

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikka, Sulautetut järjestelmät

Opinnäytetyö

Toni Kuokkanen

TEHONSÄÄTÖ WCDMA-TEKNIKASSA

Ohjaava opettaja: Kai Poutanen

Tampere 2009

Tekijä	Toni Kuokkanen
Työn nimi	Tehonsäätö WCDMA-tekniikassa
Sivumäärä	27
Päivämäärä	Toukokuu 2009
Ohjaava opettaja	Kai Poutanen

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä tutkittiin yhtä WCDMA-tekniikan radioresurssien hallinta-algoritmia – tehonsäätöä. WCDMA on lyhenne sanoista Wideband Code Division Multiple Access ja sillä tarkoitetaan laajakaistaista koodijakokanavointitekniikkaa. Laajakaistaisuus tulee sen käyttämästä 5 MHz:n kaistanleveydestä. Radioresurssien hallinta-algoritmit on WCDMA:ssa jaettu viiteen osaan, joiden tarkoituksena on hyödyntää ilmarajapinnan resurssit mahdollisimman tehokkaasti. Tehonsäädön (power control) lisäksi radioresurssien hallinta-algoritmeja ovat solun vaihto (handover control), pääsynhallinta (admission control), kuormanhallinta (load control) ja pakettiajoitus (packet scheduling). Solun vaihdon tehtävänä on päätelaitteiden liikkumisen hallitseminen solujen reunoilla. Pääsyn- ja kuormanhallinta pitävät huolen siitä, että verkko ei pääse ylikuormittumaan, ja pakettiajoituksen tehtävä on pakettimuotoisen datan allokointi eli kohdentaminen käyttäjien kesken. Tehonsäädön tehtävä WCDMA-verkossa on säätää päätelaitteiden tehotasot yhtä suuriksi signaalien saapuessa tukiasemaan. Tehotasojen tasaamisella varmistetaan se, että yksittäinen käyttäjä, joka on lähellä tukiasemaa, ei peitä suurinta osaa kanavasta. Lisäksi tehonsäädöllä poistetaan signaalin monitie-etenemisestä aiheutuvia häipyymiä ja pidetään palvelun laatu vaaditulla tasolla.

Author	Toni Kuokkanen
Work label	Power control in WCDMA
Number of pages	27
Date	May 2009
Thesis supervisor	Kai Poutanen

ABSTRACT

Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) is the air interface for third generation networks. Power control is one of the most important aspects concerning radio resource management. Radio resource management is responsible for effective usage of resources in the air interface. In WCDMA radio resource management consists of five different parts. In addition to power control there are handover control, admission control, load control and packet scheduling. Handover control is responsible for mobile management at cell edge. Admission- and load control take care of that network is not overloaded while packet scheduling handles packet data allocation. Power control is responsible for adjusting equal mobile power levels in the base station. Equal power levels in the base station mean that, user near to base station can not cover the whole cell area. Power control also compensates fast fading in the channel and provides required quality of service. In addition to these aspects some other important functions of the power control were examined in this paper.

Key words 3G, power control, WCDMA

ALKUSANAT

Tutkintotyön aiheen valitsin tietoliikennelaboratoriokurssilla saadun projektiaiheen mukaisesti. Haluan kiittää Kai Poutasta työn tarkastuksesta ja neuvojen antamisesta.

Tampereella 16.4.2009

Toni Kuokkanen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
SISÄLLYSLUETTELO	iv
KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT	v
1 JOHDANTO	1
2 WCDMA 3G-VERKOISSA	2
3 WCDMA-TEKNIikka	3
4 RADIORESURSSIEN HALLINTA WCDMA-TEKNIKASSA	4
5 TEHONSÄÄTÖ	5
5.1 Avoin silmukka	5
5.2 Suljettu silmukka	6
5.2.1 Sisäinen silmukka	7
5.2.1.1 Lähi-kauko-ongelma	8
5.2.1.2 Häipyvän kanavan kompensoiminen	8
5.2.1.3 Diversiteetin vaikutus tehonsäädössä	10
5.2.1.4 Tehonsäätö soft handoverin aikana	11
5.2.1.4.1 Downlink-suunnan tehojen eroaminen	12
5.2.1.4.2 Uplink-suunnan tehonsäätökäskyjen luotettavuus	13
5.2.2 Ulkoinen silmukka	14
5.2.2.1 Tehonsäädön dynamiikan rajoitukset	16
5.2.2.2 Monipalvelu	16
5.2.2.3 Downlink-suunnan ulkoinen silmukka	17
6 SOLUN VAIHTO	18
6.1 Soft ja softer handover	18
6.2 Hard handover	19
7 PÄÄSYNHALLINTA	20
7.1 Häiriöön perustuva pääsynhallinta	20
7.2 Suoritustehoon perustuva pääsynhallinta	23
8 KUORMANHALLINTA	23
9 PAKETTIAJOITUS	24
9.1 Aikajakoinen pakettiajoitus	24
9.2 Koodijakoinen pakettiajoitus	24
10 YHTEENVETO	26
LÄHDELUETTELO	27

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

3G	Third generation. Yleinen lyhenne kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmille.
AGC	Automatic gain control. Automaattinen vahvistuksen säätöpiiri.
BER	Bit Error Rate. Bittivirhesuhde.
BLER	Block Error Rate. Lohkovirhesuhde.
Downlink	Signaalin kulkusuunta tukiasemalta päätelaitteelle.
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution. Matkapuhelinten pakettipohjaiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka.
FDD	Frequency Division Duplex. Taajuusjakoinen dupleksointitekniikka.
ITU	International Telecommunications Union. Kansainvälinen telekommunikaatiojärjestö.
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000. ITU:n globaali 3G-standardi.
Node B	Tukiasema.
PDC	Personal Digital Cellular. Toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä.
RNC	Radio Network Controller. Tukiasemaohjain.
RRM	Radio Resource Management. Radioresurssien hallinta.
SIR	Signal to Interference Ratio. Signaalihäiriösuhde.
TDD	Time Division Duplex. Aikajakoinen dupleksointitekniikka.
TPC	Transmit Power Control. Lähetystehonsäätö
UE	User Equipment. Päätelaite.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System. Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia.
Uplink	Signaalin kulkusuunta päätelaitteelta tukiasemalle.

UTRA UMTS Terrestrial Radio Access. UMTS-verkon radiorajapinta.

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access. Laajakaistainen koodijakokanavointitekniikka.

1 JOHDANTO

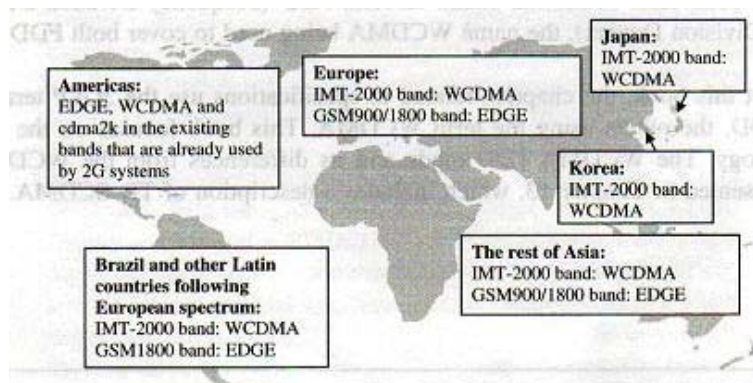
Tämän työn tarkoituksena on perehtyä kolmannen sukupolven verkoissa käytettävään ilmarajapintaan, WCDMA:han. Wideband Code Division Multiple Access on laajakais-
tainen koodijakokanavointitekniikka, jota käytetään UMTS-verkoissa ympäri maailmaa. Ensimmäinen kaupallinen WCDMA:ta käyttävä verkko oli japanilaisen NTT DoCoMo FOMA, joka otettiin käyttöön vuonna 2001. Ensimmäinen Suomessa WCDMA:ta käyttävä teleoperaattori oli Telia Sonera. Sen WCDMA-verkko avattiin 13. lokakuuta 2004. Nykyään WCDMA-verkkoa käytetään noin 20 paikkakunnalla.

Työssä tutustutaan lyhyesti WCDMA:han 3G-verkoissa ja WCDMA-tekniikan yleis-
ominaisuuksiin. Työssä perehdytään radioresurssien hallinta-algoritmeihin WCDMA-
tekniikassa. Radioresurssien hallinta-algoritmit ovat vastuussa ilmarajapinnan resurssien
tehokkaasta hyödyntämisestä. Radioresurssien hallinta-algoritmit jaetaan viiteen osaan,
joilla kaikilla on oma tehtävänsä ilmarajapinnassa. Radioresurssien hallinta-
algoritmeihin kuuluvat tehonsäätö (power control), solun vaihto (handover control),
pääsynhallinta (admission control), kuormanhallinta (load control) ja pakettiajoitus
(packet scheduling). Työssä syvennytään tehonsäädön merkitykseen WCDMA-
tekniikassa ja muut radioresurssien hallinta-algoritmit esitellään työssä vain lyhyesti.

2 WCDMA 3G-VERKOISSA

Analogisia matkapuhelinjärjestelmiä kutsutaan ensimmäisen sukupolven tekniikoiksi, näistä esimerkkinä NMT (Nordisk Mobiltelefon), jonka kehitys alkoi 1970-luvulla. Toisen sukupolven digitaaliset järjestelmät, kuten GSM, PDC ja cdmaOne (IS-95), ovat väistymässä kolmannen sukupolven tieltä asiakkaiden vaatiessa matkapuhelimilta muitakin ominaisuuksia kuin pelkän puheen välittämistä langattomasti. 3G-verkoissa on mahdollista toteuttaa kahden ihmisen välinen kommunikointi videokeskusteluna. 3G-verkkojen suurempi tiedonsiirtonopeus ja joustava tiedonvälityskyky parantavat julkisiin ja yksityisiin verkkoihin pääsyä.

3G-verkon kehitys alkoi, kun ITU (International Telecommunications Union) identifioi taajuudet 2 GHz:n läheisyydessä vuonna 1992. Näitä taajuuksia voitiin jatkossa hyödyntää kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmissä. Näistä järjestelmistä käytetään nimitystä International Mobile Telephony 2000 (IMT-2000). Tarkoituksena oli toteuttaa maailmanlaajuinen IMT-2000-ilmarajapinta. Kolmannen sukupolven järjestelmillä ollaan lähempänä tätä tavoitetta kuin mihin toisen sukupolven järjestelmillä päästiin. Sama ilmarajapinta – WCDMA – on käytössä Euroopassa, Aasiassa, Japanissa ja Koreassa. Pohjois-Amerikassa taajuus on varattu jo käytössä oleville 2G-verkon sovelluksille. WCDMA voidaan kuitenkin toteuttaa käyttämällä näitä samoja taajuuksia 2G-verkon kanssa. WCDMA:n lisäksi on käytössä muitakin 3G-ilmarajapintoja. EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) voi tarjota 3G-palveluja jopa 500 kbps:n nopeudella. EDGE käyttää GSM:n kaistanleveyttä 200 kHz. Cdma2000 on päivitetty versio IS-95:sta. /1, s. 2./



Kuva 1: Kolmannen sukupolven ilmarajapinnat /1/

3 WCDMA-TEKNIikka

Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) on 3G-radorajapinta, joka tarkoittaa laajakaistaista koodijakokanavointia. WCDMA pohjautuu koodijakokanavointiin eli CDMA:han. Laajakaistaisuus johtuu sen käyttämästä 5 MHz:n kaistanleveydestä. CDMA-tekniikassa kapeakaistaisen signaalin bittiaika jaetaan osiin, lastuihin (chips), joiden lukumäärä yhtä bittiä kohden voi olla esimerkiksi 128. Näin ollen yksi bitti ei muodostu yhdestä tilanmuutoksesta, vaan bitin esittämiseen tarvitaan 128 lastua. Jokaisella linjalla liikennöivällä laitteella on oma lastuista muodostuva bittikuvio. Datavirran bitit tunnustetaan lastuista muodostuvan koodin perusteella. CDMA-tekniikassa lähetettävä informaatio hajotetaan koko taajuuskaistalle, tästä käytetään nimitystä hajaspektritekniikka. Hajaspektritekniikka kestää hyvin kapeakaistaisia häiriöitä, koska tieto on jaettu laajalle kaistalle, myös lähetystehot ovat tästä syystä pieniä. /2, s. 24./

UMTS-verkon radorajapinta U_m perustuu WCDMA-tekniikkaan, siitä käytetään nimitystä UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). WCDMA-tekniikan käytöllä saavutetaan huomattavia eroja toisen sukupolven tekniikoihin (esim. GSM) verrattuna. Teoreettisesti voidaan saavuttaa jopa 2 Mbps:n bittinopeus, tosin käytännössä päästään enintään 384 kbps:n nopeuteen. UMTS-verkon WCDMA:n käyttämä lastunopeus on 3,84 Mcps, jolla tarkoitetaan 3 840 000 lastua/sekunnissa. Lastujen avulla saadaan laskettua hajautushyöty (processing gain), kun jaetaan lastunopeus bittinopeudella. Kapeakaistaisen signaalin muuttaminen laajakaistaiseksi ei paranna signaalin laatua. WCDMA-tekniikassa hyöty saadaankin taajuuden paremmasta uudelleenkäytöstä, koska kaikki saman operaattorin solut käyttävät samoja radiotaajuuksia. /2, s. 211./

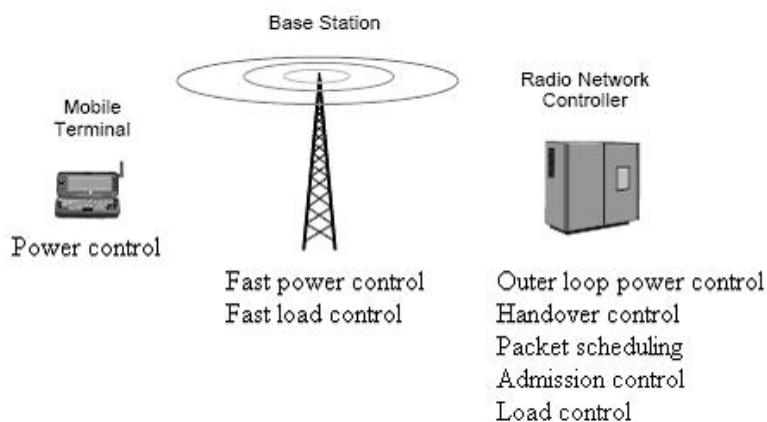
WCDMA tukee kahta perustekniikkaa: FDD:tä ja TDD:tä. FDD:ssä (Frequency Division Duplex) eli taajuusjakoisessa dupleksointitekniikassa varataan uplink- ja downlink-suuntaan omat taajuusalueet, joita päätelaitteet ja tukiasemat voivat käyttää. Taajuudet 1920–1980 MHz on varattu uplink-suuntaan ja taajuudet 2110–2170 MHz downlink-suuntaan. TDD (Time Division Duplex) eli aikajakoinen dupleksointitekniikka käyttää samaa taajuusaluetta tiedonsiirrossa molempiin suuntiin. Siirrossa toimitaan vuoro-omaisesti samalla taajuusalueella, ja tätä tekniikkaa varten on varattu taajuusalueet 1900–

1920 MHz sekä 2020–2025 MHz. CDMA-tekniikka kehiteltiin alkujaan sotilaskäyttöön, mutta nykyään sitä käytetään myös kaupallisissa sovelluksissa.

4 RADIORESURSSIEN HALLINTA WCDMA-TEKNIKASSA

Radio Resource Management (RRM) eli radioresurssien hallinta-algoritmit ovat vastuussa siitä, että ilmarajapinnan resurssit hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti. Radioresurssien hallinnalla pyritään takaamaan palvelun laatu (Quality of Service), pitämään suunniteltu kuuluvuusalue (coverage area) ja tarjoamaan mahdollisimman suuri kapasiteetti. Radioresurssien hallinta-algoritmit jaetaan viiteen toiminnalliseen osaan: tehonsäätö (power control), solun vaihto (handover control), pääsynhallinta (admission control), kuormanhallinta (load control) ja pakettiajoitus (packet scheduling). Tehonsäätöä tarvitaan pitämään häiriötaso mahdollisimman pienenä ilmarajapinnassa ja tarjoamaan vaadittu palvelun laatu. Solun vaihdolla pystytään hallitsemaan päätelaitteiden liikkumista solujen rajoilla. Pääsyn- ja kuormanhallinta puolestaan pitävät huolen siitä, että verkko ei pääse ylikuormittumaan uuden käyttäjän tuoman lisäkuormituksen takia. Pakettiajoituksella allokoidaan pakettimuotoista dataa käyttäjien kesken. /1, s. 231./

Kuvassa 2 on esitetty radioresurssien hallinta-algoritmien sijainti WCDMA-verkossa. Päätelaitteesta (mobile terminal) käytetään myös nimitystä UE (user equipment). Tukiasema (base station) tunnetaan myös nimellä Node B tai BS. RNC:n (radio network controller) eli tukiasemaohjaimen tehtävänä on ohjata siihen liitettyjä tukiasemia.



Kuva 2: Radioresurssien hallinta-algoritmien sijainti WCDMA-verkossa /3/

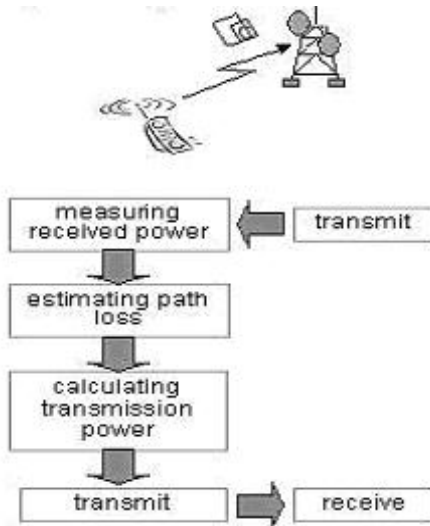
5 TEHONSÄÄTÖ

Tehonsäätö (power control) on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista WCDMA-tekniikassa, varsinkin kun tarkastellaan signaalin kulkua uplink-suunnassa. CDMA-järjestelmissä käyttäjät lähettävät sanomansa samalla taajuudella, ja sanomien sisällöt sekoittuvat siirtotiellä. Vastaanottaja erottaa eri kanavat kunkin lähettäjän käyttämän lastusekvenssin perusteella, tästä syntyy niin sanottu lähi-kauko-ongelma (near-far-problem). Lähi-kauko-ongelma ilmenee vain uplink-suunnassa, downlink-suunnassa vastaavaa ongelmaa ei esiinny, koska tieto lähetetään yhdeltä tukiasemalta monelle päätelaitteelle. Tehonsäädön tärkein tehtävä on lähi-kauko-ongelman eliminoiminen. Tehonsäädöllä pyritään lisäksi kompensoimaan signaalin monitie-etenemisestä aiheutuvia häipyymiä kanavassa. Tehonsäädön avulla kanava saadaan lähes kokonaan häipymättömäksi. Signaalin kulkiessa tukiasemasta päätelaitteelle tehonsäädön avulla pyritään signaalin tehotaso pitämään mahdollisimman pienenä, jotta muiden solujen häirintä olisi minimaalista. Lisäksi tehonsäädöllä pyritään pitämään palvelun laatu halutulla tasolla. Tehonsäätö jaetaan avoimen silmukan (open-loop power control) ja suljetun silmukan (closed loop power control) tehonsäätöön.

5.1 Avoin silmukka

Avoimen silmukan tehonsäätöä (open-loop power control) käytetään UMTS:n FDD:ssä päätelaitteen aloitustehon asetusta varten. Päätelaite tekee jatkuvaa arviointia signaalin vaimenemisesta tukiaseman ja päätelaitteen välillä mittaamalla vastaanotetun signaalin voimakkuutta käyttämällä AGC-piiriä. Automatic gain control -piiri sijaitsee päätelaitteessa, ja sen tehtävä on rajoittaa AD-muuntimeen saapuvan signaalin dynaamista aluetta. Signaalin arvioidun vaimenemisen mukaan päätelaite tekee päätöksen uplink-suunnan lähetystehon voimakkuudesta. Avoimen silmukan tehonsäätö on tehokas TDD:ssä, koska uplink ja downlink toteutuvat vuorosuuntaisesti. Vastaavasti FDD:ssä avoimen silmukan tehonsäätö ei ole yhtä tehokas, koska uplink- ja downlink-suunnalle on määritelty omat taajuudet. Tämän takia avoimen silmukan tehonsäätö voi vain karkeasti kompensoida signaalin vaimenemista. Sen takia sitä käytetäänkin FDD:ssä vain aloitustehon asetusta varten. Kuvassa 3 on esitetty avoimen silmukan toimintaperiaate.

Päätelaitteen tehtäviin kuuluu kuvan neljä vasemmanpuoleista lohkoa ja tukiasemalle kaksi oikeanpuoleista lohkoa.



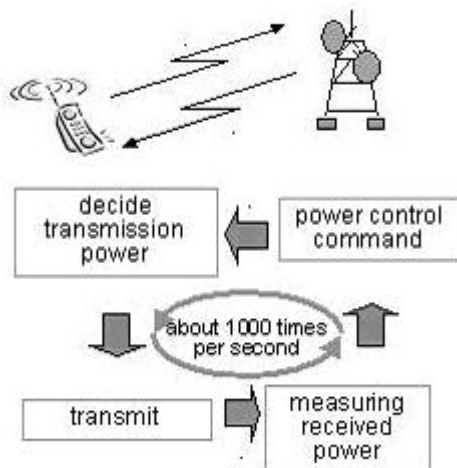
Kuva 3: Avoimen silmukan tehonsäätö /4/

5.2 Suljettu silmukka

Suljetun silmukan tehonsäädössä (closed-loop power control) tukiasema suorittaa jatkuvaa arviointia vastaanotetusta SIR-arvosta ja vertaa sitä SIR:lle asetettuun kynnsarvoon. SIR eli signal-to-interference ratio tarkoittaa signaalihäiriösuhdetta. Suljetun silmukan tehonsäädöllä kompensoidaan nopeita häipyymiä. Parhaimmillaan häipyvä kanava saadaan muutettua kokonaan häipymättömäksi vastaanottimessa. Häipyvän kanavan kompensointi aiheuttaa suurta vaihtelua päätelaitteiden lähetystehoissa, joka puolestaan lisää solujen välisiä häiriöitä soluverkoissa. Suljetun silmukan tehonsäädön tehtävä on säätää päätelaitteiden tehotasot yhtä suuriksi signaalien saapuessa tukiasemaan. Tällä tavoin vältetään lähi-kauko-ongelmalta. Suljetun silmukan tehonsäätö toimii kahteen suuntaan, millä tarkoitetaan sitä, että se toimii sekä päätelaitteelta tukiasemalle että tukiasemalta päätelaitteelle.

Tukiasema lähettää päätelaitteelle tehonsäätökäskyn, jonka mukaan päätelaite säätää lähetystehoaan. Tehonsäädön jälkeen signaali lähetetään tukiasemalle, joka vastaanottaa ja mittaa signaalin SIR-arvon ja vertaa sitä SIR-kynnsarvoon (kuva 4). Suljetun silmukan tehonsäätö suoritetaan 1500 kertaa sekunnissa eli 1,5 kHz:n taajuudella. Suljettu

silmukka jaetaan sisäisen silmukan tehonsäätöön (inner-loop power control) ja ulkoisen silmukan tehonsäätöön (outer-loop power control).



Kuva 4: Suljetun silmukan tehonsäätö /4/

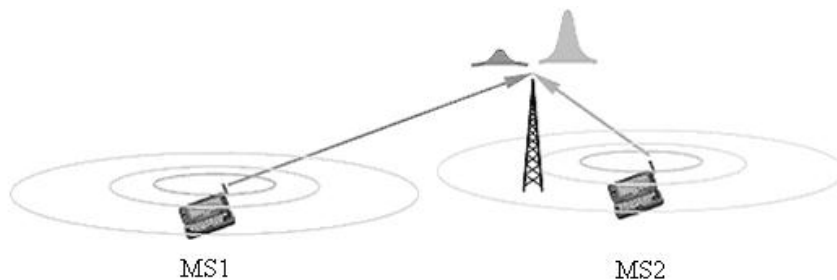
5.2.1 Sisäinen silmukka

Sisäisen silmukan tehonsäätö (inner-loop power control) tunnetaan myös nimellä nopea tehonsäätö (fast power control). Sisäisen silmukan tehonsäädössä päätelaite säätää lähetystehoaan TPC-käskyn (Transmit Power Control command) mukaan, jonka tukiasema sille lähettää. Sisäisen silmukan tehonsäädössä on kaksi algoritmia, joiden mukaan tehoa säädetään. Algoritmissa 1 lähetystehoa säädetään jokaisessa kehyksen aikavälissä (slot). WCDMA-ilmarajapinta on jaettu kehyksiin, joissa yhden kehyksen kesto on 10 millisekuntia ja kehys on jaettu 15 aikaväliin. Tukiasema mittaa ja vertaa vastaanotettua SIR-arvoa SIR:lle asetettuun kynnyksarvoon. Jos mitattu SIR-arvo on liian pieni suhteessa kynnyksarvoon, tukiaseman lähettämä TPC-käsky on ”0”, joka käskää päätelaitetta nostamaan lähetystehoa. Vastaavasti jos mitattu SIR on liian suuri, tukiaseman lähettämä TPC -käsky on ”1”, joka käskää päätelaitetta laskemaan sen lähetystehoa. Algoritmissa 1 tehonsäätöaskel on joko 1 tai 2 desibeliä. Tehonsäätöaskel valitaan päätelaitteen liikkumisnopeuden mukaan. Päätelaitteen liikkuesssa alle 30 km/h nopeudella tehonsäätöaskel on 1 desibeli ja nopeuden ollessa 30–80 km/h tehonsäätöaskel on 2 desibeliä. Nopeuden ollessa yli 80 km/h tehonsäädössä käytetään algoritmia 2, joka eroaa hieman

algoritmista 1. Algoritmissa 2 tehoa säädetään vain joka viidennessä aikavälissä ja sen tehonsäätöaskel on alle 1 desibelin. /5/

5.2.1.1 Lähi-kauko-ongelma

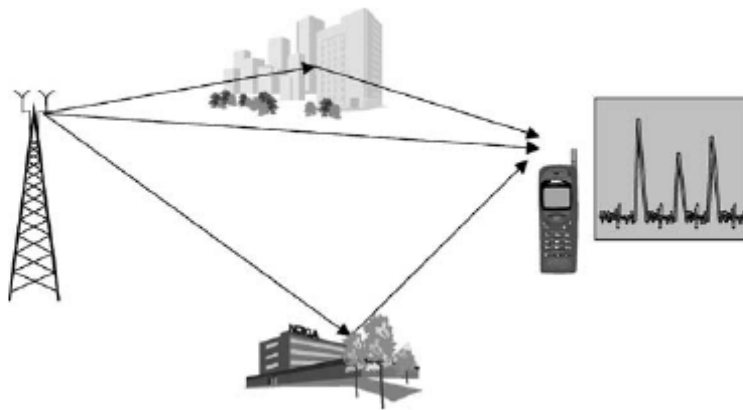
Käyttäjät MS1 ja MS2 käyttävät samaa taajuutta ja eroavat toisistaan tukiasemassa ai-noastaan hajautuskoodin osalta (kuva 5). Jos käyttäjän MS1 signaali vaimenisi esimerkiksi 70 desibeliä enemmän kuin käyttäjän MS2, joka on lähempänä tukiasemaa, ja ei olisi olemassa tehonsäätöä, jolla vastaanotetut tehot säädetään yhtä suuriksi tukiasemas-sa, peittäisi käyttäjä MS2 suurimman osan solusta. Tätä tilannetta kutsutaan WCDMA:ssa lähi-kauko-ongelmaksi (near-far-problem).



Kuva 5: Lähi-kauko-ongelma /3/

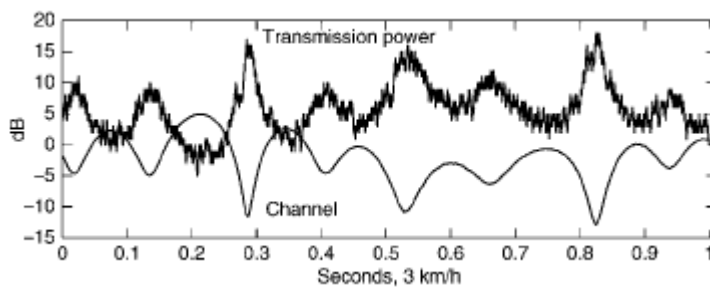
5.2.1.2 Häipyvän kanavan kompensoiminen

Tukiasemalta käyttäjälle saapuva signaali saadaan useiden eri reittejä ja eri aikaviiveillä saapuvien signaalien summana (kuva 6). Signaalin voimakkuus riippuu vastaanotettujen signaalien amplitudien vaikutuksesta toisiinsa. Vaihe-eroista riippuen ne voivat joko vahvistaa tai vaimentaa toisiaan. Käyttäjän liikkeessa vastaanotettujen signaalien vaihe-erot muuttuvat. Kyseessä on monitie-eteneminen (multipath propagation), joka aiheut-taa signaalin amplituditason vaihtumisen sijainnin mukaan. Amplituditason minimi-kohtia kutsutaan häipymiksi. Monitie-etenemisen vaikutuksesta signaali saapuu vas-taanottimeen heijastumisen takia niin sanotusti väärään aikaan. Lisäksi heijastumisen takia signaalit menettävät osan tehostaan. Myös signaalin vastaanottaminen vaikeutuu, koska heijastumat summautuvat toisiinsa. /6/

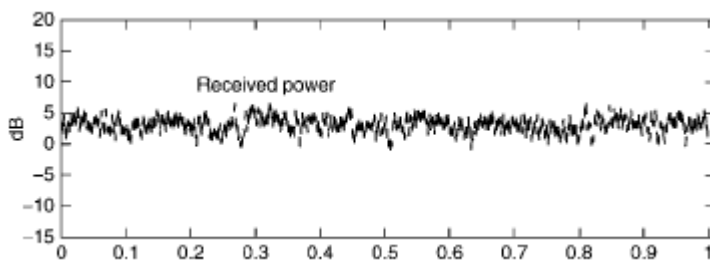


Kuva 6: Monitie-eteneminen /1/

Monitie-eteneminen aiheuttaa niin sanotun Rayleighin häipymän (Rayleigh Fading). Rayleighin häipymä on pahin häipymätyypeistä. Suljetun silmukan tehonsäädöllä pystytään kompensoimaan häipyvää kanavaa. Mitä suurempi on kanavassa tapahtuva häipymä, sitä suuremmalla teholla päätelaitteen on lähetettävä (kuva 7). Tällä tavoin saadaan kanavassa tapahtuva häipymä kompensoitua. (kuva 8). Kuvassa 7 on esitetty päätelaitteen lähetysteho (tummempi käyrä) ja häipyvä kanava (vaaleampi käyrä). Vaikka tehonvaihtelu saadaan lähes kokonaan pois vastaanottimessa (kuva 8), kasvaa lähetettävän tehon keskiarvo, joka lisää solujen välistä häirintää toisiinsa. /6/



Kuva 7: Päätelaitteen lähetysteho ja häipyvä kanava /1/

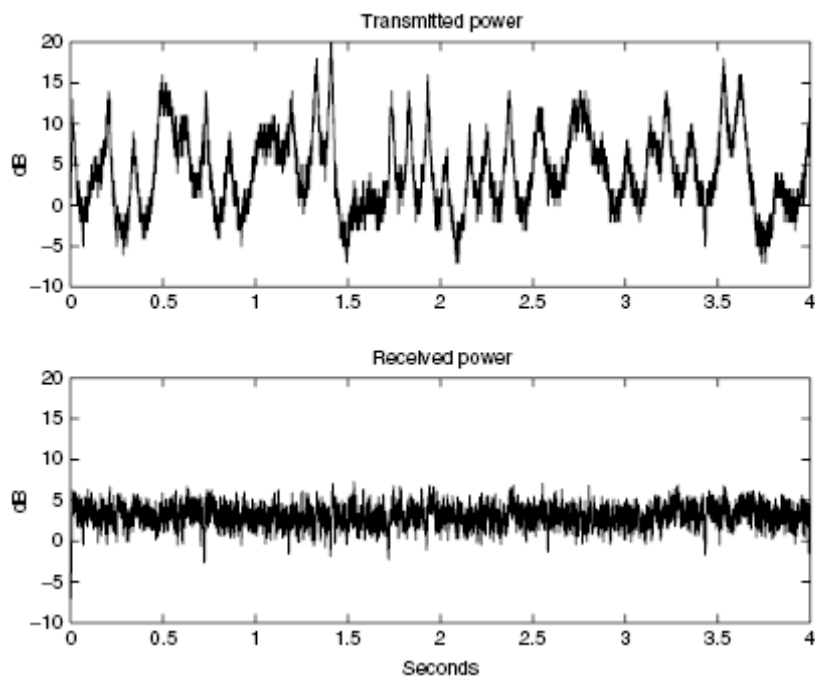


Kuva 8: Tukiaseman vastaanottama teho /1/

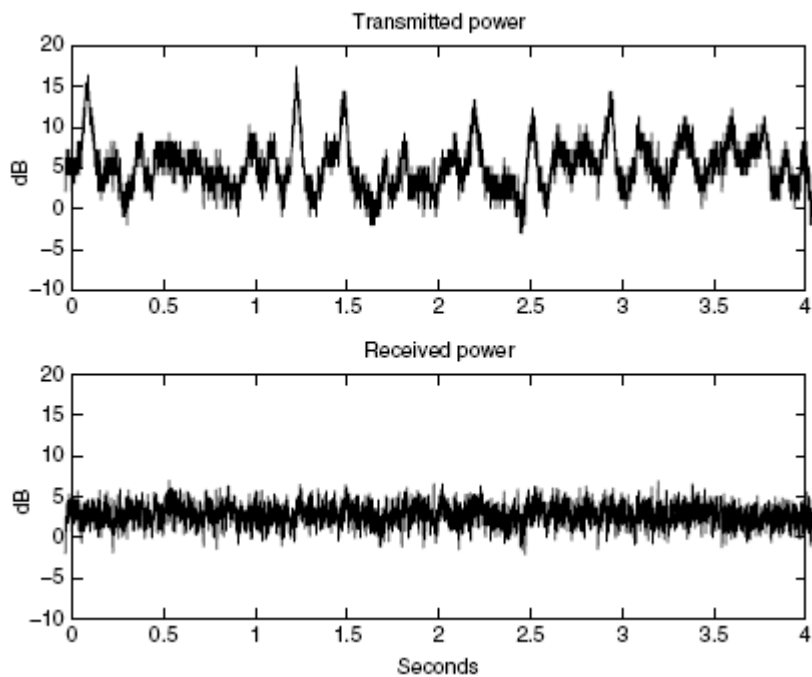
5.2.1.3 Diversiteetin vaikutus tehonsäädössä

Diversiteetillä tarkoitetaan signaalin lähettämistä tai vastaanottamista käyttämällä hyväksi kahta tai useampaa tiedonsiirtokanavaa, jonka avulla signaalin luotettavuus paranee. Diversiteetillä on tärkeä merkitys häipymien kompensoimisessa sekä vierekkäisten kanavien välisen häirinnän vähentämisessä. Kanavilla ilmeneviä häipymiä ja häiriöitä voidaan vähentää lähettämällä sama signaali eri tiedonsiirtokanavia pitkin, lähetetyt signaalit yhdistetään vastaanottimessa. Diversiteetti voidaan toteuttaa esimerkiksi vastaanotinantenni-, lähetysantenni- tai makrodiversiteetillä. Vastaanotinantenni- ja lähetysantennidiversiteetillä tarkoitetaan usean eri antennin käyttöä signaalin vastaanottamisessa ja lähettämisessä. Usean antennin käyttäminen parantaa signaalin laatua ja luotettavuutta. Makrodiversiteetissä eri tukiasemilta lähetetään sama tieto, joka parantaa signaalin laatua ja vähentää häipymiä.

Kuten jo edellä todettiin, häipymien kompensoiminen aiheuttaa vaihtelua lähetystehoissa, mikä lisää solujen välisiä häiriöitä. Mitä pienempi on diversiteetin vaikutus, sitä enemmän on vaihteluita lähetystehoissa, ja lähetystehon keskiarvo on myös suurempi. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty lähetetty ja vastaanotettu teho ajan funktiona, pienemmällä diversiteetin vaikutuksella (kuva 9) ja suuremmalla diversiteetin vaikutuksella (kuva 10), päätelaitteen liikkumisnopeuden ollessa 3 km/h. Suuremmalla diversiteetin vaikutuksella lähetystehon keskiarvo on pienempi, minkä takia myös solujen väliset häiriöt vähenevät. /1, s.234./



Kuva 9: Pienempi diversiteetin vaikutus /1/



Kuva 10: Suurempi diversiteetin vaikutus /1/

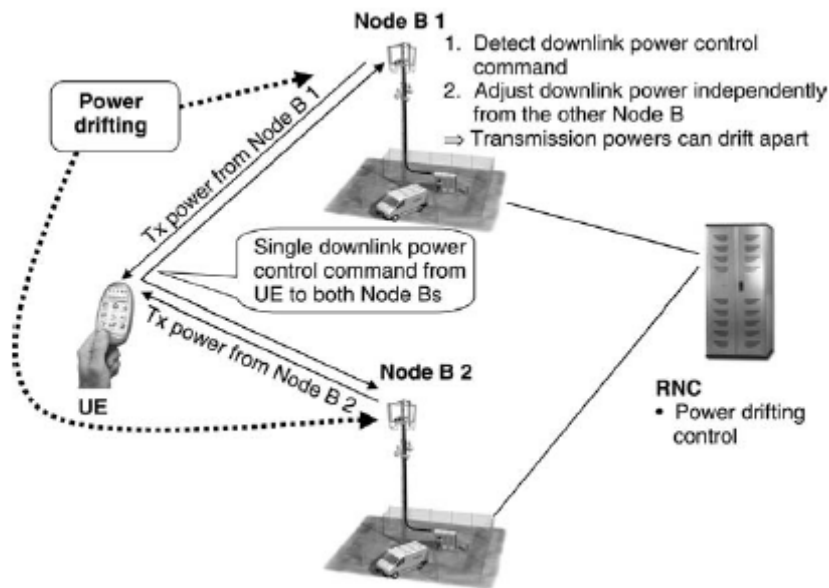
5.2.1.4 Tehonsäätö soft handoverin aikana

Tehonsäädössä soft handoverin aikana on kaksi tärkeää tekijää, jotka eroavat normaalista tehonsäädöstä päätelaitteen ja tukiaseman välillä. Nämä ovat downlink-suunnan tehon eroaminen (downlink power drifting) ja uplink-suunnan tehonsäätökäskyjen luotet-

tavuus (reliability of uplink power control commands). Soft handover esitellään kappa-
leessa 6.

5.2.1.4.1 Downlink-suunnan tehojen eroaminen

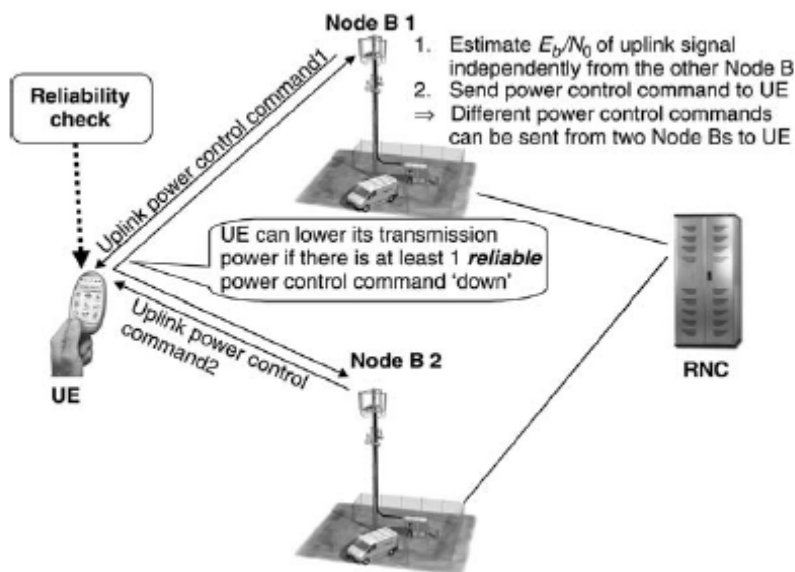
Päätelaite lähettää yhden käskyn, jolla se hallitsee downlink-suunnan lähetystehoja. Jokainen alueella oleva tukiasema vastaanottaa tämän käskyn erikseen (kuva 11). Tehonsäätökäskyjä ei voida yhdistää tukiasemaohjaimessa, koska se aiheuttaisi liikaa vii-
veitä ja signalointia verkossa. Ilmarajapinnassa tapahtuvien signalointivirheiden takia tukiasemat voivat havaita tämän tehonsäätökäskyn eri tavoilla. On hyvin mahdollista, että jokin tukiasema voi laskea lähetystehoaan päätelaitteeseen, kun taas toinen tu-
kiasema nostaa lähetystehoaan samaan päätelaitteeseen. Tämän takia downlink-suunnan tehot alkavat erota toisistaan (downlink power drifting). Tehojen eroaminen huonontaa downlink-suunnan solun vaihdon suorituskykyä, eikä se ole tästä syystä toivottu ilmiö tehonsäädössä. Yksinkertaisin tapa päästä eroon tehojen eroamisesta on asettaa tiukat raja-arvot downlink-suunnan tehonsäädön dynamiikalle, joita käytetään päätelaitteiden lähetystehoissa. Mitä pienempi on sallittu tehonsäädön dynamiikka, sitä pienempi on tehojen eroaminen. Vastaavasti mitä suurempi on tehonsäädön dynamiikka, sitä parempi on tehonsäädön suorituskyky. Toinen tapa vähentää tehojen eroamista on seuraava: tu-
kiasemaohjain voi vastaanottaa tietoja tukiasemista solun vaihdon lähetystehotasojen mukaan. Nämä lähetystehot ovat lukuisien tehonsäätökäskyjen keskiarvoja. Tu-
kiasemanohjain voi lähettää niin sanotun referenssiarvon tukiasemille, jotka käyttävät tätä arvoa solun vaihdon aikana, mikä vähentää tehojen eroamista toisistaan. Tarkoituk-
sena on tehdä pieni korjaus kerrallaan suhteessa referenssiarvoon. Korjauksen suuruus on verrannollinen lähetystehon ja referenssitehon erojen suhteen. Tällä keinolla saadaan vähennettyä tehojen eroavuutta. /1, s. 238./



Kuva 11: Downlink-suunnan tehojen eroaminen /1/

5.2.1.4.2 Uplink-suunnan tehonsäätökäskyjen luotettavuus

Kaikki tukiasemat lähettävät yksittäisen tehonsäätökäskyn päätelaitteelle, jolla hallitaan uplink-suunnan lähetystehoa (kuva 12). Jos yksikin alueella oleva tukiasema vastaanottaa signaalin oikein, se riittää. Päätelaite voi laskea lähetystehoaan, jos yksikin tukiasema lähettää tehonlaskukäskyn. Solun vaihdon aikana päätelaite voi käyttää maksimaalista databittien yhdistämistä, koska sama data lähetetään kaikista tukiasemista solun vaihdon aikana. Sen sijaan tehonsäätöbittejä ei voida käyttää, koska ne sisältävät eri tiedon jokaiselta tukiasemalta. Tämän takia tehonsäätöbittien luotettavuus ei ole yhtä hyvä kuin databittien luotettavuus. Päätelaitteen kynnsarvoa käytetään tarkistamaan tehonsäätökäskyjen luotettavuus. Epäluotettavat tehonsäätökäskyt hylätään, koska ne ovat korruptoituneet häiriöiden vuoksi. /1, s. 238./

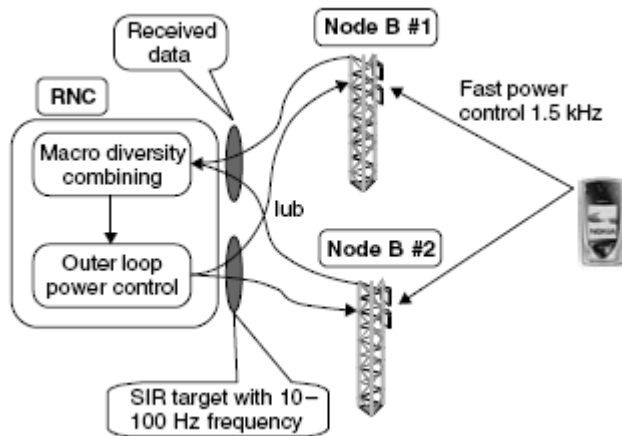


Kuva 12: Uplink-suunnan tehonsäätökäskyjen luotettavuus /1/

5.2.2 Ulkoinen silmukka

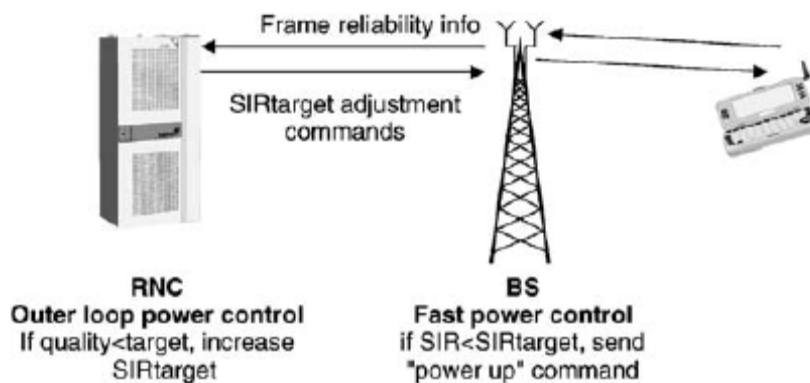
Ulkaisen silmukan tehonsäätöä (outer-loop power control) tarvitaan pitämään yhteyden laatu vaaditulla tasolla asettamalla kynnsarvo sisäisen silmukan tehonsäädölle. Ulkoinen silmukka pyrkii pitämään palvelun tason juuri sille vaaditulla tasolla, ei sitä huompana eikä myöskään parempana. Esimerkiksi liian hyvän laadun tarjoaminen hukaksi kapasiteettia. Yhteyden laatu määritellään bittivirhesuhteen (bit error rate, BER) tai lohkovirhesuhteen (block error rate, BLER) avulla. Bittivirhesuhteella tarkoitetaan väärin vastaanotettujen bittien suhdetta kaikkiin lähetettyihin bitteihin ja lohkovirhesuhteella samaa asiaa lohkoina. Ulkoisen silmukan tehonsäätöä tarvitaan sekä uplink- että downlink-suunnassa, koska sisäisen silmukan tehonsäätö toimii kumpaankin suuntaan.

Ulkaisen silmukan tehtävänä uplink-suunnassa on asettaa SIR:lle kynnsarvo tukiasemassa jokaista sisäisen silmukan uplink-signaalia varten. SIR-kynnsarvo valitaan jokaista päätelaitetta varten erikseen, koska päätelaitteiden vaaditut kynnsarvot vaihtelevat päätelaitteen liikkumisnopeuden ja ympäristön vaikutuksen mukaan. Tukiasemilta saapuva tieto yhdistetään (macro diversity combining) tukiasemaohjaimessa, jonka jälkeen tukiasemaohjaimelta lähetetään SIR-kynnsarvo takaisin tukiasemalle. Ulkoisen silmukan tehonsäädön taajuus on 10–100 Hz (kuva 13). /1, s. 239./

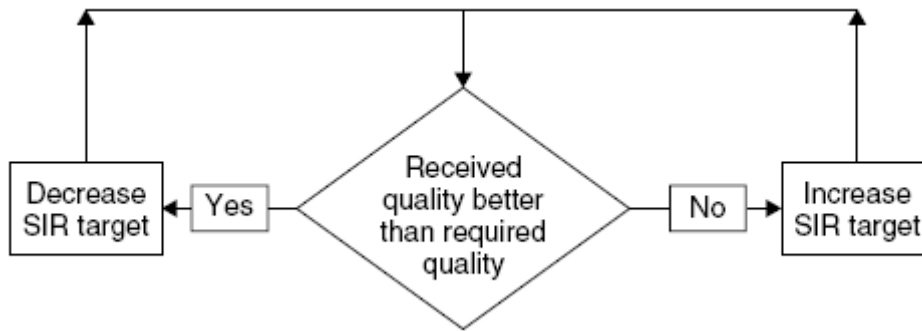


Kuva 13: Uplink-suunnan ulkoinen silmukka

Tukiasema tarkastaa jokaisen uplink-suuntaan lähetetyn signaalin datakehysten ja lähettää tiedon (frame reliability info) tukiasemaohjaimelle. Tukiasemaohjain vertaa vastaanotettua signaalin laatua laadulle asetettuun kynnyksarvoon. Jos vastaanotettu laatu on huonompi kuin kynnyksarvo, tukiasemaohjain käskää tukiasemaa parantamaan SIR-kynnyksarvoa. Jos vastaanotettu laatu on parempi kuin kynnyksarvo, tukiasemaohjain käskää tukiasemaa huonontamaan SIR-kynnyksarvoa (kuva 14 ja 15). Tukiasema käyttää kyseistä kynnyksarvoa sisäisen silmukan tehonsäädössä. /1, s. 57./



Kuva 14: Ulkoisen silmukan tehonsäätö



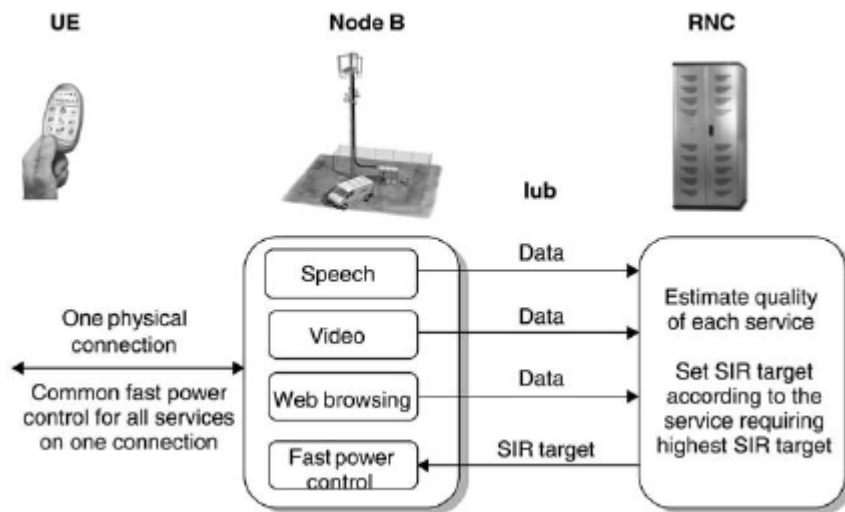
Kuva 15: Ulkoisen silmukan tehonsäätöalgoritmi

5.2.2.1 Tehonsäädön dynamiikan rajoitukset

Päätelaite voi joutua kuuluvuusalueen reunalla käyttämään maksimilähetystehoa. Tässä tapauksessa lohkovirhesuhde (Block Error Rate) voi olla haluttua suurempi. Jos sovelletaan kuvan 15 ulkoisen silmukan tehonsäätöalgoritmia, uplink-suunnan signaalihäiriösuhteen kynnsarvoa suurennettaisiin. Signaalihäiriösuhteen suurentaminen ei paranna uplink-suunnan signaalin laatua, vaikka tukiasema lähettää tehonnostokäskyjä päätelaitteelle. Tässä tapauksessa SIR-kynnsarvo voi olla tarpeettoman suuri. Kun päätelaite liikkuu lähemmäs tukiasemaa, uplink-suunnan yhteyden laatu on turhan hyvä, ennen kuin ulkoinen silmukka säätää SIR-kynnsarvon optimaaliseksi. Sama ongelma ilmenee myös päätelaitteen saavuttaessa lähetystehon minimiarvon, jolloin SIR-kynnsarvo on liian pieni. Kyseiset ongelmat voidaan välttää asettamalla tiukat rajat SIR-kynnsarvolle tai käyttää ulkoisen silmukan tehonsäätöalgoritmia, jossa SIR-kynnsarvoa ei suurennetaisi, mikäli se ei paranna yhteyden laatua. /1, s. 243./

5.2.2.2 Monipalvelu

Yksi UMTS:n perusedellytyksistä on tarjota monta palvelua (puhe, video, internet) samanaikaisesti käyttäen vain yhtä fyysistä yhteyttä. Kaikki palvelut käyttävät samaa nopeaa tehonsäätöä, minkä vuoksi käytetään vain yhtä signaalihäiriösuhteelle asetettua kynnsarvoa kaikissa palveluissa. Kynnsarvo valitaan sen palvelun mukaan, joka vaatii korkeinta signaalihäiriösuhteen kynnsarvoa (kuva 16). /1, s. 244./



Kuva 16: Monipalvelu

5.2.2.3 Downlink-suunnan ulkoinen silmukka

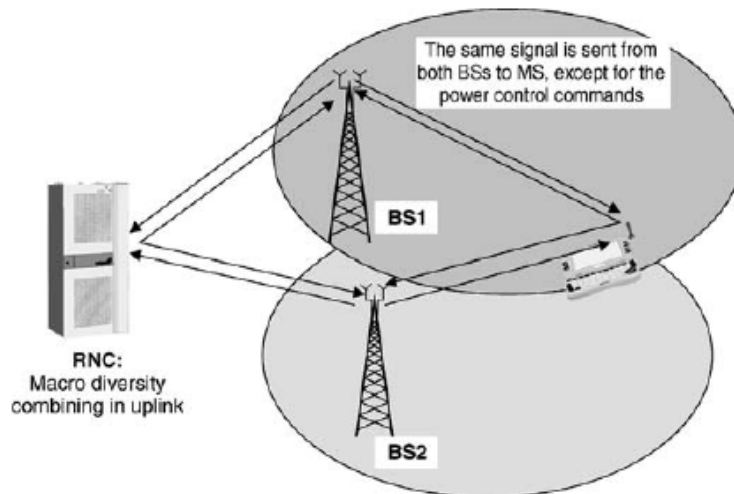
Downlink-suunnan ulkoinen silmukka toteutetaan päätelaitteella. Verkko voi valvoa downlink-suunnan yhteyksiä, vaikka se ei voi valvoa downlink-suunnan ulkoisen silmukan algoritmia. Verkko asettaa jokaiselle downlink-suunnan yhteydelle laatuvaatimuksen, jota voidaan muuttaa yhteyden aikana. Tukiaseman ei tarvitse kasvattaa downlink-suunnan lähetystehoä, vaikka päätelaite lähettäisikin tehonnostokäskyn. Verkko voi hallita eri downlink-suunnan yhteyksien laatua nopeasti ilman, että se noudattaa päätelaitteen tehonsäätökäskyä. Tätä menetelmää voitaisiin käyttää esimerkiksi downlink-suunnan ylikuormittumisen aikana, vähentämään downlink-suunnan tehoa niillä yhteyksillä, joilla on matala prioriteetti. Downlink-suunnan tehojen vähennys toteutetaan nopean tehonsäädön taajuudella 1,5 kHz. /1, s. 244./

6 SOLUN VAIHTO

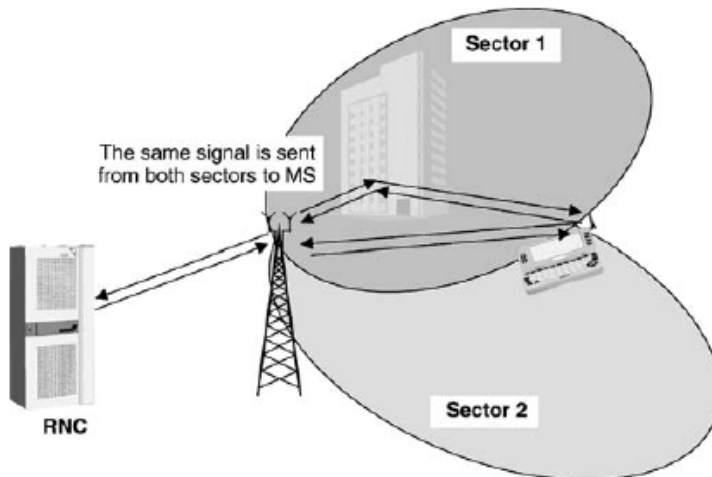
Solun vaihto (handover control) on tärkeä toimenpide matkapuhelinjärjestelmissä. Päätelaitteen liikkuessa verkon kuuluvuusalueen (coverage area) sisällä sen pitää pystyä vaihtamaan käytettävää solua ja samalla pitämään palvelun laatu hyvänä. WCDMA:ssa tukiasemat käyttävät samaa taajuutta, joka mahdollistaa sen, että päätelaite voi olla samaan aikaan yhteydessä useaan tukiasemaan. Solun vaihto voidaan toteuttaa soft, softer tai hard handoverilla.

6.1 Soft ja softer handover

Soft handoverissa päätelaite sijaitsee kahden tukiaseman kattaman alueen leikkauspisteessä (kuva 17). Molemmat tukiasemat käyttävät samaa taajuutta ja vastaanottavat saman uplink-suuntaan lähetetyn tiedon päätelaitteelta. Päätelaitteen ja kummankin tukiaseman välillä suoritetaan erikseen tehonsäätö, jotta tukiasemien tehot saadaan yhtä suuriksi ja vältetään lähi-kauko-ongelmalta. Kummankin tukiaseman tieto lähetetään tukiasemaohjaimelle, jossa tehdään kehyksien tarkastus ja valitaan laadultaan parempi yhteys. Vanhaa yhteyttä ei katkaista ennen kuin uusi yhteys toimii kunnollisesti. Tätä ilmiötä kutsutaan nimellä ”make-before-break”, ja sen tarkoituksena on pitää yllä yhteyden laatu siirryttäessä solusta toiseen. Softer handoverissa päätelaite sijaitsee saman tukiaseman kahden sektorin leikkauspisteessä (kuva 18). Päätelaitteen ja tukiaseman välinen kommunikointi tapahtuu kahden eri kanavan välityksellä, kummallakin sektorilla on oma kanavansa. Downlink-suuntaan tarvitaan kaksi eri hajautuskoodia, jotta päätelaite erottaa kummankin sektorin lähettämän signaalin. Pätelaite kuulee molempien sektorien lähetykset eri kanavilla ja valitsee niistä laadultaan paremman yhteyden. /2, s. 223./



Kuva 17: Soft handover /1/



Kuva 18: Softer handover /1/

6.2 Hard handover

Hard handoverissa voidaan vaihtaa käytettävää järjestelmää (inter-system handover) tai käytettävää taajuutta (inter-frequency handover). Järjestelmän vaihdossa voidaan siirtyä WCDMA-verkosta GSM-verkkoon tai päinvastoin. Järjestelmän vaihdon voivat panna alulle kuuluvuusalueen, kapasiteetin tai palvelun vaatimukset. Käyttäjän liikkuessa pois WCDMA-verkon kuuluvuusalueelta yhteyden säilyttämiseksi täytyy tehdä solun vaihto GSM-verkkoon. Mikäli GSM-verkon kapasiteetti alkaa olla lähellä ylärajaa, voidaan joitakin käyttäjiä vaihtaa WCDMA-verkon alaisuuteen, jolla estetään GSM-verkon ylikuormittuminen. Sama voidaan toteuttaa myös WCDMA-verkosta GSM-verkkoon. /7/

Koska UMTS-verkko on monitasoinen järjestelmä, solun vaihto voi edellyttää myös taajuuden vaihtoa. UMTS-verkon tasot pienimmästä suurimpaan ovat koti-, piko-, mikro-, makrosolu ja globaali satelliittijärjestelmä. Siirryttäessä esimerkiksi makrosolusta mikrosoluun, taajuuden vaihtaminen voi olla tarpeen. /2, s. 224./

7 PÄÄSYNHALLINTA

Pääsynhallinnan (admission control) tehtävänä on estää UMTS:n ilmarajapinnan ylikuormittuminen, joka vaikuttaa palvelun laatuun ja jopa siihen että käynnissä olevat puhelut voivat katketa. Pääsynhallinta joko myöntää tai estää uuden käyttäjän pääsyn verkkoon. Uuden käyttäjän verkkoon pääsyyn vaikuttaa ilmarajapinnan nykyinen tila ja käyttäjän vaatiman palvelun tyyppi. UMTS-verkossa ei ole tiettyä ylärajaa käyttäjien määrälle, tästä käytetään nimitystä ”soft limit”. Käyttäjien määrä riippuu häiriötasosta. Jokainen verkkoon sisään päässyt käyttäjä lisää häiriötä omassa solussaan ja mahdollisesti myös naapurisoluihin. Myös solun kuorma lisääntyy uuden käyttäjän takia. Tämän takia tarvitaankin kynnsarvo häiriötasolle tai solun kuormalle. Pääsynhallinnan pitää toimia sekä uplink- että downlink-suuntaan. Uusi käyttäjä lisää resurssivaatimuksia, mihin pääsynhallinnan tulee varautua. Tätä ei ole helppo toteuttaa, koska uusi käyttäjä voi myös vaikuttaa muiden käyttäjien resurssien kulutukseen. Pääsynhallinta voidaan toteuttaa häiriöön tai suoritustehoon perustuvalla pääsynhallinnalla.

7.1 Häiriöön perustuva pääsynhallinta

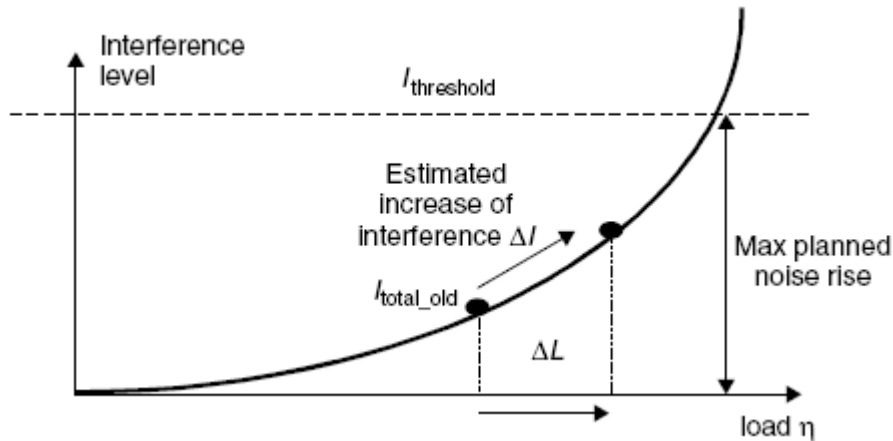
Häiriöön perustuvassa pääsynhallinnassa (interference-based admission control) uusi käyttäjä ei pääse verkkoon, jos käyttäjän aiheuttama uusi kokonaishäiriöteho on suurempi kuin häiriötehon kynnsarvo (kaava 1).

$$I_{total_old} + \Delta I < I_{threshold} \quad (1)$$

jossa

I_{total_old} = vanha häiriöteho, ΔI = häiriötehon muutos ja $I_{threshold}$ = häiriötehon kynnsarvo.

Häiriötehon kynnyisarvo ($I_{\text{threshold}}$) on sama kuin uplink-suunnan maksimaalinen kohinan nousu (noise rise) ja se määritellään radioverkon suunnitteluvaiheessa (radio network planning). Kuvassa 19 on esitetty uplink-suunnan kuormituskäyrä ja arvioitu kuormanlisäys uuden käyttäjän takia.



Kuva 19: Uplink-suunnan kuormituskäyrä /1/

Häiriöön perustuvassa pääsynhallinnassa on kaksi eri tapaa (derivointi- ja integrointimenetelmä), kun arvioidaan häiriötehon kasvua (ΔI) uuden käyttäjän aiheuttaman kuorman (ΔL) takia. Kummassakin menetelmässä otetaan huomioon kaavan 2 kokonaishäiriötehon muutos suhteessa kuorman muutokseen.

$$\frac{dI_{\text{total}}}{d\eta} \quad (2)$$

Joka voidaan laskea kaavan 3 avulla seuraavasti:

$$\text{Kohinan nousu (noise rise)} = \frac{I_{\text{total}}}{P_N} = \frac{1}{1-\eta} \Rightarrow I_{\text{total}} = \frac{P_N}{1-\eta} \Rightarrow \frac{dI_{\text{total}}}{d\eta} = \frac{P_N}{(1-\eta)^2} \quad (3)$$

jossa

I_{total} = kokonaishäiriöteho, P_N = kohinan teho

Uplink-suunnan häiriötehon nousu saadaan laskettua kaavan 4 avulla. Kaava perustuu siihen olettamukseen, että häiriötehon nousu (ΔI) on uplink-suunnan vanhan häiriötehon muutos (dI_{total}) suhteessa uplink-suunnan kuorman muutokseen ($d\eta$) kerrottuna uuden käyttäjän aiheuttamalla kuormalla ΔL .

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta I}{\Delta L} &\approx \frac{dI_{total}}{d\eta} \Leftrightarrow \\
 \Delta I &\approx \frac{dI_{total}}{d\eta} \Delta L \Leftrightarrow \\
 \Delta I &\approx \frac{P_N}{(1-\eta)^2} \Delta L \Leftrightarrow \\
 \Delta I &\approx \frac{I_{total}}{1-\eta} \Delta L
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Toinen tapa arvioida häiriötehon nousua on integrointimenetelmä, jossa häiriötehon muutos (dI_{total}) integroidaan vanhasta kuorman arvosta ($\eta_{old} = \eta$) uudeksi kuormaksi ($\eta_{new} = \eta + \Delta L$) kaavan 5 avulla.

$$\begin{aligned}
 \Delta I &= \int_{I_{total_old}}^{I_{total_old} + \Delta I} dI_{total} \Leftrightarrow \\
 \Delta I &= \int_{\eta}^{\eta + \Delta L} \frac{P_N}{(1-\eta)^2} d\eta \Leftrightarrow \\
 \Delta I &= \frac{P_N}{1-\eta - \Delta L} - \frac{P_N}{1-\eta} \Leftrightarrow \\
 \Delta I &= \frac{\Delta L}{1-\eta - \Delta L} \cdot \frac{P_N}{1-\eta} \Leftrightarrow \\
 \Delta I &= \frac{I_{total}}{1-\eta - \Delta L} \Delta L
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Kaavoissa 4 ja 5 uuden käyttäjän aiheuttama kuorma ΔL on arvioitu uuden yhteyden aiheuttama kuormanlisäys, joka saadaan laskettua kaavan 6 avulla seuraavasti:

$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{v \cdot Eb / N_0 \cdot R}}
 \tag{6}$$

jossa

W = lastunopeus (chip rate), R = uuden käyttäjän bittinopeus (bit rate), E_b/N_0 = uuden yhteyden signaalihäiriösuhde ja v = uuden yhteyden puheen aktiviteetti (voice activity).

/1, s. 265–266./

7.2 Suoritustehoon perustuva pääsynhallinta

Suoritustehoon perustuvassa pääsynhallinnassa (throughput-based admission control) uusi käyttäjä ei pääse verkkoon, jos uuden käyttäjän aiheuttama uplink- tai downlink-suunnan kuorma ylittää kuormalle asetetun kynnsarvon (kaava 8 ja 9).

$$\eta_{UL} + \Delta L < \eta_{UL_threshold} \quad (8)$$

$$\eta_{DL} + \Delta L < \eta_{DL_threshold} \quad (9)$$

jossa

η_{UL} ja η_{DL} ovat uplink- ja downlink-suunnan kuormat ennen uuden käyttäjän pääsyä verkkoon, ΔL = uuden käyttäjän kuorman lisäys (kaava 6) ja $\eta_{UL_threshold}$ ja $\eta_{DL_threshold}$ ovat uplink- ja downlink-suunnan kuormien kynnsarvot. /1, s. 267./

8 KUORMANHALLINTA

Kuormanhallinta (load control) on myös tärkeä tekijä radioresurssien hallinta-algoritmeissa. Kuormanhallinnalla varmistetaan että järjestelmä ei ylikuormitu vaan pysyy vakaana. Hyvin suunnitellussa verkkojärjestelmässä, jossa pääsynhallinta ja pakettiajoitus toimivat moitteettomasti, järjestelmän ylikuormittuminen on harvinaista. Jos järjestelmä pääsee jostain syystä kuitenkin ylikuormittumaan, kuormanhallinnalla pysytään palauttamaan kuorma halutulle tasolle. Kuormanhallinnalla on useita toimenpiteitä, joita se suorittaa ylikuormituksen tapahduttua. Downlink-suunnan nopeassa kuormanhallinnassa (downlink fast load control) kielletään tukiasemalta tulleet tehonnostokäskyt. Uplink-suunnan nopea kuormanhallinta (uplink fast load control) huonontaa SIR-kynnsarvoa, jota käytetään uplink-suunnan nopeassa tehonsäädössä. Kuormanhallinta voi lisäksi vähentää läpi pääsevän pakettimuotoisen datan liikennettä, ja se voi vaihtaa käytettävää WCDMA-kantoaaltotaajuutta tai jopa käytettävää järjestelmää (WCDMA:sta GSM:ään). Kuormanhallinta voi myös laskea päätelaitteiden bittinopeuksia (bit rates) ja katkaista puheluita, joilla on matala prioriteetti. /1, s. 267./

9 PAKETTIAJOITUS

WCDMA-verkossa käytetään pakettimuotoista tiedonsiirtoa palveluissa, kuten tekstiviestien lähetykset, sähköposti ja web-selailu. Pakettimuotoisessa tiedonsiirrossa lähetetty data on pilkottu paketeiksi, jotka vastaanottaja koostaa takaisin yhtenäiseksi dataksi. WCDMA:ssa pakettien allokointia eli kohdentamista valvotaan pakettiajoituksella (packet scheduling), joka sijaitsee tukiasemaohjaimessa. Pakettiajoituksella jaetaan käytettävissä olevat resurssit käyttäjien kesken, määritellään käytettävät bittinopeudet, valitaan käytettävä siirtokanava ja valvotaan järjestelmän kuormitusta. Pakettiajoituksella voidaan allokoida yleisiä (common), omistettuja (dedicated) tai jaettuja (shared) siirtokanavia pakettidatan käyttäjille ja muuttaa bittinopeuksia kesken aktiivisen yhteyden, joka vaikuttaa verkon kuormitukseen. WCDMA:ssa pakettiajoitus voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla: aikajakaisella (time division scheduling) tai koodijakaisella (code division scheduling) ajoituksella. /8/

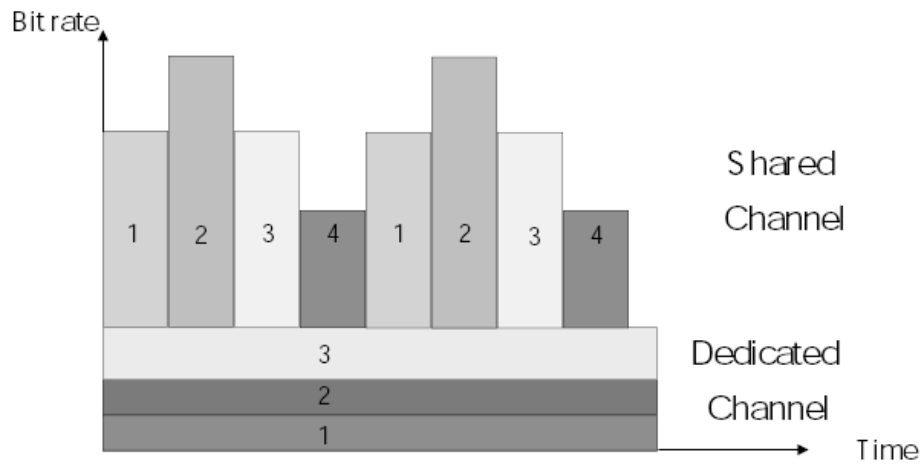
9.1 Aikajakoinen pakettiajoitus

Aikajakaisessa pakettiajoituksessa (time division scheduling) yksi käyttäjä allokoidaan kerrallaan kanavalle. Kyseinen käyttäjä saa käyttöönsä kaiken käytettävissä olevan kapasiteetin. Aikajakaisessa pakettiajoituksessa käyttäjällä on korkea bittinopeus lyhyellä aikajaksolla. Käyttäjien määrän lisääntyessä jokaisen käyttäjän odotusaika kasvaa (kuva 20). Aikajakaisen pakettiajoituksen etuna on korkea bittinopeus, jonka takia lähetyksaikaviiveet ovat pieniä. Haittapuolia ovat vastaavasti resurssien käyttämättä jääminen lyhyen lähetyksajan takia ja häiriötasojen suuret vaihtelut korkean bittinopeuden takia. /8/

9.2 Koodijakoinen pakettiajoitus

Koodijakaisessa pakettiajoituksessa (code division scheduling) monta käyttäjää allokoidaan kanavalle samaan aikaan. Käytössä oleva kapasiteetti jaetaan käyttäjien kesken. Koodijakaisessa pakettiajoituksessa käyttäjällä on pieni bittinopeus pitkällä aikajaksolla. Käyttäjien määrän kasvaessa jokaisen käyttäjän bittinopeus pienenee (kuva 20). Koodijakaisen pakettiajoituksen etuja ovat käytettävissä olevien resurssien hyödyntä-

minen pitkän lähetyksajan takia ja pienet häiriötasojen vaihtelut. Haittapuolina ovat pitkät lähetyksaika- ja viiveet pienen bittinopeuden takia. Aikajakoisessa pakettiajoituksessa käytetään jaettua tiedonsiirtokanavaa (shared channel) käyttäjien kesken ja koodijakoisessa pakettiajoituksessa jokainen käyttäjä käyttää omistettua tiedonsiirtokanavaa (dedicated channel). /8/



Kuva 20: Aika- ja koodijakoinen pakettiajoitus /7/

10 YHTEENVETO

Työssä esiteltiin kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmissä käytettävän ilmarajapinnan – WCDMA:n yleisominaisuudet. Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmien kehitys alkoi 1990-luvun alkupuolella ja tänä päivänä kolmannen sukupolven tekniikat ovat syrjäyttämässä toisen sukupolven matkapuhelintekniikat (kuten GSM). Työssä syvennyttiin radioresurssien hallinta-algoritmien toimintaan WCDMA-verkossa. Radioresurssien hallinta-algoritmien tehtävänä on ilmarajapinnan resurssien mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Radioresurssien hallinta-algoritmit jaetaan viiteen toiminnalliseen osaan, joilla kaikilla on oma tehtävänsä ilmarajapinnassa. Työssä syvennyttiin yhteen radioresurssien hallinta-algoritmiin – tehonsäätöön. Muut hallinta-algoritmit (solun vaihto, pääsynhallinta, kuormanhallinta ja pakettiajoitus) esiteltiin työssä vain lyhyesti.

Radioresurssien hallinta-algoritmeilla pyritään pitämään yhteyden laatu hyvänä, pitämään suunniteltu kuuluvuusalue ja tarjoamaan mahdollisimman suuri kapasiteetti. Solun vaihdolla hallitaan päätelaitteen liikkumista solujen reunoilla ja huolehditaan siitä, että päätelaitteen vaihtaessa solua yhteyden laatu säilyy ennallaan. Pääsynhallinnalla pidetään huolta siitä, että verkko ei pääse ylikuormittumaan uusien käyttäjien ottaessa yhteyttä verkkoon. Verkon ylikuormituessa kuormanhallinnalla palautetaan kuorma halutulle tasolle. Pakettiajoituksen tehtävänä on jakaa käytettävissä olevat resurssit pakettimuotoisen datan käyttäjien kesken.

Tehonsäätö on tärkein WCDMA-verkon hallinta-algoritmeista. Tehonsäätö jaetaan kahteen osaan: avoimen ja suljetun silmukan tehonsäätöön. Avoimen silmukan tehtävänä on vain asettaa päätelaitteelle aloitusteho päätelaitteen ottaessa yhteyttä verkkoon. Suljetun silmukan tehonsäädöllä eliminoidaan lähi-kauko-ongelma, kompensoidaan häipyymiä ja pidetään yhteyden laatu halutulla tasolla. Tehonsäädön tarkoituksena on käyttää aina mahdollisimman pientä lähetystehoa ja varmistaa jokaiselle verkossa olevalle käyttäjälle tasapuolinen yhteyden laatu. Mahdollisimman pienen lähetystehon käyttämisen takia matkapuhelimien akut kestävät pidempään.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1. Holma Harri & Toskala Antti, WCDMA for UMTS John Wiley & Sons Ltd 2004
2. Granlund Kaj, Langaton tiedonsiirto Docendo 2001

Sähköiset lähteet

3. Chen Yue 2003. [online] [viitattu 20.4.2009] saatavissa:
<http://www.elec.qmul.ac.uk/research/thesis/YueChen2003.pdf>
4. Dolcera. [online] [viitattu 15.3.2009] saatavissa:
<http://www.dolcera.com/wiki/images/Cdma18.jpg>
5. Nuaymi Loutfi, Lagrange Xavier & Godlewski Philippe. [online] [viitattu 27.4.2009] saatavissa: <http://www2.ing.unipi.it/ew2002/proceedings/177.pdf>
6. Juutilainen Matti, Radiotekniikan perusteet. [online] [viitattu 10.3.2009] saatavissa:
<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf>
7. Basic Concepts of WCDMA Radio Access Network. [online] [viitattu 4.5.2009] saatavissa: http://www.privateline.com/Cellbasics/e207_whitepaper_ny_k1.pdf
8. Chong Peter, WCDMA Packet Access. [online] [viitattu 15.4.2009] saatavissa:
http://www.comlab.hut.fi/opetus/238/lecture9_PacketAccess.pdf