

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Aki Karilahti

UMTS:n WCDMA:n KOODIT JA NIIDEN KÄYTTÖ

Insinööri työ, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi insinöörin
tutkintoa varten Tampereella 08.06.2005

Työn ohjaaja: Ari Rantala

Tekijä:	Aki Karilahti
Työn nimi:	UMTS:n WCDMA:n koodit ja niiden käyttö
Päivämäärä:	08.06.2005
Sivumäärä:	33 sivua ja 1 liitesivu
Hakusanat:	3G, UMTS, WCDMA, levitys, sekoitus, synkronointi
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja:	Lehtori Ari Rantala
<p>Tässä työssä perehdyttiin kolmannen sukupolven UMTS-verkon käyttämän WCDMA radiorajapinnan koodeihin ja niiden käyttöön. UMTS on tällä hetkellä vielä tuore ja odottaa läpimurtoaan kuluttajien keskuudessa, mutta tulee korvaamaan GSM:n lopulta. Siispä sen tuntemus on erittäin tärkeää etenkin alan ihmisille. Erityisesti koodien osalta järjestelmä on hankalaselkoinen, mutta tämä työ valaisee sitä.</p> <p>UMTS perustuu WCDMA-tekniikkaan, laajakaistaiseen koodijakomonikäyttötekniikkaan. Toisin kuin GSM, WCDMA ei identifioi samanaikaisia käyttäjiä taajuus- ja aikavälien avulla vaan pelkäästään koodien avulla. WCDMA:ssa kaikki käyttäjät liikennöivät yhteisillä 2x5 MHz:n kaistoilla samanaikaisesti ja signaalit tunnistetaan yksilöllisten koodien perusteella. Koodit eroavat toisistaan niin, ettei väärä käyttäjä voi saada vahingossa toisen käyttäjän informaatiota selville. Koska koodit ovat valesatunnaisia, kohinan tapaisia, niillä moduloitu signaali näyttää kohinalta. Oikealla koodilla vastaanottopäässä purettaessa signaali palaa entiselleen. Väärällä koodilla purettu signaali taas näyttää pelkältä kohinalta. Täten tietoturva on taattu.</p> <p>Koodeja on muutamia erilaisia. Kanavointikoodeilla levitetään kapeakaistainen signaali ennen lähetystä koko 5 MHz:n kaistalle. Tällöin signaali saa mennä kohinatason alle ja silti oikea vastaanottaja saa sen selville. Kanavointikoodin päällä käytetään sekoituskoodia, joka yksilöi solut ja tilaajalaitteet. Tällöin laitteet eivät häiriinny toistensa liikenteestä, kun ne tietävät, ettei se kuulu itselle. Synkronointi-koodeilla taas tilaajalaitteet paikallistavat ja synkronoituvat solun pääasiallisiin ohjauskanaviin. Tällä pyritään huolehtimaan myös siitä, että tilaajalaitteen ja usean tukiaseman yhtäaikainen keskustelu sujuu synkronoidusti.</p>	

Author:	Aki Karilahti
Name of the thesis:	UMTS WCDMA codes and how to use them
Date:	08.06.2005
Number of pages:	33 pages and 1 appendix
Keywords:	3G, UMTS, WCDMA, spreading, scrambling, synchronization
Degree programme:	Computer Systems Engineering
Specialisation:	Telecommunication Engineering
Thesis Supervisor:	Lecturer Ari Rantala
<p>The 3rd generation mobile phone network UMTS is still a new system, but it will eventually replace GSM. Clearly it is very important to understand the functioning of the system especially for those involved in telecommunication. The system uses WCDMA radio interface. Basically it works in a manner that every user uses same 2x5 MHz bandwidths at the same time and different users are identified by unique codes. These codes and their functioning are maybe the most complex part of the WCDMA. This paper will shed a light on this subject.</p> <p>WCDMA is a Wideband Code Division Multiple Access. This means it uses a much wider bandwidth than the 2nd generation cellular systems and its multiplexing is based on CDMA. It is a Direct-Sequence Spread Spectrum system. This means user data to be transmitted is directly multiplied with a proper code, which has a much faster data rate. This way user data is spread over the 5MHz bandwidth. Codes used in spreading differ from each other so that a user can not get information that does not belong to it. Because of the pseudo-noise nature of the codes, after spreading user data also seems like noise. When a signal is received and despread with a wrong code, it simply looks like noise and is ignored. Hence, information security is guaranteed</p>	

ALKUSANAT

Kiinnostukseni WCDMA-tekniikkaan heräsi, kun sitä käsiteltiin koulun kursseilla. Kuitenkin lisämateriaalia aiheesta etsiessäni havaitsin kaikkien kirjojen olevan englanninkielisiä. Jopa suomalaisten kirjoittamat WCDMA:ta käsittelevät kirjat olivat tällä kielellä. Syy tähänkin selvisi; Suomen pienet markkinat huomioon ottaen ei ole kaupallisesti järkevää käsitellä aihetta suomen kielellä. Lisäksi suomen kielen ilmaisukyvyn rajallisuus aiheuttaisi hankaluuksia, jos termistö käännettäisiin. Aiempien kokemusten perusteella väkisin väännetyistä suomennoksista voi sanoa, että pitäytymällä tyystin alkuperäisissä englanninkielisissä termeissä säästytään epäselvyyksiltä. Etuna on myös kansainvälisyys, kun alusta alkaen käytetään yhteistä termistöä.

Haittapuoli onkin sitten ilmeinen; ymmärrettävyys kärsii, etenkin kun WCDMA on jo muutenkin hankala aihe. Tästä syystä tahdoin tehdä selventävän ja ytimekkään esityksen UMTS:n käyttämän WCDMA:n koodeista. Työ on suunnattu heikosti englantia osaaville tai niille, joille alalle ominainen englantia on vierasta. Työ on hyödyllinen myös niille, jotka tahtovat oppia WCDMA:n koodien päätoimintaperiaatteen nopeasti.

TAMPEREELLA 08.06.2005

SISÄLLYSLUETTELO

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ.....	i
ABSTRACT OF ENGINEERING THESIS.....	ii
ALKUSANAT.....	iii
SISÄLLYSLUETTELO.....	iv
LYHENNELUETTELO.....	v
1 JOHDANTO	1
2 WCDMA-STANDARDIT	2
3 RADIOTEKNIIKAT ENNEN WCDMA:TA	3
4 WCDMA JA SEN KILPAILIJAT	4
5 WCDMA:N PÄÄPERIAATE	5
6 KOLME KOODITYYPPIÄ	7
6.1 Kanavointikoodit	7
6.1.1 OVFSF-koodit	8
6.1.2 Koodipuu	9
6.1.3 Koodien esto ja vaihto	11
6.1.4 Levityskerroin	13
6.1.5 Kaistanvaraus levityskertoimella.....	15
6.1.6 Prosessointivahvistus	17
6.1.7 Levitys.....	18
6.2 Sekoituskoodit	21
6.3 Synkronointikoodit	25
7 NOVFSF-KOODIT	27
8 KORRELAATIO	29
8.1 Autokorrelaatio	29
8.2 Ristikorrelaatio.....	31
9 TULOKSET	32
LÄHDELUETTELO	33
LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

3G	Third-generation mobile telephone technology, kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
BoD	Bandwidth on Demand (tekniikka, jolla yhteyden tietoliikennekaistaa kasvatetaan tarpeen mukaan)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, Euroopan telestandardointi-instituutti
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000 (ITU:n 3G-standardiperhe)
ITU	International Telecommunication Union, Kansainvälinen televiestintäliitto
Mcps	Mega chip per second (levityksen jälkeisen datanopeuden yksikkö)
NOVSF	Nonblocking OVSF, ei-lukkiutuvat OVSF-koodit
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor, ortogonaaliset vaihtelevan pituiset levityskerroinkoodit
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel (WCDMA:n ohjauskanava)
RRC	Radio Resource Control, radioresurssien ohjausviesti
SF	Spreading Factor, levityskerroin
SRB	Signaling Radio Bearer (WCDMA:n signalointikanava)
TSG	Technical Specification Group (3GPP:n spesifikaatioita valvova työryhmä)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Eurooppalaisen kolmannen sukupolven matkapuhelinstandardin nimi)
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access (eräs 3G-radorajapinta)

1 JOHDANTO

Tämän tutkimuksen kohteena ovat kolmannen sukupolven mobiiliverkon UMTS:n käyttämän WCDMA-radorajapinnan koodit ja niiden toiminta. UMTS on erittäin ajankohtainen. Verkkoja on parina viime vuonna pystytetty eri puolille maailmaa, eniten Euroopan alueelle. 12.10.2004 TeliaSonera avasi Suomen ensimmäisen kaupallisen UMTS-verkon. Virallisesti UMTS on toiminut Suomessa jo 1.1.2002 alkaen, mutta tällöin oli vain kokeellisia verkkoja pienin peittoaluein suurimmissa kaupungeissa. Päätelaitteiden määrän hiljalleen lisääntyessä UMTS odottaa läpimurtoaan.

WCDMA on melko monimutkainen lähinnä koodiperusteisuutensa vuoksi. Asiaa ei auta kaiken alan kirjallisuuden vieraskielisyys. Lisähankaluutena on laajasti vallitseva epätietoisuus. Internetistä löytyvät tietolähteet ovat usein epäluotettavia. Varmasti täsmällistä tietoa löytynee vain UMTS:n stardardoineen 3GPP:n kotisivuilta. Niinpä työtä hankaloitti alituinen skeptisyys ja sen oikean tiedon löytäminen monien joukosta.

Tämä työ pyrkii auttamaan ymmärtämään WCDMA:n koodeja selittämällä asiat selkeästi suomeksi. Työn tavoitteena on luoda tekninen tiivistelmä, joka ei kuitenkaan olisi liian pintapuolinen, jotta siitä olisi hyötyä niin alaa tuntemattomille kuin heikosta englanninkielentaidosta kärsiville ammattilaisillekin. Kaikkien tietoliikennealalla työskentelevien tulisi omata vähintäänkin perustiedot aiheesta.

2 WCDMA-STANDARDIT

Koska työ on luonteeltaan tiivistelmä, ei kaikkea ole koodeista voitu kertoa. Siispä lisäinformaatiota kaipaavat voivat suunnata 3GPP:n kotisivuille, joka on <http://www.3gpp.org>. Sieltä löytyy kaikkein virallisin tieto, sillä siellä ovat kaikki WCDMA-standardit dokumentoituna – niin vanhat kuin uudetkin versiot. Lisäksi sieltä löytyy GSM:n, GPRS:n ja EDGE:n standardit. Siellä UMTS:n spesifikaatioiden nimet ovat muotoa 3GPP TS xx.cyy tai 3GPP TR xx.cyy. Siinä TS tarkoittaa teknistä spesifikaatiota, TR teknistä raporttia ja xx aihealuetta, johon se kuuluu. UMTS on spesifioitu sarjoissa 21.cyy ... 35.cyy. Yy on aihealueen sisäinen numerointi ja c kertoo tarkoittaako spesifikaatio vain UMTS:ää vai UMTS:ää ja GSM:ää. Taulukko 1 selvittää millaisissa tiloissa spesifikaatio voi olla, jos se ei ole normaalin kehityksen alla. Taulukko 2 taas kertoo mitä x.y.z –muotoa oleva versionumerointi tarkoittaa.

Taulukko 1 Spesifikaation tilat

Suljettu (closed)	minkäänlaisia muutoksia ei sallita spesifikaatioon
Jäädytetty (frozen)	mitään uutta tai muunneltua toiminnallisuutta ei saa enää lisätä, vain välttämättömät korjaukset spesifikaatioon hyväksytään
Pois vedetty (withdrawn)	spesifikaation kyseinen versio ei enää kuulu kyseiseen kokoelmaan

Taulukko 2 Versionumeroiden merkitykset

	Merkitys	Selitys	
x	tärkeä, kutsutaan myös "julkaisuksi"	0:	luonnos
		1:	tuotu TSG:n tietoon (arvioitu vakaus 60 %)
		2:	esitetty TSG:lle hyväksyttäväksi (arvioitu vakaus 80 %)
		3+	hyväksytty, uudet muutokset TSG:n kautta
y	tekninen	Lukua lisätään aina kun tekninen muutos tehdään. Nollataan aina kun x-lukua lisätään.	
z	kommentti	Lukua lisätään aina kun jokin kommentti tehdään tai muutetaan. Nollataan aina kun y-lukua muutetaan.	

3 RADIOTEKNIIKAT ENNEN WCDMA:TA

Jo suurelta osin edesmennyt ensimmäisen sukupolven mobiiliverkko NMT hyödynsi FDMA:ta, eli taajuusjakokanavointia, mahdollistaakseen usean samanaikaisen puhelun verkossa. Käytössä oleva taajuuskaista jaettiin siis osiin, fyysisiin kanaviin. Niistä kuhunkin pystyttiin muodostamaan uplink- tai downlink-puheysteys (*UL*, *DL*). Matkapuhelinten yleistyessä tarvittiin kuitenkin lisää kapasiteettia, joten asiakkaiden tarpeita tyydyttämään kehiteltiin toisen sukupolven (*2G*, *second generation*) digitaaliset mobiiliverkot, kuten GSM, PDC, US-TDMA (IS-136) ja cdmaOne (IS-95). Näistä kolme ensimmäistä käyttää FDMA:n lisäksi TDMA:ta eli aikajakokanavointia. Tässä tekniikassa jokainen taajuusjaettu fyysinen kanava edelleen jaetaan usean aikaväliin. Esim. GSM:ssä aikavälejä on 8. Kukin aikaväli muodostaa loogisen kanavan, jossa kussakin voi olla yksi UL- tai DL-suuntainen yhteys.

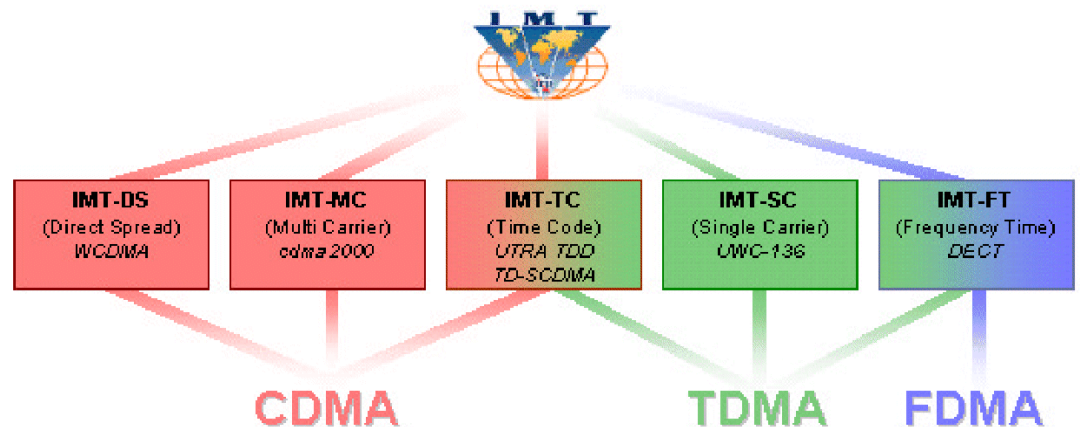
Jo 90-luvun alussa nähtiin, ettei 2G-verkkojen tiedonsiirtonopeus tulisi riittämään tulevaisuudessa, vaikka TDMA-tekniikka olikin lisännyt kapasiteetin monin-kertaiseksi. Jos liikenne olisi pelkkää puhetta, ei ongelma olisi niin paha, mutta näin ei asia ole. Tiedonsiirto käsittää aluksi sähköpostia, Internetin selailua, kuvansiirtoa ja parhaimmillaan hyvälaatuista musiikkia ja videokuvaa. Tuolloin uskottiin aivan erilaisen monikäyttötekniikan tuovan tähän ratkaisun. Tämä tekniikka on kuitenkin huomattavasti FDMA:ta ja TDMA:ta hankalampi toteuttaa, minkä on osoittanut siihen perustuvien järjestelmien pitkä suunnittelu-aika ja aikataulujen venymiset vuosilla. Tämän monikäyttömenetelmän nimi on koodijakokanavointi eli CDMA.

CDMA ottaa aivan erilaisen näkökulman käyttäjien identifioimiseen kuin FDMA ja TDMA. Kun FDMA:ssa käyttäjän data löytyy tietystä taajuusvälistä ja TDMA:ssa tietyn taajuusvälin tietystä aikavälistä, CDMA:ssa se löytyy tietyn koodin perusteella.

4 WCDMA JA SEN KILPAILIJAT

Nykypäivän ja tulevaisuuden tarpeita silmällä pitäen CDMA:sta on kehitelty edelleen useita radiotekniikoita eri puolilla maailmaa. Yksi parhaiten menestyneistä radiorajapinnoista on nimeltään WCDMA, joka tunnetaan myös nimellä W-CDMA.

Yhteistyössä ETSI:n (*European Telecommunications Standards Institute*) kanssa Japanilainen mobiiliverkko-operaattori NTT DoCoMo kehitti WCDMA-radiorajapinnan FOMA-verkkoonsa varten. 1999 ITU (*International Telecommunication Union*) hyväksyi sen ja neljä muuta IMT-2000-standardinsa alle (*International Mobile Telecommunications-2000*). IMT-2000 on ITU:n 3G-standardien perhe, joka näkyy kuvassa 1. Kussakin laatikossa on ITU:n antama nimi standardille, ja sen alla sulussa lukee, minkälaista tekniikkaa se käyttää, ja alimpana on standardin alkuperäinen nimi.



Kuva 1 ITU:n hyväksymät 3G-standardit /1/

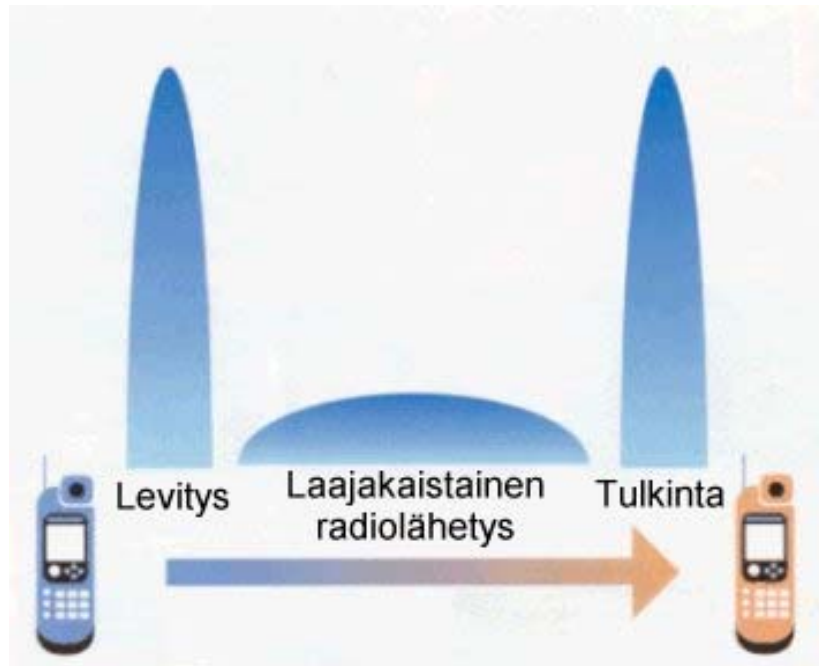
Näistä WCDMA on yksi suosituimmista. Se on käytössä esimerkiksi Japanissa (FOMA), Koreassa, Euroopassa (UMTS) ja osittain Aasiassa ja Pohjois- ja Etelä-Amerikassa. Kiinan 3G-verkko on TD-SCDMA, ja Pohjois-Amerikassa kiistellään lähinnä cdma2000:n, UWC-136:n ja EDGE:n välillä. Vaikka FOMA ja UMTS käyttävät kumpikin WCDMA:ta, niiden järjestelmät ovat yhteneväisiä vain nimellisesti, eivätkä täten ole yhteensopivia. Tätä seikkaa tosin pyritään korjaamaan.

5 WCDMA:N PÄÄPERIAATE

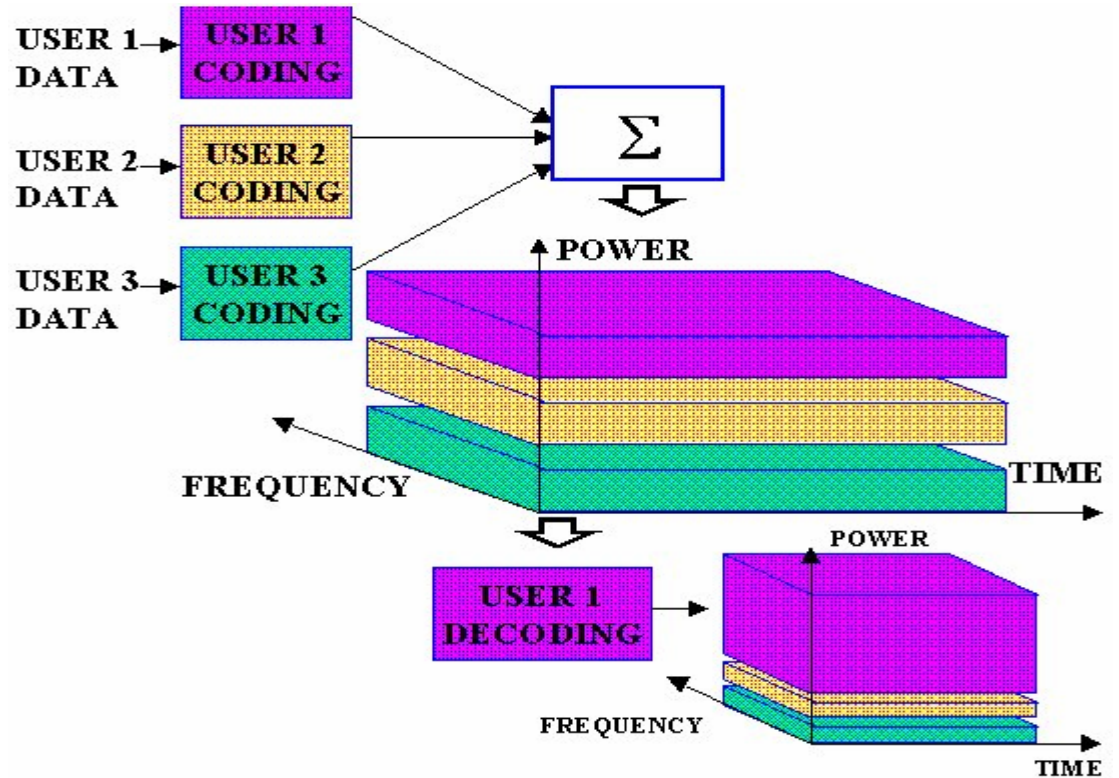
WCDMA on laajakaistainen hajaspektri 3G-radorajapinta, joka pohjautuu koodijakokanavointiin eli CDMA:han. Tämä kuvaus tarkoittaa seuraavaa. Ensinnäkin WCDMA tulee sanoista *Wideband Code Divided Multiple Access*, joka tarkoittaa laajakaistaista koodijakokanavointia. Laajakaistaisuus johtuu siitä, että käytössä on 5 MHz:n kaistanleveys, joka on paljon suurempi kuin edeltävissä 2G-CDMA-järjestelmissä. Esimerkiksi cdmaOne käyttää kaistanleveyttä 1,25MHz.

Hajaspektri taas tarkoittaa, että signaali lähetetään minikaistanleveyttä suuremmalla kaistanleveydellä (5 MHz). Hajaspektrijärjestelmä voidaan toteuttaa monella tavalla ja näistä WCDMA käyttää suorasekvensointia, englanniksi Direct Spread tai Direct Sequence. Tämä käy ilmi myös ITU:n WCDMA:lle antamasta nimestä IMT-DS, jossa DS tulee sanoista Direct Spread tai Direct Sequence. Suorasekvensointi tarkoittaa, että informaatio-signaali kerrotaan suoraan kohinan kaltaisella suurinopeuksisella bittijonolla ennen lähetystä.

Koodijakokanavointi tarkoittaa, että kaikki käyttäjät liikennöivät samalla kaistalla samanaikaisesti, ja signaalit tunnistetaan tiettyjen yksilöllisten koodien perusteella. Mahdollisimman paljon yksinkertaistaen järjestelmä toimii siten, että lähetettävä data kerrotaan kohinan tapaisilla bittijonoilla laajakaistaiseksi eli levitetään ja lähetään radiotielle, josta oikea vastaanottaja osaa noukkia itselleen kuuluvan signaalin koodin avulla kuvan. Kuvat 2 ja 3 havainnollistavat tätä. Koodit ovatkin erittäin tärkeässä asemassa WCDMA:n toiminnan kannalta. Siispä seuraavassa pyritään valottamaan sitä, missä järjestelmän koodeja käytetään, miten ne toimivat ja mikä on niiden tärkeys järjestelmän toiminnan kannalta.



Kuva 2 WCDMA:n toiminta yksinkertaistaen /3/



Kuva 3 Käyttäjän tunnistus oikean koodin avulla /2/

6 KOLME KOODITYYPPIÄ

UMTS:n WCDMA:ssa on käytössä taulukon 3 mukaisia kolmen tyyppisiä koodeja. Kullakin koodistolla on oma käyttötarkoituksensa ja -tapansa.

Taulukko 3 WCDMA:n koodityypit

Koodi:	Tarkoitus:
Kanavointikoodit	DL: erottaa eri käyttäjät toisistaan samassa solussa UL: erottaa tilaajalaitteen ohjaus- ja datakanavan toisistaan
Sekoituskoodit	DL: erottaa solut toisistaan UL: erottaa tilaajalaitteet toisistaan
Synkronointikoodit	tällä tilaajalaitteet paikallistavat solun pääasialliset ohjauskanavat ja synkronoituvat niihin

Näistä kaksi ensimmäistä keskenään kerrottuna muodostavat levityskoodin, joka saa kanavointikoodien hyvät ristikorrelaatio-ominaisuudet ja sekoituskoodien hyvät autokorrelaatio-ominaisuudet. Korrelaatio on selitetty kappaleessa 8. Levityskoodi terminä kuvaa sitä signaalin kokonaisuutta, joka suoritetaan ennen lähetystä. Se kuvaa myös sitä, etteivät kanavointi- ja sekoituskoodi yksinään riitä, vaan vasta yhdistettynä niillä saadaan UMTS-verkko toimimaan.

6.1 Kanavointikoodit

WCDMA:ssa samanaikaiset yhteydet tunnistetaan siis koodien perusteella. Suosittu WCDMA:n vertauskuva on ihmisiä täynnä oleva suuri huone, jossa kaikki keskustelevat omalla kielellään. Vaikka kaikki puhuvat samaan aikaan, voit tarkasti keskittymällä kuulla melun (kohina, N) seasta omaa kieltäsi puhuvan ihmisen. Jotta tämä onnistuisi, pari asiaa pitää olla kohdallaan:

- 1) Melun pitää olla tarpeeksi alhainen.
- 2) Oma kieltäsi saa puhua samaan aikaan vain yksi henkilö.
- 3) Kielien jota kuuntelet ja puhut, pitää erota tarpeeksi muista kielistä.

CDMA-tekniikassa nämä kolme elävän elämän sääntöä vastaavat seuraavia:

- 1) Kohinan pitää olla tarpeeksi alhainen. Ts. signaali-kohinasuhteen (E_b/N_0) pitää olla tarpeeksi korkea.
- 2) Kutakin yhteyttä varten on koodi, jota kellään muulla ei sillä hetkellä ole.
- 3) Koodien pitää erota tarpeeksi toisistaan.

6.1.1 OVSF-koodit

UMTS:n WCDMA:n käyttämät kanavointikoodit ovat nimeltään OVSF-koodeja (*Orthogonal Variable Spreading Factor*). Vapaasti suomennettuna tämä on ortogonaaliset vaihtelevan pituiset levityskerroinkoodit. Niitä kutsutaan myös Walsh-koodeiksi keksijänsä mukaan. OVSF on kuitenkin näistä nimityksistä virallisempi, joten se on käytössä tässä työssä.

OVSF-koodit ovat kohinan tapaisia bittijonoja, joilla lähetettäväksi haluttu kapeakaistainen data levitetään koko 5 MHz:n taajuuskaistalle. Informaatio-signaalin nopeus siis nostetaan 3,84 Mcps:iin (*Mega chip per second*) kertomalla sen jokainen bitti sitä paljon nopeammalla OVSF-koodilla (levityksen yhteydessä bitistä käytetään nimitystä chip tai lastu). Näin saadaan eri käyttäjät yksilöityä ja samalla saavutetaan hyvä tietosuoja, kuten tullaan myöhemmissä kappaleissa huomaamaan. Koodeja on UL-suunnassa 4...256 kpl ja DL-suunnassa 4...512 kpl ja kukin näistä on pituudeltaan 4...512 chipin pituisia.

Koodit ovat kohinan tapaisia, koska bittijonot sisältävät yhtä monta nollaa ja ykköstä. Ne ovat siis valesatunnaisia. Nämä bittijonot ovat kuitenkin tarkasti tiedossa, ja ne generoidaan siirtorekistereillä siten, ettei kaksi eri koodia koskaan korreloi keskenään. Ne ovat siis ortogonaalisia.

Paperilla koodit voidaan muodostaa parillakin eri tavalla. Taulukko 4 kuvaa yhtä näistä. Siinä kopioidaan aina edellisen vaiheen bitit neljään kertaan, joista oikean-puoleiseen alakulmaan tulevan kopion bitit invertoidaan. Tätä jatketaan,

kunnes bittijonot ovat 512 chipin pituisia. Katkoviivoitus kuvaa edellisen kuvan ristikköä.

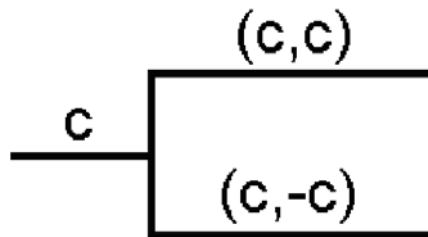
Taulukko 4 OVSF-koodien muodostus

1	$\begin{array}{c c} 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 \end{array}$	$\begin{array}{cc cc} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{array}$	$\begin{array}{cccc cccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{array}$	jne.
---	--	---	--	------

Nämä koodit voidaan muodostaa tätä kuvaavammallakin tavalla, josta on helppo hahmottaa, mikä koodi on kulloinkin valittava. Tämä on nimeltään koodipuu.

6.1.2 Koodipuu

Koodipuun (*code tree*) ensimmäinen koodi on aina 1. Kuvan 4 mukaisesti sen jokaisella koodilla on kaksi alikoodia: ylempi ja alempi alikoodi. Näistä ylempi muodostuu sitä edeltävästä koodista ja sen kopiosta eli {1,1} ja alempi edeltävästä koodista ja sen inverssistä eli {1,-1}.



Kuva 4 Koodipuun alikoodien muodostus

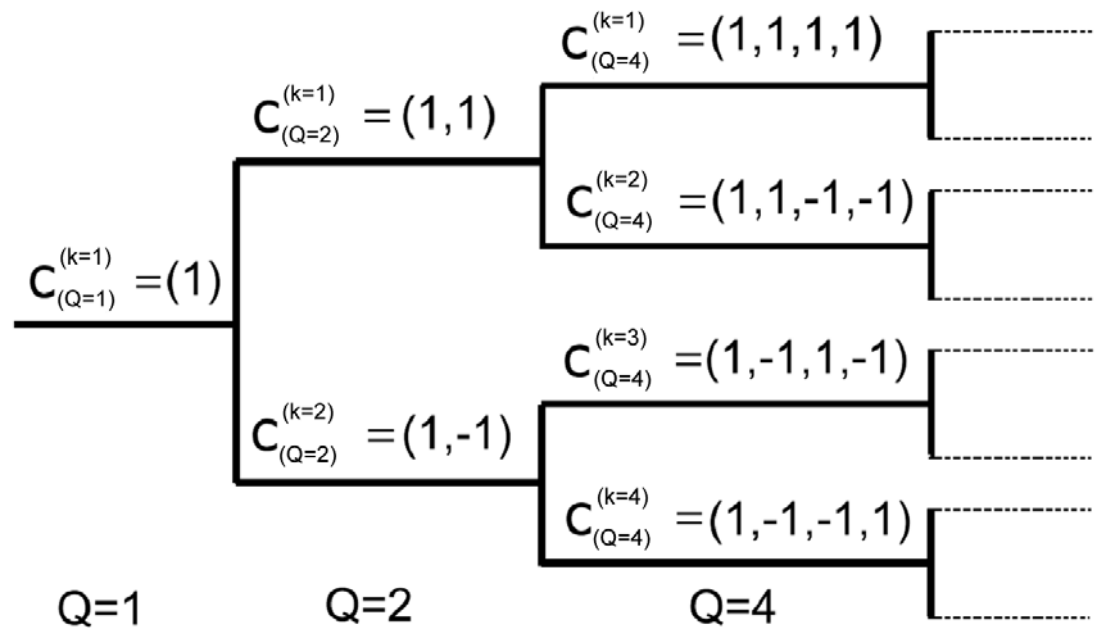
Sama ilmaistuna matemaattisesti, jossa $c_{Q_k}^{(k)}$ on OVVSF-koodi ja $Q_k \in \{1,2,4,8,16\}$:

$$c_q^{(k)} ; k = 1, \dots, K_{\text{koodi}} ; q = 1, \dots, Q_k \quad (1)$$

$$c^{(k)} = (c_1^{(k)}, c_2^{(k)}, c_3^{(k)}, \dots, c_{Q_k}^{(k)} ; k=1, \dots, K_{\text{koodi}} \quad (2)$$

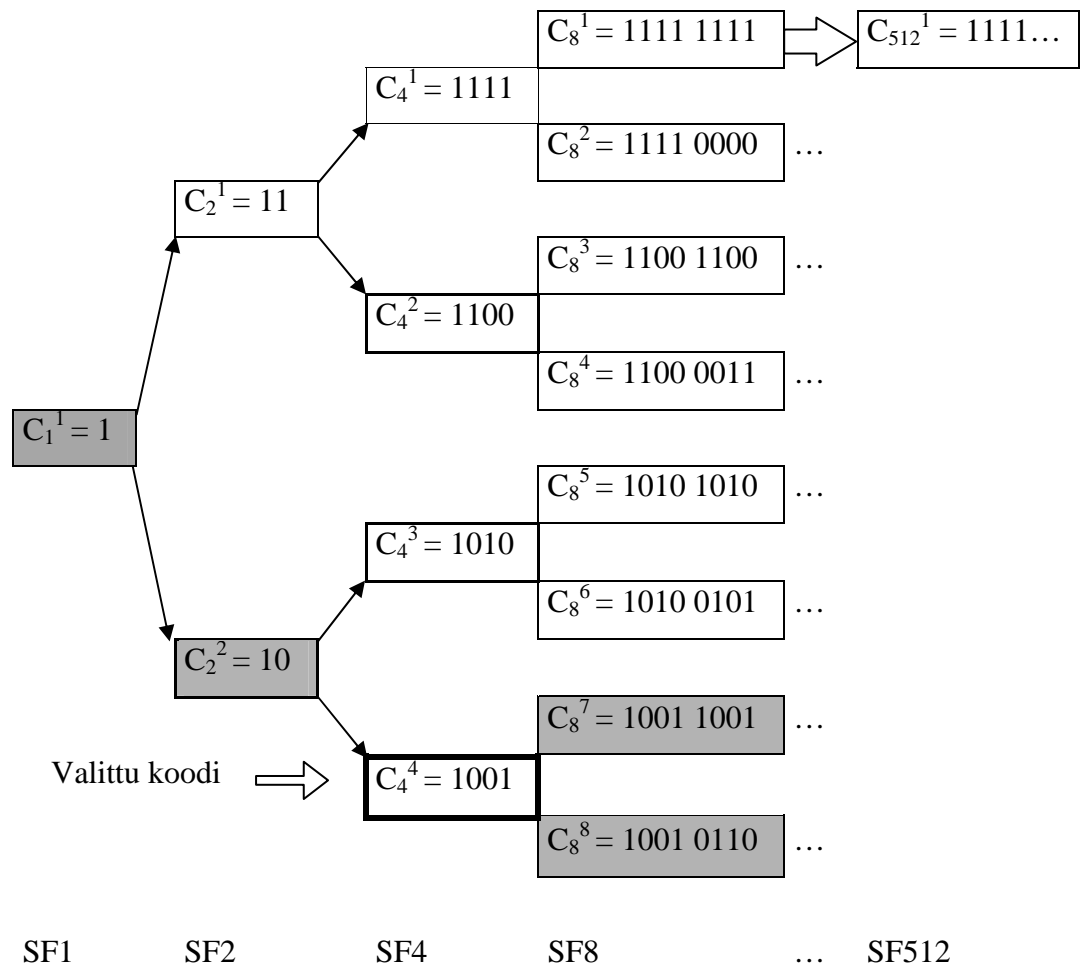
$$V_c = \{1, -1\}$$

Tämän pohjalta saadaan muodostettua OVVSF-koodipuu (kuva 5).



Kuva 5 OVVSF-koodipuu

Aiemmin todettiin OVVSF-koodien olevan ortogonaalisia. Tämä ei tosin pidä paikkaansa saman haaran koodien kesken, sillä kukin koodi on johdettu edellisestä, ja sisältää tällöin osia siitä. Siksi valittaessa jokin koodi sen haaran muiden koodien käyttö estetään siksi ajaksi, kun se on käytössä. Kuvassa 6 on esitettyä alkua DL-suunnan koodipuusta, jossa koodeja on siis 4 ... 512. Estetyt koodit on esitetty tummennettuina.



Kuva 6 OVSF-koodipuu, DL-suunta

6.1.3 Koodien esto ja vaihto

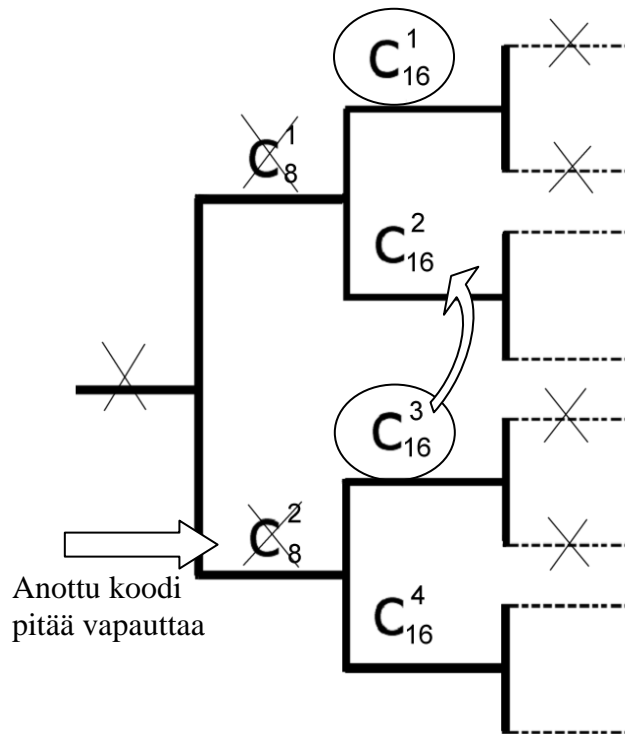
Koodien esto on ongelma, sillä se heikentää spektritehokkuutta jopa 25 %. Jos käyttäjille varatut koodit on valittu siten huonosti, ettei vapaita koodeja enää ole jäljellä, on uutta yhteyttä pyytävä käyttäjä hylättävä, vaikka solussa vielä kapasiteettia olisikin. Koodipuuta ajatellen jo neljä käyttäjää saa kaikki muut koodit estotilaan varaamalla lyhimmit mahdolliset koodit kolmannelta tasolta (SF4). 5 MHz:n kaistalle ei tosin mahdu neljää tämän tasoista yhteyttä, mutta syy tähän selviää seuraavissa osioissa.

Suurella todennäköisyydellä solussa on useimmiten enemmän kuin muutama käyttäjä. Siispä vaikka muutama käyttäjä olisikin päässyt varaamaan koko

kaistan, pitää muidenkin maksavien asiakkaiden saada yhteytensä. Tilaa muille saadaan määräämällä jo käynnissä oleville yhteyksille vapaa koodi koodipuun saman tason eri kohdasta (kuva 7) tai pidempi alemmalta tasolta, jolloin koodeja vapautuu. Koska OVSF-koodin pituudella voidaan vaikuttaa yhteyden datanopeuteen (selitetty kappaleessa 6.1.4) ja koska liikennenopeudet ja käyttäjämäärät saavat muuttua UMTS:ssä 10 ms:n välein (joka on 38400 chipin kesto), uusia koodeja pitää määrätä todella usein.

Koodien uudelleenvalinta luo jo sinällään paljon liikennettä. Uudet koodit jaetaan RRC-viesteillä (*Radio Resource Control*), joita kuljettaa neljä SRB:tä (*Signaling Radio Bearers*). SRB-yhteyksien yhteenlaskettu maksiminopeus on 3,4 kbps. Näiden vastuulla on myös monia muita tehtäviä, kuten solun vaihdot ja QoS-parametrien neuvottelut. Jos tarpeen tullen SRB onkin täysin kuormitettuna eikä kykenekään lähettämään RRC:tä tilan saamiseksi uudelle käyttäjälle, on kyseinen käyttäjä pakko asettaa jonoon tai evätä sen yhteys. Edelleen verkon ruuhkautuessa entistä enemmän koodien vaihdoksia tarvitaan, jolloin enemmän uusia käyttäjiä joudutaan hukkaamaan, kun SRB:t eivät ole vapaana.

OVSF-koodien jakamisessa pitää siis olla hyvin suunnitellut algoritmit. Kuvassa 7 on valittuna koodit C_{16}^1 ja C_{16}^3 . Joko ne on alun alkaen huonosti valittu, tai tilanne on syntynyt muiden käyttäjien sulkiessa yhteytensä. Nyt uusi käyttäjä pyytää SF8:lla itselleen kaistaa, mutta C_8^1 sekä C_8^2 ovat kumpikin estotilassa. Oletetaan myös, että muut sen tason koodit on varattu tai estetty. Siispä antamalla C_{16}^3 :n käyttäjälle uudeksi koodiksi C_{16}^2 saadaan vapautettua C_8^2 uudelle käyttäjälle.



Kuva 7 Koodin uudelleenvalinta

Nyt tiedämme, *millaisia* kanavointikoodeja meillä on käytössämme, mutta emme vielä sitä, *mitä* niistä tulisi milloinkin käyttää ja *miten* niitä käytetään. Näistä ensimmäiseen kysymykseen vastaavat kuvan 6 alalaidan merkinnät SF1 ... SF512. Nämä ovat nimeltään levityskertoimia.

6.1.4 Levityskerroin

Tilaajalaitteen käyttäjä generoi erisuuruisia määriä dataa käyttämänsä palvelun mukaan (puhelu, sähköposti, Internetin selailu jne.), jolloin bittinopeus vaihtelee. Tukiasemalle lähetettävän nopeuden tulee kuitenkin aina olla 3,84 Mcps. Siispä käyttäjän data levitetään koko kaistalle sopivan pituisella OVFS-koodilla. Sen pituuden kertoo levityskerroin, lyhyemmin SF (Spreading Factor).

Tästä kertoimesta saadaan selville seuraavat tiedot:

- moniko kertaiseksi määräksi bittejä lähetettävän datan bitit pitää kertoa
- miltä koodipuun tasolta levityskoodi valitaan
- montako bittiä levityskoodi sisältää

SF saadaan selville seuraavasta kaavasta, jossa chip-nopeus W on radiotielle lähetettävän levitetyn signaalin nopeus 3,84 Mcps ja bittinopeus R on kantataajuudella olevan käyttäjän mukaan vaihteleva datanopeus.

$$SF = \frac{W}{R} \quad (3)$$

Esim. 1. Data-nopeus on 15 kbps. Mikä on levityskerroin?

$$\frac{W}{R} = \frac{3840k}{15k} = \underline{\underline{256}} \quad (4)$$

Esim. 2. Data-nopeus on 960 kbps. Mikä on levityskerroin?

$$\frac{W}{R} = \frac{3840k}{960k} = \underline{\underline{4}} \quad (5)$$

Vaikka UL-suunnassa datanopeus pitää sovittaa SF:llä joka 10 ms:n kehyksen välein, DL-suunnassa ei näin toimita (poikkeuksena DSCH-kanava). Tukiasema joko sovittaa datanopeutensa sopivaksi tai käyttää epäjatkovaa lähetystä. Jälkimmäisessä näistä se sammuttaa lähetyksensä, kun ei ole mitään lähetettävää.

Taulukossa 5 on eri levityskertoimilla saavutetut datanopeudet.

Taulukko 5 Levityskertoimet ja niitä vastaavat datanopeudet

Levityskerroin SF	Bittinopeus (kbps)	Symbolinopeus (kbps)
4	1920	960
8	960	480
16	480	240
32	240	120
64	120	60
128	60	30
256	30	15
512 (vain DL)	15	7,5

6.1.5 Kaistanvaraus levityskertoimella

Todellisuudessa levityskertoimen mukaista OVFS-koodia ei valita pelkästään käyttäjän tuottaman datanopeuden perusteella, vaan tähän vaikuttaa voimakkaammin vapaana oleva kapasiteetti. Käyttäessään datapalvelua käyttäjä tietysti valitsisi suurimman mahdollisen nopeuden, mutta tähän ei ole mahdollista. Siispä kaistanvaraus tapahtuu siten, että tilaajalaitte anoo SF:llä (*BoD, Bandwidth on Demand*) kaistaa, mutta päätöksen siitä, kuinka paljon sitä myönnetään, tekee verkko.

Jos tukiasema voi, se myöntyy käyttäjän kaistanvaraukseen, mutta mikäli uudelle käyttäjälle ei ole enää tilaa, pudottaa verkko yhden tai useamman käynnissä olevan yhteyden nopeutta. Tämä tapahtuu lähettämällä tilaajalaitteille uudet pidemmät OVFS-koodit. Tässä tulee huomioida, että tässä puhutaan kapasiteetin riittävydestä, ei koodien riittävydestä, kuten aiemmassa kappaleessa 6.1.2. Silti uusien käyttäjien sovitukset kaistalle tehdään koodien vaihtamalla. Vastaavasti kun käyttäjä sulkee yhteytensä, vapautuu pala kapasiteetista, joka pitää jakaa sitä tarvitseville käyttäjille. Taulukosta 6 käyvät ilmi erikokoisten solujen suurimmat datanopeudet. Siinä pikosolu tarkoittaa lähinnä sisätiloja ja muut ovat erikokoisia ulkotiloja pienemmästä isompaan. Kuvassa 8 taas on esimerkki kaistanvarauksesta.

6.1.6 Prosessointivahvistus

Levityskerroin ilmoittaa meille myös prosessointivahvistuksen (processing gain) suuruuden.

$$\text{Prosessointivahvistus} = 10 \log \left(\frac{W}{R} \right) [dB] \quad (6)$$

Lasketaan edeltävien esimerkkien 1 ja 2 prosessointivahvistukset.

$$\text{Esim. 1: } 10 \log (256) = 24 \text{ dB} \quad (7)$$

$$\text{Esim. 2: } 10 \log (4) = 6 \text{ dB} \quad (8)$$

Siispä suuremmalla SF:llä, ts. pienemmällä nopeudella, saadaan korkeampi vahvistus, jolloin kyseisessä yhteydessä esiintyy vähemmän virheitä. Esimerkin 2 tapauksen virheherkkyyden parantamiseksi lähetystehon pitäisi olla korkeampi, herkkyuden parempi, tai data-nopeutta pitäisi laskea. Ensimmäinen näistä vaihtoehdoista pitää heti sulkea pois, sillä WCDMA:ssa tehonsäädön on oltava tarkalleen kohdallaan, ettei se peitä muita yhteyksiä alleen. Herkkyyttä taas on parannettu tilaajalaitteissa jo huomattavasti vastaavista 2G-malleista. Antennitkin on tuotu taas esiin. Siispä prosessointivahvistus on erittäin tärkeä verkon toiminnalle.

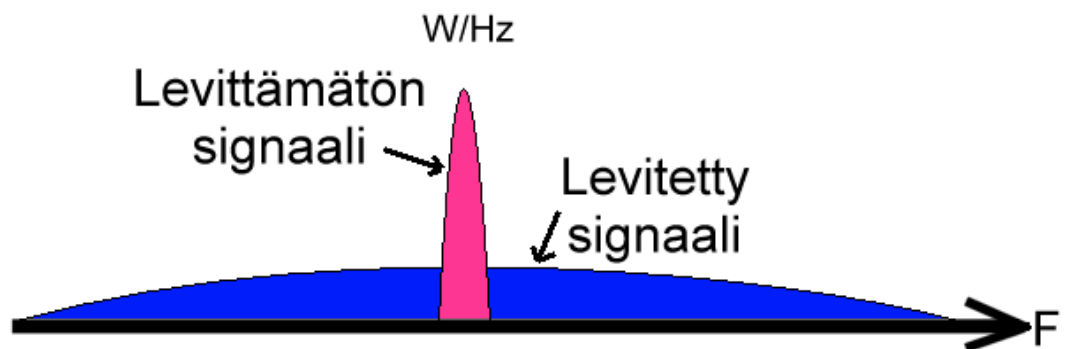
Toisin kuin 2G-verkot, UMTS on täysin kohinarajoitteinen verkko, eli vain kohinan määrä ratkaisee samanaikaisten yhteyksien määrän. Solun kukin yhteys nostaa yhtä paljon kohinatasoa, oli se sitten nopea tai ei. Kun yhteyksiä on paljon, kohinaa on paljon, jolloin prosessointivahvistusta tarvitaan lisää, jotta signaali olisi riittävän voimakas. Prosessointivahvistuksen lisäämiseksi pitää ottaa käyttöön isompi levityskerroin eli pidempi koodi, mikä siis tarkoitti nopeuden vähentämistä. Täten voidaan todeta, ettei suurikuormaisessa solussa päästä korkeisiin dataliikennenopeuksiin 2x5 MHz:n kaistalla. Suurta kapasiteettia vaativiin soluihin voidaankin siis ottaa käyttöön useita 2x5 MHz:n

kaistoja. Täten pienimmissä soluissa, joissa oletettavasti on vähiten käyttäjiä, päästään verkon huippu-nopeuksiin. Lopulta kun kohinataso nousee liian korkeaksi, ts. kun signaalikohinasuhde E_b/N_o laskee liikaa, tukiasema ei voi enää hyväksyä uusia puheluita tai datayhteyksiä, vaan ne evätään. Possin [2] mukaan suurin puheyhteyksien määrä 2x5 MHz:n kaistalla on n. 196 kpl, kun SF on 256 (UL, AMR 7,95 kbps), ja n. 98 kpl, kun SF on 128 (UL, AMR 12,2 kbps).

Nyt tiedämme, *millaisia* kanavointikoodeja meillä on käytössämme, ja *mitä* niistä tulisi milloinkin käyttää, mutta emme vielä, *miten* niitä käytetään. Seuraava kappale valaisee tätä.

6.1.7 Levitys

Levitys tarkoittaa signaalin kaistanleveyden lisäämistä. Tarkalleen ottaen levitys (kuva 9) koostuu kahdesta operaatiosta: kanavoinnista ja sekoituksesta, vaikkei sekoitus itse asiassa levitä koodia. Tässä tarkastellaan levitystä kanavointikoodilla ja sekoitusta vasta myöhemmin.



Kuva 9 Signaalin spektrikuva leviää kanavointikoodilla levitettäessä

Kanavoinnin pääperiaate on, että kun käyttäjän data kerrotaan tietyllä OVFSF-koodilla, lähetetään ja vastaanottopäässä kerrotaan samalla OVFSF-koodilla, saadaan selville alkuperäinen käyttäjän data. Tämä voidaan ajatella toteuttavan kahdella eri tavalla.

Tapa 1:

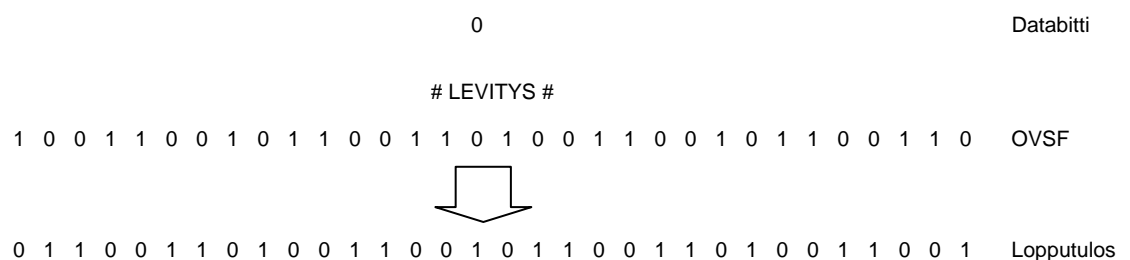
Kun signaalitilat mielletään loogisiksi digitaalisiksi 1- ja 0-tiloiksi, käytetään Boolean algebran NXOR:ia. Muistin virkistykseksi alla ovat XOR:n ja NXOR:n totuustaulukot (taulukko 7). XOR-operaatio on siis Boolean algebran kertolaskua, josta puuttuu carry-bitti, jolloin $1 * 1 = 0$. Tätä tapaa on esitelty kuvan 10 esimerkissä.

Taulukko 7 XOR:n ja NXOR:n totuustaulukot

a	b	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

a	b	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Levityksessä jokainen lähetettäväksi tahdottu bitti kerrotaan kaikilla OVFS-koodin chipeillä. Jos kerrottava databitti on 1, NXOR:n sääntöjen mukaan, lopputulokseksi tulee OVFS-koodi itsessään, mutta jos databitti on 0, lopputulos on kyseisen koodin inverssi. Alla olevassa kuvassa 10 on databitti 0 levitetty 32 chipin pituisella OVFS-koodilla. SF on tällöin 32. Lopputulos on se, mikä lähetetään radiotielle.

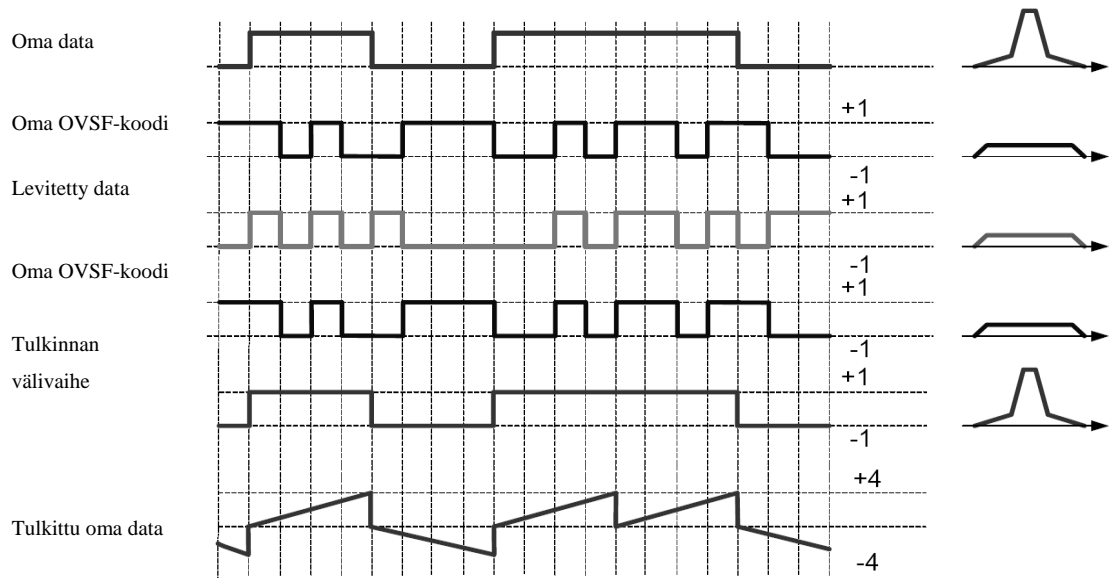


Kuva 10 Yhden bitin levitys 32 chipiksi

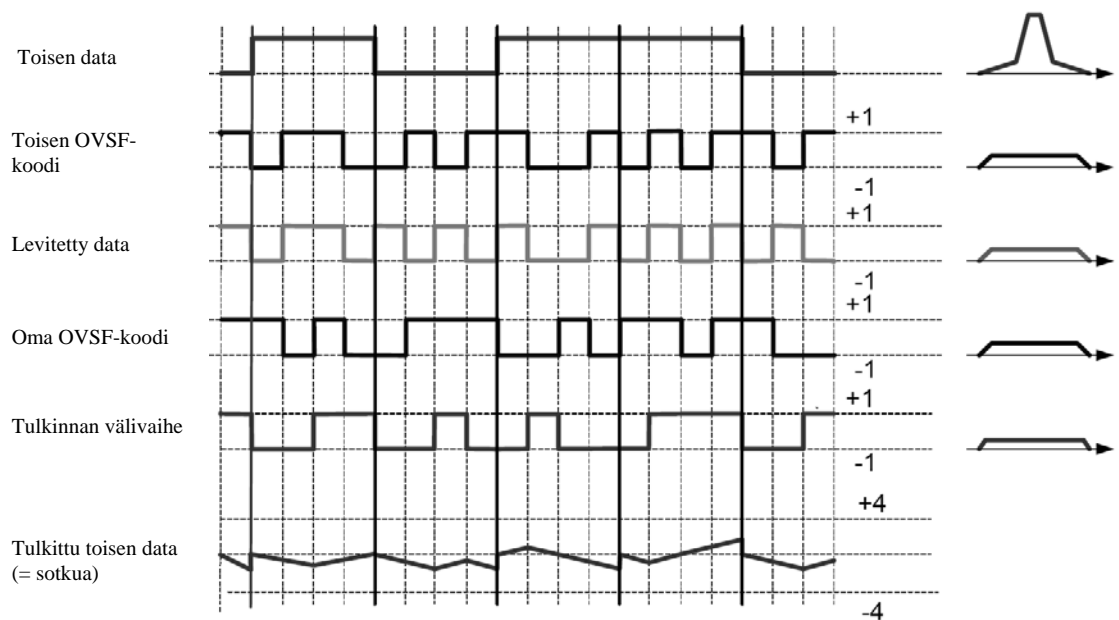
Tapa 2:

Kun looginen signaalitila $1 = 1$ ja $0 = (-1)$, voidaan käyttää normaaleja kertolaskun sääntöjä eli $1 * 1 = 1$ ja $1 * (-1) = -1$ ja $(-1) * (-1) = 1$. Alla olevissa kuvissa on käytetty tätä tapaa. Kuvat 11 ja 12 selventävät edelleen kanavointikoodeilla levitystä. Kuva 11 osoittaa, miten levitys ja tulkinta tapahtuvat, kun datasiinaali kulkee oikealle henkilölle. Tulkitun signaalin

amplitudi näkyy kasvavan nelinkertaiseksi muihin signaaleihin nähden, eli SF on 4. Kuva 12 taas esittää tilanteen, jossa vastaanotetaan jonkun muun datasiignaali.



Kuva 11 Oman datan levitys, lähetys ja sen tulkinta /6/

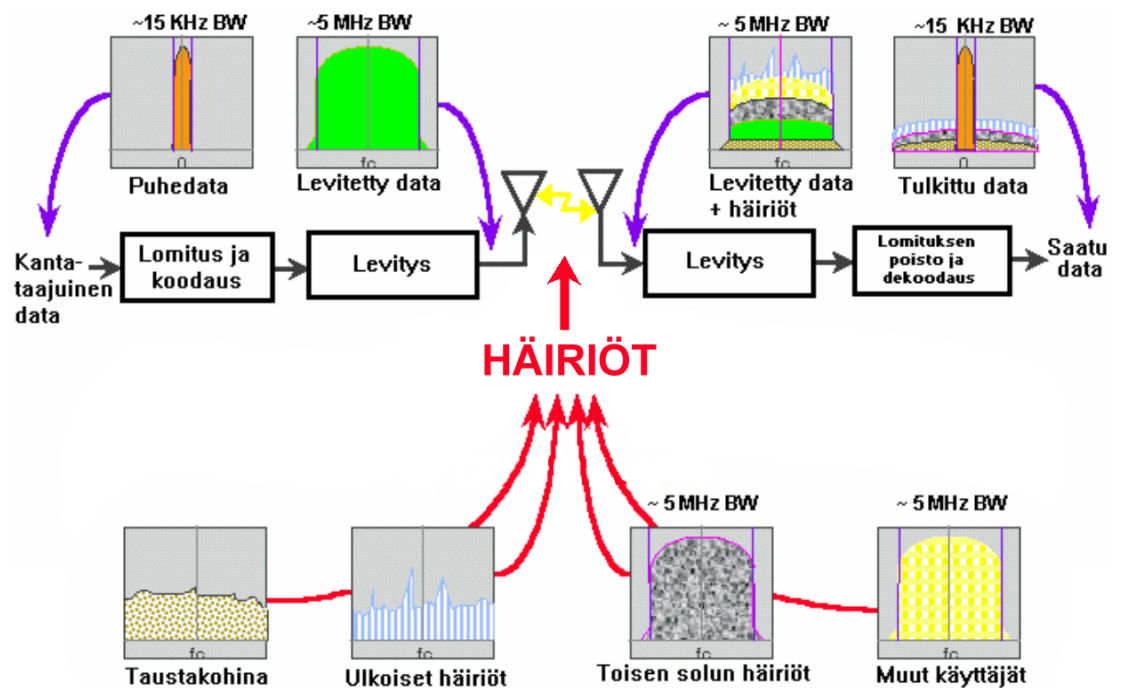


Kuva 12 Jonkun muun datan levitys, lähetys ja sen tulkinta /6/

Tästä esimerkistä huomataan, kuinka väärällä koodilla signaalia tulkittaessa ei saada järkevää dataa ulos, vaan ulostulo on lähellä nollaa ja näyttää kohinalta. Ilman oikeaa levityskoodia on siis käytännössä mahdotonta saada selville

käyttäjän dataa. Tästä johtuen informaatioturvallisuus on erittäin hyvä. Siitä huolimatta käytössä on monia GSM:ään pohjautuvia salausmetodeja.

Kuva 13 antaa vielä toisen graafisen näkemyksen siihen, miten hyvin levitys auttaa suodattamaan juuri halutun signaalin muiden signaalien ja häiriöiden seasta. Vaikka muita häiriöitä summautuu oman signaalin kanssa, vastaanottimen korrelaattori saa sen palautettua kapeakaistaiseksi piikiksi. Tämän jälkeen kapeakaistaisella suodattimella on helppo poistaa ylimääräiset häiriöt.



Kuva 13 Yhteenveto levityksestä ja häiriönsiedosta /2/

6.2 Sekoituskoodit

Kanavointikoodaus on ensimmäinen aste signaalin levityksestä, ja tämän jälkeen se kerrotaan sekoituskoodilla. Yhdessä kanavointikoodin kanssa sekoituskoodi muodostaa levityskoodin, vaikkei se sananmukaisesti levitä taajuuskaistaa. Sekoituskoodilla on aivan muu käyttötarkoitus.

Jotta OVFSF-koodeilla voitaisiin erotella signaaleita, sen on oltava synkroninen pysyäkseen ortogonaalisena. OVFSF-koodeilla saadaan kyllä eroteltua käyttäjät DL-suunnassa, mutta tukiasemat eivät kuitenkaan ole synkronisia tässä suunnassa (poikkeuksena TDD), eivätkä tilaajalaitteet UL-suunnassa. OVFSF ei siis yksinään riitä erottelemaan tilaajalaitteita (UL), eikä tukiasemia (DL), koska ilman synkronointia signaalit voivat häiritä toisiaan. Siksi jokaisen kanavointikoodipuun päällä käytetään aina yksilökohtaista sekoituskoodia.

Näillä yksilöidään siis tilaajalaitteet ja solut. Tämän ansiosta solu ei häiriinny toisten solujen liikenteestä. Se siis tietää, ettei se kuulu ”minulle”. Sekoituksen vuoksi voidaan viereisissä soluissa käyttää juuri samoja levityskoodeja.

Sekoituksessa käytetään PN-koodeja (*Pseudo Noise*). Tässä sen tärkeimpiä ominaisuuksia:

- kolme PN-koodia: yksi pitkä koodi (=Gold koodi) ja kaksi lyhyttä [S(2)]
- pitkä koodi pituudeltaan 38400 chipiä ja lyhyt 256 chipiä
- pitkä koodi luodaan yhdistämällä siihen sen viivästetty kopio
- lyhyt koodi luodaan yhdistämällä kaksi koodia
- valesatunnaisia, eli kohinan kaltaisia, eli ykkösiä ja nolliä yhtä monta
- koodien määrä UL-suunnassa $2^{24} = 16\,777\,216$ kpl
- koodien määrä DL-suunnassa 512 primaarikoodia ja 15 sekundaarista per primaarikoodi
- ei levitä signaalia
- hyvät autokorrelaatio-ominaisuudet (lähes ortogonaalinen)

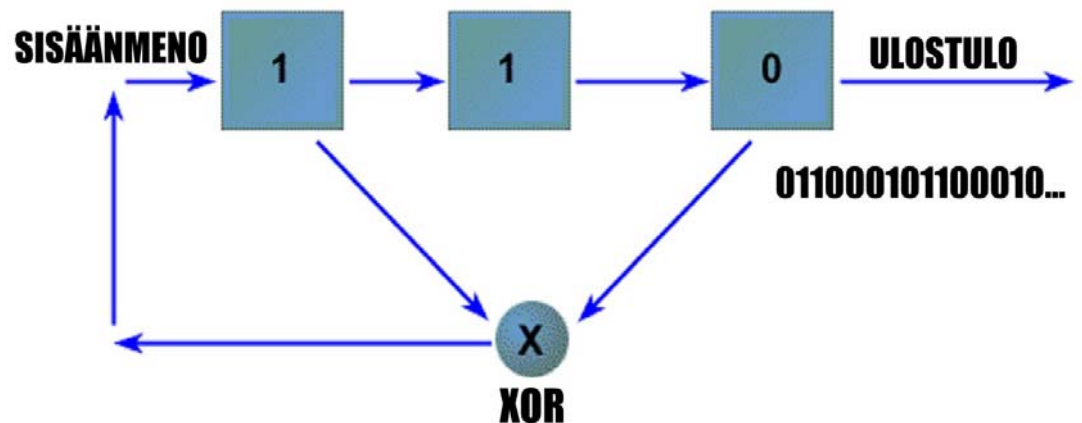
Sekoitus UL-suunnassa

UL-suunnassa voidaan käyttää joko pitkää tai lyhyttä sekoituskoodia. Pitkää koodia käytetään, jos tukiasema käyttää Rake-vastaanotinta. Koska koodeja on lähes 16,8 miljoonaa, koodisuunnittelua ei juuri tarvita.

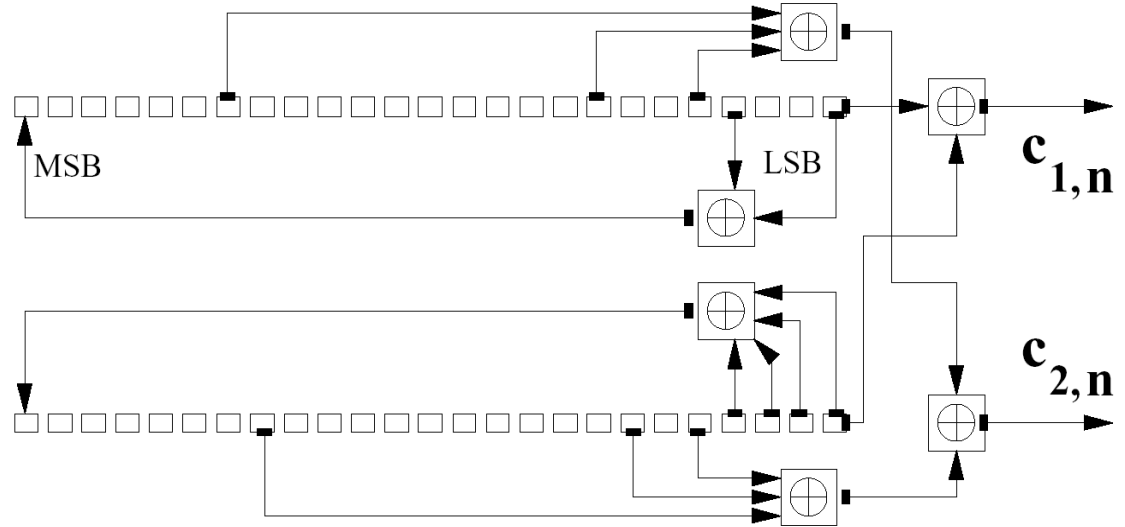
Sekoitus DL-suunnassa

DL-suunnassa käytetään pelkästään pitkiä koodeja, joilla tukiasemat yksilöidään. Vaikka koodeja on vain murto-osa lyhyiden koodien määrästä, ei se tuottane ongelmia verkkosuunnittelussa. Jos koodit on jaettu järkevästi tukiasemille, ei edes tiheimmin asuttu metropoli vaadi niin montaa tukiasemaa (yli 512) niin lähekkäin, että samaa koodia käyttävät tukiasemat kuulisivat toisensa. Onneksi suunnittelussa ovat apuna tietokoneohjelmat.

PN-koodit luodaan eripituisilla siirtorekistereillä. Kuvassa 14 on lyhin koodin tuottava siirtorekisteri. Se koostuu kolmesta asteesta, joista ensimmäinen ja kolmas syötetään XOR-operaation kautta takaisin syöttöön. Koodin pituus $N = 2^{\text{asteiden määrä}} - 1$ eli tässä saadaan seitsemän bitin toistuva kuvio. Kuvassa 15 taas on järjestelmä, jolla todellisuudessa luodaan UL-suunnan pitkät sekoituskoodit. Siinä on käytössä kaksi 25-asteista siirtorekisteriä, jotka aina alussa alustetaan oikeaan arvoon. XOR-operaatioita on kuusi, jotka syöttävät joko ensimmäistä astetta, kuten kuvassa 14:stakin, tai toisiaan.



Kuva 14 Koodin luonti siirtorekisterillä



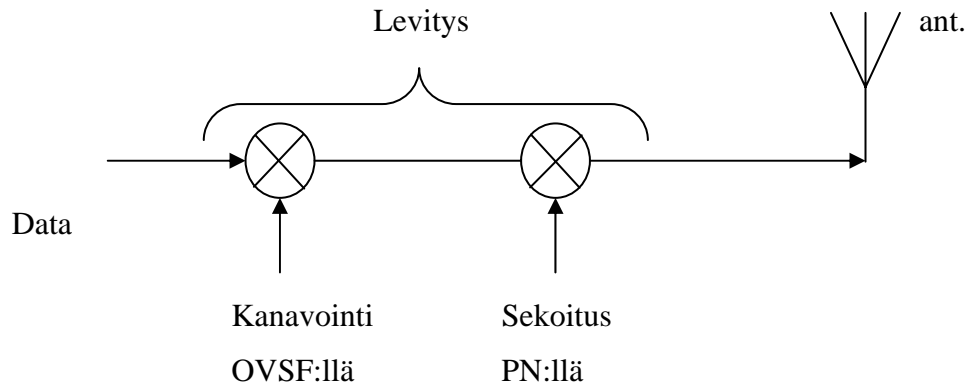
Kuva 15 UL-suunnan sekoituskoodin luonti /4/

Matemaattisesti sekoituskoodit luodaan seuraavasti. Sekoituskoodi \underline{v} $\underline{v} = (v_1, v_2, \dots, v_{16})$. Kompleksisten sekoituskoodien tekijät v_i ; $i = 1, \dots, 16$ otetaan kompleksisesta joukosta $\underline{V}_{\underline{v}} = \{1, i, -1, -j\}$, jossa j merkitsee imaginaariyksikköä. Kompleksinen sekoituskoodi \underline{v} luodaan binaarisista sekoituskoodeista $\underline{v} = (v_1, v_2, \dots, v_{16})$. Termien \underline{v} ja v yhteys on:

$$\underline{v}_i = (j)^i \cdot v_i \quad v_i \in \{1, -1\}, \quad i = 1, \dots, 16 \quad (9)$$

Kompleksisen \underline{v} sekoituskoodin \underline{v}_i tekijät ovat siis vuoroin reaalisia ja imaginaaria.

Pitkän koodin 512 eri muunnelmia on jaettu 64 koodin ryhmiin, joissa kussakin on siis kahdeksan koodia. Tämä nopeuttaa synkronointia, kuten seuraavassa kappaleessa tullaan huomaamaan. Kuvassa 16 on vielä yhteenvedona lähetystä edeltävät signaalin käsittelyn vaiheet.



Kuva 16 Signaalin käsittely ennen lähetystä

6.3 Synkronointikoodit

Koska WCDMA:n tukiasemat toimivat asynkronisesti, ei synkronointia GPS-satelliiteilta tarvita. Tämä helpottaa tukiasemien sijoittelua sisätiloihin ja muihin vastaaviin hankaliin paikkoihin.

TDD-WCDMA saa synkronoinnin primaarisynkronointikanavasta (P-SCH), sekä sekundaarisynkronointikanavasta (S-SCH). Näitä kanavia ei levitetä OVSF-koodeilla, eikä sekoiteta PN-koodeilla, vaan niiden levityksessä käytetään synkronointikoodeja. Kummallekin kanavalle on omansa: primaarikoodi ja sekundaarikoodi.

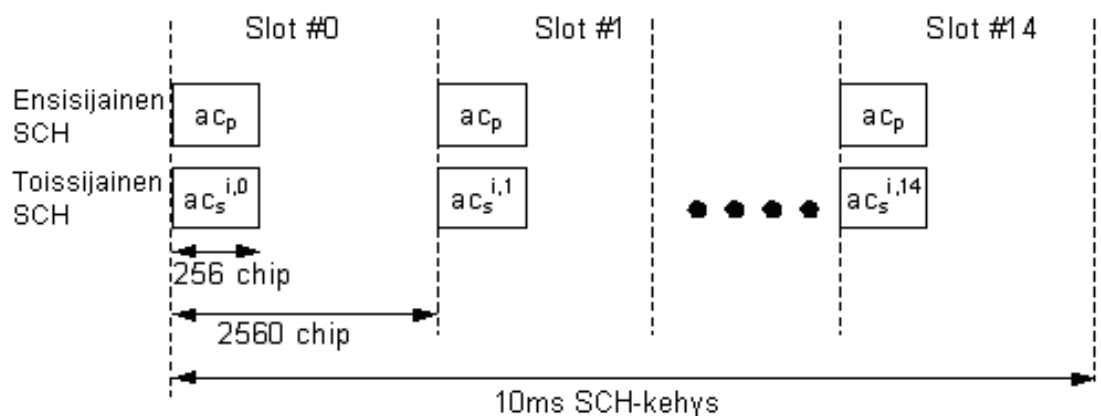
Primaarikoodi on sama joka solussa. Se rakennetaan 16 chipin paloista, on pituudeltaan 265 chipiä, ja se lähetetään joka aikavälin ensimmäisten 256 chipin aikana. Tämän avulla tilaajalaite saa aikavälisynkronoinnin tukiaseman kanssa. Tällöin tilaajalaite tietää jokaisen aikavälin alun ja lopun, mutta ei sitä, missä aikavälissä sen itsensä pitäisi olla, eikä myöskään kehysten rajoja. Tässä auttaa S-SCH.

Toisin kuin primaarikoodit, sekundaarikoodit vaihtelevat solusta toiseen. Niitä on 16, joista lähetetään yksi jokaisen aikavälin 256 ensimmäisten chipien aikana.

Näillä 16 koodilla luodaan 64 erilaista koodia, jotka osoittavat käytettävän sekoituskoodiryhmän, joita on siis myös 64 ja jokaisessa kahdeksan koodia, kuten jo aiemmin on mainittu. S-SCH-koodit asetellaan siten, että kun tilaajalaite on käynyt sekvenssin läpi, se tietää sekoituskoodiryhmän. Tämän selvitettyään se pystyy päättämään, millä synkronointikoodilla kehys alkaa, jolloin se on saanut aikaväli- ja kehysynkronoinnin.

Nämä sekoituskoodiryhmät kertovat myös millä sekoituskoodilla tukiasema tunnistetaan. Kun tilaajalaite on saanut kehysynkronoinnin, se siis tietää sekoituskoodiryhmän, jolloin jäljelle jää kahdeksan sekoituskoodia. Näistä kahdeksasta tilaajalaite selvittää oikean yrittämällä dekodata jokaisen kanssa yleistä pilot-kanavaa CPICH (*Common Pilot Channel*) kunnes onnistuu. Selvitettyään oikean sekoituskoodin, se voi lukea tarvittavat tiedot informaatio-kanavalta BCH saadakseen tarkemman ajastuksen. Tämän jälkeen se voi jäädä seuraamaan P-CCPCH -ohjauskanava (*Primary Common Control Physical Channel*).

Näin laaja synkronoinnin etsiminen tulee tosin kyseeseen vain kun tilaajalaitteeseen kytketään virrat tai kun siirrytään peittoalueelle. Todennäköisesti tilaajalaitteella olisi jo tietoa soluista, eikä edellä mainituista toimenpiteistä tarvitsisi suorittaa kaikkia. Kuvassa 17 on synkronointikanavan rakenne.

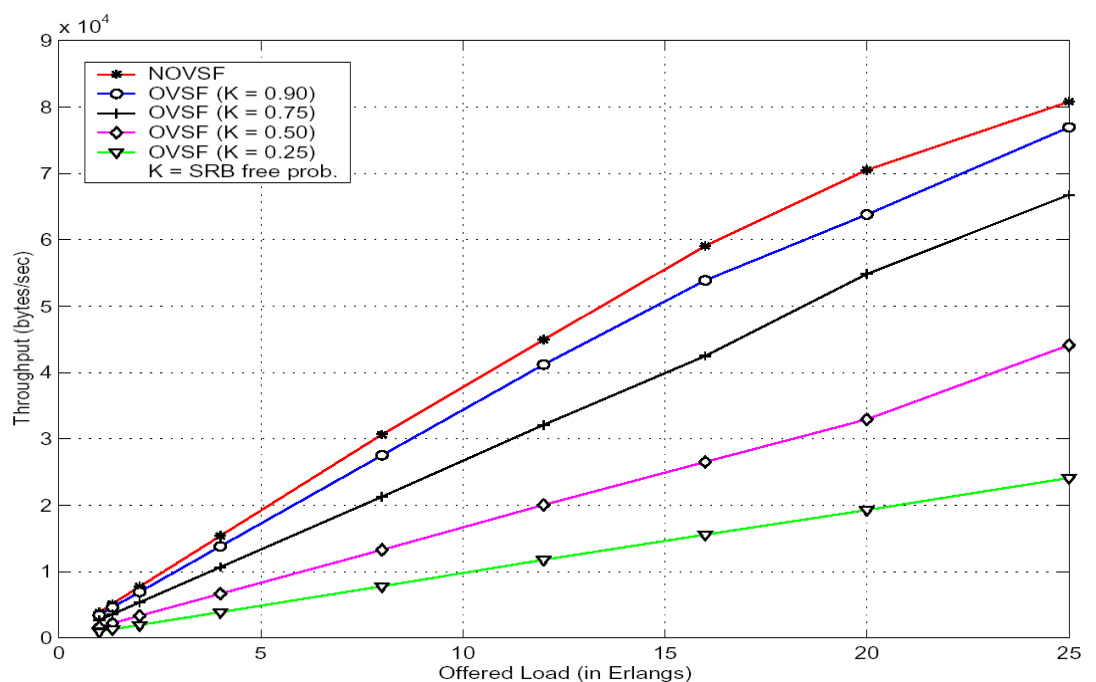


Kuva 17 Synkronointikanavan rakenne /4/

7 NOVSF-koodit /5/

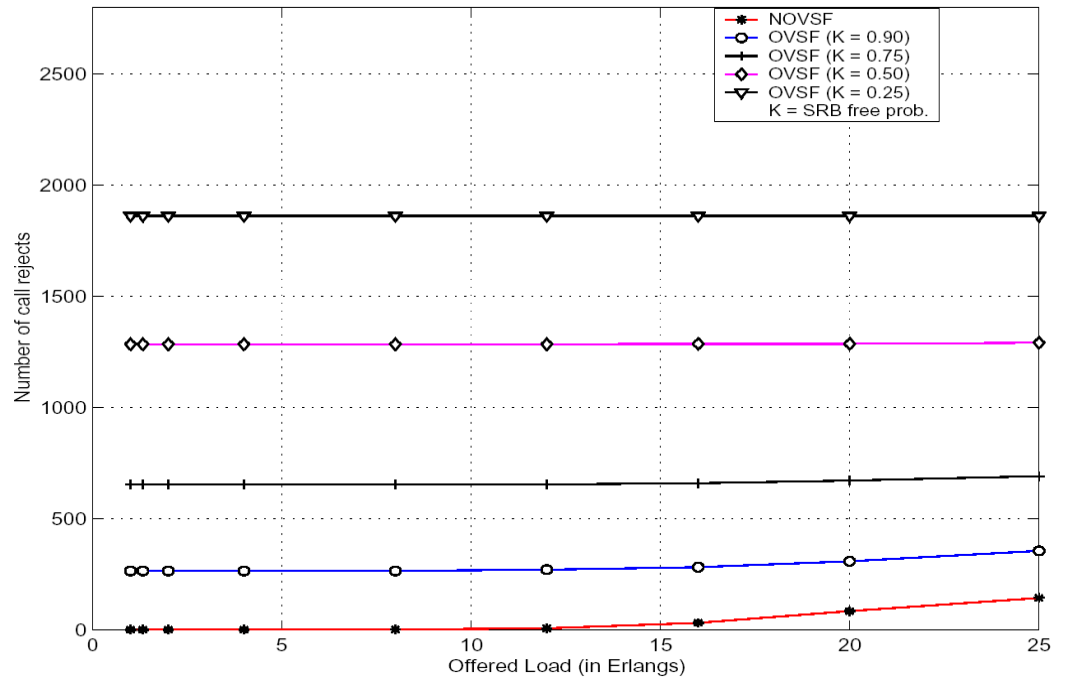
Kappaleessa 6.1.3 puhuttuun koodien estosta johtuvaan koodien uudelleenvalintaan on etsitty parannusta maailmalla. Apuna kooditehokkuuden parannukseen ja koodien vaihdon luomaan lisäkuormaan olisi Hasan Çamin, Arizonan yliopiston apulaisprofessorin, mukaan NOVSF-koodit (nonblocking OVSF). Nämä koodit ovat kaikki ortogonaalisia keskenään, mutta mikään niistä ei käytössä ollessaan estä toisen käyttöä. Yksi hänen julkaisuissaan esittelemistään koodityypeistä ovat aikajakoiset koodit.

Aikajakoisissa koodeissa käytetään vain yhtä tasoa koodipuusta, jolloin kaikki koodit ovat ortogonaalisia, eikä mikään aseta toista estotilaan. Kukin koodi jaetaan ajan suhteen kanaville, jolloin koodi voi olla käytössä monella kanavalla samanaikaisesti. OVSF-koodin aikavälit voidaan asettaa kiinteäksi tai se voi perustua muuttujaan, jolloin tämä arvo on ilmoitettava vastaanottajalle. Otetaan esimerkiksi SF8 tasoinen koodi ja jaetaan se 64 aikaväliin. Tällöin yksi aikaväli vastaa SF512 tasoista koodia ($8 \cdot 64 = 512$). Samoin kuin 2G:ssäkin, nopeampi yhteys saadaan useamman aikavälin käytöllä. Kaikkien 64 aikavälin käyttö johtaisi SF8 mukaiseen nopeuteen.



Kuva 18 Suoritusnopeus NOVSF- ja OVSF-koodeilla kuorman kasvaessa

Kuvassa 18 on simuloitu NOVSF- ja OVSF-koodien vaikutusta verkon suoritustehoon (y-akseli) kuorman kasvaessa (x-akseli). OVSF-koodeille on laskettu eri todennäköisyyksiä, joilla jokin SRB:istä on vapaa lähettämään uuden koodin RRC-viestillä. Muuttuja K ilmoittaa tämän todennäköisyyden.



Kuva 19 Puheluiden hylkäykset NOVSF- ja OVSF-koodeilla kuorman kasvaessa

Kuvasta 19 näkyy, kuinka paljon vähemmän puheluita joudutaan hylkäämään NOVSF-koodeilla kuin OVSF-koodeilla kuorman kasvaessa. Muuttuja K ilmoittaa todennäköisyyden, jolla SRB on vapaana. Hasan Çam on myös tutkinut nouseeko kohinataso NOVSF-koodien myötä. Simulaatiot osoittivat, että samalla kuormalla kohinataso ei ole sen suurempi, kuin mitä se on OVSF-koodeilla.

Liitteessä 1 on yhteenveto koodeista.

8 KORRELAATIO

Kuten aiemmin on jo mainittu, kanavointikoodeilla on hyvät ristikorrelaatio-ominaisuudet ja sekoituskoodeilla on hyvät autokorrelaatio-ominaisuudet. Nämä seikat on parasta selvittää perusteellisesti esimerkkien avulla.

8.1 Autokorrelaatio

Autokorrelaatio tarkoittaa samankaltaisuuksien tutkimista vertaamalla koodia sen eri viivästettyihin kopioihin.

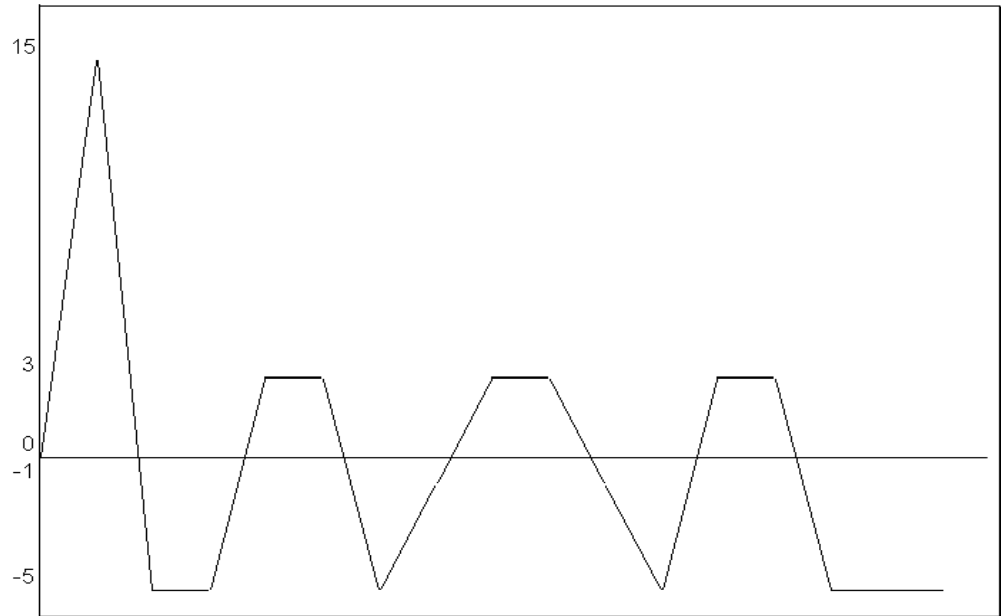
Otetaan 15-bittinen PN-koodi 001010110011011. Kun se ja sen kopio asetetaan allekkain ja niitä verrataan toisiinsa, saadaan tietenkin tulokseksi, että kaikki sen 15 bittiä ovat samoja. Mutta kun viivästetään tätä yhdellä, ei yhtäläisyyksiä enää löydy, kuten alla olevasta esimerkistä voidaan huomata. Ensimmäinen bitti on tummennettu selvyuden vuoksi.

PN-koodi	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	
1:llä viivästetty PN	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	
Samat bitit		x						x		x		x			x	= 5 kpl
Eri bitit	x		x	x	x	x	x		x		x		x	x		= 10 kpl
Tulos																5 – 10 = -5

Vastaavasti muilla viiveillä saadaan taulukon 8 ja kuvan 20 tulokset.

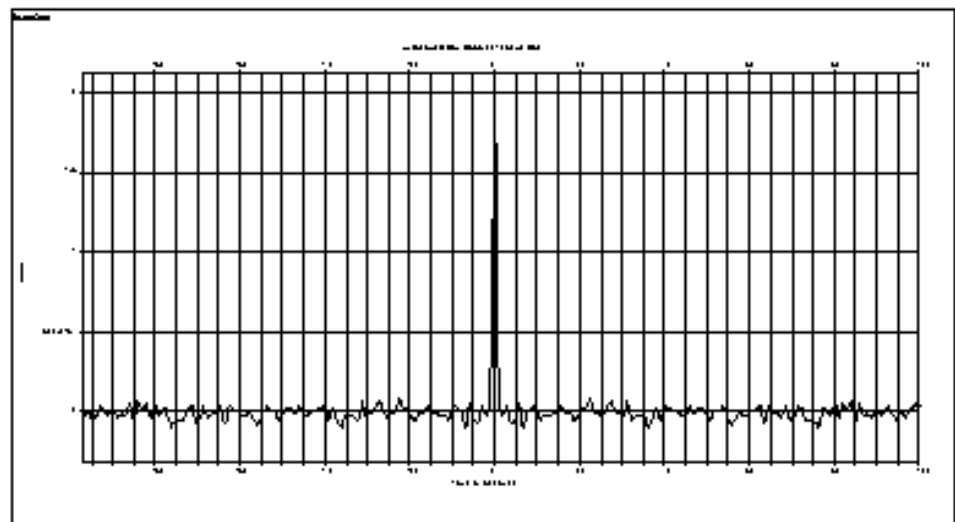
Taulukko 8 Autokorrelaation tulokset eri viiveillä

Viive	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Tulos	15	-5	-5	3	3	-5	-1	3	3	-1	-5	3	3	-5	-5



Kuva 20 Autokorrelaation kuvaaja

Kuvasta 20 nähdään, kuinka selkeästi korrelaatiopiikki erottuu jo näinkin lyhyellä koodilla. Kun PN-koodit ovat paljon pidempiä (38400 tai 256), erottuisi piikki enemmänkin kuvan 21 kaltaisesti. Tähän piikkiin on tukiaseman tai tilaajalaitteen verrattain helppo lukkiutua.



Kuva 21 PN-koodin autokorrelaatiopiikki

8.2 Ristikorrelaatio

Ristikorrelaatio taas tarkoittaa kahden eri koodin samankaltaisuuksien tutkintaa. Alla olevassa esimerkissä on laskettu kolmen OVSF-koodin ristikorrelaatiot ensin suoraan ja sitten viivästämällä kahta niistä. Koska koodien ristikorrelaatioiden tuloksiksi saadaan aina 0, ovat ne ortogonaalisia.

OVSF-koodit

1	1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	0	1	1	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0

Ristikorrelaatiot

1. vs. 2.	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	4 oikein - 4 väärin = 0
1	0	1	0	1	0	1	0											
0	1	1	0	0	1	1	0											
1. vs. 3.	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4 oikein - 4 väärin = 0
1	0	1	0	1	0	1	0											
1	1	1	1	0	0	0	0											
2. vs. 3.	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4 oikein - 4 väärin = 0
0	1	1	0	0	1	1	0											
1	1	1	1	0	0	0	0											

Nyt koodeihin 2 ja 3 lisätään viivettä ja lasketaan ristikorrelaatiot uudestaan

Koodi 2. bitin viiveellä	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0	0		
Koodi 3. 2 bitin viiveellä	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0		

Ristikorrelaatiot

1. vs. 2.	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4 oikein - 4 väärin = 0
1	0	1	0	1	0	1	0											
1	1	0	0	1	1	0	0											
1. vs. 3.	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4 oikein - 4 väärin = 0
1	0	1	0	1	0	1	0											
0	0	1	1	1	1	0	0											
2. vs. 3.	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	4 oikein - 4 väärin = 0
1	1	0	0	1	1	0	0											
0	0	1	1	1	1	0	0											

9 TULOKSET

Työn tuloksena on saatu aikaiseksi tiivistelmä UMTS:n käyttämän WCDMA:n koodeista ja niiden toiminnasta. Työ on helppolukuinen, mutta samalla informaatorikas, josta on hyötyä alaa tuntemattomille kuin myös ammattilaisille. Materiaalia etsittäessä Internetistä, kohdattiin huomattavia ristiriitaisuuksia UMTS:n ja WCDMA:n ymmärryksessä. Etenkin termien merkitykset vaihtelevat. Siksipä työssä on käytetty aikaa ja vaivaa tietojen tarkistukseen. Tiedot on varmistettu painetusta materiaalista, sekä virallisista spesifikaatioista 3GPP:n sivustolta. Myönnettävä on, että jos erittäin arvostetun tuntuiselle alan sivustolle on päässyt virhe, voi se tietysti tapahtua tässäkin työssä. Koska virallisia suomennoksia ei kaikille englanninkieliselle termeille ole, on osa suomennettu itse ja osa lainattu Internetistä. Nimet ovat melko kuvaavia ja onnistuneita.

Työssä on tutkittu koodien toimintaa ja havaittu puutteita niiden käytössä. Koodipuun koodien esto vähentää spektri-tehokkuutta jopa 25 %. Apuna tähän voisivat olla NOVSF-koodit, joiden kanssa koodien estämistä ei esiinny. Tällöin ei myöskään synny lisäkuormaa koodien vaihdosta, jolloin verkon suorituskyky lisääntyy jopa 25 %. Tästä johtuen uuden käyttäjän yhteys kielletään pienemmällä todennäköisyydellä.

Jatkossa työ on mahdollista laajentaa kattamaan esim. koko WCDMA:n toiminta. Vaikka UMTS-verkkoja on jo pystyssä, WCDMA:ta työstetään edelleen ja kehitystyötä on vielä jäljellä. Siksipä työ tulee jatkossakin olemaan hyödyllinen.

LÄHDELUETTELO

- 1 International Telecommunication Union. [WWW-dokumentti]. [viitattu 30.4.05]. Saatavissa: <http://www.itu.int>
- 2 Possi, Petri. UMTS World. [WWW-dokumentti]. [viitattu 12.4.2005]. Saatavissa: <http://www.umtsworld.com/>
- 3 3G W-CDMA Principle. [WWW-dokumentti]. [viitattu 13.3.2005]. Saatavissa: http://www.3g-generation.com/cdma_principle.htm
- 4 3GPP. [WWW-dokumentti]. [viitattu 2.5.2005]. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/>
- 5 Çam, Hasan. Nonblocking OVVSF Codes and Enhancing Network Capacity for 3G Wireless and Beyond Systems. Computer Communications, Vol 26, no. 17, s. 1907-1917. 11/2003. Saatavilla: http://www.eas.asu.edu/~hasancam/publications/novsf_codes-2003.pdf
- 6 Introduction to WCDMA. HUT. Saatavilla: http://www.comlab.hut.fi/opetus/238/lecture4_Intro_to_WCDMA.pdf

	Synkronointi-koodit	Kanavointi-koodit	Sekoitus-koodit, UL	Sekoitus-koodit, DL
Tyyppi	Gold-koodit Primary Synchronization Codes (PSC) ja Secondary Synchronization Codes (SSC)	Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF) koodit alias Walsh-koodit	Complex-Valued Gold Code Segments (pitkä) tai Complex-Valued S(2) Codes (lyhyt) Pseudo Noise (PN) koodit	Complex-Valued Gold Code Segments Pseudo Noise (PN) koodit
Pituus	256 chip	4-512 chip	38400 chip / 256 chip	38400 chip
Kesto	66.67 μ s	1.04 μ s - 133.34 μ s	10 ms / 66.67 μ s	10 ms
Koodien määrä	1 primaarikoodi / 16 sekundaarista koodia	= levitys-kerroin 4 ... 256 UL, 4 ... 512 DL	16,777,216	512 primaarikoodia / 15 sekundaarista per primaarikoodi
Levitys	Ei levitä, eikä muuta kaistanleveyttä	Kyllä, kasvattaa kaistanleveyttä	Ei levitä, eikä muuta kaistanleveyttä	Ei levitä, eikä muuta kaistanleveyttä
Käyttö-tarkoitus	tällä tilaajalaitteet paikallistavat ja synkronoituvat solun pääasiallisiin ohjauskanaviin	DL: erottaa yhteydet tilaajalaitteisiin UL: erottaa tilaajalaitteen datakanavan DPDCH ja ohjauskanavan DPCCH	päätelaitteiden erottelu	solujen erottelu