

LIITE A

Laboratoriotyön teoriaosuus

RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄT

Nokia MetroHopper 58 GHz



1. SISÄLLYSLUETTELO

1. SISÄLLYSLUETTELO.....	1
2. RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄN YLEISKUVAUS	2
2.1 RADIOLINKKIJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖ	2
2.2 DIGITAALISEN RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄN RADIO-OSAT.....	3
2.2.1 Kaksisuuntainen yhteys radiolinkkijärjestelmässä.....	3
2.2.2 Modulaatio ja modulointimenetelmät	4
2.2.3 Lähetinvahvistin.....	9
2.2.4 Automaattinen vahvistuksen säätö AGC.....	9
2.2.5 Tehon syöttö	10
2.2.6 Antennit.....	11
2.3 VERKKOELEMENTIT	12
Pääteasemat	12
Aktiiviset toistimet.....	12
2.3.3 Passiiviset toistimet.....	13
2.3.4 Passiiviset peilit.....	13
2.3.5 Haaroittimet	13
2.4 RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄN VARMISTUS JA VERKKOTOPOLOGIAT	13
2.4.1 Verkkotopologiat.....	13
2.5 RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	14
3. METROHOPPER – 58 GHZ:N RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄ.....	15
3.1 58 GHZ:N TAAJUUSALUEEN ERITYISPIIRTEITÄ	15
3.2 METROHOPPERIN KOKOONPANO	16
3.2.1 Sisäyksikkö	17
3.2.2 Flexbus-kaapeli	18
3.2.3 Ulkoyksikkö	18
3.3 RADIOJÄRJESTELMÄN TEKNISET YKSITYISKOHDAT	19
3.4 METROHOPPERIN SÄTEILYSTÄ AIHEUTUVA TERVEYSRISKI.....	20
3.5 SOVELLUSKOHTEET	20
4. RADIOLINKKIJÄRJESTELMIEN RAJAPINNAT	21
5. STANDARDINTI JA LUPA-ASIAT	22
6. VALVONTA, HÄLYTYKSET JA SISÄISET TESTIT	23
6.1 METROHOPPERIN VALVONTA, HÄLYTYKSET JA TESTIT	23
6.1.1 Merkkivalot ja hälytykset.....	24
6.1.2 MetroHopperin testit.....	24
7. KIRJALLISUUSVIITTEET.....	26

2. RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄN YLEISKUVAUS

Radiolinkkijärjestelmällä tarkoitetaan kiinteää tai puolikiinteää kaksisuuntaista radioyhteyttä. [1]
Radiolinkkijärjestelmän välityksellä voidaan siirtää erilaisia signaaleja paikasta toiseen maanpäällisiä tai satelliittiasemia käyttäen.

Radiolinkkijärjestelmät voidaan jakaa käytettävän taajuuden mukaan neljään "luokkaan": näköyhteys-, satelliitti-, sironta- ja ionosfäärilinkit. [2]

Ionosfäärilinkkejä voidaan käyttää HF-alueella, on mahdollista saada pitkiäkin yhteyksiä (yli 4000 km yhdellä hypyllä). HF-alueella siirtonopeudet jäävät kuitenkin muutamaa kbit/s.

Sirontalinkit hyödyntävät troposfäärin epähomogeenisuuden aiheuttamaa sirontaa, jonka vaikutuksesta radioaalto kääntyy takaisin maahan. UHF-alueella on sirontan avulla saavutettavissa n. 1000 km yhteys. Tällä menetelmällä on mahdollista saada siirrettyä n. 19 Mbit/s. Huonona puolena sirontalinkkeissä on sironta ja sirontavaimennus muuttuminen satunnaisesti troposfäärin epähomogeenisuuden mukana.

Satelliittilinkkejä käytettäessä radioaalto heijastuu geostationarisesta tai matalalla kiertoradoilla olevista satelliiteista. Satelliittilinkkien yhteysvaimennus määräytyy vapaan tilan vaimennuksesta kun taajuus < 10 GHz. Suuremmilla taajuuksilla on sadevaimennus ja ilmakehän absorptiovaimennus myös huomioitava.

Näköyhteyslinkkejä käytetään UHF- (300 MHz – 3 GHz), SHF- (3 – 30 GHz) ja EHF-alueilla (30 – 300 GHz). Linkkijärjestelmien kapasiteetti kasvaa taajuuden kasvaessa, mutta samalla yhteysvälin pituus lyhenee voimakkaasti vaimennuksen takia. Alle 10 GHz:n taajuuksilla jännepituus rajoittuu maan kaarevuuden takia n. 60-80 km:iin. Tätä suuremmilla taajuuksilla sadevaimennus rajoittaa jännepituuden vielä lyhyemmiksi ja 58 GHz:n radiolinkkijärjestelmän jännepituus on maksimissaan n. 1 km.

Tässä laboratoriotyössä pääpaino on EHF-alueen millimetriaaltolinkeissä.

2.1 Radiolinkkijärjestelmien käyttö

Radiolinkkijärjestelmiä käytetään tietoliikenteeseen alueilla, joissa kaapeleita / johtoja ei ole tai niiden rakentaminen on hankalaa ja kallista. Tiedonsiirto radiotiellä on yksinkertaista varsinkin jos yhteys tarvitaan lyhytaikaisesti. Mobiiliyhteyksissä langattomuus on elinehto, koska yhteyden toista päätä siirretään jatkuvasti. Perinteisesti radiolinkkijärjestelmiä ovat käyttäneet Puolustusvoimat, Yleisradio, VR, voimayhtiöt ja yksityiset puhelin-yhdistykset. [3] Nykyään radiolinkkejä käyttää myös suuret yksityiset yritykset esim. teleoperaattorit ja markkinoille on tullut myös keskisuurten yritysten verkkoratkaisuksi markkinoitavia point-to-multipoint laajakaistayhteyden mahdollistavia radiolinkkijärjestelmiä, jotka toimivat EHF-alueella.

Radiolinkkijärjestelmiin liittyy tiettyjä erityisominaisuuksia, joista on apua tiedonsiirtojärjestelmää suunniteltaessa [4]

Radiolinkkien plussat

- nopea pystyttää
 - työtä vain pääte- ja toisinasemilla
 - katastrofitilanteissa nopea pystyttää
- sopii vaikeisiin maasto-olosuhteisiin
 - järviolueet
 - vuoristoalueet
- mobiilimahdollisuus
- kapasiteettia helppo lisätä
- riippumaton kilpailijoista
 - vuokratut yhteydet
- ei kuluja kaivamisesta
- verkkoa helppo muuttaa ja uudistaa
- hyötyliikenne helppo salata

Radiolinkkien miinukset

- radiotien häipyminen
 - rajoittaa yhteysväliä ja siirtonopeutta
 - säävaikutukset
 - BER
- rajoitettu siirtokapasiteetti
 - rajallinen kanavamäärä
 - muiden järjestelmien häirintä
 - lyhyt yhteysväli
- lupamaksut
- lupien saanti hidasta
- näköyhteys oltava
- ympäristövaikutukset
 - korkeat mastot

- BTS asemapaikka usein käyttökelpoinen radiolinkillekin
- BTS asemapaikat riippumattomia olemassa olevasta runkoverkosta
- säteily
- vaatii paljon suunnittelua
- kapasiteetin lisäys rajoitettu (vrt. kuitu)
- suurinopeuksiset yhteydet monimutkaisia

2.2 Digitaalisen radiolinkkijärjestelmän radio-osat

Radiolinkkijärjestelmän radio-osien päätehtävänä on taajuusmuunnos ja signaalin vahvistaminen.

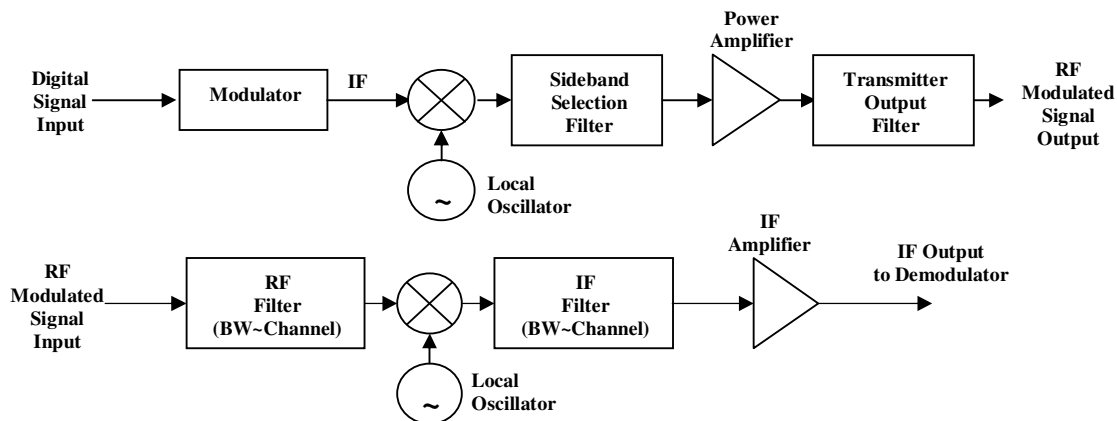
Lähettimessä moduloidaan radion kantataajuussignaali radiotaajuutta ja näin saatu signaali ohjataan antenniin ja sen avulla vapaaseen tilaan. Moduloinnin jälkeen signaali on heikkotasoinen, joten sitä on vahvistettava ennen antenniin ohjaamista. Lähettimen tärkeimpiä perusosia on modulaattori, paikallisoskillaattori, josta saadaan kantataajuinen signaali, sekä päätevahvistin. Lisäksi lähetin sisältää muutaman suodattimen.

Vastaanottimessa antenni sieppaa vapaasta tilasta tulevan signaalin, joka on usein vaimentunut erittäin heikoksi radiotiellä. Signaalia on vahvistettava ennen kuin siitä voidaan erottaa kantataajuinen signaali suurtaajuisesta hyötysignaalista. Tämä tapahtuu demodulaattorissa. Vastaanotin on periaatteessa lähetin väärinpäin. Katso kuva 1.

Koko prosessin (modulointi-lähetin-radiotie-vastaanotin-demodulointi) on tapahduttava siten, että

- signaali ei vääristy
- signaaliin summautuu mahdollisimman vähän kohinaa
- ei synny harhalähetteitä [5]

Kuvassa 1 on esitetty lohkokaaviot lähettimen ja vastaanottimen eräästä perusratkaisusta. [6]



Kuva 1. Lähettimen (ylempi) ja vastaanottimen lohkokaaviot

2.2.1 Kaksisuuntainen yhteys radiolinkkijärjestelmässä

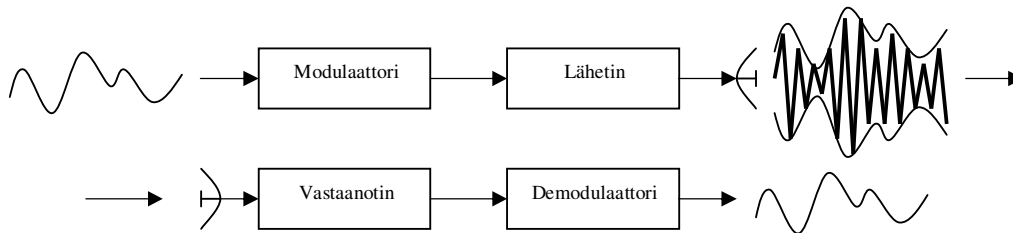
Radiolinkkien välinen kaksisuuntainen yhteys voidaan toteuttaa kaksisuuntaisena (full duplex) tai vuorosuuntaisena (half duplex).

FDD-yhteydessä (Frequency division duplex – full duplex) käytetään erillistä taajuutta lähetykseen ja vastaanottoon ja tiedonsiirto tapahtuu samaan aikaan molempiin suuntiin. Taajuudet eroavat toisistaan duplex-välin verran. Full duplex –yhteyksiä on mm. TDMA, FDMA, ja CDMA.

TDD-yhteydessä (Time division duplex – half duplex) kaksi asemaa vuorottelee lähetysvuorosta samalla taajuudella tietyn aikavälin määräämässä tahdissa. TX/RX purskeen suhde määrää efektiivisen symbolinopeuden.

2.2.2 Modulaatio ja modulointimenetelmät

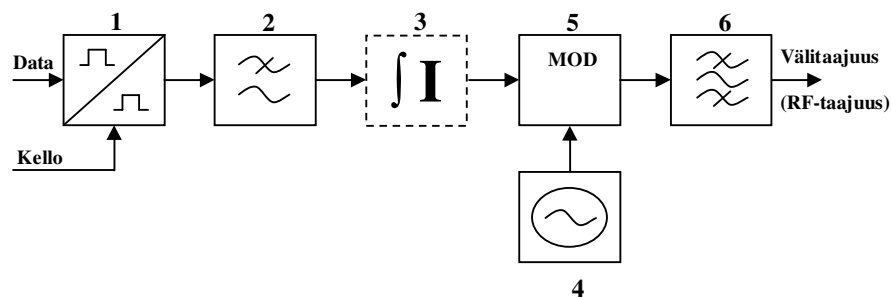
Modulaatio on tärkeä tekijä kaikissa radiotietoliikennejärjestelmissä. Radiolaitteiden kantataajuussignaalia ei kannata suoraan siirtää radiotiellä, koska signaali sisältää matalataajuus komponentteja, joilla radiolaitteiden toiminta on heikkoa ja matalien taajuuksien antennit ovat suurikokoisia. Tästä syystä kantoaaltoa on moduloitava kantataajuisella signaalilla, jolloin signaali saadaan siirtymään taajuusalueelle, joilla siirtokapasiteettia on käytettävissä riittämiin. (Kuva 2) [7]



Kuva 2. Signaalin modulaatio ja demodulaatio

2.2.2.1 Modulaattori ja demodulaattori

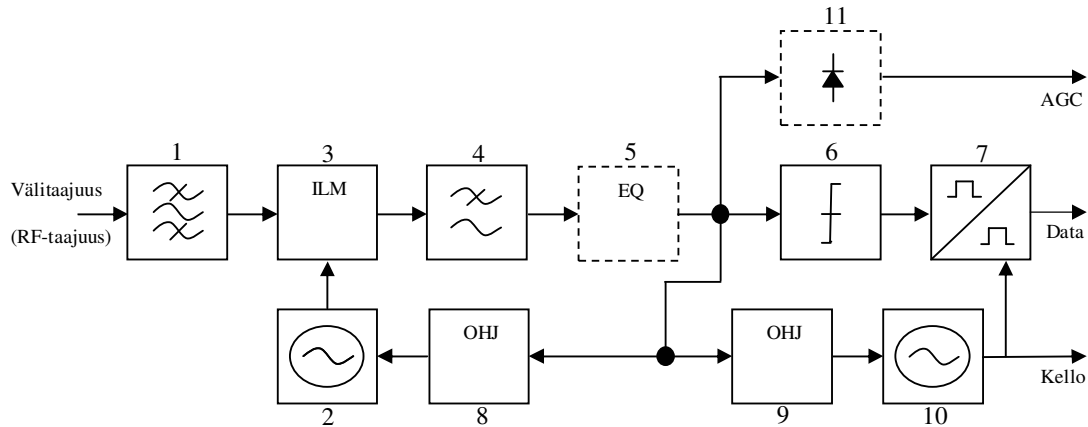
Lähettimen modulaattori moduloi signaalin halutulla tavalla ja vastaanottimen demodulaattori erottaa signaalista kantoaallon ja kantataajuisen signaalin. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty modulaattorin ja demodulaattorin lohkokkaaviot ja lohkojen tehtävät. [8]



Kuva 3. Modulaattorin lohkokkaavio

Modulaattorin tehtävät:

1. Datan koodaus ja D/A muunnos
2. Kantataajuussignaalin suodatus
3. Esivääristys (joskus)
4. Kantoaallon generointi
5. Varsinainen modulointi
6. Moduloidun signaalin suodatus



Kuva 4. Demodulaattorin tehtävät

Demodulaattorin tehtävät:

1. Tulevan signaalin suodatus
2. Referenssikanta-aallon generointi (jos koherentti ilmaisu)
3. Ilmaisu kantataajuudelle
4. Kantataajuussignaalin suodatus
5. Adaptiivinen korjaus (joskus)
6. Päätöksenteko
7. Dekoodaus
8. Referenssikanta-aallon ohjaus
9. Kellotaajuuden ohjaus
10. Kellosignaalin generointi
11. AGC:n generointi (joskus)

2.2.2.2 Yleistä modulaatiomenetelmistä

Radiolaitteille on olemassa lukuisia erilaisia modulaatiomenetelmiä, joista voidaan valita tarkoitukseen sopivin menetelmä. Modulaatiomenetelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan, analogisiin ja digitaalisiin menetelmiin. Analogisia modulaatiomenetelmiä ovat esim. amplitudi- (AM), taajuus- (FM) ja vaihemodulaatio (PM) ja niitä käytetään edelleen laajalti esim. yleisradiotoiminnassa. Digitaalisten menetelmien käyttö on kuitenkin kaiken aikaa lisääntymässä digitaaliajan mukana. Digitaalista modulaatiomenetelmää käytetään varsinkin järjestelmissä, jotka ovat pääasiassa tarkoitettu tiedonsiirtoon.

Digitaalisilla modulaatiomenetelmillä on useita etuja analogiseen verrattuna: [9]

- Tarvittava S/N on pienempi, koska demodulaattori pystyy tiettyyn rajaan saakka erottamaan symbolit toisistaan, vaikka kohina ja muut häiriöt ovat sotkeneet signaalia. Analogiapuolella aaltomuodon vääristyminen on pysyvää ja voi olla kohtalokasta.
- Taajuuksien uudelleen käyttö tehokasta, koska analogiapuolelta tuttu ylikuuluminen ilmenee yleensä vain kohinana. Tästä ja edellisestä kohdasta seuraa, että samoja taajuuksia voidaan käyttää lyhyemmillä etäisyysväleillä kuin analogisilla menetelmillä.
- Taajuusspektrin kokonaiskäyttö on tehokkaampaa.
- Digitaalinen signaali on mahdollista regeneroida, joten virheetön siirto on mahdollista pitkilläkin yhteysväleillä.
- Virheenkorjausalgoritmeja voidaan käyttää tehokkaasti hyödyksi, jolloin virheetön siirto käytännössä saavutetaan.

Useiden signaalien aikajakokanavointi samalla taajuudelle on kohtuullisen helppoa. Usein kuitenkin käytetään aikajakokanavoinnin TDMA (Time Division Multiple Access) ja taajuusjakokanavoinnin FDMA (Frequency Division Multiple Access) yhdistelmää.

- Tiedon salaus on helppoa.
- Uusia tietopalveluja voidaan integroida järjestelmään helposti.

Digitaalisissa menetelmissä on myös huonoja puolia:

- Vaadittava taajuuskaista on teoriassa analogista leveämpi, mutta asiaa voidaan korjata signaali kompressiolla ja monitilaisilla modulaatiomenetelmillä.
- Ajoitus on hankalaa, koska vastaanottimeen on generoitava samanvaiheinen kellosignaali kuin lähettimeen, sekä kehystahdistus pitää olla kunnossa.

Analogisen ja digitaalinen menetelmän lisäksi puhutaan koherentista ja epäkoherentista demodulaatiosta. Epäkoherentissa demodulaatiossa vain signaalin amplitudi-informaatio huomioidaan. Koherentissa demodulaatiossa huomioidaan myös signaalin vaiheinformaatio. Tällöin vastaanottimen on generoitava paikallisoskillaattorisignaali, joka on synkronoitava sekä taajuudeltaan että vaiheeltaan kantoaaltoon. Epäkoherentti demodulaatio on riippumaton vaihevirheistä, mutta koherentilla demodulaatiolla on luonnollisesti parempi suorituskky käytettäessä monitilaisia modulaatiomenetelmiä.

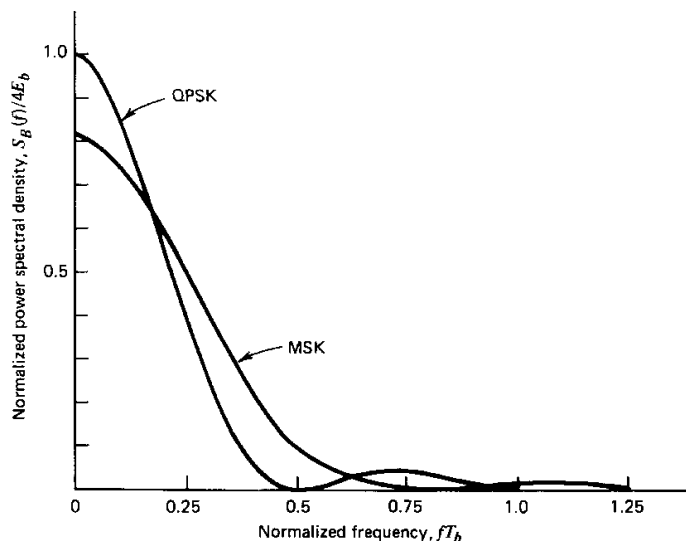
2.2.2.3 Radiolinkkijärjestelmissä käytettyjä digitaalisia modulaatiomenetelmiä

Digitaaliset perusmodulaatiomenetelmät ovat ASK (amplitude shift keying), FSK (frequency shift keying) ja PSK (phase shift keying). Näistä ASK:ta käytetään vain yksinkertaisimmissa linkeissä, mutta FSK:ta ja PSK:ta useine muunnelmineen käytetään paljon. QAM (quadrature amplitude modulation) eroaa edellisistä siten, että siinä tiedon koodaukseen käytetään amplitudia ja vaihetta.

MSK (minimum shift keying) [10]

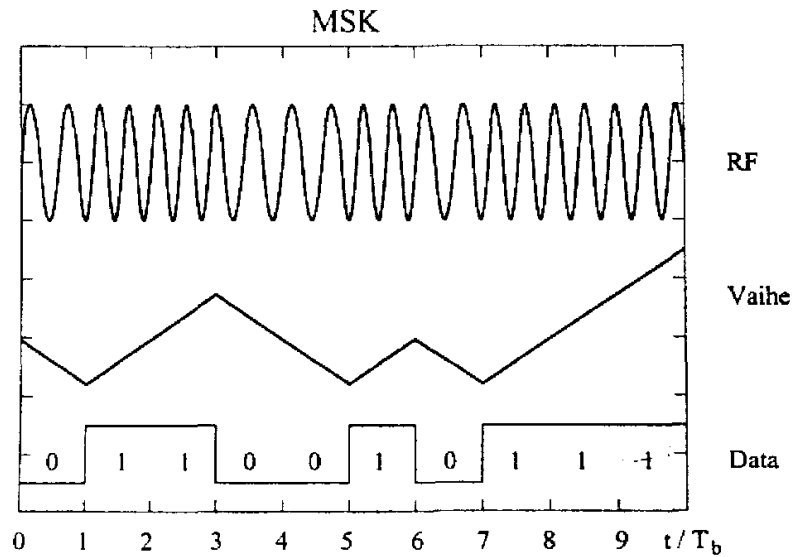
Nokian 58 GHz:n radiolinkkijärjestelmä käyttää MSK-modulaatiomenetelmää, joka on FSK:n erikoistapaus. MSK:n taajuuksien erotus $|f_2 - f_1|$ on puolet bitin pituuden T_b käänteisarvosta. Esimerkiksi taajuuksien erotus on 0,5 MHz kun siirtonopeus on 1 Mbit/s. Tällöin saadaan pienimmällä taajuuserolla aikaan 180° :n vaihe-ero yhden bitin aikana signaalien välille, joiden taajuudet ovat f_2 ja f_1 . Vaihe-ero on $\pm 90^\circ$ kantoaaltoon nähden. MSK on saanut myös nimensä tästä.

MSK:n spektrissä on matalat sivukeilat verrattuna esim. ASK:n tai PSK:n spektreihin. Kuvassa 5 on esitelty MSK:n spektri. MSK kaartuu QPSK:ta loivemmin ja siten tuottaa vähemmän häiriötä käytetyn kaistan ulkopuolelle. [11]



Kuva 5. MSK:n ja QPSK:n spektri

Kuvassa 6 on esitetty MSK:n aaltomuodot: moduloitu signaali, vaihekäyrä (trellis-kuvio) ja datasignaali. MSK:n vaihe muuttuu lineaarisesti symbolin keston ajan (tällöin taajuus on vakio) ja symbolin muuttuessa taajuuden muutokset ovat äkillisiä.



Kuva 6. MSK:n aaltomuodot

MSK:n bittivirhetodennäköisyys saadaan kaavasta 1 :[12]

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right), \quad (1)$$

jossa E_b/N_0 kuvaa signaalikohinasuhdetta ja

$$\operatorname{erfc}(u) = 2Q(\sqrt{2}u), \quad (2)$$

joten bittivirhesuhteeksi saadaan

$$BER = Q \left[\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}} \right], \quad (3)$$

Kun merkitään signaalikohinasuhdetta κ lla, saadaan lopulta MSK:n bittivirhesuhteeksi

$$BER = Q \left[\sqrt{2\kappa} \right], \quad (4)$$

ESIMERKKI: Laske 16-MSK:n bittisiirtonopeus AGWN-kanavassa (Additive Gaussian White Noise), kun bittivirhesuhde on

- a) $BER = 10^{-3}$
- b) $BER = 10^{-6}$

AGWN-kanavan vaimennus $A_s = 110$ dB, lähettimen teho on $P_{TX} = 5$ dBm ja vastaanottimeen redusoidun kohinan yksipuolinen tehospektri $N_0 = 1.32 \cdot 10^{-20}$.

RATKAISU:

16-MSK modulaatiomenetelmässä symbolinopeus R_s on neljäsosa bittinopeudesta R_b , eli $R_s = \frac{R_b}{4}$.

a)

Bittivirhesuhde $BER \leq 10^{-3}$ saavutetaan Q-funktion muuttujan arvolla (noin) 3.1. Tämä arvo saadaan Q-funktioarkista (Liite 1).

$$Q \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi x^2 e^{x^2}}}$$

MSK:n bittivirhesuhde saadaan lausekkeesta

$$BER = Q[\sqrt{2\kappa}]$$

Kanavan siirtovaimennus on $A_s = 110dB \Rightarrow A_s = 1 \cdot 10^{11}$

$$Q[\sqrt{2\kappa}] \approx 10^{-3} \Rightarrow \sqrt{2\kappa} = 3.1$$

$$\Rightarrow \sqrt{2 \frac{E_{RX}}{N_0}} = 3.1 \Rightarrow 2 \frac{E_{RX}}{N_0} = 9.61$$

$$\Rightarrow \frac{E_{RX}}{N_0} = 4.805$$

koska $E_{RX} = \frac{P_{TX}}{R_s A_s}$, kaava X muuttuu muotoon

$$\frac{P_{TX}}{R_s A_s N_0} = 4.805$$

Sijoitetaan yhtälöön $R_s = \frac{R_b}{4}$

$$\frac{4P_{TX}}{R_b A_s N_0} = 4.805$$

Tästä saadaan bittinopeus R_b ratkaistuksi, kunhan ensin muutetaan lähetysteho wateiksi

$$5dBm = 10 \log\left(\frac{x}{1mW}\right) \Rightarrow$$

$$x = 10^{0.5} \cdot 1mW = 3.16mW$$

Lopuksi saadaan bittinopeus R_b

$$R_b = \frac{4P_{TX}}{4.805 * A_s * N_0} = \frac{4 * 3.16mW}{4.805 * 1^{11} * 1.32 * 10^{-20}} = 1.99Mbit / s$$

b)

b-kohdan ratkaisu saadaan samaan tapaan kuin a-kohta

Bittivirhesuhde $BER \leq 10^{-6}$ saavutetaan Q-funktion muuttujan arvolla (noin) 4.8.

$$Q[\sqrt{2\kappa}] \approx 10^{-6} \Rightarrow \sqrt{2\kappa} = 4.8$$

$$\Rightarrow \sqrt{2 \frac{E_{RX}}{N_0}} = 4.8 \Rightarrow 2 \frac{E_{RX}}{N_0} = 23.04$$

$$\Rightarrow \frac{E_{RX}}{N_0} = 11.52$$

Bittinopeus R_b

$$R_b = \frac{4P_{TX}}{11.52 * A_s * N_0} = \frac{4 * 3.16mW}{11.52 * 1^{11} * 1.32 * 10^{-20}} = 831.23kbit / s$$

MSK-modulaatiomenetelmää (ja muitakin digitaalisia perusmodulaatiomenetelmiä) ja sen matemaattista tulkintaa on esitelty mm. Simon Haykin:n kirjassa Communication Systems 3th ed.

2.2.2.4 Modulaatiomenetelmien vertailua

Parasta modulaatiomenetelmää tiettyyn tarkoitukseen ei ole olemassa, joten modulaatiomenetelmän valitseminen on kompromissi eri ominaisuuksien välillä. Valintaa rajoittaa aina käytössä oleva taajuuskaista, teho ja raha. Esimerkiksi matkapuhelinjärjestelmässä on monitie-etenemisestä johtuvia häipymiä ja puhelimen liikkeen aiheuttamia dopplersiirtymiä. Siksi verhoikäyrän muutokseen perustuvat (AM, ASK) menetelmät eivät ole käyttökelpoisia. Mobiilisuudesta johtuvan epästabiilisuuden takia myöskään monimutkaiset ja –tilaiset menetelmät eivät ole toimivia ratkaisuja matkapuhelinjärjestelmiin. Näköyhteyksien linkeissä radiokanava on huomattavasti vakaampi, jolloin monimutkaisempia menetelmiä voidaan myös käyttää.

Modulaatiomenetelmissä, joissa moduloidun signaalin verhoikäyrä pysyy vakiona (FM, PM, FSK, MSK, GMSK), voidaan lähettimessä käyttää epälineaarista C-, E- ja F-luokan vahvistimia, joilla on hyvä hyötysuhde. Tällaiset vahvistimet käyttävät vähän tehoa.

2.2.3 Lähetinvahvistin

Lähettimessä viimeisenä asteena ennen signaalin ohjaamista antennin kautta vapaaseen tilaan on lähetinvahtistin (TX-vahvistin). TX-vahvistimelta vaadittava vahvistus on tyypillisesti n. 40 dB ja lähtöteho n. +30 dBm (2GHz:llä). [13]

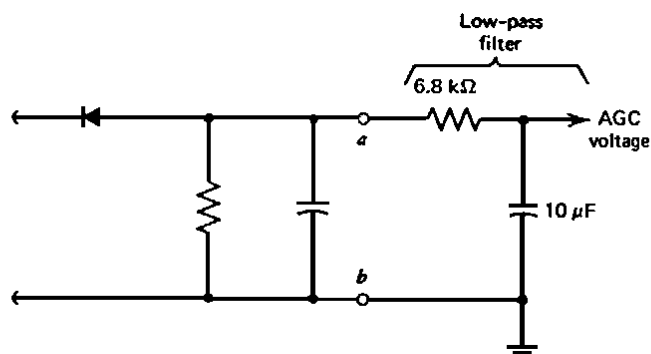
Lähetinvahvistin koostuu useista peräkkäisistä vahvistinasteista, joissa teho kasvaa loppua kohti. Alkupään asteet on usein eri tyyppisiä kuin loppupään suuritehoiset asteet. Viimeiset asteet ovat tyypillisesti toteutettu GaAs-Feteillä. Alle 2 GHz:n taajuuksilla tai pienillä lähtötehoilla voidaan käyttää myös bipolaaritransistororeita. [13]

Lineaarisuus on vahvistimen tärkein ominaisuus. Epälineaarisuus ilmenee signaalin vaiheen kiertymisenä tai spektrin leviämisenä.

2.2.4 Automaattinen vahvistuksen säätö AGC

Radiolinkkijärjestelmien vastaanottimissa käytetään miltei aina automaattista vahvistuksen säätöä (AGC), koska vastaanottimen on toimittava laajalla dynaamisella alueella. Vastaanottimessa AGC vakioi vastaanotetun signaalin tason, että signaali on sopivalla tasolla vastaanottoon nähden. Vakiointi voi tapahtua kahdella tavalla: signaali saattaa olla vaimentunut voimakkaasti radiotiellä, jolloin AGC vahvistaa signaalia tai AGC rajoittaa liian korkeaa tasoa vastaanottimen etuasteissa kompressoitumisen välttämiseksi. Lähettimessä AGC vakioi lähetystehon tai suojaan päätevahvistinta liian korkeatasoiselta signaalilta. AGC on välttämätön amplitudiin perustuvissa järjestelmissä (tutkat, QAM, AM), mutta sitä käytetään usein myös muissa järjestelmissä.

AGC:n avulla voidaan mitata signaaliteho vastaanottimesta RF-taajuudella kuvan 7 mukaisella diodi-ilmaisimella. Kuvan 7 kytkentä korvaa kuvan 4 lohkon 11.



Kuva 7. AGC kytkentä, diodi-ilmais

AGC-jännite on sidottu signaalitehoon kytkennästä riippuvalla suhteella, joka esim. Nokian 58GHz:n MetroHopper-radiolinkkijärjestelmälle on esitetty taulukossa 1. [14]

Taulukko 1. AGC-jännitteen ja vastaanotetun signaalitehon suhde

Rx signaaliteho	AGC-jännite
0 dBm	0,0 V
-10 dBm	0,5 V
-20 dBm	1,1 V
-30 dBm	1,6 V
-40 dBm	2,2 V
-50 dBm	2,6 V
-60 dBm	3,3 V
-70 dBm	3,8 V
-80 dBm	4,4 V
-90 dBm	5,0 V

2.2.5 Tehon syöttö

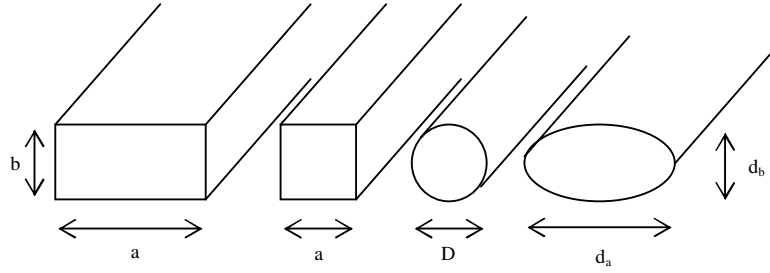
Syöttöjohto on yksi radiojärjestelmän tärkeimmistä osista vahvistimen ja antennin ohella. Syöttöjohtoon tehtävänä on yhdistää antennin ja radiolinkkipäätteen toisiinsa siten että signaali siirtyy antennille mahdollisimman pienin häviöin ja vääristymin. Syöttöjohtona käytetään tavallisesti koaksiaalikaapelia (alle 3 GHz) tai aaltoputkea (yli 3 GHz).

Koaksiaalikaapeli on luonteeltaan alipäästösuodatin ja sitä voidaan käyttää aina rajataajuuteensa asti. Ylärajataajuus voidaan laskea kaavasta 5. [15]

$$f_{ck} = \frac{c_0}{\pi \sqrt{\epsilon_r} (r_0 + r_i)}, \quad (5)$$

jossa f_{ck} = ylärajataajuus, c_0 = valon etenemisnopeus tyhjiössä, ϵ_r = eristeen suhteellinen dielektrisyysvakio, r_0 = ulkojohtimen sisäsäde, r_i = sisäjohtimen ulkosäde.

Aaltoputki on luonteeltaan alipäästösuodatin, jossa energia etenee alarajataajuutta alemmilla taajuuksilla. Aaltoputkilla on myös ylärajataajuus, jonka ylipuolella esiintyy korkeampia aaltomuotoja. Kuvassa 8 on esitetty erilaisia aaltoputkien poikkileikkauksia ja kaavoissa 6 - 9 eri aaltoputkityypeissä käyttökelpoiset taajuusalueet. [15]



Kuva 8. Tyypilliset aaltoputken poikkileikkaukset

$$\text{Suorakaide} \quad f = \frac{c_o}{2a} \leftrightarrow \frac{c_o}{a} \quad (6)$$

$$\text{Neliö} \quad f = \frac{c_o}{2a} \leftrightarrow \frac{c_o}{2a} \quad (7)$$

$$\text{Pyöreä} \quad f = \frac{c_o}{1,706D} \leftrightarrow \frac{c_o}{1,306D} \quad (8)$$

$$\text{Elliptinen} \quad f = \frac{c_o}{1,68d_a} \leftrightarrow \frac{c_o}{1,063d_a}, \text{ kun } \frac{d_b}{d_a} = 0,6 \quad (9)$$

Syöttöjohdoissa esiintyvät poikkeamat ominaisimpedanssista aiheuttavat heijastuksia, jotka heikentävät siirron laatua. Syöttöjohdon tasalaatuisuutta kuvaa seisovan aallon suhde (SAS), joka on määritelty etenevän ja heijastuneen aallon summan ja erotuksen suhteena kaavan 10 mukaan. [16]

$$SAS = \frac{1 + |\rho_L|}{1 - |\rho_L|}, \quad (10)$$

jossa ρ_L on heijastuskerroin. Sovitetulle syöttöjohtimelle $SAS = 1$.

Aaltoputkia ja niiden matemaattista tulkintaa on esitetty kirjassa Radiotekniikka.

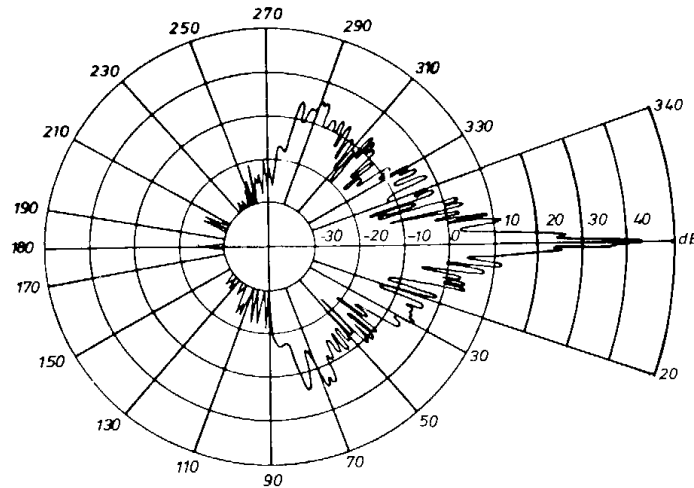
Siirtojohtimen suurehkon vaimennuksen ja mahdollisten vääristymien takia niiden suunnitteluun tulee kiinnittää huolellisesti huomiota. Koaksiaalikaapelin tapauksessa joudutaan joskus kustannussyistä käyttämään ohuita kaapeleita, mutta silloin vaimennus kasvaa huomattavasti. Yksi ratkaisu siirtojohdin ongelmaan on käyttää ns. Periskooppiantennia, jossa varsinainen antenni on sijoitettu maston juurelle ja suunnattu ylöspäin. Maston päässä on tasoheijastin kääntämässä signaalin haluttuun suuntaan. [17]

Toinen ratkaisu ongelmaan on pyrkiä pitämään siirtojohtimet mahdollisimman lyhyinä. Tämä voidaan toteuttaa yhdistämällä antenni ja radiolinkkilaitte yhdeksi kokonaisuudeksi ja siirtää siirrettävä signaali digitaalimuodossa kaapelia pitkin laitteelle. Tällöin yksiköt yhdistävä kaapeli voi olla huomattavan pitkä, ilman pelkoa vaimenemisesta tai vääristyksistä. Yli 10 GHz:n alueella näin on helppo menetellä, koska antennielementit ja nykyiset lähettimet ovat pienikokoisia. Nokian MetroHopper 58 GHz:n radiolinkkijärjestelmässä ongelma on ratkaistu juuri näin.

2.2.6 Antennit

Antennin tehtävä on toimia sovituselementtinä, joka muuttaa lähettimestä saatavan radiotaajuisen signaalin vapaassa tilassa eteneväksi radioaallosi. Radiolinkkijärjestelmissä antenni suuntaa radioaallon mahdollisimman kapeana keilana vastaanottimen antenniin.

Antennin säteilyominaisuuksista antaa parhaan kuvan suuntakuviokuva, jossa esitetään kentän voimakkuus eri suuntiin. Kuvassa 9 on esitetty eräs säteilykuviokuva, jonka vahvistus pääkeilan suuntaan on 43 dB ja kulmassa 90-270° pienempi kuin -20 dB. [18]



Kuva 9. Paraboliantennin säteilykuvio

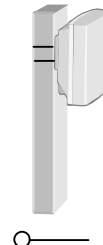
Antennin mekaaninen rakenne riippuu käytettävästä taajuudesta ja sovelluksen käyttökohteesta. Matalilla taajuuksilla on tapana käyttää antennia, joiden säteilyelementtinä käytetään yhtä tai useampaa dipolia. Yli 2 GHz:n taajuuksilla ei enää kannata käyttää johdinsäteilyjä, joten yleisesti käytetään heijastin-, linssi-, rakoaaltoputki- tai mikroliuska-antenneja sekä dielektrisiin johtoihin perustuvia antennia. Millimetriaaltoalueen antennia on esitelty kirjassa Millimetriaaltotekniikka ja antennitekniikan matematiikkaa kirjassa Antenniteoria.

2.3 Verkkoelementit

Radiolinkkijärjestelmän verkkoelementeillä tarkoitetaan tietoliikenneverkon elementtejä ts. laitteita, jotka muodostavat verkon ja radiolinkin suhdetta niihin. Radiolinkkijärjestelmä voidaan kytkeä lukemattomien erilaisten verkkojen osaksi ja järjestelmiä yhdistelemällä saadaan lukuisia variaatioita. Kuitenkin varsinaiset radiolinkkikytkennät jakaantuu kolmeen tapaan: pääteasemat, toistimet ja haarottimet. Radiolinkki voidaan muodostaa suoralla yhteydellä, passiivisen peilin avulla tai käyttämällä aktiivisia komponentteja eli toistimia.

2.3.1 Pääteasemat

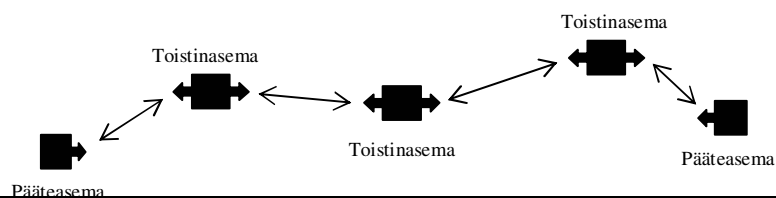
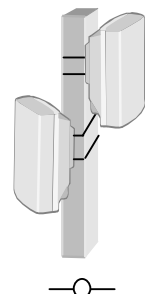
Radiojärjestelmän perusratkaisu on käyttää kahta pääteasemaa, joiden välillä on radiolinkki. Siirrettävä signaali tulee radiolinkin rajapintaan jostain muusta tiedonsiirtojärjestelmästä ja siirretään radiolinkin avulla toiselle asemalle. Vastaanotettu signaali ohjataan uudelleen johonkin toiseen tiedonsiirtojärjestelmään.



2.3.2 Aktiiviset toistimet

Radiolinkin jännettä voidaan pidentää toistimien avulla. Toistin vastaanottaa signaalin, demoduloi sen ja korjaa mahdolliset virheet. Lähettimessä signaali generoidaan uudelleen ja lähetetään eteenpäin kohti seuraavaa vastaanotinta. Aktiivinen toistin voi myös lähettää signaalin sellaisenaan eteenpäin korjaamatta virheitä, ainoastaan vahvistaen sitä. Silloin ei signaalia tarvitse demoduloida ja uudelleen generoida, joten radio-osat ovat edullisempia ja digitaalisten signaalien demoduloinnissa ilmeneviä tulkintavirheitä voidaan vähentää moninkertaisesti.

Toistimen avulla voidaan muuttaa signaalin suuntaa esim. maastoesteiden takia ja yleisesti asemat ketjutetaan ns. zig-zag periaatteen mukaan (kuva 10), ettei edellisestä asemasta aiheudu häiriöitä. Myös käytettävää kanavaa ja koko taajuusalueita voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Radiolinkkejä voidaan ketjuttaa toistimien avulla periaatteessa rajattomasti.

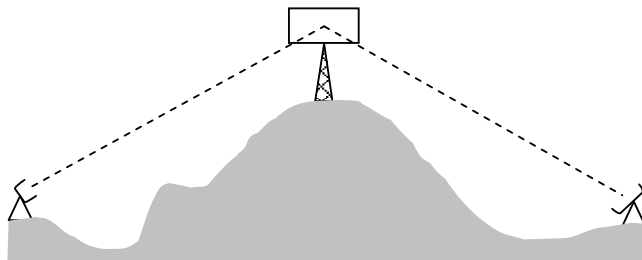


2.3.3 Passiiviset toistimet

Passiivinen toistin toimii aktiivisen toistimen tavoin, paitsi että signaalia ei käsitellä millään tavalla eikä sitä vahvisteta erillisellä vahvistimella. Passiivinen toistin koostuu vastaanottoantennista, lähetysantennista ja niiden välisestä aaltoputkesta. Passiivisella toistimella voidaan lähtevä signaali suunnata haluttuun suuntaan, joten sitä voidaan käyttää myös paikoissa, joissa passiivisen peilin käyttö on mahdotonta ja aktiivista toistinta ei kannata kustannussyistä asentaa. Passiivisissa toistimissa käytetyiltä antenneilta vaaditaan hyvää suuntaavuutta ja isoa vahvistusta.

2.3.4 Passiiviset peilit

Passiivisella peilillä tarkoitetaan komponenttia, josta radiosignaali "kimmottamalla" saadaan muuttamaan suuntaansa. Passiivinen komponentti ei käsittele signaalia millään tavalla, joten suunnan muuttaminen perustuu heijastukseen materiaalista. Heijastuskulmat määräytyvät optisten heijastumien tapaan, joten tulo- ja lähtökulma on aina yhtä suuria Snellin lain mukaan. Heijastuksessa osa tehosta kuluu peiliin, joten yhteysväli pienenee aina passiivista peiliä käytettäessä. Passiivisen peilin avulla voidaan kiertää hankalia maaston kohtia, esim. vuoria. (Kuva 11)



Kuva 11. Passiivisen peilin käyttö vuoristossa

2.3.5 Haaroittimet

Radiolinkkiä voidaan tarvittaessa myös haaroittaa. Haaroittimena käytetään useampaa toistinta, joiden avulla signaalia lähetetään eri suuntiin. Kokoavan radiolinkin pitää pystyä suurempaan tietoliikennepuuteen kun muiden linkkien.

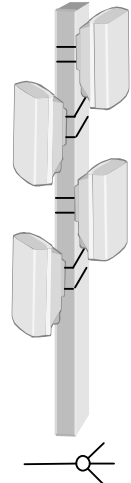
2.4 Radiolinkkijärjestelmän varmistus ja verkkotopologiat

Radiolinkkijärjestelmät on tapana varmistaa laitevaurioiden varalle. Radiolaitteilla on tietty käyttöikä, jonka jälkeen niissä alkaa ilmestyä vikoja. Verkko tulee rakentaa siten, että laitevikojen sattuessa verkon suuri osa tai koko verkko ei romahda. Radiolinkkiverkko voi katketa myös muustakin syystä kuin laiteviasta. Voimakkaat hetkittäiset vaimennukset saattavat aiheuttaa tietylle linkkijänteelle niin paljon virheitä, ettei jännettä käytännössä voi käyttää. Vaimennusta voi tulla esim. sateensa, lumesta, pölystä, radiohäirinnästä jne.

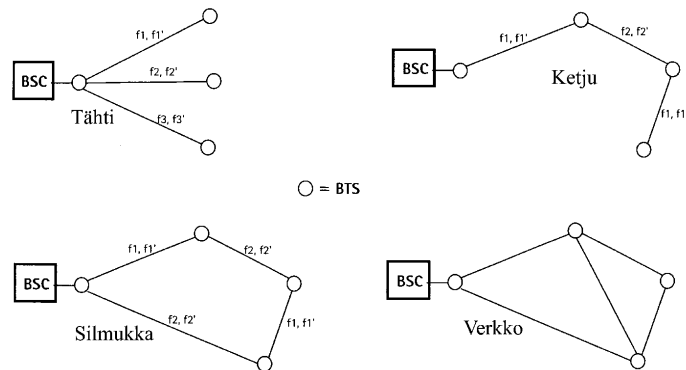
Yhteyden varmistus voidaan toteuttaa monella tavalla. Varmin tapa on ns. kuuma varmistus, jossa jokaiselle verkon laitteelle on kytketty varmistuslaite, joka ottaa tiedonsiirron vastuulleen varsinaisen laitteen rikkoontuessa. Tämä tapa on varma laitevikoja vastaan, muttei anna suojaa paikallisia vaimennuksia vastaan. Menetelmä kuuluu ns. link-by-link varmistukseen. Tämä menetelmä on erittäin kallis, koska kaikkia laitteita tarvitaan tuplamäärä. Ehdotonta varmuutta vaativissa yhteyksissä tätä menetelmää kuitenkin käytetään.

2.4.1 Verkkotopologiat

Paikallisten vaimennusten häiriöitä estetään erilaisin verkkotopologioin. Verkko rakennetaan siten, että vian sattuessa yhteen linkkijänteeseen tietoliikenne voidaan reitittää oikeaan paikkaan toista reittiä pitkin. Tämä tietenkin pienentää kokonaistiedonsiirtokapasiteettia, mutta pitää huolen, tieto kulkee joka puolella verkkoa



senkin ajan kun viallista yksikköä vaihdetaan tai korjataan. Kuvassa 12 on esitetty tyypillisiä verkkotopologiaratkaisuja. [19] ja taulukossa 2 on vertailu niitä.



Kuva 12. Tyypillisiä verkkotopologiaratkaisuja. Silmukkatopologia varmistaa yhteyden hyvin.

Taulukko 2. Tyypillisten verkkotopologioiden vertailu

Tähtitopologia	
+ helppo suunnitella	- BSC:n ja BTS:n välimatka rajoitettu
+ helppo laajentaa	- tehoton kanavakäyttö mikroaalloilla
+ yksi linkki putoaa, vain yksi asema pois pelistä	- tehoton linkkikapasiteetin käyttö
Ketjutopologia	
+ linkkikapasiteetti tehokkaammin käytössä	- jos 1. linkki putoaa, koko ketju poissa pelistä
	- 1. linkki varmistettava lisäksi muulla tavalla
Silmukkatopologia	
+ tehokas suojaus laitevikoja ja paikallisia vaimennuksia vastaan	- verkon suunnittelu ja pystyttäminen huomattavasti hankalampaa kuin edellisillä
+ tehokas kanavien käyttö mikroaalloilla	- kapasiteetin lisääminen vaikeata
+ katkosaika minimoitu, ei katkoksia käyttäjille	- enemmän jäniteitä, maksaa enemmän
+ kasvattaa linkkijänteiden pituutta	- silmukan kapasiteetti pitää olla vakio
+ uudelleen reititystä ei tarvitse tehdä manuaalisesti	- pitkän ketjun suojaaminen paikallisilta vaimennuksilta vaikeaa
+ vioittunutta laitetta ei ole pakko vaihtaa heti	
+ ohjaus helppoa, viallinen laite voidaan havaita	
Verkkotopologia	
Solmuihin päästään käsiksi useaa reittiä	
Tyypillinen internet-topologia	

2.5 Radiolinkkijärjestelmän suunnittelu

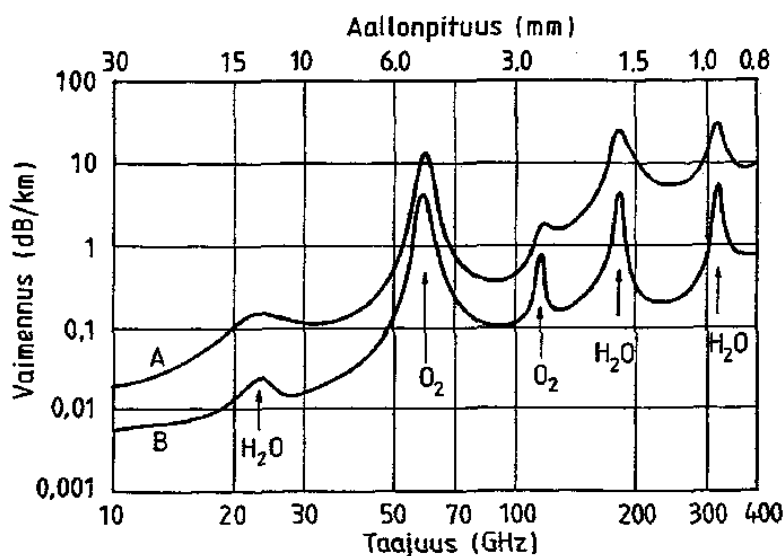
Radiolinkkijärjestelmän suunnitteluun tulee kiinnittää tarkasti huomiota erilaisten vaimennuksien ja esteiden välttämiseksi. Kurssin S-72.135 Fixed Radio Networks kurssimateriaalissa on käsitelty radiolinkkien suunnittelua tarkemmin.

3. METROHOPPER – 58 GHz:N RADIOLINKKIJÄRJESTELMÄ

Nokia MetroHopper on 58 GHz:n taajuusalueella toimiva radiolinkkijärjestelmä, joka on tehty tiedonsiirtoon taajama alueiden ns. viimeiselle kilometrille, joissa ei ole valmista kaapelointia ja sellaisen rakentaminen on erittäin kallista. MetroHopper kykenee siirtämään tietoa 4 x 2 Mbit/s nopeudella point-to-point yhteyksissä melkein missä vaan, kunhan näköyhteysreitti on saatavilla. MetroHopper kuuluu Nokian Hopper-radiolinkkiperheeseen, joka on yhteensopiva Nokian GSM-verkkoelementteihin.

3.1 58 GHz:n taajuusalueen erityispiirteitä

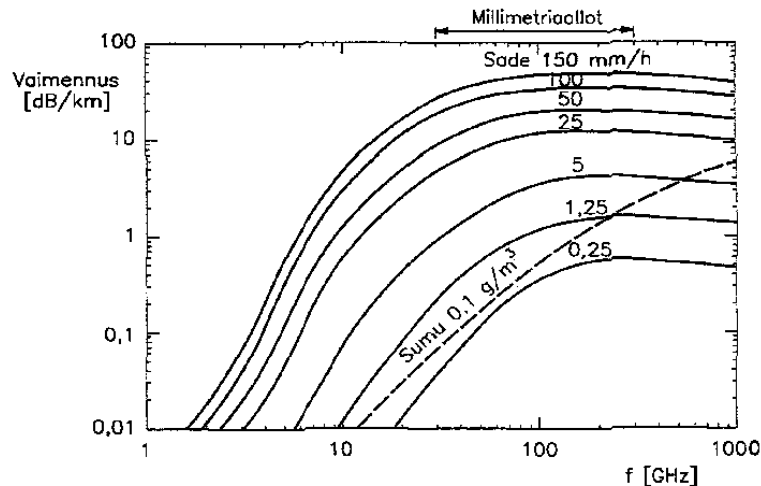
MetroHopper käyttää 58 GHz:n taajuusaluetta, joka aiheuttaa radiojärjestelmälle muutamia erityispiirteitä. Millimetriaaltoalueen käyttö vaatii miltei aina näköyhteysreitin ja vapaan tilan. Ilmakehän vaimennus ja varsinkin hapen aiheuttama vaimennus on voimakasta tällä taajuusalueella, lisäksi sade voi katkaista koko yhteyden. Kuvassa 13 on esitetty kirkkaan ilmakehän vaimennus taajuusalueella 10-400 GHz meren pinnan tasolla (A) ja 4 km:n korkeudessa (B). [20]



Kuva 13. Ilmakehän vaimennus taajuusalueella 10 - 400 GHz merenpinnan tasolla (A) ja 4km:n korkeudessa (B)

58 GHz:n taajuudella on hapen vaimennusmaksimi (n.15 dB/km), josta aiheutuu taajuusalueen erityispiirteet (voimakas vaimennus, lyhyt yhteysväli, hyvä häiriönsieto).

Sään vaikutus signaalin vaimenemiseen on myös huomioitava 58 GHz:n taajuusalueella. Kuvassa 14 on esitetty sateen ja sumun aiheuttama lisävaimennus.[21]



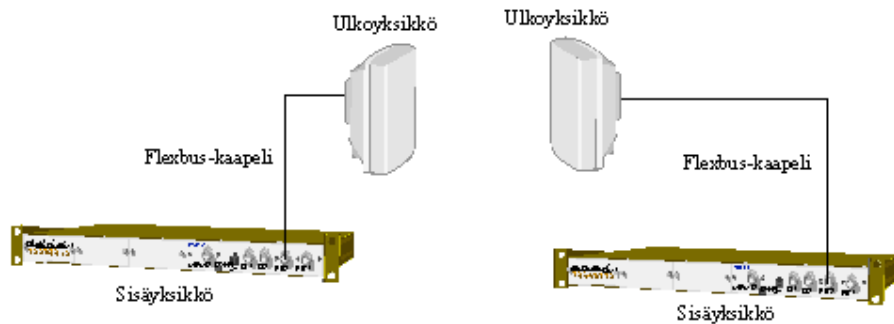
Kuva 14. Sateen ja sumun aiheuttama lisävaimennus radioaaltojen etenemiseen

Sadepisaroiden halkaisija on aallonpituuden suuruusluokkaa, jolloin pisarat toimivat antennina ja sirottavat aaltoja voimakkaasti. Voimakas sade vaimentaa kenttää yli 10 dB/km. Lumisateen vaikutus riippuu lumihuutaleiden vesipitoisuudesta, kuiva lumisade vaimentaa vähemmän kuin räntäsade. Sumu koostuu pienistä vesipisaroista, joiden halkaisija on aallonpituutta reilusti pienempi eikä sumu siten aiheuta niin suurta vaimennusta kuin vesisade. Myös pöly ja savu vaimentavat hiukan.

Näistä vaimennustekijöistä johtuen yhteysvälin jää noin kilometriin. Voimakkaan vaimentumisen takia radiolinkkijärjestelmän häiriintyminen toisesta samalla taajuudella olevasta signaalista on pientä. Tästä johtuen neliökilometrin alueelle voidaan sijoittaa satoja MetroHopper-järjestelmiä. [22] Koska 58 GHz:n radiojärjestelmät eivät juurikaan häiritse toisiaan on taajuusalueen käyttö varsin vapaata ja helppoa, koska taajuusalue on standardisoitu käytettäväksi ilman koordinoitua taajuussuunnittelua. [23] ETSI on kuitenkin standardisoinut taajuusalueen kanavavälin ja maksimi tehotasot.

3.2 Metrohopperin kokoonpano

MetroHopper koostuu kuvan 15 mukaisesta kokoonpanosta, jonka osat ovat sisä- ja ulkoyksikkö, sekä flexbuskaapeli.



Kuva 15. Nokia MetroHopper kokoonpano

3.2.1 Sisäyksikkö

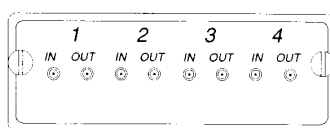


Kuva 16. FIU 19 sisäyksikkö

MetroHopperin toimintaa ohjataan kuvan 16 mukaisella FIU 19 sisäyksiköllä, joka sopii 19":n räkkiin. [24] Flexbus-kaapeli kytketään sisäyksikön ja ulkoyksikön välille.

3.2.1.1 Plug-in liitännät

FIU 19 pystyy ohjaamaan kolmea ns. plug-in-yksikköä, joiden paikat näkyvät kuvassa vasemmalla. Plug-in paikkoihin kytketään varsinainen tiedonsiirtorajapinta. FIU 19 pystyy kytkemään 3 kpl 4 x 2 Mbit/s yksikköä, mutta MetroHopperin tiedonsiirtonopeus radiotiellä on vakio 4 x 3 Mbit/s. Plug-in paikkoihin voi lisäksi kytkeä ylimääräisiä Flexbus-liitäntöjä. Kuvassa 17 on esitetty 4 x 2M plug-in yksikkö. [25]



Kuva 17. 4 x 2M plug in -yksikkö

Yksikköön voidaan kytkeä 4 kpl 2 Mbit/s signaaleja käyttäen SMB-liittimiä. 75Ω kytkentä noudattaa ITU-T suosituksen G.703 rajapintaa.

3.2.1.2 Measurement point (MP) – Testisignaalin mittauspiste

MetroHopper järjestelmästä voidaan ottaa ulos erilaisia testisignaaleja ja ohjata ne MP-liittimen rajapintaan. MP-liittimeen kytketään oskilloskooppi signaalien tulkitsemista varten.

3.2.1.3 Local Management Port (LMP) – Paikallinen ohjausportti

MetroHopper järjestelmää ohjataan MetroHopper Manager –ohjelmalla. LMP-porttiin kytketään ohjaustietokone paikallista ohjausta varten. MetroHopperia voi myös ohjata Q1-1 ja Q1-2 liittimistä.

3.2.1.4 Virtaliitin

FIU 19 tarvitsee käyttöjännitteeksi 24 V.

3.2.1.5 Network Management Interface (Q1-1 ja Q1-2)

FIU 19 sisäyksiköitä voidaan kytkeä yhteen ns. siltojen avulla ja siten ohjata useampaa yksikköä yhdestä paikasta. Q-liittimen kautta MetroHopper voidaan kytkeä yhteen Nokian GSM-tukiasemajärjestelmään, jolla voidaan ohjata myös MetroHopperia. MetroHopperin ohjausohjelman avulla voidaan tehdä tarvittavat siltakytkennät.

3.2.1.6 Flexbus Interface (FB1 ja FB2) – Flexbus-liitäntä

FIU 19 kytketään ulkoyksikköön Flexbus-kaapelilla, joka kytketään FB1 tai FB2 liitäntää. FIU 19 pystyy ohjaamaan kahta ulkoyksikköä ilman erillisiä plug-in-yksiköitä. Ulkoyksikkö saa käyttöjännitteensä FB-liitännästä.

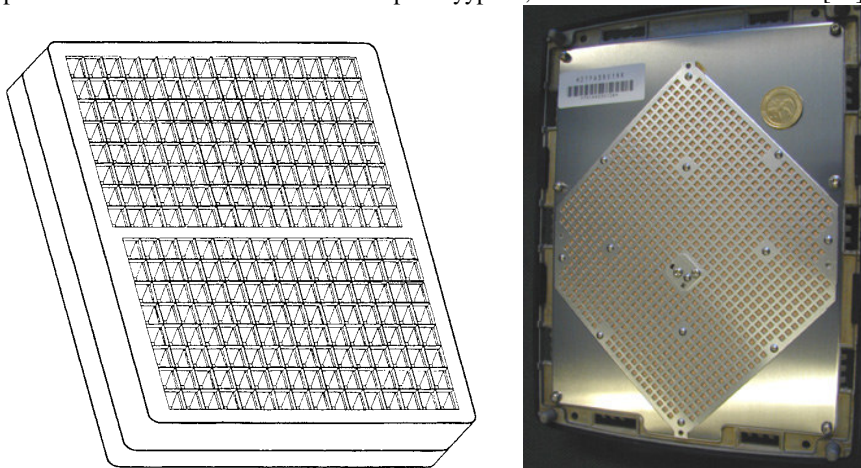
3.2.2 Flexbus-kaapeli

FIU 19:n 2 Mbit/s liitäntöjen ja Flexbus-kytkennän välille on integroitu ohjelmallinen ristiinkytentätaulu, joka mahdollistaa vapaan ristiinkytämisen yksiköiden välille. Sisä- ja ulkoyksikkö yhdistetään kaksisuuntaisella Flexbus-kaapelilla, joka kantaa 1-16 x 2 Mbit/s signaalit ja yksiköiden ohjaukseen tarvittavan signaalin. Kaapelissa kulkee myös ulkoyksikön tarvitsema virta. Flexbus-kaapelissa kulkee pelkästään digitaalisignaali, joten se voi olla jopa 300 m pitkä.

3.2.3 Ulkoyksikkö

Varsinainen MetroHopperin radiojärjestelmä on integroitu antenniin, jotka yhdessä muodostavat ulkoyksikön. Tämän ratkaisun ansiosta radiojärjestelmässä on voitu minimoida aaltoputken pituus ja antennin syöttöön ei voida vaikuttaa säteilytehoa alentavasti. Tämä tekee MetroHopperista erittäin helpon asentaa.

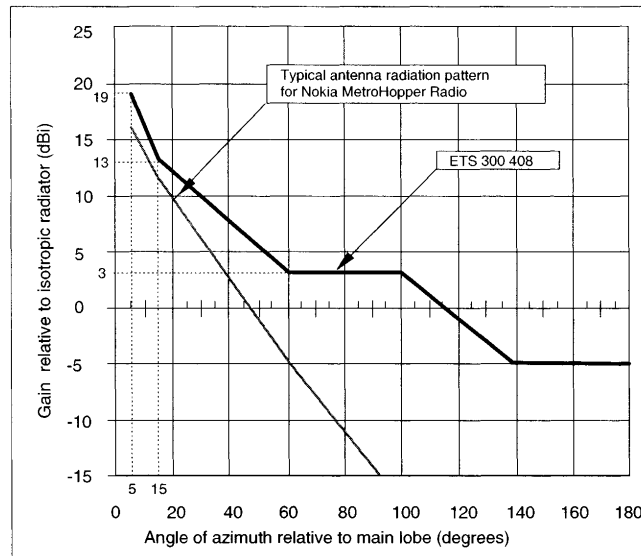
MetroHopperin antenni on integrated flat panel –tyyppiä, joka on kehitetty TKK:n Radiotekniikan laboratoriossa, Tomas Sehmin väitöskirjassa. Antennia lieenee kehitetty vielä edelleen, ainakin ulkonäöltään se poikkeaa Sehmin kehittämän antennin prototyypistä, kuten kuvasta 18 havaitaan. [26]



Kuva 18. Sehmin 58GHz:n antenni ja MetroHopperin antennielementti

Tomas Sehmin väitöskirjasta Development of Low-Profile Radio Link Antenna for Millimeter Waves löytyy lisää tietoa antennista, lisäksi liitteessä 2 on Tomas Sehmin artikkeli antennista.

Nokia lupaa antennin vahvistukseksi pääkeilan suuntaan on 34 dBi ja pääkeilan 3 dB:n keilanleveys on 1.5°, joten antenni on hyvin suuntaava ja vahvistava. Antennin säteilykuvio pysyy standardin EN 300 408 vaatimusten sisäpuolella, kuten kuvasta 19 voidaan havaita. [27]



Kuva 19. MetroHopperin antennin säteilykuvio ja standardit EN 300 408 rajoitukset

MetroHopper käyttää radioyhteydessä vaakapolarisaatiota. Antenni saa käyttöjännitteensä Flexbus-kaapelin välityksellä sisäyksiköltä.

3.3 Radiojärjestelmän tekniset yksityiskohdat

Taulukossa 3 on listattu MetroHopperin tärkeimmän radiojärjestelmään liittyvät tiedot. [28]

Taulukko 3. MetroHopperin tekniset yksityiskohdat

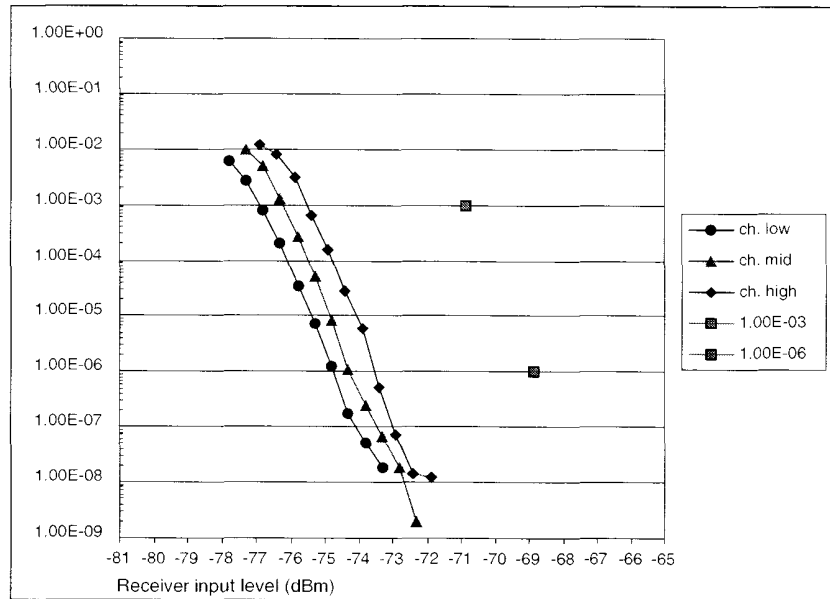
Taajuusalue	
Käytettävät taajuudet	57.200 – 58.200 GHz
Kanavaväli	100 MHz
Duplex-tapa	TDD
Kanavan valitseminen	Manuaali tai automaattinen
Polarisaatio	Vaakapolarisaatio

Modulaatio	
Modulaatiomenetelmä	MSK

Tehotaso ja BER	
Lähetysteho	5 dBm
Maksimi vastaanotettu kentänvoimakkuus	-20 dBm (BER = 10^{-3})
BER 10-3	-71 – -75 dBm
BER 10-6	-69 – -73 dBm

Siirtokapasiteetti	
Siirtokapasiteetti	4 x 2 Mbit/s

Kuvassa 20 on esitetty MetroHopperin bittivirhesuhdetta vaimenemisen funktiona [29].



Kuva 20. MetroHopperin bittivirhesuhde vaimenemisen funktiona

Kuvasta havaitaan, että virheiden määrä alkaa lisääntyä merkittävästi vasta kun vastaanotettu tehotaso on n. -70 dBm. Standardien mukaiset merkittävät rajat 10^{-3} ja 10^{-6} on merkitty laatikoilla.

3.4 MetroHopperin säteilystä aiheutuva terveysriski

Radiolinkkien korkeat taajuudet, suuntaavat antennit ja mahdollinen korkea teho herättää kysymyksen säteilyn terveyshaitoista. Suomessa Sosiaali- ja terveysministeriö on päättänyt rajoittaa kentänvoimakkuuksia siten, ettei niistä aiheudu väestölle terveysriskejä. 58 GHz:n alueella raja sähkö- sekä magneettikentän tehotiheydelle on 10 W/m^2 . MetroHopperin antenninvahvistuksella ja taajuusalueella lähetysteho saisi olla yli 17 dBm:ä ennen kuin se luokiteltaisiin vaaralliseksi. MetroHopperin lähetysteho on 5 dBm, joten vaaraa ei ole.

3.5 Sovelluskohteet

MetroHopper mahdollistaa lyhyen ja luotettavan $4 \times 2 \text{ Mbit/s}$ yhteyden melkein minne vaan. 58 GHz:n taajuusalue mahdollistaa tiiviin MetroHopper-verkon, jonka yksittäisen hypyn pituus on lyhyt. Tyypillinen käyttötarkoitus MetroHopper-radiolinkkijärjestelmälle on langattoman verkon pisteiden yhdistäminen, esim. GSM-toistinaseman datan siirtämiseen keskittimeen ilman kalliita välilohtoja. MetroHopper yksikkö voidaan kytkeä point-to-point yhteyteen, toistinasemaksi tai haaroittavaksi asemaksi.

4. RADIOLINKKIJÄRJESTELMIEN RAJAPINNAT

Radiolinkkijärjestelmän rajapinnalla tarkoitetaan sitä liityntäpistettä, jonka kautta hyötysignaali siirretään radiolaitteelle eteenpäin lähetettäväksi. Radiolinkkien standardisiirtonopeudet ovat PDH ja SDH, joten periaatteessa kaikki PDH-signaalit ja SDH-signaalit 155 Mbit/s asti ovat siirrettävissä radiolinkkijärjestelmissä. ITU-T:n suositus G.703 määrittelee rajapinnat eri nopeuksille. Nokian MetroHopperiin rajapinta on G.703 mukainen 2 Mbit/s rajapinta, johon Tietoliikennelaboratoriossa voidaan kytkeä ainakin PCM, GSM ja SDH.

5. STANDARDOINTI JA LUPA-ASIAT

Radiolinkkien tulee noudattaa olemassa olevia standardeja, joita on esim. radiolaitteille, taajuusalueelle, radiolaitteen rajapinnoille ja signaaleille, säteilylle, EMC:lle, ympäristövaikutuksille ja laitteiden toimintaperiaatteelle. Standardeja ja suosituksia telelaitteille antaa ITU-T (maailmanlaajuinen), ETSI (Eurooppalainen) ja Telehallintokeskus THK (Suomalainen). Lisäksi THK valvoo säännöstä noudattamista ja myöntää radiolaitteiden käyttöluvia. Taulukossa 4 on esitetty Nokian MetroHopper 58 GHz:n noudattamat standardit [30]:

Taulukko 4. MetroHopperin noudattamat standardit

Signaalit (ITU-T)	Suosituksen nimi
G.703	Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interface
G.704	Synchronous frame structures used at primary and secondary hierarchical levels
G.823	The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy
G.826	Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate paths at or above primary rate
G.921	Digital sections based on the 2048 kbit/s hierarchy

Radiolähetys (ETSI)	Suosituksen nimi
EN 300 408	Parameters for radio-relay systems for the transmission of digital and analogue video signals operating at around 58 GHz which do not require co-ordinated frequency planning

Ympäristö	Suosituksen nimi
ETS 300 019-1-1 Class 1.2	Equipment Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Storage.
ETS 300 019-1-2 Class 2.3	Equipment Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Transportation.
ETS 300 019-1-3 Class 3.2	Equipment Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Stationary use of at weatherprotected locations.
ETS 300 019-1-4 Class 4.1	Equipment Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Stationary use of at non-weatherprotected locations.
ETS 300 019-1-4 Class 4.1E	Equipment Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; Stationary use of at non-weatherprotected locations – extended.
ETS 300 385	Radio equipment and systems (RES); EletroMagnetic Compatibility (EMC) standard for digital radiolinks and ancillary equipment with data rates around 2 Mbit/s and above.
EN 55022	Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of information technology equipment.
EN 60801-2	Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment – Part 2: Electrostatic discharge requirements.
ENV 50140	Electromagnetic compatibility – Basic immunity standard – Radiated, radio frequency, electromagnetic field; Immunity test
ENV 50141	Electromagnetic compatibility – Basic immunity standard –Conducted disturbances induced by radio frequency fields.
ENV 50142	Electromagnetic compatibility – Basic immunity standard –Surge immunity test.
IEC 801-4	Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment – Part 4: Electrical fast transient – burst requirements.

Tietoliikennelaboratoriolla on MetroHopperiin liitteen 3 mukainen käyttöluva. Lupa on annettu opetusyhteyksiin siten, että linkin toinen pää tulee olla Tietoliikennelaboratoriossa, mutta toista voi tarvittaessa siirtää Otaniemen alueella. 58 GHz:n alueella THK:n myöntämällä luvalla laitteen voi ottaa käyttöön missä tahansa Suomessa, kunhan ilmoittaa siitä THK:lle. [31]

Radiolaitteiden käyttöluvista ja niiden hakemisesta löytyy lisätietoa THK:n www-sivuilta (<http://www.thk.fi>) ja Telehallintokeskuksen tiedotteesta YY 1.2 vuodelta 1998: Luvanvaraisten radiolähettimien yleiset lupaehdot.

6. VALVONTA, HÄLYTYKSET JA SISÄISET TESTIT

Radiolinkkijärjestelmiä valvotaan etäpisteestä tai paikanpäältä. Paikanpäältä valvominen on usein hankalaa, joten tapana on keskittää useiden radiolinkkien tai radiojärjestelmien valvonta yhteen pisteeseen, esim. valvomoon. Valvomossa syttyy merkkivalo tai järjestelmä antaa hälytyksen jos jossain järjestelmän osassa on jotain vikaa. Järjestelmiä pystytään aika pitkälti myös ohjaamaan radiotien kautta, ettei paikalla tarvitsisi lähettää asentajaa korjaamaan tilanne. Mikäli yhteys on poikki, usein joudutaan kuitenkin lähtemään paikanpäälle, jos ongelmaa ei voida selittää esim. poikkeuksellisina sääolosuhteina.

Järjestelmien valvonta on tehty monipuoliseksi ja esim. radiolinkeistä saadaan irti paljon erilaista valvontatietoa, josta linkin toimintaa voi tarkkailla koko ajan. Lisäksi radiolinkeillä on kymmeniä erilaisia hälytyksiä, jotka kertovat missä on vika. Hälytykset jaetaan usein neljään luokkaan, hälytyksen vakavuuden perusteella: kriittinen (critical), merkittävä (major), vähäpätöinen (minor) ja varoitus (warning). Tämän lisäksi laitteissa on merkkivaloja ilmoittamaan ongelmista ilman ohjausohjelmiston käynnistämistä. Merkkivaloja voi olla useita erilaisia ilmaisemaan eri merkityksiä.

Radiolinkkijärjestelmiä voidaan testata useille sisäisillä testeillä, joissa laite testaa itse itseään tai muodostaa kytkennän, jossa jotain tiettyä osaa voi testata. Lisäksi järjestelmissä on usein testipiste, johon voidaan ohjata haluttuja signaaleja ja tarkastella niitä esim. oskilloskoopin avulla. Yleensä testin käynnistyminen katkaisee linkkiyhteyden.

6.1 MetroHopperin valvonta, hälytykset ja testit

MetroHopper Management ohjelmalla on mahdollista valvoa MetroHopperin toimintaa varsin monipuolisesti. Ohjelmasta ulos saatavat toiminnan monitorointiparametrit voidaan jakaa mittauksiin (measurements), virhelaskureihin (error counters), signaalin laatuun (signal quality statistics) ja hälytyksiin. Kaikista mitattavista suureista voidaan avata ns. seurantaikkuna, johon ohjelma päivittää ko. arvot halutuun väliajoin. Minimi päivitysväli on 10 s. Kaikista monitorointiparametreista voidaan lisäksi kirjoittaa lokitiedosto. Lisäksi MetroHopperissa on kolme merkkivaloa.

Mittaukset (measurements)
Flexbus 1 ja 2: BER
Flexbus 1 ja 2: Power status
PRBS2: BER
PRBSF: BER
Power supply: +3.3V, +5.0V, -5.0V ja Supply voltage
Radio Interface: Rx level, Rx level min ja max

Virhelaskurit (error counters)
Flexbus 1 ja 2:
Frame sync lost
Bit error count
PRBS2: Bit error count
PRBSF: Bit error count

Signaalin laatu (signal quality statistics) ITU-T:n suosituksen G.826 mukaisesti:
Total Time (TT)
Available Time (AT)
Errored Second (ES)
Severely Errored Second (SES)
Background Block Error (BBE)
Errored Block (EB)

6.1.1 Merkkivalot ja hälytykset

MetroHopperin FIU 19 sisäyksikössä on kolme merkkivaloa kertomassa laitteen toiminnasta. Merkkivaloista oikeanpuoleisin kertoo FIU 19 yksikön toiminnasta ja kaksi muuta Flexbus:ien toiminnasta. Seuraavassa taulukossa 2 ja 3 on selitetty FIU 19 ja Flexbus-merkkivalojen merkitykset. [32], [33]

Taulukko 5. FIU 19 sisäyksikön merkkivalon selitykset

Merkkivalo	Merkitys
Punainen	Yksi tai useampi datalinja ei toimi kunnolla.
Keltainen	Sisä- ja/tai ulkoyksikö(i)ssä on aktiivinen hälytys. Data liikkuu kuitenkin linkkien välillä.
Vihreä	Yksiköt toimii ja hälytyksiä ei ole. Vilkkuva vihreä tarkoittaa että node manageriin on yhteys

Taulukko 6. Flexbus:ien merkkivalojen selitykset

Merkkivalo	Merkitys
Ei valoa	Flexbus:iin ei syötetä käyttöjännitettä tai lähetys ei ole päällä
Vilkkuva vihreä	DC jännesyöttö on päällä, mutta lähetys ei ole.
Vihreä	DC jännesyöttö on päällä ja MetroHopper lähettää

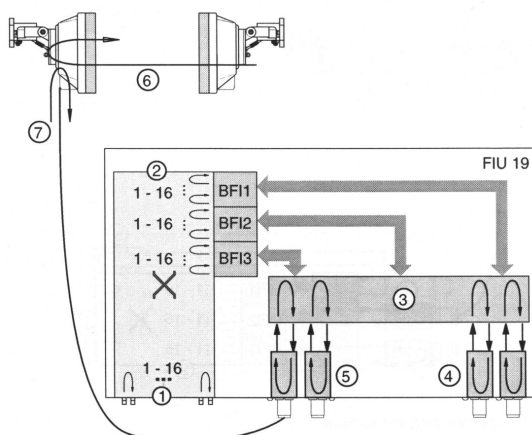
MetroHopperin kaikki hälytykset on listattu liitteessä 4.

6.1.2 MetroHopperin testit

MetroHopperin sisäiset testit muodostuvat takaisinkytkennöistä, pakotetuista toiminnoista ja sisäyksikön testipisteeseen muodostetuista kytkennöistä.

6.1.2.1 Takaisinkytkennät

MetroHopperiin voidaan ohjelmallisesti kytkeä sisäisiä takaisinkytkentöjä, joiden avulla saadaan joku tietty signaali ohjattua haluttuun paikkaan. Kuvassa 21 on esitetty kaikki MetroHopperin loop-kytkennät ja taulukossa niiden selitykset. [34]



Kuva 21. MetroHopperin takaisinkytkennät

Taulukko 7. MetroHopperin mahdolliset takaisinkytkennät

Numero	Nimi	Kuvaus
1	2M IF	Takaisinkytkennät Plug-in yksikön 2 Mbit/s rajapinnassa
2	BFI 2M Channels	Takaisinkytkennät ristiinkytkennässä 2 Mbit/s signaaleille, jotka menee Flexbus:lle
3	Flexbuses	Takaisinkytkennät sisäyksikön Flexbus-rajapintaan
4	FB1 ja FB2	Takaisinkytkennät Flexbus-rajapinnasta laitteelle
5	FB3 ja FB4	Takaisinkytkennät Flexbus-rajapinnasta laitteelle
6	Outdoor Unit	Takaisinkytkentä ulkoyksiköltä toiselle
7	Outdoor Unit	Takaisinkytkentä ulkoyksiköltä sisäyksikölle

6.1.2.2 Pakotetut toiminnot

Pakotuilla toiminnoilla tarkoitetaan toimintaa, jossa MetroHopperin jokin osa pakotetaan tekemään jotain halutulla tavalla. Esim. merkkivalojen värejä voi vaihdella tällä tavoin ja siten testata, että kaikki komponentit ja yksiköt toimivat.

6.1.2.3 Mittauspiste

FIU 19 sisäyksikön mittauspisteeseen voidaan ohjata useita signaaleita laitteesta. Signaalien avulla esim. järjestelmän korjaus helpottuu. Mahdolliset signaalit ovat: [35]

- 2M TX data
- Flexbus 2M RX data (signaalit ristiinkytkennästä)
- 2M PRBS (pseudo-random binary sequence)
- 2M AIS (alarm indication signal)
- Flexbus 2M TX kello
- Flexbus 2M RX kello

7. KIRJALLISUUSVIITTEET

- [1] Antti Räisänen, Arto Lehto: Radiotekniikka. Otatiето 1992 s. 213
- [2] Arto Lehto: S-26.105 Radiojärjestelmän osat opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 6 s.5
- [3] Antti Räisänen, Arto Lehto: Radiotekniikka. Otatiето 1992 s. 214
- [4] Harri Lahti: S-26.140 Tietoliikenteen radiolaitteet I opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 1 s.6-7
- [5] S-26.140 Tietoliikenteen radiolaitteet I opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 3 s.15
- [6] Tero Tuoriniemi: S-26.140 Tietoliikenteen radiolaitteet I opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 3 s.2
- [7] Arto Lehto: S-26.105 Radiojärjestelmän osat opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 1 s.18
- [8] S-26.140 Tietoliikenteen radiolaitteet I opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 3 s.16 ja 18
- [9] Arto Lehto: S-26.105 Radiojärjestelmän osat opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 1 s.29
- [10] Arto Lehto: S-26.105 Radiojärjestelmän osat opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 1 s.34-35
- [11] Simon Haykin: Communication systems 3ed. John Wiley & Sons USA 1994, s.560
- [12] Simon Haykin: Communication systems 3ed. John Wiley & Sons USA 1994, s.531
- [13] Petri Mikkonen: S-26.105 Radiojärjestelmän osat opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 3 s.48
- [14] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 3.3.4.8. s.21
- [15] Pentti Teppo: Siirtojärjestelmät tietoliikennetekniikassa. Gummerus 1982, s.124
- [16] Antti Räisänen, Arto Lehto: Radiotekniikka. Otatiето 1992 s. 59
- [17] Pentti Teppo: Siirtojärjestelmät tietoliikennetekniikassa. Gummerus 1982, s.125
- [18] Pentti Teppo: Siirtojärjestelmät tietoliikennetekniikassa. Gummerus 1982, s.120
- [19] Harri Lahti: S-26.140 Tietoliikenteen radiolaitteet I opetusmoniste. Edita Oy kevät 2001 erä 1 s.11-14
- [20] Arto Lehto, Antti Räisänen: Millimetriaaltotekniikka. Otatiето 1997 s.10
- [21] Arto Lehto, Antti Räisänen: Millimetriaaltotekniikka. Otatiето 1997 s.13
- [22] Nokia Telecommunications: Nokia MetroHopper Radio, Product Overview. Nokia Telecommunications dokumentti C3551200SE_CO 1998-1999 s.4
- [23] ETSI Standardi ETS 300 408: Transmission and Multiplexing (TM); Parameters for Radio-relay systems for the transmission of digital signals and analogue video signals operating at around 58 GHz, which do not require co-ordinated frequency planning. ETSI Maaliskuu 1996
- [24] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 3.1.6.1. s.35
- [25] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 3.1.6.1. s.37
- [26] Tomas Sehm: A High-Gain 58-GHz Box-Horn Array Antenna with Suppressed Grating Lobes. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 47, No. 7, July 1999 s. 1126
- [27] Nokia Telecommunications: Nokia MetroHopper Radio, Product Overview. Nokia Telecommunications dokumentti C3551200SE_CO 1998-1999 s.30
- [28] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 5.0.8.1. s.57-76
- [29] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 5.0.8.1. s.62
- [30] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 5.0.8.9. s.74
- [31] Telehallintokeskuksen www-sivu: Radiolinkkien käyttö taajuusalueella 57,2 - 58,2 GHz : <http://www.thk.fi/suomi/radio/radiolinkit58.htm>
- [32] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 4.0.4.2.1. s.46
- [33] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 4.0.4.2.3. s.47
- [34] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 4.0.5.3.1. s.54
- [35] Nokia Networks Oy: Nokia MetroHopper Radio User Manual. Nokia Networks 2000, 4.0.5.3.3. s.58