

Pasi Kemppainen

VDT-OTA-JÄRJESTELMÄN VERIFIONTI

VDT-OTA-JÄRJESTELMÄN VERIFIONTI

Pasi Kemppainen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, langaton tietoliikenne

Tekijä: Pasi Kemppainen

Opinnäytetyön nimi: VDT-OTA-järjestelmän verifointi

Työn ohjaaja: Kari Jyrkkä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013

Sivumäärä: 54

Työn aiheena oli suunnitella Virtual Drive Test Over The Air -järjestelmän testausta ja itse testauksen avulla varmistaa järjestelmän toiminta. Järjestelmällä voidaan tehdä virtuaalisia ajotestejä mobiililaitteille kaiuttomassa kammiossa, joten työ edellytti tarkkaa tietämystä VDT-OTA-järjestelmän toiminnasta ja radiotien ominaisuuksista.

Työ toteutettiin suurimmaksi osaksi Aniten tiloissa Tutkijantiellä, mutta tarvittavat mittaukset suoritettiin autolla Linnanmaan alueella. Kammiomittaukset suoritettiin elektroniikkatiellä Grant4comilta vuokratussa kaiuttomassa kammiossa.

Testauksen päätteeksi saatiin paljon tuloksia mittauksista ja saadut tulokset olivat varsin hyviä. Näiden perusteella voidaan sanoa, että järjestelmä toimii kuten pitääkin. Lisäksi virtuaaliajelujuen tulokset olivat hyvin toistettavia, mikä on tärkeää tällaisessa testijärjestelmässä.

Asiasanat: Virtual Drive Testing, Over The Air Testing, Long Term Evolution, mobiililaitteet, testaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information Technology, Wireless telecommunications

Author: Pasi Kemppainen

Title of thesis: VDT-OTA-system verification

Supervisor: Kari Jyrkkä

Term and year when thesis was submitted: Spring 2013

Pages: 54

Purpose of the project was to plan Virtual Drive Test Over The Air system testing and verify correct operation of the system. The system is used to make virtual drive tests inside anechoic chamber so the work required a precise knowledge OTA VDT operation of the system and the characteristics of the radio path.

The work was carried out mostly in Anite premises in Tutkijantie, but the necessary measurements were carried out by car in Linnanmaa area. Chamber measurements were carried out at Grant4com's Anechoic Chamber in Elektro-niikkatie.

Work ended with a lot of the results of the measurements and the acquired results were quite good. Based on these can be said that the system is operating as it should. In addition the results of virtual drives were highly reproducible, which is important in a test system like this.

Keywords: Virtual Drive Testing, Over The Air Testing, Long Term Evolution, mobile devices

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty kevään 2013 aikana Anitelle. Tehtävänä oli VDT-OTA-järjestelmän verifiointi.

Haluan kiittää Seppo Salosta opinnäytetyön mahdollistamisesta sekä Pekka Kyöstiä ja Kai Lieskaa ohjeista ja neuvoista opinnäytetyön aikana. Kiitokset Kari Jyrkälle opinnäytetyön ohjauksesta ja Tuula Hopeavuorelle tekstinohjauksesta. Lisäksi kiitokset muillekin Aniten työntekijöille, jotka avustivat opinnäytetyön kanssa.

Oulussa 11.4.2013

Pasi Kemppainen

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKULAUSE.....	5
SISÄLTÖ.....	6
SANASTO.....	8
1 JOHDANTO	9
2 RADIOTIEN OMINAISUUDET	10
2.1 Signaalin eteneminen.....	10
2.2 Häipyminen	12
2.3 Doppler-ilmiö	15
2.4 Häiriöt.....	16
3 MIMO-JÄRJESTELMÄT	18
4 RADIOKANAVAN MALLINNUS.....	22
4.1 Impulssivaste.....	22
4.2 Kanavamallit.....	24
4.2.1 Constant	24
4.2.2 Pure Doppler	24
4.2.3 Classical	25
4.2.4 Flat.....	26
4.2.5 Rician.....	27
4.2.6 Lognormal.....	28
4.2.7 Gaussian	28
4.2.8 Suzuki.....	28
5 VDT- JA OTA-JÄRJESTELMÄT	29
5.1 VDT-järjestelmä.....	29
5.2 OTA-järjestelmä	30
6 LAITTEET JA OHJELMISTOT.....	33
7 TESTAUSSUUNNITELMA.....	34
7.1 Funktionaaliset testit.....	34
7.1.1 Kokonaisteho.....	34
7.1.2 Power Delay Profile (PDP)	35
7.1.3 Line Of Sight (LOS)	37
7.1.4 Power Angular Spectrum (PAS)	39

7.1.5 Polarisoinnin tehosuhte	40
7.2 Integrointitestit	41
8 TESTIEN SUORITUS	42
8.1 Mittausten nauhoitus	42
8.1.1 Funktionaaliset testit	42
8.1.2 Integrointitestit	45
8.2 Testit laboratoriossa	46
8.2.1 Vaihe 1	47
8.2.2 Vaihe 2	48
8.3 Testit kammiossa	50
8.3.1 Vaihe 3	50
8.3.2 Integrointitestit	50
9 POHDINTA	52
LÄHTEET	53

SANASTO

3GPP 3rd Generation Partnership Project

AWGN Additive White Gaussian Noise

CIR Channel Impulse Response

CQI Channel Quality Indicator

LOS Line Of Sight

MIMO Multiple In Multiple Out

MISO Multiple In Single Out

NLOS Non Line OF Sight

OTA Over The Air

PAS Power Angular Spectrum

RSRP Reference Signal Received Power

SCME Spatial Channel Model Extended

SIMO Single In Multiple Out

STC Space Time Coding

TDL Tapped Delay Line

VDT Virtual Drive Testing

1 JOHDANTO

Virtual Drive Testing Over The Air on tekniikka, jolla voidaan tehdä mobiililaitteille virtuaalisia testiajoja kontrolloiduissa laboratorio-olosuhteissa. Tässä työssä on tarkoituksena kehittää ja suorittaa testejä, joilla järjestelmän toiminta voidaan varmistaa.

Opinnäytetyön mahdollisti Anite Telecoms Oy, joka on erikoistunut toimittamaan testiratkaisuja langattoman tietoliikenteen tarpeisiin. Anite on monikansallinen yritys, jonka päämaja on Englannissa ja toimipisteitä 15 maassa ympäri maailman. Langattoman puolen lisäksi Anite toimittaa testiratkaisuja myös tietoverkkoja varten sekä ohjelmistoja matkustusyrityksille.

Mobiililaitteiden testauksessa OTA-testaus on vielä uusi juttu, joten tästä syystä työ oli hyvin mielenkiintoinen ja se toi mukanaan monia haasteita. Haasteista huolimatta verifointi saatiin suoritettua ja saadut tulokset jäivät Aniten käyttöön.

2 RADIOTIEN OMINAISUUDET

Jotta VDT-OTA-järjestelmää voidaan kehittää ja testata, pitää tietää radiotien ominaisuuksista. Järjestelmän kun pitäisi kuitenkin pystyä mallintamaan kaikkia näitä ominaisuuksia. Jos joku osa-alue jää mallintamatta, koko virtuaalijalua ei voi pitää kovin todenmukaisena.

2.1 Signaalin eteneminen

Yksinkertaisimmillaan radiosignaalin etenemistä voidaan kuvata vapaan tilan vaimenemisella. Siinä lähettimellä ja vastaanottimella on suora näköyhteys ja lähettyvillä ei ole esteitä, jotka voisivat aiheuttaa heijastumia tai vääristymiä. Tämä vaimeneminen voidaan ilmaista kaavalla 1. (1, s. 23.)

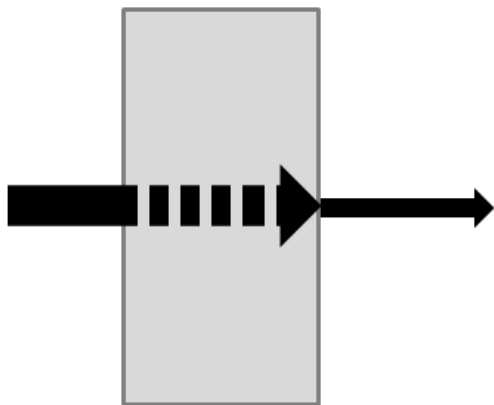
$$N = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi \times d}{\lambda} \right)^2 \quad \text{KAAVA 1}$$

d = etäisyys (m)

λ = aallonpituus (m)

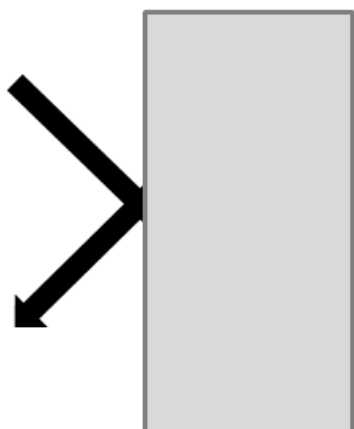
Vapaan tilan vaimeneminen on kuitenkin ideaali tilanne, joka toteutuu käytännössä hyvin harvoin. Lähinnä sitä tapahtuu korkealla ilmakehässä, joten se sopii huonosti kuvaamaan radiotietä, jota esimerkiksi mobiililaitteet kokevat. Nimittäin lähellä maanpintaa signaalin etenemistä vääristävät monet eri esteet, kuten rakennukset ja mäet. Varsinkin yleisessä kaupunkiympäristössä suora näköyhteys on harvoin tarjolla ja signaali on voinut vääristyä paljon matkalla eri esteiden vaikutuksesta. (2.)

Ensimmäiseksi radioaallot voivat kulkea erinäisten materiaalien lävitse, mikä aiheuttaa signaaliin ilmatietä enemmän vaimennusta. Käytännössä tämän voi huomata esimerkiksi siitä, että kännykällä voi puhua suljetussa tilassa, jossa ei ole ollenkaan ikkunoita. (Kuva 1.) (3, s. 319.)



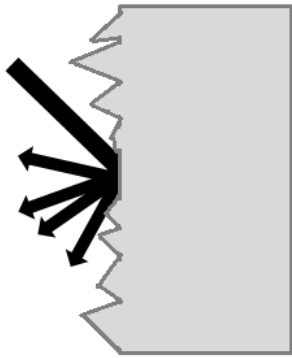
KUVA 1. Läpäisy

Radioaallot voivat myös heijastua esteistä, samaan tapaan kuin valokin heijastuu. Heijastuminen tapahtuu, kun esteen pinta on tasainen ja sen koko on suuri suhteessa signaalin aallonpituuteen. (Kuva 2) (1, s. 26.)



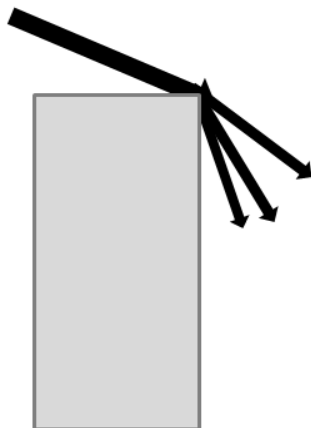
KUVA 2. Heijastuminen

Toinen heijastumiseen verrattavissa oleva ilmiö on sironta. Sitä tapahtuu, kun esteen pinnalla on aallonpituutta pienempiä epätasaisuuksia. Tällöin signaali ei heijastu yhteen suuntaan, vaan se levittäytyy useampaan suuntaan. (Kuva 3.) (1, s. 27.)



KUVA 3. Sironta

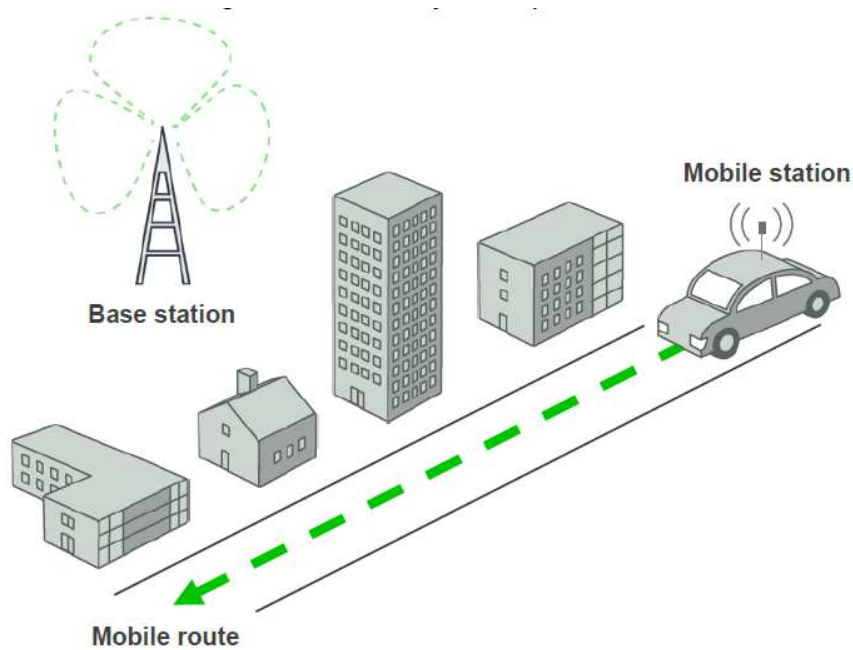
Edellä mainittujen tapausten lisäksi radioaallot voivat taipua esteen vaikutuksesta. Tämä mahdollistaa signaalin kulun vastaanottimelle, vaikka niiden välillä ei olisikaan näköyhteyttä. (Kuva 4.) (1, s. 28.)



KUVA 4. Taittuminen

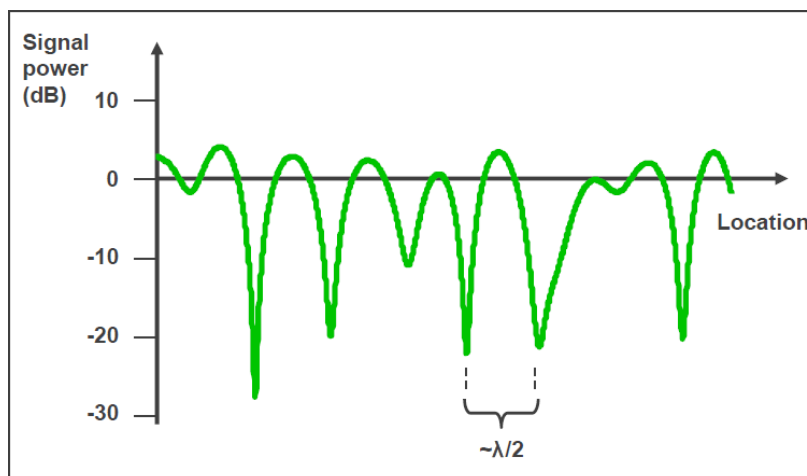
2.2 Häipyminen

Häipymiseksi kutsutaan vastaanotetun signaalin tason vaihtelua vastaanottimen liikkuesssa. Häipyminen voidaan jakaa kahteen eri luokkaan, nopeaan ja hitaaseen. Hidas häipyminen aiheutuu lähettimen ja vastaanottimen välillä olevista esteistä, kuten rakennuksista tai maastonmuodoista. (1, s. 30.) Kun vastaanotin liikkuu esimerkiksi rakennusten seassa, näkyy signaalin tasossa varjostumien aiheuttamia vaihteluita (kuva 5).

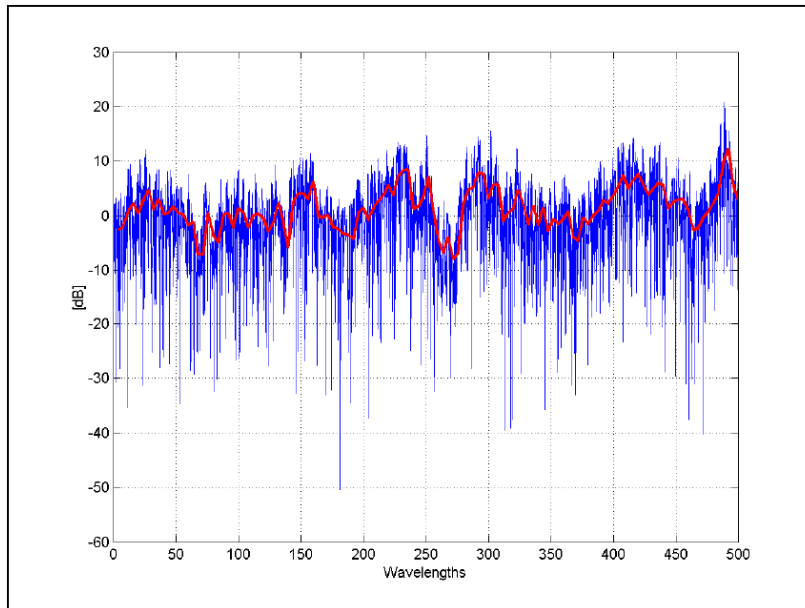


KUVA 5. Hidas häipyminen (3, s. 321)

Nopea häipyminen taas aiheutuu monitie-etenemisestä ja vastaanottimen liikkeestä. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että reittejä kulkevat signaalit summautuvat vastaanottimella. Kun vastaanotin sitten liikkuu, eri vaiheissa saapuvat signaalit vuorotellen vahvistavat ja vaimentavat toisiaan. Välillä vastaanotettujen signaalien vaiheet voivat olla täysin vastakkaiset, jolloin signaali katkeaa hetkeksi kokonaan. Näitä voimakkaita häipymisiä tapahtuu tasaisesti noin puolen aallonpituuden välien, johtuen juuri kahden erivaiheisen signaalin vuorovaikutuksesta. (1, s. 30.) (Kuva 6.)

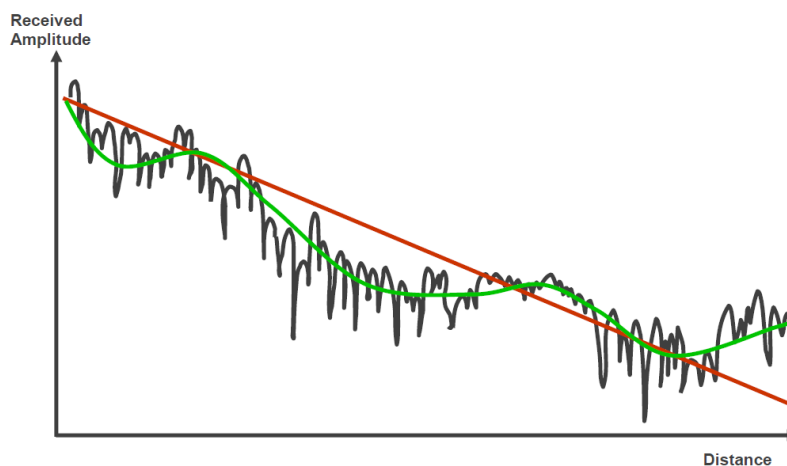


KUVA 6. Nopea häipyminen (3, s. 323)



KUVA 7. Nopea ja hidas häipyminen (3, s. 321)

Kuvasta 7 nähdään kummankin häipymistavan yhteisvaikutus vastaanotettuun signaaliin. Sininen käyrä on oikea vastaanotetun signaalin taso, missä nähdään teräviä piikkejä nopeasta häipymisestä. Punainen käyrä on keskiarvostettu käyrä, josta nähdään hitaan häipymisen vaikutus.

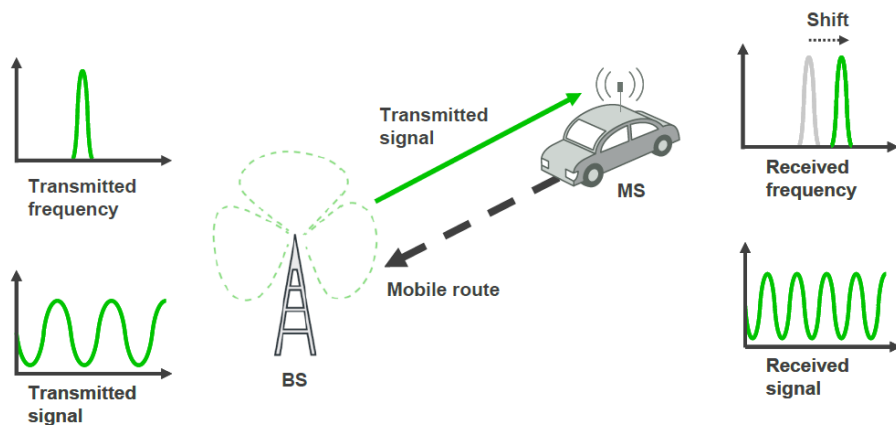


KUVA 8. Signaalin vaimeneminen (3, s. 323)

Kuvasta 8 nähdään nopean ja hitaan häipymisen sekä vapaan tilan vaimennuksen vaikutukset, kun vastaanotin liikkuu pois päin lähettimestä.

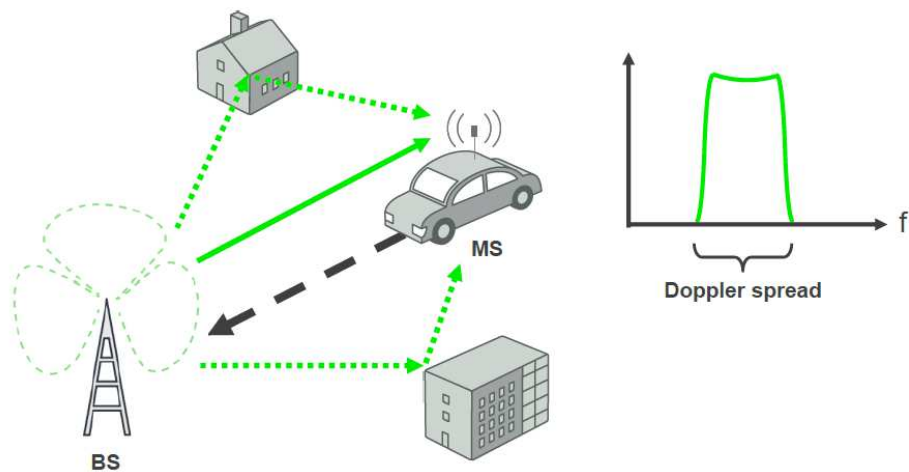
2.3 Doppler-ilmiö

Doppler-ilmiöksi kutsutaan aaltoliikkeessä tapahtuvaa taajuuden muutosta, joka johtuu aaltoliikkeen havaitsijan liikkeestä suhteessa lähettäjään. Koska ilmiö on sama niin ääniaalloilla kuin radioaalloilla, voidaan esimerkkinä hälytysajoneuvon sireeniä. Doppler-ilmiö havaitaan, kun hälytysajoneuvo tulee kuulijaa kohti ja ajaa tästä sitten ohitse. Tällöin sireenin ääni kuulostaa korkeammalta silloin, kun auto lähestyy, kuin auton mennessä pois päin. Sama tapahtuu myös radioaalloilla, jolloin vastaanotin näkee vastaanotetussa taajuudessa vaihteluita riippuen vastaanottimen liikkeestä. (4.) (Kuva 10.)



KUVA 10. Doppler (3, s. 324)

Mobiililaitteiden kanssa tilanne on harvoin näin yksinkertainen, koska suoraa näköyhteyttä ei yleensä ole tarjolla ja signaali saapuu useista eri suunnista. Käytännössä vastaanotin näkee useasta eri suunnasta tulevia signaaleja, joiden taajuusmuutos on eri Doppler-ilmiöstä johtuen. Nämä satunnaiset eri suunnista saapuvat signaalit muodostavat Doppler-hajonnan keskitaajuuden ympärille. (Kuva 11.)



KUVA 11. Doppler-hajonta (3, s. 325)

Doppler-hajonnan muoto riippuu ympäristöstä, jossa signaalit kulkevat ja monitie-etenemisen vaihtelevuudesta johtuen muoto ei pysy samana koko ajan. Suurin Doppler-hajonta on kuitenkin vakio riippuen vastaanottimen nopeudesta, koska suurin taajuuspoikkeama on signaaleilla, jotka tulevat täysin edestä tai takaa.

2.4 Häiriöt

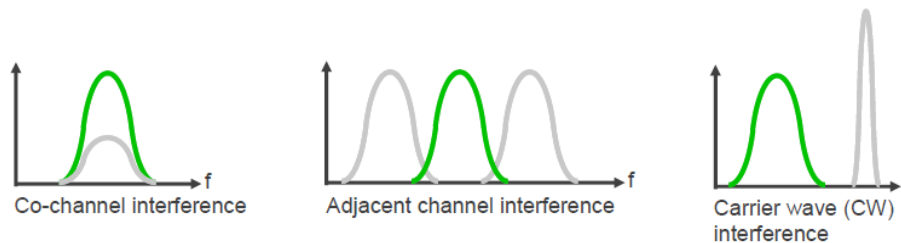
Käytännön sovelluksissa kohdataan myös erilaisia häiriöitä radiotiellä. Nämä ei-halutut signaalit summautuvat lähetettyyn haluttuun signaaliin ja vaikuttavat täten vastaanoton laatuun. Häiriöitä voi tulla muista lähettimistä, mutta vaikka muita samalla taajuudella toimivia lähettimiä ei olisikaan, on radiotiellä aina kohinaa. Kohina vääristää signaalin vaihetta ja kohinaa vaikuttaen siten negatiivisesti vastaanottimen virhevektorin suuruuteen.

Kuvassa 12 on vasemmalla lähetetyn QPSK-signaalin konstellaatio ja oikealla nähdään, miten kohina vaikuttaa vastaanottimen konstellaatioon.



KUVA 12. Vastaanottimen konstellaatio (3, s. 326)

Tällä hetkellä radiotaajuuksista on pulaa, joten kohinan lisäksi myös muut lähettimet aiheuttavat häiriötä kanavaan. Kuvassa 13 nähdään erilaisia häiriötyyppejä. Vasemmalla olevassa kuvassa näkyy samalla taajuudella oleva toinen kantaalto. Tällainen tilanne on mahdollista esimerkiksi kännykkäverkossa, kun kauempana oleva samalla taajuudella toimiva tukiasema kuuluu liian pitkälle. Keskimmäinen tilanne on yleinen esimerkiksi LTE:ssä, jossa on käytössä useita alikanavia jotka häiritsevät toisiaan hieman. Oikeanpuoleisessa kuvassa on oikean kantaallon vieressä ylimääräinen kantaaltopiikki jostain muusta lähettimestä.

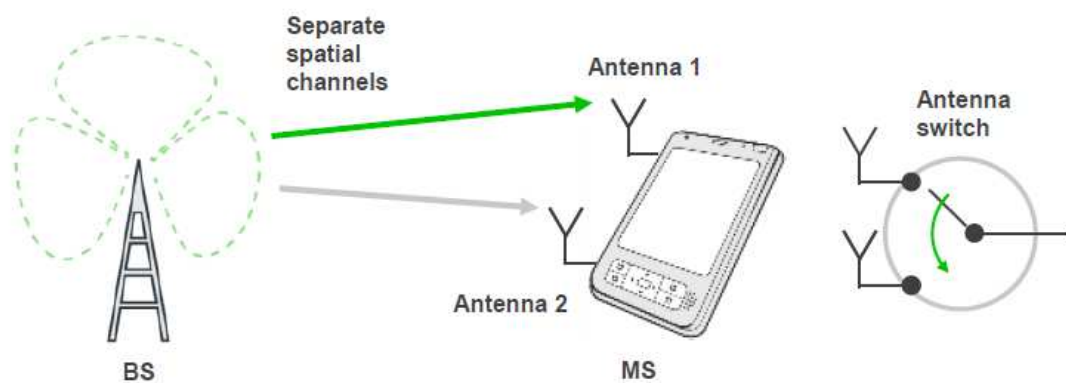


KUVA 13. Häiriötyyppejä (3, s. 326)

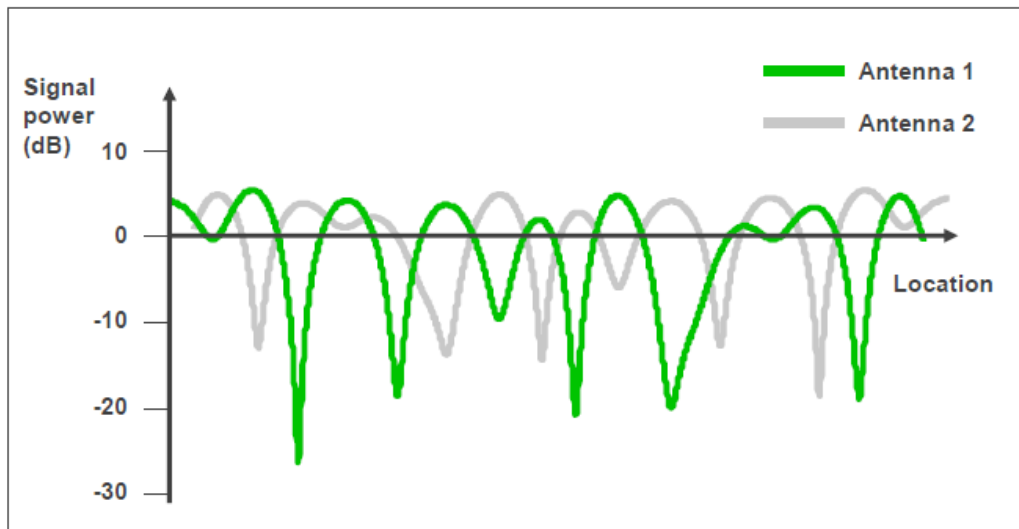
3 MIMO-JÄRJESTELMÄT

Aikaisemmin radiojärjestelmissä oli käytössä vain yksi antenni signaalin vastaanottoon ja lähetykseen. Viime aikoina radiolaitteiden tekniikka on kehittynyt jo niin hyväksi, että tällaisilla yhden antennin järjestelmillä ei voida juurikaan kasvattaa tiedonsiirtonopeutta, koska käytössä on rajallinen määrä kaistaa. Tämän vuoksi onkin ruvettu kehittämään keinoja, joilla tiedonsiirtonopeutta ja luotettavuutta saataisiin kasvatettua lisäämällä antennien määrää. Useampia antennia voidaan lisätä niin vastaanottimeen kuin lähettimeenkin ja myös kumpaankin päähän.

Vastaanoton tasoa voidaan parantaa yksinkertaisesti lisäämällä vastaanottimeen toinen antenni (Single Input Multiple Output). Kun nämä kaksi antennia asetetaan erilleen toisistaan, vastaanottavat ne eri reittejä kulkevia signaaleja. Tällöin laitteeseen voidaan tehdä logiikka, joka valitsee käytettäväksi aina sen antennin signaalin, joka on vahvempi (kuva 14 ja 15). Tällöin lähettimeen ei tarvitse tehdä muutoksia, vaikka järjestelmän suorituskyky paraneekin.



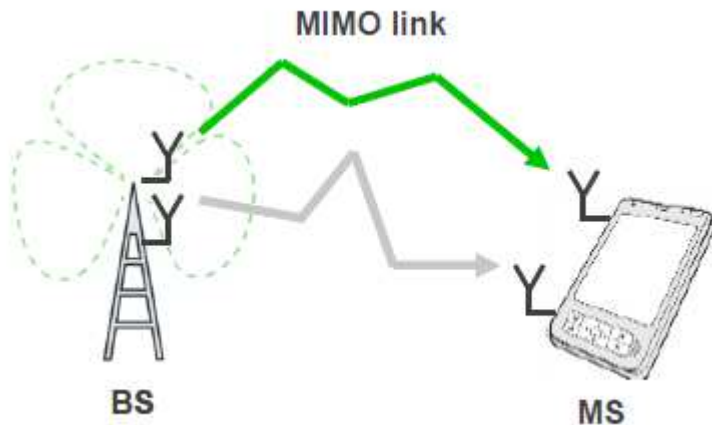
KUVA 14. SIMO (3, s. 327)



KUVA 15. Kahden antennin vastaanotto (3, s. 329)

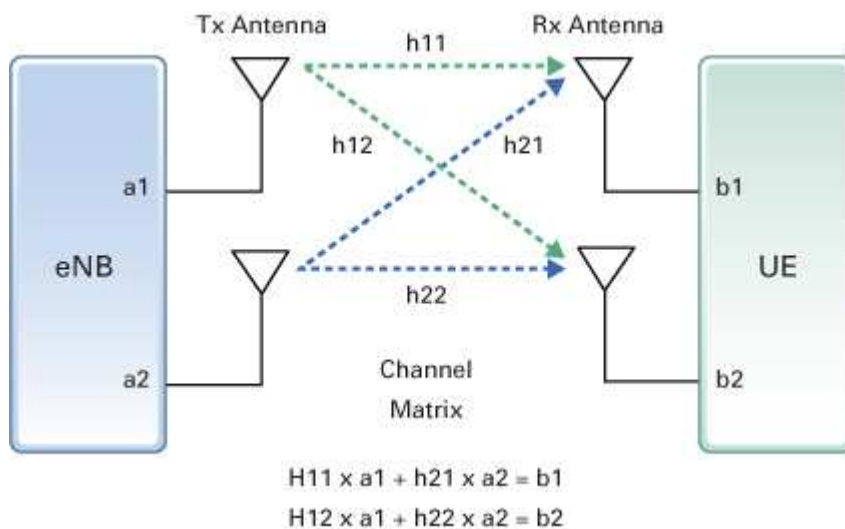
Toinen tapa parantaa systeemin luotettavuutta on lisätä useampi antenni lähettimeen (Multiple Input Single Output). Pelkällä antennin lisäyksellä ei kuitenkaan saada parannettua lähetystä, koska sama signaali lähetettynä useasta antennista lähinnä vaikeuttaa vastaanottoa. Siksipä kahden eri antennin signaalit erotetaan koodauksella, kuten esimerkiksi STC-menetelmässä tehdään. Tämä toki vaatii myös muutoksia vastaanottiin, jotta se osaa erottaa eri koodaukset toisistaan. (3, s. 327.)

Paras suorituskyky saadaan, kun sekä vastaanottimessa ja lähettimessä on useampi antenni (Multiple Input Multiple Output) (kuva 16). Tämä mahdollistaa useamman toisistaan riippumattoman tiedonsiirtokanavan, jolloin esimerkiksi 2x2 MIMO -järjestelmässä tiedonsiirtokapasiteetti teoriassa tuplaantuu. Tällöin signaalit lähetetään samaan aikaan ja samalla taajuudella, mutta täysin eri vastaanotin-lähetinketjuja pitkin. Tiedonsiirtokapasiteetin tuplaantuminen kylläkin vaatii, että kummankin antenniparin signaalit kulkevat eri reittejä. Käytännössä tilanne ei aina ole tämä, vaan silloin kun signaalitiellä ei ole paljoa esteitä, ei monitie-etenemistäkään tapahdu. Tällainen tilanne on vanhemmille yhden antennin järjestelmille ihanteellinen, mutta MIMO-järjestelmä siis hyötyy monitie-etenemisestä.



KUVA 16. MIMO (3, s. 328)

MIMO-järjestelmät eivät kuitenkaan ole yksinkertaisia toteuttaa, koska kuten kuvasta 17 nähdään, kulkeutuu kummankin lähetysantennin signaali kummallekin vastaanottimella. MIMO-vastaanotin joutuukin lyhyin välein estimoimaan jokaisen kanavan vastetta, jotta se pystyy erottamaan, mikä signaali on tullut mitään reittiä. Kun kanavien välillä ei ole enää tarpeeksi eroa, eli kanavat korreloivat keskenään, ei vastaanottoa voida enää tehdä MIMO-moodissa. Lisäksi MIMO-järjestelmät vaativat korkean signaali-kohinasuhteen toimiakseen, eli pitkillä välimatkoilla ei saavuteta hyötyä useasta antennista.



KUVA 17. MIMO-kanavat (6.)

Edellä mainittujen syiden takia, kunnolla toimivia MIMO-järjestelmiä on hankala kehittää, koska ne vaativat toimiakseen oikean ympäristön. SISO-järjestelmiä on voitu kehittää laboratoriossakin varsin hyvin kytkemällä laitteet toisiinsa kaapeleilla ja käyttämällä välissä radiokanava emulaattoria. MIMO-järjestelmissä myös antennit vaikuttavat suuresti järjestelmän tehokkuuteen, eli kaapeleilla tehtävä testaus ei paljasta heikkoja kohtia. Tätä varten on kehitetty VDT-OTA-järjestelmä, koska sillä saadaan tuotua oikea radioympäristö laboratorioon ja suoritettua toistettavia testejä.

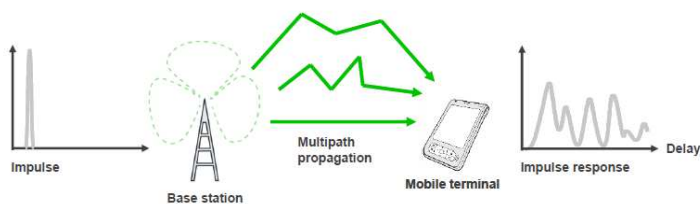
MIMOsta puhuttaessa myös korrelaatio on tärkeä käsite. Yksinkertaistettuna korrelaatio kertoo kuinka riippuvaisia kanavat ovat toisistaan. Jos kanavien korrelaatio on suuri, ovat MIMO-kanavat hyvin samankaltaiset. Pienellä korrelaatiolla taas on päinvastoin. Korrelaation suuruus voidaan esittää kovarianssina, joka on välillä 1 ja -1 . Jos arvo on 1, niin kanavat korreloivat täysin, ja arvolla -1 kanavat eivät korreloi ollenkaan. (5, s. 11.)

4 RADIOKANAVAN MALLINNUS

Ennen radiokanavaemulaattoreita radiotietä käyttäviä laitteita on voitu testata lähinnä kentällä. Tällöin laitteen toiminnasta saadaan varmuus käytännön tilanteessa, mutta jos testauksessa laitteesta löytyykin vikoja, menee niiden selvittely hankalaksi. Tämä siksi, koska oikeaa ympäristöä ei voida mitenkään hallita, ja sen lisäksi, että radiotie muuttuu paikan suhteen, se muuttuu myös ajan suhteen. Tämä johtaa siihen, että aiemmin tehtyä testiä on hyvin hankala toistaa ja varmistaa siten että esimerkiksi vika on poistunut tai suorituskykyä on saatu parannettua. Tätä varten on kehitetty työssä käytetty radiokanavaemulaattori Prosim. Se pyrkii mallintamaan oikeaa radiotietä mahdollisimman todenmukaisesti ja toistettavasti, jotta laitteille voitaisiin tehdä luotettavia testejä laboratorio ympäristössä. VDT-OTA-järjestelmän testejä varten tulee tietää, miten Prosim mallintaa radiotietä.

4.1 Impulssivaste

Edellä käytyjen vaimennusten, Dopplerin ja häiriöiden lisäksi radiokanavasta pitää mallintaa myös sen viiveet. Monitie-etenemisen vuoksi eri reittejä kulkevat signaalit tulevat vastaanottimelle eri aikaan, eli niiden viive on eri. Jotta radiokanavan viiveet saadaan esille, voidaan radiokanavaan lähettää jokin tunnettu impulssi ja katsoa vastaanottimella, miten se muuttuu (kuva 18). Vastaanotettua signaalia sanotaan kanavan impulssivasteeksi ja siitä nähdään millaisilla viiveillä ja voimakkuuksilla signaali saapuu vastaanottimelle. (3, s. 331.)



KUVA 18. Kanavan impulssivaste (3, s. 331)

Vaikka impulssivaste on eri jokaisella ajanhetkellä, on sitä tilastollisen analysoinnin avulla kätevä käyttää kanavamallinnuksessa apuna. Tämä siksi, että siitä saadaan selville esimerkiksi eri reittejä kulkevien signaalien viiveet, amplitudit eli vaimennukset ja Doppler-ilmiön vaikutukset. Näitä eri reittejä kutsutaan yleisesti tapeiksi ja ne voidaan helposti mallintaa digitaalisella suodattimella. Tilastollisella analyysillä voidaan myös selvittää jokaisen reitin eli tapin nopean häipymisen ominaisuudet ja näitä kanavan eri tilastollisia malleja kutsutaan yleisesti nimellä Power Delay Profile (PDP). PropSim-radiokanavaemulaattorissa kanava on mallinnettu aikavarianttina impulssivasteena $h(t, \tau)$ (kaava 2) (3, s. 333).

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^L \beta_i(t) e^{j\phi_i(t)} \delta[\tau - \tau_i(t)] \quad \text{KAAVA 2}$$

t = aika

β = amplitudi

φ = vaihe

i = reitti

τ = viive

Jos impulssivaste tiedetään, voidaan vastaanotettu signaali laskea lähetetyn signaalin ja impulssivasteen konvoluutiona (kaava 3) (3, s. 333).

$$y(t) = x(t) * h(t, \tau) \quad \text{KAAVA 3}$$

$y(t)$ = vastaanotettu signaali

$x(t)$ = lähetetty signaali

$h(t, \tau)$ = impulssivaste

4.2 Kanavamallit

Prosim käyttää kanavamallinnuksessa Tapped Delay Line (TDL) -menetelmää, missä viiveet ovat kiinteät, mutta amplitudit ja vaiheet vaihtelevat tiettyjen tilastollisten mallien mukaan. Nämä mallit ovat yleisesti määriteltyjä standardimalleja, joita käytetään eri testitapausten määrittelyssä, ja ne mallintavat radiokanavan nopeaa häipymistä. (3, s. 333.)

4.2.1 Constant

Constant on kanavamalli, jossa ei ole ollenkaan nopeaa häipymistä tai Doppleria. Kyseessä on siis täysin vakiona pysyvä kanava ja mallia jossa on vain yksi tällainen tappi, voidaan käyttää kalibroinnissa. (3, s. 334.)

4.2.2 Pure Doppler

Pure Doppler -malli eroaa edellisestä siten, että siinä on mukana Doppleria. Nopea häipyminen on edelleen vakio, eli sillä voidaan simuloida Doppler-ilmioita ideaalisessa LOS tilanteessa. Taajuusmuutos lasketaan kaavalla 4. (3, s. 335.)

$$f_d = \frac{v}{c} f_c \cdot \cos \alpha$$

KAAVA 4

v = vastaanottimen nopeus

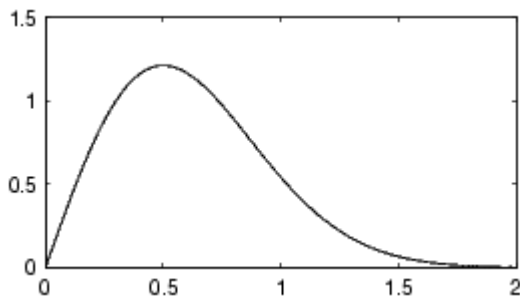
c = valonnopeus

f_c = kantoaallon taajuus

α = on liikkeen ja saapuvan signaalin välinen kulma

4.2.3 Classical

Classical-malli mallintaa tyypillistä häipymistä kaupunkiympäristössä, jossa on paljon heijastavia pintoja ilman suoraa näköyhteyttä lähettimen ja vastaanottimen välillä. Signaalin amplitudi vaihtelee satunnaisesti, mutta kuitenkin niin, että jotkut amplitudin tasot ovat todennäköisempiä kuin toiset. Amplitudien todennäköisyydet noudattavat Rayleigh-jakaumaa. (Kuva 19.)



KUVA 19. Rayleigh-jakauman tiheysfunktio (7.)

Amplitudijakauman lisäksi malli noudattaa myös tiettyä Doppler-hajontaa. Dopplerin tehospektri on kuvassa 20. Suurin mahdollinen Doppler taajuusmuutos f_d näkyy kaavasta 5. (3, s. 337.)

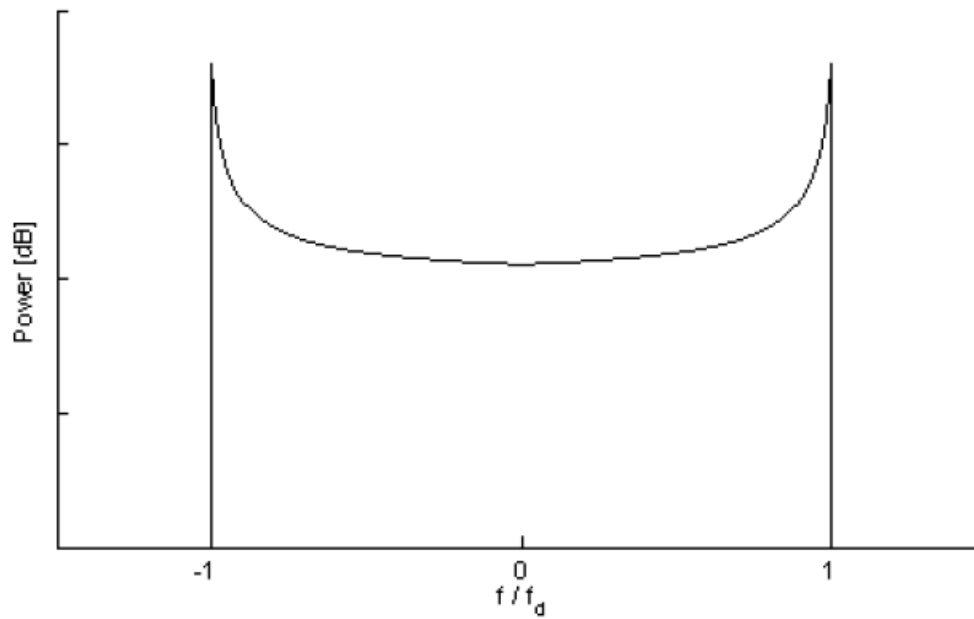
$$f_d = f_c \frac{v}{c}$$

KAAVA 5

v = vastaanottimen nopeus

c = valonnopeus

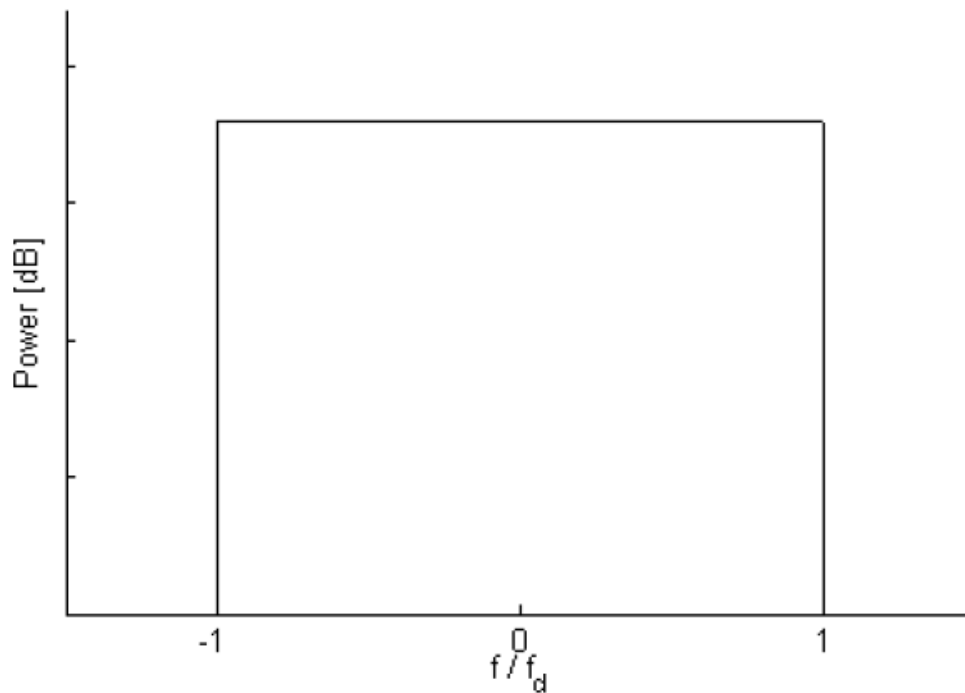
f_c = kantaallon taajuus



KUVA 20. Klassisen mallin Doppler-spektri (3, s. 337)

4.2.4 Flat

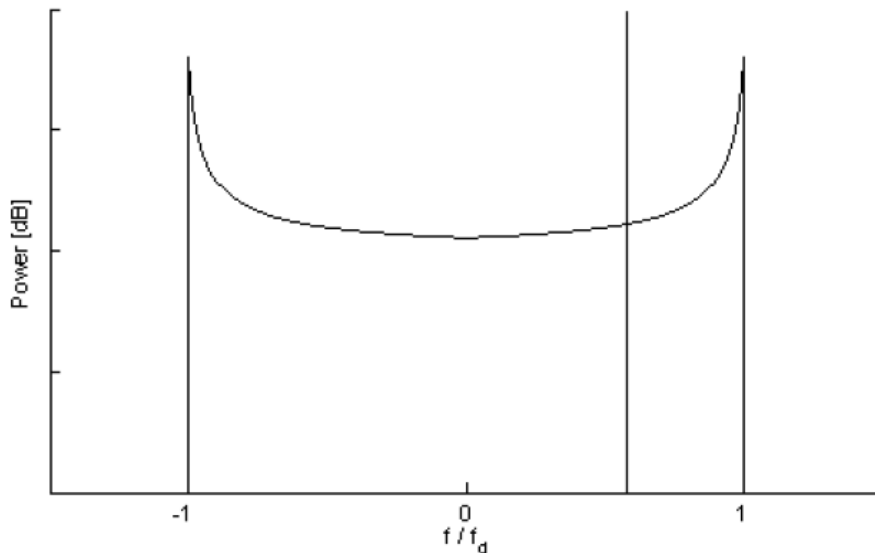
Flat on muuten sama kuin klassinen malli, mutta Doppler-spektrin muoto on tasainen (kuva 21) (3, s 337).



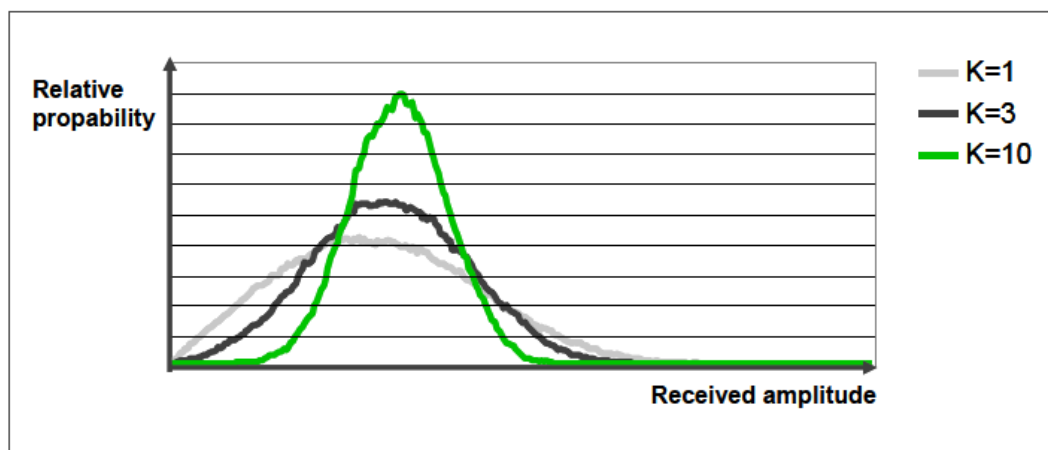
KUVA 21. Tasainen Doppler-spektri (3, s. 338)

4.2.5 Rician

Rician-malli perustuu myös klassiseen malliin, mutta eri reittejä tulevan signaalin lisäksi mukana on myös suoraa näköyhteyttä pitkin tuleva signaalikomponentti. Tämä näkyy Doppler-spektrissä korkeampana piikkinä (kuva 22). Piikin tehon verrattuna monitiekomponentteihin määrää K-factor. Se siis kertoo kuinka voimakas signaali suorasta näköyhteydestä saadaan verrattuna muita reittejä tulleisiin signaaleihin (kuva 23). Lisäksi piikin etäisyyden keskitaajuudesta määrää suoraa näköyhteyttä pitkin tulevan signaalin kulma verrattuna kulusuuntaan. (3, s. 338–339.)



KUVA 22. Rician-mallin Doppler-spektri (3, s. 340)



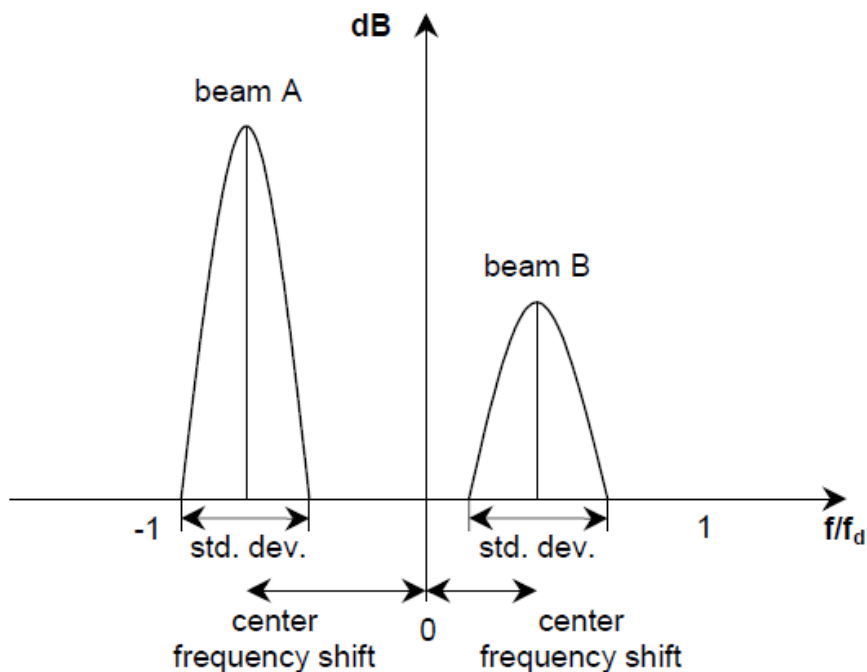
KUVA 23. K-factorin vaikutus tehojakauman tiheysfunktioon (3, s. 339)

4.2.6 Lognormal

Lognormal eroaa muista malleista siitä, että mallintaan nopean häipymisen sijasta hidasta häipymistä. Amplitudijakauman desibeliarvo seuraa normaalijakaumaa. (3, s. 343.)

4.2.7 Gaussian

Gaussian mallintaa tilannetta jossa vastaanottimelle tulee kaksi hyvin kaukaa lähetettyä keilaa (Kuva 25.) (3, s. 343).



KUVA 25. Gaussian mallin Doppler-spektri (3, s. 344)

4.2.8 Suzuki

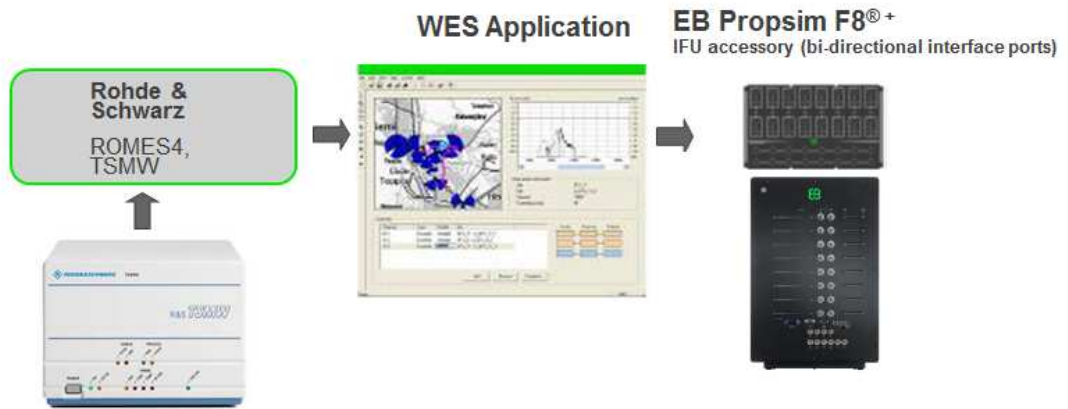
Suzuki-malli on yhdistelmä lognormaalia hidasta häipymistä ja rayleigh-jakauman mukaista nopeaa häipymistä (3, s. 344).

5 VDT- JA OTA-JÄRJESTELMÄT

5.1 VDT-järjestelmä

Aikaisemmin mobiililaitteita testattiin lähinnä eri konformanssitestein. Konformanssitestit muodostuvat standardissa määritellyistä testitapauksista, jotka laitteen on läpäistävä, jotta voidaan todeta laitteen noudattavan standardia. (8.) Ongelmana on kuitenkin ollut se, että vaikka laite läpäisisi nämä testit, ei se välttämättä toimi kunnolla oikeassa ympäristössä. Laitteita täytyy siis testata myös käytännössä kentällä, mutta tämä on monesti kallista ja aikaa vievää. Lisäksi ongelmana on toistettavuus, sillä radiotie muuttuu koko ajan niin paikan kuin ajankin suhteen. Jos siis testattavalla laitteella on ongelma jossain tietyssä tilanteessa, ei sitä samaa tilannetta saada luotettavasti toistettua oikeassa ympäristössä. Tähän ongelmaan on kehitetty avuksi Virtual Drive Testing, jolla voidaan tehdä laboratoriossa virtuaalisia ajoreittejä testattaville laitteille. (9.)

Työssä tähän käytetään WES-sovellusta, joka pyörittää virtuaalista ajoreittiä Prosim-radiokanavaemulaattorilla. Virtuaalisia ajoreittejä eli emulaatioita voi tehdä sovelluksella käsin, mutta todenmukaisempia emulaatioita varten voidaan tehdä radiokanavaskannerilla mittauksia oikeassa ympäristössä ja tehdä emulaatio mittausten pohjalta. Työssä mittausten tekemiseen käytetään Rohde & Schwarz:n valmistamaa TSMW-skanneria, jonka mittaukset voidaan tuoda WES-sovellukseen. Mittaukset sitten konvertoidaan emulaatioksi, joka voidaan ajaa Prosim-radiokanavaemulaattorissa. (Kuva 26.) (9.)

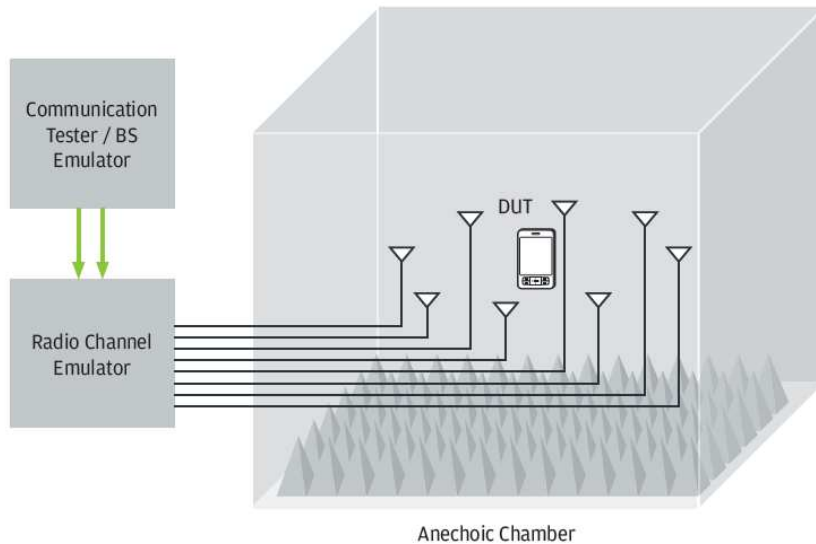


KUVA 26. VDT-järjestelmän toiminta (10.)

5.2 OTA-järjestelmä

Konformanssi- ja Virtual Drive -testejä voidaan suorittaa perinteisesti konduktiivisesti, eli lähetin, emulaattori ja vastaanotin kytketään toisiinsa kaapeleilla. Tämä tapa toimii SISO-järjestelmissä varsin hyvin, mutta antennien vaikutusta signaalin kulkuun ei tällä tavalla voida todeta. Jotta antennienkin vaikutus saadaan mukaan testaukseen, on kehitetty erityisiä OTA-kammioita. Näissä testattava laite asetetaan kammion keskelle ja se ympäröidään usealla antennilla. (Kuva 27.) Kun kammio on kaiuton ja ympäröivät antennit sijoitetaan lähikentän ulkopuolelle, saadaan testattua myös laitteen antennien suorituskyky käytännössä. (11.)

Varsinkin MIMO-järjestelmissä OTA-testauksesta on suurta hyötyä, koska niissä antennit näyttelevät suurta osaa laitteiden käytännön suorituskyvyn kannalta. Laite kun saattaa pärjätä hyvin konduktiivisissa testeissä, jossa antennien näkemät signaalireitit tehdään keinotekoisesti. Käytännössä laite voi kuitenkin toimia huonosti, koska antennien vastaanottamat signaalit eivät eroa toisistaan riittävästi. (11.)



KUVA 27. OTA systeemi (11.)

Tässä työssä käytössä on kammio johon on asennettu tasaiseen rinkiin kahdeksan V- ja H-polarisoitua antennia. Jokaisessa antennissa on siis sekä vaaka- että pystysuuntaan säteilevä antennielementti. Jokainen antennielementti on kytketty Prosim kanavaemulaattoriin omalla kaapelilla, jolloin käytössä on 16 itsenäistä antennielementtiä. Tällöin myös polarisoinnin vaikutus on mukana testauksessa. Prosim on sitten kytketty kahdella kaapelilla (MIMO) kommunikaatiotesteriin. Myös oikeaa tukiasemaa on mahdollista käyttää ja soluja voidaan luoda kaksi kappaletta, jolloin solun vaihdon testaus onnistuu.

Kun OTA-kammioon yhdistetään VDT-ohjelmistot, saadaan aikaiseksi VDT-OTA-järjestelmä, jolla voidaan tehdä virtuaalisia ajeluita ilmarajapinnan ylitse. Testattavaa päätelaitetta voidaan siis testata hyvin todellisuutta vastaavissa olosuhteissa, vaikka testaus tapahtuu laboratorio olosuhteissa.

Käytännössä VDT:n lisääminen OTA-järjestelmään tapahtuu asentamalla WES-sovellus Prosimiin ja ajamalla virtuaalisia ajeluita sillä. OTA-toiminnot vaativat kuitenkin WES-sovellukselta kykyä luoda emulaatioita 16 antennille OTA-kammioon. Jotta emulaation luonti onnistuu, pitää WES:n tietää miten kammion johdotukset, antennit ja vahvistimet vaikuttavat signaaliin. Tätä varten on olemassa kalibrointitiedostoja, joita WES:n on osattava käyttää.

Lisäksi nykyinen versio käyttää vain yhdellä skannerilla mitattua dataa emulaatioiden luonnissa. Tämän vuoksi käyttäjän on valittava sopiva säteilykuvio joka määrää millä teholla signaali saapuu laitteelle mistäkin suunnasta. Tätä kutsutaan yleisesti nimellä Power Angular Spectrum (PAS). Perus vaihtoehto on uniform, eli tällöin jokainen antenni säteilee samalla teholla. Vaihtoehtoista löytyy lisäksi 3GPP:n määrittämistä löytyvästä SCME Urban micro cell- ja macro cell -kanavamalleista laskettu PAS sekä 15 ja 35 asteen kulmilla olevat single cluster PAS. (12, s. 16, 32)

6 LAITTEET JA OHJELMISTOT

Työssä testien suoritukseen käytettiin monia eri laitteita, osaa signaalin luontiin ja osaa mittauksiin. Myös muutamia ohjelmistoja tarvittiin, jotta testit saatiin suoritettua.

Laitteet:

- Anite Prosim FS8 ja F32 -radiokanavaemulaattorit
- Rohde & Schwarz TSMW -radioskanneri
- Rohde & Schwarz SMA 100 -signaaligeneraattori
- Rohde & Schwarz FSVR -spektrianalysointilaite
- Anite 9000 -kommunikaatiotesteri
- Satimo V- ja H-polarisoidut antennit
- OTA-kammio varusteineen (antennit, kaapelit ja vahvistimet)
- Huawei E398 LTE -mökkula

Ohjelmistot:

- Wireless Environment System (WES)
- Rohde & Schwarz ROMES 4
- MatLab
- Microsoft Excel

7 TESTAUSSUUNNITELMA

VDT-OTA-testejä varten tehtiin testaussuunnitelma, jotta kaikki ominaisuudet tulisi testattua. Suunnitelman rungosta vastasi Pekka Kyösti, ja rungon pohjalta testejä muokattiin sopimaan paremmin käytännön testaukseen.

7.1 Funktionaaliset testit

Testien tarkoituksena on testata WES-sovelluksen toiminta VDT-OTA-käytössä. Testeissä käytetään TSMW:llä tehtyjä mittauksia, mutta mitattavat mallit ovat Prosimilla tehtyjä. Testeissä 1–3 käytetään jokaisessa erilaista tehtyä kanavamallia ja testejä 4 ja 5 varten voidaan käyttää samaa kanavamallia. Mittaukset tehdään LTE-teknologialla ja lähetteen luomiseen käytetään radiokommunikaatiotesteriä tai vastaavaa. Lähetysmoodi on 2-antenninen MIMO, emulaatiot Prosimilla 2x2 MIMO -emulaatiota ja TSMW nauhoittaa mittaukset MIMO-moodissa.

Jokaisessa testissä on kolme vaihetta. Ensimmäisessä tarkastellaan WES:n luomia tiedostoja esimerkiksi MatLab-sovelluksella, jotta itse emulaatioiden voidaan todeta olevan halutunlaisia. Toisessa vaiheessa emulaatioita toistetaan Prosimilla ja niitä mitataan kaapeleilla suoraan ulostuloista. Kolmannessa vaiheessa mittaukset suoritetaan kammiossa koko OTA-järjestelmän kanssa.

7.1.1 Kokonaisteho

Tarkoituksena on testata, että järjestelmä pystyy tarpeeksi suureen signaalitason vaihteluväliin ja että ulostuleva teho on oikealla tasolla.

Tätä varten tehdään kanavamalli jossa ulostulon taso laskee lineaarisesti 0 dB:n tasosta –80 dB:n tasoon. Lisäksi sinimuotoisella käyrällä on sama 80 dB:n vaihteluväli. Mallin tappien viiveet ovat 0, 100, 220, 320, 440 ja 540 ns

ja tappien amplitudit 0, -3, -6, -9, -12 ja -15 dB. Kaikissa tapeissa on klassinen häipyä. Kanavamallit nauhoitetaan TSMW:llä ja mittauksen pohjalta tehdään WES emulaatiot.

1. Luetaan signaalin taso WES:n generoimista ICS-tiedostoista ja verrataan tuloksia alkuperäiseen mittaukseen.
2. Syötetään Propsimin sisääntuloon LTE-signaalia, yhdistetään ulostulot ja mitataan ulostuleva teho TSMW:llä, minkä jälkeen tuloksia verrataan alkuperäiseen mittaukseen.
3. Syötetään Propsimin sisääntuloon LTE-signaalia, yhdistetään Prosim OTA-kammion järjestelmään ja mitataan ulostuleva taso kammiossa TSMW:llä ja sopivalla antennilla. Tuloksia verrataan alkuperäiseen mittaukseen.

7.1.2 Power Delay Profile (PDP)

Tarkoituksena on testata, että emulaation tappien viiveet ja amplitudit tulevat oikein.

Testausta varten tehdään kaksi eri mittausta, joissa kummassakin on tiedetty PDP (tapit ja niiden viiveet sekä amplitudit). Toisessa mittauksessa PDP on sama koko ajan ja toisessa PDP vaihtuu.

Staattinen testaus

Tehdään mitattava kanavamalli samalla staattisella PDP:llä. Tappien viiveet ovat 0, 440, 1000, 1440, 2000 ja 2440 ns ja amplitudit 0, -3, -6, -9, -12 ja -15 dB. Kaikissa tapeissa on klassinen häipyä. Kanavamalli nauhoitetaan TSMW:llä ja mittauksen pohjalta tehdään WES-emulaatio.

1. Luetaan tappien amplitudit ja viiveet WES:n generoimista ICS-tiedostoista ja lasketaan näistä keskiarvo koko emulaatiolle. Keskiarvoja verrataan tämän jälkeen alkuperäisiin arvoihin.

2. Yhdistetään Propsimin ulostulot ja mitataan ulostulevan signaalin viiveitä spektrianalysaattorilla. Propsimiin sisääntuleva signaali on pulssimoduloitua siniaaltoa, jolloin spektrianalysaattorilla voidaan mitata ulostulevat viiveet ja amplitudit. Tulokset keskiarvoistetaan ja niitä verrataan alkuperäiseen malliin.
3. Sama kuin edellinen kohta, mutta Propsim on yhdistetty OTA-kammion järjestelmään. Spektrianalysaattorissa käytetään sopivaa antennia, jotta viiveet ja amplitudit voidaan mitata sillä.

Dynaaminen testaus

Tehdään kanavamalli muuttuvalla PDP:llä. Sama PDP on mallissa aina 20 sekunnin ajan, jotta tulosta voidaan keskiarvoistaa tarpeeksi. Kaikissa tapauksissa on klassinen häipymä ja käytössä olevat amplitudit ovat 0, -3, -6, -9, -12 ja -15 dB. Viiveet ovat seuraavat:

Kohta 1: 0, 100, 220, 320, 440, 540

Kohta 2: 0, 220, 440, 660, 880, 1000

Kohta 3: 0, 440, 880, 1340, 1780, 2220

Kohta 4: 0, 880, 1780, 2660, 3540, 4440

Kanavamalli nauhoitetaan TSMW:llä ja mittauksen pohjalta tehdään WES-emulaatio.

1. Luetaan tappien amplitudit ja viiveet WES:n generoimista ICS-tiedostoista ja lasketaan näistä keskiarvo jokaiselle 20 sekunnin pätkälle. Keskiarvoja verrataan tämän jälkeen alkuperäisiin arvoihin.
2. Yhdistetään Propsimin ulostulot ja mitataan ulostulevan signaalin viiveitä spektrianalysaattorilla. Propsimiin sisääntuleva signaali on pulssimoduloitua siniaaltoa, jolloin spektrianalysaattorilla voidaan

mitata ulostulevat viiveet ja niiden amplitudit. Tulokset keskiarvoistetaan jokaiselle 20 sekunnin pätkälle ja niitä verrataan alkuperäiseen malliin.

3. Sama kuin edellinen kohta, mutta Prosim on yhdistetty OTA-kammion järjestelmään. Spektrianalysaattorissa käytetään sopivaa antennia, jotta viiveet ja amplitudit voidaan mitata sillä.

7.1.3 Line Of Sight (LOS)

Tarkoituksena testata, että signaali tulee oikein kun vastaanottimen ja lähttimen välillä on näköyhteys.

Testiä varten tehdään kaksi mittausta, joissa kummassakin on LOS-malli. Toisessa K-factor pysyy samana koko mittauksen ajan ja toisessa K-factor muuttuu mittauksen aikana. LOS-signaalin tulokulma kulkusuuntaan nähden on 0.

Staattinen testaus

Kaksi asiaa, jotka täytyy testata:

- a. Tarkistetaan että LOS-signaali löytyy oikeista antenneista
- b. Tarkistetaan että tehojakauma on oikein LOS-piikin ja muun tehon välillä (K-factor) on oikein.

Aluksi tehdään kanavamalli tiedetyllä PDP:llä. Ensimmäinen tappi on Rician-amplitudijakaumalla ja siinä K-factor on +15 dB. Muut viisi tappia ovat klassisella amplitudijakaumalla. Viiveet ovat 0, 100, 220, 320, 440 ja 540 ns ja amplitudit: 0, -13, -14, -15, -16 ja -17 dB. Kanavamalli nauhoitetaan TSMW:llä ja mittauksen pohjalta tehdään WES-emulaatio.

A)

1. Tarkistetaan WES:n generoimista ICS-tiedostoista että Rician-amplitudijakauma löytyy oikeista ulostuloista.

2. Yhdistetään Propsimin ulostulot vuorotellen spektrianalysointiin ja tarkistetaan että rice-piikki on olemassa vain oikeissa ulostuloissa. Propsimiin sisääntuleva signaali on moduloimatonta kantaaltoa.
3. Kytetään kammiossa vain yksi antenni kerrallaan kiinni ulostuloon ja tarkistetaan spektrianalysointiin kytketyn antennin avulla että rice-piikki löytyy vain oikeista ulostuloista. Propsimiin sisääntuleva signaali on moduloimatonta kantaaltoa.

B)

1. Tarkistetaan WES:n generoimista ICS-tiedostoista että K-factor on oikein laskettu.
2. Yhdistetään kaikki Propsimin ulostulot spektrianalysointiin ja tarkistetaan että rice-piikki (K-factor) on oikeantehoinen verrattuna muuhun sironneeseen tehoon nähden. Lisäksi tarkastetaan että amplitudijakauma on oikean muotoinen ja rice-piikki sijaitsee suurimman Doppler-siirtymän taajuudella. Propsimiin sisääntuleva signaali on moduloimatonta kantaaltoa.
3. Sama kuin edellinen kohta, mutta Propsim on yhdistetty OTA-kammion järjestelmään. Spektrianalysointissa käytetään sopivaa antennia ja rice-piikki (K-factor) on oikeantehoinen verrattuna muuhun sironneeseen tehoon nähden.

Dynaaminen testaus

Tehdään kanavamalli tiedetyllä PDP:llä. Ensimmäinen tappi on rician amplitudijakaumalla ja muut viisi tappia ovat klassisella amplitudijakaumalla. Mallissa on kolme 20 sekunnin pätkää, joissa jokaisessa on eri K-factor.

Kohta 1: K factor +15 dB, Viiveet: 0, 100, 220, 320, 440 ja 540 ns.
Amplitudit: 0, -13, -14, -15, -16 ja -17 dB.

Kohta 2: K factor +7 dB, Viiveet: 0, 100, 220, 320, 440 ja 540 ns. Amplitudit: 0, -9, -11, -13, -15 ja -17 dB.

Kohta 3: K factor +0 dB, Viiveet: 0, 100, 220, 320, 440 ja 540 ns. Amplitudit: 0, -3, -6, -9, -12 ja -15 dB.

Kanavamalli nauhoitetaan TSMW:llä ja mittauksen pohjalta tehdään WES-emulaatio.

1. Tarkistetaan WES:n generoimista ICS-tiedostoista että K-factor on oikein laskettu jokaiselle 20 sekunnin pätkälle.
2. Yhdistetään kaikki Prosimin ulostulot spektrianalysaattoriin ja tarkistetaan että rice-piikki (K-factor) on oikeantehoinen verrattuna muuhun sironneeseen tehoon nähden jokaisella pätkällä. Lisäksi tarkastetaan että amplitudijakauma on oikean muotoinen ja rice-piikki sijaitsee suurimman Doppler-siirtymän taajuudella. Prosimiin sisääntuleva signaali on moduloimatonta kantoaaltoa.
3. Sama kuin edellinen kohta, mutta Prosim on yhdistetty OTA-kammion järjestelmään. Spektrianalysaattorissa käytetään sopivaa antennia ja rice piikki (K-factor) on oikeantehoinen verrattuna muuhun sironneeseen tehoon nähden jokaisella pätkällä.

7.1.4 Power Angular Spectrum (PAS)

Tarkoituksena on testata että PAS tulee oikein.

Tehdään kanavamalli jossa on sama PDP koko mittauksen ajan. Mallin tappien viiveet ovat 0, 100, 220, 320, 440 ja 540 ns ja tappien amplitudit 0, -3, -6, -9, -12 ja -15 dB. Kanavamalli nauhoitetaan TSMW:llä ja mittauksen pohjalta tehdään viisi WES-emulaatiota. Jokaisessa on muuten samat asetukset, mutta PAS on jokaisessa eri.

1. Luetaan signaalin taso jokaisesta WES:n generoimasta ICS-tiedostosta. Jokaisella antenniparilla (V ja H) pitäisi olla sama signaalitaso, mutta antenniparien väliset tehotasot vaihtelevat seuraavasti:
 - a. Uniform: 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 dB
 - b. SCME Urban Macro: -2,0 4,9 2,5 0,7 -1,5 -11,7 -5,0 -6,0 dB
 - c. SCME Urban Micro: 5,5 -1,8 -4,7 -0,9 -3,4 -7,5 -9,2 2,8 dB
 - d. Single Cluster 15°: 8,3 -2,6 -Inf -15,2 -Inf -19,6 -Inf -2,0 dB
 - e. Single Cluster 35°: 6,7 1,4 -6,5 -11,9 -Inf -8,9 -11,4 1,5 dB

2. Syötetään Prosimiin sisääntuloon moduloimatonta kantaaltoa, yhdistetään jokaisen antenniparin ulostulo spektrianalysaattoriin ja mitataan tehotasot. Tasot pitäisi mennä kuten edellisessä kohdassa.

3. Syötetään Prosimiin sisääntuloon moduloimatonta kantaaltoa, yhdistetään Prosim OTA-kammion järjestelmään ja mitataan spektrianalysaattorilla ja sopivalla antennilla tehotasoa kammion keskellä. Jokainen antennipari käytetään päällä vuorotellen, jotta antennien väliset tehotasot saadaan selville. Tasot pitäisi mennä kuten edellisessä kohdassa.

7.1.5 Polarisoinnin tehosuhte

Tarkoituksena on testata, että pysty- ja vaakasuuntaisten (V ja H) antennien tehosuhte lasketaan oikein.

Tehdään kaksi emulaatiota testin 4 mitatulla mallilla ja valitaan toiseen V/H suhteeksi 5 dB ja toiseen 10 dB.

1. Tarkistetaan WES:n generoimista ICS-tiedostoista että signaalitasojen suhde on oikein V- ja H-antennien välillä.
2. Yhdistetään propsimin V-antennien ulostulot spektrianalysointiin ja mitataan ulostuleva teho. Tämän jälkeen tehdään sama mittaus H-antennien ulostuloille ja tarkistetaan että tehojen suhde on oikein. Propsimiin sisääntuleva signaali on moduloimatonta kantaaltoa.
3. Mitataan kammiossa teho ensin V-polarisoidulla antennilla spektrianalysointin avulla ja tämän jälkeen mitataan vielä teho H-polarisoidulla antennilla. Tämän jälkeen tarkistetaan että tehojen suhde on oikein. Propsimiin sisääntuleva signaali on moduloimatonta kantaaltoa.

7.2 Integrointitestit

Testien tarkoituksena on todeta että koko systeemi alusta loppuun toimii oikealla lailla. Testeissä ei käytetä tehtyjä malleja, vaan nauhoitukset emulaatiota varten tehdään kentällä. Nauhoitukset tämän jälkeen siirretään WES-sovellukseen ja valmiita emulaatioita toistetaan kammiossa. Kammiossa mittaukset suoritetaan tarpeen mukaan sekä TSMW:llä että oikealla päätelaitteella. Mittaukset tehdään LTE-teknologialla ja niissä seurataan Reference Signal Received Power (RSRP) -tasoa kentällä ja kammiossa. Mittaus kammiossa suoritetaan useita kertoja, jotta voidaan todeta eri testikertojen olevan toistettavia. Myös useampia kenttämittauksia käytetään.

8 TESTIEN SUORITUS

8.1 Mittausten nauhoitus

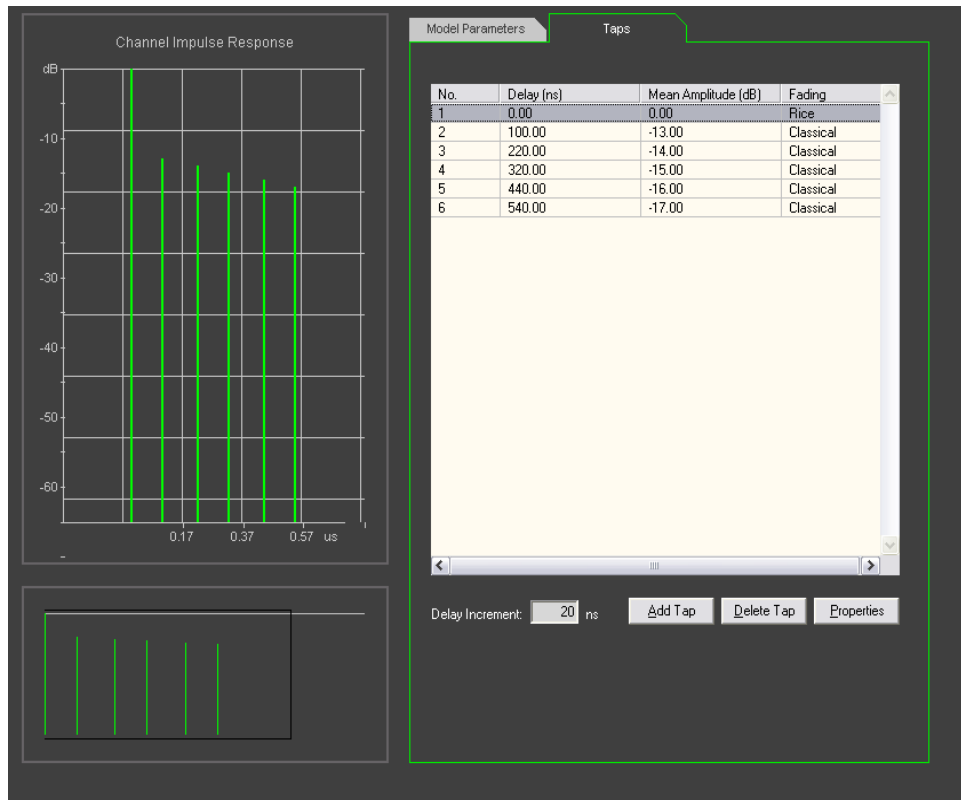
8.1.1 Funktionaaliset testit

VDT-OTA-testauksen aloittamiseksi tarvittiin muutama eri keinotekoinen mittadata, joissa mitattu kanavamalli tiedetään. Nämä tarvittavat kanavamallit on määritelty tarkemmin testispeksissä. Jotta mittauksien kanavamallit saadaan halutunlaisiksi, luotiin ne Prosim radiokanavaemulaattorin ohjelmistolla. Kun tarvittavat kanavamallit oli saatu tehtyä, kytkettiin Prosimin sisääntuloon Anite 9000 -kommunikaatiotesteri ja ulostuloon R&S TSMW -radiokanavaskanneri. (Kuva 28.) Anite 9000:lla luotiin yhden solun tukiasema, jonka lähettämää signaalia nauhoitetaan TSMW:llä ja Prosim loi sitten tälle signaalille halutun radiokanavan. Näin saatiin mittausdataa, joka vastaa oikeaa käytännön mittausta kentällä, mutta radiotien ominaisuudet ovat tiedossa.



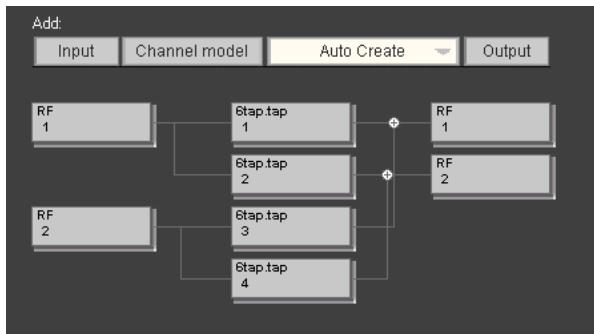
KUVA 28. Keinotekkoisten mittausten nauhoitus

Emulaatioiden luonti Prosimilla aloitettiin kanavamallin määrittämisellä. Kanavamalliin määritettiin tappien lukumäärä, viiveet, amplitudit ja amplitudijakaumat. Lisäksi amplitudijakauman perusteella on tappeille määritettävä monia eri ominaisuuksia, kuten rice-tapille K-factor ja LOS-signaalin tulokulma kulkusuuntaan nähden. Kuvassa 29 näkyy käytettävä kanavamalli LOS-testiin.



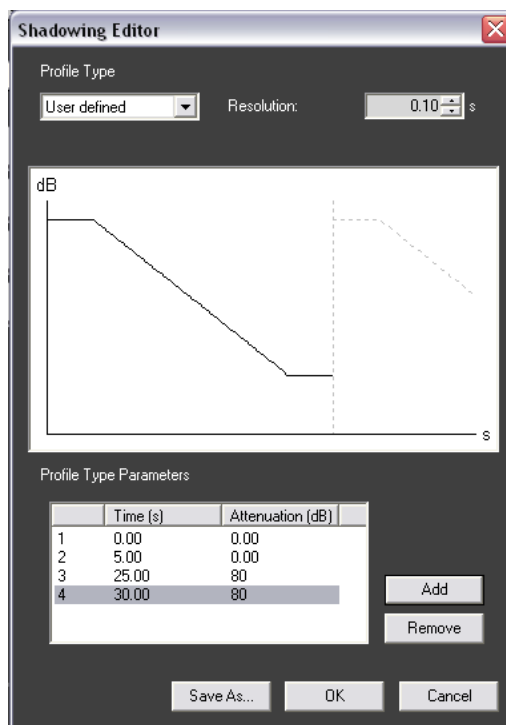
KUVA 29. Kanavamalli LOS-testiin

Kanavamallin luonnin jälkeen määritettiin emulaation topologia. Kaikissa malleissa käytettiin samanlaista 2x2 MIMO -topologiaa, jossa on siis neljä loogista kanavaa. Näihin kanaviin sitten määritettiin aikaisemmin tehdyt kanavamallit. (Kuva 30.) Emulaatiossa mobiililaitteen nopeudeksi määritettiin 100 km/h, jotta Doppler-hajontaa saatiin tarpeeksi. Jos nopeus olisi lähellä nollaa, ei nopeaa häipymistä juuri olisi ja K-factor menee hankalaksi mitata.



KUVA 30. 2x2 MIMO -emulaatio

Ainoastaan kokonaistehon testissä lisättiin kumpaankin ulostuloon shadowing-profiili, jolla ulostulon taso saatiin vaihtelevaan halutulla tasolla. (Kuva 31.)



KUVA 31. Lineaarinen shadowing-profiili

Emulaation määrittämisen jälkeen se voitiin kääntää, toistaa Prosimilla ja nauhoittaa TSMW:llä ja ROMES4-ohjelmistolla. Nauhoituksia varten ROMES-sovellukseen määritettiin simuloitu GPS, jossa nopeus on 100 km/h. Tämä siksi, koska TSMW ei osaa mitata Doppler-hajonnan leveyttä saapuvasta signaalista ja täten WES:n on käytettävä GPS:ltä saatua

nopeutta Doppler-hajonnan laskemiseen. Nopeus on sama kuin Propsimilla tehdyissä keinotekoisissa malleissa, jotta voidaan nähdä onko Doppler-hajonta sama kuin alkuperäisessä mallissa. Ainoastaan staattisessa PDP-mittauksessa käytettiin simuloitua GPS-signaalia, jotta emulaatio vastaisi mahdollisimman tarkasti paikallaan olevaa mobiililaitetta. Staattisessa LOS-testissä pitäisi mobiililaitteen periaatteessa olla paikoillaan, mutta tällöin K-factorin mittaus menee mahdottomaksi. Tämän vuoksi siinäkin käytettiin 100 km/h:n nopeutta.

8.1.2 Integrointitestit

Integrointitestejä varten tarvittiin nauhoituksia kentällä. Nämä nauhoitukset tehtiin samalla TSMW:llä ja ROMES4-ohjelmistolla kuin edellisessäkin luvussa. Erona on se että laitteet sijoitettiin autoon ja TSMW:n portteihin kytkettiin Propsimin sijasta Soneran LTE-verkon taajuuksille sopivat V- ja H-antennit. Lisäksi ROMES4-ohjelmistoon liitetään Huaweiin moka, jotta saatiin mittaukseen mukaan päätelaitteen mittadata. (Kuva 32.)



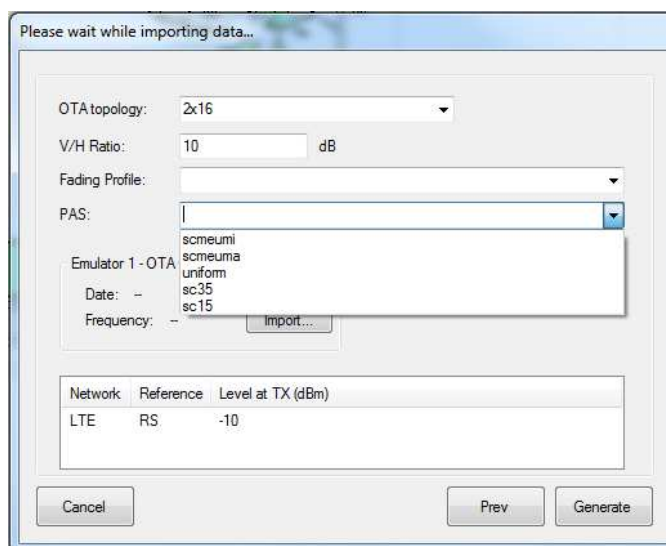
KUVA 32. Mittausjärjestelmä kenttämittauksia varten

Tehtäviä testejä varten riitti muutama mittaus, koska ROMES osaa nauhoittaa sekä päätelaitteelta ja TSMW:ltä yhtä aikaa. Yksikin mittaus riitti toistotestien mittaukseen, mutta usealla mittauksella varmistettiin että sama toistettavuus saadaan muillakin mittadatoilla.

8.2 Testit laboratoriossa

Funktionaalisten testien ensimmäisen ja toisen vaiheen suoritus tapahtui laboratoriossa, koska niitä varten ei tarvittu kammiota ollenkaan, vaan muutamia testilaitteita ja kaapeleita Prosimin lisäksi. Funktionaalisten testien kolmas vaihe ja integrointitestien suoritus tapahtui vasta kammiossa.

Testejä 1–3 varten tarvitsi vain ladata oikeat mittaukset WES-sovellukseen ja tehdä MIMO-OTA-emulaatio perusasetuksilla. Testejä 4 ja 5 varten täytyi vain muokata hieman WES:n asetuksia, koska itse mittaus on sama. V/H -suhde ja PAS ovat siis käyttäjän määritettäviä asetuksia, jotka riippuvat käytettävästä laitteistosta. (Kuva 33.) Tarvittavaa tietoa ei siis saada selville mittausdatasta.



KUVA 33. WES:n asetukset VDT-OTA-emulaatiolle

Kun mittaus oli ladattu WES:ään ja tarvittavat asetukset tehty, voitiin emulaatio kääntää ja testaus aloittaa. Ensimmäisessä vaiheessa riitti, että tarkastellaan WES:n luomia ICS-tiedostoja. ICS-tiedostot ovat eräänlaisia ohjetiedostoja Prosimin omalle käyttöliittymälle, joiden pohjalta se osaa tehdä oikeanlaisen emulaation. Jos nämä ICS-tiedostot ovat siis oikeanlaisia, pitäisi itse emulaationkin olla oikein.

8.2.1 Vaihe 1

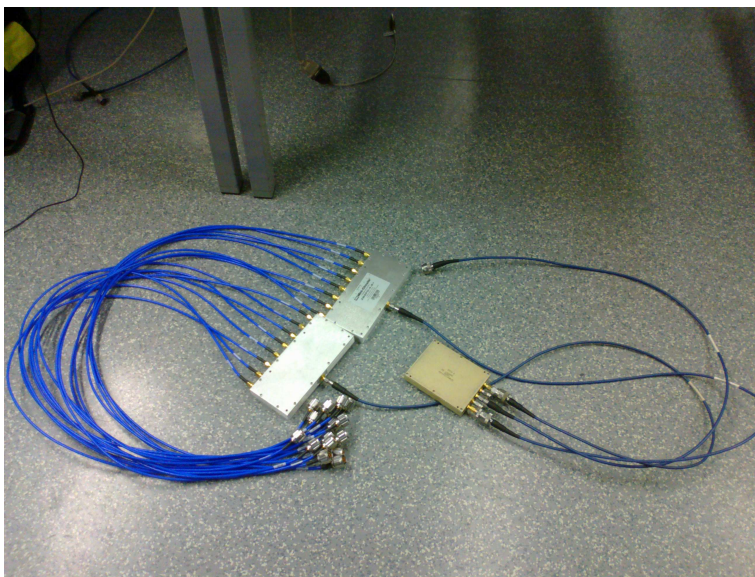
Vaiheen yksi ICS-tiedostojen tarkastelu tapahtui MatLabin ja Excelin avulla sen mukaan kummalla tarvittavat laskut oli helpompi tehdä. Testejä 1, 4 ja 5 varten riitti, että tarkasteltiin eri kanaville määrättyjä tehotasoja. Testiä 1 varten tarkasteltiin jokaisen kanavan tehotasoa tietyllä ajanhetkellä ja näistä voitiin sitten piirtää tehokäyrä emulaation ajalle. Tätä käyrää verrattiin sitten alkuperäiseen mittaukseen ja varmistettiin että ne täsmäsivät. Testissä 4 taas laskettiin keskiarvo jokaisen antenniparin tehosta koko mittauksen ajalta, ja näistä sitten saatiin selville antennien väliset tehosuhteet. Testissä 5 oli sama juttu, mutta verrattiin kaikkien V- ja H-antennien tehojen keskiarvoa koko mittauksen ajalta.

Testissä 2 tarkasteltiin sitten tappien viiveitä ja amplitudeja ICS-tiedostoista. Staattisessa PDP:ssä riitti, että laskettiin jokaisen tapin viiveistä ja amplitudeista keskiarvo koko emulaation ajalle. Saatuja arvoja verrattiin alkuperäiseen Prosimilla generoituun malliin, että ne vastasivat toisiaan. Dynaamisessa PDP:ssä tehtiin sama laskenta, mutta ei koko emulaation ajalle, vaan jokaiselle 20 sekunnin pätkälle erikseen.

Testissä 3 tarkastettiin että vain ensimmäisellä antenniparilla on ensimmäisenä tappina rice ja muut tapit olivat klassista häipymistä. Myös kaikissa muissa antenneissa piti olla vain klassisen häipymisen tappeja. Tämän lisäksi ICS-tiedostoista tarkasteltiin mikä K-factor kullakin ajanhetkellä on ja verrattiin sitä alkuperäiseen generoituun malliin.

8.2.2 Vaihe 2

Vaiheen 2 mittaukset suoritettiin ilman OTA-kammiota sopivien splittereiden ja kaapelien avulla. (Kuva 34.) Käytössä oli Anite 9000:n ja TSMW:n lisäksi R&S SMA 100 -signaaligeneraattori ja R&S FSVR -spektrianalysaattori. Signaaligeneraattorin ja spektrianalysaattorin avulla saatiin mitattua signaalitasot tarkemmin, kuin pelkällä TSMW:llä. Lisäksi niiden avulla sai mitattua myös PDP:n.



KUVA 34. Splitterit ja kaapelit Propsimin ulostulojen yhdistämiseen

Ensimmäisessä testissä syötettiin Anite 9000:lla LTE-signaalia Propsimin sisääntuloihin ja kaikki ulostulot yhdistetään TSMW:n sisääntuloon. Näin saatiin mitattua ulostuleva tehotaso koko mittauksen ajalta ja tulosta voitiin verrata alkuperäiseen mittaukseen. Mittausta ei suoritettu spektrianalysaattorilla muuttuvan signaalitason vuoksi.

Testissä 2 syötettiin kumpaankin Propsimin sisääntuloon pulssimuotoista sinisignaalia R&S SMA -100 signaaligeneraattorilla. Kaikki ulostulot yhdistettiin ja signaalia tarkasteltiin R&S FSVR -spektrianalysaattorilla. Pulseina käytettiin 80 nanosekunnin mittaisia pulsseja jotta 100 nanosekunnin välein tulevat signaalit pystyi vielä erottamaan spektrianalysaattorilla. Spektrianalysaattorissa käytettiin 0 Hz leveää kaistaa

ja 5 mikrosekunnin pyyhkäisyä. Näin saatiin aikaan kuva aikatasossa taajuustason sijaan. Liipaisin asetettiin tämän jälkeen hieman kohinatason yläpuolelle, jotta kuvaan saatiin näkyville tapit eli eri viivästyneet signaalikomponentit. Tarpeeksi suuren keskiarvoistuksen jälkeen tappien viiveet ja amplitudit voitiin mitata ja verrata alkuperäisiin arvoihin. Mittaustapa toi kuitenkin hieman virhettä mukaan, joten myös alkuperäisen Prosimilla generoidun mallin tapit mitattiin ja tuloksia verrattiin myös niihin.

Kolmannessa testissä kytkennät pysyivät samana, mutta syötettävä sinisignaali oli moduloimatonta kantaaltoa. Kun spektrianalysaattorissa kaista vaihdettiin 1 kHz:n levyiseksi, voitiin sillä mitata Doppler-hajontaa. Mittauksen aikana käytettiin tarpeeksi suurta keskiarvoistusta ja saatua Doppler-spektriä verrattiin alkuperäiseen mittaukseen. Spektristä nähtiin LOS-piikin suhde Doppler-hajontaan, LOS-piikin taajuus ja Doppler-hajonnan leveys. Spektristä oli hankala laskea K-factoria, joten sitä verrataan alkuperäisen Prosimilla generoidun mallin spektriin. Lisäksi Prosimista kytkettiin pois päältä kaikki ulostulot ja käytettiin jokaista ulostuloa vuorotellen päällä. Näin nähtiin, että LOS-piikki on näkyvillä vain oikeissa ulostuloissa.

Testissä 4 ei käytetty splittereitä ollenkaan, vaan pelkästään yhtä ja samaa kaapelia Prosimin ulostulon ja spektrianalysaattorin välillä. Prosimin sisääntuloon syötettävä signaali oli moduloimatonta kantaaltoa. Spektrianalysaattori yhdistettiin jokaiseen ulostuloon vuorotellen ja mitattiin ulostuleva teho. Näin saatiin eliminointua splittereistä tuleva virhe eri ulostulojen välillä. Tulokset kirjattiin Exceliin ja laskettiin että tehojen suhteet antennien välillä ovat oikein eri PAS:llä.

Viimeisessä eli viidennessä testissä yhdistettiin kaikkien V-polarisaation antennien ulostulot yhteen ja myös H-polarisaation antennien ulostulot. Tämän jälkeen mitattiin yhdistetty kummankin polarisaation antennista ja tarkistettiin että tehojen suhde on haluttu. Prosimiin syötetty signaali oli sama moduloimaton kantaaltoa, kuin aiemmin.

8.3 Testit kammiossa

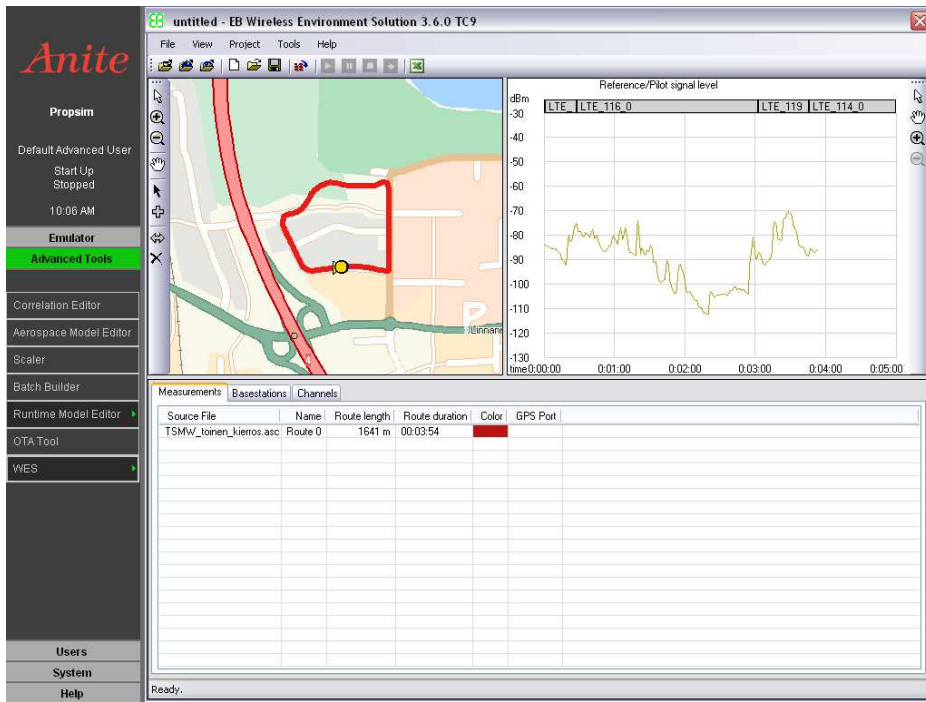
Funktionaalisten testien viimeinen eli kolmas vaihe tapahtui oikeassa OTA-kammiossa, kuten myös integrointitestit. OTA-järjestelmä kammioineen oli toimintavalmis sellaisenaan VDT-mittauksiin ja tarvittavat kalibroinnin oli tehty aiemmin siihen kehitetyllä sovelluksella.

8.3.1 Vaihe 3

Kolmannen vaiheen funktionaaliset testit suoritettiin samalla tavalla kuin toisenkin vaiheen testit. Erona olivat vain kytkennät ja emulaation luonnissa piti käyttää kammiossa aikaisemmin mitattua kalibroitiedostoja. Kytkennöissä erot tulivat siitä, että Prosimin ulostuloja ei kytketä splittereihin, vaan OTA-kammion antenneihin. Lisäksi jotta spektrianalysaattorilla ja TSMW:llä voitiin mitata kammion keskelle saapuva signaali, asetettiin kammion keskelle sopiva antenni ja yhdistettiin laitteet siihen kaapelilla. Kaapelin ja antennin häviöt oli otettava huomioon mittauksissa. Kun mitattiin eri antenneista tulevia tehoja, otettiin vain oikeat Prosimin ulostulot pois käytöstä. Esimerkiksi PAS-testissä pidettiin päällä vain yhtä antennia kerrallaan ja polarisaatioiden suhteita mitatessa pidettiin päällä vain V- tai H-antenneja.

8.3.2 Integrointitestit

Integrointitesteissä toimittiin samalla tavalla, kuin lopullinen käyttäjäkin toimisi. Käytännössä siis kentällä tehty mittaus- ja kalibroitiedosto ladattiin WES:ään (Kuva 35), käännettiin emulaatio ja toistettiin se. Kammion keskellä oli TSMW:n antenni tai päätelaite riippuen testistä. Itse testit suoritettiin testispeksissä kuvatulla ja tavalla. Käytännössä siis TSMW:llä tehdyn mittauksen tuloksen pitäisi olla samanlaiset kammiossa kuin kentälläkin. Ainoastaan muita tukiasemia ei näy mittausdatassa. Lisäksi päätelaitteella varmistettiin että sekin näkee samat asiat kammiossa kuin kentälläkin. Päätelaitteena oli käytössä sama Huaweiin moka kula kuin alkuperäisissäkin kenttämittauksissa.



KUVA 35. Kenttämittaus tuotuna WES-sovellukseen

9 POHDINTA

Työn aiheena oli suunnitella Virtual Drive Test Over The Air -järjestelmän testausta ja itse testauksen avulla varmistaa järjestelmän toiminta. Tehtyjen testien perusteella voidaan sanoa, että järjestelmä toimii kuten pitääkin.

VDT ja OTA olivat minulle jo työn puolesta aiemmin tuttuja asioita. Työn suorittaminen oli kuitenkin mielenkiintoista, koska näiden kahden yhdistäminen tuo omat haasteensa. Monet ongelmat tulivat ilmi vasta testauksen yhteydessä ja niihin piti sitten keksiä ratkaisuja.

Ratkaisujen löytyttyä päästiin mittauksissa varsin hyviin tuloksiin. Kaikki testattavat asiat toimivat kuten pitääkin, mutta muutamiin paikkoihin jäi hieman parannettavaa. Aikataulusyistä nämä siirtyivät kuitenkin seuraavaan versioon. Testauksen perusteella voidaan sanoa että VDT-OTA-järjestelmä toimii mobiililaitteiden testauksessa hyvin.

Työssä haasteellisimmaksi osoittautui sopivien lähteiden löytäminen, koska kanavamallinnuksesta löytyy vähän tietoa. Siksi suurin osa tekstistä on kirjoitettu Propsimin käyttöohjeen ja töissä kertyneen tiedon pohjalta.

Parannettavaa toki omaankin työskentelyyn aina jää. Jotkut mittaukset olisi voinut suorittaa tarkemminkin sulkemalla pois eri virhelähteitä. Testaukseen käytettävä aika on kuitenkin rajallista, joten aivan kaikkea ei voi huomioida. Lisäksi puuttuvat lisenssit ja toimimattomat laitteet sulkevat osan suunnitelluista integrointitesteistä pois.

LÄHTEET

1. Radiotekniikan perusteet: Signaalin eteneminen. Saatavissa: <http://www2.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf>
Hakupäivä 4.2.2012
2. Understanding signal path loss and link budgets. Saatavissa: <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/path-loss/free-space-formula-equation.php> Hakupäivä 25.3.2013
3. EB Prosim User reference. 2012. Elektrobit.
4. Doppler-ilmiö. 2013. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Doppler-ilmi%C3%B6>. Hakupäivä 28.2.2013.
5. Jäämaa, Juha, 2010. Kanavamallien vertailu LTE-järjestelmissä. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2010/urn100222.pdf>. Hakupäivä 28.2.2013.
6. MIMO. Saatavissa: http://www.artizanetworks.com/lte_tut_mimo.html. Hakupäivä 10.4.2013.
7. ROHAN Academic Computing, Rayleigh jakauma. 2013. Saatavissa: http://www-rohan.sdsu.edu/doc/matlab/toolbox/stats/prob_d24.html. Hakupäivä 10.4.2013.
8. Conformance testing. 2013. http://en.wikipedia.org/wiki/Conformance_testing. Hakupäivä 23.3.2013.
9. EB Virtual Drive Testing. 2012. Elektrobit. Saatavissa: <https://www.elektrobit.com/file.php?fid=3024>. Hakupäivä 5.11.2012

10. Application Note EB WES and extension options F8-45.500 and F8-45.501 for virtual drive testing in lab. 2012. Elektrobit

11. EB MIMO OTA White Paper. 2009. Elektrobit.

12. 3GPP. 2013. Verification of radiated multi-antenna reception performance of User Equipment (UE). Saatavissa:

http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37_series/37.977/37977-040.zip.

Hakupäivä 26.4.2013