomiin, yhtä suurta datasiirtonopeutta tarjoaviin palveluihin.

6.1 HSDPA ja sen kilpailijat

HSDPA:n yleistyminen kuluttajakäyttöön tulee viemään vielä aikaa. Suurimpana esteenä HSDPA:n laajamittaiselle yleistymiselle niin palvelutarjonnan, peittoalueiden kuin käyttäjien määrän kehittymiselle ja HSDPA:n ”läpilyönnille” on langattomien lähiverkkojen yleistyminen. Langaton lähiverkko (*WLAN, Wireless Local Area Network*) tarjoaa nykyisellään kuluttajatasolla saatavilla olevalla tekniikalla pääsääntöisesti noin 54 Mbit/s siirtonopeuksia.

Langattomat lähiverkot eivät tarvitse operaattoreita, vaan perustuvat yksilöiden tai yhteisöjen perustamiin pienverkkoihin, joista osa on avoimia kaikille käyttäjille. Koska nopean datasiirron käyttöön liittyy tyypillisesti läheisesti myös PC-tietokoneet, WLAN:in käyttö on luontevaa ja jopa helpompaa kuin HSDPA-yhteyksien. Useissa kannettavissa PC-laitteissa on vakiona sisäänrakennetut WLAN-ominaisuudet, mutta HSDPA edellyttää toistaiseksi joko HSDPA-ominaisuuksia tukevan dataliikennekortin tai matkapuhelimen hankintaa. WLANin ongelmana HSDPA:han nähden ovat täysin kartoittamattomat peittoalueet. Kaikille käyttäjille avoimien verkkojen löytäminen edellyttää omatoimisuutta mahdollisen yhteyden haussa. Useimmiten toiminnassa olevia WLAN-verkkoyhteyksiä, joiden kautta tarjolla on reititystä Internetiin, ei ole tarkoitettu vieraille käyttäjille, mutta puutteellisen yhteyden suojauksen takia ne ovat kaikkien käyttäjien saatavilla. Yksittäisen WLAN-tukiaseman peittoalue on huomattavan pieni, koska kuluttajakäyttöön tarkoitettujen laitteiden lähetystehot ovat vaatimattomia. Tyypillinen tukiaseman muodostaman peittoalueen säde on kymmeniä, korkeintaan muutamia satoja metrejä WLAN-tukiasemalaitteen antennista. HSDPA:n etu ovat erilliset tu-

kiasemapaikat, laaja-alainen peittoalue (solusäde tyypillisesti muutamia kilometrejä) sekä varmuus siitä, että liikennöinti on täysin sallittua. Koska WLAN-peittoa hallinnoivat tahot, yksityishenkilöt tai julkisen sektorin tahot eivät tavoittele datasiirrolla liikevoittoa, datasiirtomääriin perustuvaa laskutusta ei ole olemassa. Poikkeuksena ovat kaupallisten operaattorien rakentamat julkisten tilojen WLAN-yhteydet esimerkiksi lentoasemilla tai hotelleissa. Näissä tapauksissa käyttäjiltä peritään tyypillisesti maksu käyttöoikeudesta, ei siirtomäärän perusteella. Tällaisiin WLAN-verkkoihin pääsy on estetty käyttäjätunnukseen ja salasanaan perustuvalla identifiointilla. Tunnukset luodaan operaattorin toimesta, kun maksu käyttöoikeudesta on maksettu. Avointa WLAN-yhteyttä käyttäessään käyttäjä ei voi olla oletusarvoisesti varma siitä, että hän on oikeutettu käyttämään kyseistä yhteyttä. WLAN-yhteys saattaa olla julkisesti käytettävissä verkon omistajan tarkoituksesta huolimatta konfigurointivirheen, laitteisto- tai ohjelmistovian tai omistajan tietämättömyyden vuoksi.

HSDPA:n yhteydessä on tyypillistä, että sen käyttö edellyttää voimassaolevaa sopimusta asiakkaan ja kaupallisen operaattorin välillä. Tällöin HSDPA-yhteys on asiakkaan vapaasti käytettävissä ja hinnoittelu perustuu tyypillisesti tietyn aikajakson välisen kiinteän hinnoittelun sekä datasiirtomäärän mukaisen hinnoittelun yhdistelmään. HSDPA:n peittoalue on WLAN-verkkoihin verrattuna tyypillisesti moninkertainen.

6.2 HSDPA-palvelujen hinnoittelu

Toisena hidasteena HSDPA:n yleistymiselle tulee melko varmasti olemaan sen hinnoittelu. Todennäköistä on, että ensimmäiset HSDPA-käyttäjät tulevat olemaan yrityskäyttäjää, jotka tarvitsevat työssään nopeaa datasiirtoyhteyttä laajalla peittoalueella. Tällaiset käyttäjät ovat myös valmiita maksamaan yhteyksistä korkeampaa hintaa kuin tyypilliset kuluttajakäyttäjät. Verkkoja operoivat kaupalliset operaattorit pyrkivät saamaan liikevoittoa tarjoamistaan palveluista ja tekniikan päivittäminen ja erityisesti transmissioyhteyksien kapasiteettilaajennukset ja HSDPA:n käyt-

töönottoa edellyttävä verkkosuunnittelu kuluttaa operaattorien taloudellisia resursseja. Tämä seikka näkyy varmasti HSDPA-palveluiden hinnoittelussa.

Valtaosalle kuluttajakäyttäjistä UMTS:n perustason datasiirtonopeus riittää vielä pitkään. HSDPA saattaa jäädä WCDMA:n perustasoisen datasiirron varjoon, kuten EDGE GSM:n parissa; GPRS on yleistynyt kuluttajien keskuudessa käytettävänä datapalveluna, EDGE:n jäädessä pitkälti yrityskäyttäjien palveluksi. Osaltaan tähän on vaikuttanut operaattorien suorittama hinnoittelu. Nopeat EDGE-yhteydet ovat hinnoiteltu huomattavasti kalliimmiksi kuin tyypillinen GPRS-datasiirto. Nopeita datasiirtoyhteyksiä hakevat kuluttajat saavuttavat PC-työskentelyssä useimpiin tilanteisiin riittävän suuren Internet-yhteyden datasiirtonopeuden halvemmillä WLAN- ja ADSL-yhteyksien yhdistelmillä, koska kotikäytössä vaadittava peittoalue on tyypillisesti hyvin pieni. Oman WLAN-peittoalueen ulkopuolella nopeaa datayhteyttä tarvitsevien kuluttajien määrä on lukumääräisesti pieni ja silloinkin UMTS tarjoaa perusnopeudellaan tyydyttävän siirtonopeuden.

Suomessa nähtäväksi jää, miten alkuvuodesta 2006 sallittu operaattoriin sidottujen UMTS-laitteiden myynnin salliminen vauhdittaa UMTS-laitteiden yleistymistä ja datasiirtomäärien kasvua. Mikäli UMTS onnistuu lyömään pelkän GSM-verkon suosion käyttäjien määrällä mitattuna, HSDPA-palveluiden käytön laajempi yleistymisen ja sitä kautta hinnoittelun halpeneminen on todennäköisempää.

7 TULOKSET

Työssä tuloksena on saatu aikaan suomenkielinen raportti HSDPA:n tekniikasta, toiminnasta ja sen suhteesta muihin matkaviestinteknologioihin sekä edellytyksistä todellisen HSDPA-käytön yleistymiselle. Työssä tutkittu HSDPA-palvelu voi lisätä UMTS-matkaviestinjärjestelmän datasiirron nopeutta jopa monikymmenkertaiseksi. Tutkimuksen myötä on havaittu, ettei HSDPA-palveluiden käyttöönotto on monimutkaista, koska se vaatii paljon muutoksia olemassa oleviin verkkojärjestelmiin, tilaajalaitteisiin sekä taloudellista panostusta verkkosuunnitteluun.

Käytettyjen termien merkityksen selvittämiseen on pyritty panostamaan. Käytetty lähdemateriaali on pelkästään englanninkielistä ja se sisältää osin ristiriitaista terministöä. Tietoa on pyritty yhdistelemään ja varmistamaan useista eri lähteistä kriittisesti ja sen käsittelyssä on pyritty selkeyteen ja yksiselitteisyyteen. Tiedonhaussa on pyritty painottamaan erityisesti lähteiden luotettavuutta ja objektiivisuutta, jonka vuoksi puhtaasti kaupallisten tahojen tarjoama informaatio on tarkoituksellisesti jätetty vähälle huomiolle. Ristiriitaisen terministön vuoksi sekä tutkittaessa osin kehitystyön alaisena olevan palvelun toimintaa virheet yksityiskohtaisissa teknisissä kuvauksissa ovat luonnollisesti mahdollisia.

Jatkossa työ voidaan laajentaa kattamaan HSDPA:n käytännön siirtonopeusanalyysijä sekä kehitteillä oleva uplink-suunnan datasiirtonopeuksia lisäävä HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*). Tutkimuksen kohteena HSDPA-palvelu on ajankohtainen, koska sen voidaan katsoa olevan käyttöönottovaiheessa suuressa osassa jo toiminnassa olevista UMTS-verkoista.

LÄHTEET

- [1] Kaaranen, Heikki – Ahtiainen, Ari – Laitinen, Lauri –
Naghian, Siamäk – Niemi, Valtteri.
UMTS Networks. Architecture, Mobility and Services. Second
edition.
John Wiley & Sons, Ltd, Iso-Britannia 2005. 406 s. ISBN 0-470-
01103-3
- [2] Holma, Harri – Toskala, Antti.
WCDMA for UMTS. Radio Access For Third Generation
Mobile Communications. Third edition.
John Wiley & Sons, Ltd, Iso-Britannia 2004. 450 s. ISBN 0-470-
87096-6
- [3] Forkel, Ingo – Klenner, Hartmut.
High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) – A Means of
Increasing Downlink Capacity in WCDMA Cellular Networks?
Communication Networks, Aachen University, Saksa.
Www-sivuilta saatavissa oleva pdf-dokumentti.
Viitattu 10.4.2006.
Saatavissa:
<http://www.research.ac.upc.edu/EW2004/papers/128.pdf>
- [4] Brand, Alex – Aghvami, Hamid.
Multiple Access Protocols for Mobile Communications.
John Wiley & Sons, Ltd, Iso-Britannia 2002. 441 s. ISBN 0-471-
49877-7

- [5] Bliudze, Simon – Billy, Nicolas – Krob, Daniel.
On optimal hybrid ARQ control schemes for HSDPA with
16QAM.
Sähköinen seminaarijulkaisu, Wireless And Mobile
Computing, Networking And Communications, 2005.
(WiMob'2005), Volume 1. IEEE International Conference
22.-24. 8. 2005. Sivut: 121 – 127.
Saatavuus: IEEE julkaisukirjasto.
- [6] Laiho, Jaana – Wacker, Achim – Novosad, Tomas.
Radio Network Planning and Optimization for UMTS.
Second Edition.
John Wiley & Sons, Ltd, Iso-Britannia 2005. 629 s. ISBN 0-470-
01575-6
- [7] Fukui, Noriyuki.
Study of channel quality feedback in UMTS HSDPA.
Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003.
IEEE Proceedings on Volume 1, 7.-10. 9. 2003. Sivut 336-
340.
Sähköisesti julkaistu tutkimustyön osa.
Saatavuus: IEEE julkaisukirjasto.

Liite 1. Yhteenvedo HS-DSCH-kanavan ja WCDMA:n pakettikytkentäisen datan siirtoon käytettävistä kanavista /2/

Kanava	HS-DSCH	DSCH	DCH (downlink)	FACH
Levityskerroin	16, kiinteä	256...4, liikenn. kehyksittäin vaihteleva	512...4, kiinteä	256...4, kiinteä
Modulaatiotapa	QPSK tai 16QAM	QPSK	QPSK	QPSK
Tehon ohjaus	Ei ohjausta / hidas lähetystehojen asetus	Nopea, DCH:n mukaan	Nopea, tehonohjaustaajuus 1500 kHz	Ei ohjausta / hidas lähetystehojen asetus
HARQ-toiminta	Pakettien yhdistely tukiasematasolla (Level 1)	RLC-tasolla	RLC-tasolla	RLC-tasolla
Lomitus	2 ms	10-80 ms	10-80 ms	10-80 ms
Kanavakoodausmenetelmät	Turbokoodaus	Turbokoodaus ja konvoluutiokoodaus	Turbokoodaus ja konvoluutiokoodaus	Turbokoodaus ja konvoluutiokoodaus
Liikennekanavan multipleksointi	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Mahdollisuus soft handoveriin	Määrätylle DCH:lle	Määrätylle DCH:lle	Kyllä	Ei
Spesifikaatio, jossa kanavan ominaisuudet määriteltä	Release 5	Release 99	Release 99	Release 99

Liite 2. Esimerkki linkkibudjetin mitoituksista, kun HSDPA:n tehoreserviksi halutaan 5W /6/

BS		
HSDPA-teho ($P_{\text{HSDPA}} + P_{\text{HS-SCCH}}$)	5,0 W	<i>a</i>
<i>vastaa</i>	37,0 dBm	$b = 10 * \lg (a) + 30$
Vastaanottimen antennivahvistus	18,0 dBi	<i>c</i>
Kaapeli- ja vartalohäviö	4,0 dB	$d = b + c - d$
Lähettimen EIRP-teho	51,0 dBm	<i>e</i>
MS		
Lämpökohina	-108,0 dBm	<i>f</i>
Vastaanottimen kohinaluku	8,0 dB	<i>g</i>
Vastaanottimen kohinateho	-100,0 dBm	$h = f + g$
Downlink-kuormitus	70,0 %	<i>i</i>
Häiriömarginaali	5,2 dB	$j = -10 * \lg (1 - i / 100)$
Häiriömarginaali + kohina	-94,8 dBm	$k = h + j$
Vaadittu SINR-suhde	5,3 dB	<i>l</i>
HSDPA:n prosessointivahvistus	12,0 dB	$m = 10 * \lg (16)$
Vastaanottimen antennivahvistus	0,0 dBi	<i>n</i>
Kaapeli- ja vartalohäviö	0,0 dB	<i>o</i>
Vastaanottimen herkkyys	-101,5 dB	$p = k + l - m - n + o$
Nopean häipymän marginaali	0,0 dB	<i>q</i>
Soft handover-vahvistus	0,0 dB	<i>r</i>
Suurin sallittu vaimentuma siirtotiellä	152,5 dB	$s = e - p - q + r$