

Satakunnan ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ

Kristian Granlund

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kristian Granlund

HAJASPEKTRITEKNIIKAN KÄYTTÖ MATKAVIESTINVERKOIS-
SA

Tietotekniikan koulutusohjelma

Digitaalisen informaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto

2008

Hajaspektritekniikan käyttö matkaviestinverkoissa

Granlund, Kristian
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2008
Kulmala, Ilkka
UDK: 621.39
Sivumäärä: 62

Avainsanat: Hajaspektritekniikka, CDMA, WCDMA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella digitaalista viestintää, hajaspektritekniikkaa sekä sen sovelluksia, kuten CDMA:ta sekä sen eri standardeja. Myös kolmannen sukupolven tekniikoita tarkastellaan laaja-alaisesti. Varsinkin UMTS:n WCDMA-laajennukset, kuten HSDPA ja HSUPA, ovat tarkastelun alaisena.

Eri matkaviestinstandardit ja niiden olennaisimmat muutokset ovat tarkastelun kohteena. Myös kolmannen sukupolven tekniikat, jotka mahdollistavat suuremmat datanopeudet, niiden fyysisten kerroksien kehitysmuutokset käydään läpi.

Use of spread spectrum technology in mobile networks

Granlund, Kristian
Satakunta University Of Applied Sciences
Degree Programme of Information technology
September 2008
Kulmala, Ilkka
UDK: 621.39
Number of pages: 62

Key words: Spread spectrum technology, CDMA, WCDMA

Purpose of this thesis was to find out digital communication, spread spectrum technology and different applications, like CDMA and different standards of CDMA. Also Third Generation technology are emphasized in this thesis, especially extensions to UMTS technology, called HSDPA and HSUPA.

Different standards that relate to spread spectrum technology or directly to CDMA are also emphasized in this thesis. Third Generation technology which provide higher data speed and data capabilities, will be dealt quite thoroughly.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	12
2 MATKAPUHELINVERKOT	13
2.1 ARP	13
2.2 NMT	13
2.3 GSM	15
2.3.1 HSCSD	17
2.3.2 GPRS	18
2.3.3 EDGE	19
2.4 UMTS	19
2.5 CDMA:n ja GSM:n erot	21
3 DIGITAALINEN VIESTINTÄ	22
3.1 Digitaalisen siirron teoria	23
3.2 Tiedonsiirron koodaus	24
3.3 RAKE vastaanotin	27
3.4 Kanavan virheenkorjaavakoodaus	29
4 HAJASPEKTRITEKNIIKAN PERIAATTEET	30
4.1 Hajaspektritekniikan hyödyt	31
4.1.1 Lähetyksen kaappaus/salakuuntelu	31
4.1.2 Lähetyksen yksityisyys	31
4.1.3 Vastustus vaimentumiselle	32
4.1.4 Paikannus heikolla teholla	32
4.1.5 Paranneltu monijakotekniikka	32
4.2 Hajaspektrikommunikaation periaatteet	33
4.3 Yleisimmät hajaspektrijärjestelmän tyypit	33
4.3.1 DS-SS järjestelmät	34
4.3.2 Taajuushyppelyhajaspektri järjestelmät	34
4.3.3 Hybridi DS/FH-järjestelmät	36
4.4 Hajaspektrijärjestelmän tehokkuus	37
5 CDMA:n periaatteet	38
5.1 Mobiililaajakaista	38
5.1.1 Radioaaltojen eteneminen	38
5.1.2 Mobiili radiokanava	39
5.2 Solumainen CDMA-järjestelmä	40
5.2.1 Solukkokäsite	40
5.2.2 Near-Far vaikutus	41
5.2.3 Tehon valvonta	42
5.3 Parannellut yhden käyttäjän vastaanottimet	43
6.1 IS-95A standardi	44
6.2 IS-95A Forward- ja reverse-linkkikanavat	45
6.2.1 Ohjauskanava forward-linkissä	45
6.2.2 Synkronointikanava forward-linkissä	46
6.2.3 Kutsukanava forward-linkissä	46
6.2.4 Liikennekanava forward-linkissä	47
6.2.5 IS-95A Reverse-linkkikanavat	48
6.3 IS-95A standardien kehitys IS-95B:ksi	49

6.3.1 Purskeinen suurinopeuksinen data	49
6.3.2 MAC-alikerroksen protokolla	50
6.3.3 Kompromissit IS-95B-järjestelmän suorituskyvyssä	51
6.4 Cdma2000 standardi	52
6.4.2 Täydentävät koodikanavat cdma2000-järjestelmässä	54
6.4.3 Forward-linkin kanavat cdma2000-järjestelmässä	56
7 WIDEBAND CDMA	56
7.1 High-speed downlink packet access (HSDPA)	56
7.2 High-speed uplink packet access (HSUPA)	59
8 POHDINTA	61
LÄHTEET	62

TERMILUETTELO

16-QAM	16-Quadrature Amplitude Modulation, modulaatiomenetelmä jota käytetään HSDPA:ssa
3G	Lyhenne, jota käytetään yleisesti kolmannen sukupolven matkapuhelinverkoista
ACK/NAK	Acknowledge/Non-Acknowledge, ACK on viesti joka lähetetään kun datakehys on oikein, NAK ilmaisee että datakehys ei tullut oikein
AGC	Automatic Gain Control, automaattinen vahvistuksensäätö
AMC	Adaptive Modulation and Coding, menetelmä, jolla pyritään parantamaan verkon ja päätelaitteen välistä nopeutta hyödyntämällä nopean datasiirron radioverkon olosuhteita
AMPS	Advanced Mobile Phone System, matkapuhelinverkko, joka on ollut Yhdysvalloissa käytössä
ARP	Autoradiopuhelin, matkapuhelinverkko
ARQ	Automatic Repeat Request, automaattinen uudelleenlähetyspyyntö
BER	Bit Error Rate, virhebittimäärä
bps	Bittejä sekunnissa, tiedonsiirtonopeus
BPSK	Binary Phase Shift Keying, binäärinen vaihemodulaatio
BS	Base Station, tukiasema
BSPK	Modulaatiomenetelmä hajaspektrijärjestelmässä
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique, entinen televiestintäsektori kansainvälisessä televiestintäliitossa, nykyään ITU-T
CDMA	Code Division Multiple Access, koodijakokanavointi, yksi radiotien kanavointimenetelmistä
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000, paranneltu koodijakokanavointi, johdettu CDMA:sta
CEPT	Conférence Européenne des Postes et Télécommunications, Euroopan telehallintojen yhteistyöelin
CPICH	Common Pilot Channel, HSDPA:n ohjauskanava
CQI	Channel Quality Indicator, käytettävän liikennöintikanavan laatua kuvaava luku

CRC	Cyclic Redundancy Check, virheentarkistusmenetelmä, käytetään korjaamaan siirron aikana tapahtuneita virheitä
DCH	Dedicated Channel, WCDMA:n fyysinen liikennekanava
DS-SS	Direct Sequence Spread Spectrum, suoraajajaskaala, CDMA:ta toteutettaessa käytettävä tekniikka
E-AGCH	E-DCH Absolute Grant Channel, HSUPA:n käyttämä fyysinen reverse-suunnan kanava
E-DCH	Enhanced Dedicated Channel, HSUPA:n laajennettu reverse-suunnan kanava
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution, menetelmä, joka otettiin käyttöön GSM:n pakettimuotoisen datasiirron nopeuttamiseksi
E-DPCCH	Dedicated Physical Control Channel, HSUPA:n fyysinen ohjauskanava
E-DPDCH	E-DCH Dedicated Physical Data Channel, HSUPA:n käyttämä fyysinen datakanava
E-HICH	E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel, HSUPA:n käyttämä fyysinen automaattisen uudelleenpyynnön kanava
E-RGCH	E-DCH Relative Grant Channel, HSUPA:n käyttämä fyysinen forward-suunnan kanava
ESN	Electronic Serial Number, matkapuhelimen sarjanumero
F-CAPICH	Common Auxiliary Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen forward-suunnan lisäkanava
F-CCCH	Common Control Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen forward-suunnan ohjauskanava
FCH	Fundamental Code Channel, IS-95B:n käyttämä liikennekanava
FCS	Fast Cell Selection, HSDPA:n nopea solunvalinta, päätelaite voi valita sille sopivamman nopeamman solun
F-DCCH	Dedicated Control Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen forward-suunnan tarkastus- ja ohjauskanava
FDD	Frequency Division Duplexer, reverse- ja forward-suunnilla on omat taajuusalueensa tiedonsiirtoon
FDMA	Frequency Division Multiple Access, aikajakokanavointi, radiotien kanavanvaraustekniikka, jossa taajuusalue jaetaan osiin ja käyttäjä saa yhden alueen yhteyden ajaksi

F-FCH	Fundamental Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysisen forward-suunnan datan ja äänen siirron kanava
FH-SS	Frequency Hopped Spread Spectrum, taajuushyppelyhajaspektri, CDMA:ta toteutettaessa oleva toinen tekniikka
Forward link	Verkosta tilaajalaitteeseen suuntautuva liikenne, voidaan myös käyttää nimitystä downlink
F-PCH	Paging Channel, CDMA2000:n käyttämä forward-suunnan kutsukanava
F-PICH	Pilot Channel, CDMA2000:n käyttämä forward-suunnan ohjauskanava
FPS	Fast Packet Scheduling, termi tarkoittaa, että jokainen päätelaite tutkii 2 millisekunnin välein forward-kanavan signaalin laatua ja sen jälkeen parhaan signaalin omaava saa eniten kaistaa
F-SYNC	Sync Channel, CDMA2000:n käyttämä forward-suunnan synkronointikanava
GPRS	General Packet Radio Service, GSM-verkoissa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä
GSM	Groupe Spécial Mobile, nykyään Global System for Mobile Communications, toisen sukupolven matkapuhelinverkko
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request, menetelmä automaattisen uudelleenlähetyspyynnön käsittelyä varten
HSCSD	High-Speed Circuit Switched Data, GSM:n yhteyteen kehitetty piirikytkentäisen datasiirron nopeuksia lisäävä tekniikka
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access, WCDMA:n laajennus nopeampien datanopeuksien saavuttamiseksi
HS-DPCCH	High-Speed Dedicated Physical Communications Channel, HSDPA:n käyttämä ohjauskanava
HS-DSCH	High-Speed Downlink Shared Channel, HSDPA:n käyttämä liikennöintikanava
HS-SCCH	High-Speed Shared Control Channel, HSDPA:n käyttämä liikennöintikanava
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access, WCDMA:n laajennus kummankin suunnan nopeampien datanopeuksien saavuttamiseksi
IMT2000	International Mobile Telephony 2000, ITU:n kehitysprojekti

IS-95	Toisen sukupolven matkapuhelinstandardi, joka on käytössä lähinnä Yhdysvalloissa
ISDN	Integrated Services Digital Network, piirikytkentäinen digitaalinen puhelinverkkojärjestelmä
ISI	Inter Symbol Interference, symbolien välinen keskinäinen interferenssi
ITU-T	International Telecommunications Union-T, kansainvälisen televiestintäliiton televiestintäsektori
LAC	Link Access Control, välittää palveluja ylemmille OSI-kerroksille
LIDA	Load and Interference based Demand Assignment, ratkaisu, joka sallii useamman suurinopeuksisen langattoman datapäätteen jakaa saatavilla olevan kaistanleveyden ilman, että äänipalvelujen taso heikkenee
LPI	Low Probability of Interception, termi tarkoittaa, että signaalilla on pieni mahdollisuus kaappaukseen
MAC	Medium Access Control, protokolla radioverkon hallintaan
MAI	Multiple Access Interference, termi, joka kuvaa monipääsyhäiriötä
MIMO	Multiple Input, Multiple Output, termi, kun käytetään lähetys- ja vastaanottopäässä useampia antennia
MoU	Memorandum of Understanding, kolmentoista maan kirjoittama yhteisymmärryspöytäkirja verkkovierailuista
MS	Mobile Station, NMT:ssä käytettävä lyhennys matkapuhelinlaitteelle
MTX	Mobile Switching Center, NMT-keskus
NMT	Nordic Mobile Telephone system, ensimmäisen sukupolven analoginen matkapuhelinverkko
NODE B	UMTS:ssä käytettävä tukiaseman termi
OQPSK	Offset Quadrature Phase Shift Keying, nelivaiheinen vaihemodulointi, jossa vaihemuutos maksimissaan 90 astetta
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model, kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa
PSTN	Public Switched Telephone Network, kiinteä langallinen puhelinverkko
QoS	Quality of Service, termi, joka kuvaa verkon palvelutason laatua
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, nelivaiheinen vaihemodulointi
R-ACH	Access Channel, CDMA2000:n käyttämä reverse-suunnan pääsykanava

RAKE	RAKE-vastaanotin käyttää hyväksi monitie-etenemistä parantamalla diversiteettitekniikkaa ja siten pienentää häipymisongelmaa langattomassa kanavassa
RC	Radio Configuration, määrittää CDMA2000:n fyysisen kanavan kokoonpanon
R-CCCH	Common Control Channel, CDMA2000:n käyttämä reverse-suunnan tarkastuskanava
R-DCCH	Reverse Dedicated Control Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen reverse-suunnan tarkastuskanava
R-EACH	Enhanced Access Channel, CDMA200:n käyttämä fyysinen reverse-suunnan laajennettu pääsykanava
Reverse link	Tilaajalaitteesta verkkoon suuntautuva liikenne, voidaan myös käyttää nimitystä uplink
R-FCH	Reverse Fundamental Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen reverse-suunnan liikennöintikanava
RNC	Radio Network Controller, huolehtivat UMTS-verkossa päätelaitteiden ja tukiasemien välisen radorajapinnan toiminnasta
R-PICH	Reverse Pilot Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen reverse-suunnan ohjauskanava
R-SCCH	Reverse Supplemental Code Channel, CDMA2000:n käyttämä fyysinen reverse-suunnan liikennöintikanava
SMG	Special Mobile Group, termi tarkoittaa GSM:n työryhmiä
STS	Space-Time Spreading, CDMA2000-järjestelmässä käytettävä forward-suunnan kapasiteettia kasvattava tekniikka
TACS	Total Access Communications System, Motorolan kehittämä ensimmäisen sukupolven matkapuhelinverkko
TDD	Time Division Duplex, tiedonsiirto toimii samalla taajuusalueella molempiin suuntiin
TDMA	Time Division Multiple Access, aikajakokanavointi, radiotien kanavanvaraustekniikka. Signaalit viipaloidaan ja lähetetään tietyin väliajoin
TTI	Transmission Time Interval, aikajakso, jonka aikana suoritetaan radio-liikennettä päätelaitteen ja verkon välillä
UE	User Equipment, termi matkapuhelinverkon käyttäjän päätelaitteelle

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, Euroopassa käytössä olevan kolmannen sukupolven matkapuhelinverkon tyyppi
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network, tukiasema UMTS-verkossa
WAP	Wireless Application Protocol, GSM:n protokolla, jonka avulla voidaan näyttää internet-sivuja matkapuhelimella
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access, UMTS-verkoissa käytettävä radiorajapinta
VoIP	Voice over Internet Protocol, tekniikka, jonka avulla voidaan siirtää kuvaa ja ääntä reaaliaikaisesti internetin välityksellä

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli tarkastella hajaspektritekniikkaa, digitaalista viestintää sekä CDMA:ta (Code Division Multiple Access, koodijakokanavointi) ja sen standardeja. CDMA ja eri standardit olivat työn keskeisessä osassa, koska nykyisin käytössä oleva tekniikka käyttää niin olennaisesti CDMA:sta johdettua tekniikkaa hyödykseen. Työssä edettiin digitaalisesta viestinnästä, jossa käytiin läpi digitaalisen tiedonsiirron teoriaa ja koodausta, CDMA:n kautta HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) tekniikkaan, jossa käytiin läpi fyysiseen kerrokseen vaaditut muutokset. Työn ajatuksena oli, että tästä työstä voitaisiin ottaa osia myös koulutuskäyttöön.

2 MATKAPUHELINVERKOT

2.1 ARP /2/

ARP (Autoradiopuhelin) oli Suomen ensimmäinen kaupallisesti toiminut julkinen matkapuhelinverkko. Teknologiaa sanotaan ”nollannen sukupolven tekniikaksi”, koska tukiasemasolujen välillä siirtyminen ei toiminut vielä automaattisesti. Verkon perustamisesta tehtiin ehdotus vuonna 1968, ja rakentaminen alkoi seuraavana vuonna. Se aukesi vuonna 1971 ja toimi vuoteen 2000 asti NMT-900:n rinnalla.

ARP oli menestys ja saavutti suurta suosiota. Se oli pitkään ainoa matkapuhelinverkko, jolla oli kuuluvuutta koko Suomessa. Tekniikan rajoittuneisuudesta johtuen verkko tuli kuitenkin erittäin ruuhkaiseksi, joten sille löytyi myöhemmin käyttäjiä enää lähinnä erityisryhmistä, joille muut verkot eivät riittäneet.

ARP toimi 150 MHz taajuusalueella. Lähetysteho vaihteli yhdestä wattiin viiteen wattiin. Aluksi siinä käytettiin vain half duplex-siirtoa, minkä takia ääntä ei voinut vastaanottaa ja lähettää yhtä aikaa. Myöhemmin markkinoille tuli kuitenkin myös full duplex-autopuhelimia. Verkko aloitti käsivälitteisenä, mutta 1990-luvulla siirryttiin automaattiseen välitykseen. Solun koko oli keskimäärin 30 km.

2.2 NMT /3,4/

NMT (lyhenne sanoista Nordiska Mobiltelefongruppen, myöhemmin Nordisk Mobiltelefon) on yhteispohjoismainen radiopuhelinverkko. Sen kehitys aloitettiin 1970-luvulla. 450 MHz:n taajuusalueella toimiva NMT-450 otettiin ensimmäisenä kaupalliseen käyttöön Saudi-Arabiassa 1. syyskuussa vuonna 1981, kuukautta aikaisemmin kuin ensimmäinen verkko Pohjoismaissa. Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa NMT-toiminta käynnistettiin 1981 ja seuraavana vuonna myös Suomessa. NMT-450 -verkon kapasiteetin alkaessa loppua kaupunkialueilla otettiin 1987 käyttöön kapasiteetiltaan suurempi 900 MHz:n taajuusalueella toimiva NMT-900 -verkko.

Myöhemmin NMT sai tehdä tilaa uudempien digitaalisten matkapuhelinjärjestelmien, lähinnä GSM:n tieltä, ja lopulta Suomessa NMT-verkko suljettiin vuoden 2002 lopussa.

NMT-verkko on hunajakennomaiseen solukkoon perustuva automaattinen verkko, jossa solun koko vaihtelee maasto-olosuhteista ja tarvittavasta kapasiteetista riippuen kahdesta kolmeenkymmeneen kilometriin. Verkko koostuu seuraavista komponenteista:

1. Matkapuhelimista, eli Mobile Stationeista (MS)
2. Tukiasemista, eli Base Stationeista (BS)
3. NMT-keskuksesta, eli Mobile Switching Centereistä (MTX)

Näistä tukiasema huolehtii lähinnä oman solunsa/alueensa yhteyksien laadusta ja ylläpidosta. NMT-keskus puolestaan huolehtii periaatteessa lähes kaikista muista NMT-verkon hallintaan liittyvistä asioista kuten verkon hallinnasta, tukiasemien ohjauksesta, puhelinyhteyksien hallinnasta, laskutuksesta ja yhteyksistä kiinteään puhelinverkkoon.

NMT oli maailman ensimmäinen täysautomaattinen matkapuhelinverkko. Se tarjosi myös ensimmäisenä matkapuhelinverkkona mahdollisuuden verkkovierailuun, eli se mahdollisti esimerkiksi suomalaisen puhelimen ja liittymän käytön Ruotsissa.

Alkuperäisessä NMT-standardissa ei ollut mahdollisuutta puheen salaukseen. Tämän takia NMT-puheluita oli mahdollista kuunnella sopivasti viritetyllä FM-radiolla. Myöhemmin NMT-spesifikaatioon lisättiin mahdollisuus kaksikaistaiseen kantataajuuskääntöön perustuvaan salaukseen. Jotta NMT-salausta voisi käyttää, täytyy joko tukiaseman tai molempien käytettävien puhelinten tukea salausta. Jälkimmäisessä tapauksessa salaus täytyy kääntää puhelimesta käsin päälle. Suomessa NMT-verkko ei tukenut salausta. Itse NMT-puhelin koostuu radio-osasta, ohjauselektronikasta ja kontrollisignaaleja välittävästä modeemista.

Maailmalla oli myös muitakin tekniikoita. AMPS (Advanced Mobile Phone Service) oli Bellin laboratoriossa 1970 kehitetty 800 MHz:n taajuudella toimiva matkapuhelinjärjestelmä, joka otettiin kaupalliseen käyttöön 1983 Yhdysvalloissa. Tekniikkaan pohjautuen Motorola kehitti myöhemmin kapasiteetiltä suuremman N-AMPS (Narrowband Advanced Mobile Phone Service) järjestelmän. TACS (Total Access Communication System) on myös Motorolan kehittämä järjestelmä ja se perustuu AMPS-tekniikkaan. Järjestelmä toimii 900 MHz:n taajuudella. Järjestelmä on käytössä Iso-Britanniassa ja Japanissa (JTAC).

2.3 GSM /5,6/

GSM:n historia alkaa vuodesta 1982, jolloin Pohjoismaiden ja Hollannin telehallinnot tekivät aloitteen yhteiseurooppalaisen 900 MHz:n taajuudella toimivan matkapuhelinjärjestelmän kehittämiseksi CEPTissä, Euroopan telehallintojen yhteistyöelimestä (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications). Kartoitustyön perusteella päädyttiin digitaaliseen ratkaisuun, jotta saataisiin yhteensopivuus digitaalisen ISDN-järjestelmän kanssa.

Alun perin lyhenne GSM tarkoitti vuoden 1985 aikana perustettuja GSM-työryhmiä, Groupe Special Mobile, jotka alkoivat vuonna 1985 määrittellä suosituksia CCITT:n, nykyisen ITU-T:n ohjeiden mukaisesti (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, International Telecommunication Union - Telecommunications Standard Sector). Lista koostuu yli sadasta suosituksesta, jotka sisältävät spesifikaatiot GSM:n radorajapinnoille ja perusrakenteelle sekä rajapinnat ja signaalointiprotokollat verkkojen välille.

Järjestelmän tekniset perusominaisuudet saatiin määritettyä vuonna 1987, jolloin 13 eurooppalaista operaattoria allekirjoitti MoU:n (Memorandum of Understanding), eräänlaisen operaattorien ja laitevalmistajien yhteisymmärryssopimuksen, joka määrittää mm. verkkojen ja laitteiden toimitusajat ja käyttöönoton ja muita suunnitelmia. Ensimmäisen vaiheen spesifikaatiot valmistuivat vuonna 1990 ja niiden mukaiset verkot oli määrä ottaa kaupalliseen käyttöön 1.7.1991. Viivästysten vuoksi vain muutamat operaattorit saivat käynnistettyä toimintansa vuoden 1991 aikana, mukaan lu-

kien Sonera ja Radiolinja. Verkkojen kaupallinen toiminta alkoi kasvaa vähitellen vuoden 1992 aikana. Väärinymmärrysten välttämiseksi GSM-työryhmien nimi vaihdettiin SMG-työryhmiksi (Special Mobile Group) ja järjestelmän kaupalliseksi nimeksi tuli GSM, lyhenteenä sanoista Global System for Mobile communications (maailmanlaajuinen matkaviestinjärjestelmä). Nykyisin GSM-järjestelmiä on jo yli 110 maassa (yli 200 verkkoa) ja niillä on yli 200 miljoonaa käyttäjää ympäri maailmaa. Alueellisesti jakautuneena GSM:llä on eniten käyttäjiä Länsi-Euroopassa (63,1 %) ja Aasiassa (25,5).

GSM-verkoissa on käytössä erilaisia puheenpakkausstandardeja. Alkuperäisen täysnopeuskoodekin (FR, GSM 06.10) lisäksi käytössä on puolinopeuskoodekki (HR, GSM 06.20), parannettu täysnopeuskoodekki (EFR, GSM 06.60) sekä adaptiivinen moninopeuskoodekki (AMR, GSM 06.90). GSM:n puheenpakkaus on ollut myös suosittu Internetin yli lähetettävän puheen pakkausmenetelmänä.

GSM-verkon päätelaitteet ovat tavallisesti matkapuhelimia. Vuoden 2004 alussa maailmassa oli yli miljardi GSM-standardin mukaista puhelinta. Aiemmistä matkapuhelinjärjestelmistä poiketen GSM-standardit jakoivat matkapäätelaitteen useampaan osaan, joista tärkeimmät ovat varsinainen mobiililaite (ME) ja tilaajan tiedot sisältävä älykortti (SIM). GSM-verkot koostuvat mobiilikeskuksista (MSC), tukiasemista (BS) ja niiden ohjausyksiköistä (BSC). GSM-verkot perustuvat digitaaliseen puhelinverkkoon.

GSM-verkkojen laajennuksia ovat

1. WAP, matkapuhelinten hypertekstipalvelu
2. HSCSD, piirikytkentäinen tiedonsiirto
3. GPRS, pakettikytkentäinen tiedonsiirto
4. EDGE, 2.5G, nopea tiedonsiirto
5. UMTS, GSM:ää seuraava matkapuhelinstandardi

2.3.1 HSCSD /7/

HSCSD lyhenne koostuu sanoista High Speed Circuit Switched Data eli nopea piirikytkentäinen tiedonsiirto. Palvelu tunnetaan myös nimellä multislot, mikä viittaa useiden aikavälien käyttöön. Kyseinen palvelu perustuu piirikytkentäiseen datan siirtoon, tekniikkaan johon GSM verkkojen tiedonsiirto alun perin ja vielä tänäkin päivänä perustuu. Kyseisen palvelun avulla voidaan vaativille tietoliikennepalveluiden nykykäyttäjille tarjota riittävän kapasiteetin omaavat langattomat tiedonsiirtopalvelut, kuten sähköpostin lähetyksen liitetiedostoineen, faksien lähetyksen, videokuvan siirto ja pääsy erilaisten verkkopalveluiden pariin. Nopeuden lisäys tiedonsiirrossa HSCSD-palvelun avulla perustuu kahteen asiaan:

1. Tekniikan avulla saadaan kahden aikavälin (lähettävä ja vastaanottava aikaväli) sijasta käyttöön neljä aikaväliä ja jatkossa ehkä kaikki kahdeksan aikaväliä.
2. Tehokkaamman kanavakoodauksen avulla liikennekanavan datasiirtonopeus voidaan nostaa nykyisestä 9,6 kbps – 14,4 kbps.

Näiden ominaisuuksien myötä datansiirron downlink (verkosta päätelaitteeseen oleva liikenne) nopeus voidaan nostaa aluksi jopa 43,2 kbit/s. Nopeus saavutetaan käyttämällä kolmea aikaväliä datan vastaanottoon ($3 \cdot 14,4 \text{ kbit/s} = 43,2 \text{ kbit/s}$) ja yhtä datan lähetykseen (14,4 kbit/s). Näin ollen tekniikka mahdollistaa asynkronisen tiedonsiirron. Kehittyneempien päätelaitteiden avulla voidaan kaikki 8 aikaväliä ottaa käyttöön ja sen myötä down link nopeudeksi voidaan saada jopa 100,8 kbit/s ($7 \cdot 14,4 \text{ kbit/s}$).

HSCSD:n arkkitehtuuri hyödyntää lähes täysin nykyisen GSM verkon rakennetta. Palvelu perustuu matkaviestimessä olevaan TAF (Terminal Adaption Function) yksikköön sekä yhteensovitustoiminteeseen, IWF (Interworking Functionality). Käytännössä yhteys luodaan TAF:n ja IWF:n välille jakamalla datavirtaa useammalle alikanavalle ja yhdistämällä niitä IWF:n avulla kytkentäkeskuksessa, MSC (Mobile Switching Center). Tämä mahdollistaa nopean päästä-päähän datayhteyden. Alikanavien määrä voi vaihdella yhteyden aikana, mutta nykyiset laskutusperiaatteet asettavat rajoitteen vaihtelulle. Alikanavien toiminta on lähes samanlaista kuin tava-

listen kanavien toiminta. HSCSD:n toiminta on toteutettu ohjelmistopäivityksin nykyiseen GSM verkkoon ja palvelu vaatii uuden päätelaitteen.

2.3.2 GPRS /7/

GPRS on GSM:n pakettikytkentäinen datapalvelu, joka on tarkoitettu purskeisen datan välitykseen. Tämä mahdollistaa sen, että useat käyttäjät voivat jakaa samat radiorajapinnan resurssit tarpeen mukaan. GPRS-palvelussa on mahdollista käyttää yhtä käyttäjää kohden useita TDMA-aikavälejä, mikä moninkertaistaa datansiirtonopeuden GSM:n verrattuna. Useiden TDMA-aikavälien käyttö uusien kanavankoodausalgoritmien kanssa mahdollistaa GPRS:lle huomattavasti nopeamman tiedonsiirtonopeuden verrattuna perinteiseen GSM:n.

Pakettikytkentäisen datapalvelun käyttöönotto aiheuttaa GSM-verkkoon paljon muutoksia. Verkkoon tarvitaan sekä uusia verkkoelementtejä että nykyisten elementtien ohjelmisto- ja laitteistopäivityksiä. Lisäksi palvelussa tarvitaan GSM-verkon laajennus, IP-pohjainen (internet protocol) GPRS-runkoverkko. Uusia verkkoelementtejä perinteiseen GSM-verkkoon verrattuna ovat: operointisolmu (SGSN, serving GPRS support node), yhdyskäytäväsolmu (GGSN, gateway GPRS support node), GPRS-rekisteri (GR, GPRS register), sekä GPRS-runkoverkko ja paketinohjausyksikkö (PCU, packet control unit). GSM-verkon BTS:iin ja BSC:hin tulee ohjelmisto- ja mahdollisesti laitteistomuutoksia riippuen laitteistoteutuksesta ja -versiosta. HLR vaatii ohjelmistomuutoksen. GPRS-verkosta voidaan yhdistyä esim. Internet-verkkoon ja muihin pakettikytkentäisiin verkkoihin joustavasti. Johtuen siitä, että GPRS-runkoverkko näkyy ulospäin tavanomaisena Internet-aliverkkona tai X.25-solmuna, GPRS-päätelaitteet ja verkkoelementit tarvitsevat omat IP-osoitteensa. Tästä johtuen päätelaitteet muuttuvat GPRS-palvelussa täysin verrattuna GSM-puhelimiin. GPRS-MS kiinnittyy virran kytkemisen jälkeen loogisesti suoraan GPRS-runkoverkkoon ja on jatkuvassa valmiustilassa lähettämään tai vastaanottamaan dataa. Erillistä yhteydenmuodostusta ei tarvita nopeaa merkinantoa lukuun ottamatta. Liikennöinti tapahtuu IP-protokollan mukaisesti, joten tilaajanumeroita ei erikseen valita.

2.3.3 EDGE /8/

EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) on matkapuhelinten pakettipohjaiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka. EDGE perustuu GPRS-tekniikkaan. EDGE-standardin on kehittänyt 3GPP-järjestö. EDGE tunnetaan myös lyhenteellä EGPRS, joka tulee sanoista Enhanced GPRS. Joskus siihen myös viitataan markkinoititermillä 2.5G, koska se on parannettu toisen sukupolven tekniikka (2G), mutta se ei ole vielä varsinaista kolmannen sukupolven tekniikkaa (3G).

Ensimmäinen kaupallinen EDGE-järjestelmä otettiin käyttöön Yhdysvalloissa vuonna 2003. Nykyään se on kaupallisessa käytössä noin 200 eri GSM-operaattorin verkossa ympäri maailmaa. EDGE-tilaajia arvellaan olevan noin 300 miljoonaa. EDGE-standardi mahdollistaa teoriassa 473,8 kb/s vastaanotto- ja lähetysnopeudet. Käytännössä loppukäyttäjien saavuttamat nopeudet GSM/EDGE-päätelaitteilla ovat keskimäärin 160 - 200 kb/s luokkaa, ja parhaimmillaan 296 kb/s vastaanottosuunnassa. Lähetysuunnassa vastaavasti saavutetaan keskimäärin 80 -160 kb/s nopeudet, ja parhaimmillaan 236,8 kb/s nopeus. Tämä on keskimäärin kolmin- tai nelinkertainen nopeus verrattuna olemassa oleviin GSM/GPRS-laitteisiin nähden.

2.4 UMTS /9/

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinteknologia. 1. sukupolven palveluita edustaa NMT, 2G:tä GSM, ja GPRS edustaa 2.5G:tä. UMTS:n valttina 2.5G:hen verrattuna on 50 % nopeampi tiedonsiirto molempiin suuntiin, mikä sallii liikkuvan kuvan lähettämisen sekä paremman äänenlaadun puheluita varten. W-CDMA on UMTS:ssä käytettävä radiotekniikka. IMS tarjoaa Internet-pohjaisia multimediaspalveluita, kuten pikapuhe, IP-puhe, saatavuuspalvelu ja pikaviestit.

YK:n alaisuudessa toimiva ITU (International Telecommunication Union) käynnisti 1990-luvun lopulla FPLMTS-projektin (Future Public Land Mobile Telephony System). Projektin tavoitteena oli laatia ratkaisumalleja 3G-puhelinjärjestelmää varten. Myöhemmin projektin nimeksi muutettiin IMT-2000 (International Mobile Tele-

communication 2000). Ratkaisumalleja oli aluksi useita, mutta pääasiassa viime aikoina on päädytty hyödyntämään CDMA 2000- ja W-CDMA-tekniikoita.

Maailman ensimmäinen kaupalliseen käyttöön lanseerattu 3G-verkko avattiin Japanissa vuonna 2001. UMTS-verkot tulivat yleiseen käyttöön vuoden 2005 alussa.

UMTS-verkon tavoitteina oli suunnitteluvaiheessa mm. saada äänen laatu ja palvelut samalle tasolle kuin ne ovat kiinteässä verkossa. Lisäksi tuki sekä piiri- että pakettikytkentäiselle liikenteelle ja radiokaistan mahdollisimman tehokas käyttö olivat eräitä tavoitteita. Tiedonsiirtokapasiteetin suhteen tavoite oli, että paikallaan olevan laitteen siirtonopeus voisi olla jopa 2 Mbps. GSM-verkosta eroten UMTS-verkko ei ole yksitasoinen vaan hierarkkinen. Tasot ovat:

- Kotisolu
- Pikosolu
- Mikrosolu
- Makrosolu
- Globaali satelliittijärjestelmä

UMTS solun koko määräytyy aktiivisten käyttäjien lukumäärän mukaan.

UMTS:n perusversion nopeus on signaalin laadusta, verkon ruuhkasta ja muista tekijöistä riippuen parhaimmillaan 384 kbps. Käytännössä nopeudet jäävät kuitenkin selvästi teoreettisen tiedonsiirtonopeuden alle eli noin 100 - 250 kilobittiin sekunnissa. UMTSissa vasteaika on noin 200 ms, kun taas sitä edeltäneissä GPRS:ssä ja EDGE:ssä viive vaihteli 500 millisekunnista kolmeen sekuntiin.

UMTS-verkon radio-osan nimi on UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Toisin kuin muissa järjestelmissä UMTS-verkon päätelaitteen lyhenne on UE (User Equipment) ja tukiasemasta käytetään termiä Node B. USIM-termiä (Universal Subscriber Identity Module) puolestaan käytetään UMTS-ympäristössä olevasta SIM-kortista.

UMTS-verkon tietoturvarakenteet muistuttavat hyvin paljon GSM-verkossa käytettäviä ratkaisuja. Toisaalta GSM-verkosta poiketen UMTS-verkon päätelaite voi autentikoida myös verkon eikä ainoastaan toisin päin.

UMTS:ssa puhelinoperaattorin ja palvelun tarjoajan välillä on selkeä ero, sillä puhelinoperaattori keskittyy lähinnä tiedonsiirrosta huolehtimiseen. UMTS tarjoaa kunkin palvelun tai sovelluksen tarpeen mukaista tiedonsiirtonopeutta. Palveluiden kattavuus vaihtelee kuitenkin esimerkiksi Suomessa suuresti, koska maa on harvaan asuttu ja alun perin 2,1 GHz taajuudella toiminut radioliikenne on tarvinnut hyvin tiheän tukiasemaverkoston.

UMTS-taajuusalueista on Euroopassa ja Japanissa käytössä 2100 MHz kaista, joka on tuetuin nykyisissä päätelaitteissa. Euroopassa on otettu käyttöön myös 900 MHz taajuus, mikä mahdollistaa verkon laajentamisen edullisemmin. Elisa avasi maailman ensimmäisen kaupallisen UMTS900-verkon Suomessa marraskuussa 2007. Yhdysvalloissa UMTS-verkkoja on olemassa myös 1900 ja 850 MHz taajuuskaistoille.

2.5 CDMA:n ja GSM:n erot /10/

CDMA-tekniikka eroaa GSM-järjestelmän tekniikasta siten, että CDMA:ssa kaikki käyttäjät ovat samalla taajuusalueella. Käyttäjät tunnistetaan muiden joukosta erityisen koodin perusteella. Koska käytetty koodiavaruus käsittää 4.4 triljoonaa eri koodia, niin CDMA antaa varsin hyvän turvallisuuden jo itsessään.

GSM-järjestelmä pohjautuu taajuusalueen jakamiseen osiksi ja lisäksi jokainen taajuusalueen osa jaettiin siinä kahdeksaan aikaväliin. Puhelimen käyttäjä sai siis käyttöönsä tietyltä taajuudelta yhden aikavälin. CDMA:ssa käytettävä lähetysteho onkin vain noin kymmenesosa tai jopa alempi verrattaessa GSM-järjestelmässä käytettyyn tehoon.

Palvevan tukiaseman vaihto tapahtuu, kun viestimen käyttäjä liikkuu solusta toiseen. Toisen sukupolven järjestelmissä yhteys katkeaa ensimmäiseen soluun hetkeä ennen kuin yhteys toiseen soluun muodostuu. CDMA-tekniikassa on mahdollista muodos-

taa yhteys toiseen soluun ennen yhteyden katkaisemista ensimmäiseen. Myös tämä pidentää puhelimen käyttö- ja valmiusaikaa, pienentää häiriöitä ja suurentaa kapasiteettia.

CDMA tekniikalla on seuraavia etuja verrattuna FDMA tai TDMA tekniikoihin:

1. Taajuuskorjainta ei tarvita. Tarvitaan vain taajuuskorjainta yksinkertaisempi korrelaattori.
2. Yksi lähetin per solu, jolloin säästetään tilaa ja asennus helpottuu.
3. Helppo tukiaseman vaihto, kaikki solut käyttävät samaa CDMA-radiota, joten ero on koodisekvensseissä.
4. Suoja-aikoja ei tarvita kuten TDMA:ssa.
5. Soveltuu hyvin mikrosoluille ja sisätiloihin.
6. Useat erilaiset CDMA ja myös perinteiset kapeakaistaiset järjestelmät voivat toimia samalla taajuusalueella.
7. CDMA-järjestelmiin eivät monitie-etenemisen aiheuttamat Rayleigh-häipymät vaikuta.
8. CDMA-järjestelmissä verkkosuunnittelu helpottuu olennaisesti, koska samaa taajuutta voidaan käyttää hyväksi vierekkäisissä soluissa ongelmitta.
9. CDMA-päätelaitteet vievät vähemmän energiaa kuin FDMA- ja TDMA-päätelaitteet. Siten muun muassa akut kestävät pitempään ja matkapuhelimet voivat olla pienempiä.

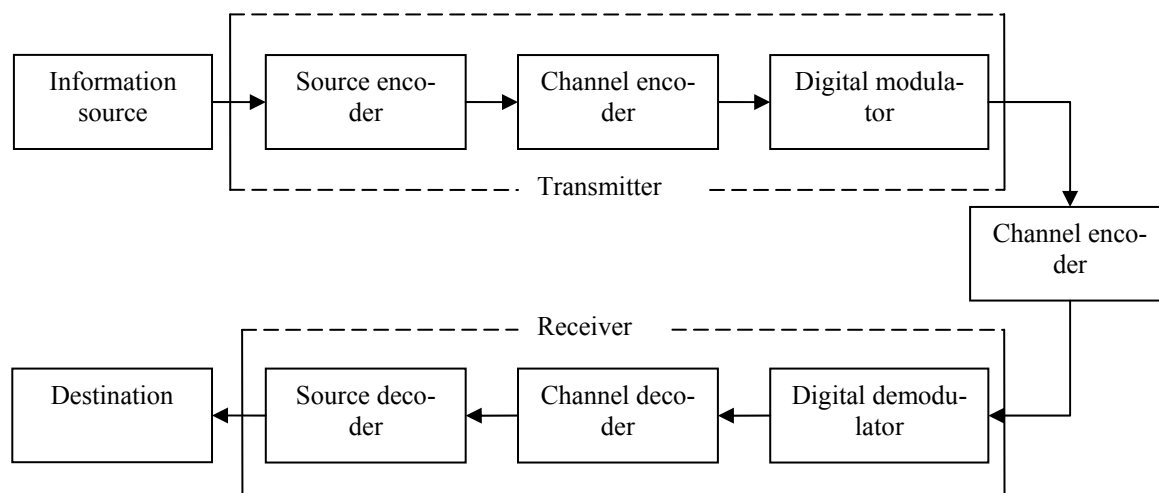
3 DIGITAALINEN VIESTINTÄ

Digitaalinen viestintä viittaa tiedon elektroniseen siirtämiseen. Se tarvitsee elektronisen järjestelmän alkupäässä, jotta se saa informaation muutettua normaalista analogisesta muodosta binäärimuotoon. Nämä luvut prosessoidaan (pakataan, suodatetaan sekä muokataan pulssia), jotta ne saadaan tiedonsiirtoon sopiviksi. Järjestelmä, joka siirtää digitaalista informaatiota, koostuu kolmesta osasta: prosessointi ja siirto läh-

depäässä, yhteyskanava jota pitkin tieto siirtyy, ja vastaanotto ja prosessointi kohdepäässä.

3.1 Digitaalisen siirron teoria

Siirtoteoria käsittelee viestintäjärjestelmän fyysistä kerrosta ja määrittelee kanavan jota pitkin informaatio siirtyy. Järjestelmä koostuu kolmesta pääkomponentista: lähettimestä, kanavasta ja vastaanottimesta.



Kuva 1. Kaaviokuva digitaalisesta viestintäjärjestelmästä. /1/

Siirrettävä tieto koostuu sarjasta binäärilukuja. Aluksi lähdekoodain poistaa kaikki ylimääräiset ja päällekkäiset merkit datasta, jotta informaatio voidaan esittää pienimmällä mahdollisella määrällä merkkejä. Tämän jälkeen kanavakoodain lisää ylimääräisiä merkkejä informaatioon, joita vastaanotin voi käyttää virheiden etsintään ja korjaamiseen, joita saattaa ilmentua siirtotiellä kohinan ja häiriön takia. Digitaalinen modulaattori muuntaa signaalin sopivaksi aaltomuodoksi, joka voidaan lähettää kohteeseen joko langattomasti tai lankoja pitkin.

Siirretyt aallot joutuvat usein Gaussin kohinan sekä samalla taajuusalueella toimivien lähettimien häiriöiden korruptoitaviksi. Langattomissa viestintäjärjestelmissä on vielä lisäksi kaksi muutakin lähdettä, jotka aiheuttavat aallon korruptoitumista. Ensimmäinen korruption lähde johtuu siitä, että yleensä ei ole lähettimen ja vastaanottimen välillä suoraa linjaa, vaan informaatio heijastuu ympäröivistä rakennuksista ja esteistä muodostaen näin monia väyliä, joita pitkin informaatio voi edetä vastaanottajalle.

Nämä monet kopiot saapuvat eri aikoihin ja eri vaiheessa, muodostaen näin häiriötä peräkkäisissä merkeissä. Tätä kutsutaan symbolien väliseksi häiriöksi (Inter Symbol Interference, ISI), ja se aiheuttaa signaalin heikentymistä. Toinen mahdollinen lähde signaalin korruptoitumiseen johtuu siitä, että asynkroniset signaalit monelta eri käyttäjältä muodostavat häiriön, jota kutsutaan monipääsyhäiriöksi MAI (Multiple Access Interference).

Digitaalinen demodulaattori muuntaa korruptoituneen aallonmuodon takasin binäärilukusarjaksi, ja kanavadekooderi käyttää ylimääräisiä merkkejä hyväkseen muodostaessaan merkkejä mahdollisimman pienillä määrillä virheitä. Lähdedekooderi koostaa näistä merkeistä arvion alkuperäisestä lähdesignaalista.

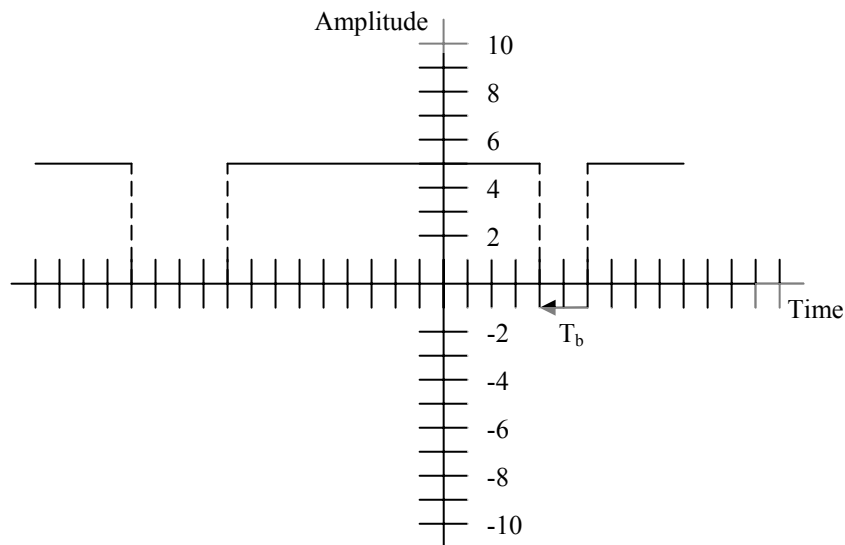
Selkeästi voidaan todeta, että viestintäjärjestelmät tarvitsevat informaatiovarastoja, kuten puskurimuistin ja nopeita prosessoreita, jotta saavutetaan tarvittava tehokkuus ja hyväksyttävä palvelunlaatu. Tiedonsiirron nopeus kanavassa on rajattu Shannonin kapasiteetin perusteella.

3.2 Tiedonsiirron koodaus

Tiedonsiirtokoodit ovat datamuotoja, jotka ovat optimaalisesti yhteensopivia lähetyiskanavan ominaisuuksiin. Pääkohdat, jotka pitää ottaa huomioon valittaessa koodausta, ovat koodauksen kaistanleveyden vaatimus ja kanavan saatavilla oleva kaistanleveys, koska näiden täsmätessä todennäköisyys signaalin vääristymiseen pienee. Toinen vaikuttava seikka on kellon palautumisen helpottaminen vastaanotetusta koodauksesta, koska synkronisen kellon käytettävyys vastaanottimella on tärkeää merkkien tahdistamisessa tunnistusprosessissa. Muussa tapauksessa osa saatavilla olevasta lähetetystä tehosta pitää varata kellon lähetykseen signaalissa. Tasajännitekomponentti on myös merkittävä ongelma.

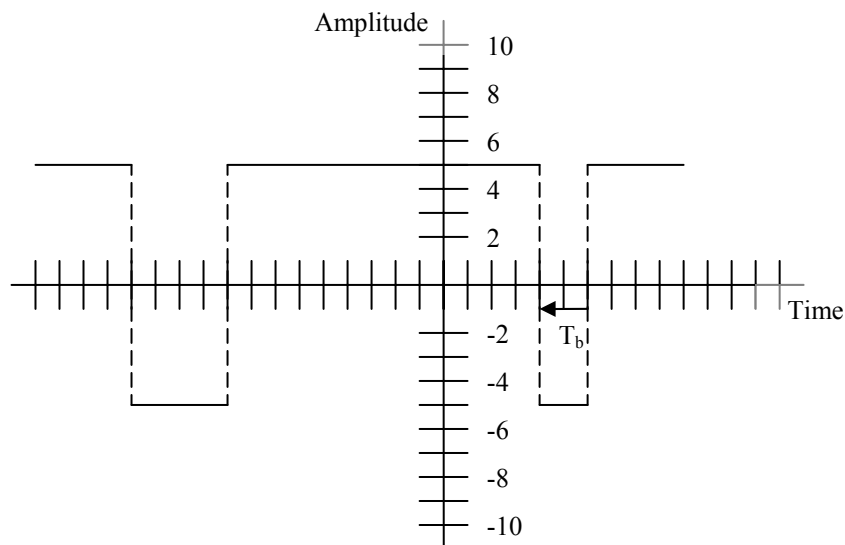
Tyypillisimmät koodausmenetelmät ovat unipolaarinen-, polaarinen- ja Manchesterkoodaus. Unipolaarinen signaalointi vaihtelee kahden tason välillä, matalataso kuvaa merkkiä 0 0-jännitteellä ja korkeataso kuvaa merkkiä 1 +5-jännitteellä positiivisella

puolella (kuva 2). Negatiivisella puolella nämä vaihtavat puolia, 0-taso on +5-voltia ja 1-taso on 0-voltia. Unipolaariset merkit sisältävät tasajännite-komponentin.



Kuva 2. Unipolaarinen signalointi. /1/

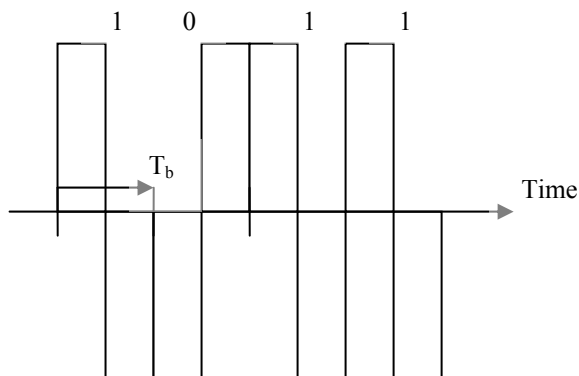
Polaarisessa signaloinnissa looginen 0 esittää -5-voltin tasoa ja looginen 1 esittää +5-voltin tasoa (kuva 3). Polaarisisä merkeissä ei ole tasajännite komponenttia.



Kuva 3. Polaarinen signalointi. /1/

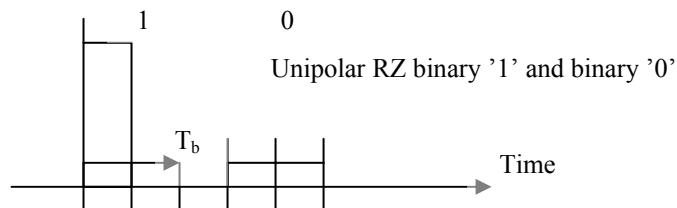
Manchester-koodauksessa bitin puolella välissä on aina muutos. Tämä tarkoittaa, että tarkka kello voidaan muodostaa vastaanotetuista Manchester-merkeistä. Manchester-koodauksessa ei ole tasajännitekomponenttia. Manchester-koodauksessa looginen 0 esitetään nousevana tilanmuutoksena ja looginen 1 laskevana tilanmuutokse-

na (kuva 4). Kaistanleveys Manchester-koodauksessa on kaksinkertainen verrattuna unipolaariseen tai polaariseen koodaukseen edellä mainituista syistä.



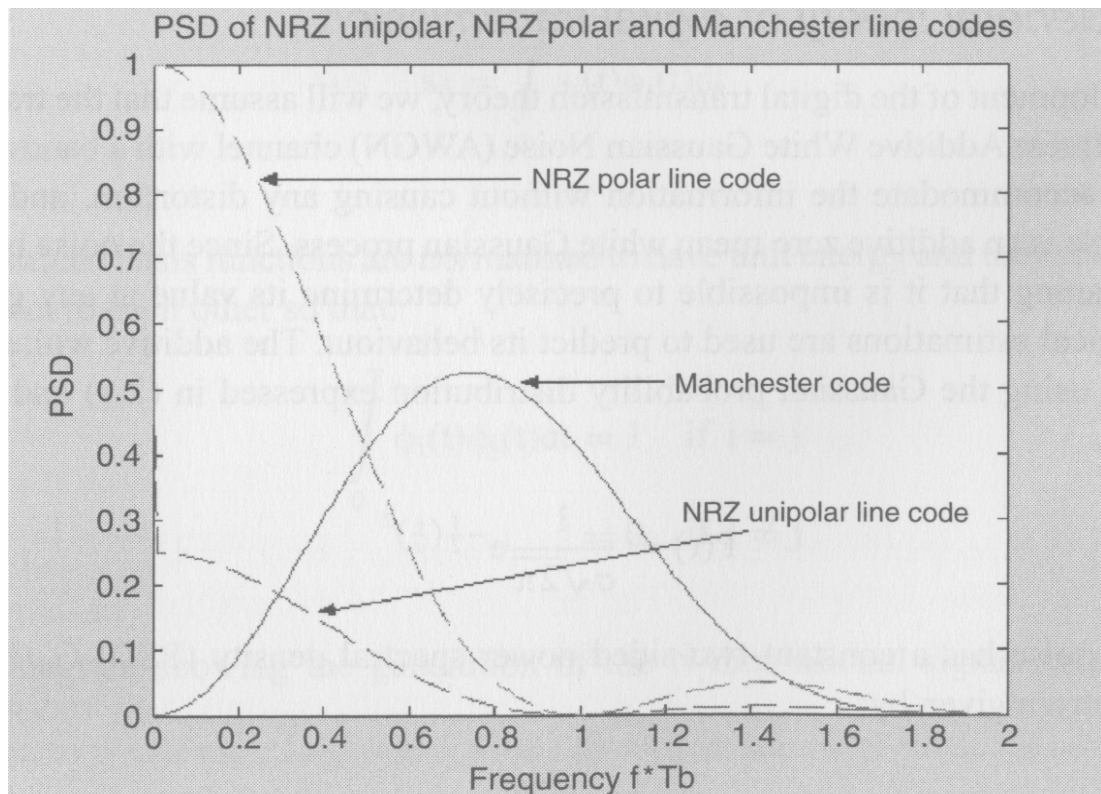
Kuva 4. Manchester-koodaus. /1/

Kuvissa 2 ja 3 esitetyt koodaukset ovat Non-return to Zero (NRZ)-tyyppisiä, koska koodatun merkin amplitudi on jatkuva koodatun merkin ajan. Toisentyypinen koodaus, Return to Zero (RZ), palaa 0-voltin tasoon koodatun 1-bitin toisella puoliskolla (kuva 5). Kaistanleveysvaatimukset ovat kaksinkertaiset RZ-tyyppisellä koodauksella verrattuna NRZ-tyyppiseen unipolaariseen ja polaariseen koodaukseen.



Kuva 5. RZ koodaus. /1/

Unipolaarisen-, polaarisen- ja Manchester-koodauksen tehospektritiheys on esitetty kuvassa 6. Selvä haitta unipolaarisessa ja polaarisessa koodauksessa on tehonhävikki spektrin lähestyessä tasajännitettä.



Kuva 6. Tehospektritiheys. /1/

3.3 RAKE vastaanotin

On hyvin tiedossa, että viestinnässä signaalit vaimentuvat raskaasti ja informaatiota voi hävitä häipymisen aikana. Vastaanottoa voitaisiin parantaa huomattavasti, jos vastaanottimelle voitaisiin tuoda informaatiosta kopioita joko kaksi tai enemmän. Nämä kopiot lähetettäisiin itsenäistä häviökanavaa pitkin, jolloin mahdollisuus kaikkien häipymiseen samaan aikaan olisi erittäin pieni.

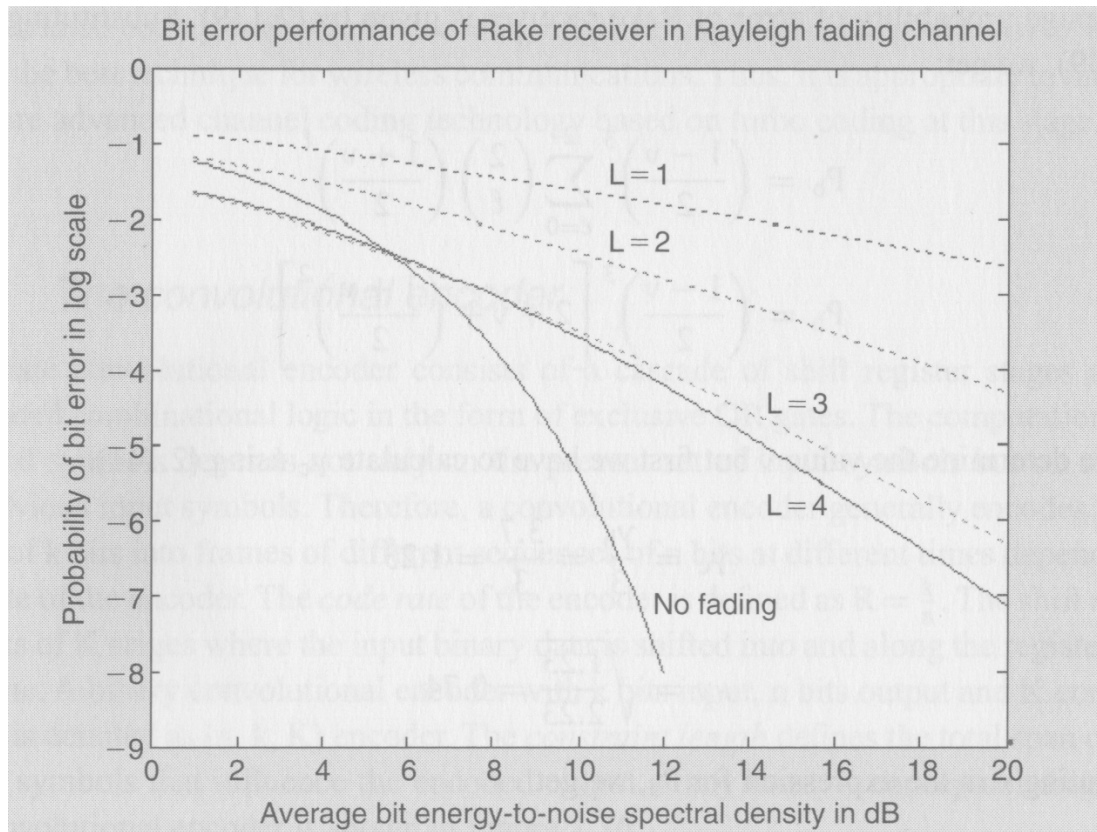
Signaalien kopioiden muodostaminen voidaan tehdä monin eri tekniikoin. Informaatiosta voidaan siirtää L kantoaalloilla, missä rinnakkaisten kantoaaltojen erotus on yhtä suuri tai ylittää kanavan koherentin kaistanleveyden. Tätä metodia kutsutaan taajuusdiversiteetiksi (frequency diversity). Toinen tapa on siirtää informaatio L aikavälissä, missä onnistuneiden aikavälien erotus on yhtä suuri tai ylittää kanavan koherentin ajan. Tätä kutsutaan aikadiversiteetiksi (time diversity). Kolmas tapa on käyttää yhtä lähettävää antennia, mutta vastaanottaa informaatiosta monella eri

antennilla. Tätä kutsutaan paikkadiversiteetiksi. Kuitenkin langattoman signaalin monitie-eteneminen luo monia kopioita jotka saapuvat vastaanottimelle eri aikoihin.

Kun hajaspektriviestinnässä operoidaan nopeasti leviävien koodien kanssa, niin viive monitiekomponenteissa on yhtä suuri tai suurempi kuin yhden koodipulssin kesto. Ristikorrelaation pitää olla pieni onnistuneiden bittien välillä, jos halutaan tehokasta koodien leviämistä, tällöin monitiekomponentit ovat korreloimattomia. Täten on mahdollista selvittää vahvimmat korreloimattomat komponentit ja mahdollistaa vastaanottimen saavuttaa L diversiteetin. Vastaanotin, joka kerää energiaa vastaanotetuista komponenteista saavuttaakseen L diversiteetin, toimii jotenkuten kuin tavallinen puutarhaharava. Tätä vastaanotinta kutsutaan RAKE-vastaanottimeksi. RAKE-vastaanotin muuntaa hajoavan monitieprosessin tiedonsiirroksi parantamalla diversiteettitekniikkaa ja siten pienentää häipymisongelmaa langattomassa kanavassa.

RAKE-vastaanotin sisältää useita haaroja, jotka vastaavat monitiesignaalin komponentteja, joita kutsutaan osoittimiksi. Jokainen osoitin yrittää demoduloida yhden polun yhdistetyn monitiesignaalin. Nykyaikaisen tukiaseman vastaanottimet käyttävät maksimissaan 4 osoitinta.

Kuvassa 7 nähdään virheiden mahdollisuus BSPK moduloidussa hajaspektrijärjestelmässä, Rayleighin häipymiskanavassa, käyttäen RAKE-vastaanotinta L :n ollessa 1, 2, 3 ja 4. Sitä verrataan virheiden mahdollisuuteen BPSK järjestelmässä käyttäen sovitettua suodatinta, joka toimii AWGN kanavassa (ei häipymistä).



Kuva 7. Virheiden mahdollisuus Rayleighin häipymiskanavassa RAKE-vastaanottimella. /1/

3.4 Kanavan virheenkorrjaavakoodaus

Luotettavaa tiedonsiirtoa digitaalisessa viestinnässä tarvitaan monessa käytännön sovelluksessa, kuten potilaan hoitotiedoissa tai rahaliikenteessä. Idealisessa tapauksessa näiden tiedonsiirrossa ei saisi olla yhtään virheitä. Kuitenkin Gaussin kohina luo näihin virheitä ja virheiden määrä riippuu vastaanotetun tehon suhteesta lisättyyn tehon kohinaan.

Shannonin teoreeman periaatteisiin kuuluu, että digitaalisen informaation tiedonsiirto-kanavassa, jossa on kohinaa, on mahdollista toteuttaa tiedonsiirto joko pienin virhein tai sitten ei ilmene yhtään virheitä, jos käytetään sopivaa koodausta kanavassa, sekä siirtonopeus on joko pienempi tai yhtä suuri kuin kanavan kapasiteetti. Kanavan virheenkorrjaavakoodaus (FEC) saavutetaan lisäämällä ylimääräistä informaatiota dataan, joka siirretään kanavassa.

Konvoluutio-koodaus ja Viterbi-dekoodaus sopivat hyvin kanavaan, jossa siirretty signaali on korruptoitunut. Sen lisäksi langattomassa viestinnässä esiintyy muitakin häiriötä, kuten monitievaimeneminen, taajuusvaimeneminen ja monipääsyhäiriöt. Vaikka konvoluutio-koodaus Viterbi-dekoodauksella voikin olla hyödyllistä AWGN:n vastaan, niin se ei välttämättä ole paras tekniikka langattomaan viestintään.

4 HAJASPEKTRITEKNIIKAN PERIAATTEET

Toisen maailmansodan aikana käytiin myös intensiivistä tietoliikennesotaa. Tämän tarkoituksena oli estää sekä häiritä vihollisen tiedonsiirtoa. Tämän seurauksena alkoi kiinnostus turvallisemman tiedonsiirron kehittämiseksi. Ensiksi kehitettiin salausmenetelmä, jolla saatiin osa informaatiosta suojattua. Seuraava askel olikin kehittää kokonaan uusi teknologia. Kehityksen tuloksena saatiin hajaspektritekniikka. Se vaihtaa taajuutta informaation suojaamiseksi ja se suunniteltiin alun perin pelkästään sotilaskäyttöön.

Sodan loppupuolella tekniikkaa oli jo kehitetty ja sen mahdollisuudet turvallisessa tiedonsiirrossa huomattu. Puolustusvoimat kehittivät 60-luvulla paljon eteenpäin kommunikaatiojärjestelmiä, tekniikoina oli taajuushyppely sekä pseudo-äänihajaspektrijärjestelmät.

Kehitys hajaspektritekniikan kanssa mahdollisti 70-luvulla ensimmäiset kaupalliset mahdollisuudet tällä tekniikalla. Teoreettinen työ hajaspektritekniikan kanssa paljasti myös uusia ominaisuuksia, mm. mahdollisuuden useampaan yhteyteen suuremmalla kapasiteetilla verrattuna sen aikaisiin aika- ja taajuusjakomenetelmiin. Rakevastaanotin kehitettiin vielä nopeuttamaan eri järjestelmien yhteensopivuutta. Vuosikymmenen lopussa kaupalliset sovellukset olivatkin tulleet realistisiksi.

80-luvulla näki päivänvalon GSM-tekniikka. Hajaspektritekniikasta otettiin siihen käyttöön hidas taajuushyppelytekniikka häiriöiden satunnaistamiseksi, kun GSM-

järjestelmään pyrkii useampi käyttäjä samaan aikaan. Ensimmäinen kaupallinen ko-keilu hajaspektrijärjestelmästä usean yhtäaikaisen pääsyn kapasiteeteista suoritettiin Qualcomin toimesta 1993 USA:ssa. Ensimmäiset kaupalliset matkapuhelinjärjestelmät hajaspektritekniikalla otettiin käyttöön Hong Kongissa 1995, Korea ja USA seurasivat pian perässä.

90-luvulla hajaspektritekniikkaa kehitettiin pidemmälle monikantoaaltoelektronikaksi, sillä saatiin moninaisempi etu signaalin heikentymistä vastaan.

4.1 Hajaspektritekniikan hyödyt

4.1.1 Lähetyksen kaappaus/salakuuntelu

Sotilastiedonsiirrossa vihollisten tietoliikenteen kaappausta käytetään useissa eri ope-raatioissa esim. tunnistamis-, häirintä-, valvonta- tai tiedustelutehtävissä. Onnistunut torjunta yleensä mittaa lähetettyä tehoa tietyllä taajuusalueella. Kuitenkin, jos lähe-tyksen tehoa laajennetaan suuremmalle alueelle, se pienentää tehospespektritiheyttä, jolloin saadaan lähetetty tieto piiloon taustakohun taakse. Tietty vastaanotin palauttaa informaation järjestelmän tehon avulla, joka luodaan hajautusprosessissa. Kuitenkaan vastaanotin, joka ei ole määritelty tätä varten, ei saa hyötyä prosessin vahvistuksesta ja ei näin ollen voi palauttaa informaatiota. Koska hajaspektrisignaali on matalate-hoinen, niin signaalista käytetäänkin nimitystä LPI (Low Probability of Interception).

4.1.2 Lähetyksen yksityisyys

Hajaspektrijärjestelmässä lähetettyä informaatiota ei voida palauttaa ilman tietoa hajautuneista koodisarjoista. Siitä seuraa että yksittäisen käyttäjän tiedonsiirto on suojassa. Lisäksi pitää ottaa huomioon se, että hajautuminen tapahtuu itsenäisesti modulaatioprosessissa, jolloin järjestelmä antaa vapauksia valita eri modulaatioty-ypeistä.

4.1.3 Vastustus vaimentumiselle

Monitie-etenemisympäristössä vastaanotin vastaanottaa useita eri kopioita lähetetystä signaalista. Nämä signaalien komponentit usein häiritsevät toisiaan aiheuttaen niin sanotun signaalien häipymisen. Hajaspektrisygnaalien vastustus monikanavaiselle häipymiselle on toteutettu siten, että jokainen komponentti oletetaan olevan itsenäinen. Tämä tarkoittaa sitä, että jos häipyminen vaikuttaa yhteen komponenttiin niin muut komponentit eivät kuitenkaan altistu vaikutukselle.

4.1.4 Paikannus heikolla teholla

Kahden pisteen etäisyys toisistaan voidaan määrittää mittaamalla aika, joka kuluu signaalien liikkumiseen yhdestä pisteestä toiseen ja takaisin. Tätä tekniikkaa käytetään GPS:ssä.

4.1.5 Paranneltu monijakotekniikka

Monijakotekniikka on suunniteltu verkon resurssien tehokkaaseen käyttöön suurella määrällä käyttäjiä. Käytössä on kaksi tekniikkaa, taajuusjakotekniikka (Frequency Division Multiple Access, FDMA) sekä aikajakotekniikka (Time Division Multiple Access, TDMA). FDMA toimii siten, että taajuuskaista jaetaan käyttäjien kesken niin että jokainen käyttäjä saa oman taajuuskanavan käyttöön. TDMA toimii siten, että jokainen käyttäjä saa oman aikavälin käyttöön.

Hajaspektritekniikka tarjoaa uuden verkonjakotekniikan yksilöllisten koodisekvenssien avulla. Käyttäjät lähettävät ja vastaanottavat signaaleja erillisellä käytönvalvonnalla, jolla pystytään ohjaamaan tai pienentämään liikenteen määrää. Tätä tekniikkaa kutsutaan koodijakotekniikaksi (Code Division Multiple Access, CDMA).

4.2 Hajaspektrikommunikaation periaatteet

Digitaalinen tiedonsiirto, joka takaa tyydyttävän tehokkuuden sekä välttävän datanopeuden, voidaan jakaa kahteen kategoriaan.

- sovelluksissa, kuten satelliittitiedonsiirto, nämä ehdot toteuttavat käytettävyyden käytössä olevalla pienellä teholla
- sovelluksissa, kuten mobiiliteknologia, missä nämä ehdot täyttävät käytettävyyden ehdot rajoitetulla kaistanleveydellä palvelun tarjoamiseen.

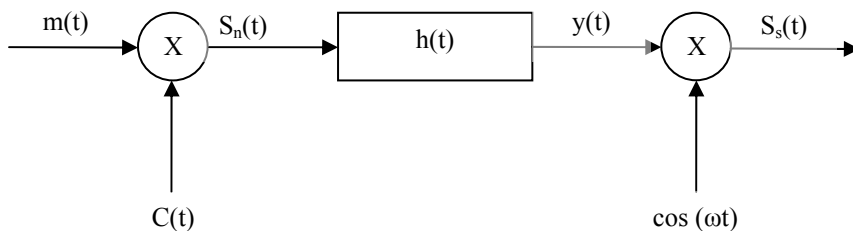
Kummatkin tekniikat ovat alttiita signaalin estoille sekä kaappauksille. Hajaspektritekniikan pääperiaatteeseen kuitenkin kuuluu se, että siinä on suoja kyseisiä hyökkäyksiä vastaan. Tämä perustuu siihen että taajuuskaistan laajennusta vaihdetaan hyökkäyksien estämiseksi. Taajuuskaistan laajennus hajaspektritekniikassa saavutetaan koodausprosessilla, joka on itsenäinen riippumatta lähetetystä viestistä tai käytetystä modulaatiosta.

4.3 Yleisimmät hajaspektrijärjestelmän tyypit

Kahta hajaspektrijärjestelmän tyyppiä käytetään yleisesti luotettavan yhteyden saamiseen: suoraajaspektri (Direct Sequence Spread Spectrum, DS-SS) sekä taajuushyppelyhajaspektri (Frequency Hopped Spread Spectrum, FH-SS). DS-SS-järjestelmä toimii siten, että se jakaa energiaa reaaliajassa taajuusmoduloimalla informaatiota suurinopeuksisella koodisekvenssillä. FH-SS-järjestelmä taas toimii siten, että sen energia hajautuu taajuusalueella. Siihen päästään kun pakotetaan kapeaalainen kantaalto siirtymään satunnaisesti yhdestä taajuusalueesta toiseen käytössä olevan koodisekvenssin mukaan.

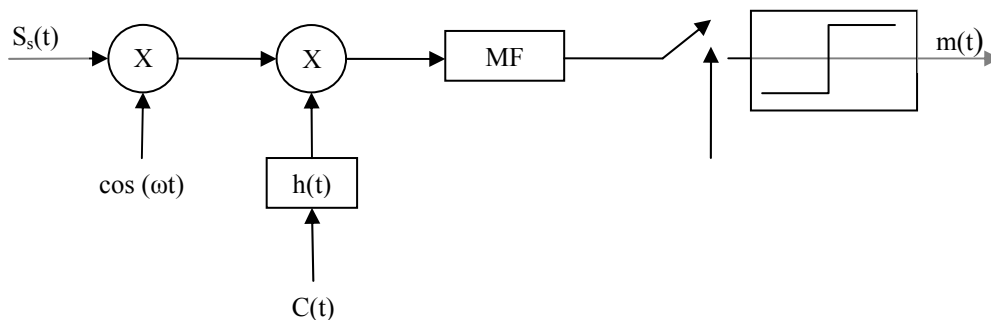
Lisäksi on kehitelty näiden hybridi, jossa ovat kummatkin järjestelmät mukana jotta saadaan parempi hyöty prosessista kuin mitä tulisi yhdestä järjestelmästä.

4.3.1 DS-SS järjestelmät



Kuva 8. Kaaviokuva modulaattorista, joka luo DS-SS signaalin. /1/

DS-SS signaalin muodostuminen tapahtuu niin, että binääridata $m(t)$ kerrotaan ensiksi suurinopeuksisella koodisekvenssillä jotta saadaan aikaan energian jakautuminen. Kantaalto $S_n(t)$ suodatetaan, jotta energia saadaan rajoitettua kaistaleveyteen, joka on määritelty koodinopeudessa. Kantaallon yleisimpänä modulaationa käytetään vaihemodulaatiota.



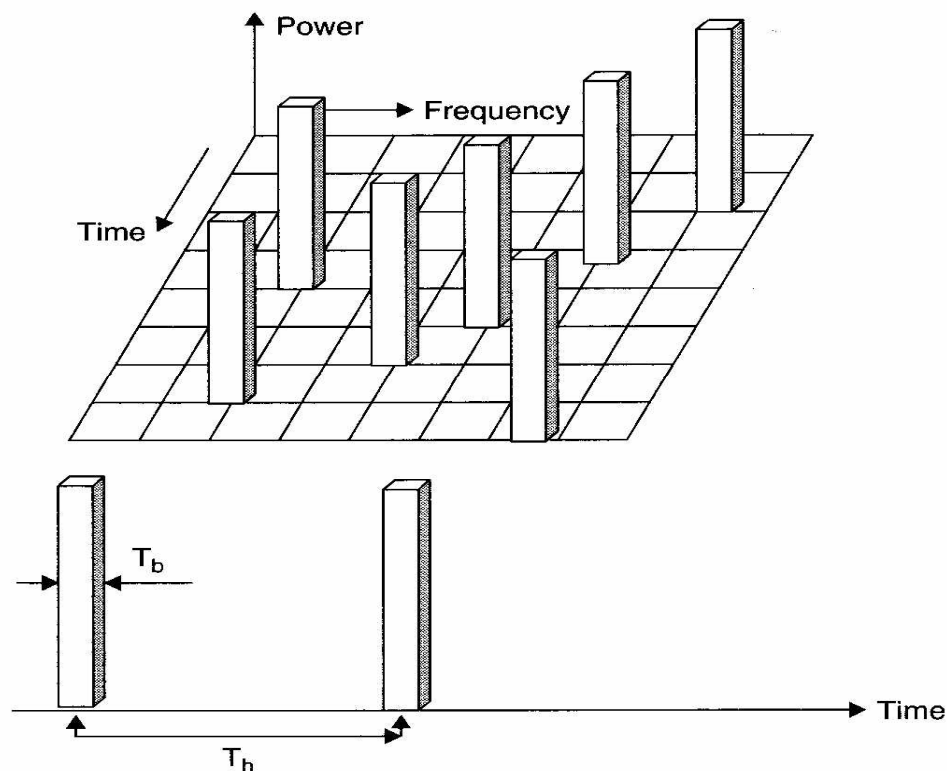
Kuva 9. Kaaviokuva hajaspektrisuodatinvastaanottimesta. /1/

Vastaanotettu kaistanpäästösignaali $S_s(t)$ muunnetaan vastaavaan alipäästösignaaliin, joka muodostetaan yhdistämällä se paikallisesti luotuun koherenttiin kantaaltoon. Uudelleen hajautettu signaali suodatetaan sekä koetetaan.

4.3.2 Taajuushyppelyhajaspektri järjestelmät

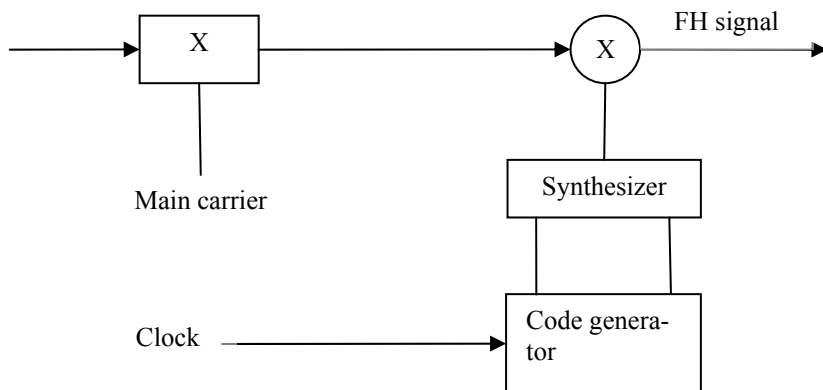
Taajuushyppelyssä lähetyksen kantaallon taajuus vaihtelee käytössä olevien kanavien välillä. Kapea-alainen taajuusalue sekä yksilöllinen kantaallontaajuus keskellä aallonpituutta määrittävät jokaisen lähetetyn kanavan. Onnistuneet kantaallontaajuudet valitaan yhtäläisesti pseudosatunnaisesta vaiheesta hajautuvaa koodisekvenssiä.

On olemassa kaksi laajasti käytettyä FH-tapaa. 1. Nopeataajuushyppely, jossa yksi kokonainen, tai osa datamerkistä, siirretään taajuushyppelyiden välillä. Näin ollen binäärijärjestelmässä taajuushyppelynopeus voi ylittää datanopeuden. 2. Hitaassa taajuushyppelyssä siirretään enemmän kuin yksi merkki taajuudenhyppelyn välillä. Kuvassa 10 nähdään kuinka taajuus hyppii ajan funktiona.



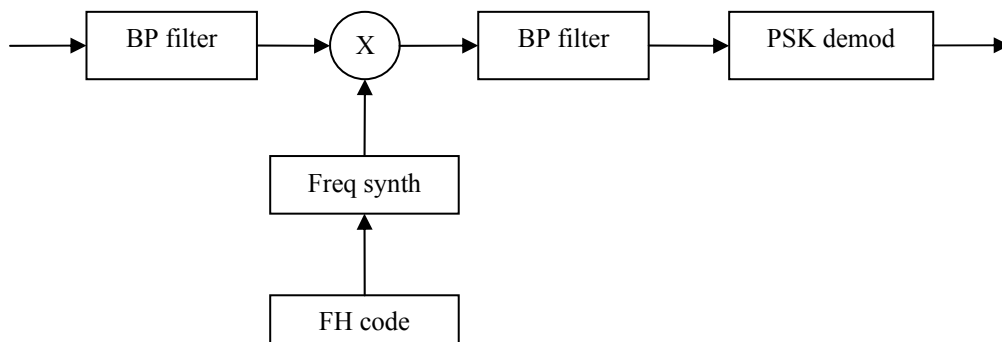
Kuva 10. Kantoaallon taajuuden vaihtelu ajan suhteen. /1/

Tavallinen FH-modulaatiojärjestelmä (kuva 11), sisältää digitaalisen vaihe- tai taajuusmodulaattorin ja taajuussyntetisaattorin. Taajuussyntetisaattori luo kantoaaltotaajuuksia hajautuvan koodisekvenssin satunnaisissa vaiheissa, jotka sekoitetaan datakantaaltoon, josta muodostuu FH-signaali.



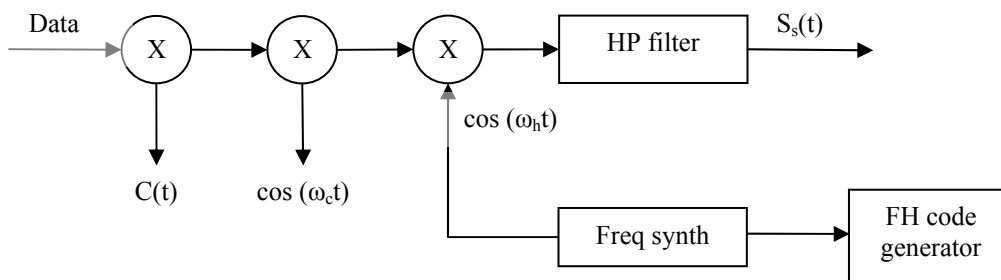
Kuva 11. Kaaviokuva FH-modulaattorista. /1/

Tavallisessa FH-vastaanottimessa (kuva 12), vastaanotettu FH-signaali suodatetaan ja sekoitetaan FH-kanta-aallon kopioon. Sekoitettu ulostulo sovitetaan sopivaan demodulaattoriin. Koherenttia demodulaattoria voidaan käyttää, kun vaihemodulaatiokanta-aalto on vastaanotettu.

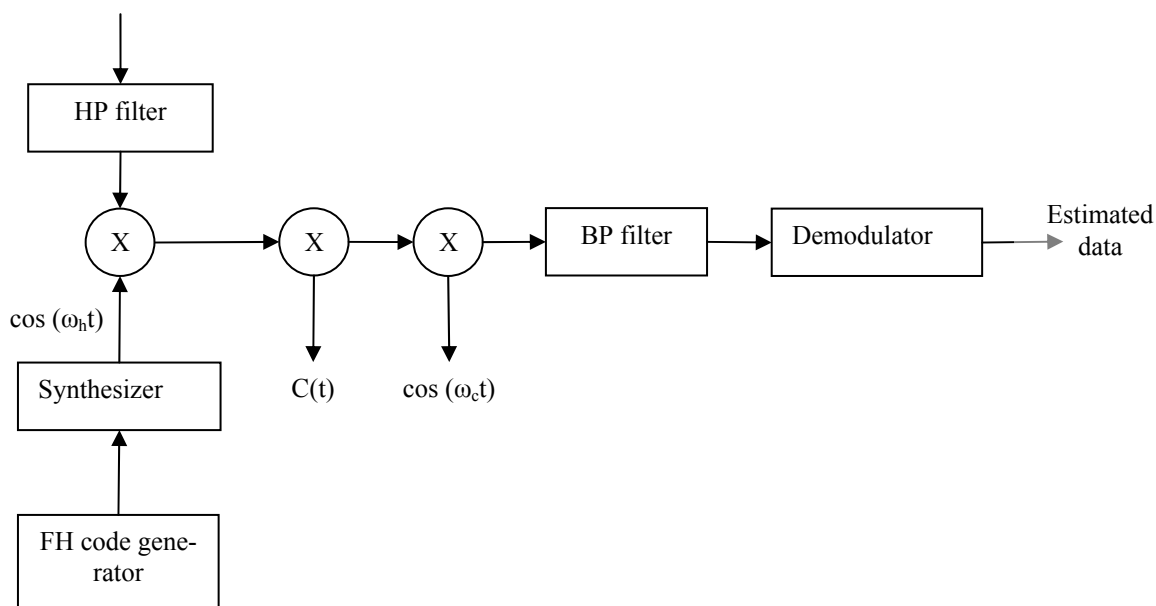


Kuva 12. Kaaviokuva FH-vastaanottimesta. /1/

4.3.3 Hybridi DS/FH-järjestelmät



Kuva 13. Kaaviokuva DS/FH lähetysjärjestelmästä. /1/



Kuva 14. Kaaviokuva DS/FH-järjestelmän vastaanottojärjestelmästä. /1/

Erikoisissa järjestelmissä, kuten häirinnäestossa, voidaan tarvita hybridijärjestelmää jossa käytetään kumpaakin DS- sekä FH-hajaspektrijärjestelmiä. Hybridijärjestelmän lähetys- ja vastaanottojärjestelmät esitetään kuvissa 13 ja 14. Tässä järjestelmässä käytetään kahta koodisekvenssiä. DS/FH-hybridin lähetysjärjestelmä esitetään kuvassa 13, ensimmäinen koodisekvenssi käytetään DS-SS-signaalin muodostamiseen. Siitä seurannut signaali moduloidaan lineaarisesti vaihtuvalla kanta-aaltotaajuudella, joka luodaan taajuussyntetisaattorilla toisen koodisekvenssin mukaan. Kopio vaihtelevasta kantaallostasta luodaan paikallisesti vastaanottimessa käyttäen koherenttia vaihtuvaa koodisekvenssiä.

DS/FH-hybridivastaanotin (kuva 14), jossa vastaanotettu signaali on suodatettu ja sekoitettu vaihtelevalla taajuudella, jonka jälkeen sekoitettu ulostulo on hajautettu käyttäen DS-koodia.

4.4 Hajaspektrijärjestelmän tehokkuus

Hajaspektrijärjestelmän tehokkuus mitataan käyttäen virhesuhdetta (Bit Error Rate, BER). Tärkein parametri, joka vaikuttaa järjestelmän tehokkuuteen, kun yhteys on jaettu ryhmälle käyttäjiä, on häirinnan taso, jonka määrittää monikäyttäjöpääsy. Tä-

mä johtuu siitä, että hajaspektrilähetyksessä jokainen yksilöllinen signaali esiintyy samalla taajuusalueella. Käyttäjien lähetys voi käyttää yhtä kahdesta mahdollisesta tavasta. Ensimmäinen tapa toteutuu, kun lähetys yksilöllisiltä käyttäjiltä sovitetaan aikaan ja taajuuteen, ja tämä tapahtuu synkronisessa hajaspektrijärjestelmässä. Lisäksi, jos synkroniset signaalit muodostetaan käyttämällä ortogonaalisia sarjoja, niin silloin sellaiset signaalit eivät häiritse toisiaan. Näin ollen kanavan kohina yksinomaan määrittää järjestelmän tehokkuuden. Toinen tapa toteutuu kun lähetykset on koordinoimattomia ja tapahtuu asynkronisessa järjestelmässä. Monipääsyhäiriöt pitää ottaa huomioon kun arvioidaan järjestelmän tehokkuutta.

5 CDMA:n periaatteet

5.1 Mobiililaajakaista

Langattomassa viestinnässä sähkömagneettiset aallot leviävät paikallisista lähettimistä tai sitten aallot palaavat niihin langattomista vastaanottimista. Sähkö- ja magneetikenttien aallot ovat ortogonaalisia toistensa suhteen sekä energian etenemisen suhteen. Elektromagneettisten aaltojen taajuusalueet, joita käytetään langattomissa radioissa, ovat alttiita heijastumisiin sekä hajautumisiin kiinteiden kohteiden takia. Aaltojen läpäistessä rakenteita niiden etenemistapa muuttuu. On harvoin mahdollista saada suoraa yhteyttä lähetinaseman sekä langattoman vastaanottimen välille moderneissa langattomissa järjestelmissä. Nämä fysikaaliset ilmiöt aiheuttavat sekä lyhyiden- että pitkien matkojen signaalien vaimentumista tietyillä ominaisuuksilla. Lisäksi radioaaltojen häipymiset riippuvat maaston luonteesta lähetinaseman sekä langattoman laitteen välillä.

5.1.1 Radioaaltojen eteneminen

Radiotiellä olevat lähettävän antennin radioaallot heijastuvat ja hajaantuvat ympäröivistä rakennuksista, mäistä ja muista esteistä, joten aallot saapuvat liikkuvaan vas-

taanottimeen eri suunnista ja eri aikoina. Radioaalto etenee monia väyliä pitkin, joten alkuperäisen aallon kopiot saavuttavat vastaanottavan antennin eri amplitudeilla ja eri vaiheissa. Tätä ilmiötä kutsutaan monitie-etenemiseksi. Näiden aaltojen kerrostuminen johtaa ongelmiin, kun aallot ovat poissa vaiheesta aiheuttaen näin radiosignaalin heikentymisen. Radioaaltojen heijastukset paljon rakennetuilla alueilla sekä maaston vaihtelun vaikutukset tarpeeksi pitkillä matkoilla lähettimen ja vastaanottimen välillä aiheuttaa pitkäaikaisen vaihtelun signaalin tasoon, ja sitä kutsutaan hitaaksi heikentymiseksi. Monitie-eteneminen, joka aiheutuu paikallisten lähettimien heijastuksista, aiheuttaa signaalin tason vaihtelua merkittävästi eri paikoissa. Näitä nopeita lyhytaikaisia vaihteluja kutsutaan nopeiksi häipymisiksi.

Radioaaltojen eteneminen eri polkuja pitkin tarkoittaa sitä, että jokainen komponentti saapuu eri aikoihin. Tätä vaihtelua kutsutaan viivehajaantumiseksi, ja sen aiheuttaa lähetetyn signaalin eri kopiot. Viivehajaantuminen määrittää suurimman tavunopeuden, mikä voidaan siirtää monipolkuisessa radiokanavassa kohtuullisella vääristymällä.

5.1.2 Mobiili radiokanava

Radiosignaalia, joka siirretään mobiilikanavaa pitkin, voidaan kuvailla tietyin tunnuksin jotka liittyvät läheisesti maaston muotoon. Yleensä tukiasemat ovat toisten tukiasemien kantamien ulkopuolella, mutta mobiili yksikkö voi olla monenkin tukiaseman kantaman sisällä. Langaton laite vastaanottaa monia itsenäisiä heijastuneita aaltoja, ja jokaisella on satunnainen vaihe sekä amplitudi, jotka yhdistyvät vastaanottimeen. Vastaanotettuihin signaaleihin vaikuttaa lyhytaikainen häipyminen, ja se johtuu monitie-etenemisestä.

Laajat esteet, kuten kukkulat ja rakennukset, usein estävät radioaaltojen etenemistä. Näistä esteistä johtuvaa vastaanotetun signaalin vaihteluja kutsutaan varjohaihtumiseksi.

5.2 Solumainen CDMA-järjestelmä

On olemassa kahden tyyppistä strategiaa, joita voidaan käyttää langattomien järjestelmien mahdollisimman suuren peiton saavuttamiseksi. Monet kaupalliset radio- ja TV-lähetysjärjestelmät käyttävät suurinta tehoa sekä suurinta mahdollista antennia. Näissä järjestelmissä lähettimen käyttämää taajuutta ei voida muissa lähettimissä käyttää ennen kuin ollaan geometrisesti tarpeeksi kaukana toisistaan. Näin saadaan radiohäiriöt vältettyä. Samaa taajuutta käyttävien lähettimien välinen ero määrittelee taajuuden uudelleenkäyttökertoimen. Solumainen radio toimii päinvastaisella tekniikalla. Se jakaa peitealueen pieniin soluihin, joiden koot vaihtelevat, sekä käyttää matalatehoisia lähettimiä, jotta resursseja voidaan käyttää mahdollisimman tehokkaasti. On kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että langattomat verkot eivät toimisi ilman kiinteän verkon infrastruktuuria. Tukiasemat matkapuhelinverkossa on yhdistetty toisiinsa mikroaaltolinkein tai valokuidulla sekä myös paikalliseen puhelinkeskukseen.

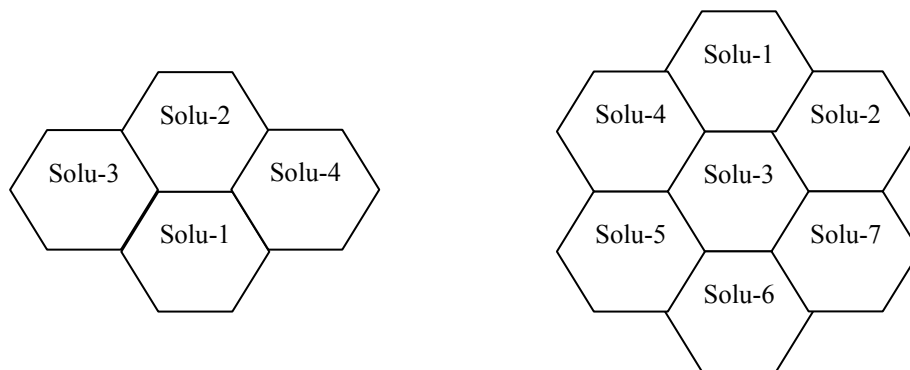
5.2.1 Solukkokäsite

Langattoman verkon solukkomainen rakenne koostuu joukoista soluja. Jokainen solu koostuu tukiaseman lähetin/vastaanotinyksikön lähettämästä tehosta sekä eri määräsistä langattomia yksiköitä, jotka ovat hajaantuneet eri puolille solun peitealuetta. Jokainen langaton yksikkö koostuu herkästä vastaanottimesta ja matalatehoisesta lähetimestä, jotka toimivat langattomassa verkossa monitie-etenemisen, häipymisen ja pääsyneston mukaisin käsittein. Käyttäjä voi liikkua saumattomasti verkon sisällä tietämättä kuitenkaan mitään solujen rakenteesta. Lähettävän antennin säteilykuvio määrittää solun muodon ja, yleisimmissä tapauksissa, sillä ei ole yhdenmukaista muotoa. Ihanteellisessa tapauksessa solu kuvataan ympyränä, jossa tukiasema on keskellä, johon verkon solut tulevat osittain päälle. Mutta on yleistä että radiosolu kuvataan kuusikulmiona joka sopisi vastaavaan ympyrään. Kuvassa 14 on kuvattu yhden solun järjestelmä.



Kuva 14. Yhden solun järjestelmän esitystavat. /1/

Solumainen rakenne yleensä esiintyy 4, 7 tai 13 solun ryhminä. Kuvassa 15 on 4 ja 7 solun joukkio.



Kuva 15. Solumainen rakenne 4 ja 7 solun joukkiosta. /1/

5.2.2 Near-Far vaikutus

Ilmiötä, joka heikentää palvelun laatua langattomassa verkossa, kutsutaan near-far vaikutukseksi. Sitä tapahtuu, kun lähellä tukiasemaa olevan käyttäjän lähetys häiritsee ja peittää alleen kauempaa lähetetyn heikomman signaalin. Tukiasema voi palvella kahta tai useampaa käyttäjää, jos niiden tehojen tason erotus on pienempi kuin mitä prosessista saatava hyöty. Vastaanotettujen tehojen eroilla on tapana heikentää järjestelmän kapasiteettia.

Tutkittaessa near-far vaikutusta tarkemmin, pitää huomioida että häiritsevän signaalin teho on n kertaa suurempi kuin tavoitellun käyttäjän vastaanotettu teho. Häiritsevällä signaalilla on suunnilleen sama vaikutus yhteyskapasiteettiin ja järjestelmän tehokkuuteen kuin n määrällä erillisiä häiriön aiheuttajia, joissa jokaisella on sama teho kuin tavoitellulla signaalilla.

5.2.3 Tehon valvonta

Yksisoluisessa yhteydessä ei tarvita tehon valvontaa, koska tukiasema lähettää kaikki signaalit yhdessä, joten siirtohävikki jokaiselle vastaanottajalle on sama. Täten häiriön ja käyttäjän vaatiman signaalin tason suhde pysyy sellaisena kuin se oli lähettimessä. Kuitenkin, siellä missä on monia soluja, käyttäjä vastaanottaa häiriöitä monilta käyttäjiltä syöttävän tukiaseman alueelta sekä myös sitä ympäröiviltä soluilta. Valvonnan menetelmiä käytetään tehon jakamiseen eri käyttäjille häiriölle altistumisen perusteella.

Yhteyksissä käyttäjien signaalit ovat alttiita eri siirtohävikkeille, jotka määräytyvät langattoman päätelaitteen ja tukiaseman etäisyydestä sekä radioetenemisen vaihteiluista. Vaikkakin kaikki langattomat päätelaitteet lähettävät samalla teholla, niiden signaaleilla on kuitenkin eri teho kun ne saavuttavat tukiaseman. Tehon valvonta reverse-linkissä ei ainoastaan yritä pärjätä varjohäipymistä ja near-far vaikutusta vastaan, mutta myös pitää käyttäjän lähettimen tehon pienimmässä hyväksyttävässä tehokkuuden tasossa, josta seuraa akun kestävyuden pidentyminen.

On olemassa kaksi mahdollista tapaa hallita käyttäjän lähettimen tehoa reverse-linkissä. Nämä metodit pohjautuvat avoimen- (open) ja suljetun- (closed) silmukan (loop)-valvonnan suunnitelmiin. Avoimen silmukan tehonvalvonnassa langaton yksikkö käyttää forward-linkin vastaanotettua ohjauksen tehoa määrittääkseen, mitä asetuksia reverse-linkin lähettävässä tehossa tarvitaan, jotta saavutetaan tarvittava radioteho tukiaseman vastaanottimessa. Automaattisen vahvistuksensäädön mitoituksia soveltamalla (Automatic Gain Control, AGC) kontrolloii päätelaite sen lähettimen tehoa. Tämän mallin heikkoutena on se, että forward- ja reverse-linkit voivat olla eritasoisten siirtohäviöiden kohteena.

Suljetun silmukan tehon valvonnassa tukiasema tarjoaa jokaiselle langattomalle päätelaitteelle jatkuvan informaation niiden signaalin tehosta, mahdollistaakseen toistuvan reverse-linkin tehon säätämisen. Reverse-linkin vastaanotettua tehoa tukiasemalla verrataan haluttuun tasoon ja tehon ero kvantisoidaan jotta saavutetaan tehon käskybitti, joka lähetetään käyttäjälle forward linkin kautta. Tehon käskybitti vaihtaa käyttäjän lähettimen tehoa kiintein portain. Tämän metodin vaihtoehtona on käyttää

kevyttä kvantisointia kovan kvantisoinin sijaan. Kevyt kvantisointi tarvitsee enemmän käskybittejä muuntaakseen lähettimen tehoa. Vähentääkseen viivettä tehon kontrollissa, käskybitti lähetetään forward-linkissä suojaamattomana joten se on alttiina virheille.

Tehon valvontaa voidaan käyttää huomioimaan tehon eri muutoksia, jotka aiheutuvat varjohäipymisestä tai seuraamaan nopeita signaalien hiipumisia. Tehon valvonnan järjestelmät, jotka ovat suunniteltu lieventämään nopeita monisiirtotiehiipumisia, saavat tehon lisäyksiä suuremmalla nopeudella kuin mitä olisi suurin vastaanotetun signaalin hiipumisnopeus.

5.3 Parannellut yhden käyttäjän vastaanottimet

Tavanomaisessa vastaanottimessa suodattimen impulssivaste sovitetaan kohdekäyttäjän koodisekvenssiin huolimatta häiriöistä, joita muodostuu toisista käyttäjistä samassa kanavassa. Tavallisen vastaanottimen suorituskyvyn laskeminen johtuu siitä, että monien käyttäjien kanavat muuntavat kohdekäyttäjän koodisekvenssiä josta seuraa suodattimen epätarkkuus. Lisäksi tavalliseen vastaanottimeen vaikuttaa near-far efekti, ja siksi CDMA-järjestelmän pitää käyttää tiukkaa tehon valvontaa.

Vastaanotin toimii optimaalisesti silloin, kun aktiivisten käyttäjien koodisekvenssit ovat ortogonaalisia toistensa suhteen, koska monikäyttö CDMA-kanava on pääosin korruptoitunut Gaussin kohinasta. Kuitenkaan käyttäjien kanavien ortogonaalisuutta ei pystytä ylläpitämään koko ajan mobiilissa ympäristössä. Near-far-efektin ongelmat tavanomaisessa vastaanottimessa pystytään välttämään hyvin, jos käyttäjien kanavat ovat melkein ortogonaalisia toistensa suhteen, sekä tukiasemalla vastaanotetut tehot pysyvät kaikilla käyttäjillä samoina.

Langattomassa päätelaitteessa tarvitaan vahvaa vastaanotinta, joka pystyy havaitsemaan, että signaali kuuluu juuri siihen yksikköön, ja myös se tarvitsee ainoastaan tiedon hajautuvasta koodista sekä sen signaalin ajoituksesta. Vastaanottimen pitää myös olla suhteellisen vaatimaton mitä tulee sen laskukykyyn, jotta siitä saadaan kustannustehokas.

6 LANGATTOMAN VIESTINNÄN STANDARDIT CDMA:SSA

6.1 IS-95A standardi

IS-95A on tilapäinen standardi, jota käytetään Pohjois-Amerikassa. Se määrittää digitaalisen langattoman järjestelmän käyttäen suorasekvenssi hajaspektri CDMA -tekniikkaa, ja joka toimii samanaikaisesti analogisen AMPS -järjestelmän kanssa. IS-95A määrittää ilmarajapinnan sekä protokollat, joita käytetään langattomien päätelaitteiden ja verkon välillä, sekä se voidaan esittää kolmen kerroksen pinona. Kerros 1 liittyy OSI -mallin fyysiseen kerrokseen, kerros 2 vastaa kahdesta datalinkkikerroksen alikerroksesta: MAC- ja LAC -kerroksista. 3. kerros vastaa verkkokerroksesta. Fyysisessä kerroksessa IS-95A määrittää lähetyksen verkosta langattomaan päätelaitteeseen forward-link tasolla ja lähetyksen päätelaitteelta verkkoon reverse-link tasolla. Käytössä on kahta eri kanavapakettia joita voidaan käyttää forward-link tasolla. Lähetykanavat, jotka sisältävät ohjauskanavan, tahdistuskanavan ja kutsukanavat, lähettävät informaatiota langattomiin yksiköihin. Muut forward-kanavat ovat liikennekanavat, jotka siirtävät tiedon langattomiin päätelaitteisiin.

Langattomia järjestelmiä, jotka rakennetaan IS-95A standardin mukaan, kutsutaan cdmaone -verkoiksi. Ne sisältävät langattoman aseman ja tukiaseman, joita voidaan käyttää sekä analogisissa ja digitaalisissa (dual-mode) järjestelmissä. Analoginen tekniikka viittaa AMPS FM-järjestelmään ja digitaalinen tekniikka cdmaone -järjestelmään. Niinpä IS-95A-järjestelmä rakennetaan kaksiosaiseksi, toinen osa käsittelee AMPS -järjestelmän rajapintaa ja toinen käsittelee cdmaone -järjestelmää.

Kun langattoman puhelimen käyttäjä tekee soiton, niin puhelin kommunikoi voimakkaimman tukiaseman kanssa. Tämä tukiasema on yhdistetty tukiasemaohjaimeen, mikä ohjaa puhelun kytkentäkeskukseen. Puhelut, jotka suunnataan saman tekniikan käyttäjille, välitetään kytkentäkeskuksesta edelleen kohteen tukiasemalle. Kuitenkin jos puhelu suunnataan kiinteään verkkoon, niin silloin puhelu välitetään PSTN:n.

6.2 IS-95A Forward- ja reverse-linkkikanavat

Forward-linkki koostuu 64 loogisesta kanavasta jotka esitetään Walsh-koodeilla. Näitä koodeja käytetään digitaalisten informaatio-signaalien levittämiseen forward-kanavassa. Koska Walsh-koodit ovat toistensa suhteen täysin ortogonaalisia, niin ne muodostavat kanavoinnin forward-kanavaan, jotta signaalit pystytään lähettämään samalla kaistanleveydellä. Tästä aiheutuu toivottavasti mahdollisimman vähän, tai ei ollenkaan, häiriötä niiden välille, kun niitä käytetään IS-95 CDMA -järjestelmässä.

Forward-linkki koostuu seuraavista loogisista kanavista: Walsh-koodi W0 on ohjauskanava kaikkien 0-signaalien siirtoon; yksi tahdistuskanava koodilla W32, synkronointidatan siirtoon nopeudella 1200bps; maksimissaan seitsemän kutsukanavaa välillä W1-W7, kutsutiedon siirtoon nopeuksilla 4800 ja 9600bps; sekä 55–63 liikennekanavaa, riippuen siitä kuinka monta kutsukanavaa on käytössä sillä hetkellä.

6.2.1 Ohjauskanava forward-linkissä

Ohjaussignaalia siirretään loogisessa ohjauskanavassa tukiasemalta jokaisessa forward-linkissä, ja siinä siirretään myös nollasignaalien jakojäännös – kaksi (-2) joka lisätään W0:aan loogisen ohjauskanavan tunnistamiseksi. Tämän prosessin ulostulo hajotetaan PN-sekvenssien parilla, jotta saadaan aikaan quadrature hajautuminen. Tämä on prosessi, joka suoritetaan jokaisessa loogisessa kanavassa. Samaa PN-sekvenssiä käytetään kaikissa tukiasemissa, mutta jokaiselle tukiasemalle (solulle) verkossa määritetään tunnistus, joka muodostetaan vaihesiirrolla PN-sekvenssin toisen parin 64 merkin osassa. PN-sekvenssejä käytetään eri tukiasemien eristämiseen, jotka lähettävät samalla taajuusalueella.

Ohjauskanava toimii ilman tehonvalvontaa ja tarjoaa referenssisignaalin kaikille tukiasemille koherentin demoduloinnin ajastukseen ja taajuusvertailuun. Ohjaussignaali on noin 4 – 6 dB voimakkaampi kuin muut kanavat. Kun päätelaite on saanut ohjauskanavan, niin se voi lukittua toisiin kanaviin ja erotella tukiasemat toisistaan toiseen tukiasemaan siirtymisen mahdollistamiseksi.

6.2.2 Synkronointikanava forward-linkissä

Jokainen tukiasema synkronoidaan GPS-vastaanottimella, ja siirrot forward-kanavissa ovat tiukasti aikakontrolloituja. Langattomat päätelaitteet käyttävät synkronointikanavaa saavuttaakseen ensimmäisen aikasykronoinnin. Jokainen tukiasema lähettää jatkuvasti yhtä synkronointikanavaa, joka sisältää informaatiota verkosta. Informaatio pitää sisällään järjestelmän ID:n, verkon ID:n, kutsukanavien datanopeuden (9600 tai 4800 bps) sekä PN-ohjauskanavan siirron, jota tukiasema käyttää. Jokainen tukiasema lähettää synkronointikanavan datapeitettä Walsh-koodilla W32 ja se jaetaan moniin superkehyksiin, joista jokainen on 80ms (96 bittiä) pitkiä.

Jokainen superkehys koostuu kolmesta erillisestä kehyksestä, jotka ovat 32 bitin (26.67ms) kokoisia. Jokainen kehys sisältää kehyksen rungon (31 bittiä) sekä yhden viestin alkubitin (SoM). Synkronointikanavan viestin alku edeltää SoM bitin ”1” ja kaikki muut SoM bitit ovat nollia, jotka tukiasema määrittää.

Tukiasema lähettää synkronointikanavan viestiä peräkkäisissä kehyksissä. Viestiä täytetään nolilla jotta viestiä saadaan pidennettyä seuraavan superkehysten alkamiseen saakka. Synkronointikanava sisältää viestin pituuden määrittävän alueen, joka on kahdeksan bittiä eli yksi oktetti. Synkronointikanava voi olla suurimmillaan 256 oktettia, joten suurin viestin osa on 255 oktettia = 2040 bittiä. Viestin runko voi olla kahden – 2002 bitin kokoinen, jota seuraa CRC alue joka on kooltaan 30 bittiä.

6.2.3 Kutsukanava forward-linkissä

IS-95 tukiasema voi lähettää nolista seitsemään kutsukanavaa yhdellä kertaa käyttäen Walsh-koodeja. Tukiasema käyttää kutsukanavia kutsuakseen levossa olevaa langatonta päätelaitetta mahdollisen tulevan puhelun varalta, tai kuljettaakseen kontrolliviestejä puhelujen valmistelemiseksi. Langattoman päätelaitteen ollessa levossa se yleensä kuuntelee kutsukanavaa. Tukiasema lähettää kutsuinformaatiota kiinteällä datanopeudella joko 9600 tai 4800 bps, samaa datanopeutta käytetään kaikilla kutsukanavilla samassa järjestelmässä. Kutsukanava on kooltaan 20 ms ja se on aikatasattu IS-95 järjestelmään.

Kutsukanava käyttää samaa PN-sekvenssiä, bittinopeutta ja aikasiirtoa, joita ohjauskanava käyttää samassa järjestelmässä. Kutsukanavan data konvoluutiokoodataan ½-tason koodaimella. Koodatut symbolit toistetaan ennen lohkon lomittamista, jos käytetty datanopeus on alle 9600 bps. Koodatut symbolit toistetaan niin, että jokainen merkki esiintyy kahdesti peräkkäin kun datanopeus on 4800 bps.

Signalointi kutsukanavalla toteutetaan 128 sekunnin sykleissä. Jokainen sykli jaetaan 640 lohkoon, 0 – 639. Jokainen lohko on kestoaltaan 200 ms ja se koostuu kymmenestä kutsukehyksestä, jotka ovat kestoaltaan 20 ms. Nämä kutsukehykset jaetaan vielä kahdeksi, 10 ms kutsukanavan puolikehyksiksi. Ensimmäinen bitti jokaisessa puolikehyksessä on SoM-bitti.

Kutsukanavan viesti koostuu kutsuviestistä sekä täytebiteistä. Kutsuviesti koostuu 'viestin pituus' kentästä, viestin rungosta ja CRC-kentästä. Kutsukanavan viesti voidaan joko siirtää synkronoidusti tai asynkronisesti. Synkronoitu viesti alkaa kutsukehyksen puolikehyksen toisella bitillä, kun taas asynkroninen viesti alkaa heti edellisen viestin jälkeen.

6.2.4 Liikennekanava forward-linkissä

Liikennekanavaa käytetään digitaalisen äänen ja datapalvelujen siirtämiseen, siirto tapahtuu kehys-kehykseltä – periaatteella, jossa jokainen kehys on kestoaltaan 20 ms. Digitaalista informaatiota siirretään kahdella eri nopeudella; ensimmäinen nopeus mahdollistaa maksimissaan 9600 bps nopeuden ja toinen tukee maksimissaan 14400 bps nopeutta. Pienempiä nopeusalueita siirretään käyttämällä siirtoon pienempää lähetyksen tehoa.

Loogisia liikennekanavia on 55 Walsh-koodien W8 – W63 välillä. Tämä määrä voi vielä kasvaa 63 kanavaan, josta kuitenkin pitää ottaa pois synkronointi- ja kutsukanavat, jotka toimivat samassa forward-kanavassa. Liikennekehys koodataan käyttämällä ½-tason konvoluutiokoodainta. Jokainen koodattu merkki toistetaan kahdesti 4800 bps nopeudella, neljästi 2400 bps nopeudella ja kahdeksan kertaa 1200 bps nopeudella. Koodatut ja toistetut merkit tuodaan lohkolomittajaan rivi riviltä; jokainen rivi sisältää 24 merkkiä ja jokainen lomitus toimii 16 rivillä.

Liikennekanaviin liittyy myös olennaisesti teho, sen valvonta ja kapasiteetin koko. IS-95 A-järjestelmässä käytetään tehon valvonnassa avoimen ja suljetun silmukan yhdistelmää. Avoimessa silmukassa langaton päätelaite mittaa tehoa, joka vastaanotetaan tukiaseman ohjaussignaalista ja muuntaa samalla oman lähettimensä tehon tasoa sen mukaisesti. Keskimääräisen vastaanotetun tehon aleneminen on merkki siitä, että langattoman päätelaitteen pitää nostaa sen oman lähettimen tehoa, jotta saataisiin signaalintaso pysymään samana, olettaen että reverse- ja forward-kanavilla on keskinäiset ominaisuudet samoja. Avoin silmukka tarjoaa nopean tehon valvonnan eri muuttujille vastaanotetussa signaalissa. Kuitenkin, jotta saadaan tarkempaa tehon valvontaa päätelaitteelle, niin tukiasema mittaa päätelaitteen vastaanotetun tehon reverse-linkistä ja syöttää mittaustuloksen takaisin langattomaan päätelaitteeseen suljetun silmukan avulla. Tukiasema lähettää tehon kontrollikäskybittiä 800 Hz taajuudella jatkuvasti säädellen langattoman päätelaitteen tehoa 1 dB:n askelin, joko ylöspäin tai alaspäin. Tukiasema lähettää Null-kehystä, jos palvelua ei ole saatavilla. Null-kehys sisältää 16 ykkösbittiä, jota seuraa kahdeksan nollabittiä, se lähetetään 1200 bps nopeudella.

6.2.5 IS-95A Reverse-linkkikanavat

Reverse-linkki koostuu saantikanavista ja vastakkaisista liikennekanavista, jotka jakavat saman CDMA-spektrin, joka toimii 45 MHz:ä pienemmällä taajuudella kuin forward-linkin kanavat. Forward-linkin kanavat toimivat 869–894 MHz:n taajuuksilla ja reverse-linkit kanavat toimivat 824–849 MHz:n taajuuksilla. Jokaisella reverse-liikennekanavalla/saantikanavalla on oma erillinen tunnuksensa. Forward- ja reverse-liikennekanavien eroina on se, että reverse-liikennekanavassa ei kulje tehon valvonnan informaatiota sekä kanavointi suoritetaan 64-ortogonaalisena modulaationa käyttäen Walshin 64 funktiota. Reverse-linkin liikennekanavien kantoaaltomodulaationa käytetään Offset-QPSK:ta.

Reverse-liikennekanava- ja saantikanavaosoitteena käytetään peitettyä pitkää koodia. Langaton päätelaite voi käyttää yhtä kahdesta pitkästä koodista lähettämiseen reverse-linkin liikennekanavassa; julkista yksilöllistä koodausta aseman ESN:ään tai yksityistä koodausta jokaiselle käyttäjälle.

6.3 IS-95A standardien kehitys IS-95B:ksi

Internetin nopea kasvu ja lisääntyvä tarve suuremmille datanopeuksille langattomissa järjestelmissä ovat kiihdyttäneet IS-95A:n kehitystä seuraavaan versioon, IS-95B:hen. IS-95B:n radiorajapinta on alaspäin yhteensopiva IS-95A:n radiorajapintaan, joten IS-95A:n fyysiseen kerrokseen ei tullut muutoksia. IS-95A luokitellaan toisen sukupolven standardiksi GSM:n kanssa, IS-95B standardit tarjoavat 2.5 sukupolven teknologian. Se otettiin ensimmäisenä käyttöön Koreassa 1999 ja Japanilaiset operaattorit seurasivat pian perässä.

IS-95B-järjestelmät mahdollistavat nopeammat datanopeudet. Aktiivisella high speed päätelaitteella toimii aina FCH nopeudella 9.6kb/s. Nopeampia datanopeuksia tarvittaessa tukiasema määrittää suurimman määrän koodikanavia vapaaksi langattomalle päätelaitteelle datapurskeen ajaksi, joka on kahdeksan koodikanavaa. Datapurske on määritelty lyhyeksi ajaksi, jonka aikana nopea datanopeus lähetetään. Tasolla yksi siirtyy data nopeudella 76.8 kb/s, ja tasolla 2 data siirtyy nopeudella 115.2 kb/s.

Nopeassa tiedonsiirrosta käytetään FCH:ta ja SCH:ta koodikanavina. FCH hoitaa signaloinnin, tehon valvonnan, hallitsee käyttäjien tietoja sekä se tukee pehmeätä kättelyä. FCH on myös määritelty puhelujen keston hallintaan, kun taas SCH on määritelty datapurskeen keston hallintaan. Datan nopeuksia hallitsee sekä määrittelee tukiasema. Matkapuhelin välittää tukiasemalle informaatiota kanavan laadusta, jotta tukiasema pystyisi tekemään datanopeudesta päätöksen lähettämällä ohjauksen laadun mittaustulokset reverse-linkissä. SCH:n tehon valvontaa johdetaan FCH:n kautta, joten SCH:lla ei ole omaa tehon valvontasilmukkaa. IS-95B tukee myös asymmetristä datapalvelua, joka tarkoittaa sitä, että forward- ja reverse-linkeillä voi olla eri datanopeudet.

6.3.1 Purskeinen suurinopeuksinen data

Käytettäessä CDMA-järjestelmiä, niin suurin haitta suurinopeuksiselle datalle on kaistanleveyden leviäminen jo sovitussa langattomassa taajuusalueessa. IS-95B:ssä määriteltiin uusi pursketila jossa tukiasema dynaamisesti kontrolloi purskeen jakamista päätelaitteisiin. Se mahdollistaa välittömän kuorman ja pääsyn häirinnän so-

luun ja sitä lähellä oleviin soluihin. Tätä tekniikkaa kutsutaan Load and Interference based Demand Assignment, LIDA. LIDA on ratkaisu, joka sallii useamman suurinopeuksisen langattoman datapäänteen jakaa saatavilla oleva taajuuskaista ilman, että äänipalvelujen taso heikkenee.

LIDA käyttää FCH:ta CDMA-järjestelmän saatavuuden ja jäljittämisen hallintaan, mikä näin ollen pienentää saatavuuden viivettä sekä signaloinnin tarpeetonta prosessointia. Lisäksi eri datanopeudet ja QoS saavutetaan muuttuvalla leviämisen hallinnalla, koodien yhdistämisillä sekä häirinnän hallinnalla. Joten tiettyä datanopeutta, joka on määritelty langattomalle päätelaitteelle tietyllä hetkellä, säädellään dynaamisesti, koska se on riippuvainen polun häviöille, radioympäristön vaimenemiselle sekä käyttäjän liikkuvuudelle.

Puhelun yhdistyessä FCH ohjaa päätelaitetta ja nopean datapalvelun parametrit neuvotellaan käytettävän tukiaseman kanssa. Jos päätelaitteella ei ole välittömästi dataa siirrettävänä niin se menee valmiustilaan, jossa se kuitenkin pystyy kommunikoimaan pienemmällä nopeudella, jolloin se pystyy pitämään yllä synkronointia sekä tehon valvontaa. Jotta nopea datansiirto reverse-linkissä onnistuisi, niin päätelaitteen pitää lähettää pyyntö tukiasemalle, jossa se ilmaisee että data ruuhkautuu sekä pyytää suurinta datanopeutta. Purskeiseen tiedonsiirtoon forward-linkissä tukiasema pyytää päätelaitetta raportoimaan ohjausvoimakkuuden mittaustuloksista ennen purskeen jakoa, jotta päätelaite pystyy määrittelemään häiriön voimakkuuden.

6.3.2 MAC-alikerroksen protokolla

Yhteyskerros jaetaan kahteen alikerrokseen: Link Access Control (LAC) ja Medium Access Control (MAC). LAC-alikerros välittää palveluja, kuten signaalointia, ääntä, pakettikytkettyä dataa ja piirikytkentäisiä datapalveluja ylemmille OSI-kerroksille (3-7). IS-95B määrittelee mahdollisuuden, joka on high-speed packet data service, jota langaton päätelaite käyttää nopeandatan palvelun pyyntöön tukiasemalta. Pyyntöissä päätelaite määrittelee sen nopeandatan kapasiteetin, eli SCH:n määrän forward- ja reverse-linkkeissä. Tukiasema vastaa päätelaitteelle ilmoittamalla kuinka monta SCH:ä se pystyy välittämään sen käyttöön. MAC-protokollalla on kaksi tilaa: aktiivi tila, jossa liikennekanava on määritelty päätelaitteelle, sekä point-to-point –

yhteys, joka muodostuu langattoman päätelaitteen ja verkon välille. Käyttäjän tiedot siirtyvät ainoastaan silloin kun MAC on aktiivisessa tilassa. Päätelaite yleensä pysyy aktiivisessa tilassa vain lyhyen aikaa purskesiirron valmistuttua, jotta seuraavan purskeen pääsy nopeutuisi. Jos aktiivista toimintaa ei esiinny niin päätelaite siirretään valmiustilaan, jolloin liikennekanavakaan ei ole enää määriteltynä päätelaitteelle. Mutta päätelaitteen kirjautuminen nopeandatan-palveluihin pidetään yllä PPP- yhteyden avulla, joka pysyy koskemattomana.

6.3.3 Kompromissit IS-95B-järjestelmän suorituskyvyssä

Käytettäessä high speed dataa, niin forward- ja reverse-linkkien kapasiteeteissa ja peitealueissa on erilaisuutta. Solussa, jossa liikkuu sekä ääntä että dataa, järjestelmän kapasiteetti määritellään keskiarvoisesta suoritustehosta. Keskiarvoinen suoritusteho saadaan selville laskemalla yhteen käyttäjien keskiarvoinen määrä, jonka solu tukee sekä lisäämällä siihen datanopeus, jota käytetään. Forward-linkissä suurta kapasiteettia ei saavuteta edes täydellisellä solujen peitteellä, koska high speed data aiheuttaa pääsyhäiriöitä palvelemaan soluun sekä sitä ympäröiviin soluihin, varsinkin jos high speed päätelaitteet ovat joko solun sisällä tai lähellä solun rajaa. Suurempi kapasiteetti voidaan saavuttaa vain pienentämällä solun peitealueen vaatimuksia.

Purskeenkäyttöjärjestelmät, jotka tulivat käyttöön IS-95B-versiossa, käyttävät järjestelmän nykyistä kuormaa, joka on arvio resurssien käytöstä päätelaitteella, yhdessä päätelaitteelta saatujen ohjausvoimakkuuden mittaustuloksien kanssa, jotta verkko pystyisi päättämään hyväksyttävän datanopeuden päätelaitteen datapurskeelle. Tällainen järjestelmä tarjoaa dynaamisen mekanismin kaistanleveyden kompromisseihin ääniviestinnän käyttäjien ja high speed datan käyttäjien kesken.

Datapurskeen pituus ja koodien määrä, joka on määriteltä pakettidatan käyttäjälle, ovat toimintoja käyttäjän liikkuvuuden mahdollistamiseksi. IS-95B määrittelee enemmän koodeja kiinteän yhteyden tai pienen liikkuvuuden käyttäjille kuin suuren liikkuvuuden omaavalle käyttäjälle. Resurssien jako langattomiin päätelaitteisiin käynnistyy handoff:n aktivoinnilla ja keskiarvoista määrää handoff-tapahtumia voidaan käyttää resurssien jaon optimoimiseksi.

6.4 Cdma2000 standardi

Vuonna 1999 ITU määritteli globaalit vaatimukset seuraavan sukupolven langattomiin telekommunikaatiojärjestelmiin (3G) dokumenttiin nimeltä IMT2000. Samalla ITU määritteli myös taajuusalueet forward- ja reverse-linkkien kanaville. Forward-linkin kanavat toimivat 2110–2200 MHz:n taajuuskaistalla johon myös kuuluu satelliittikomponenttien taajuuskaista 2170–2000 MHz. Reverse-linkin kanavat toimivat 1885–2025 MHz taajuuskaistalla ja satelliittikomponenttien kaista on 1980–2010 MHz.

Cdma2000 standardi on seuraavan sukupolven laajennus IS-95-järjestelmään, sen kehittäjinä toimi konsortio nimeltään 3GPP2. Tämä konsortio määritteli spesifikaatiot radiolähetysteknologiaan jotka täyttivät IMT2000 määritelmät sekä myös alaspäin yhteensopivana IS-95-järjestelmään. Kummatkin järjestelmät jakavat yhteisen 1.25 MHz:n kanavan niin sanottuna muutospolkuna IS-95:stä 3G laajakaistajärjestelmiin. Lisäksi IS-95-tekniikan komponentteja voi käyttää hyväksi cdma2000-järjestelmässä, esimerkiksi IS-95 puhelimet voivat toimia kaksoistaajuus cdma2000-ympäristössä ja cdma2000-järjestelmä voidaan laittaa päällekkäin samalla kaistaleveydelle missä IS-95 toimii.

Cdma2000-järjestelmässä käytössä olevat fyysiset kanavat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Ensimmäistä ryhmää kutsutaan omistetuiksi kanaviksi, näihin kanaviin voisi esimerkiksi kuulua datan kuljetus sekä tarkastuksensignalointi reverse- ja forward-linkkeissä. Toista ryhmää kutsutaan yleisiksi kanaviksi, ja niitä käytetään ohjauksen, kutsun ja synkronoinnin lähettämiseen sekä tarkastusinformaatioon forward-linkissä, tai sitten niitä käytetään käyttäjän lähetyksenpyyntönä reverse-linkissä. Forward-linkissä on viisi yhteistä kanavaa: Ohjaus (F-PICH), yhteinen lisäkanava (F-CAPICH), kutsukanava (F-PCH), yhteinen tarkastuskanava (F-CCCH) sekä synkronointikanava (F-SYNC). Reverse-linkillä on lisäksi kolme yhteistä kanavaa: pääsykanava (R-ACH), laajennettu pääsykanava (R-EACH) sekä yhteinen tarkastuskanava (R-CCCH).

Ohjauskanavat F-PICH ja F-CAPICH varustavat cdma2000-järjestelmän pehmeän siirtymisen toiselta tukiasemalta toiselle. Kutsu langattomissa päätelaitteissa mahdol-

listetaan käyttämällä F-PCH-kanavaa. Synkronointi langattomissa päätelaitteissa mahdollistetaan soveltamalla informaatiota, joka saadaan cdma2000-järjestelmästä käyttämällä F-SYNC-kanavaa. Signaloinnin tarkastusinformaatio forward-linkissä siirretään F-CCCH-kanavassa. R-ACH-kanavaa käytetään langattomien päätelaitteiden kommunikointiin tukiasemien kanssa pääsyn sallimiseksi, kun taas R-CCCH-kanavaa päätelaite hyödyntää signaloinnin tarkastusinformaation lähettämiseen tukiasemalle.

Forward-linkissä omistetut kanavat sisältävät joko keskeisen kanavan (F-FCH) tai omistetun tarkastuskanavan (F-DCCH). F-FCH on määritelty data- ja ääniliikenteelle, ja hieman signaloinnin kanavointiin liikenteen avulla 14.4kbs nopeuteen asti. F-FCH-kanava vastaa toiminnaltaan liikennekanavaa IS-95:ssä. F-SCH toimii F-FCH:n tai F-DCCH:n kanssa yhdessä mahdollistaakseen nopeammat datanopeuspalvelut. Pakettimuotoinen data siirretään purskeina, joka tarkoittaa että lähetetään lyhytkestoista suurinopeuksista liikennettä, joiden väliin tulee pitkiä taukoja kun liikennettä ei kulje. Yhden kantoaallon cdma2000 siirtää sekä ääntä että suurinopeuksista dataa yhtäaikaaisesti merkityksettömällä vaikutuksella palvelun laatuun kummallakin palvelulla. F-DCCH:tä käytetään datan, tarkastusinformaation ja tehon valvontainformaation siirtoon tukiasemalta langattomalle päätelaitteelle.

Fyysiset omistetut kanavat reverse-linkissä sisältävät keskeisen reverse-linkin (R-FCH), reverse-ohjauskanavan (R-PICH), omistetun reverse-tarkastuskanavan (R-DCCH) sekä yhden tai kaksi täydentävää reverse-koodikanavaa (R-SCCH). Vaikka standardi mahdollistaa suurimmaksi datanopeudeksi 1Mbs, niin realistinen huippu saavutetaan 307kbs nopeudella.

Cdma2000-järjestelmässä käytetään jakamiseen sirunopeutta ja ne ilmaistaan kokonaisluvuilla kerrottuna perussirunopeudesta, joka on käytössä IS-95-järjestelmässä, eli $N \cdot 1.21288 \text{ Mc/s}$. N on vaihtuva kokonaisluku ja sillä myös ilmaistaan jakonopeus, esim. SR1 on $N=1$. Forward-linkissä cdma2000-järjestelmä käyttää monikantoaalto-tekniikkaa lähettämiseen ja jokainen monipolkuisesta datasta jaetaan eri kantoaalloilla jakonopeudella 1. Reverse-linkki käyttää yhtä kantoaaltoa ja jakaa dataa sirunopeudella $N \cdot 1.2288 \text{ Mc/s}$. Cdma2000-järjestelmässä on käytössä kuusi radiokonfigu-

raatiota (RC) reverse-linkin liikennekanaville, neljä niistä on määritelty SR1 jakonopeudella ja kaksi on määritelty SR3 jakonopeudelle.

6.4.1 Reverse-linkin kehykset cdma2000-järjestelmässä

Cdma2000-järjestelmään on tehty reverse-linkille kaksi tärkeää uudistusta, joita ei ole saatavilla IS-95-tekniikalle. Ensimmäinen uudistus on reverse-linkin koherentti tunnistus käyttäen reverse-linkin ohjauskanavaa, toinen uudistus on nopea forward-linkin tehonvalvonta käyttäen reverse-linkkiä. Tärkein yhteensopivuus reverse-linkin yhteisillä kanavilla cdma2000-järjestelmän ja IS-95:n välillä on R-ACH, eli pääsykanava. Reverse-linkillä on käytössään yksi peruskanava, jos päätelaitteella on datan lähettämistä ja merkinantoinformaatiota tukiasemalle puhelun aikana. Peruskanavan kehyksen pituus on 20ms ja datanopeus vaihtelee kehys – kehykseltä -periaatteella, mutta modulaation merkinopeus pidetään kiinteänä toistamisen avulla. Kehyksen databittien määrä riippuu radiokonfiguraatiosta ja lähetyksen datanopeudesta.

6.4.2 Täydentävät koodikanavat cdma2000-järjestelmässä

Reverse-linkin täydentäviä koodikanavia käytetään yhdessä peruskanavan sekä radiokonfiguraatioiden 1 ja 2 kanssa, jotta saadaan nopeat datanopeuspalvelut käyttöön. Lähetyksenopeus radiokonfiguraatio 1:ssä, RC1, on 9.6kb/s ja radiokonfiguraatio 2:ssä, RC2, se on 14.4 kb/s. RC1:n kehyksessä bittien määrä on 192, joista 172 on databittien määrä. RC:2 kehyksen pituus on 288 bittia joista 267 on databittien määrä.

Myös radiokonfiguraatioita 3-6 käytetään ainoastaan yhdessä peruskanavan kanssa. Puhelun aikana langaton päätelaite lähettää dataa tukiasemalle käyttäen kahta peruskanavaa, käytetty datanopeus riippuu järjestelmän käytetystä radiokonfiguraatiosta. Reverse-linkin täydentävien kanavien kehyksien pituudet ovat 20, 40 tai 80 ms. Databittien määrä kehyksessä riippuu järjestelmässä käytetystä radiokonfiguraatiosta.

Reverse-linkin ohjauskanava on moduloimaton signaali, joka jaetaan Walshin 32-järjestelmän 0-koodissa, jossa siirtyy reverse-linkin tehonvalvonnan informaatio, sitä käytetään tukiaseman tehon valvontaan forward-linkissä radiokonfiguraatioissa 3-6. Reverse-linkin ohjauskanava myös avustaa tukiasemaa langattoman lähetyksen val-

vonnassa tarjoamalla taajuuden vertausarvoja koherenttiin demodulointiin. Reverse-linkin ohjauskanavan portituskehys on 20ms kestoaltaan ja jokainen tehonvalvonnanryhmä, joita on 16 kappaletta (0-15), on 1.25ms pitkiä. Portitusnopeudet ovat 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$. Käytettäessä tasoa 1, niin jokainen tehonvalvonnanryhmä lähetetään, kun käytetään $\frac{1}{2}$ -tasoa, niin ainoastaan parittomat tehonvalvontaryhmät lähetetään. $\frac{1}{4}$ -tasoa käytettäessä vain tehonvalvontaryhmät 3, 7, 11 ja 15 lähetetään.

Langaton päätelaite käyttää reverse-linkin omistettuja kanavia datan ja merkinantoinformaation siirtoon tukiasemalle puhelun aikana. Reverse-linkin liikennekanava sisältää yhden omistetun reverse-linkin tarkastuskanavan, tämän kanavan datanopeudet ovat kiinteitä 9.6kb/s tai 14.4kb/s. Kehyksen pituus on 20ms, josta 5ms on varattu datalle joka siirtyy 9.6kb/s nopeudella.

Yleistä tarkastuskanavaa käytetään datan ja merkinantoinformaation siirtoon päätelaitteelta tukiasemalle silloin, kun reverse-linkin liikennekanava ei ole käytössä. Kanavan lähetys koodataan, lomitetaan ja moduloidaan kuten hajaspektrisignaali. Langaton päätelaite lähettää välien aikana, jotka tukiasema määrittelee. Data siirretään 9.6, 19.2, 38.4 kb/s nopeuksilla kehyksissä, jotka ovat 20, 10 tai 5 ms kestoaltaan riippuen lähetyksen nopeudesta.

Päätelaite käyttää laajennettua pääsykanavaa aloittaakseen kommunikaation tukiaseman kanssa tai vastatakseen sille osoitettuun viestiin. Lähetys laajennetulla pääsykanavalla tapahtuu siten, että ensiksi kanavalla tapahtuu alustus jota seuraa joko pääsyotsikko tai pääsydata riippuen siitä, kummassa tilassa laajennettu pääsykanava juuri sillä hetkellä on, joko perustilassa tai laajennetussa pääsytilassa.

Päätelaite käyttää pääsykanavaa aloittaakseen kommunikaation tukiaseman kanssa tai vastatakseen kutsuviestiin. Pääsykanavan lähetys on koodattu, lomitettu ja moduloitu hajaspektriviesti. Pääsykanava koostuu pääsyalustuksesta, jota seuraa sarja pääsykehyksiä. Pääsykanava lähettää dataa kiinteällä datanopeudella 4.8kb/s, sama datanopeus on käytössä IS-95:ssä, jokaisen kehyksen ollessa 20ms pituisia.

6.4.3 Forward-linkin kanavat cdma2000-järjestelmässä

Cdma2000-järjestelmän forward-kanavien täytyy tarjota nopeammat datayhteydet, jotta saataisiin IMT2000 vaatimukset täytettyä multimediapalvelusten osalta, sekä samaan aikaan kanavien pitää olla alaspäin yhteensopivia ja toimia moitteettomasti IS-95-järjestelmän kanssa. Forward-kanavat, niin ohjaus-, kutsu- ja synkronointi-kanavat ovat identtisiä cdma2000- ja IS-95-järjestelmissä.

Yksi uusista ominaisuuksista, joka tuli cdma2000:n mukana, on järjestelmän mahdollisuus käyttää kahta eri antennia lähetykseen forward-kanavilla. Tätä ominaisuutta kutsutaan lähetyksen monipuolistamiseksi (trasmit diversity). Kaikkia forward-kanavia, paitsi F-ohjauskanavaa ja F-SYN-kanavaa, voidaan lähettää käyttämällä trasmit diversityä. Trasmit diversity tekniikka cdma2000-järjestelmässä lisää forward-linkin kapasiteettiä ja sitä voidaan käyttää kahdella eri tavalla: Orthogonal Trasmit Diversity (OTD) ja Space-Time Spreading (STS). Monikantoaaltojärjestelmissä eri kantoaalto voidaan ohjata eri antennille.

7 WIDEBAND CDMA

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on UMTS-verkoissa käytettävä radiorajapinta. Se määrittelee esimerkiksi, kuinka mobiililaitteet kommunikoivat tukiasemien kanssa ja miten signaalit moduloidaan.

7.1 High-speed downlink packet access (HSDPA)

Suurinopeuksiset datalähetykset forward-linkkeissä ovat välttämättömyyksiä videon, tilauspalvelujen ja Internetin käytön mahdollistamiseksi. HSDPA esiteltiin julkaisussa 5, ja sen taustalla oli konsortio nimeltään 3GPP, tarkoituksena tukea palveluita jotka tarvitsevat nopean datanopeuden forward-linkissä ja joka on määritelty sekä FDD- ja TDD-järjestelmille. HSDPA lisää datanopeutta päätelaitteen suuntaan solus-

sa, teoreettisen maksiminopeuden noustessa 14.4Mb/s sen lisäksi palveluiden laatu, käytettävyys ja luotettavuus paranevat. HSDPA:ssa on otettu käyttöön seitsenkertainen datanopeus verrattuna vanhaan DCH:n. Se saavutetaan siten, että käyttäjät jakavat yhden isomman taajuuskaistan nimeltään High-Speed DSCH (HS-DSCH). Suurin saavutettavissa oleva taajuuskaista HSDPA:ssa riippuu suuresti solun koosta, koska suurin datanopeus yleensä pienenee huomattavasti solun reuna-alueilla. Makrosoluisissa, kun käyttäjät ovat eri puolilla soluja, ryhmän suurin datanopeus voi olla 1-1.5Mb/s. Käyttäjien ollessa mikrosolujen alueella niin suurin datanopeus voi olla 6Mb/s.

Suurinopeuksisen datan lähetys ja vastaanotto, jonka HSDPA mahdollistaa, tarvitsee ARQ:n (Automatic Repeat Request) nopeaa kontrollia. Tällä tavoin saadaan verkon vastausaikaa pienennettyä ja voidaan tarjota nopea liikennöinnin ajoitus. Nopea liikennöinnin ajoitus lisää kuitenkin järjestelmän monimutkaisuutta huomattavasti, ja siksi TTI (Transmission Time Interval) HSDPA:ssa onkin vain 2ms verrattuna normaaliin aikaan, joka on 10 ms. TTI on aika, joka kuluu MAC:n ja fyysisen kerroksen väliseen siirtoon.

Kun tiedonsiirrossa esiintyy virheitä, niin datapaketti voidaan uudelleenlähettää päätelaitteen pyynnöstä. Uusi HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) on kehitetty tarjoamaan tarvittavan tehokas uudelleenlähetys pienellä viiveellä joko hävinneistä tai korruptoituneista datapaketeista.

HSDPA käsite on yhdistelmä monista tekniikoista, mutta pääideat nopeandatan suorituskyvyssä ovat samanlaisia kuin menetelmät, jotka ovat jo käytössä GSM ja EDGE standardeissa; AMC (Adaptive Modulation and Coding) ja FPS (Fast Packet Scheduling). HSDPA:n tekniikkaa on vielä laajennettu enemmän julkaisussa 7, jossa tuli käyttöön nopea solun valinta FCS (Fast Cell Selection) ja MIMO (Multiple Input Multiple Output).

AMC:n toimintatavan tarkoitus on valita tarpeeseen sopivat modulaatio- ja koodausjärjestelmät, joita fyysiset kerrokset voisivat käyttää tiedonsiirtoon estääkseen vaihtelet, joita esiintyy radiotiellä ja samalla parantaa QoS:ää. AMC johdetaan kanavan mittauksista, jotka päätelaite suorittaa käyttämällä kanavan laatumittaria CQI (Chan-

nel Quality Indicator) ja uudelleenlähettämisen algoritmeja. Modulaationa voi olla QPSK tai 16-QAM. Julkaisussa neljä määriteltiin modulaatioksi QPSK, ja sitä seuranneessa julkaisussa viisi, modulaatio voidaan valita joko QPSK:n tai 16-QAM:n väliltä. 16-QAM mahdollistaa paremmin nopeampien datanopeuksien saatavuuden kuin QPSK mahdollistaa. HSDPA yhdistää modulaation kanavan koodausprosessiin, josta seuraa paras mahdollinen yhdistelmä monikoodausta, datanopeutta sekä modulaatiota kanavan laadun mukaan. Kaikki nämä hyödyt, jotka AMC:n avulla saadaan, riippuvat luotettavista kanavan mittauksista, jotka päätelaite suorittaa. Nämä voivat kuitenkin sisältää virheitä, jos kanavalla tapahtuu nopea vaimenemisprosessi. Sen takia HSDPA tukee myös CQI:tä, joka käyttää vastaanotettua ohjaustehoa yhteisestä ohjauskanavasta (CPICH), mikä mahdollistaa virhevapaan AMC-operaation.

FCS sallii UE:n (User Equipment), joka on käyttöliittymä käyttäjälle, etsiä listasta aktiiviset tukiasemat, ja valita arvoiltaan paras solu datapaketin siirtoon. Tämä protokolla sallii järjestelmän saavuttaa nopeammat datayhteydet, koska UE pystyy lähettämään paremmalla kanavan tilalla.

HSDPA:n fyysiseen kerrokseen on määritelty kolme uutta kanavaa: High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH), High-Speed Shared Control Channel (HS-SCCH) ja High-Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH). Kaksi ensin mainittua toimivat forward-linkissä ja viimeksi mainittu toimii reverse-linkissä. HS-DSCH kuljettaa käyttäjän dataa forward-suuntaan huippudatanopeuden ollessa 14.4Mb/s ja TTI ollessa 2ms, jotta varmistetaan lyhyempi viive päätelaitteen ja tukiaseman edestakaisella matkalla. HS-SCCH kuljettaa tarvittavan merkinantoinformaation verkosta päätelaitteelle siten, että sitä voidaan käyttää datan demodulaatioon jota HS-DSCH kuljettaa. Esimerkiksi, informaatiosta selviää mikä päätelaite vastaanottaa datan seuraavassa HS-DSCH tiedonsiirrossa, HARQ:n liittyvän informaation ja päätelaitteen tunnuksen. Jos päätelaitteen tunnus on identtinen HS-SCCH olevan tunnuksen kanssa, niin päätelaite tietää, että se vastaanottaa dataa seuraavassa HS-DSCH kehyksessä. Silloin, kun ei ole HS-DSCH tiedonsiirtoa, niin silloin ei ole myöskään tarvetta siirtää HS-SCCH:ta.

Kun data on käsitelty ja siirtyy eteenpäin MAC-hs:n kautta, niin päätelaite lähettää positiivisen/negatiivisen kuittauksen, ACK/NAK (Positive/Negative Acknowledge-

ment), takaisin verkkoon reverse-linkin ohjauskanavalla HS-DPCCH. Näin ollen HS-DPCCH siirtää kumpaakin ACK/NAK ja kanavan laadun palautetietoa, jonka päätelaite on mitannut, jotta tukiaseman järjestelijä kykenee päättämään, mille päätelaitteelle lähetetään seuraavan TTI:n aikana ja millä datanopeudella.

7.2 High-speed uplink packet access (HSUPA)

WCDMA:n ensimmäinen kehitysaskel, HSDPA, tarjoaa teoreettisen suurimman datanopeuden 14.4Mb/s forward-linkillä. Kuitenkin HSDPA:ssa reverse-linkki toimii 384 kb/s nopeudella, ja se hidastaa datayhteyttä forward-linkissä huomattavasti, koska TCP kuittaukset tukkivat reverse-linkin ja se johtaa myös forward-linkin datan hidastumiseen. Julkaisussa 6 3GPP-konsortio julkaisi uuden reverse-linkkiä nopeuttavan tekniikan, HSUPA. Sen reverse-linkin parannukset suorituskyvyssä käyttäjälle näkyvät siinä, että se pienentää viivettä ja lisää järjestelmän kapasiteettia, laajentaa verkon aluetta sekä toimii tehokkaammin. Kuitenkin pitää ottaa huomioon, että vaikka tämä tukeekin nopeandatan palveluja, niin optimaalinen tehokkuus saadaan pienillä tai keskisuurilla nopeuksilla. Lisäksi, paranneltu reverse-linkki saa huomattavia parannuksia järjestelmän tehokkuuteen, jos se on yhteensopiva päätelaitteiden kanssa, jotka ovat julkaisujen '99, 4 tai 5 mallia.

Parannellut forward- ja reverse-linkit voidaan konfiguroida ja samanaikaisesti voidaan käyttää HSDPA:n ja HSUPA:n maksiminopeuksia, 14.4Mb/s ja 5.76Mb/s. Nopeat datayhteydet myös reverse-linkillä mahdollistavat käyttäjälle lähettää korkearesoluution kuvia ja videota puhelun yhteydessä. Nopea datanopeus laadun valvonnan kanssa, jonka HSUPA tarjoaa, mahdollistavat sellaiset kaupalliset palvelut kuten nettipelit, reaaliaikaisen multimedian jakamisen, Voice-Over IP (VoIP), isojen tiedostojen lähettämisen jne.

HSUPA teknologia on omaksunut osan teknologiasta, joka on käytössä HSDPA:ssa. Kuitenkin, AMC tekniikka ei ole käytössä HSUPA:ssa, koska päätelaitteiden tehon kapasiteetti on rajoitettu ja yksittäisillä päätelaitteilla ei välttämättä ole tarpeeksi tehoa nostaa modulaation tasoa tiedonsiirron datanopeuden nostamiseksi. Sen sijaan datanopeutta nostetaan käyttämällä monikoodaus tiedonsiirtoa BPSK:ta tai QPSK:ta.

HSUPA tukee useampaa uutta ominaisuutta, joita ei ole käytettävissä aikaisemmissa julkaisuissa, kuten fast scheduling (nopea järjestely), fast hybrid ARQ with soft combining (nopea HARQ pehmeällä yhdistämisellä) ja short TTI (lyhyt TTI). Samankaltaiset järjestelmät ovat sovellettu myös HSDPA:han. Kuitenkin, näiden järjestelmien käytön vaikuttimissa on suuria eroja ja niiden vaikutuksissa forward- ja reverse-linkkeille. Jaetut resurssit forward-linkkeissä on keskitetty tukiaseman toimesta, ja ne koostuvat tiedonsiirron tehosta ja kanavointikoodeista. Mutta reverse-linkillä jaetut resurssit ovat tukiaseman häiriöitä, MAI, jotka riippuvat päätelaitteen lähetyksestä tehosta. Tällä erolla on vaikutuksensa pakettien tiedonsiirron ajoitukseen. Nopeaa tehon valvontaa reverse-linkillä ei pelkästään käytetä häiriön rajoittamiseen tukiasemalla, koska sillä pyritään myös käsittelemään Near-Far-ongelmaa sekä saavuttamaan yhteensopivuus sellaisten päätelaitteiden kanssa, jotka eivät käytä laajennuksia. Verrattuna laajennuksiin forward-linkkeissä, yhteysadaptaatio HSDPA:ssa tarvitsee jatkuvaa lähetyksen tehoa.

Uusi Enhanced Dedicated Channel (E-DCH) tukee aikaisemmin mainittuja ominaisuuksia laajennetulla reverse-linkillä. Datan siirtosegmentti lähetetään jokaisella TTI:llä, mutta datanopeus voi vaihdella onnistuneissa TTI:ssä ja vastaavan siirtosegmentin koko voi myös muuttua. E-DCH tukee 10ms TTI:n lisäksi myös 2ms TTI:tä, joka on linjassa HSDPA TTI:n kanssa. Lyhyempi TTI merkitsee lyhyempiä viiveitä, jotka aiheutuvat datasiirron alkamisesta. Lisäksi, lyhyempää prosessointiaikaa tarvitaan sekä lähettimellä että vastaanottimella pienemmän datamäärän takia. Lyhyempi TTI tarkoittaa myös pienempää edestakaisen matkan viivettä.

E-DCH:ssa käytetään ylimääräistä sarjaa kanavointikoodeja niiden koodien lisäksi jotka ovat olleet jo ensimmäisessä julkaisussa, jotta saataisiin täydellisesti alaspäin yhteensopivaksi edellisiin julkaisuihin. Nämä uudet koodit ovat näkymättömiä sellaisille tukiasemille, joilta ei löydy tukea E-DCH:lle.

HSUPA:n fyysiseen kerrokseen esiteltiin myös uusia kanavia: E-DCH Dedicated Physical Data Channel (E-DPDCH), Dedicated Physical Control Channel (E-DPCCH), E-DCH Absolute Grant Channel (E-AGCH), E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel (E-HICH) ja E-DCH Relative Grant Channel (E-RGCH).

E-DPDCH voi siirtää dataa 5.76 Mb/s nopeudella. Data, joka siirretään E-DPDCH-kanavalla, on koodattu ja moduloitu joko BPSK tai QPSK kantoaalloilla. Kanavan virheenkorjaukseen on käytetty $\frac{1}{3}$ -tason turbokanavakoodausta. E-DPDCH on myös aikatasattu reverse-linkin DPCCH:n kanssa. Reverse-linkin E-DPCCH kanavassa lähetetään merkinanto, jossa siirretään ajoituksen pyyntö, jonka päätelaitteet ovat pyytäneet. Päätelaitteet kuljettavat siirtosegmentin koon tietoa, uudelleenlähetyksen jakson numeroa ja datanopeuden tietoa, joita tarvitaan E-DCH:n sisällön dekodaukseen. Tämä informaatio lähetetään rinnakkain E-DCG:hon datan lähetyksen kanssa. Kanavankoodauksena E-DPCHH:ssa käytetään Reed-Mullerin koodia.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin keväällä 2008. Opinnäytetyötä oli mielenkiintoista tehdä, koska aihe oli mielenkiintoinen ja haastava. Vaikka käsitteet ja tekniikka olivatkin osittain minulle uutta, niin silti avarsi käsitystäni entisestään kolmannen sukupolven viestinvälityksestä. Samalla sai päivitettyä omat tietonsa nykypäivän kehityksen mukaan. Seuraavat neljännen sukupolven matkapuhelinverkot ovat jo kehitteillä, ja kaupallisten sovelluksien uskotaan jo avautuvan käyttöön vuonna 2010.

Suurimman työn aiheutti lähteenäkin käytetyn kirjan selvittäminen eli aiheiden oikea poimiminen sekä kirjan vaatavuus, koska kyseinen kirja oli lähinnä tarkoitettu korkeakouluopiskelijoille sekä tietojansa laajentaville. Myös kirjan sanasto aiheutti vaikeutta, koska tietoliikennetekniikan sanasto on hieman epäselvää, joten sanojen selvittäminen ja suomennos vei myös oman aikansa.

LÄHTEET

[1] Abu-Rgheff, M. 2007. Introduction to CDMA Wireless Communications. Elsevier Ltd.

[2] Autoradiopuhelin, vapaa tietosanakirja (Wikipedia). [Viitattu 2.8.2008]
Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Autoradiopuhelin>

[3] NMT, vapaa tietosanakirja (Wikipedia) [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.8.2008]
Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/NMT>

[4] AMPS, matkapuhelintekniikka [verkkodokumentti]. [Viitattu 2.8.2008]
Saatavissa: <http://www.netlab.hut.fi/opetus/s38118/s00/tyot/15/>

[5] GSM, matkapuhelintekniikka [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.8.2008]
Saatavissa: <http://taze.kapsi.fi/school/gsm900.pdf>

[6] GSM, vapaa tietosanakirja (Wikipedia) [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.8.2008]
Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/GSM>

[7] HSCSD, GPRS, matkapuhelintekniikka [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.8.2008]
Saatavissa: <http://www.netlab.hut.fi/opetus/s38118/s00/tyot/15/#luku7>

[8] EDGE, vapaa tietosanakirja (Wikipedia) [verkkodokumentti]. [Viitattu 8.8.2008]
Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/EDGE>

[9] UMTS, vapaa tietosanakirja (Wikipedia) [verkkodokumentti]. [Viitattu 8.8.2008]
Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/UMTS>

[10] WCDMA, GSM:n ja CDMA:n erot [verkkodokumentti]. [Viitattu 8.8.2008]
Saatavissa: <http://www.it.lut.fi/kurssit/99-00/010651000/seminaarit/WCDMA.doc>