

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TIETOTEKNIIKAN OSASTO

RADIOVERKON MALLINTAMINEN NURBS-PINTAA HYÖDYNTÄEN

Diplomityön aihe on hyväksytty Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietotekniikan osastoneuvoston kokouksessa 14.4.2004

Työn tarkastajat: Jari Porras, Jouni Ikonen

Työn ohjaaja: Jari Porras

Lappeenrannassa

Tapio Raussi

Taiteentekijäntie 8 D 52

00350 Helsinki

Tapio.Raussi@lut.fi

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Raussi, Tapio

Nimi: Radioverkon mallintaminen NURBS-pintaa hyödyntäen

Osasto: Tietotekniikan osasto

Vuosi: 2004

Paikka: Lappeenranta

Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 65 sivua, 13 kuvaa ja 5 taulukkoa

Tarkastajat: Jari Porras, Jouni Ikonen

Hakusanat: kuuluvuusalue, mallintaminen, NURBS, pinta, radioverkko

Tässä työssä perehdytään erilaisiin tapoihin mallintaa radioverkon kuuluvuutta verkon suunnittelua ja erilaisia palveluja varten. Tämän tarkastelun perusteella muodostetaan ongelmaan NURBS-pintaan perustuva ratkaisu, jolla radioverkon kuuluvuutta voidaan tarkastella kolmiulotteisesti.

Radioverkon kuuluvuutta mallinnettaessa työssä kehitetty malli ottaa syötteenään tietoja rakennuksesta ja mitattuja signaalivoimakkuuksia ja luo näiden perusteella kolmiulotteisen pinnan, jonka avulla pystytään tarkastelemaan kuuluvuusaluetta. Kehitetyn mallin perusteella työssä toteutettiin radioverkon kuuluvuutta mallintava sovellus, joka pystyy tarjoamaan tietoa signaalin voimakkuudesta myös muiden sovellusten tarpeisiin.

ABSTRACT

Author: Raussi, Tapio
Name: Radionetwork modelling with NURBS-surface
Department: Information Tehchnology
Year: 2004
Place: Lappeenranta

Master's thesis. Lappeenranta University of Technology. 65 pages, 13 figures and 5 tables

Supervisors: Jari Porras, Jouni Ikonen
Keywords: coverage area, modelling, NURBS, radionetwork, surface

This master's thesis presents different techniques to model radionetwork coverage area and a new model. The coverage information can be used in network planning and services. The thesis concentrate to modeling in indoor environment. The model is based on NURBS-surface. The thesis presents also how this information is presented in three dimensional format to user and how to use modeling and presentation to get more information about signal strenght.

The model use building floor plan and measured signal strenghts in modeling process. The result is three dimensional presentation about radionetwork coverage. Also in this thesis is implemented practical application for creating this model. It can be used for providing coverage and signal strenght information for other applications and services.

Sisältö

1	JOHDANTO	5
2	RADIOVERKON TOIMINTA	8
2.1	Radioverkon rakenne	8
2.2	Etenemismallit	9
2.3	Signaalin etenemiseen vaikuttavat tekijät	12
2.4	LOS	14
2.5	Path loss -malli	16
2.6	Multiwall-malli	18
3	KUULUVUUDEN MALLINTAMINEN	20
3.1	Käytössä olevia radioverkon mallinnusjärjestelmiä	21
3.1.1	Ekahau	22
3.1.2	EDX	22
3.1.3	Verkon suunnittelumenetelmät simuloinnin avulla	23
3.2	Simulointi	24
3.3	Visualisointi	26
3.3.1	Kaksiulotteinen visualisointi	27
3.3.2	Kolmiulotteinen visualisointi	28
3.4	Simulaation ja visualisoinnin yhdistäminen	31

4	NURBS JA SEN KÄYTTÖ SIMULOINNISSA	32
4.1	NURBS-algoritmi	34
4.2	NURBS ja vapaan tilan vaimennus	36
4.3	Seinien vaikutuksen tuominen pintaan	37
4.4	Pinnan operaatiot ja rakenteeseen vaikuttaminen	40
5	JÄRJESTELMÄN RAKENNE	42
5.1	Komponenttirakenne	42
5.1.1	Surface Service	42
5.1.2	Surface Manager	43
5.1.3	Asiakas	46
5.2	Protokolla	46
5.3	Tiedon talletusrakenteet	47
5.4	Pinnan laskenta	50
6	MALLIN KÄYTTÖ	52
6.1	Suunnittelu	52
6.2	Paikannus	53
6.2.1	Käytetty paikannustekniikka	54
6.2.2	Paikannustapahtuman nopeuttaminen	54
6.2.3	Paikannusajan määrittäminen	56
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	58

LYHENTEET

2D	Two Dimensional
3D	Three Dimensional
GSM	Global System for Mobile communication
LOS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
NURBS	Non Uniform Rational Bezier Spline
OSI	Open System Interconnection
RGB	Red, Green, Blue
SNR	Signal to noise ratio
WLAN	Wireless Local Area Network
WLPR	Wireless Lappeenranta

1 JOHDANTO

Langattomien verkkotekniikoiden käyttö on yleistynyt hyvin nopeasti. Verkkojen rakenne on muuttumassa suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Hyviä esimerkkejä tällaisesta kehityksestä ovat WLPR.NET [WLP] ja Stockholm Open [STO]. Lisäksi WLAN tekniikkaa tukevien päätelaitteiden määrä on kasvanut voimaakkaasti. Verkkojen koon kasvaessa tarvitaan niiden suunnitteluun tehokkaita työkaluja. Toinen merkittävä osa-alue on verkon tuottamat palvelut, koska suurten verkkojen oletetaan pystyvän tarjoamaan käyttäjille enemmän erilaisia palveluita.

Tässä työssä pyritään luomaan kuva siitä, miten radioverkon kuuluvuutta on mahdollista mallintaa, ja luoda tekniikka, jolla mallinnus voidaan suorittaa paikannuksen tarpeisiin. Yksi mallin tärkeimmistä tavoitteista on se, että malli pystyy huomioimaan hyvin erilaisia tekijöitä, joiden vaikutuksia pystytään muuttamaan helposti. Toinen tärkeä lähtökohta mallissa on sen käyttötarkoitus ja mallin lopulliset käyttötarpeet. Lopputuloksen tulee olla helposti uudelleenkäytettävä esimerkiksi muissa sovelluksissa. Lisäksi työssä tarkastellaan kahden esimerkkitapauksen muodossa NURBS-pinnan käyttömahdollisuuksia.

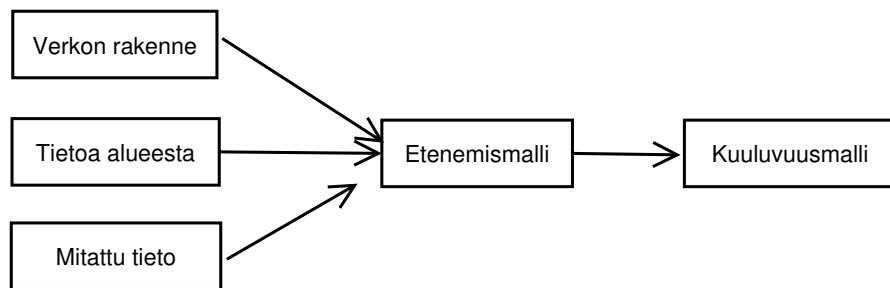
Radioverkon kuuluvuuden mallintamisen perustan muodostaa signaalien etenemisen tarkastelu. Signaalien etenemisen mallintaminen radioverkossa on haasteellinen tehtävä, koska signaalien etenemiseen vaikuttavat lukuisat tekijät. Näitä ovat erilaiset esteet ja luonnonilmiöt, kuten diffraktio ja siroaminen [STE01]. Lisäksi signaalien voimakkuuteen vaikuttaa sen kulkema matka.

Ulkoilmassa signaalin etenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi ilmasto-olosuhteet ja vuodenaikoihin liittyvät tekijät. Tässä työssä perehdytään sisätilassa tapahtuvaan etenemiseen. Merkittävimmät tekijät signaalin heikkenemiseen sisätilassa ovat esteet ja monitie-eteneminen [WES02]. Sisätilassa esteinä voivat olla esimerkiksi seinät, lattiat ja huonekalut. Käytetyt pintamateriaalit vaimentavat eri tavalla signaaleja ja vaikuttavat eri tavoin esimerkiksi signaalin heijastumiseen, läpäisyyn ja taittumiseen.

Radioverkkojen koon kasvu on lisännyt suunnittelun tarvetta. Tätä varten tarvitaan sovelluksia, joilla radioverkkoja voidaan mallintaa. Siten verkkoja pystytään rakentamaan kustannustehokkaasti ja niin, etteivät verkon eri laitteet häiritse toisiaan. Muita merkittäviä osa-alueita ovat verkon tarjoamat palvelut ja se, miten kuuluvuusalueen mallinnusta voidaan hyödyntää eri sovelluksissa. Eräänä tällaisena sovellusryhmänä mainittakoon paikannussovellukset, joiden avulla pystytään tuottamaan erilaisia palveluita. Hyvä esimerkki käytössä olevasta paikannuspalvelusta on Oulun yliopistoon rakennettu SmartLibrary -järjestelmä [OUL], jonka avulla käyttäjä pystytään opastamaan kirjan sijaintipaikkaan. Tämän järjestelmän toteutuksessa on käytetty apuna Ekahaun paikannusjärjestelmää. Myös isommilta yrityksiltä on tullut paikannusta tarjoavia palveluita kuten Ciscolta [CIS].

Paikkatiedon tarkkuus voi vaihdella hyvinkin paljon. Tämän vuoksi sovelluksissa käytetään hyvin eri tyyppisiä tekniikoita, jotta palvelun käyttö olisi mahdollisimman sujuvaa ja lopputulos kohtaisi tarpeet mahdollisimman hyvin. Lisäksi sisä- ja ulkotilat vaativat erilaisia tekniikoita. Ulkotiloissa tapahtuvalle GPS-paikannukselle on kehitetty jo huomattava määrä sovelluksia, lisääntyneen päätelaitetarjonnan vuoksi.

Kuuluvuusalueen mallintamisprosessi voidaan jakaa kahteen kuvassa 1 esitettyyn toiminnalliseen vaiheeseen: etenismallit ja käyttötarpeisiin muokattu kuuluvuus. Näiden lisäksi kuvassa on esitetty taustatyö eli selvitys verkon rakenteesta, toiminnallisuudesta, alueesta kertovista tiedoista ja mahdollisesti mittaukset alueen kuuluvuudesta.



Kuva 1: Yleinen mallinnusprosessi

2 RADIOVERKON TOIMINTA

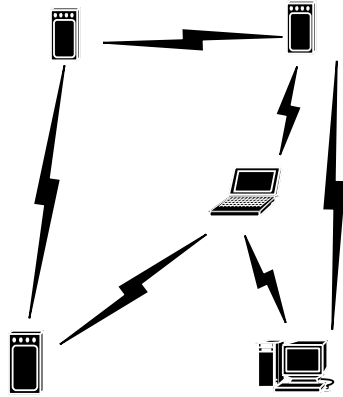
Radioverkon toiminta toteuttaa OSI-mallin kaksi alinta kerrosta, fyysisen ja linkkikerroksen. Näistä kerroksista alemmalla, fyysisellä kerroksella, sijaitsee radioverkon signalointi [WES02]. Mallinnuksen kannalta on oleellista tietää myös näiden kerrosten yleiset arkkitehtuurit, koska näin pystytään luomaan parempi kuva itse verkon toiminnasta.

2.1 Radioverkon rakenne

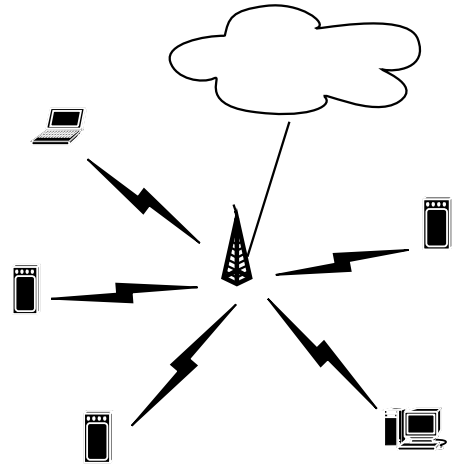
Radioverkon mallinnuksessa tulee ensimmäisenä määritellä sen verkon rakenne mitä tahdotaan mallintaa. Radioverkoilla on kaksi yleistä topologiaa, ad hoc -verkot ja hallitut verkot [ANS99]. Yhteisinä verkon komponentteina näissä topologioissa toimivat päätelaitteet.

Ad-Hoc verkot (kuva 2) rakentuvat verkon päätelaitteista, jotka liittyvät suoraan toisiinsa [PRO01]. Tässä työssä perehdytään hallittuihin verkkoihin, koska ad-hoc verkot koostuvat yleensä liikkuvista tai tilapäisistä laitteista, joten signaalien voimakkudet voivat vaihdella hyvin paljon riippuen ajankohdasta.

Hallittu radioverkko (kuva 3) muodostuu tukiasemista, joiden ympärille varsinainen verkko on hajautettu. Suurin ero hallitun ja ad hoc -verkon välillä on se, että hallitussa liikenne ohjataan tukiaseman kautta, eikä päätelaitteilla ole suoria yhteyksiä toisiinsa. Tukiasemalla voi olla myös muita tehtäviä kuten päätelaitteiden autentikointi [PRO01].



Kuva 2: Ad-Hoc verkko



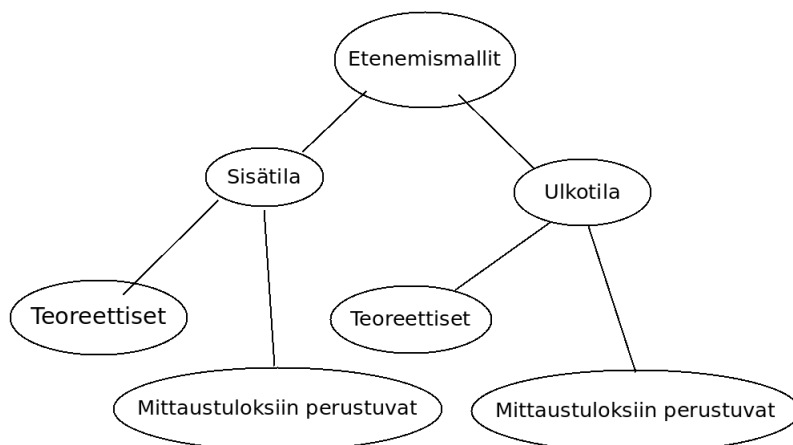
Kuva 3: Hallittu verkko

2.2 Etenemismallit

Kuuluvuusalueen mallintamisen perustuu signaalien voimakkuuksien tarkasteluun. Signaalien voimakkuuksien tarkastelua voidaan lähestyä erilaisista näkökulmista, jotka voivat muodostua hyvin monimutkaisiksi [WES02]. Yksi yleisin tapa on käyttää apuna etenemismalleja. Etenemismallit pyrkivät kuvaamaan sitä miten voimakkaasti signaalien voimakkuus muuttuu etäännyttäessä tukiasemasta ja myös sitä mitä tapahtuu, kun signaali kohtaa matkallaan esteitä. Etenemismalleja tarkastelemalla saadaan kuva siitä, millä alueilla verkko mahdollisesti on kuultavissa.

Etenemismalleja on kehitetty lukuisia erilaisia malleja, joilla pystytään arvioimaan signaalien voimakkuuden muuttumista etäännyttäessä tukiasemasta. Mallin tulee pyrkiä myös huomioimaan ympäristön ja esteiden vaikutuksia. Mallit voidaan jakaa sisä- ja ulkotilan malleihin. Ne voidaan jakaa myös teoreettisiin malleihin ja mittaustuloksiin perustuviin malleihin. (kuva 4) Näitä malleja esitellään esimerkiksi Hazysztof Wesolowskin kirjassa Mobile Communication Systems [WES02]. Etenemismallina voidaan

esimerkiksi käyttää säteenjäljitysmenetelmää tai laskemalla arvio signaalin vaimenemisesta kuljettaessa suoraviivaista reittiä pitkin. Säteenjäljitysmenetelmä antaa tarkemmat arviot, mutta on mallina hyvin monimutkainen. Siinä pyritään seuraamaan yksittäisien signaalien etenemistä. Tämä johtuu siitä, että signaalin etenemiseen vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten sironna, taipuminen ja diffraktio [STE01]. Jälkimmäisessä menetelmätyypissä pyritään huomioimaan etäisyys, sen aiheuttama vapaan tilan vaimennus, ja lisätään malliin eri tekijöiden aiheuttamia vaikutuksia, kuten seinien lukumäärä ja niiden aiheuttamat vaimennukset. Tähän perustuvia tekniikoita on olemassa lukuisia, kuten esimerkiksi Multiwall-malli ja Cost 231 [WES02].



Kuva 4: Etenemismallien jaottelu

Signaali voi esteen kohdatessaan mennä siitä läpi tai heijastua siitä riippuen pinnan materiaalista. Usein etenemismallien ongelmana on se, että signaali ei yleensä saavu suorinta tietä, vaan se voi saapua lukuisien heijastumien kautta, jotka luonnollisesti heikentävät signaalin kulkua. Yleisesti heijastuksilla on signaalia heikentävä vaikutus, koska yleensä vain osa signaalista heijastuu. Heijastuneilla signaaleilla voi olla myös negatiivisia yhteisvaikutuksia. Esimerkiksi eri vaiheessa olevat signaalit häiritsevät toisi-

aan. Näiden tekijöiden lisäksi signaalin etenemiseen voivat vaikuttaa lukuisat muut häiriötekijät, joiden ei tarvitse olla saman radioverkon aiheuttamia. Ympäristössä voi vaikuttaa muut lähistöllä olevat verkot tai laitteet. Kodin tai toimiston laitteilla, kuten mikroaaltouuneilla, voi olla radioverkkoa häiritseviä vaikutuksia.

Säteenjäljitysmallit ovat monimutkaisempia malleja kuin signaalin suoraan etenemiseen perustuvat mallit. Säteenjäljitysmallit perustuvat samaan tekniikkaan, joka on käytössä myös tietokonegrafikassa, kun tarkastellaan kolmiulotteisessa mallinnuksessa valon käyttäytymistä. Koska myös valossa on kyseessä aaltomuotoinen signaali, niin mallia voidaan soveltaa myös radioverkon tarkasteluun [NMB95]. Säteenjäljitysmalleissa pyritään seuraamaan signaalin etenemistä useita eri reittejä pitkin. Näissä malleissa signaali voi saapua määränpäähän äärettömän montaa reittiä pitkin. Tämän seurauksena joudutaan selvittämään myös eri signaalien keskinäisiä vaikutuksia. Eri vaiheessa olevat signaalit voivat heikentää tai vahvistaa toisiaan. Päätepisteessä tulisi siis tietää eri kautta saapuneiden signaalien voimakkuuksien lisäksi niiden vaihe, koska siten pystytään selvittämään helpommin eri signaalien keskinäisiä vaikutuksia. Yleensä tässä tekniikassa valitaan rajattu joukko signaaleja, joiden etenemistä tarkastellaan. Valintaperusteena voidaan käyttää esimerkiksi kiinteää kulmaa eri signaalien välissä, jolloin mukaan tulee myös sellaisia signaaleja, jotka eivät päädy ikinä pisteeseen jossa signaalin voimakkuudesta ollaan kiinnostuneita.

Vaihtoehto tavalliselle säteenjäljitystekniikalle on nopeutettu säteenjäljitystä [TL96]. jossa pyritään seuraamaan signaaleja vain tarpeelliselta alueelta, eli jätetään esimerkiksi pois ne signaalit, jotka hyvin pienellä todennäköisyydellä kohtaavat pinnan halutussa pisteessä. Säteiden välisenä kulmana ei käytetä kiinteää vaan mukautuvaa kulmaa, jolla mallin nopeutta voidaan kasvattaa huomattavasti. Säteenjäljitystekniikan vaikeutena

on seurattavien signaalien määrä. Lähettävästä tukiasemasta lähtee ääretön määrä signaaleja, joista pitää pystyä valitsemaan oikeat seurattavat, jotta lopputulos olisi mahdollisimman tarkka.

2.3 Signaalin etenemiseen vaikuttavat tekijät

Signaalin kulkuun ilmatiellä vaikuttavat lukuisat eri tekijät. Nämä voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, vaimenemiseen ja signaalin monitie-etenemiseen [STE01]. Ensimmäisessä vaikuttavana on eri materiaalien tuomat vaimennukset ja jälkimmäisen kategorian yleisimpiä ilmiöitä ovat heijastuminen, sironna ja hajonta. Kyseiset ilmiöt löytyvät kaikesta aaltomuotoisesta etenemisestä ja niitä pystytään myös teoreettisesti mallintamaan. Monitie-eteneminen on monimutkaisin signaalin etenemiseen vaikuttava ilmiö, koska se on kaikkein hankalin mallintaa luotettavasti, koska mallinnettavien signaalien määrä on hyvin suuri. Monitie-etenemistä syntyy mm. kun signaali kohtaa esteitä ja heijastuu niistä. Lopulta lukuinen joukko signaaleita saapuu haluttuun kohtaan eri aikaan. Vaimenemisen aiheuttamat vaikutukset ovat hyvin helposti mallinnettavissa, koska siihen vaikuttaa lähinnä materiaali, jossa signaali etenee.

Heijastuminen on yksi tavallisimmista fysikaalisista ilmiöistä, joka vaikuttaa radiosignaalin etenemiseen. Siinä osa saapuneesta signaalista heijastuu pinnasta, kun taas osa signaalista läpäisee pinnan. Tämän seurauksena voivat signaalin vaihe ja suunta muuttua [STE01].

Diffraktiossa on kyseessä signaalin taipuminen terävistä kulmista. Tämä on sama fysikaalinen ilmiö, joka on havaittavissa myös muilla aaltomuotoisilla signaaleilla, kuten valolla [STE01]. Ilmiön aikanaan määritteli Huygens, jonka nimellä se myös tunnetaan.

Sironta on myös tavallinen fysikaalinen ilmiö. Sironta syntyy signaalin kohdatessa omaa aallonpituuttaan pienempiä kappaleita tai hiukkasia, jolloin signaalin kulku muuttuu osittain [STE01]. Pahimmassa tapauksessa voi syntyä täysin erilainen signaali, joka vaikuttaa muiden signaalien kulkuun.

Monitie-etenemisen lisäksi signaali kohtaa edetessään myös lukuisia muita häiriötekijöitä. Edetessään siirtotiellä signaali altistuu erilaisille kohinoille, jotka osaltaan vaikuttavat sen voimakkuuteen [STE01]. Signaalin lämpökohina on yleisin kohinatyyppi. Toinen yleinen häiriötekijä on intermodulaatiokohina, joka johtuu eri taajuuksien signaalien keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Signaalin voimakkuus voi muuttua hyvin paljon, koska tällöin syntyy signaali, joka on näiden kahden signaalin summa. Kolmas merkittävä häiriötekijä on signaalien ristiinpuhuminen, jossa useampi samaa siirtotietä käyttävä laite häiritsee toistaan. Viimeisenä varsinaisista kohinoista mainittakoon impulssikohina, joka johtuu signaalin taajuusalueella esiintyvistä hyvin voimakkaista signaalipiikeistä.

Yleensä radiotekniikkaa hyödyntävissä sovelluksissa on kahdenlaisia tavoitteita: langattomuudella on pyritty poistamaan kaapelointia tai käytössä on liikkuvista päätelaitteista koostuva ympäristö. Jälkimmäinen aiheuttaa omat vaikutuksensa myös signaalin etenemiseen. Tämä pitää erityisesti huomioida, jos simulaation kautta halutaan tehdä paikannusta, joka on tyypillinen mobiiliympäristön sovellus. Mobiiliympäristössä päätelaitteet vaikuttavat signaalin voimakkuuteen erilaisten häipymien kautta [STA02]. Häipymät johtuvat usein monitie-etenemisestä ja muutoksista fyysisessä siirtotiessä. Häipymät voidaan jaotella kahteen eri tyyppiin, nopeaan ja hitaaseen häipymään. Ensimmäinen on tyypillinen hyvin nopeasti liikkuville kohteille, kuten päätelaitteille, jotka on sijoitettu esimerkiksi autoon, koska nopeasti liikkuvassa kohteessa signaalin muutok-

set voivat olla hyvin nopeita. Hidas häipymä puolestaan johtuu pienistä muutoksista. Tämän aiheuttajana puolestaan toimivat erilaiset rakenteet, joita käyttäjä kulkiessaan ohittaa. Etenkin paikannuksessa tulee huomioida että yleensä kyseessä on liikkuvista päätelaitteista.

Kaksi yleisintä häipymätyyppiä ovat Rayleighin ja Rician häipymät [RJP00]. Näitä voidaan ennustaa ja pyrkiä poistamaan. Rayleighin häipymää esiintyy, kun lähettimen ja vastaanottimen välillä on useita epäsuoria reittejä, joista yksikään ei ole hallitseva. Tämän häipymän voidaan sanoa esittävän pahinta mahdollista tilannetta. Rayleighin häipymä sopii hyvin tarkasteltaessa signaalin etenemistä ulkotiloissa, joissa tällainen tilanne on hyvin tavallinen. Rician häipymä puolestaan on paremmin sisätiloissa esiintyvä ilmiö. Siinä signaalilla on yksi hallitseva reitti ja lukuisia heikompia epäsuoria.

Näiden edellä esitettyjen tekijöiden lisäksi tulisi myös huomioida esimerkiksi ilman aiheuttama vaimeneminen ja signaalin luonnollinen vaimeneminen [STA02]. Lisäksi on huomioitava muutokset signaalin kulussa esimerkiksi ilmakehän vaikutuksen myötä kun tarkastellaan pidempiä etäisyyksiä ulkotilassa.

2.4 LOS

LOS (Line of sight) -tapaus perustuu tilanteeseen, jossa kummallakin päätelaitteella on suora näköyhteys toisiinsa. Vaikuttavia tekijöitä tässä tapauksessa ovat vaimennus, vapaan tilan vaimennus, kohina, ilmakehän vaimennus, monitie-eteneminen ja heijastukset [WES02]. Tällaisiin tapauksiin on kehitetty lukuisia tekniikoita kuten Multiwall-, path loss, mallit. Näille malleille on hyvin tyypillistä, että ne eivät huomioi esimerkiksi monitie-etenemisen tuomia vaikutuksia.

Vapaan tilan vaimennus on yksi luonnon perusilmiöistä, joka esiintyy signaalin voimakkuutta heikentävänä tekijänä kaikessa radiotekniikassa. Tämä tekijä johtuu signaalin etenemisestä ja sen aiheuttamasta vaimenemisesta. Tekniikkaa voidaan kuitenkin käyttää signaalin voimakkuuksien arvioinnissa tilassa, jossa ei ole mitään esteitä. Siten sitä voidaan käyttää hyvin yksinkertaisena etenemismallina, kun tarkastellaan signaalin etenemistä vapaassa ja esteettömässä tilassa. Vaikuttavia tekijöitä tässä mallissa ovat taaajuus ja etäisyys signaalin lähteestä, kuten kaavasta 1 ilmenee.

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{(\lambda)^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}, \quad (1)$$

jossa

P_t lähetysteho

P_r vastaanottoteho

d etäisyys

f taaajuus

c valon nopeus

λ aallonpituus

Usein tämä malli esitetään kuitenkin huomattavasti edellistä mallia yksinkertaisemmassa muodossa (kaava 2), josta saadaan suoraan selville signaalin vaimeneminen.

$$\begin{aligned} L_{db} &= 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21.98 dB \\ &= 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 147,56 dB, \end{aligned} \quad (2)$$

jossa käytetyt symbolit ovat samat kuin kaavassa 1 käytetyt.

Yhtälön 2 avulla pystytään helposti määrittämään avoimessa tilassa signaaliin kohdistuva vaimeneminen. Yhtälö ei kuitenkaan huomioi esteiden aiheuttamia vaikutuksia, vaikka malli pystytään helposti laajentamaan huomioimaan enemmän ympäristön tekijöitä. Laajentaminen voidaan tehdä lisäämällä yhtälön tulokseen eri esteiden aiheuttamat vaimennukset. Taulukossa 1 on esimerkkejä erilaisten esteiden aiheuttamista vaimennuksista muutamille yleisimmistä materiaalityypeistä [STE01].

Taulukko 1: Erilaisten esteiden aiheuttamat vaimennukset

Esteen tyyppi	Vaimennus
Ikkuna tiiliseinässä	2 dB
Metallikehyksinen lasiseinä	6 dB
Toimistoseinä	6 dB
Metalliovi toimistoseinässä	6 dB
Metalliovi tiiliseinässä	12,4 dB
Tiiliseinä metallioven vieressä	3 dB

2.5 Path loss -malli

Path loss -malli [KSTMW01] perustuu yksinkertaiseen LOS-malliin, jonka lähtökohtana on myös vapaan tilan vaimennus metrin päästä tukiasemasta. Tähän lukuun malli lisää arvion todellisesta polkuhäviöstä. Tulokseen voidaan myös lisätä esteiden vaikutuksia, jolloin tulokset ovat parempia. Tämäkään malli ei huomioi monitie-etenemisen aiheuttamia vaikutuksia.

$$S_0 = 10n_0 \log\left(\frac{4\pi 1m}{\lambda}\right) \quad (3)$$

jossa λ on käytetty aallon pituus.

n_0 on tässä yhtälössä oletuspolun path loss tekijä

S_0 on signaalin voimakkuus metrin päästä tukiasemasta

Yhtälön 3 avulla pystytään määrittelemään vapaan tilan vaimennus metrin etäisyydellä tukiasemasta. Path loss tekijä [WES02] kuvaa sitä miten nopeasti signaali vaimenee, kun etäisyys mittapisteen ja tukiaseman välillä kasvaa. Se pyrkii kuvaamaan tilan olosuhteille. Erilaisille sisätiloille on olemassa erilaisia Path loss tekijöitä.

$$\begin{aligned} g_i &= S_0 + 10.0n_0 \log(d) + \sum_{w=1}^M N_w L_w \\ &= 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) + \sum_{w=1}^M N_w L_w \end{aligned} \quad (4)$$

jossa n_0 ja λ on sama kuin edellisessä kaavassa 3

M on mallissa esiintyvien erilaisten esteiden tyyppien lukumäärä

N_w on esteiden lukumäärä tyyppiä w

L_w on tyyppiä w olevien esteiden aiheuttaman vaimennuksen.

d on etäisyys

g_i on signaalin vaimentuma

Kaava 4 puolestaan lisää malliin arvion etäisyyden aiheuttamasta vaimennuksesta [KSTMW01]. Kaava koostuu vapaan tilan vaimennuksen ja esteiden aiheuttaman vaimennuksen huomioon ottavasta osasta. Symbolien n ja λ on sama kuin edellisessä kaavassa 3 samoin kuin myös aallonpituus. M on mallissa esiintyvien erilaisten esteiden tyyppien lukumäärä. N_w puolestaan kertoo, kuinka monta estettä signaalin reitillä on tyyppiä w .

L_w puolestaan kertoo tyyppiä w olevien esteiden aiheuttaman vaimennuksen. Oheisessa taulukossa (taulukko 1) on esimerkkejä erilaisten esteiden aiheuttamista vaimennuksista [STE01]. Näihin arvoihin kannattaa kuitenkin suhtautua hyvin suurella varauksella, koska nämä ovat vain yhdessä tutkimuksessa käytettyjä arvoja. Todellisuudessa arvot voivat olla hyvinkin erilaisia. Lisäksi lähiympäristön muut materiaalit vaikuttavat etenkin seinien aiheuttamaan vaimennukseen, kuten näistäkin arvoista on havaittavissa. Luotettavasti vaimennus pystytään siis määrittämään vain siten, että suoritetaan jokaiselle rakennuksen seinätyypille omat mittauksensa. Kohtuullisen tarkkoja tuloksia voidaan kuitenkin saada myös käyttämällä vastaavien seinätyyppien arvoja. Ensimmäisessä tapauksessa tulokset eivät kuitenkaan ole aivan tarkkoja.

2.6 Multiwall-malli

Edellä esitettyä mallia muistuttaa jonkin verran ns. Multiwall-malli [WES02]. Myös tämä malli pyrkii huomioimaan erilaisten esteiden, kuten seinien, aiheuttamaa vaimennusta, kuten seinä- ja lattiapintojen, vaimennusvaikutusta. Erona aikaisemmin esitettyyn malliin on se, että lattioiden aiheuttamaa vaimennusta käsitellään epälineaarisen yhtälön avulla.

$$L = L_s + L_c + \sum_{i=1}^I k_{w,i} L_{w,i} + k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} - b\right)} L_f \quad (5)$$

jossa L_s on vapaantilan vaimennus

L_c vakiovaimennus

$k_{w,i}$ on läpäistyjen seinien lukumäärä tyyppiä i aiheuttama vaimennus

I seinän tyyppien lukumäärä

k_f läpäistyjen lattioiden lukumäärä

L_f lattioiden aiheuttama vaimennus

b empiirinen tekijä

L on signaalin vaimennus

Multiwall-malli käyttäytyy yllä olevan kaavan (kaava 5) mukaan. Yhtälö on epälineaarinen ns. empiirisen tekijän vuoksi [WES02]. Tässä mallissa voidaan hyödyntää edellisessä mallissa käytettyjä (taulukko 1) eri esteiden aiheuttamia vaimennuksia.

3 KUULUVUUDEN MALLINTAMINEN

Verkon mallintaminen voidaan jakaa kahteen eri vaiheeseen, simulointiin ja visualisointiin [GC94]. Ensimmäisessä vaiheessa keskitytään siihen, miten tietoa luodaan malliin. Simulointivaiheesta ei synny konkreettista esitystä käyttäjälle, mutta se tarjoaa pohjan varsinaisen esityksen muodostamiseen. Simuloinnin tulokset pystytään esittämään käyttäjälle tai toiselle sovellukselle visualisaation avulla helposti ymmärrettävässä muodossa. Käyttäjänä voi toimia myös sovellus, joka voi hyödyntää mallin tietoja eri tavoilla, esimerkiksi paikannuksessa.

Suurimmassa osassa mallinnussovelluksista on joukko yhteisiä piirteitä mallinnusprosessissa. Prosessin ensimmäinen vaihe on tiedon hakeminen järjestelmää varten. Tieto voi tässä vaiheessa koostua esimerkiksi ympäristön rakenteesta, pinnanmuodoista tai mitatuista signaalien voimakkuuksista. Mikäli mallinnus ei perustu mitattuihin signaalien voimakkuuksiin, tarvitaan tarkastelussa tietoa tukiasemien sijainneista ja lähetysvoimakkuuksista. Mallin muodostamisen toisessa vaiheessa suoritetaan simulointi. Edellisessä vaiheessa kerätyistä tiedoista muodostetaan simulaatio, jonka avulla voidaan selvittää signaalien voimakkuus missä tahansa pisteessä. Tässä voidaan käyttää apuna etenemismalleja. Etenemismalleina käytetyt menetelmät voivat olla esimerkiksi säteenjäljitysmenetelmään tai mitattuun tietoon perustuvia. Viimeisessä vaiheessa on varsinaisen mallin esittäminen loppukäyttäjälle. Esitystapaa tulee tässä vaiheessa valita loppukäyttäjän tarpeet huomioiden. Tämä voidaan tehdä kartoittamalla kuuluvuusalueen mallinnuksen käyttöön liittyvät vaatimukset. Esimerkiksi riittääkö pelkästään signaalien voimakkuus tai tarkastelaanko mallia jonkin sovelluksen kautta.

3.1 Käytössä olevia radioverkon mallinnusjärjestelmiä

Radioverkon toimintaa on myös aikaisemmin mallinettu. Sen vuoksi tuleekin selvittää, millä mallinusta on aikaisemmin tehty. Simulaatioita on olemassa lukuisia eri tyyppisiä. Tässä työssä on keskitytty signaalin voimakkuuden simulointiin, mutta myös esimerkiksi verkon siirtokykyä voidaan simuloida [HBC⁺01]. Lisäksi voidaan myös yrittää tutkia käyttäjien verkon käyttöä ja muodostaa siitä visualisaatioita [TAN00]. Verkon suunnittelun kannalta signaalien voimakkuuksien analysointi on tärkeä tekijä. Simulaation tarkoituksena ei ole aina esittää tietoa visuaalisessa muodossa, vaan tulokset voi olla tarkoitettu muiden sovellusten tarpeisiin. Tällöin lopputulos täytyy suunnitella eri tavalla, jotta toinen sovellus voisi käyttää helposti hyväksi näitä tuloksia ja saada niistä lisähyötyä.

Tärkeä asia simuloinnin tarkastelussa on se, mille tekniikalle itse simulaatio on suunniteltu. Jokaiselle eri tekniikalle on erityispiirteitä, joista tavallisimpia on taajuusalueen valinta. Esimerkiksi osa simulaatiosovelluksista on suunniteltu WLAN- tai GSM-verkon simulointiin. Kun simulointi rajataan johonkin tiettyyn tekniikkaan on hyvin yleistä, että simuloinnin kohteena on jokin muu kuin signaalin voimakkuus. Tekniikka kohdasessa mallinnuksessa voidaan huomioida tekniikan häiriöalttiutta jolloin tuloksista saadaan paremmin oikeata käyttöä kuvaavia. Muiden ominaisuuksien simuloinnissa korostuvat itse verkko tekniikkaan liittyvät tekijät. Hyvä esimerkki simulointikohteesta määritellyllä siirtotekniikalla on tiedonsiirtokyky.

Nykyisin kolmiulotteiset verkon visualisaatiot ovat hyvin harvinaisia. Suurin osa niistä on syntynyt lähinnä siten, että on tarvittu kuvaamaan jonkin yksittäisen tutkimuksen tuloksia, siten että on piirretty kolmiulotteinen pintamalli. Tämä lähestymistapa

ei kuitenkaan tuota uutta tietoa, vaan pyrkii havainnollistamaan olemassa olevaa tietoa. Kolmiulotteinen esitys on harvinainen siksi, että kaksiulotteisen esityksen avulla saavutetaan usein verkon suunnittelun kannalta riittävästi tietoa. Näissä ratkaisuissa ei kuitenkaan ole ajateltu sitä, mitä uutta informaatiota kolmiulotteisen simulaatio voi tarjota. Kolmiulotteisen esityksen kautta voidaan saada esimerkiksi tietoa signaalin voimakkuudesta ja tietoa siitä miten signaalin voimakkuus muuttuu lähiympäristössä. Lisäksi se tarjoaa uusia keinoja tarkastelulle. Esimerkiksi seinät voidaan paremmin yhdistää pintaan ja pyrkiä näin saavuttamaan lisähyötyä.

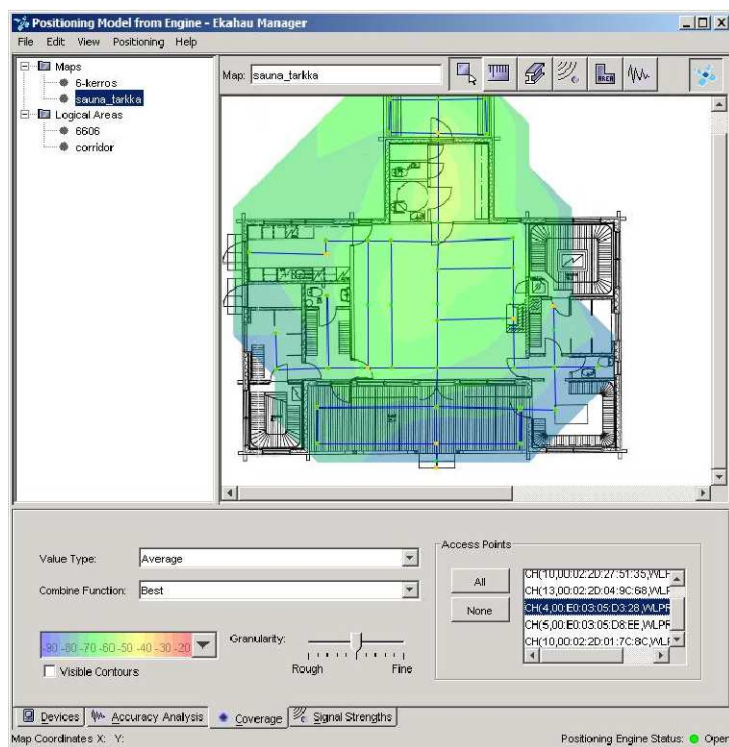
3.1.1 Ekahau

Ekahauilla on verkon simulointisovellus, jonka nimi on Ekahau Site Survey [INC]. Sillä pystytään visualisoimaan verkon kuuluvuutta kaksiulotteisen kartan päälle piirrettyinä värillisillä alueina. Tämän sovelluksen avulla ei pystytä pelkästään simuloimaan verkon signaalien voimakkuutta vaan myös lukuisia muita tekijöitä, kuten interferenssiä, SNR:ää, vahvinta tukiasemaa, tukiasemien määrää, signaalikanavan vahvinta signaalia, tukiasemien sijainti, niiden parhaimpia sijainti paikkoja niille ja siirto nopeutta.

Lisäksi Ekahaulta on Positioning Engine -niminen sovellus, jonka avulla pystytään suorittamaan paikannusoperaatioita (kuva 5). Tätä järjestelmää voidaan myös käyttää apuna kuuluvuusalueiden esittämisessä ja paikannuksessa.

3.1.2 EDX

EDX -nimiseltä yrityksellä [EDX] on myös runsas valikoima erilaisia verkon simulointisovelluksia. Huomattava ero näissä sovelluksissa Ekahaun sovelluksiin verrattuna on siinä, että näissä voidaan käyttää erilaista esitysmuotoa, joka sopii paremmin ulkotilan



Kuva 5: Ekahau Positioning engine

esitykseen. Järjestelmissä on mahdollista mm. luoda signaalin voimakkuutta kuvaava värikartta, joka asetetaan kolmiulotteisen maan pinnan päälle. Esitystapa on näin selkeämpi, koska kolmiulotteisesta mallista on helppo havainnollistaa esimerkiksi maan pinnan muodot. EDX:llä on paljon erilaisia sovelluksia, mutta ne simuloivat verkon toimintaa vain hyvin suppealta alalta.

3.1.3 Verkon suunnittelumenetelmät simuloinnin avulla

Verkon suunnittelussa voidaan käyttää menetelmiä, jotka pohjautuvat varsinaisen simulaatiodatan hyödyntämiseen eri menetelmien avulla. Ideana näissä menetelmissä on pyrkiä muodostamaan verkon kuuluvuudesta mahdollisimman tarkka simulaatio, jonka

avulla pystytään muodostamaan paremmin toimivia verkkoja. Näiden sovellusten pohjalta voi olla esimerkiksi geneettisen algoritmien avulla, joka pyrkii löytämään parhaita tukiasemapaikkoja, ja järjestelmälle sopivinta tukiasemien määrää [KSTMW01]. Näin verkon suunnitellua voidaan nopeuttaa huomattavasti. Myös kustannuksia pystyttäisiin pienentämään [STE01]. Näissä järjestelmissä tulokset voidaan esittää kolmiulotteissa muodossa. Se on helpoin tapa, kun käytössä ei ole kuuluvuuskarttojen piirtoon sopivaa sovellusta. Esityksessä voidaan käyttää apuna esimerkiksi MatLab-sovellusta [MAT]. Näissä sovelluksissa ei kuitenkaan pyritä saavuttamaan visualisaation kautta uutta tietoa, vaan havainnollistamaan entistä paremmin vanhaa.

3.2 Simulointi

Verkon simuloinnin tehtävänä on tuottaa aineistoa visualisointia varten. Tarkoitus on luoda tapa, joka kuvaa signaalin voimakkuutta eri pisteissä. Kuvaaminen voidaan suorittaa joko matemaattisten lausekkeiden avulla tai hyödyntämällä karttaa, jossa pisteen voimakkuuksia on kuvattu eri pisteissä. Verkon kuuluvuutta on mahdollista simuloida hyvin erilaisilla tavoilla. Verkon simulointia suunniteltaessa valitaan ensin todellinen simulointikohde. Simulaatiossa voidaan keskittyä radiosignaalien etenemiseen, kuten tässä työssä. Simuloinnin kohteena voi olla datan siirto nopeus tai jokin muu tekijä. On mahdollista simuloida muitakin radioverkon toimintaan liittyviä tekijöitä, kuten pakettihäviön todennäköisyyttä. Usein malli on suunniteltu vain yhtä käyttötarkoitusta, esimerkiksi verkon suunnittelua, varten. Tämä haittaa simulaation tuloksien käyttämistä muissa sovelluksissa.

Eri simulointitavat on mahdollista jakaa kahteen eri kategoriaan, täysin teoreettisiin ja mittaustuloksia hyödyntäviin tekniikoihin. Täysin teoreettiset mallit pyrkivät mää-

rittämään verkon kuuluvuutta käyttämällä pohjana jotain signaalin etenemismallia, kuten LOS-mallia. Jos käytettävissä on mittaustietoa, voidaan niitä käyttää pohja-aineistona mallissa. Sen jälkeen pyritään eri etenemismalleja hyödyntämällä määrittämään tukiaseman kuuluvuutta muualla kuin näissä pisteissä. Näiden mallien huomattava ero on niiden tarkkuudessa. Teoreettista mallia on hyvin hankala laatia siten, että se huomioi kaikki signaaliin etenemiseen vaikuttavat tekijät. Tämän takia kyseisissä malleissa saattaa esiintyä epätarkkuutta, joka hankaloittaa varsinaista paikannusta tai muuta pinnan käyttöä. Mittaustuloksia hyväkseen käyttävissä malleissa ei tarvitse huomioida kaikkia verkon toimintaan vaikuttavia tekijöitä, koska mittauspisteet kuvastavat todellista tilannetta ja korjaavat teoreettisella laskennassa tapahtuneita virheitä. Eri simulaatioita tarkasteltaessa on simulaatiomallit jaettava kahteen eri kategoriaan, sisä- ja ulkotilan malleihin. Sisätiloissa signaalin kulkuun vaikuttavia tekijöitä on huomattavasti vähemmän kuin ulkotilassa. Sisä- ja ulkotiloissa olevien esteiden rakenteet poikkeavat toisistaan paljonkin. Sisätilassa olevat esteet ovat usein hyvin säännöllisiä, kuten esimerkiksi huonekalut. Ulkotilassa olevalla kasveilla, kuten puilla, on hyvin monimutkainen rakenne ja pintamateriaali. On huomattava, että sisätilan olosuhteet ovat hyvin tasaisia, esimerkiksi säätilan ei juurikaan vaikuta niihin. Simulointivaiheessa tulisi pyrkiä käsittelemään näiden tekijöiden vaikutuksia mahdollisesti jonkin etenemismallin välityksellä tai käyttämällä apuna mitattuja arvoja.

Verkon kuuluvuuden simulointiin on kehitetty lukuisia eri tekniikoita, joista löytyy hyvin erilaisia lähtökohtia. Verkon simuloinnissa pysyttään käyttämään apuna esimerkiksi geneettisiä algoritmeja, joita on käytössä lähinnä verkon suunnittelussa [KSTMW01]. Yleisin tapa mallintaa verkon kuuluvuutta on käyttää apuna teoreettisia malleja tai mitattuja tuloksia joiden perusteella lasketaan verkonkuuluvuutta.

Ennen lopputuloksen miettimistä juodutaan pohtimaan, sitä mihin tuloksia tarvitaan. Jos simulaation tuloksista esimerkiksi muodostetaan visualisaatio, joudutaan miettimään, mitä tieto sen luomiseksi tarvitaan. Tiedon pitää siis olla esitettävissä siten, että se muodostaa mahdollisimman jatkuvan yhtenäisen pinnan. Jos pohjana käytetään esimerkiksi mitattuja pisteitä, joudutaan miettimään sitä, miten näiden pisteiden välille pystytään luomaan helposti lisää pisteitä, jotta pinnasta saataisiin mahdollisimman yhtenäinen.

3.3 Visualisointi

Nykyisten sovellusten lopputuloksena on usein verkon kuuluvuutta havainnollistava kuva. Se on yleensä karttapohja, johon tukiasemien kuuluvuuden voimakkuudet on merkitty eri väreillä. Kuvan jatkohyödyntäminen saattaa osoittautua vaikeaksi muissa sovelluksissa, esimerkiksi paikannuksessa. Esitystavan ongelma on varsinaisen kuuluvuustiedon erottaminen muusta kuvaan sisältyvästä informaatiosta. Ongelmaksi voi muodostua se, miten tietoa ympäristöstä ja sen vaikutuksesta signaaliin pystytään tarkastelemaan.

Verkon kuuluvuutta voidaan kuvata useilla eri tekniikoilla. Lopputulokset voidaan esittää pelkkänä tietojoukkona, joka sisältää pisteen tunnisteet, paikan ja signaalin voimakkuuden pisteessä. Toinen vaihtoehto tiedon esitykselle on sen sisällyttäminen graafiseen esitykseseen, jossa on mahdollista käyttää kaksi- tai kolmiulotteista esitystapaa. Kummallakin esitystavalla on yhteiset piirteensä, jotka ovat oleellinen osa kaikkea simulaation esitystä. Lisäksi on malleja, jotka eivät yritä esittää verkon kuuluvuutta joukkona signaalin voimakkuuksia, vaan matemaattisina lausekkeina. Tämän esitystavan avulla selvitetään signaalin voimakkuus jokaisessa alueen pisteessä, mutta

esitystapa on hankala jos tahdotaan nopeasti signaalin voimakkuustietoa.

Esitystapaa valittaessa on ensimmäinen lähtökohta se, mitä tai miten halutaan esittää. Tiedon tallentamiseen valitaan siihen sopivin muoto. Usein tämä muoto koostuu joukosta pisteistä. Näiden pisteiden väliset pisteet selvitetään laskemalla että esityksestä saadaan kattava. Yleisesti mallien graafiset esitykset koostuvat joukosta pinnan pisteitä lukuun ottamatta aikaisemmin esitettyä funktio kuvausta. Koska graafinen kuva verkosta ei ole jatkuva, tarvitaan jokin tekniikka, jolla pystytään arvioimaan väliin jäävien alueiden signaalien voimakkuuksia. Eräs yksinkertaisemmista tavoista on käyttää hyvin suurta mittauspistetiheyttä, ja tämän perusteella rakentaa esitys siten, että väliin jäävät pisteet arvioidaan esimerkiksi lineaarisesti. Ongelmaksi tässä ratkaisussa muodostuu se, että pisteiden väliin jäävän signaalin voimakkuuden arvio saattaa olla hyvinkin epätarkka, jos alueella on esimerkiksi esteitä. Ensimmäinen vaihe simuloinnin suunnittelussa on kuitenkin päättää tapa, jolla tulokset esitetään sovelluksen käyttäjälle. Tiedon esitystä ja tallennusrakenteita suunniteltaessa on päätettävä myös sovellusten näkemä rajapinta, jotta ne pystyvät käyttämään helposti hyväksi pinnan esityksen mallia

3.3.1 Kaksiulotteinen visualisointi

Kaksiulotteisessa esityksessä signaalin voimakkuus on esitetty väreillä, jotka on piirretty usein rakennuksen pohjapiirroksen tai kartan päälle. Tämä tapa on havainnollinen verkon suunnittelussa, mutta se aiheuttaa myös lukuisia ongelmia. Kaksiulotteisesta kartasta selviää signaalin voimakkuus pisteissä, mutta tieto on yhdistetty tietoon ympäristöstä, mikä haittaa kaksiulotteisen pinnan ominaisuuksien jatkokäyttöä. Ongelmaa voidaan helpottaa käyttämällä kerrosarkkitehtuuria, jolloin varsinaista pohjapiir-

rosta ja kuuluvuusarvoja voidaan käyttää omissa kerroksissaan. Tällaista kerrosmallia ei useinkaan käytetä, joten kuvan alla kuultava pohjapiirros haittaa tiedon poimimista. Kaksiulotteinen pinnan esitys soveltuu parhaiten ympäristöihin, joiden verkon tilasta tarvitaan esimerkiksi paperiversio tai selkeä esitys signaalien voimakkuuksista verkon suunnittelun helpottamiseksi.

3.3.2 Kolmiulotteinen visualisointi

Radioverkon signaalin voimakkuuden esittämiseen kolmiulotteisena on useita tapoja. Suurin osa kolmiulotteisista visualisointitekniikoista perustuvat ns. vapaamuototekniikkaan [BSBAD02]. Näitä tekniikoita käytetään hyvin erilaisissa käyttöympäristöissä, kuten teollisessa suunnittelussa. Vapaamuototekniikat ovat pintatekniikoita, joilla pinta pystytään taivuttamaan helposti jonkin kolmiulotteisen kappaleen muotoon. Tämän vuoksi pinnat ovat hyvin taipuisia, mutta pinta saadaan mukautettua mahdollisimman hyvin kontrollipisteiden mukaan. Nämä tekniikat sopivat hyvin myös radioverkon mallintamiseen. Verkko voidaan kuvata myös matemaattisen lausekkeen avulla, mutta malli pitäisi laatia aina erikseen, kun halutaan mallintaa verkko jossain paikassa.

Pinta voidaan määrittellä yksittäisten pisteiden avulla ja pyrkiä määrittämään matemaattisesti voimakkuudet pisteiden väliin jäävillä alueilla. Tässä menetelmässä heikkoutena on mittauspisteiden määrä, jos se ei ole riittävän suuri, pinnasta tulee usein karkea ja kulmikas, jolloin ei sovellu esimerkiksi paikannukseen. Kolmas ja ehkä kiinnostavin vaihtoehto on käyttää apuna erilaisia pintamalleja, joiden avulla pintaa pystytään mallintamaan tarpeen tullen hyvinkin monipuolisesti. Tunnetuimpia olemassa olevia pintamalleja on Height field, NURBS ja Bezier -pinnat joista kaksi jälkimmäistä ovat käytännössä samoja pintamalleja. Pintamallien etuna on se, että ne ovat helposti

parametrisoitavissa, ja näin ollen pystytään esimerkiksi pinnan tarkkuutta helposti muuttamaan luomalla näiden mallien avulla pinnalle lisää arvioituja pisteitä siten että pinta kaareutuu pehmeästi.

Kolmiulotteisella esityksellä omat erityissovelluksensa, koska esityksellä on joitain rajoituksia. Kolmiulotteiset kuvat eivät sovi esimerkiksi erityisen hyvin paperiversioksi. Kun kuva esitetään kolmiulotteisena siitä voidaan tehdä kaksiulotteinen asiakirjoja tai kuvankäsittelyä varten, esimerkiksi projektiota hyödyntäen. Tällaisissa tapauksissa menetetään kuitenkin myös kuvien informaationsisältöä. Tällaisilla sovelluksilla verkon tarkastelu rajoittuu lähinnä sovelluksen itsensä kautta tehtyyn havainnointiin. Kolmiulotteisissaesityksessä on se etu, että pintaan pystytään näin kohdistamaan paljon helpommin erilaisia kolmiulotteisia operaatioita, joiden avulla pinnasta saadaan paljon havainnollisempi kuva esimerkiksi tarkastelukulmaa muuttamalla.

Näistä malleista Height fieldin [POV] käyttö ei ole kovinkaan hyödyllistä, koska kyseinen pintamalli perustuu siihen, että olemassa oleva pinta esitetään kaksiulotteisena kuvana, jossa värit kuvaavat pinnan korkeutta. Tämä on ongelmallista, koska pintaa koskevat samankaltaiset rajoitukset kuin kaksiulotteista verkon voimakkuuden esittävää kuvaa. Sen avulla ei saada varsinaista lisäarvoa itse pinnalle, lukuun ottamatta visuaalista esitystä. Visualisoinnissa Height field tarvitsee myös muodostukseensa runsaasti tietoa, joten se ei varsinaisesti itse pysty luomaan uutta informaatiota singaalin voimakkuudesta. Tämä tekniikka sopii joihinkin käyttötarkoituksiin, koska tätä tekniikkaa voidaan hyödyntää, jos tahdotaan muuttaa perinteisiä kaksiulotteisia verkon kuluvuuskarttoja kolmiulotteiseen muotoon. Tekniikassa muodostetaan kolmiulotteinen malli perustuen mallin väreihin. Näiden pintojen ongelmana on se, että niitä on hyvin hankala parametrisoida uudestaan. Mikäli pinnan muoto muuttuu jonkin pisteen osalta

tai järjestelmään otetaan mukaan uusia tukiasemia, pinta joudutetaan päivittämään luomalla uusi bittikartta tai korjaamalla vanhaa piirtämällä osa alueesta uudestaan. Lisäksi on myös huomattava, että uuden voimakkuus tiedon tuottaminen käyttämällä tätä mallia on käytännössä mahdotonta, koska kaikki tieto on jo tallennettuna alkuperäiseen kuvaan, eikä malli pysty itse luomaan lisää.

NURBS ja Bezier -pintamalleilla [HAI01] on etuja käytettäessä niitä verkon pinnan kuvaajina, koska kummallekin pinnalle pystytään antamaan parametreja hyvin monipuolisesti. Lisäksi näihin pintoihin on mahdollista käyttää suoraan perinteisen kolmiulotteisen grafiikan keinoja kuten erilaisia muunnoksia ja skaalauksia. Niiden avulla esityksestä saadaan helppolukuisempia pinnan käsittelyä voidaan helpottaa. Pinta on mahdollista laskea erilaisilla tarkkuuksilla, joten laskentaa voidaan tarpeen mukaan nopeuttaa tarkkuuden kustannuksella tarpeen mukaan. On kuitenkin huomattava, että näidenkään pintojen käyttö verkon kuvaajana ei ole täysin ongelmaton, vaan myös näihin pintoihin liittyy lukuisia ongelmia.

Suurin ongelma NURBS-pinnassa on seinien aiheuttama vaikutus, koska tässä kohtaa pinnassa on hyvin jyrkkä muutos alaspäin. NURBS-pintamallit eivät taivu kovin hyvin jyrkkiin muutoksiin pinnassa. Tämän takia näitä pintamalleja ei voida käyttää suoraan, vaan pinta tarvitsee korjauksen, joka lisää tämän ominaisuuden. Kun pinta kohtaa seinäpinnan, pinnan tulee painua voimakkaasti alaspäin. Erittäin tärkeää on, että vaikka signaali painuisikin seinän kohdalla liikaa niin se palautuisi varsin nopeasti oikealle korkeudelleen, jotta tulokset eivät vääristyisi. Pinnan tulisi painua seinien kohdalta mieluummin liikaa kuin liian vähän. Pinnalle pystytään myös helposti rakentamaan tekniikka, jonka avulla mikä tahansa pinnan piste voidaan selvittää helposti erilaisten sovellusten käyttöön.

Näiden menetelmien lisäksi on myös muita mahdollisuuksia luoda pinnan pisteitä. Yksi näistä on erilaisten funktioiden käyttö pinnan kuvaajana. Niiden käyttö on kuitenkin hankalaa, koska eteen tulisi helposti tilanne, jossa eri pinnoille jouduttaisiin määrittämään oma funktio

3.4 Simulaation ja visualisoinnin yhdistäminen

Hyvin useille nykyään käytössä oleville tekniikoille on tyypillistä, että ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan simulointi, jonka tulokset sitten esitetään visualisoinnin keinoilla. Tällaisessa mallissa tulee huomata, että visualisointivaiheessa keskitytään ainoastaan olemassa olevan tiedon esittämiseen. Näitä tekniikoita käytettäessä tiedon esittämistavaksi sopii esimerkiksi height field -tyyliset tekniikat erinomaisesti.

Tässä työssä otettiin kuitenkin käyttöön erilainen tapa, jota voisi kutsua visualisaation ja simulaation yhdistämiseksi. Tekniikan toiminta perustui siihen, että visualisoinnissa käytettyä pintamallia käytettiin myös varsinaisen pinnan laskennassa. Tässä tapauksessa siis myös visualisaatio tuotti omalta osaltaan lisäarvoa varsinaiselle simulaatiolle. Pintamallien käytöstä voidaan saada lisähyötyä ei mitattujen arvojen määrittämiseen. Lisäksi se tarjoaa uusia työkaluja.

4 NURBS JA SEN KÄYTTÖ SIMULOINNISSA

Non-rational uniformal Bezier splines(NURBS) [HAI01] on hyvin yleisesti käytössä oleva pinnan mallinnus tekniikka, jolle on löydettävissä useita eri sovelluskohteita etenkin teollisesta suunnittelusta. Syynä NURBS-pinnan suosioon tällaisissa järjestelmissä on sen taipuisuus ja helppo muuokattavuus.NURBS-pinta onkin eräs CAD-mallinnuksen peruselementeistä [SC02]. Pinnan perusmuoto käy ilmi oheisesta kuvasta (kuva 6). Toinen suosittu NURBS-pinnan kohteista on erilaisten hahmojen luonti. Mallin soveltuvuutta eri käyttökohteisiin kuvaa hyvin NURBS-pinnan käyttö ihmisen anatomiaan, esimerkiksi aivojen kuvaajana [ACH00].Tämä esimerkki kuvaakin hyvin kyseisen pinnan ominaisuuksia. NURBS-pinnalle tyypillinen ominaispiirre on pinnan eteneminen pehmeästi kontrollipisteiden mukaan. Se sopii hyvin erilaisten pintojen, kuten esimerkiksi radioverkon kuuluvuuden mallintamiseen, vaikkakin tähän tarkoitukseen pinnan käyttäytymistä joudutaan hieman sovittamaan toivotun lopputuloksen saamiseksi. Syynä tähän on erilaisten esteiden pinnalle aiheuttamat voimakkaat muutokset, jotka joudutaan erikseen huomioimaan. NURBS-pintaan voidaan vaikuttaa erilaisilla tekijöillä, kuten kontrollipisteillä, painoilla ja knot-vektoreilla. Mallista on olemassa myös erikoistapaus, Bezier's surface, jossa ei ole käytössä pintaan kohdistuvia painoja.



Kuva 6: NURBS-pinta

NURBS-pinta muodostuu useista eri tekijöistä. Ehkä tärkein pintaa ohjaava tekijä on kontrollipisteet. Kontrollipisteet muodostavat pinnalle verkon, jonka päälle varsinainen NURBS-pinta levitetään. Kyseiset pisteet voivat olla, kuten tässä tapauksessa, mitattuja arvoja tai muita pinnan pisteitä, jotka on määritetty esimerkiksi vapaantilan vaimennuksen avulla. Yksittäiset pisteet eivät kuitenkaan vaikuta suoraan pinnan muotoon, vaan näistä pisteistä muodostetaan NURBS-pinnan yhtälön avulla varsinainen pinta, joka on sovitettu kulkemaan mahdollisimman hyvin pisteiden kautta kuitenkin siten, että pinnalla ei tule voimakkaita muutoksia.

Perinteisen NURBS-lähestymistavan lisäksi pinnalla on olemassa myös laajennuksia, joilla sen ominaisuuksia voidaan parantaa huomattavasti. Erityisen huomion arvoinen korjaus NURBS-pintaan on niin sanottu kolmiokorjaus [HAI01]. Koska perinteisessä NURBS-pinnassa pinnan pisteet muodostavat nelikulmioista koostuvan verkon, voidaan mallin kuvaavuutta parantaa esittämällä pisteet kolmioiden verkkona, jonka seurauksena pinnan muoto on entistäkin sulavampi. Lisäksi on kehitetty erilaisia menetelmiä, joiden avulla varsinaista pintaa voidaan muokata huomattavasti pehmeämmäksi. On kuitenkin huomattava, että vaikka NURBS-pintaa voidaan kehittää paremmaksi eri tekniikoilla, mutta samalla mallin kompleksisuus nousee. Kompleksisuuden nouseminen puolestaan pidentää laskenta-aikaa ja lisää tarvetta suuremmalle laiteteholle.

Jotta pintaa voitaisiin ohjata tehokkaammin niin, sen kontrollipisteitä on pystyttävä painottamaan eri tavoilla. Yksi tavallisimmista tavoista on lisätä jokaiselle kontrollipisteelle paino, jonka avulla pystytään muuttamaan eri kontrollipisteiden merkittävyyksiä. Mikäli jokaisella kontrollipisteellä on yhtä suuri paino, painokertoimet supistuvat kokonaan pois, eikä niillä silloin ole vaikutusta pinnan muotoon. Pintaa josta painot on supistettu pois kutsutaan Bezier-pinnaksi [HAI01].

4.1 NURBS-algoritmi

NURBS-algoritmi on laskennallisesti raskas algoritmi etenkin silloin, kun halutaan saada hyvin yksityiskohtainen pinta. Algoritmin toimintaa hidastaa erityisesti rekursiivinen vaihe, joka muodostaa NURBS-pinnan perustan. Paras tapa nopeuttaa laskentaa on pitää pinnan asteluku riittävän pienenä ja käyttää vain pientä joukkoa kontrollipisteitä. Lisäksi on huomattava, että kyseisen mallin hallintaan tarvitaan tietoa mallin käyttäytymisestä. NURBS-pinnan muotoa määritellään kaavan 6 mukaan, kontrollipisteiden, näiden pisteiden painotuksilla sekä rekursiivisella yhtälöllä (kaava 6) [SCE02]. Rekursiivisessa yhtälössä suoritetaan tarkastelu kummankin koordinaatin suhteen. Funktion N tarkoituksena on pyrkiä säätämään pisteen merkitsevyyttä kontrollipisteiden suhteen. Pinnan määrittämisen yhtälössä p ja q kuvaavat pinnalla olevien kontrollipisteiden lukumäärää. Muuttujat m ja n kertovat funktion B asteen, eli käytännössä ne kuvaavat pinnan pehmeyttä.

$$S(u, v) = \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n N_{i,n}(u) N_{j,m}(v) P_{i,j} \quad 0 < u, v < 1 \quad (6)$$

jossa u, v pinnan x ja y koordinaatit, jotka on määritelty välille $[0,1]$
 $P_{i,j}$ signaalin voimakkuus kontrollipisteessä koordinaateissa i, j
 m, n Bezier-käyrän asteluvut

Laskennassa käytetään näiden tekijöiden lisäksi funktiota $N_{i,p}(u)$. Tämä funktio perustuu Bezier-käyrään ja on määritelty kaavassa 7.

$$N_{i,p}(u) = \begin{cases} 1 & \text{jos} & u_i < u < u_{i+1} \\ 0 & \text{muulloin} \end{cases}$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u) \quad (7)$$

,jossa u on ns. knot-vektori.

Yhtälö 7 on esimerkki sellaisesta versiosta, jossa ei ole huomioitu pisteisiin liitettyjen painoarvojen vaikutusta. Jos niitä haluttaisiin huomioida jouduttaisiin N :n yhtälöstä kertomaan summalausekkeen sisältö sekä jaettavasta, että jakajasta painoarvolla.

Knot-vektori on ehkä monimutkaisin NURBS-pintaan vaikuttava tekijä. Knot-vektorin vaikutus määrittää sen, miten suurelle alueelle kontrollipisteiden aiheuttama vaikutus kohdistuu.

Knot-vektori yleinen muoto on esitetty kaavassa 8

$$\begin{aligned} U &= \{0, \dots, 0, u_{p+1}, \dots, u_{r-p-1}, 1, \dots, 1\} \\ V &= \{0, \dots, 0, u_{p+1}, \dots, u_{s-q-1}, 1, \dots, 1\} \end{aligned} \quad (8)$$

Jossa U sisältää $r + 1$ alkioita ja V $s + 1$ alkioita, kun $r = n + p + 1$ ja $s = m + q + 1$. Varsinaisessa pinnan muodostuksessa tulee siis löytää mahdollisimman sopiva u vektori, jotta tuloksesta tulisi mahdollisimman paljon halutun kaltainen. U on suuntaan u suuntainen vektori ja V on suunnan v suuntainen vektori.

Kun tarkastellaan varsinaisen knot-vektorin valintaa, on mietittävä sitä, miten sen vaikuttaa itse malliin. Lisäksi NURBS-pinnat käyttävät koordinaatistoa, jonka skaala on $[-1,1]$. Knot-vektori rajaa pisteen vaikutuksen pinalle alueelle $[u_i, u_{i+p+1}]$ [SCE02].

NURBS-pinnalla on erilaisia operaatioita joiden kautta voidaan vaikuttaa pinnan muotoon siten, ettei kaikkea tarvitse laskea uudestaan. Eräs mielenkiintoisimmista NURBS-pinnan ominaisuuksista on sen asteluvun muuttaminen. Järjestelmä siis mahdollistaa knot-vektorien pituuden muuttamisen [HAI01].

Tässä NURBS-pinnan sovelluksessa knot-vektori valittiin dynaamisesti käyttäen hyväksi arvioita pinnan todellisista muodoista. Tällä tavalla saavutettiin pinnalle sopiva muoto ja pehmeys.

4.2 NURBS ja vapaan tilan vaimennus

NURBS-pinnan luonnollinen ominaisuuksia on sen pehmeys ja jatkuvuus, joiden takia se sopiikin erinomaisesti erilaisiin simulointitarkoituksiin. Erityisen huomattavaa on NURBS-pinnassa olevan huipun muoto, joka on usein hyvin sulava. Tämä aiheuttaa mallin kannalta ongelman, koska vapaan tilan vaimennukseen verrattaessa havaitaan pinnan käyttäytyminen hyvin erilaiseksi. Vapaan tilan vaimennus muistuttaa hyvin paljon logaritmilausekettä, jolla on terävä huippu toisin kuin vapaantilan vaimennuksella selvitetystä pinnassa. Tämän ongelman esiintymistä on kuitenkin mahdollista rajoittaa ja siihen on olemassa kaksi erilaista ratkaisua. Kummallekin näistä tavoista on kuitenkin osittain samantyylinen lähestymistapa. Kumpikin pyrkii nostamaan pinnan pisteiden lukumäärää erilaisia tekniikoita hyväksi käyttäen.

Ensimmäinen lähestymistapa ongelmaan on lähinnä mittaustekninen. Koska NURBS-pinta pyrkii mukauttamaan itsensä kulkemaan mahdollisimman hyvin kontrollipisteiden läpi, voidaan tulokseen vaikuttaa lisäämällä kontrollipisteiden määrää ongelmallisilla alueilla. Sovellukseen siis tulee syöttää suurempi määrä pisteitä, kun ollaan lähellä

pinnan huippua tai pohjaa eli tukiasemien tai seinien läheisyydessä. Pisteiden lisääminen ongelma-alueille manuaalisesti hankaloittaisi huomattavasti sovelluksen käyttöä, koska käyttäjä joutuisi laatimaan huomattavasti tarkemman suunnitelman siitä miten pisteitä mitataan. Tämän vuoksi ratkaisuna ongelmaan käytettiin erilaista lähestymistapaa.

Käytetty ratkaisu muistuttaa jonkin verran edellistä ratkaisua, koska myös tässä ratkaisussa pyritään lisäämään vaikuttavien pisteiden määrää. Tässä mallissa selvitetään huoneen kulmien sijainnit. Tämän jälkeen lasketaan vapaantilan vaimennusta hyväksi käyttäen signaalin voimakkuudet kulmapisteissä. Erona edelliseen malliin tässä on se, että käyttäjän ei itse tarvitse huomioida pinnan käyttäytymistä, vaan se jää järjestelmän automatiikan vastuulle. Tämän ansiosta mittauspisteiden valinnalle ei jää suurta merkitystä. Lisäksi tätä tapaa hyödyntämällä saadaan huomattavia määriä uutta luotettavaa tietoa järjestelmän käyttöön, koska vapaan tilan vaimennuksella pystytään arvioimaan riittävän luotettavasti signaalin eteneminen huoneen sisällä.

4.3 Seinien vaikutuksen tuominen pintaan

NURBS-pinta ei suoraan sovellu simulointiin, koska pinta on muodoltaan turhan pehmeä. Esimerkiksi seinien lähellä pinta ei muutu tarpeeksi jyrkästi. Tämän huomioimiseksi pintaan siis tarvitaan korjaus, joka huolehtii pinnan muutoksista seinien lähellä. Kaareuttamalla pintaa jyrkästi seinien kohdalla saadaan seinät näkymään pinnassa paremmin ja saadaan pienennyä riskiä että paikannuksessa lähimmän pisteen etsintä harhautuisi.

NURBS-pinnoille on toteutettu järjestelmä, jonka avulla pystytään vaikuttamaan eri kontrollipisteiden merkittävyyteen pinnalla. Tämä ei kuitenkaan ratkaise seinien ai-

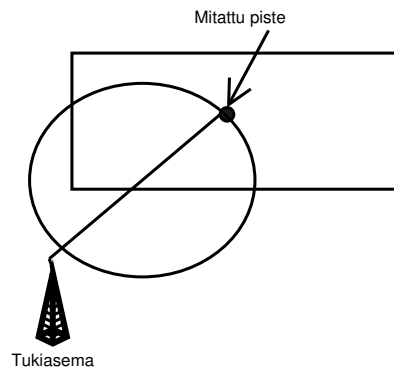
heuttamaa ongelmaa. Vaikka paino kaareuttaisi pintaa juuri seinän kohdalta voimakkaasti, niin kaareutuminen ei kuitenkaan ole riittävän jyrkkä, toisin kuin signaalin muutos on sen kohdatessa seinän. Lisäksi paino vaikuttaisi seinän kummallekin puolelle.

Selvitettäessä seinien vaikutusta signaaliin tarkastellaan ensin pisteen etäisyyttä lähimmistä seinistä. Seuraavaksi selvitetään, mitkä seinät vaikuttavat signaalin voimakkuuteen, eli onko seinä tukiaseman ja laskettavan pisteen välissä. Tämä voidaan tehdä yksinkertaisesti vertaamalla pisteen koordinaatteja tukiaseman ja seinäpinnan vastaviin koordinaatteihin. Tällöin on varmistettava, ettei seinäpinta esimerkiksi ole loppunut, jolloin signaali ei kohtaakaan seinää matkalla tukiasemalle. Seuraavaksi tulee määrittää se, miten seinäpinnat todellisuudessa vaikuttavat malliin.

Ongelmallista seinien vaikutuksen laskennassa on se, että seinän toisella puolella sijaitsevat pisteet kuvaavat signaalin todellista arvoa, ja näissä pisteissä pinnan pitäisi olla samalla tasolla. Korjauksen pitäisi muuttaa pintaa siten, että pinta laskee seinän kohdalla hyvin jyrkästi, mutta kohoaa sitten hyvin voimakkaasti oikealle tasolleen. Erityisesti tulisi huomioida se, että signaalitason laskiessa seinien kohdalla voi sen voimakkuus jäädä paljon alle se todellisen arvon tai yli. Oikeasta tasosta ei ole mahdollista saavuttaa täyttä varmuutta. Pintaa tulisi laskea siten, että lasku on varmasti suurempi kun seinän aiheuttama vaimennus. Tästä tasosta pintaa nostetaan ylös siten, että seinän vaikutus vähenee seinästä edettäessä ja kontrollipisteiden vaikutus pinnan muotoon kasvaa.

Logaritmiset lausekkeet sopivat muodoltaan hyvin edellisen kaltaisen ongelman ratkaisuun. Tässä tapauksessa lausekkeen tulisi ottaa parametreinaan etäisyydet lähimmistä seinistä, jotka vaikuttavat pinnan muotoon.

Sovelluksessa käytetty ratkaisu perustuu algoritmiin, jossa lasketaan signaalien läpäisemien seinien aiheuttamia vaikutuksia. Kun malli kohtaa seinän, laaditaan arvio sen aiheuttamasta vaimennuksesta ja vaikutusalueesta. Pintaa lasketaan tässä vaiheessa huomattavasti, mutta se palautetaan oikealle tasolle käyttämällä apuna huoneen sisältä mitattua pistettä, joka kuvaa signaalin todellista tasoa. Tämän pisteen perusteella suoritetaan arvio siitä, milloin pisteen tulisi saavuttaa oikea taso. Kuvassa 7 on esitetty menetelmä, jonka avulla pystytään arvioimaan etäisyyttä ja sitä millä tasolla pinnan tulisi olla. Seinien huomioimisessa ei riitä siis pelkästään se, miten signaali käyttäytyy juuri seinän kohdalla, vaan vaikutus on kauaskantoinen. NURBS-pintaan vaikuttavat myös naapurihuoneessa sijaitsevat pisteet, ellei pintaa katkaista kokonaan. Tätä ongelmaa voidaan lähestyä siten, että pintaa lasketaan seinien läheisyydestä.



Kuva 7: Oikean signaalitason selvittäminen

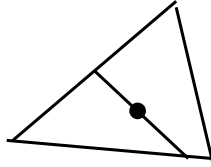
Eräänä tapana parantaa seinäarvion luetettavuutta on käyttää kuvaan sijoitettua, metatietoa. Koska rakennuksen pohjapiirros syötetään järjestelmään kuvana, siihen voidaan myös sijoittaa metatietoa esimerkiksi värikoodausta käyttämällä. Näin voidaan rakentaa järjestelmä, joka pyrkii huomioimaan myös erilaisten pintamateriaalien käytön ja niiden aiheuttaman vastustuksen. Myös pinnan heijastusominaisuuksia voidaan pyr-

kiä tätä kautta välittämään. Kuvat toimitetaan järjestelmään RGB-muodossa, joten jokaisessa kolmessa komponentissa voi olla 256 eri sävyä. Tällä saavutetaan huomattava tehokkuus järjestelmän tiedon säilytyksessä, ja tieto on vielä helposti hyödynnettävissä. Tämä mahdollistaa joko hyvin usean tekijän sisällyttämisen väriin tai useamman eri parametrin käytön värisävyjen sisällä, jolloin seinän ominaisuudet voidaan eritellä hyvinkin tehokkaasti.

4.4 Pinnan operaatiot ja rakenteeseen vaikuttaminen

Kun radioverkon kuuluvuutta kuvataan pinnan avulla joudutaan miettimään myös sitä mitä erilaisia operaatioita pintaan voidaan kohdistaa. Kun tarkastellaan mitä ominaisuuksia on järjestelmässä on voidaan suunnitella kuuluvuusalueen mallin käytölle erilaisia uusia sovelluksia ja tarkastella sitä miten uudet ominaisuudet voisivat tehostaa aikaisempien ominaisuuksien käyttöä.

Eräs pintamallin tärkeimmistä ominaisuuksista on se, miten pysytään selvittämään radioverkon kuuluvuus yksittäisessä pisteessä. Tämän ominaisuuden toimintaan vaikuttaa se miten pinta on muodostettu. Jos pinta on kuvattu matemaattisen lausekkeen avulla on sen käyttäminen suoraviivaista. Mikäli pintaa kuvataan pisteiden avulla niin kuin tässä tapauksessa joudutaan pisteen voimakkuus määrittämään ympäristön pisteiden avulla. Tähän käytettiin seuraavaa tekniikkaa. Tarvittavan pistetiedon ympäriltä valittiin kolme pistettä, jotka virittivät pinnalle kolmion. Sitten kolmion läpi piirretään lävistäjä joka leikkaa kaksi sivua ja pisteen, kuten kuvassa 8 esitetään. Tämän jälkeen määritetään signaalin voimakkuudet niissä pisteissä missä lävistäjä leikkaa kolmion. Tämän jälkeen määritetään näiden leikkauspisteiden avulla halutussa pisteessä vallitseva signaalin voimakkuus.



Kuva 8: Pisteen laskeminen pinnalta

Pisteen voimakkuuden selvittäminen pinnalta ei ole ainut operaatio, joka voidaan kohdistaa pintamalliin. Keskeisiä operaatioita ovat erilaiset kolmiulotteiset operaatiot joilla pintaa pystytään helposti muuttamaan paremmin tarpeisiin sopivaksi. Näitä operaatioita ovat siirrot skaalaukset ja käännöt. Siirtojen avulla pystytään mallilla helposti selvittämään, alueet joilla radioverkko on kuultavissa siten, että liikutetaan kuuluvuus pintaa niin, että alueet joilla ei ole havaittavissa riittävän voimakasta signaalia leikkautuvat pois. Skaalausten avulla saavutetaan pinnalla helposti oikeat mittasuhteet. Käännöt puolestaan mahdollistavat pinnan laajemman tutkimisen erilaisia näkökulmia hyödyntäen.

Projektio on myös tärkeä pinnan ominaisuus jos on tarvetta muodostaa siitä kuva esimerkiksi paperille. Tämän tekniikan avulla on mahdollista muodostaa perinteisemmän esityksen mukainen 2D esitys, siten että signaalin voimakkuutta kuvataan värein.

Lisäksi pinnan helppo hallittavuus on yksi hyvin tärkeä näkökulma kuuluvuus alueen mallintamisen kannalta. Erityisen tärkeää on pystyä vaikuttamaan siihen miten pitkälle yksi yksittäinen piste vaikuttaa pinnalla. Toisena tärkeänä tekijänä mainittakoon se miten erilaiset ympäristötekijät vaikuttavat mallin käyttäytymiseen. Esimerkiksi miten seinien vaikutus kuvastuu varsinaisessa mallissa, siten että itse malli on helpommin käytettävissä eri sovelluksissa, siten että myös sovellusten luotettavuus on kasvanut.

5 JÄRJESTELMÄN RAKENNE

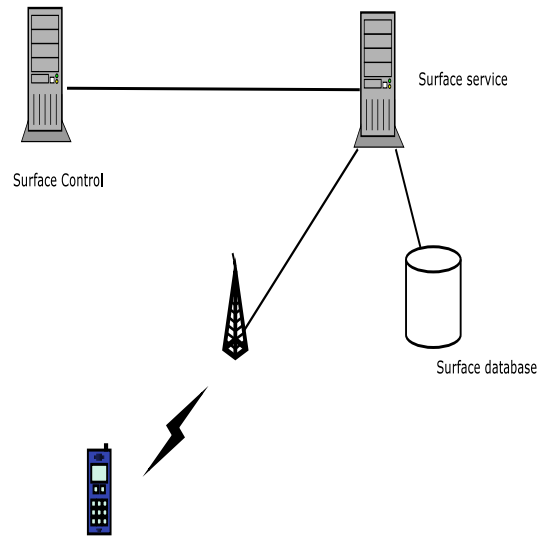
Järjestelmä vaatii toimiakseen useita eri osia ja toimintoja. Oleellisia ovat komponenttirakenne, käytetty protkolla, tiedon talletus tavat sekä itse pinnan laskenta.

5.1 Komponenttirakenne

Järjestelmän muodostuu kolmesta eri komponentista, kuten kuvassa 9 on esitetty. Ensimmäisenä on varsinainen palvelinohjelmisto (Surface Service), joka huolehtii paikannusprosessista. Palvelimen tehtäviin kuuluvat paikannusoperaatioiden ohella mallin tietojen taltioiminen ja hallinta. Toisena komponenttina on palvelimeen liittyvä hallintaohjelma (Surface Control), jolla voidaan hallita, lisätä tietoja ja tarkastella mallia. Kolmantena komponenttina on palvelua käyttävä asiakas ohjelmisto, jonka tehtävänä on suorittaa signaalin voimakkuuden mittaukset, lähettää kysely ja niiden perusteella palvelimelta saadun tiedon esittäminen asiakkaalle.

5.1.1 Surface Service

Surface Service on järjestelmän palveluosa. Tähän komponenttiin, kuten kuvasta 9 näkyy, on liitetty tietokanta, jona tässä tapauksessa toimii MySQL-tietokantasovellus [MYS]. Palvelun varsinainen tehtävä on tarjota verkon muille komponenteille yksinkertainen rajapinta, jonka avulla pystytään muuttamaan ja lisäämään tietokantaan tallennettuja tietoja ja hyödyntäminen niitä. Toisena tämän osan tehtävänä on tarjota yksinkertainen paikannusratkaisu, joka kertoo asiakassovellukselle myös arvion siitä, miten useasti tämän tulisi suorittaa paikannusta, jotta tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia.

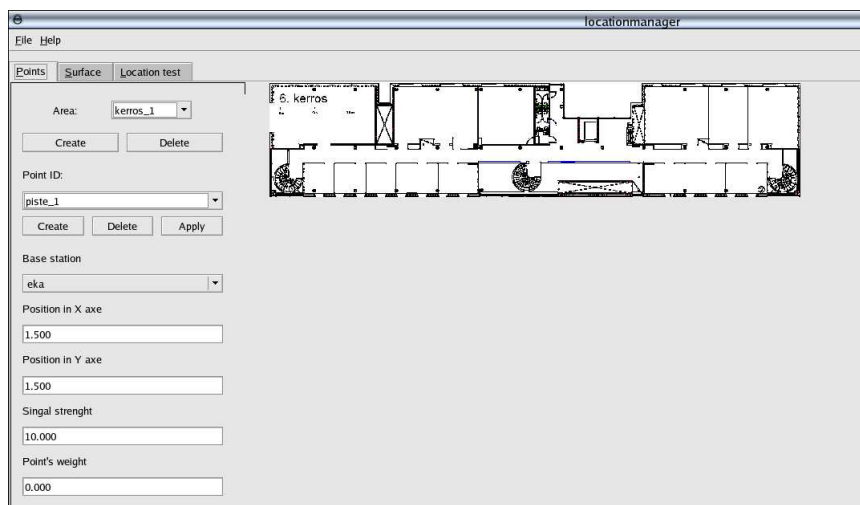


Kuva 9: Järjestelmän rakenne

5.1.2 Surface Manager

Surface Manager on puolestaan QT-pohjainen [TRO] Linux-sovellus (kuva 10), jota voidaan hallita graafisen käyttöliittymän kautta tai ohjaamalla sovellusta komentoriviparametrien avulla, jolloin sovellus on helpompi ajaa hyödyntäen etäyhteyttä. Tämä komponentti sisältää useita eri toimintoja ja mahdollistaa järjestelmän käytön useisiin eri tarkoituksiin, kuten pinnan hallintaan, tarkasteluun, laskentaan ja paikannukseen.

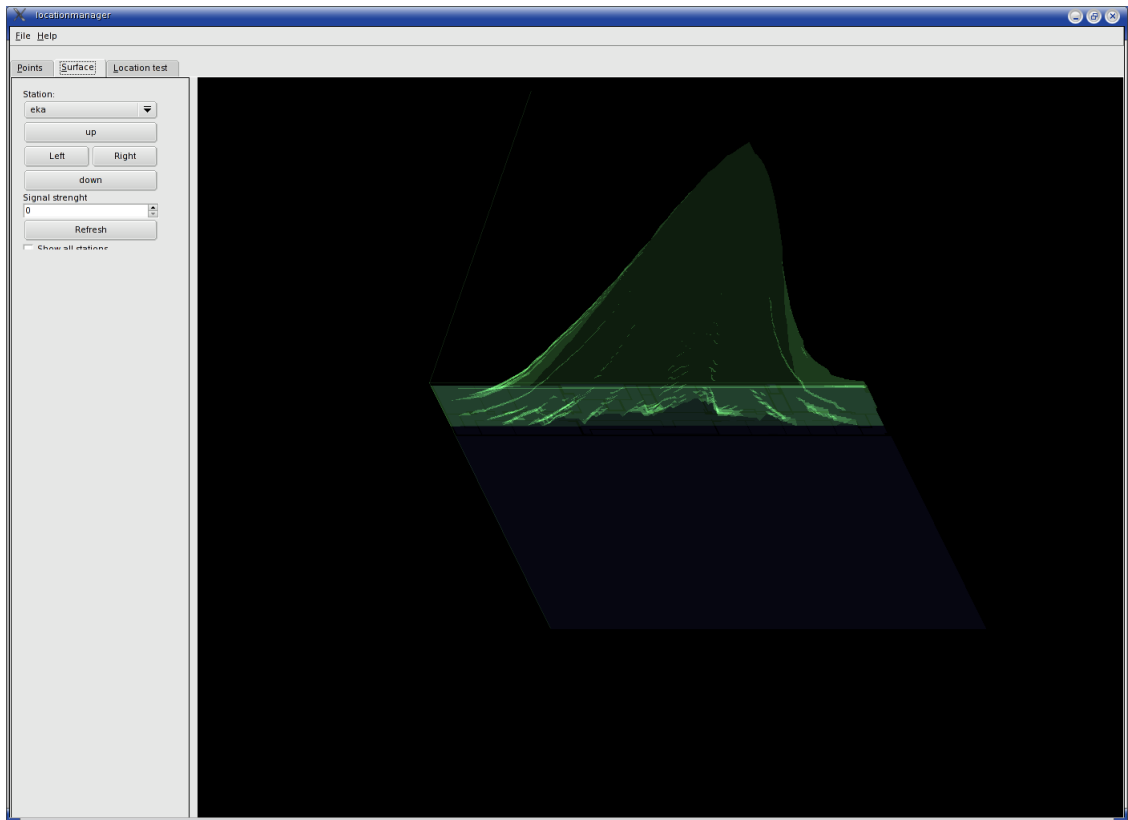
Pinnan hallinta on toteutettu sovelluksessa siten, että käyttäjä syöttää mitattuja signaalivoimakkuuksia mallille. Jokaisesta pisteestä tarvitaan tieto siitä, mistä tukiasemasta kyseinen signaali on peräisin. Jokaisessa pisteestä pitää tallettaa järjestelmään tiedot kaikkien kuuluvien tukiasemien suhteen. Mikäli jokin tukiasema ei kuulu, merkitään signaalin voimakkuutta nolllalla. Tätä kautta on myös mahdollista poistaa tai muuttaa järjestelmään lisättyjä pisteitä.



Kuva 10: Pisteiden hallinta

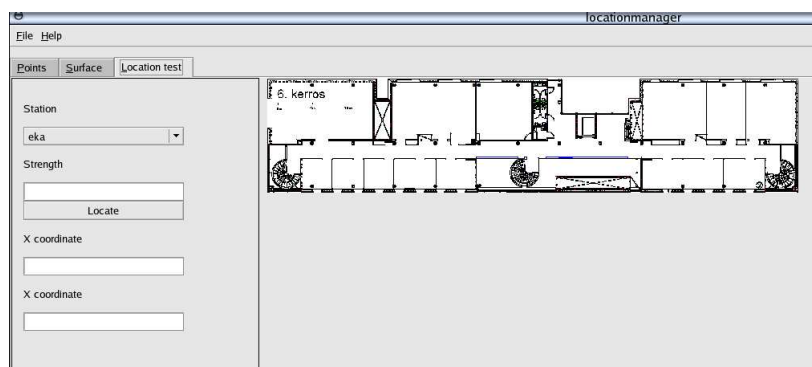
Toinen tärkeä tehtävä järjestelmässä on pinnan tarkastelu (kuva 11). Tämä on toteutettu käyttämällä QT-dialogiin upotettua OpenGL-objektia [OPE]. Pinta piirtyy järjestelmään siten, että signaalin voimakkuus on kuvattu kartan yllä levittäytyvänä pintana. Tätä OpenGL-objektia on mahdollista siirtää ja kääntää sivupaneeliin sijoitettujen kontrollipainikkeiden avulla. Lisäksi pinnan korkeutta voidaan muuttaa siten, että pinta saadaan leikkaamaan varsinainen karttaosa. Ominaisuutta voidaan käyttää esimerkiksi, kun halutaan tarkastella signaalin kuuluvuuksia. Lisäksi tästä kaaviosta voidaan tarkastella pinnan kuuluvuuksia eri tukiasemien suhteen, koska näin saadaan kuva yksittäisen tukiaseman vaikutuksesta verkon kuuluvuuteen.

Kolmantena komponenttina hallintasovelluksessa on paikannuksen testausjärjestelmä, joka on esitetty kuvassa 12. Sen avulla voidaan hallita mallinnusta ja muodostomaan järjestelmälle paikannusoperaatioita. Testausjärjestelmälle syötetään eri tukiasemien signaalin voimakkuudet, joiden perusteella suoritetaan kysely paikannuspalvelulle.



Kuva 11: Kolmiulotteinen pinta

Ehkä tärkein asia pinnan tarkastelussa on se, miten hallinta sovelluksessa on toteutettu varsinainen pinnan laskenta. Tätä varten on kehitetty sovellukseen kaksi vaihtoehtoista tapaa. Laskenta voidaan suorittaa komentorivin tai graafisen sovelluksen avulla. Hallinta on toteutettu siten, että aina käynnistyessään sovellus kysyy aluetta, jota sen pitää käsitellä. Tässä vaiheessa voidaan myös valita, että käsitellään kokonaista aluetta. Piirrettävä alue voidaan rajata käsiteltyä aluetta suppeammalle alueelle. Samalla kun kysytään laskettavaa aluetta, voidaan valita tietokantaan tallennetulle tiedolle indeksointi. Indeksoinnin tarkoituksena on helpottaa mahdollisuutta jakaa kokonaisen pinnan laskemista useammalle koneelle. Toinen etu käsiteltävän alueen valinnassa on se, että kun käsitellään suuria alueita, on mahdollista valita alue, jonka tiedetään muut-



Kuva 12: Paikannuksen testaus

tuneen. Tällöin ei tarvitse laskea koko pintaa uudestaan, vaan pinta voidaan laskea uudestaan rajatulta alueelta.

5.1.3 Asiakas

Tässä järjestelmässä asiakas on hyvin yksinkertaisessa roolissa. Asiakkaan tehtäväksi muodostuu pelkästään eri tukiasemien signaalien voimakkuuksien mittaaminen ja kyselyn lähettäminen paikannuspalveluun. Tämän jälkeen asiakassovelluksen tulee esittää tulos käyttäjälle tai pyrkiä hyödyntämään sitä esimerkiksi jossain paikannukseen perustuvassa palvelussa. Päätelaitteen tulee pystyä mittaamaan eri tukiasemista kuuluvia signaalien voimakkuuksia, päästä verkkoon, johon palvelu on sijoitettu ja pystyä esittämään lopputulos käyttäjälle. Varsinainen laskenta tulee suorittaa palvelimen puolella, jotta sovellusta voidaan käyttää myös heikkotehoisissa päätelaitteissa.

5.2 Protokolla

Protokollalla on tässä sovelluksessa, kuten muissakin tietoliikennesovelluksissa, oma tärkeä osansa. Tässä järjestelmässä tarvitaan kahta erilaista verkkotoimintoa, asiakkaan

ja palvelun välinen kommunikointi ja hallintasovelluksen ja itse palvelun välinen kommunikaatio. Hallintasovelluksen rajapinta sisältää myös asiakkaan verkkorajapinnan. Yleinen muoto eri operaatioille on:

Operaatio:parametrin nimi:arvo\r\n

Sovellukselle tarvitaan laaja rajapinta tekemään hyvin erilaisia hakuja ja tiedon muutto-operaatioita palveluun. Rajapinnan avulla hoidetaan pinta-, tukiasema- ja erilaisten aluetietojen talletus tietokantaan. Jotta rajapinnan toiminta olisi järkevää, siinä on oltava mahdollista lisätä, muuttaa ja poistaa pisteitä. Lisäksi tarvitaan mahdollisuus suorittaa varsinaiseen tietokantaan hakuja, joiden avulla voidaan tarjota riittävästi tietoa tallennettujen pisteiden hyödyntämiseen.

5.3 Tiedon talletusrakenteet

Jotta järjestelmän toiminta olisi järkevää, tulee tietoa pystyä tallentamaan. Järjestelmässä käytetään kahta erilaista tapaa tallettaa järjestelmän toiminnan kannalta oleellisia tietoja. Ensimmäinen on yksinkertainen tekstitiedosto, ja toinen MySQL tietokanta [MYS].

Tekstitiedostoon tallennetaan järjestelmän toiminnan kannalta välttämätöntä tietoa. Tekstitiedostoa on myös helppo editoida jollain tekstieditorille. Oleellisin tieto, jota järjestelmän toiminta vaatii, on tietokannan sijainti, koska on mahdollista, että se on sijoitettu eri laitteeseen kuin varsinainen palvelu. Tiedon talletusmuoto tiedostoon on hyvin yksinkertainen. Tieto on tallennettu siten, että rivin jakaa yhtäsuuruusmerkki,

Taulukko 2: Alueen määrittäykset

Alkio	Tyyppi
Area	Varchar(20)

Taulukko 3: Tukiaseman määrittäykset

Alkio	Tyyppi
Stationid	Varchar(20)
Address	Varchar(20)
Alueid	Varchar(20)

jonka vasemmalla puolella on avainsana ja oikealla puolella tähän liitetty tieto, kuten tietokannan osoite.

Järjestelmä käyttää tietokantaa pisteisiin, alueisiin ja tukiasemiin liittyvään tiedon tallentamiseen. Tietokantana toimii MySQL:n päälle rakennettu yksinkertainen tietokanta, jonne on tallennettu kolmenlaista tietoa, alue-, tukiasema- ja pistetietoa.

Tietokantaan tulee tallentaa tietoa eri alueista (taulukko 2), koska sen käsiteltäväksi on mahdollista tallentaa erilaisia alueita. Alueiden yksilöinnin varmistamiseksi niistä tulee tallentaa nimi ja tunniste.

Toinen tallennettava asia on tiedot eri tukiasemista. Tukiasemista on tallennettava ne yksilöivä tunniste, jona voidaan käyttää tukiaseman MAC-osoitetta. Näihin nimiin on hyvä liittää niitä kuvaava nimi, jotta ne voidaan tunnistaa helpommin. Lisäksi

Taulukko 4: Pisteiden määritykset

Alkio	Tyyppi
Reg	Varchar(20)
Point	Varchar(20)
Area	Varchar(20)
Station	Varchar(20)
X	Float
Y	Float
Z	Float
Type	Numeric, 0-2

jokaisesta tukiasemasta tulee tallentaa alueen tunniste jossa tukiasema vaikuttaa.

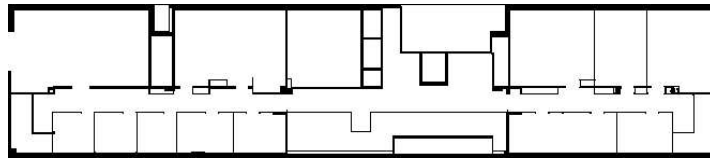
Oleellisia pisteestä talletettavia tietoja (taulukko 4) ovat pisteen sijainti ja signaalin voimakkuus siinä. Lisäksi on tärkeää tietää talletetun pisteen tyyppi (taulukko 5). Piste voi olla joko mittauksen tuloksena saatu, vapaan tilan vaimennuksella, tai pinnan avulla laskettu.

Taulukko 5: Tyypin määritykset

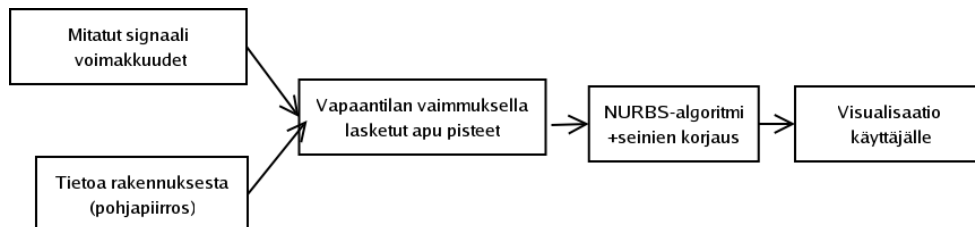
Tyyppi numero	Merkitys
0	Mitattu piste
1	Simuloitu piste
2	vapaantilan vaimennuksella laskettu piste

5.4 Pinnan laskenta

Pinnan laskenta on yksi mallinnusjärjestelmän monimutkaisimpia vaiheita. Yleisellä tasolla prosessi on kuvattu kuvassa 14. Pinnan laskenta perustuu tarkoitukseen hie- man muutetun pintamallin käyttöön, koska se ei aivan suoraan sovellu laskentaan. Malli ei käytä pelkkiä mitattuja pisteitä varsinaisen pinnan perustana vaan laskee apupis- teitä myös ennen varsinaista NURBS-pinnan luomista. Näistä pisteistä saadaan luotet- tavaa lisä tietoa varsinaisen pinnan laskentaan. Pinnan korjaus seinien suhteen suoritetaan kuitenkin vasta jokaiselle NURBS-pinnan luodulle pisteelle. Laskentaoperaatiossa käytetään tietokantaan talletettujen lukujen lisäksi apuna bittikarttoja. Niiden avul- la välitetään tietoa rakennuksen rakenteista (kuva 13), jotka järjestelmään välitetään kuvatiedoston avulla. Pinnan laskentaa varten tarvitaan siis tieto pinnan pisteiden ar- voista sekä kartan, jonka avulla rakenteet pystytään selvittämään.



Kuva 13: Käytetty kartta rakenteista



Kuva 14: Mallin luominen NURBS:n avulla

Ensimmäinen vaihe pinnan laskennassa on määrittää pinnalle lisää sen tarvitsemia pisteitä, koska tätä kautta NURBS-pinta saadaan noudattamaan paremmin vaimen-

emismalleja. Näin myös tulokset saadaan luotettavammiksi. Tässä tapauksessa pisteet lasketaan siten, että jokaisen mittapisteen ympäriltä etsitään huoneen kulmat. Näihin kulmapisteisiin lasketaan vapaan tilan vaimennuksen mukaiset voimakkuusarvo. Kulmapisteet saadaan selville bittikartasta, jossa suoritetaan yksinkertainen etsintäoperaatio, jossa siirrytään mahdollisimman kauas ensin yhteen suuntaan kunnes kohdataan seinä ja sitten toiseen. Esimerkiksi ensin vasemmalle ja sitten ylös jos halutaan löytää vasemmassa yläkulmassa oleva seinä. Suunta on siis valittava sen mukaan mikä kulmapiste halutaan selvittää.

Toisessa vaiheessa suoritetaan NURBS-pinnan laskeminen. Tässä operaatiossa käytetään tietona etukäteen syötettyjä ja mitattuja pisteitä sekä aikaisemmin laskettuja arvoja, jotka annetaan NURBS-algoritmile, joka luo näiden perusteella verkon kuuluvuutta kuvastavan pinnan.

Pinnan pisteiden arvot eivät kuitenkaan vielä vastaa oikeita arvoja vaan sen muotoa pitää korjata rakenteiden mukaan, jotta rakenteiden vaikutukset näkyisivät pinnassa oikein. Mallissa korjaus suoritettiin siten, että tarkasteltiin pisteen etäisyyttä seinistä. Tämän perusteella laskettiin korjauskerroin, jolla alkuperäinen tulos kerrottiin. Seiniä etsitään samankaltaisella tavalla kuin kulmia. Lisäksi on huomioitava tukiaseman suunta, koska seinällä ei ole merkitystä jos se ei ole tukiaseman ja laskettavan pisteen välissä. Tämän vuoksi malliin onkin rakennettava automatiikka, joka pystyy päättämään onko seinä pisteen ja tukiaseman välissä vai eikö.

6 MALLIN KÄYTTÖ

Mallin käyttötarkoitus muodostaa perustan mallinnukselle. Siksi on tärkeää selvittää mihin mallia on tarkoitus käyttää. Mallien käyttö voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, verkon suunnitteluun ja mallin tarjoamiin palveluihin.

6.1 Suunnittelu

Verkkojen koon kasvaessa myös niiden rakenteesta on tullut huomattavasti aikaisempaa monimutkaisempi. Tämä lähtökohta asettaa uudet suunnittelumenetelmät tärkeämpään valoon kuin aikaisemmin. Verkon suunnittelussa on lukuisia eri osa-alueita, kuten verkon laitteiden keskinäisten vuorovaikusten arviointi, tukiasemien määrä ja sijoitus. Lisäksi tarvitaan yleiskuvaa siitä verkon kuuluvuudesta. Tukiasemien määrällä puolestaan on hyvin suuri vaikutus järjestelmän kustannuksiin, koska hyvällä tukiasemien sijoittelulla voidaan vähentää niiden määrää ja siten myös kustannuksia.

Verkon suunnitteluun tällä mallilla on myös rajoituksia. Rajoituksena mallissa on sen vaatima sovellus. Malli ei sovi kovin hyvin siihen, että siitä otettaisiin myös paperille tulostettu versio. Mallissa on kuitenkin myös etuja, koska malliin on mahdollista kohdistaa erilaisia kolmiulotteisia operaatioita, kuten skaalaus ja siirto. Näiden avulla on mahdollista selvittää hyvinkin nopeasti alueet, joilla signaali kuuluu tietyllä voimakkuudella. Se tapahtuu laskemalla pintaa niin, että kuuluvuusalueet nähdään tasosta nousevana pintana. Pinnalla on siis mahdollista tarkastella joko yksittäisten tukiasemien aiheuttamia kuuluvuuksia tai vaihtoehtoisesti useamman tukiaseman yhdessä tuottama kuuluvuutta.

6.2 Paikannus

Paikkunnusta tarjoavat palvelut ovat tyypillinen radioverkon mallinnusta käyttävä palveluryhmä. Palvelua voidaan joko tarjota suoraan käyttäjälle tai muiden sovellusten käyttöön. Paikannusta voidaan suorittaa useata eri tekniikkaa hyväksi käyttäen. Suurin osa tekniikoista perustuu signaalin kulkuun, mutta karkeaa paikannusta voidaan tehdä myös tukiasemien perustueella [BP99]. Tällöin saadaan kuitenkin vain tieto siitä, minkä tukiaseman kuuluvuusalueella kyseessä oleva päätelaite on. Tarkempi vaihtoehto paikkatiedon saamiselle on tarkastella päätelaitteen kuuluvuutta useammassa eri tukiasemassa ja hakea näiden kuuluvuuksien leikkauspiste leikkauspiste, jossa päätelaite mahdollisesti sijaitsee.

Paikannusta voidaan tehdä päätelaitteeseen sijoitetun asiakassovelluksen tai tukiasemien kautta. Eräänä tapana voidaan kuitenkin pitää päätelaitteeseen sijoitettua sovellusta, joka selvittää päätelaitteen kuulemien tukiasemien voimakkuudet ja lähettää niiden perusteella kyselyn paikannuspalveluun. Myös tukiasemien kautta pystytään selvittämään päätelaitteen paikka. Tästä esimerkkinä voidaan pitää solupaikannusta, jossa tukiaseman tarvitsee vain kertoa, onko päätelaite kyseisessä solussa [SEP02]. Tukiasemalta voidaan pyytää myös tietoa eri päätelaitteiden signaalin voimakkuuksista. Tässä toteutuksessa on kuitenkin useita ongelmia, koska tietoa joudutaan kysymään usealta eri tukiasemalta. Ongelmallista on myös se, että toimintaan vaikuttavat myös tukiasemien toteutukset, koska malli vaatii toimiakseen tuen eri tukiasemilta. On huomattava, että päätelaitteiden erilaiset herkkyydet vaikuttavat myös tuloksiin. Tämä ongelma on melko helposti poistettavissa, kun tarkastellaan muutoksia signaalin voimakkuudessa.

Yksi paikannusmahdollisuus niin sanottua sormenjälkitekniikan käyttö [PKC02]. Siinä otetaan verkon voimakkuudesta sormenjälki, jota verrataan tietokantaan tallennettuihin sormenjälkiin. Tietokantaan tallennetuista sormenjäljistä valitaan lähin, jonka perusteella määritetään paikka. Menetelmän tarkkuutta voidaan säätää määrittelemällä miten tarkkaan verkon voimakkuuden sormenjälki vastaa kantaan talletettua.

6.2.1 Käytetty paikannustekniikka

Sovellukseen toteutettiin hyvin yksinkertainen paikannusjärjestelmä, joka koostuu kahdesta erillisestä osasta, sijainnin selvittämisestä ja paikannusajan määrittämisestä.

Pisteen etsiminen pinnalta toteutettiin hyvin yksinkertaisella mallilla, joka perustui pinnan tarkasteluun. Pinnalla liikuttaessa uuden pisteen haussa otettiin pisteeksi edellinen lähtöpiste. Jos paikannus tapahtui ensimmäistä kertaa, oletettiin että lähtöpisteenä toimi nollapiste eli vasen yläkulma hallintasovelluksesta katsottuna. Tämän jälkeen lähdettiin tarkastelemaan sitä, mihin suuntaan pinnalla liikuttaessa saadaan virhe mahdollisimman pieneksi. Virhe on ero pinnan ja mitatun arvon erotus. Järjestelmä pyrki tätä kautta hakeutumaan pisteeseen, jossa virheen suuruus alittaa etukäteen annetun rajan. Pinnalla olevat muutokset seinien kohdalla pyrkivät ohjaamaan paikannusta niin ettei paikannus päässyt harhautumaan mahdottomiin tiloihin seinien taakse.

6.2.2 Paikannustapahtuman nopeuttaminen

Paikannustapahtumasta muodostuu helposti hidas, vaikka käytännössä sen pitäisi olla nopea prosessi. Paikannusnopeutta tarkasteltaessa tulisi myös huomata, että palvelu tarjoaa yhtäaikaaisesti samaa palvelua usealle asiakkaalle. Tämä pidentää paikannusaikaa. Lisäksi tulee huomioida, että paikannusten välillä päätelaite voi liikkua eri pituisia

matkoja ja matkan kasvaessa paikannustapahtumien kesto saattaa pidentyä huomattavasti. Algoritmin pitää siis erityisesti ottaa huomioon se, että paikannusaika ei kasva kohtuuttomasti matkan pidetessä.

Paikannusaikaa voidaan yrittää lyhentää lisäämällä algoritmiin laajennus, jolla pystytään havaitsemaan tällaisia muutoksia. Alkuperäisessä algoritmissa käytettiin pinnalla liikuttaessa kiinteäpituista askelpituutta. Tämä on aivan liian hidasta, jos kohde on liikkunut pinnalla paljon. Ongelmaa voidaan pyrkiä kiertämään käyttämällä mukautettua askelpituutta pinnalla liikuttaessa. Mukautuksen perusteena pinnalla liikuttaessa toimii tieto aikaisemmasta signaalitasosta, jonka eroa uuteen mitattuun signaaliin tarkastellaan. Toteutuksessa voidaan käyttää kahta erilaista tapaa, joko portaikkomaista tai lineaarista mukautusta. Tässä toteutuksessa käytettiin vain kaksitasoista portaikkoa, mutta jo tämän käyttö lisäsi nopeutta huomattavasti. Nopeus kasvoi jopa nelinkertaiseksi. Tässä on kuitenkin huomioitava pinnalla kuljettu matka, koska pienellä matkalla muutos ei ole aivan yhtä dramaattinen.

Paikannustapahtuman nopeutuksessa on kaksi vaikuttavaa parametria, kun tarkastellaan portaikkolähestymistapaa. Linearisessa mallissa askelten korkeus määritetään lineaarisen yhtälön avulla. Portaikkolähestymistavassa mallia ohjaavia tekijöitä ovat askelmien määrä, korkeus ja leveys. Mikäli ero signaalissa on suuri voidaan käyttää levempiä askelmia ja näin nopeuttaa paikannusta.

Tässäkin mallissa olisi vielä luonnollisesti jonkin verran kehittämisen varaa, jotta tuloksista saataisiin vielä luetettavampia. Askelpituuden yhteydessä tarkastellaan siis signaalin voimakkuuden muutosta tämänhetkisen ja edellisen tilanteen välillä. Tässä on kuitenkin algoritmilla harhautumisriski, jos algoritmissa liikutaan voimakkaasti muut-

tuvan pinnan pisteen lähellä, esimerkiksi seinän vieressä. Tällaisessa pisteessä on helposti hyvin suuri signaalin voimakkuuden muutos. Tämän seurauksena tulisi pystyä käyttämään normaalia kapeampaa askelpituutta, jotta luotettavuutta saadaan pidettyä hyvänä. Tämän vuoksi askelpituuden mukauttava malli tulisi sitoa myös pinnan muotojen muutoksiin.

6.2.3 Paikannusajan määrittäminen

Yksi osa-alue paikannusjärjestelmässä oli pyrkiä määrittämään keino, jolla pystyttäisiin antamaan arvio asiakassovellukselle suositus siitä, milloin paikannusta tulisi yrittää seuraavan kerran. Tämä ominaisuus järjestelmään tuli sen vuoksi, että pystyttäisiin varmistamaan paikannus virhetapauksissa. Oleellista oli pyrkiä toteuttamaan algoritmi, jonka avulla pystyttiin määrittämään ongellisemmat alueet ja suorittaa paikannus näissä paikoissa useammin.

Ensimmäiseksi tulee järjestelmän toimintaa ajatellen määrittää ongelmalliset sijainit. Näitä pisteitä ovat alueet, joilla signaalin voimakkuus muuttuu hyvin voimakkaasti, kuten esimerkiksi siirryttäessä seinän taakse. Tämän takia pinnassa olevat hyvin voimakkaat signaalin voimakkuuden muutokset olisi pyrittävä havaitsemaan.

Tämä toteutettiin siten, että järjestelmässä suhteutettiin paikannusaika x - ja y -koordinaattien suuntaisten muutosten kulmakertoimien itseisarvoihin, joiden perusteella määritettiin seuraava paikannusaika sopivan kertoimen avulla.

Myös tässä tekniikassa on parantamisen varaa koskien muutamia parametreja. Tässä tapauksessa käytettiin yksinkertaista lineaarista mallia, mutta erilaisten yhtälöiden

käyttämällä saavutettaisiin huomattavasti varmempi lopputulos. Linearisessakin mallissa tekijänä on kerroin, jonka avulla lausekkeen lopputuloksena saadaan aika arvio seuraavalle paikannus kerralle.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Radioverkon toimintaa on mahdollista mallintaa eri tavoin. Tämän seurauksena mallinuksen suunnittelussa onkin tärkeää, että varsinaisen lopputuloksen käyttö huomioidaan suunnittelussa. Yksi tärkeistä tähän määrittelyyn liittyvistä kysymyksistä on, sopiiko kaksiulotteinen suunnittelu käyttöön paremmin kuin kolmiulotteinen. Tähän puolestaan vaikuttavat lukuisat kysymykset, kuten esimerkiksi tarkastellaanko kuuluvuutta soveluksen kautta vai ilman.

Paikannuspalvelut ja niiden luotettavuuden parantaminen ovat tulevaisuudessa avainasemassa olevia teknologioita, koska paikannukseen perustuvia palveluita tulee yhä enemmän ja enemmän. Näillä palveluilla voi olla erilaisia vaatimuksia varsinaisen paikannustarkkuuden suhteen. Osalle sovelluksista riittää se, että paikannus tehdään solutasolla, jolloin voidaan kertoa päätelaitteen paikka vain summittaisesi. Osassa sovelluksista päätelaitteen sijainti pitää pyrkiä määrittämään hyvin tarkasti, senttimetrien tarkkuudella. Tähän tarkoitukseen pinnan tarkastelu kolmiulotteisena antaa hyvän keinon, jonka perusteella virhetilanteita on mahdollista ennakoida ja pyrkiä sitä kautta niitä ehkäisemään.

Kun tarkastellaan radioverkon kuuluvuuden esittämistä kolmiulotteisena, ei pidä kuitenkaan jäädä tarkastelemaan pelkästään sen aiheuttamaa lisäarvoa paikannukseen. Kolmiulotteisella pinnalla voi olla myös muuta lisäarvoa radioverkon tarkastelussa. Tällä hetkellä radioverkon voimakkuuksien tarkastelussa on hyvin yleisesti käytössä pelkkä kaksiulotteisten kuuluvuuskarttojen tarkastelu. Tämä on selkeä tapa esittää verkon kuuluvuutta, mutta on myös mietittävä, pystytäänkö kolmiulotteisen mallin avulla tuomaan tähän palveluun jotain lisäarvoa esimerkiksi erilaisten kolmiulotteiseen

pintaan kohdistuvien operaatioiden kautta. Lisäksi on huomattava, että näistä kolmiulotteisista pinnoista pystytään laatimaan helposti tavanomaisempia kaksiulotteisia esityksiä esimerkiksi projektion kautta.

Verkon esittäminen kolmiulotteisena NURBS-pinnan avulla ei ole kovinkaan yksinkertainen operaatio, vaikka kyseinen pinta onkin helposti parametrisoitavissa. NURBS-pinnan tuomat mahdollisuudet eivät kuitenkaan yksin riitä järjestelmän toteuttamiseen, koska pinta ei ole täysin taipuisa, joka haittaa pinnan taipumista. Jäykkyys tosin ei ole ainuastaan huono puoli vaan sillä on virheitä tasoittava vaikutus, siten ettei yksittäinen piste pysty vaikuttamaan voimakkaasti pinnan muotoon.

Verkon kolmiulotteisuuden tarkastelussa on olemassa eräs ongelma-alue. Tulosten vahvistamisella on omat vaikeutensa koskien verkon simulaatiota. Verkon kolmiulotteinen mallintaminen ei ole kaikkein yleisimmin käytetty lähestymistapa ongelmaan. Tämän seurauksena sovelluksia, jotka tuottaisivat suoraan tämän sovelluksen kanssa vertailukelpoista tietoa on hyvin vähän tai ei ollenkaan. Verkon kuuluvuutta voidaan lähinnä vertailla yksittäisten pisteiden kautta tai luomalla pinnasta projektio. Yksittäisten pisteiden vertaaminen ei kuitenkaan kerro kaikkea radioverkon kuuluvuudesta, vaan siinä häviää runsaasti tietoa, koska piste muotoon muutettu tieto ei ole jatkuvaa. Yksi vertailua hankaloittavista tekijöistä ovat sovellusten käyttämät erilaiset mittaustekniikat. Tämä korostuu hyvin herkästi radioverkossa, jossa signaalin voimakkuusarvot voivat vaihdella hyvinkin voimakkaasti. Vaihtelun seurauksena mittaustulokset eivät välttämättä vastaa todellisuutta. Tämä vaikuttaa myös siihen, millainen paikannustarkkuus asiakassovelluksessa saavutetaan. NURBS-pinnan avulla mittaustuloksille saadaan keskimääräinen arvo, jonka tulisi vähentää virhetekijöitä.

Paikannusosan toimivuuden osoittaminen puolestaan on huomattavasti helpompaa, koska järjestelmään pystytään syöttämään arvoja joiden perusteella paikannus suoritetaan. Testattaessa paikannusta tällä järjestelmällä havaittiin paikannusajan olevan noin 15s ja tarkkuuden olevan keskimäärin puolen metrin alapuolella. Näihin tuloksiin pystyttiin kuitenkin hyvin helposti vaikuttamaan varsinaisten parametrien kautta.

Ajateltaessa pintaa verkon kuuluvuutta kuvaavana simulaationa, tuleekin pyrkiä ajattelemaan sen olemassa oleviin palveluihin mahdollisesti tuomaa lisäarvoa. Tässä yhteydessä kannattaa kiinnittää huomiota siihen, mitä uusia palveluita tämä pinnan kolmiulotteinen esitystapa mahdollistaa.

Viitteet

- [ACH00] Charles W. Anderson ja Steward Crawford-Hines. Fast generation of nurbs surface from polygonal mesh models of human anatomy, 2000.
- [ANS99] ANSI/IEEE. *ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition:Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc, 1999.
- [BP99] Paramir Bahl ja Venkata N. Padmandablan. User location and tracking in an in-building radio network, 1999.
- [BSBAD02] R. Barder, K. Sivayoganathan, V. Balendran ja D. Al-Dabas. The analysis and decomposition of free-form surface model, 2002.
- [CIS] Cisco. Cisco. Cisco location solution, [viitattu 18.4.2010] saatavissa: <http://www.cisco.com/go/location>.
- [EDX] Edx wireless, [viitattu 18.4.2010], saatavissa: <http://www.edx.com>.
- [GC94] John H. Ganter ja Jonathan W. Cashwell. Display techniques for dynamic network data in transportation gis, 1994.
- [HAI01] Robert Haines. *NURBS and Triangular NURBS*. Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc, 2001.
- [HBC⁺01] John Heidemann, Nirupama Bulusu, Jeremy Elson Charelmek, Intagonawiwat, Kun-Chan Lan Yu XA, Wei YE, Deborah Estrim ja Ramesh Govindan. Effect of detail in wireless network simulation, 2001.
- [INC] Ekahau Inc. Ekahau inc., ekahau site survey, [viitattu 18.4.2010], saatavissa: <http://www.ekahau.com>.

- [KSTMW01] Kit-Sang, Tang, Kim-Fung Man ja K. Wong, Wireless communication network design in ic factory, *IEEE Transaction on industrial electronic*, 2/2001, Volume 48.
- [MAT] The MathWorks. Matlab, [viitattu 5.5.2005], saatavissa: <http://www.mathworks.com>.
- [MYS] Mysql, [viitattu 18.4.2010], saatavissa: <http://www.mysql.com>.
- [NMB95] Michael Nidd, Stephen Mann ja Jay Black. *Using Ray Tracing for Site-Specific Indoor Radio Signal Strength Analysis*. University of Waterloo, 1995.
- [OPE] Opengl, [viitattu 18.4.2010], saatavissa: <http://www.opengl.org>.
- [OUL] Oulun yliopiston kirjasto kirjasto, paikannuspalvelu, [viitattu 18.4.2010], saatavissa: <http://www.kirjasto.oulu.fi/index.php?id=168>.
- [PKC02] P. Parashitsangaree, P. Krishnamurthy ja P. K Chyrysanthis. On indoor position location with wireless lans, 2002.
- [POV] Pov-ray 3.5 documentation, [viitattu 21.5.2004], saatavissa: <http://www.povray.org/documentation/>.
- [PRO01] Cisco Network Academy Program. *Fundamentals of Wireless LANs*. Cisco, 2001.
- [RJP00] Pavel V. Nikitin ja D. Stancil Ratish J. Punnoose. *Efficient Simulation of Ricean Fading within a Packet Simulator*. Carnegie Mellon University, 2000.

- [SC02] Diego Santa-Cruz, Compression of parametric surface for efficient 3d model encoding, *Visual Communication and Image processing*, 2002, Volume 4671.
- [SCE02] Diego Santa-Cruz ja Touradj Ebhrami, Coding 3d virtual object with nurbs, *Signal processing special issue on image and video coding beyond*, 2002.
- [SEP02] Antti Seppänen. *Diplomityö Paikkatiedon kerääminen ja hyödyntäminen WLAN verkossa*. LUT, 2002.
- [STA02] William Stallings. *Wireless Communications and Networkin*. Prentic-Hall, 2002.
- [STE01] John C. Stein, Indoor radio wlan performance, part ii: Range performance on a dense office environment, *IEEE Transaction on industrial electronic*, 2/2001, Volume 48.
- [STO] Stockholm open, [viitattu 20.4.2004] saatavissa: <http://www.stockholmopen.net>.
- [TAN00] Diana Tang. *Analyzing wireless networks*. Stanford university, 2000.
- [TL96] K. Tutschku ja K. Leibnitz. Fast ray-tracing for field strength prediction in cellular mobile network planning, 1996.
- [TRO] Trolltech. Qt, [viitattu 18.4.2010], saatavissa: <http://www.trolltech.com>.
- [WES02] Hazysztof Wesolowski. *Mobile Communication system*. Wiley, 2002.
- [WLP] Wlpr.net, [viitattu 20.4.2004], saatavissa: <http://www.wlpr.net>.