

Sisätilapaikannus säteilylähteiden turvajärjestelyissä



Syrjälä, Jari

Laurea-ammattikorkeakoulu
Laurea Leppävaara

SISÄTILAPAIKANNUS SÄTEILYLÄHTEIDEN TURVAJÄRJESTELYISSÄ

Jari Syrjälä
Tietojärjestelmäosaamisen koulutusohjelma, ylempi AMK
Opinnäytetyö
Helmikuu, 2009

Jari Syrjälä

Sisätilapaikannus säteilylähteiden turvajärjestelyissä

Vuosi	2009	Sivumäärä	99
-------	------	-----------	----

Säteilyturvakeskus hyödyntää GPS:ää(Global Positioning System) ympäristön säteilyhavainnointiin. GPS-paikannusta ei voida kuitenkaan hyödyntää säteilylähteiden paikantamiseen sisätiloissa, koska näköyhteys satelliitteihin menetetään.

Sisätilapaikannusta käytetään enimmäkseen teollisuudessa ja terveydenhuollossa. Teollisuus hyödyntää paikannusta tavaroiden jäljittämiseen ja terveydenhuolto sairaalalaitteiden ja ihmisten paikantamiseen. Nykyiset kaupalliset sisätilapaikannusjärjestelmät perustuvat sormenjälki-menetelmään, jotka hyödyntävät olemassa olevaa langatonta lähiverkkoa. Menetelmässä kohteen paikan laskenta perustuu WLAN-tukiasemien lähettämän radiosignaalin voimakkuuden mittaamiseen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia yleisesti sormenjälki-menetelmään perustuvia sisätilapaikannusjärjestelmiä ja erityisesti niiden soveltuvuutta ad-hoc -tyyppisessä säteilylähteiden paikantamisessa. Sormenjälki-menetelmän soveltuvuutta on evaluoitu käytännössä Cisco Systemsin ja Ekahaun ohjelmistoilla ja laitteilla. Työn tarkoituksena on osoittaa, miten sormenjälki-menetelmää voidaan hyödyntää säteilylähteiden paikantamisessa.

Tämän tutkimuksen metodiikkana on toiminta- ja suunnittelutieteellinen tutkimus. Tutkimuksen lähtökohdaksi asetettiin yleisesti tunnettu konstruktio STUKin alueelta, koska tämän tutkimuksen kontribuutio ei ole valmistaa uutta sisätilapaikannusjärjestelmää vaan tutkia sen soveltamista säteilylähteiden paikantamiseen. Tässä tutkimuksessa on hyödynnetty sisätilapaikannukseen liittyvää tieteellistä kirjallisuutta ja julkaisuja, jotka toimivat tämän tutkimuksen teoreettisena viitekehysenä.

Työssä rakennettiin konstruktio säteilylähteiden paikantamiseksi. Työn soveltavan osan pyrkimyksenä oli luoda sovellus paikka- ja säteilymittaustiedon yhdistämiseksi tietokantatasolla ja esittää tulos graafisesti rakennuksen pohjakartalla.

Työssä voitiin osoittaa, että säteilylähteiden paikantaminen on mahdollista perustuen langatonta lähiverkkoa hyödyntävään sormenjälki-menetelmään. Työlästä ja aikaa kulutuvasta käyttöönosta johtuen sormenjälki-menetelmään perustuvat sisätilapaikannusjärjestelmät eivät sovellu ad-hoc -tyyppiseen paikantamiseen, jossa järjestelmän nopea käyttöönotto vieraassa ympäristössä on perusvaatimus.

Jari Syrjälä

The Use of Indoor Positioning System for the Security Arrangement of Radiation Sources

Year	2009	Pages	99
------	------	-------	----

The Radiation and Nuclear Safety Authority of Finland (STUK) takes advantage of Global Positioning System -technology in radiation level measurements. For the indoor positioning of radiation sources, however, the GPS- technology is not applicable due to lost of direct line-of-sight to the satellites.

Mainly the indoor positioning is being used in the industry and healthcare. Within the industry it is used i.a. for tracking goods and within the healthcare for locating equipment and people. The indoor positioning systems on the market today are based on the fingerprinting method which utilises the existing wireless LANs. When applying the fingerprinting method the calculation of the location of an item is based on the measurement of the received signal strengths of the wireless LAN actionpoint's.

The goal of this master's thesis was to study the positioning systems which are based on the fingerprinting method in general and, especially, their suitability for locating radiation sources in case of ad-hoc needs and basis. The applicability of the fingerprinting method was evaluated in practise by using the equipment and software provided by Cisco Systems and Ekahau Inc. The objective of this thesis was to evaluate how the fingerprinting method could be applied to locate radioactive sources.

The methodology followed in this thesis is the one typical to applied sciences. The starting point for the study was to setup a well known construction within the STUK premises, since the contribution of this study was not to prepare any new indoor positioning systems but, in stead of that, to study its applicability for locating radioactive sources. In this master's thesis, the scientific literature and technical articles dealing with the indoor positioning technology, was taken full advantage and it also forms the theoretical basis of the study.

Within this work the measuring environment with all the constructions needed was established to locate radioactive sources. The applied part of the thesis effort was to set up the application for binding together the radiation measurement data and location data in the database and, to represent the results on the building layout plan.

This study was able to demonstrate that it is possible to track radioactive sources by utilizing indoor positioning systems based on the wireless local area network. Due to the very laborious and time consuming implementation of the indoor positioning systems using the fingerprinting method, however, the conclusion is that they are not well applicable for tracking in case of ad-hoc needs, in which a fast set up of the system in a foreign environment is the very basic requirement.

Indoor positioning, local positioning, WLAN-based positioning, positioning system

Alkulause

Tämä opinnäytetyö on tehty Laurea-ammattikorkeakoulun tietojärjestelmäosaamisen koulutusohjelmassa. Työssä tutkittiin ja selvitettiin sisätilapaikannuksen soveltuvuutta ad-hoc -tyyppiseen säteilylähteiden havainnointiin. Työn soveltava osa on tehty Säteilyturvakeskuksessa.

Esitän parhaat kiitokset työn ohjaajalle tekniikan tohtori Harri Toivoselle ja työn tarkastajille tekniikan tohtori Jyri Rajamäelle ja tekniikan lisenssiaatti Rauno Piriselle. Esitän myös kiitokset Tarja Ilanderille ja Jolanta Garlaczille suuresta avusta soveltavan osan toteutuksen onnistumisessa. Haluan esittää kiitokset STUKin Tietohallinnolle, Cisco Systemsille ja Ekahaulle teknisestä tuesta.

Lopuksi vielä kiitokset puolisololleni Ullalle, joka auttoi jaksamaan ja muistamaan, että elämässä on muitakin asioita kuin päättötyö.

Helsingissä 2.2.2009

Jari Syrjälä

Sisällys

1	Johdanto.....	8
1.1	Opinnäytetyön aihe ja tutkimuskysymykset.....	10
1.2	Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus.....	10
1.3	Opinnäytetyön aineisto.....	10
1.4	Opinnäytetyön metodiikka.....	10
1.5	Opinnäytetyön rajaus ja sisältö.....	12
2	Käsitteet.....	14
2.1	Paikannus.....	14
2.2	Paikkatieto.....	15
2.3	Paikkatiedon mallinnus.....	15
2.4	Koordinaatistot.....	16
2.4.1	Koordinaattijärjestelmä.....	17
2.4.2	Paikalliset koordinaattijärjestelmät.....	17
2.5	Paikkatietojärjestelmät.....	17
3	Lähipaikannukseen perustuvat paikannusteknologiat.....	18
3.1	Langaton lähiverkkopaikannus.....	18
3.2	Etätunnistinpaikannus.....	18
3.3	Bluetooth-paikannus.....	19
3.4	Infrapunapaikannus.....	19
3.5	Ultraäänipaikannus.....	20
4	WLAN-paikannusmenetelmät.....	21
4.1	Sormenjälki-menetelmät.....	22
4.1.1	Nearest Neighbors -menetelmä.....	23
4.1.2	Bayesian-luokittelumenetelmä.....	24
4.2	Radiosignaalin etenemisen vaimentuminen.....	24
4.2.1	Kolmiomittaus.....	25
4.2.2	Kalman suodatus.....	26
5	WLAN-paikannuksen ympäristötekijät ja tietoturva.....	27
5.1	Radiosignaalin etenemiseen vaikuttavat tekijät.....	27
5.1.1	Vaimeneminen.....	27
5.1.2	Sironta.....	28
5.1.3	Häipyminen.....	28
5.1.4	Monitie-eteneminen.....	28
5.1.5	Heijastuminen ja taipuminen.....	28
5.1.6	Doppler-ilmiö.....	29
5.1.7	Interferenssi.....	29
5.2	Ihmisen kehon vaikutus saapuvan signaalin voimakkuuteen.....	29

5.3	Käyttäjän suunnan vaikutus saapuvan signaalin voimakkuuteen	30
5.4	Käytettävyys- ja tietoturva-vaatimukset paikannuksessa	31
6	Paikannuksen hyödyntäminen säteilymittauksessa	33
6.1	GPS-paikannus säteilymittauksessa ulkona	33
6.2	Radiotaajuuspaikannus sisällä tehtävässä säteilymittauksessa	34
7	Sisätilapaikannuksen suunnittelun lähtökohdat	35
7.1	Sisätilapaikannuksen vaatimukset säteilylähteiden havainnointiin	35
7.2	Paikkatietoon liittyvät standardit	35
7.3	Paikkatiedon mallintaminen	36
7.4	Sisätilapaikannuksen koordinaatisto	36
7.5	Sisätilapaikannuksen arkkitehtuurin suunnitteluperusteet.....	37
7.5.1	Ylemmän tason arkkitehtuurin suunnittelu	37
7.5.2	Alemman tason arkkitehtuurin suunnittelu	39
8	Cisco- ja Ekahau-paikkatietojärjestelmät	41
8.1	Cisco-paikkatietojärjestelmä	41
8.1.1	Cisco-paikannuslaitteiston käyttöönotto	41
8.1.2	Cisco-verkonhallintajärjestelmä	44
8.1.3	Cisco-paikkatietojärjestelmän tietoturva.....	44
8.2	Ekahau-paikkatietojärjestelmä	46
8.3	Signaalin vaimennusmallin luonti paikannettavasta ympäristöstä	48
8.3.1	Ciscon kalibrointi- ja toiminnallinen vaihe	48
8.3.2	Kalibrointi Ciscon-verkonhallintajärjestelmällä	49
8.3.3	Kalibrointi Ekahau Location Survey -ohjelmalla	52
8.4	Paikkatiedon laskenta WLAN-pohjaisessa paikannuksessa	55
8.4.1	Paikkatiedon laskenta Cisco-verkonhallintajärjestelmässä	56
8.4.2	Paikkatiedon laskenta Ekahau-paikkatietojärjestelmässä.....	56
8.5	Yhteenveto.....	57
9	WLAN-sisätilapaikannuksen toteuttaminen säteilymittaukseen	59
9.1	Testiympäristön käyttöönotto	59
9.2	Paikannusohjelmiston käyttöönotto	62
9.3	Testiympäristön kalibrointi	63
9.4	Yhteenveto.....	65
10	Säteilylähteen paikantamisen evaluointi	67
10.1	Koemittauksen suorittaminen testiympäristössä	67
10.2	Koemittauksen suorittaminen VASIKKA-järjestelmällä	68
10.3	Paikkatietojen visualisointiprosessi ja yhdistäminen LINSSI-tietokantaan.....	70
10.4	Yhteenveto.....	71
11	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	72
12	Jatkotutkimus.....	75

13	Johtopäätökset	77
	Lähteet	78
	Kuvat.....	85
	Määritelmät.....	86
	Liitteet	89
	Indoor positioning -ohjelmakoodi 90	89
	Paikkatietojen lukeminen Ekahaun tietokannasta 98.....	89

1 Johdanto

Säteilyturvakeskus (STUK) on noin 340 asiantuntijan turvallisuusviranomainen ja asiantuntijalaitos, joka valvoo säteilyn ja ydinenergian käytön turvallisuutta sekä tutkii säteilyä ja sen vaikutuksia, arvioi säteilyriskejä sekä valvoo yhteisen elinympäristömme säteilyturvallisuutta.

Säteilyturvakeskuksen turvateknologialaboratorio (TTL) tutkii ja kehittää mittaus- ja analyysimenetelmiä. Turvateknologialaboratorio on kehittänyt ympäristön säteilyhavainnointiin GPS-paikkatietojärjestelmää (engl. *Global Positioning System*) hyödyntävän mittausjärjestelmän, jonka avulla säteilyhavainto voidaan paikantaa alle 10 metrin tarkkuudella. GPS on tyyppillisin ja laajasti käytetyin paikannusmenetelmä ulkoisissa paikkapalveluissa. Kuitenkaan GPS:ää ei voida hyödyntää sisätiloissa, koska näköyhteys sateliittiin menetetään.

Säteilylähteiden havaitsemisesta on tullut yksi tärkeä turvallisuustekijä muiden turvallisuustekijöiden rinnalle vuoden 2001 New Yorkin terroristihyökkäyksen, jolloin ääri-islamalainen terroristijärjestö Al Quida teki iskun New Yorkin World Trade Center torneja vastaan. Säteilylähteiden havainnointia tehdään yleisötapauksissa kuten poliittisissa- ja urheilutapauksissa ad-hoc -tyyppisesti.

Nykyisiä kaupallisesti saatavilla olevia sisätilapaikannusjärjestelmiä kuten Cisco Systems ja Ekahau hyödynnetään enimmäkseen teollisuudessa tavaroiden ja terveydenhuollossa ihmisten ja sairaalalaitteiden paikantamiseen. Turvallisuudessa sisätilapaikannusta voidaan hyödyntää kiellettyjen alueiden valvontaan tai ihmisten jäljittämiseen vaaratilanteen uhatessa esimerkiksi kaivostyöntekijän tai palomiehen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ja konstruoidaan Cisco- ja Ekahau-paikkatietojärjestelmillä, miten WLAN-tekniikkaan (engl. *Wireless Local Area Network*) pohjautuvia paikannusmenetelmiä voidaan hyödyntää STUKissa olemassa olevan säteilymittausjärjestelmän kanssa paikannettaessa sisätiloissa olevaa säteilyä tai säteilylähteitä. Työn tavoitteena on yhdistää paikkatieto tietokantatasolla säteilymittaustietoon ja havainnollistaa tulos rakennuksen pohjapiirroskartalla. WLAN-paikannusmenetelmässä käyttäjän paikka lasketaan WLAN-tukiasemien saapuvan signaalin voimakkuuden (engl. *received signal strengths indication, RSSI*) mittaamisella. Käytetyin WLAN-pohjainen sisätilapaikannusmenetelmä on sormenjälki-menetelmä (engl. *fingerprinting method*).

WLAN-tekniikkaan pohjautuvat paikannustekniikat voidaan jakaa kahteen kategoriaan: 1) sormenjälki-menetelmään ja 2) signaalin etenemisen vaimentumisen mallintamiseen (engl. *signal propagation loss model*).

Sormenjälki-menetelmän perusajatuksena on kartoittaa ensin radiosignaalista mitattavat RSSI-näytteet, jossa on huomioitu ympäristön signaaliin vaikuttavat vaimennustekijät ja tämän jälkeen laskea erityisellä algoritmilla Wi-Fi -laitteen sijainti vertaamalla kerättyä RSSI-informaatiota paikkatietokannassa olevaan radiosignaalin vaimennusmallin (engl. *RF-model*) viitepisteisiin. Signaalin vaimentumisen etenemisen mallintamisessa lasketaan paikkatieto käyttämällä tietoa signaalin etenemisen vaimentumisesta sekä rakennuksen geometriasta, joidenka perusteella muunnetaan saapuvan signaalin voimakkuus etäisyysmitaksi. Esimerkiksi kolmiomittauksella, joka perustuu signaalin etenemisen vaimentumiseen, voidaan laskea koordinaattien perusteella mobiilikäyttäjän paikka (Bahl & Padmanabhan 2000; Li, Wang, Lee, Dempster & Rizos 2005).

Nykyään on kehitetty monia tekniikoita sisätilapaikannukseen. Eräitä tekniikoita ovat esimerkiksi Active Badge, joka hyödyntää infrapunasignaalia paikantamisessa ja Active Bat, joka hyödyntää paikannuksessa paikannettavaan esineeseen tai henkilöön kiinnitettyä lähetintä ("Bat"), joka lähettää lyhyitä ultraäänipulseja ja joiden kulku-aika kattoon kiinnitettyihin vastaanottimiin mitataan. Näillä paikkatietojärjestelmillä on korkea paikannustarkkuus, mutta niillä on myös puutteensa, koska ne vaativat erityisiä laitteita paikantamiseen.

Sisätilapaikannukseen on alettu 2000-luvulla kehittää menetelmiä ja tekniikoita, jotka eivät vaadi erityisiä laitteita vaan hyödyntävät olemassa olevaa langatonta lähiverkkoa. Nykyisin WLAN-tekniikkaa on saatavilla monissa julkisissa rakennuksissa, lentokentillä, hotelleissa ja kodeissa.

Tyypillisen paikkatietojärjestelmän on kyettävä paikantamaan käyttäjänsä, mallintamaan, tallentamaan ja visualisoimaan paikkatietoa ja välittämään paikkatietoja järjestelmän eri osien ja käyttäjien välillä. Tällaisen järjestelmän toteuttaminen vaatii tietotaitoa useilta eri tekniikan alueilta kuten radiotekniikasta, paikannusmenetelmistä, koordinaattijärjestelmistä, tietoliikenteestä, tietoturvasta, soap/xml-ohjelmoinnista, graafisesta suunnittelusta ja ohjelmoinnista.

Tässä työssä on tutkittu sisätilapaikannuksen soveltuvuutta ja käsitellään mitä teknisiä ongelmia on ratkaistava, kun halutaan hyödyntää sisätilapaikannusta säteilyhavainnoinnissa sekä esitetään ongelmiin ratkaisumalleja sekä rakennetaan konstruktio säteilylähteiden paikantamiseksi hyödyntämällä olemassa olevaa WLAN-verkkoa.

1.1 Opinnäytetyön aihe ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia ja selvittää kokeellisesti, miten hyvin Ciscon ja Ekahaun sormenjälki-menetelmään perustuvat paikkatietojärjestelmät soveltuvat sisätiloissa tehtävään säteilyhavainnointiin.

Vastausta soveltuvuuteen sisätilapaikannuksessa selvitetään seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

- Miten hyvin Ciscon ja Ekahaun paikkatietojärjestelmät soveltuvat ad-hoc -tyyppiseen säteilylähteiden havainnointiin sisätiloissa?
- Millaisia ongelmia liittyy sisätilapaikannukseen?
- Miten helposti ja nopeasti paikkatietojärjestelmä on käyttöönotettavissa?

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa konstruktio, jossa sisätilassa paikannettu säteilyhavainto esitetään ja havainnollistetaan graafisesti rakennuksen pohjapiirroskartalla. Työn tarkoituksena on tutkia sormenjälki-menetelmän soveltuvuutta ad-hoc -tyyppisessä säteilyhavaintojen paikantamisessa.

1.3 Opinnäytetyön aineisto

Teoreettisen tutkimusaineiston lähteenä on käytetty sisätiloissa tehtävään lähipaikannukseen liittyvää kirjallisuutta ja tieteellisiä artikkeleja. Säteilyhavainnointiin liittyvä taustamateriaali on hankittu Säteilyturvakeskuksen turvateknologialaboratoriolta. Työn soveltavassa osassa on hyödynnetty Ciscon ja Ekahaun sisätilapaikannukseen liittyviä laitteistoja ja ohjelmistoja sekä kirjallistamateriaalia. Suurin osa tieteellisistä artikkeleista käsittelee lähinnä paikannusalgoritmeja ja vertailuja niiden paikannustarkkuudesta. Hyvin vähän on saatavilla kirjallisuutta, jossa käsitellään paikkatietojärjestelmän suunnittelua ja käyttöönottoa. Myös kirjallisuutta liittyen yksinomaan radiotaajuuspaikannukseen oli tätä työtä kirjoitettaessa hyvin vähän saatavilla.

1.4 Opinnäytetyön metodiikka

Tämän työn metodiikkana on toiminta- ja suunnittelutieteellinen tutkimus. Konstruktio valittiin lähtökohdaksi, koska tämän työn kontribuutio ei ole kehittää uusia innovatiivisia sisätilapaikannuksen algoritmeja, tekniikoita tai menetelmiä vaan soveltaa käytäntöön viimeisintä sisätilapaikannusteknologiaa tutkittaessa sen hyödyntämistä sisätiloissa tehtävässä säteilyhavainnoinnissa.

Baskerville ja Myers (2004) esittävät artikkelissa ”Special Issue on Action Research in Information Systems: Making IS Research Relevant to Practice - Foreward”, että monien toimintatutkimusten filosofia on pragmaattista. Pragmaattinen tutkimus keskittyy kysymään oikeita kysymyksiä, ja hakee kokemusperäisiä vastauksia esitettyihin kysymyksiin. Toimintatutkimus ei itsestään selitä paljon, mutta antaa menetelmän, joka auttaa selittämään miksi asiat toimivat tai mikse ne eivät toimi.

Baskervillen ja Myersin (2004) mukaan toimintatutkimuksen ydin on kaksivaiheinen prosessi. Diagnostiikka vaihe, joka käsittää tutkijan yhteistyöanalyysin sosiaalisen asiantilan ja tutkimuksen aiheet. Teoriat on muotoiltu koskien tutkimusalueen luonnetta. Terapeuttinen vaihe käsittää yhteistyön muutoksen. Tässä vaiheessa muutokset esitetään ja vaikutukset tutkitaan (Blum 1955).

Toimintatutkimus pyrkii ratkaisemaan käytännön ongelman samalla laajentaen tieteellistä tietämystä. Toisin kuin muut tutkimusmenetelmät, jossa tutkija näyttää tutkivan organisaatiosta ilmiötä kuitenkin muuttamatta sitä. Toimintatutkimuksessa tutkija on osallisena organisatorisen muutoksen luomisessa sekä samanaikaisesti tutkii prosessia (Babroglu & Ravn 1992).

Hevnerin, Marchin ja Parkin (2004) mukaan kaksi paradigmaa luonnehtii paljon informaatiojärjestelmien tutkimuksen tieteenalaa: käyttäytymis- ja suunnittelutiede. Käyttäytymistiede kehittää ja osoittaa oikeaksi teorioita, jotka selittävät tai ennustavat ihmisen tai organisaation käyttäytymistä. Suunnittelutiede etsii ihmisen tai organisaation rajojen laajentumisen voimavaroja luomalla uusia ja innovatiivisia artefakteja. Molemmat paradigmat ovat suunnittelutieteen perusta asettuen ikään kuin ihmisten, organisaatioiden ja teknologioiden yhtymäkohdaksi.

Järvinen ja Järvinen (2004, 103) mukaan suunnittelutieteellisessä vs. konstruktiiivisessä tutkimuksessa sovelletaan käytännön ongelman ratkaisuun perustutkimuksen säännönmukaisuuksia ja piirteitä, jossa uutta innovaatiota rakennetaan aiemman tutkimustiedon pohjalta. Kun ongelma on ratkaistu konstruktion avulla, tulee sen toimivuutta ja hyödynnettävyyttä määritettyihin tavoitteisiin ja vaatimuksiin nähden arvioida. Konstruktiiivinen tutkimus on soveltaa tutkimusta ja näin se eroaa esimerkiksi yliopistoissa toteutettavaan perustutkimukseen.

Konstruktiiivinen tutkimus on luonteeltaan pragmaattista, jossa hyödynnetään olemassa olevaa tietoa. Konstruktiiivisen tutkimuksen ensisijainen tavoite on ratkaista käytännön ongelma eikä niinkään luoda uutta tutkimustietoa. Myös tämän työn ensisijainen tavoite on vastata asetettuihin tutkimuskysymyksiin ja osoittaa, miten WLAN-pohjaista sisätilapaikannusta voidaan

soveltaa ja hyödyntää säteilyhavainnointiin.

Davisin (1998) mukaan konstruktiiivinen ajattelu ja tutkimus keskittyvät aina jonkin rakenteen kanssa toimimiseen. Fränti ja Pirinen (2005, 60) määrittelevät teoksessa ”Tutkiva oppiminen integratiivisissa oppimisympäristöissä - BarLaurea ja REDLabs”, että konstruktiiivisella tutkimusotteella pyritään ratkaisemaan reaali maailman ongelmia innovatiivisilla uusilla konstruktiolla ja näin edistämään kyseistä tieteenalaa. Uusien toimintamallien ja muiden rakenteiden taustalla on aina jonkinlainen lähtötason teoria, jonka pohjalta tutkimusta lähdetään tekemään. Näin ollen toiminta perustuu vahvasti tutkijan omaan innovatiivisuuteen ja tietämykseen tutkimusalueesta. Myös tutkijan omat käsitykset ja kokemukset sekä erityisesti kiinnostus tutkimusongelmaa kohtaan ovat mukana antamassa suuntaa tutkimukselle.

Lassenius, Soininen ja Vanhanen (2001) esittelevät teoksessaan ”Constructive Research - Methodology Workshop”, että konstruktiiivista tutkimusta hyödynnetään paljon ICT -alalla ja yleensäkin teollisuudessa. Lukkan (2003, 83 - 101) mukaan teoksessa ”Constructive research approach”, se on mm. yksi tietojärjestelmien tutkimuksen tärkeimmistä metodeista. Yhteys on helposti jäsennettävissä ajattellessa ICT -alan työtehtäviä; työ perustuu erilaisten mallien ja rakennelmien tuottamiseen ja niiden kanssa toimimiseen, joten on loogista, että alan tutkimustyössäkin hyödynnetään kaikille tuttua ja helposti omaksuttavaa ajattelutapaa.

Kolbin (1984, 42) mukaan pragmaattisena toimintatapana konstruktiiiviseen prosessiin liittyy usein myös kokemuksellisen oppimisen mallin mukaista tiedon jalostamista, esim. sisäistämistä vastaavaa toimintaa, jossa jokapäiväisestä toiminnan kokemuksia ymmärtämällä johdetaan niistä teoria, johon tutkimus perustuu tai ulkoistamista vastaavaa toimintaa, jossa teoreettisen tiedon pohjalta johdetaan tietoa käytännön toimintaan (Tynjälä 1999, 47).

Myös kokemusten muuntamisella aktiivisesta toiminnasta reflektioivaksi havainnoinniksi ja takaisin on yhtymäkohtia konstruktiiiviseen tutkimukseen, jossa tulee säilyttää neutraali, jopa kriittinen ote tekeillä olevaan tutkimukseen. Lukan (2003) mukaan tästä muodostuu yksi konstruktiiivisen tutkimuksen suurimmasta ongelmista, kun tutkijalta edellytetään kattavaa tietoa tutkimusalasta sekä innovatiivisuutta, mutta samalla kriittistä suhtautumista omia ideoita kohtaan.

1.5 Opinnäytetyön rajaus ja sisältö

Paikannusmenetelmät voidaan jakaa Rainion (2003, 4) ja Xiangin, Songin, Chenin, Wangin, Huangin ja Gaon (2004, 617) mukaan infrastruktuurin perusteella kolmeen pääkategoriaan: verkkopaikannukseen, lähipaikannukseen ja satelliittipaikannukseen. Tässä työssä käsitellään lähipaikannukseen perustuvien paikannusmenetelmien ja paikkatietojärjestelmien hyödyntä-

mistä ja soveltuvuutta säteilylähteiden havainnoinnissa.

Luku 2 käsittelee paikkatiedon käsitteitä ja niiden suhteita. Luvussa 3 esitetään lähipaikannukseen perustuvat paikannusteknologiat. Luku 4 käsittelee WLAN-paikannukseen pohjautuvia menetelmiä. Luvussa 5 käsitellään WLAN-paikannuksen ympäristötekijöitä, jotka vaikuttavat saapuvan radiosignaalin voimakkuuteen (RSSI) ja vaimentumiseen sekä tuodaan esiin paikannukseen liittyviä tietoturvanäkökohtia. Luvussa 6 kuvataan lyhyesti SONNI- ja VASIKKA-järjestelmät, joita käytetään säteilylähteiden havainnointiin ympäristössä. Luku 7 käsittelee sisätilapaikannuksen suunnittelun lähtökohtia. Luku 8 käsittelee Ekahau- ja Cisco-paikkatietojärjestelmiä. Luvussa 9 kuvataan STUKin 5C-kerrokseen rakennettua sisätilapaikannuksen testiympäristöä ja sen soveltuvuutta säteilyhavainnointiin. Luvussa 10 evaluoidaan säteilylähteiden havainnointia VASIKKA-järjestelmän ja Ekahau-paikkatietojärjestelmän kanssa. Luvussa 11 annetaan vastaukset työssä asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Luku 12 esittelee lyhyesti Zigbee -verkkoteknologiaa, jonka soveltuvuutta säteilyhavainnointiin voidaan jatkossa tutkia. Luvussa 13 esitetään työn johtopäätökset.

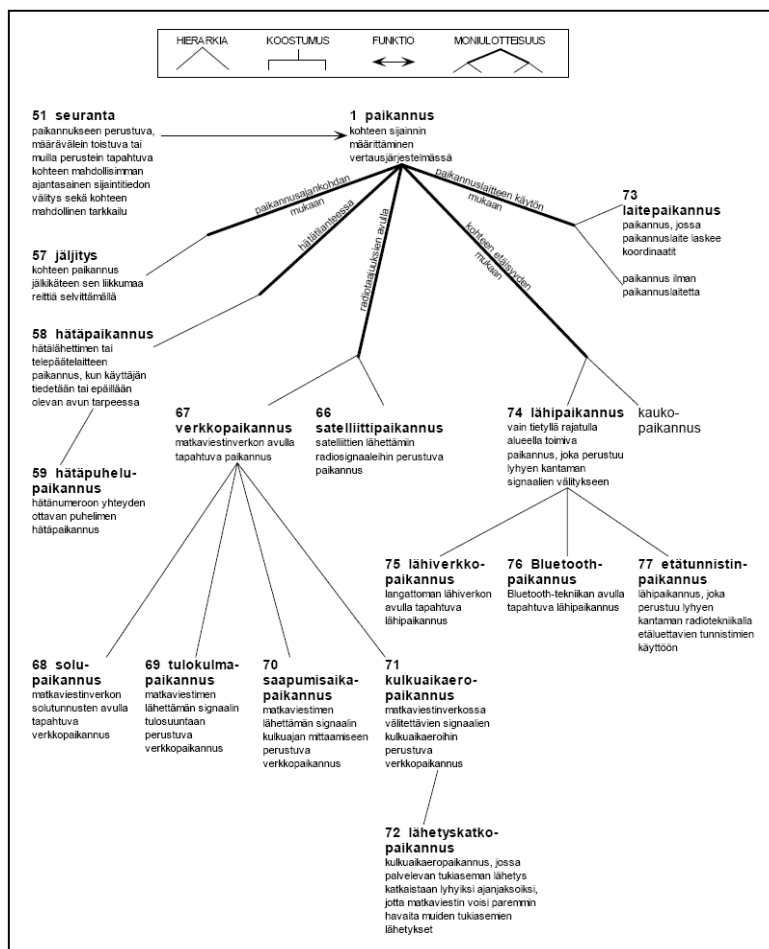
2 Käsitteet

Seuraavissa luvuissa kuvataan tämän opinnäytetyön keskeiset käsitteet.

2.1 Paikannus

Tekniikan sanastokeskuksen paikkasanastossa paikannus on määritelty siten, että se on kohteen sijainnin määrittämistä vertausjärjestelmässä. Paikannus voidaan kuvan 1 mukaan edelleen määritellä paikannusajankohdan, hätätilanteen, radiotaajuuksien, kohteen etäisyyden ja paikannuslaitteen käytön mukaan (Tekniikan sanastokeskus 2002).

Tässä työssä paikannusta tutkitaan kohteen etäisyyden mukaan, joka luokitellaan lähipaikannukseksi. Lähipaikannus voidaan edelleen luokitella lähiverkko-, Bluetooth- ja etätunnistinpaikannukseksi (Tekniikan sanastokeskus 2002). Kuva 1 havainnollistaa paikannukseen liittyvien käsitteiden suhteita.



Kuva 1. Paikannusmenetelmät (Tekniikan sanastokeskus 2002).

2.2 Paikkatieto

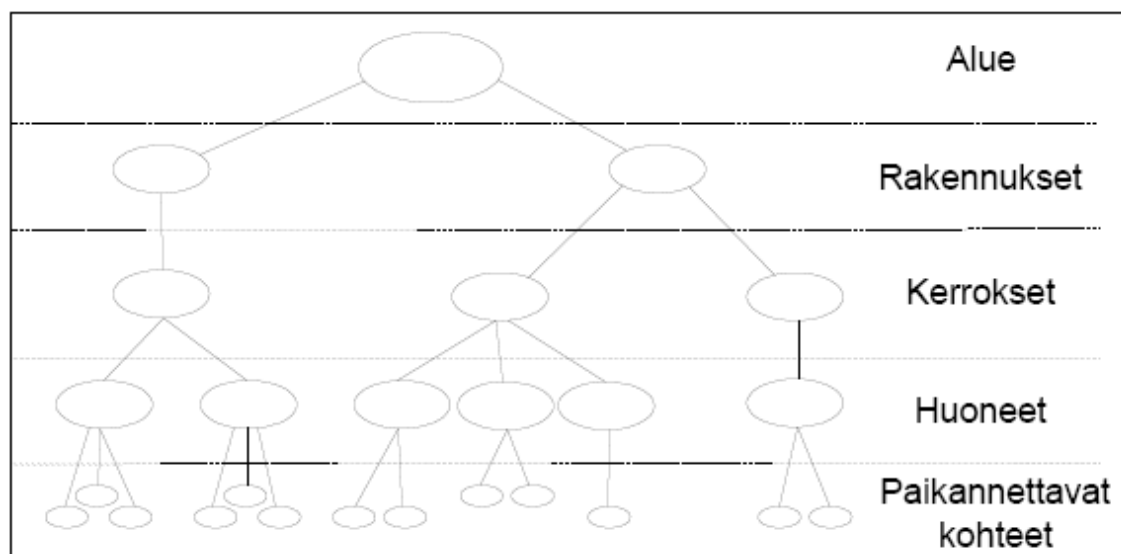
Paikkatieto määritellään Tekniikan sanastokeskuksen (2002, 10 - 12) mukaan kahteen osaluueeseen: 1) paikkatieto on sijaintitiedon ja ominaisuustietojen muodostama kokonaisuus ja 2) sijaintitieto on vertausjärjestelmässä ilmaistu kohteen sijainti. Vertausjärjestelmän avulla sijainti voidaan ilmaista yksikäsitteisesti; osoitejärjestelmät ja koordinaatistot ovat esimerkkejä vertausjärjestelmistä.

2.3 Paikkatiedon mallinnus

Paikkatiedon mallintaminen on sen tehokkaan käytön edellytys. Chenin ja Kotzin (2000) sekä Leonhardtin (1998) mukaan mallit jaetaan kahteen kategoriaan: geometrisiin ja symbolisiin. Geometrisissa malleissa sijaintitiedot esitetään koordinaatteina koordinaatistoissa, kun taas symbolisissa malleissa sijaintitiedot ja paikannettavat kohteet esitetään abstrakteina symboleina, kuten ”neuvotteluhuone 321”.

Mallin valinta riippuu sovelluksen laajuudesta, sovellusalueesta ja käytettävissä olevien paikannusmenetelmien tuottamasta datasta. Satelliittipaikannukseen perustuvat sovellukset käyttävät yleensä geometrista mallia ja esimerkiksi infrapuna-paikannukseen perustuvat järjestelmät symbolista mallia. Symbolisessa mallissa sijainnit ja paikannettavat kohteet erotetaan toisistaan. Sijainnit mallinnetaan usein joukkoina ja paikannettavat kohteet joukkojen jäseninä.

Paikannuksen kohde on sijaintijoukon jäsen, kun se on fyysisesti paikkaan liittyvän alueen sisällä. Mallin yksityiskohdista riippuu sallitaanko alueiden päällekkäisyys ja onko malli hierarkkinen vai yksitasoinen. Kuvassa 2 on esimerkki Schilitin ja Theimerin (1994) käyttämästä hierarkkisesta symbolisesta paikkatietomallista. Symbolisen sijaintitietomallin etuna on sen intuitiivisuus, ihmiset liittävät paikkatiedot usein mielessään erilaisiin symboleihin. Symbolisen mallin symboleita on kuitenkin usein laadittava ja ylläpidettävä manuaalisesti, mikä rajoittaa mallin spatiaalista käyttöaluetta ja tarkkuutta. Eri sovellusalueiden symbolit saattavat lisäksi johtaa ongelmiin nimiavaruuksien hallinnassa (Leonhardt 1998).



Kuva 2. Symbolinen paikkatietohierarkia (Schilit & Theimer 1994).

Geometriset sijaintitietomallit perustuvat yhteen tai useampaan koordinaattijärjestelmään. Sijaintitiedot ovat geometrisiä kuvaajia, pisteitä, alueita tai kolmiulotteisia kappaleita. Paikkoja ja paikannettavia kohteita ei eroteta toisistaan, kaikki ilmaistaan koordinaatteina. Mallissa voi olla käytössä globaalin peruskoordinaatiston lisäksi pienempiä paikallisia koordinaatistoja, joiden väliset muunnokset tunnetaan. Geometrisen mallit ovat hyvin tarkkoja ja niitä voi käyttää laajoilla spatiaalisilla alueilla, jopa maailmanlaajuisesti. Leonhardtin (1998) mukaan geometrisen mallin heikkous on kuitenkin se, että sovellukset ja ihmiset eivät välttämättä voi käyttää koordinaattimuotoista paikkatietoa, vaan tarvitsisivat symbolista esitystä. Mallit eivät ole toisiaan poissulkevia, geometrisesta sijaintitiedosta voidaan johtaa symbolista ja päinvastoin, erillisen sijaintitietohakemiston avulla. Puhtaasti symbolista mallia käytetään harvoin, puhtaasti geometrista mallia useammin. Usein paikkatietojärjestelmissä ja paikkatietoisissa sovelluksissa käytetään yhdistettyä mallia. Leonhardtin (1998) ehdottaa mallia, jossa sijaintitieto sisältää sekä symbolisen osoitteen että geometrisen koordinaattitiedon. Malli piilottaa käytettävät paikannusmenetelmät sovelluksilta ja tukee sekä symbolista että geometrista sijaintitietoa vaativia sovelluksia.

2.4 Koordinaatistot

Koordinaatistot ovat keskeisessä osassa paikkatietoa käsiteltäessä. Poutasen (1998) mukaan koordinaatistoja ei tarvita, jos sijaintitieto mallinnetaan puhtaasti symbolisesti, mikä on harvinaista. Mikäli käytettävä sijaintitietomalli on edes osittain geometrinen, kaksi- ja kolmiulotteisten koordinaatistojen käsittelyä tarvitaan (Poutanen 1998).

2.4.1 Koordinaattijärjestelmä

Poutasen (1998) mukaan koordinaattijärjestelmä sisältää järjestelmän tarkan määrittelyn, koordinaatiston geometrisen muodon ja suuntautuneisuuden jne. Koordinaattijärjestelmä on matemaattinen abstrakti ja jotta sitä voitaisiin soveltaa reaalimaailman ongelmiin, se täytyy sitoa joihinkin reaalimaailman kiintopisteisiin. Realisaatiota kutsutaan koordinaatistoksi (Tekniikan sanastokeskus 2002).

2.4.2 Paikalliset koordinaattijärjestelmät

Paikkatietojärjestelmät käyttävät erilaisia koordinaattijärjestelmiä ja koordinaatistoja sovel- lusalueesta riippuen. Paikallisissa pienellä alueella toimivissa paikkatietojärjestelmissä on usein edullista käyttää suorakulmaista kaksi- tai kolmiulotteista koordinaattijärjestelmää. Koordinaatiston origo kiinnitetään johonkin tunnettuun kiintopisteeseen ja akselit suunnataan ilmansuuntien ja maanpinnan normaalin mukaisesti. Akselien arvot ilmoitetaan metreinä ori- gosta. Tällainen koordinaatisto toimii hyvin alueella, jonka koko on tarpeeksi pieni eikä maa- pallon kaarevuus aiheuta liian suuria virheitä (Poutanen 1998).

Erityisen käyttökelpoinen tällainen koordinaatisto on rakennusten sisällä tapahtuvaan paikan- nukseen, mutta se soveltuu myös laajempiin järjestelmiin. Suomessa vieläkin yleisesti käytös- sä oleva kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) on suorakulmainen, metripohjainen, kolmessa kaistassa oleva tasokoordinaatisto (Poutanen 1998).

2.5 Paikkatietojärjestelmät

Paikkatietojärjestelmät ovat paikkatietoa käsitteleviä tietojärjestelmiä. Niiden avulla paikka- tietoja voidaan tuottaa, arkistoida, analysoida ja havainnollistaa. Paikkatietojärjestelmissä paikkatiedot ovat tietokonemuotoisia kartta- ja rekisteritietoja, jotka kuvaavat mm. luonnon- varoja, maan pinnanmuotoja, maankäyttöä ja maankäytön suunnitelmia, maanomistusta, asutusta ja elinkeinotoimintaa, liikenneverkkoja ja yhdyskuntahuollon verkkoja sekä ympäris- tön tilaa. Paikkatietojärjestelmien koko vaihtelee yhden käyttäjän karttasovelluksista massii- visiin useiden käyttäjien järjestelmiin. Järjestelmien ominaisuudet vaihtelevat myös suuresti käyttötarpeista riippuen. Joitakin yhteisiä vaatimuksia paikkatietojärjestelmiin kuitenkin kohdistuu. Niiden on kyettävä mallintamaan paikkatieto sekä keräämään ja tallentamaan sitä. Järjestelmän täytyy myös tarjota paikkatieto käyttäjilleen tarkoituksenmukaisessa muodossa. Usein järjestelmien on kyettävä myös hallitsemaan suuria tietomääriä (Paikannussanasto 2002; Paikkatietotekniikan perusteet 2007).

3 Lähipaikannukseen perustuvat paikannusteknologiat

Tässä luvussa on kuvattu lyhyesti lähipaikannukseen perustuvia teknologioita. Yhdistämällä eri paikannusteknologioiden ominaisuuksia ja piirteitä voidaan paikannustarkkuutta parantaa. Esimerkiksi Ekahau (2008) täydentää paikkatietojärjestelmää käyttämällä erityisiä Ekahau Location Tags -paikantimia, jotka perustuvat RFID-teknologiaan paikannettaessa kohteita ja ihmisiä. Yhdistämällä eri tekniikoita samaksi paikkatietojärjestelmäksi on teknisesti huomattavasti vaativampaa kuin yhdellä tekniikalla toteutettu paikkatietojärjestelmä, myös ratkaisun kustannukset nousevat (Hakolahti 2003).

3.1 Langaton lähiverkkopaikannus

Langattomiin lähiverkkoihin perustuvia kaupallisia paikannusmenetelmiä on alettu kehittää 2000-luvulla. Suomessa langattomaan lähiverkkoon pohjautuvia paikkatietojärjestelmien ohjelmistoja kehittää ja tuottaa mm. Ekahau (2008) ja ohjelmistojen lisäksi laitteistoja yhdysvaltainen Cisco Systems (2008).

Langattomat lähiverkot mahdollistavat vapailla taajuuksilla (2.4 Ghz ja 5 Ghz) toteutetun nopean kaksisuuntaisen yhteyden. Tärkeimmät standardit ovat IEEE 802.11a-g-standardit, joiden nopeudet vaihtelevat välillä 2 - 54 Mbit/s. WLAN-tukiaseman kantama on sisällä kymmeniä ja ulkona satoja metrejä. Langattomat lähiverkot ovat enimmäkseen organisaatioiden omia sisäisiä lähiverkkoja, mutta myös julkisia lähiverkkopalveluja on tullut saataville ns. hotspot-verkkoja, jotka ovat useiden tukiasemien kokonaisuuksia. Lentokenttien, hotellien ja kahviloiden ohella julkiset verkot ovat leviämässä mm. metroasemille (Raunio 2003, 3).

Lähipaikannuksessa vs. sisätilapaikannuksessa paikannus perustuu joko solun tunnistukseen, kolmiomittaukseen tai signaalivoimakkuuksien vertaamiseen etukäteen mitattuun kalibrointitietoon. Jälkimmäisessä menetelmässä WLAN-kortilla varustetussa päätelaitteessa toimii ohjelmisto, joka mittaa signaalien voimakkuuksia ja välittää tulokset palvelimelle. Palvelin vertaa tuloksia etukäteen mitattuihin kalibrointiarvoihin ja laskee päätelaitteen paikan (Ekahau 2008).

Suomalainen Ekahau on kehittänyt signaalivoimakkuuksien mittaukseen perustuvan paikkatietojärjestelmän, jolla päästään sisätiloissa 1 - 3 metrin paikannustarkkuuteen. Tarkkuus riippuu tukiasemien ja kalibrointipisteiden lukumäärästä (Ekahau 2008).

3.2 Etätunnistinpaikannus

Tietyllä radiotaajuudella etätunnistimina toimivat RFID-piirit (engl. *RFID, Radio Frequency*

Identification) voidaan aktivoida paikannuskäyttöön, joka perustuu lyhyen kantaman radiotekniikalla etäluettavien tunnistimien käyttöön. Tunnistin voi aktivoitaessa lähettää sijaintitiedon käyttäjän päätelaitteeseen. Periaatteessa päätelaitteena voisi olla myös matkapuhelin, joka pystyisi aktivoimaan tunnistimen usean metrin etäisyydeltä. Passiivisessa etätunnistimessa ei ole virtalähdettä, vaan se tuottaa aktivoitumiseen tarvittavan virran antenninsa avulla. Teknologian käytöstä paikannukseen ei ole kokemuksia tai päätöksiä (Raunio 2003, 8). Etätunnistinpaikannusta voidaan käyttää esimerkiksi kulkuportilla, jolloin voidaan havaita tunnistimen kulku portin läpi tai joukkoliikenteessä etäluettavalla matkakortilla matkustavalta voidaan periä maksumatkasta tulo- ja poistumis pysäkin mukaan (Tekniikan sanastokeskus 2002).

3.3 Bluetooth-paikannus

Bluetooth on lyhyen kantaman radiotekniikka, jota voidaan soveltaa myös lähi-informaation jakelussa, opastuksessa ja paikannuksessa. Osana Bluetooth-standardointia määritetään erityistä paikannusprofiilia (engl. *local positioning profile*). Bluetooth-linkin kantama on noin 10 metriä, mikä on samalla ”solupaikannuksen” tarkkuus. Tarkkuutta voidaan parantaa edellä kuvatun lähiverkko paikannuksen periaattein. Bluetooth on vähitellen yleistymässä matkaviestimissä ja muissa pienissä mobiililaitteissa, ja se saattaa olla jatkossa laajasti tuettu (Raunio 2003, 8).

3.4 Infrapunapaikannus

Harter ja Hopper (1994, 62 - 70) loivat AT&T laboratoriossa yhden ensimmäisistä infrapunava-loa käyttävistä sijaintitietojärjestelmistä. Heidän järjestelmässään jokainen paikallistettava henkilö kantaa mukanaan pientä infrapunalähetintä (engl. *ActiveBadge*), joka lähettää lyhyitä infrapunasignaaleja 15 sekunnin välein (Want, Hopper, Falcao & Gibbons 1992, 91 - 102). Paikannus toimii rakennuksessa, jonka seinille on asennettu keskuspalvelimeen kytkettyjä vastaanottimia. Vastaanottimet tunnistavat infrapunasignaalit ja palvelin muodostaa signaaleista asiakasohjelmille sopivia visualisointeja. Järjestelmää käytettiin muun muassa helpottamaan puhelunvälittäjän työtä; puhelut voitiin ohjata huoneeseen, jossa käyttäjä oli viimeksi havaittu (Harter & Hopper 1994, 62 - 70). PARCTAB on Xeroxin Palo Alto Research Community:ssa kehitetty kämmentietokoneen prototyyppi. PARCTABit kommunikoivat toimistoympäristössä keskenään käyttäen infrapunasignaaleita. Signaalien perusteella käyttäjät voidaan myös paikantaa huoneen tarkkuudella (Want, Schilit, Adams, Gold, Petersen, Goldberg, Ellis & Weiser 1995). Infrapunasignaaliin perustuvan järjestelmän heikkoutena on, että sillä on rajoitettu toiminta-alue ja se on hyvin herkkä interferenssille johtuen sisätiloissa käytettävästä loistelamppuvalaistuksesta.

3.5 Ultraäänipaikannus

Ultraääni (engl. *Ultrasound*) on ääntä, jonka taajuus on ihmisen korvan kuuloalueen yläpuolella (> 20 kHz). Ultraäänipaikannus perustuu signaalien kulkuajojen kolmiomittaukseen. Wardin, Jonesin ja Hopperin (1997, 42 - 47) kehittämä Active Bats -paikannusjärjestelmä on esimerkki ultraäänipaikannuksesta. Paikannettavaan esineeseen tai henkilöön kiinnitetty lähettin ("Bat") lähettää lyhyitä ultraäänipulsseja, joiden kulku aika kattoon kiinnitettyihin vastaanottimiin mitataan. Koska äänen nopeus tunnetaan, etäisyys vähintään kolmeen vastaanottimen riittää lähettimen kolmiulotteisen paikan laskemiseen. Jos paikannuksen kohteeseen on kiinnitetty kaksi lähettintä, myös kohteensuuntautuneisuus saadaan selville. Ward ym. (1997, 42 - 47) mukaan järjestelmän tarkkuus on noin 3 cm kolmessa dimensiossa.

4 WLAN-paikannusmenetelmät

Langattomaan lähiverkkoon (engl. *WLAN, wireless local area network*) perustuvat paikannusmenetelmät voidaan luokitella kahteen eri luokkaan: 1) Sormenjälki-menetelmään tai korrelaatiomenetelmään (Bahl ym. 2000, 775 - 784; Madigan ym. 2005, 1217 - 1227; Wann & Lin 2004, 471 - 476; Youssef, Agrawala, & Shankar 2003, 143 - 150; Youssef & Agrawala 2004, 161 - 166) ja 2) radiotaajuuden etenemisen vaimentumisen (engl. *RF propagation loss model*) -menetelmään (Lassabe, Canalda, Chatonnay & Spies 2005, 382 - 387).

Laajemmin paikannusmenetelmät luokitellaan sateliittipaikannukseen, verkkopaikannukseen ja lähipaikannukseen (Raunio 2003, 4; Xiang ym. 2004, 617). Tässä työssä WLAN-paikannusmenetelmillä tarkoitetaan tekniikoita, jotka kuuluvat sormenjälki- ja radiosignaalin etenemisen vaimentumisen -menetelmiin. WLAN-paikannusmenetelmien tekniikat kuuluvat lähipaikannusmenetelmiin.

Kirjallisuudessa saapuvan radiosignaaliin voimakkuuden mittaamiseen perustuvat paikannusalgoritmit luokitellaan deterministiseen tai todennäköisyyteen pohjautuvaan lähestymistapaan, joka mallintaa yhteyden paikkasormenjälkien ja paikkatiedon välillä. Deterministisen tyyppin algoritmit ovat niitä, jotka pohjautuvat ns. Nearest Neighbor -luokitteluun ja taas todennäköisyyden tyyppin algoritmit, jotka pohjautuvat Bayesian -päätelmään. Edellä mainitut algoritmit luokitellaan myös kuuluvaksi ns. sormenjälki-menetelmän algoritmeihin (Bahl ym. 2000, 775 - 784; Madigan ym. 2005, 1217 - 1227; Wann & Lin 2004, 471 - 476; Youssef, Agrawala, & Shankar 2003, 143 - 150; Youssef & Agrawala 2004, 161 - 166). Luvuissa 4.1 ja 4.2 kuvataan sisätilapaikannuksen tärkeimmät algoritmit.

WLAN-paikannusalgoritmit ovat aliohjelmia, jotka hyödyntävät riippuvuutta paikkatiedon ja ns. paikkasormenjälkien (engl. *location fingerprint*) välillä päätelläkseen paikan tai sijainnin saapuvan signaalin voimakkuuden näytteistä. Bahlin ja Padmanabhan (2000, 775 - 784) esimerkit yksinkertaisista paikannusalgoritmeista ovat vahvin lähtökohta paikannusmenetelmän ja satunnaisen menetelmän valinnalle. Varteenotettavin lähtökohta paikannusmenetelmän valinnalle on oletamus, että tämänhetkisen käyttäjän paikka on lähempänä lähtökohta-asemaa (WLAN-tukiasemaa), jolla on vahvin signaalin voimakkuus kun taas satunnainen menetelmä ilmoittaa käyttäjän paikan satunnaisesti tiettyjen paikkojen joukosta (Bahl & Padmanabhan 2000, 775 - 784). On ilmeistä, että nämä kaksi algoritmia eivät saavuta tyydyttävää tulosta. Monimutkaisemmat algoritmit voivat käyttää hyödykseen riippuvuutta saapuvan signaalin voimakkuuden (engl. *received signal strength indication, RSSI*) ja paikkatiedon välillä ja voivat näin antaa paremman paikkatiedon tarkkuuden.

Koneellisen oppimisen näkökulmasta paikannusalgoritmit ovat näyteluokittelijoita, koska ne

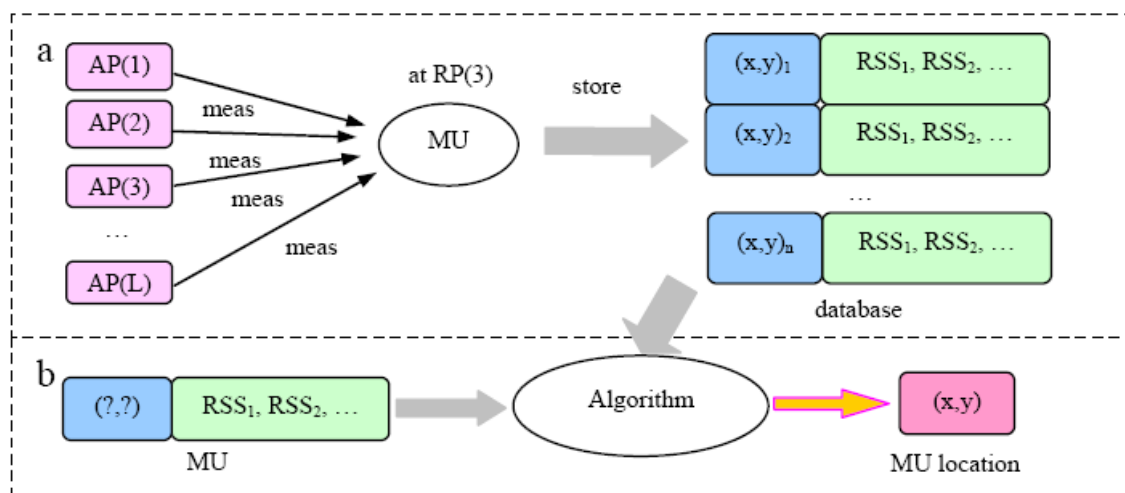
ovat aliohjelmia ja voivat automaattisesti erottaa näytemalleja eri luokkiin (Roos, Myllymäki, Tirri, Misikangas & Sievänen 2002). Jokaiseen luokkaan on viitattu RSSI-näytteiden luokkana, jotka tulevat samasta paikasta tai sijainnista. Algoritmit arvioivat paikan RSSI-näytteistä oppimalla edellisistä paikkariippuvista RSSI-sormenjälki esimerkeistä. Edellistä RSSI-dataa on käytetty laskentamallien kalibrointiin voidakseen automaattisesti viitata paikkasormenjälkiin tai paikkatietoon.

4.1 Sormenjälki-menetelmät

Tässä luvussa kuvataan lyhyesti Nearest Neighbors- ja Bayesian-menetelmä, jotka ovat tyypillisiä sormenjälki-menetelmiä. Sormenjälki (engl. fingerprint) -menetelmään pohjautuvat paikkatietojärjestelmät koostuvat kahdesta eri vaiheesta (katso kuva 3):

1) Offline-vaiheessa rakennetaan sormenjälkitietokanta. Tietokannan generoimiseksi, viitepisteet (engl. *reference points*, *RP*) tulee valita ensin huolellisesti. Tietokannan rakentamiseksi suoritetaan saapuvien signaalien voimakkuuksien (RSSI) hajonnan mittaaminen useista WLAN-tukiasemista (engl. *action points*, *AP*) ennalta määritellyistä viitepisteistä. Viitepisteet tallennetaan yhdessä niiden fyysisten koordinaattien kanssa tietokantaan. Saapuvien signaalien voimakkuuksien suuntima-arvoja kyseenomaisessa viitepisteessä kutsutaan myös tämän pisteen paikkasormenjäljeksi (engl. *location fingerprint*). Tämä prosessi suoritetaan niin monta kertaa kunnes kaikki viitepisteet on käyty läpi.

2) Online-vaiheessa kerätään mobiilikäyttäjän (engl. *Mobile user*, *MU*) saapuvien signaalien voimakkuudet nykyisen ajanhetken mukaan eri tukiasemilta ja lähetetään paikannuspalvelimelle. Paikannuspalvelimessa niitä verrataan sormenjälkitietokannan viitepisteisiin ja paikka-koordinaatit lasketaan erityisellä paikannusalgoritmilla. Arvioitu sijaintitieto palautetaan mobiilikäyttäjälle, jossa paikkakoordinaatit esitetään paikannettavan alueen pohjapiirroskartalla. Yleisin käytetty algoritmi paikantamiseen on Euklidisen etäisyyden laskeminen (Kaemarungsi & Krishnamurthy 2004; Kaemarungsi 2005; Li, Salter, Dempster & Rizos 2006).



Kuva 3. Sormenjälki-menetelmän vaiheet: a) offline-vaihe ja b) online-vaihe (Li, Salter, Dempster & Rizos 2006).

Sormenjälki-menetelmässä offline-vaihe on erittäin työläs ja aikaa kuluttava, johtuen tukiasemien lähettämien signaalien voimakkuuksien vaihtelusta eri paikoissa ja myös samassa paikassa. Signaalien vaihtelu johtuu esimerkiksi WLAN-tukiasemien paikkojen tai suuntaavien anteenien suuntien muuttuessa. Tästä syystä täytyy tehdä useita saapuvan signaalien voimakkuuksien (RSSI) hajonnan mittauksia useista viitepisteistä, joka kasvattaa tietokannan kokoa ja laskennallista kuormaa paikannuspalvelimella (Ladd, Bekris, Marceau, Rudys, Kavraki & Wallach 2002, 143 - 150; Youssef, Agrawala, & Shankar 2003, 143 - 150; Wang, Jia, Lee & Li 2003, 22 - 25).

Myös signaalien voimakkuuden vaihtelu kussakin mitatussa viitepisteessä on suuri ja tästä syystä parempaan tarkkuuteen pääsemiseksi on aloitettu kehittää deterministisen lähestymistavan rinnalle todennäköisyyspohjaisia menetelmiä kuten Kalman suodatus-menetelmä, jota kuvataan luvussa 4.2.2 (Ladd, Bekris, Marceau, Rudys, Kavraki & Wallach 2002, 227 - 238; Youssef, Agrawala, & Shankar 2003, 143 - 150; Youssef & Agrawala 2004, 161 - 166).

4.1.1 Nearest Neighbors -menetelmä

Nearest Neighbors -menetelmä on deterministinen algoritmi, koska se vaatii ainoastaan vakioidun joukon sormenjälkiä, jotka sisältyvät heikkoihin suuntima-arvoihin ja keskihajontaan RSSI-suuntimassa. Päätelläkseen paikan, erotuskykyä on tavallisesti käytetty luokitteluun RSSI-sormenjälkinäytteistä paikka. Nearest Neighbors -menetelmää kutsutaan myös paikka-pohjaiseksi menetelmäksi (engl. *case-based method*), koska se luokittelee kunkin paikan tapauksesta tai luokasta (Roos ym. 2002).

Nearest Neighbors -menetelmässä rakennetaan ensin offline-vaiheessa ”kurkistustaulu” (engl.

look-up table), jossa koko skannattava-alue on peitetty suorakulmaisen ruudukon pisteillä. Ruudukon pisteitä kutsutaan kandidaattipisteiksi. Kustakin kandidaattipisteestä mitataan saapuvan signaalin voimakkuus (RSSI) useita kertoja.

Oletetaan, että $RSSI(ij)$ ilmaisee tukiaseman lähettämän saapuvan signaalin voimakkuuden merkin ($j:t$). Koordinaatti on merkkien järjestäytynyt pari (x, y) , joka esittää kandidaattipisteiden koordinaatteja. Oletetaan, että tukiasemia on viisi. Niitä vasten on siis viisi saapuvien signaalien voimakkuuksien määrittystä $RSSI1...RSSI5$, missä $RSSI_i$ on keskiarvo $RSSI(ij)$:stä.

Online-vaiheessa paikannusohjelma (engl. *positioning program*) kerää saapuvien signaalin voimakkuuksien nykyisen ajanhetken. Jos paikannusohjelmaa ajetaan esimerkiksi mobiililaitteessa, joka on tuettu WLAN-piirillä, tällöin päätelaite itse kerää saapuvien signaalien voimakkuudet. Esimerkiksi, jos oletetaan, että saapuvien signaalien voimakkuuksien kerätyt suunta-arvot ovat $x = (-40, -56, -54, -69, -66)$, tällöin Nearest Neighbors -menetelmässä tutkitaan ”kurkistustaulua” ja etsitään niiden lähimmät kandidaattipisteet. Jos on kaksi yhtä lähellä olevaa kandidaattipistettä, lasketaan niiden keskiarvo, josta saadaan käyttäjän sijainti selville (Bahl & Padmanabhan 2000, 775 - 784).

4.1.2 Bayesian-luokittelumenetelmä

Wann ja Lin (2004, 471 - 476) ovat hyödyntäneet todennäköisyyden tyypin Bayesian-luokittelumenetelmää käyttäjän paikan määrittämiseksi. Madigan ym. (2005, 1217 - 1227) mukaan Bayesian-luokittelumenetelmällä voidaan paikantaa useita käyttäjiä samanaikaisesti. Seuraavassa kuvataan Wannin ja Linin käyttämää laskentakaava paikan määrittämiseksi Bayesian-luokittelumenetelmällä.

Wann ja Lin (2004, 471 - 476) olettavat, että $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ on kerättyjen ja mitattujen saapuvien signaalien voimakkuudet. Paikannusohjelma ennakoii, että käyttäjän paikka on CP_i , jos lauseke $P(CP_i | X) > P(CP_j | X)$ ja $1 \leq j \leq m$, $j \neq i$, missä m on kandidaattipisteiden tai viitepisteiden lukumäärä. Bayesian -teoreemassa lauseke on $P(CP_i | X) = P(X | CP_i)P(CP_i) / P(X)$, kun $P(X)$ on vakio kaikille luokille, ainoastaan lausekkeen kaava $P(X | CP_i)P(CP_i)$ tulee maksimoida. Paikannusjärjestelmä käyttää Bayesian-luokittelumenetelmää löytääkseen $CP_i:t$, joka maksimoidaan kaavalla $P(X | CP_i)P(CP_i)$ palauttaen sen käyttäjän paikkana.

4.2 Radiosignaalin etenemisen vaimentuminen

Radiosignaalin etenemisen vaimennusmalli (engl. *Radio Frequency (RF) -propagation loss model*) on yksinkertainen matemaattinen lauseke, joka esittää saapuvan signaalin voimakkuuden (RSSI) ja etäisyyden välisen suhteen lähettimen ja vastaanottajan välillä. Radioaaltojen va-

paan tilan vaimennus voidaan laskea kaavalla (1), jossa d = etäisyys ja λ = aallonpituus.

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

Saapuvan signaalin voimakkuus on useiden häiriötekijöiden vaikutuksen alainen (katso luku 5) ja etabloituminen tarkoituksenmukaiseen radiosignaalin etenemisen vaimentumiseen on erittäin vaikeaa. Tästä syystä se on vähemmän tarkka kuin sormenjälki-menetelmä (Gigl, Janssen, Dizdarevic, Witrisal & Irahauten 2007, 97 - 101; Lassabe ym. 2005, 382 - 387). Luvuissa 4.2.1 ja 4.2.2 kuvataan lyhyesti kahta eri radiosignaalin etenemisen vaimentumista hyödyntävää paikannusmenetelmää: Kolmiomittaus (engl. *trilateration*) ja Kalman suodatusta (engl. *Kalman filter*).

4.2.1 Kolmiomittaus

Lin, Salterin, Dempsterin ja Rizosin (2006) mukaan kolmiomittaus-menetelmä on yksinkertainen. Kolmiomittauksen toteuttamiseen tarvitaan vähintään kolme tukiasemaa tunnettujen paikkakoordinaattien kanssa. Jos etäisyys tukiasemasta mobiililaitteeseen voidaan mitata, tällöin geometrinen säde voidaan piirtää. Säde kulkee poikki yhdestä pisteestä, joka on mobiililaitteen paikka. Kuitenkin tulee huomioida, että mitattu poikkisäde on saapuvan signaalin voimakkuus (RSSI) kuin mitattu etäisyys mobiililaitteesta. Tämä vuoksi saapuvan signaalin voimakkuus tulee ensin muuntaa etäisyydeksi (Li ym. 2006).

Li ym. (2006) mukaan kolmiomittaukseen sisältyy kaksi vaihetta. Ensimmäinen vaihe käyttää signaalin etenemisen mallia muuntaakseen saapuvan signaalin voimakkuudet etäisyysmitaksi. Toisessa vaiheessa lasketaan paikka esimerkiksi geometrisellä menetelmällä. Koska rakennusten sisällä ympäristöt vaihtelevat merkittävästi, yksinkertaisin tapa löytää saapuvan signaalin voimakkuuden ja tukiasemista mobiililaitteisiin eroavan etäisyyden välinen suhde, on kerätä signaalin voimakkuuden dataa joistakin viitepisteistä tunnetuilla koordinaateilla. Kolmiomittaus mahdollistaa noin 4 - 5 metrin tarkkuuden.

Kolmiomittauksen tarkkuutta voidaan Lin, Dempsterin, Rizos ja Barnesin (2005, 580 - 586) mukaan parantaa hybridi-menetelmällä. Menetelmä perustuu tosiasialle, että pienissä tiloissa kuten huoneessa, signaalin eteneminen (engl. *propagation model*) toimii paremmin. Menetelmällä on kaksi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa sijoitetaan mobiililaitteille pienelle alueelle esimerkiksi huoneeseen ja toisessa vaiheessa käyttämällä kolmiomittaus arvioidaan täsmällinen mobiililaitteen paikka (Dempster, Rizos & Barnes 2005, 580 - 586).

4.2.2 Kalman suodatus

Kalman suodatukselta on kirjoitettu satoja artikkeleita, useimmat koskee sen soveltuvuutta avustettuun navigointiin, kun taas sen soveltuvuutta sisätilapaikannukseen on vain muutama artikkeli.

Kalman suodatus on joukko matemaattisia yhtälöitä, joka mahdollistaa tehokkaan laskennallisen keinon arvioida prosessin tilaa, tavalla joka minimoi neliöllisen virheen (engl. *squared error*). Suodatus on hyvin tehokas monestakin näkökulmasta: se tukee menneen, nykyisyyden ja jopa tulevaisuuden tilat, ja voi tehdä sen vaikka mallinnettava järjestelmä olisi tuntematon (Welch & Bishop 2006).

Kolmiomittaus on kinemaattinen menetelmä, joka ei huomioi käyttäjän dynamiikkaa, kun taas Kalman suodatus mahdollistaa dynaamisen järjestelmän (Brown & Hwang 1996; Kotanen, Hännikäinen, Leppäkoski & Hämäläinen 2003, 297 - 303). Kalman suodatus arvioi paikannusprosessissa toistuvasti paikkaa säätämällä mittausta. Eräs Kalman suodatuksen ominaisuus on, että se minimoi neliöllisen virheen merkityksen.

Kalman suodatus on rekursiivinen ratkaisu irrallisen datan lineaariselle suodatuksen ongelmaan. Sana rekursiivinen tarkoittaa, että suodatus käyttää tietoa sen edellisestä tilasta nykyisen tilan prosessoinnin arvioinnin aikana. Mobiilipaikannuksessa irrallisen datan lineaarisessa suodatuksessa ongelmana on summittainen päätelaitteen liike. Kalman suodatuksessa on mahdollista jäljittää sijainti ja mobiililaitteen nopeus ja täten alentaa paikannuksen virhettä (Brown & Hwang 1996).

Yimin, Parkin, Joon ja Jeongin (2008, 1296 - 1302) mukaan Kalman suodatus laskee jatkuvasti mobiililaitteen sijaintia ja päivittää arvion uudella paikkatiedolla. Paikannusprosessissa mittausyhtälö on esitetty epälineaarisenä mallina ja tästä syystä lineaarisointi tulisi suorittaa johtamalla lineaarinen yhtälö. Kalman suodatus ottaa nykyisen tilan arvioinnissa huomioon järjestelmätoimintojen reaaliaikaisen lineaarisoinnin sekä havaintotoiminnon vastaavan ennakoitun paikan. Yim ym. (2008, 3) esittää, että mitattu etäisyys r_i voidaan osoittaa Euklideoin lausekkeella (2) seuraavasti:

$$r_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} + v_i \quad (2)$$

missä v_i esittää mittauksen kohinaa ja sen oletetaan olevan additiivista valkoista Gaussian kohinaa (engl. *Additive White Gaussian Noise*) normaalin todennäköisyysjakauman tarkoittaessa nollaa ja vaihtelun σ_i^2 .

5 WLAN-paikannuksen ympäristötekijät ja tietoturva

Tässä luvussa käsitellään tekijöitä, jotka vaikuttavat sisätilapaikannuksessa saapuvan radiosignaalin etenemiseen, vaimentumiseen ja voimakkuuteen kuten ihmisen keho, käyttäjän suunnan vaikutus ja rakennuksen esteet.

Radiosignaalin vapaaseen etenemiseen sisätiloissa vaikuttavat signaalin taipuminen, heijastuminen ja hajonta tai signaalit saapuvat vastaanottajalle eri reittejä ns. monitie-eteneminen. Signaalin etenemisen esteinä voivat toimia esimerkiksi huoneiden väliseinät, avoimet tai suljetut ovet, huonekalut, kiinteät esteet kuten betoiniseinät tai metalliesteet, jotka lisäävät monitie-etenemisen mahdollisuutta. Kuitenkin signaalin voimakkuuteen vaikuttavia vaimennustekijöitä on hyvä olla signaalien erottamiseksi paremmin toisistaan.

Kompleksinen ympäristö aiheuttaa myös sisätiloissa signaalin etenemistä estäviä katvealueita tai avoimissa tiloissa radiosignaalit leviävät ja summautuvat muihin signaaleihin sekä saman signaalin heijastuksiin tai esimerkiksi samalla taajuudella toimivat elektroniset laitteet aiheuttavat radiosignaalia häiritsevää kohinaa ns. interferenssi-ilmiö (Kaemarungsi 2005; Xiang ym. 2004).

Radiosignaalin etenemistä heikentäviä ja estäviä tekijöitä vapaassa ilman tilassa sekä monitie-etenemistä voidaan minimoida erityisesti paikannukseen suunnitelluilla, oikein suunnatuilla antenneilla ja riittävällä määrällä WLAN-tukiasemia, jotka auttavat signaalin suuntaamista oikein ja parantavat näin paikannustarkkuutta.

5.1 Radiosignaalin etenemiseen vaikuttavat tekijät

Radiosignaali etenee vapaassa ilmatilassa ja tästä syystä WLAN-verkko on herkempi häirötekijöille kuin perinteinen kaapeloitu lähiverkko. Radiosignaalin etenemiseen rakennuksen sisällä vaikuttavat monet eri häirötekijät, joista tärkeimmät ovat vaimeneminen, sironta, häipyminen, monitie-eteneminen, heijastuminen, taipuminen, doppler-ilmiö ja interferenssi. Seuraavassa käsitellään lyhyesti edellä lueteltuja ominaisuuksia ja niiden vaikutusta radiosignaalin etenemiseen.

5.1.1 Vaimeneminen

Radiosignaali vaimenee edetessään ilmassa tai muussa väliaineessa. Vaimennus pienentää signaalin amplitudia ja tehoa. Vaimennukseen vaikuttavat signaalin taajuus, väliaineen ominaisuudet ja etäisyys. Yleisesti signaalin etenemiseen vaikuttavat kaikki tilassa olevat objektit mukaan luettuna ihmiset (Juutilainen 2008).

5.1.2 Sironta

Sirontaa (engl. *scattering*) tapahtuu, kun radioaallot osuvat epätasaiseen esteeseen (epätasaisuus pienempi tai yhtä suuri kuin aallonpituus). Sironnassa osa radioaallon energiasta synnyttää uusia radioaaltoja eri suuntiin sekä heikentää signaalia (Juutilainen 2008).

5.1.3 Häipyminen

Häipymisessä (engl. *fading*) samantaajuiset aallot voivat vaikuttaa toisiinsa. Jos signaalit ovat lähes samanvaiheisia, ne voivat vahvistaa toisiaan. Jos taas signaalit ovat erivaiheisia, on niiden summa-aalto hyvin pieni. Tätä tapahtumaa kutsutaan häipymiseksi (Puska 2005).

5.1.4 Monitie-eteneminen

Monitie-eteneminen (engl. *multipath propagation*) aiheuttaa ongelmia ja virheitä tiedonsiirrossa, jotka johtuvat pulssien välisestä keskinäisvaikutuksesta (engl. *intersymbol interference*). Pulssien välinen keskinäisvaikutus aiheuttaa 1) vastaanotetun signaalin vääristymistä, 2) signaali leviää ja summautuu muihin signaaleihin sekä saman signaalin heijastuksiin sekä 3) heijastuva signaali tulee perille ”väärään aikaan” vaikeuttaen näin vastaanottajan tehtävää tulkita signaalista oikein sen eri elementit (Juutilainen 2008).

WLAN-tekniikoista 802.11g -standardi käyttää OFDM-modulaatiota (hajaspektritekniikka), johon monitie-eteneminen ei juuri vaikuta. OFDM-tekniikassa data jaetaan eri taajuuksiin alikanaviin, joita käytetään rinnakkain. Alikanavien välissä ei ole varokaistaa, koska kanavat on valittu siten, että kanavien keskitaajuudella muiden kanavien spektri on nolla (Puska 2005).

5.1.5 Heijastuminen ja taipuminen

Heijastuminen (engl. *reflection*) tarkoittaa signaalin etenemissuunnan muutosta. Sen voivat aiheuttaa joko maanpinnan muutokset tai ihmisen tekemät esteet, kuten seinät. Heijastuminen tapahtuu signaalin osuessa sopivassa kulmassa väliaineeseen. Väliaineen rakenne ja signaalin tulokulma määrittelevät heijastuksen määrän ja siitä syntyvän vaimennuksen. Osa signaalista voi tunkeutua väliaineeseen, osa taittua takaisin ilmaan (Puska 2005).

Taipumisessa (engl. *diffraction*) radioaallot taipuvat ja leviävät osuessaan esteeseen. Taipumista tapahtuu erityisesti aaltoja huonosti läpäisevän ja tasaisen (suhteessa aallonpituuteen) esteen kohdalla (Juutilainen 2008).

5.1.6 Doppler-ilmiö

Doppler-ilmiössä signaalien lähteen ja kohteen liikkuessa toisiinsa nähden, kohteeseen tulevien radioaaltojen lukumäärä aikayksikköä kohden poikkeaa lähteen tuottamien radioaaltojen määrästä (Juutilainen 2008).

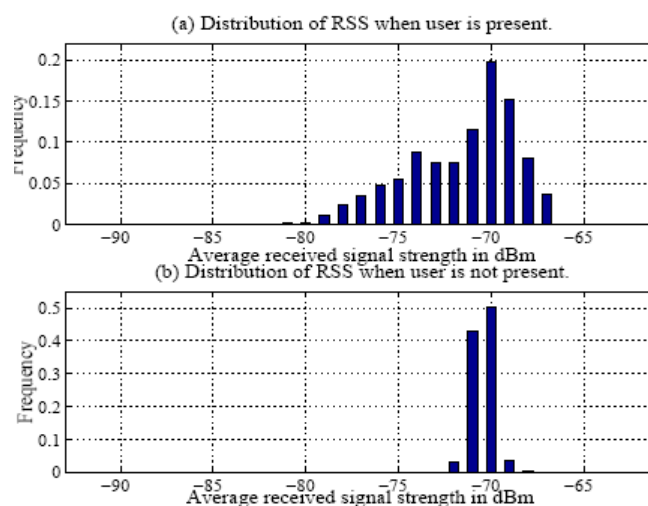
5.1.7 Interferenssi

Useita aaltoliikkeitä voi edetä samassa paikassa yhtä aikaa. Silloin värähtelijät, kuten ilmamolekyylit, joutuvat useaan samanaikaiseen aaltoliikkeeseen. Tämä aaltoliikkeiden yhteisvaikutus on nimeltään interferenssi. Interferenssi voi tapahtua sekä pitkittäisille että poikittaisille aaltoliikkeille (Juutilainen 2008). Esimerkiksi mikroaaltouuni, joka toimii samalla 2.4 GHz taajuusalueella kuin WLAN-tukiasemat, on mahdollista kasvattaa interferenssi-ilmiön mahdollisuutta.

5.2 Ihmisen kehon vaikutus saapuvan signaalin voimakkuuteen

Kaemarungsi (2005) on tutkinut ihmisen kehon vaikutusta saapuvan signaalin voimakkuuteen Pittsburghin yliopistossa. Kokeellisessa sisätilapaikannusympäristössä huoneessa 410a (katso kuva 5) tukiaseman ja vastaanottimen (mobiililaitte) välinen etäisyys oli 7 m, jossa mobiililaitteella ei ollut suoraa näköyhteyttä tukiasemaan. Saapuvan signaalin voimakkuutta mitattiin 2 tuntia. Ensimmäisen tunnin aikana käyttäjä oli läsnä, toisen tunnin aikana käyttäjä ei ollut läsnä. Kaemarungsin saama mittaus tulos on esitetty pylväsdiagrammina kuvassa 4. Kuvat 4a ja 4b esittävät kahden pylväsdiagrammin välisen eron, joka on mitattu samasta paikasta. Käyttäjän keho on vaikuttanut merkittävästä saapuvan signaalin voimakkuuteen. Keskihajonta on laskenut 3 dBm:stä 0.68 dBm:ään, kun käyttäjä ei ole läsnä. Kaemarungsi (2005) selittää, että käyttäjä toimii ikään kuin saapuvan signaalin heijastimena, joka aiheuttaa saapuvan signaalin heilahtelua enemmän kuin muutoin. Ennuste kasvaa -71.6 dBm:stä -70.4 dBm:ään kun ihmisen keho ei vaikuta signaaliin.

Koska veden resonanssitaajuus on 2.4 GHz ja ihmisen keho koostuu 70 % vedestä, signaali absorboituu ihmisen kehoon käyttäjän peittäessä signaalia. Tämä aiheuttaa siten ylimääräisen vaimennuksen, joka johtaa alempaan saapuvan signaalin voimakkuuden (RSSI) arvoon (Ladd ym. 2002).

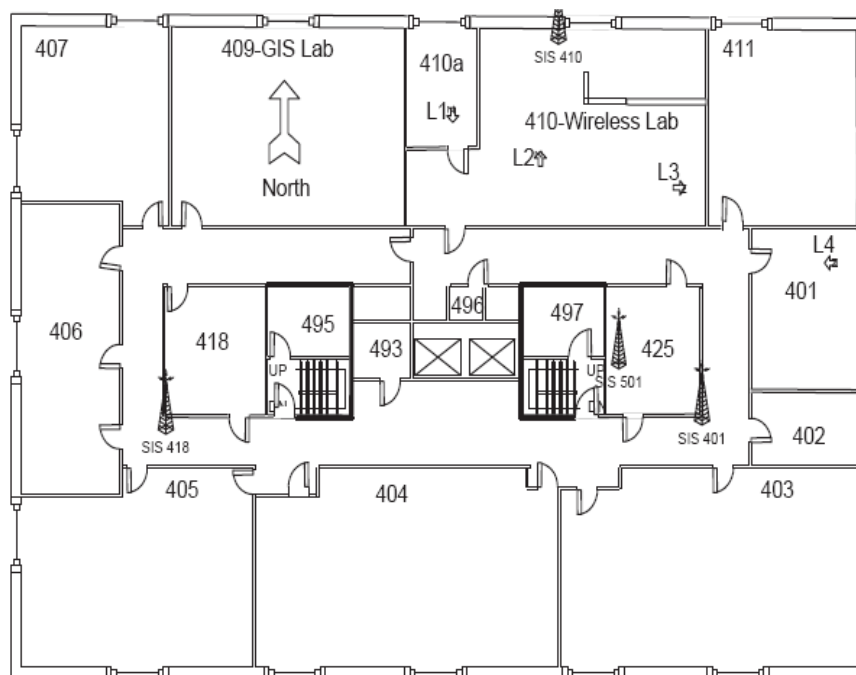


Kuva 4. Käyttäjän kehon vaikutus signaalin voimakkuuteen (Kaemarungsi 2005).

5.3 Käyttäjän suunnan vaikutus saapuvan signaalin voimakkuuteen

Todistaakseen käyttäjän kehon suunnan vaikutuksen saapuvan signaaliin voimakkuuteen Kaemarungsi (2005) suoritti mittauksen Pittsburghin yliopiston neljännen kerroksen huoneessa 410 paikassa L2 (kuva 5), jossa tukiaseman (SIS410) ja vastaanottimen välillä oli näköyhteys. Etäisyys tukiaseman ja vastaanottimen välillä oli 6 m. Tukiasemien SIS401 ja SIS501 signaalit vaikuttivat myös tähän sijaintiin ilman näköyhteyttä etäisyyksiltä 11 m ja 22 m. Mittaukset tehtiin neljään ilmansuuntaan (kohdennettuna pohjoiseen, etelään, länteen ja itään rakennuksesta) 15 minuutin ajanjaksolla. Tapauksessa, jossa tukiasemaan (SIS410) on näköyhteys, käyttäjä on suuntautuneena etelään ja tukiasema on käyttäjän takana. Tässä tapauksessa saapuvan signaalin voimakkuuden näyte oli madaltunut -59.05 dBm:ään verrattuna korkeimpaan saapuvan signaalin voimakkuuden arvoon -49.73 dBm, kun käyttäjä oli suuntautuneena länteen ja WLAN-kortti oli kohdennettuna tukiasemaan SIS410. Tulos osoittaa, että saapuvan signaalin voimakkuus oli heikentynyt -9.32 dBm:llä johtuen ihmiskehon esteestä.

Johtopäätöksenä voidaan esittää, että käyttäjän suuntautuneisuus tukiasemaan nähden on tärkeä ja ihmisen kehon aiheuttama vaimennustekijä signaalin voimakkuuteen tulee ottaa huomioon paikannusalgoritmeissa laskettaessa käyttäjän oletettua paikkaa.



Kuva 5. Pittsburghin yliopiston neljännen kerroksen WLAN-tukiasemien sijainti (Kaemarungsi 2005).

5.4 Käytettävyys- ja tietoturva-vaatimukset paikannuksessa

Paikannukseen liittyvä tietoturva ei ole tämän työn keskiössä. Asia on kuitenkin tärkeä säteilymittausdatan käsittelyn näkökulmasta. Tässä luvussa tuodaan esiin keskeisiä paikannukseen liittyviä tietoturva- ja käytettävyysnäkökohtia.

Wallbaum ja Dornbusch (2001) ovat esittäneet artikkelissaan “Design Considerations for a Platform Supporting Location-Aware Services” seuraavat yleiset vaatimukset käytettävyydelle ja tietoturvalliselle paikkatietoiselle palvelulle:

- Skaalautuvuus. Paikkatietojärjestelmän tulee skaalautua suurelle määrälle käyttäjiä
- Tarkkuus. Eri sovelluksilla on erilaiset tarkkuusvaatimukset ja erilaiset paikkatietojärjestelmät toimittavat paikkatietoa eri tarkkuuksilla, tästä syystä generisen paikkatietojärjestelmän tulee kyetä käsittelemään paikkatietoa eri tarkkuuksilla
- Käyttäjän yksityisyys. Käyttäjän tulee voida estää mobiililaitteen paikantaminen tai ainakin määrittellä kuka ja milloin voi paikantaa
- Joustavuus. Paikkatietojärjestelmien tulee mahdollistaa erilaisia keinoja paikantaa päätelaite ilman, että sovellusta tulee muokata paikkatiedon hyödyntämiseksi

- Vikasietoisuus. Geneerinen paikkatietojärjestelmä tulee suunnitella vikasietoiseksi siten, että esimerkiksi kriittisetsovellukset kuten hätäkutsujen paikantaminen on tuettu
- Laitevaatimukset. Paikkatietojärjestelmää suunnitellessa tulee huomioida mobiililaitteiden rajoitukset kuten akkujen kesto, näyttöjen koko ja laskentateho
- Vasteaika. Geneerinen paikkatietojärjestelmä tulee suunnitella siten, että se tukee reaaliaikasta jäljitystä.

Wallbaumin ja Dornbuschin (2001) vaatimukset ovat yleisluontoisia eivätkä ole tarkoitettu erityisesti langatonta lähiverkkoa (IEEE 802.11 -standardia) hyödyntäville sisätilapaikannuspalveluille. Kuitenkin Wallbaumin ja Dornbuschin esittämät vaatimukset ovat hyvä lähtökohta käytettävyyden ja tietoturvan parantamiseksi. Tässä työssä käytetään sovelletusti Wallbaumin ja Dornbuschin esittämiä vaatimuksia paikkatiedon käsittelyyn kahdesta eri näkökohdasta, näitä ovat:

- Eheys, jossa radiosignaalin mittaus- ja paikkatieto tulee suojata “peukaloinnilta” tai jos väärinkäyttö tapahtuu, tulee sen olla ilmiselvä
- Salaus, jossa ainoastaan valtuutettu henkilö voi käyttää paikkatietoa.

Eheys näkökohdasta tarkasteltuna koko tietovirta signaalin mittaamisesta lopulliseen paikkatiedon käsittelyyn asti tulee olla hyökkäyksen kestävä. Yleisin keino varmistaa tiedon eheys on tiedon salaaminen ja allekirjoittaminen (Wallbaum & Dornbusch 2001).

Salauksessa tulee varmistaa paikkatietojärjestelmän tietoturva, käyttämällä sopivaa pääsyn valvontaa ja tunneloimalla tiedon siirto (Wallbaum & Dornbusch 2001).

Monet kaupalliset paikkatietojärjestelmät sisältävät tietoturvaominaisuuksia, joita ei sisälly lähiverkko-pohjaisiin verkonvalvonta- ja hallintaohjelmistoihin. Esimerkiksi Ciscon Unified Wireless Network Solution Security (katso luku 8.1.3) laajentaa Ciscon verkonhallintajärjestelmän paikkatietojen käsittelyyn liittyviä tietoturvaominaisuuksia samoin kuin Newburyn RF Firewall-ohjelmisto, joka sisältää ominaisuuksia kuten paikkapohjainen pääsyn valvonta ja tietoturvasääntöjen täytäntöönpano, joilla voidaan suojata itse paikkatietojärjestelmä ja paikkatiedon käsittely väärinkäytöksiltä (Newbury 2008). Yleisempiä paikannukseen liittyviä tietoturvaominaisuuksia ovat passiivinen tarkkailu, luvaton pääsy ja palvelunestohyökkäys (Geier 2005).

6 Paikannuksen hyödyntäminen säteilymittauksessa

Säteilyturvakeskus käyttää GPS-paikannusta hyödyntävää SONNI- (engl. *Sophisticated ON-site Nuclide Identification*) ja VASIKKA-säteilyhavainnointijärjestelmiä säteilylähteiden havainnointiin ympäristössä.

Tässä työssä valmistetaan sisätiloissa tehtävään säteilylähteiden paikallistamiseen konstruktio, joka perustuu WLAN-pohjaiseen sisätilapaikannukseen. Konstruktiossa hyödynnetään vastaavaa säteilymittausteknologiaa kuin on toteutettu SONNI- ja VASIKKA-järjestelmissä.

6.1 GPS-paikannus säteilymittauksessa ulkona

Säteilyturvakeskuksen Turvateknologialaboratorio hyödyntää säteilymittauksissa GPS-paikannusta siten, että kannettavaan tietokoneeseen on kytketty säteilyä havainnoiva anturi, sateliittipaikannusjärjestelmä ja tietoliikennejärjestelmä. Tietokoneen ohjelma yhdistää sijainti- ja säteilytiedot tietokannassa. Mittaustulokset voidaan esittää heti kartalla, ja ne voidaan myös välittää STUKiin, josta tulokset siirretään toiseen tietokantaan.

Kuvassa 6 oleva SONNI-mittausauto tekee liikkuessaan säteilyhavainnoja ympäristöstä. SONNI-järjestelmä tallentaa säteilytiedot LINSSI-tietokantaan. Sateliittipaikannusjärjestelmä kerää sijaintitiedot ja tallentaa ne LINSSI-tietokantaan, josta eri tauluissa olevat säteily- ja sijaintitiedot yhdistetään aikaleiman kautta.



Kuva 6. Säteilytiedustelu SONNI-mittausautolla (STUK 2008).

Vastaava säteilymittausjärjestelmä kuin SONNI on toteutettu myös salkkukokoon. Se on vi-

ranomaisten asiantuntijajärjestelmä säteilyinformaation keräämiseen, käsittelyyn ja analysointiin (VASIKKA).

Säteilyanalysointijärjestelmä toimii LINUX-käyttöjärjestelmän päällä. Säteilyä havainnoiva mittauslaite on yhdistetty LINUX-tietokoneeseen USB-liitännällä (engl. Universal Serial Bus). Järjestelmä tallentaa säteilyanturilla kerätyn säteilyinformaation MySQL-pohjaiseen LINSSI-tietokantaan. Järjestelmään kuuluu sateliittinavigaattorilla toimiva GPS-paikannuslaitteisto, joka kerää paikkatiedon. Paikkatieto ja mitattu säteilydata yhdistetään LINSSI-tietokannassa reaaliaikaisesti ja mitatut säteilyhavainnot visualisoidaan heti WGS-84 karttakoordinaattijärjestelmää hyödyntävälle karttapohjalle. Analyysijaksot esitetään myös aikasarjana. Katso kuva 7.



Kuva 7. Kannettava säteilytiedustelulaitteisto VASIKKA (STUK 2008).

6.2 Radiotaajuuspaikannus sisällä tehtävässä säteilymittauksessa

Saapuvan radiosignaalin voimakkuuden mittaamisen hyödyntämiseen perustuvaa säteilylähteiden paikantamista sisätiloissa ei ole testattu tai konstruoitu aiemmin eikä aiheesta löytynyt julkaisuja.

Tämän työn soveltavan osan tavoitteena on luoda konstruktio (katso luvut 9 ja 10), jonka tarkoituksena on osoittaa, että säteilylähteitä voidaan paikantaa sisätiloissa WLAN-pohjaisen sisätilapaikannuksen avulla.

7 Sisätilapaikannuksen suunnittelun lähtökohdat

Tässä luvussa kuvataan niitä vaatimuksia ja lähtökohtia, joita tulee ottaa huomioon suunniteltaessa sisätilapaikannuksen käyttöönottoa.

7.1 Sisätilapaikannuksen vaatimukset säteilylähteiden havainnointiin

Seuraavassa on lueteltu vaatimukset, jotka asetetaan tässä työssä säteilymittaukseen kehitettävälle sisätilapaikannukselle:

- Mallinnus pohjautuu sekä symboliseen että geometriseen sijaintitietoon
- Paikkatietojärjestelmä käyttää suorakulmaista kaksi- tai kolmiulotteista koordinaattijärjestelmää
- Paikkatiedot viedään tietokantaan käyttämällä LinssiMarkup Language (LML) -kieltä. LML noudattaa W3C:n XML-standardia
- Säteilyhavainto voidaan tehdä 9 m² tarkkuudella
- Säteilymittausdataa voidaan käsitellä tietoturvasesti
- Sisätilapaikannus voidaan suorittaa nopeasti ja huomaamattomasti
- WLAN-tukiasemien virranlähteenä tulee voida käyttää akkuja
- Virrankulutus tulee voida minimoida.

7.2 Paikkatietoon liittyvät standardit

Open Mobile Alliance (2008) on jatkanut LIF:n (Location Interoperability Forum) työtä mobiilipaikannuksen standardien kehittämiseksi, jolla varmistetaan mobiilipaikannukseen liittyvien palvelujen yhteentoimivuus.

3GPP (Third Generation Partnership Project) ja ETSI ovat (European Telecommunications Standards Institute) yhteistyössä standardoineet GSM- ja 3G-matkapuhelinverkkoihin paikkatietopalveluille arkkitehtuurimallia, jonka tavoitteena on matkapuhelimien paikannus (3rd Generation Partnership Project 2008; European Telecommunications Standards Institute 2008).

ISO/TC 211 on kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n tekninen komitea Geographic information/Geomatics, joka laatii kansainvälisiä standardeja paikkatietojen esittämiseen (Tekniikan sanastokeskus 2002). Organisaatio on aloittanut vuonna 1994 kehittämään joukon toisiinsa liittyviä ISO-standardeja. Kehitteillä olevat standardit määrittelevät menetelmiä, työkaluja ja palveluita paikkatiedon hallintaan. Standardoinnin kohteena ovat paikkatietojen kerääminen, jalostaminen, analysointi, esittäminen ja siirtäminen elektronisessa muodossa

käyttäjien ja paikkatietojärjestelmien välillä (ISO/TC 211 2008).

Open Geospatial Consortium (OGC) on kansainvälinen yritysten, hallitusten ja yliopistojen yhteenliittymä, jonka keskeisenä tehtävänä on tuottaa yhteisiä ja julkisia määrittelyjä paikkatiedon siirrolle ja käytölle. Sen tavoitteena on luoda joukko avoimia rajapintoja, joiden avulla erilaiset paikkatietojärjestelmät voivat toimia yhdessä. Yhtymän työryhmät kehittävät muiden muassa arkkitehtuurimalleja, luettelopalveluita paikkatiedon jakamiseen, työkaluja koordinaattimuunnosten tekemiseen ja XML-pohjaisia paikkatiedon kuvauskieliä (Open Geospatial Consortium 2008; Tekniikan sanastokeskus 2002).

Suomalaisista standardoinneista on mainittava Maanmittauslaitoksen paikkatietojen yhteiskäytön viitemalli, joka koostuu Julkisen hallinnon suosituksista JHS 111 - 117. Suositukseen pyritään varmistamaan, että yhteiskäyttöiset suomalaiset tietopalvelut tarjoavat sovelluksille vakioitun rajapinnan (Paikkatietotekniikan perusteet 2007).

7.3 Paikkatiedon mallintaminen

Paikkatietojen mallintamisen peruseräatteen ja keskeiset käsitteet on esitelty ISO TC 211 -työryhmän perusstandardissa ISO 19101:2002 Reference model (Viitemalli). Näitä peruskäsitteitä ovat mm. sovelluskeema (engl. *application schema*) ja *paikkatietokohde* (engl. *feature*), lyhyemmin *kohde*. Viitemalli myös listaa paikkatietokohteen keskeiset komponentit: attribuutit (engl. *feature attributes*), operaatiot (engl. *feature operations*) ja kohteiden väliset suhteet (engl. *feature relationships*). Standardi ISO 19109:2005 ”Rules for application schema” tarkoittaa paikkatietojen käsitteellistä mallintamista ja asettaa yksityiskohtaisia sääntöjä käytännön sovelluskeemojen laatimiseksi määrittelemällä kohdemuotoisten paikkatietojen yleisen tason kohdemallin (engl. *General Feature Mode, GFM*). (ISO/TC 211 2008).

ISO-standardoinnissa on lähtökohdaksi otettu peruseräate paikkatietojen mallintamisesta yksittäisinä paikkatietokohteina. Tämä lähtökohta soveltuu parhaiten vektorimuodossa esitetävän paikkatiedon mallintamiseen. Kohde koostuu joukosta *ominaisuuksia* (property), jotka GFM:n mukaan jaetaan kolmeen päätyyppiin: *attribuutit*, *operaatiot* ja *suhderoolit*. Kohdetypit voivat muodostaa tyyppihierarkioita tavanomaista perintämekanismia noudattaen. Kohteiden väliset suhteet voidaan mallintaa myös kohdetyypeinä - tällöin suhteita siis käsitellään aineistossa itsenäisinä kohteina. Jos suhteisiin ei liity omia ominaisuuksiaan, nämä voidaan yksinkertaisemmin esittää suhderoolien avulla.

7.4 Sisätilapaikannuksen koordinaatisto

Sisätiloissa tehtävässä paikannuksessa on usein järkevää käyttää suorakulmaista, metripoh-

jaista koordinaatistoa (katso luku 2.4.2), jota käyttäen on helppo mitata ja tuottaa paikkatiedotdataa. Tämän lisäksi voidaan välttyä paikannettavan alueen sisällä epätarkkuutta lisääviltä ja laskentakapasiteettia vaativilta muunnoksilta. Sisätiloissakin voidaan käyttää kolmiulotteista koordinaatistoa, jos paikannettava-alue on useampi kerroksinen avoin tila esimerkiksi ostoskeskukset, messuhallit, lentokenttien terminaalit jne. Kuitenkin sisätiloissa on korkeuskoordinaatin sijasta tärkeämpää mallintaa tieto siitä, missä kerroksessa ollaan. Sisätiloissa on myös usein tarpeen käyttää fysikaalisen koordinaattitiedon lisäksi symbolista paikkatietoa, tietoa huoneista, käytävistä jne. Palvelua suunniteltaessa on otettava huomioon käyttöympäristönä toimivan Wi-Fi -laitteen laskentakapasiteetti. Tavallisimpien mobiililaitteiden prosessorit eivät tue liukulukulaskentaa suoraan, joten liukuluvuilla tehtävät koordinaatistomuunnokset vaativat huomattavasti enemmän prosessoriaikaa kuin laskeminen kokonaisluvuilla. Paikkatietomallia ja paikannuspalvelua suunniteltaessa on siis harkittava, missä kannattaa käyttää liuku- ja missä kokonaislukuja. Mikäli palvelun käytössä on verkkoresursseja, on myös harkittava mitä laskutoimituksia kannattaa tehdä Wi-Fi -laitteella ja mitä palvelimella.

7.5 Sisätilapaikannuksen arkkitehtuurin suunnitteluperusteet

Luvuissa 7.5.1 ja 7.5.2 kuvataan Kaemarungsin (2005) asettamia sisätilapaikannuksen suunnitteluperusteita ennen kuin otetaan käyttöön varsinainen paikkatietojärjestelmä.

7.5.1 Ylemmän tason arkkitehtuurin suunnittelu

Ylemmän tason arkkitehtuuria suunniteltaessa paikannukseen tarvittava sovellusentyyppi on ensimmäinen päätös, joka tulee tehdä sisätilapaikannuksessa. Paikannus-sormenjälkitekniikat (engl. *location fingerprinting technique*) on yleisesti tarkoitettu antamaan paikka- ja jäljityspalveluja rakennuksen sisällä oleville käyttäjille (Bahl & Padmanabhan 2000). Toistaiseksi paras tarkkuus on suunnilleen muutama metri todellisesta paikasta. Tämä johtuu saapuvan signaalin voimakkuuden (RSSI) sattumanvaraisuudesta. WLAN-pohjaiset paikkatietojärjestelmät eivät kykene senttimetrien tarkkuuteen. Tästä syystä WLAN-pohjaiset paikkatietojärjestelmät sopivat sovelluksiin, joille riittää metrien tarkkuus (Kaemarungsi 2005).

Paikannettavan alueen koko vaikuttaa myös siihen kuinka monta paikkaa tulee kalibroida. Alueen koko vaikuttaa aikaan, joka vaaditaan keräämään paikkasormenjäljet ja kuinka monta WLAN-tukiasemaa tarvitaan peittämään paikannettava-alue. Myös tulee varmistaa, että paikannettavalla alueella on riittävä määrä erilaisia tukiaseman signaaleja paikannusta varten (Kaemarungsi 2005).

Paikannuksen tarkkuus ja määritettävä paikannusalue (engl. *grid spacing*) voidaan määrittää pohjautuen paikkatietojärjestelmän mahdollistamiin palveluihin. Joillekin sovelluksille riittää

paikannustarkkuus, joka on suhteessa toimistotilan kokoon, kun taas toiset sovellukset vaativat muutamien metrien suuruusluokkaa olevan sisätilan paikkamäärityksen. Sormenjälkien liian tiheä kerääminen voi johtaa ajanhukkaan kuitenkin paikannuksen suorituskyvyn siitä olennaisesti parantumatta. Paikannukseen tarvittavat parametrit määrittävät sen, miten skaalautuva on paikkatietojärjestelmä tietyssä sisätilan paikannuksessa (Kaemarungsi 2005).

Säteilyturvakeskuksessa evaluoitujen Cisco- ja Ekahau-paikkatietojärjestelmien paikannustarkkuudeksi oli riittävä tyyppillisen toimistohuoneen tai työtilan (noin 3 m x 3 m) aluetta vastaava koko.

Paikantamisen (kalibroinnin) määrä riippuu paikannettavan alueen koosta, määritettävästä paikannusalueesta ja nykyisestä pohjapiirroksesta. Paikkasormenjälkien keräämisessä paikantamisen suoritusta heikentävät huonekalut ja läpipääsemättömät alueet. Pohjapiirustus, paikannettavan alueen koko ja paikannuksen tarkkuus auttavat ratkaisemaan tarvittavien paikannusten määrän (Kaemarungsi 2005).

WLAN-tukiasemien määrä on avainasemassa suorituskyvyn parantamisessa. Tukiaseman ei tarvitse olla liitettyä Internetiin. Tukiaseman lähettämä signaali riittää saapuvan signaalin voimakkuuden havaitsemiseen (Ekahau 2008). Vaikka IEEE 802.11b -standardissa on ei-päällekkäisten taajuuksien määrä rajoitettu, voidaan tukiasemat asentaa toistensa lähietäisyydelle välittämättä häiriöistä, jos tietoliikenneyhteys ei ole pääasiallinen käyttö (Kaemarungsi 2005).

Käyttäjien lukumäärä tulee huomioida, koska se voi vaikuttaa merkittävästi liikenteeseen ja WLAN-tekniikan ja paikannuspalvelujen työmäärään. Käyttäjien määrä ollessa suuri, tulee paikannustoiminnon mieluummin olla mobiililaitteissa kuin tukiasemilla (Kaemarungsi 2005).

Käyttäjän suuntautumisen huomioiminen tulisi sisällyttää paikannuskarttaan (engl. *radio map*). Kuitenkin tämän huomioiminen on käytännössä vaikea toteuttaa. Esimerkiksi Cisco (2006) paikkatietojärjestelmässä suoritettaessa kalibrointia, ohjeistetaan käyttäjän kääntymään 360 astetta ympäri kussakin paikassa kerätessä paikkasormenjälkiä (katso luku 8.3.3). Tähän kuluu aikaa noin 20 sekuntia kalibrointipistettä kohti. Jos käyttäjän suuntautuminen huomioidaan paikannuksessa, tulee myös päättää kuinka monta suuntaa (etelä, pohjoinen, länsi, itä, luode, koillinen, lounas, kaakko) tarvitaan. Mitä enemmän paikannuksessa huomioidaan eri suuntia, sitä suurempi määrä dataa tulee kerätä kaikista paikkayhdistelmistä ja eri suunnista (Kaemarungsi 2005).

Ympäristöparametrien kuten signaalin vaimennuseksponentti (engl. *path loss exponent*) ja saapuvan signaalin voimakkuuden keskihajonta tulisi ottaa selville suorittamalla pieni paikan-

nettavan alueen skannaus. Tämä vaaditaan, jos halutaan ennakoida paikkatietojärjestelmän suorituskykyä ilman työläitä mittauksia. Myös paikkasormenjälkien näytteiden lukumäärä vaikuttaa paikkatietojärjestelmän suorituskykyyn (Kaemarungsi 2005).

Sormenjälkien kerääminen on eniten aikaa kuluttava vaihe WLAN-pohjaisessa paikkatietojärjestelmässä. Ilman signaalin etenemisen mallinnusta (engl. *signal propagation model*) paikkasormenjälkien keräämiseksi, mittausajanjakso ja vaadittavien näytteiden määrä tulisi valita siten, että järjestelmä voidaan ottaa tehokkaasti käyttöön suurilla alueilla. Tästä syystä tulee tehdä kompromissi käytettävän ajan ja suorituskyvyn välillä kerätessä paikkasormenjälkiä. Lyhin paikkadatan keräämiseksi käytettävä ajanjakso paikannettavaa aluetta kohti tulisi käyttää mittakaavana paikkatietojärjestelmää käyttöönotettaessa, koska vaadittavien tukiasemien määrä on kerrannainen kalibroitavaa aluetta kohti (Kaemarungsi 2005).

Paikantamisen luottamuksellisuus voidaan määrittää sovelluksella, vaadittavalla tietoturvalta, yksityisyydellä ja monimutkaisuusrajoitteilla. Sekä mobiililaitteet että tukiasemat voivat lähettää merkkisignaalia ja suorittaa saapuvan signaalin voimakkuuden mittaamista. Bahlin ja Padmanabhanin (2000) mukaan tietoturvaa ja yksityisyyttä lisäävillä määrityksillä ei ole vaikutusta paikkatietojärjestelmän tarkkuuteen. Kaemarungsin (2005) mukaan tämä pitää paikkansa, jos paikannukseen käytettävä laitteisto tulee samalta toimittajalta. Bahlin ja Padmanabhanin (2000) mukaan käyttäjien määrän kasvaessa, paikannuksen luottamuksellisuuteen ja tietoturvaan liittyvät määritykset tulisi hajauttaa mobiililaitteille alentamaan verkon kuormaa ja monimutkaisuutta paikkatietojärjestelmässä ja tukiasemilla. Mobiililaitteessa tehtävä saapuvan signaalin voimakkuuden mittaus voidaan tehdä käyttäjälle tietoturvallisemmaksi. Palvelinpuolella suoritettava saapuvan signaalin voimakkuuden mittaaminen tekee järjestelmästä monimutkaisemman, koska paikkatietojärjestelmän tulee olla yhteydessä ja tehdä synkronointia kaikkiin mobiililaitteisiin ja tukiasemiin. Tämä myös heikentää tietoturvaa (Bahl & Padmanabhan 2000).

Mobiililaitteella paikan laskentaa voi rajoittaa sen laskentateho ja virrankulutus. Pienissä toimistotiloissa, joissa on vain vähän mobiililaitteita, on järkevää suorittaa paikanlaskenta keskitetysti paikkatietojärjestelmässä (Wu, Fu & Lian 2004).

7.5.2 Alemman tason arkkitehtuurin suunnittelu

Paikannusalgoritmia valittaessa käytetään tässä työssä Kaemarungsin (2005) tekemiä vertailuja ja päätelmiä WLAN-pohjaisista paikannusalgoritmeista.

Kaemarungsi (2005) on tutkinut väitöstyössään paikannusalgoritmien suorituskykyä etäisyys- ja todennäköisyyspohjaisesta näkökulmasta täydentäen Brunaton ja Battitin (2004) aiemmin

tekemiä johtopäätöksiä. Kaemarungsi (2005) on arvioinut kalibroitivaiheen ja paikannusvaiheen monimutkaisuutta. Hän on käyttänyt omassa tutkimuksessaan vertailukriteereinä paikannustietokannan rakennetta, tietokannan muistitilavaatimuksia ja paikannusalgoritmien monimutkaisuutta. Olettaen, että paikannusinformaatio on kaikissa tekniikoissa samat ja sisältävät tietyn määrän (esimerkiksi tavuja) ulottuvuuteen ja suuntautuneisuuteen liittyvää tietoa.

Kaemarungsin (2005) mukaan kaikissa tekniikoissa (etäisyys- ja todennäköisyys pohjainen algoritmi) kalibroitivaiheessa tietokannan muistintilan tarve kasvaa paikannuksen määrän kasvaessa, erityisesti todennäköisyypohjainen laskenta vie eniten tilaa. Online-vaiheessa haku ja lajittelu ovat kaksi yleisintä toimintoa. Todennäköisyypohjainen laskenta kuluttaa kaikkien eniten aikaa löytääkseen tietokannasta kaikki sopivat paikkasormenjäljet, joiden pohjalta lasketaan todennäköinen paikkatieto. Etäisyypohjainen laskenta vaatii vähiten aikaa. Kuitenkin todennäköisyypohjainen laskenta saavuttaa paremman tarkkuuden paikan laskennassa johtuen suuremmasta paikkainformaation määrästä paikannuskartalla (Kaemarungsi 2005).

Suunniteltaessa käytettävän paikannusalgoritmin hyödyntämistä mobiilipaikannuksessa, tulee huomioida paikannukseen käytettävä aika sekä laskennan määrä johtuen mobiililaitteiden laskentatehosta ja rajoitetusta käyttövirran määrästä. Jos dedikoitu paikkatietojärjestelmä ylläpitää kalibroitivaiheessa paikannuskartan mallintamisen ja online-vaiheessa paikan laskennan, muistintilan ja laskentatehon tarve ei ehkä ole suunnittelukysymys.

8 Cisco- ja Ekahau-paikkatietojärjestelmät

8.1 Cisco-paikkatietojärjestelmä

Ciscon paikkatietojärjestelmää hyödynnetään pääsääntöisesti teollisuudessa, terveydenhuollossa, jälleenmyynnissä ja logistiikassa.

Tässä luvussa kuvataan Ciscon kokeellisen sisätilapaikannusympäristön käyttöönottoa. Cisco (2006, 6) luokittelee paikkatietojärjestelmät (engl. *positioning systems*) mittaustekniikan mukaisesti 4 peruskategoriaan:

- Solun origoon (lähin solu)
- Etäisyyteen (lateraatio)
- Saapuvan signaalin kulmaan (kulmamuodostuma, angulaatio)
- Paikkamallinnukseen

Ciscon (2006) mukaan reaaliaikaista paikkatietojärjestelmää suunniteltaessa voidaan käyttää yhtä tai kaikkia edellä luokitelluista tekniikoista mobiililaitteen sijainnin päättelemiseksi ja pyrittäessä optimoimaan suorituskykyä. Ciscon reaaliaikainen paikkatietojärjestelmä on esimerkki suorituskyvyn optimoinnista sekä sisä- että ulkotiloissa käyttämällä kahta eri tekniikkaa.

8.1.1 Cisco-paikannuslaitteiston käyttöönottaminen

Ciscon paikannusratkaisua käyttöönotettaessa on hyvä huomioida tässä luvussa kuvattuja asioita esimerkiksi minkä tyyppisiä ja kuinka monta laitetta on tarkoitus paikantaa. Ciscon ratkaisussa yhtä paikannuslaitetta (Wireless Location Application, WLA) kohti voidaan paikantaa enintään 1 500 erilaista langatonta laitetta. Tässä työssä riittää yhden Wi-Fi -laitteen paikantietojen tallentaminen tietokantaan säteilyhavaintojen paikantamiseksi. Paikannuslaitteiston käyttöönotto tapahtuu samalla tavalla riippumatta paikannettavien laitteiden laajuudesta.

Ciscon (2008) paikannuslaitteen alustaminen ja konfigurointi tehdään komentokieli-tasolla (engl. *Command Line Interface*) kytkemällä kannettava tietokone sarjaliitännällä paikannuslaitteeseen. Laitteen konfiguroinnin voi tehdä esimerkiksi Windowsin HyperTerminal -tietoliikenneohjelmalla. Tämän jälkeen paikannuslaitteiston käyttöönotto voidaan viedä loppuun verkonhallintajärjestelmällä (Wireless Control System, WCS). Konfiguroinnin jälkeen paikannuslaitteisto liikennöi suoraan siihen liitettyjen WLAN-ohjaimien kanssa. Verkonhallintajärjestelmä synkronoidaan paikannuslaitteiston kanssa, joka mahdollistaa paikannuslaitteiston hallinnan. Verkonhallintajärjestelmän ylläpitäjä voi konfiguroida paikannuslaitteen keräämään

paikkatietoja ja tilastotietoja määrittelyissä ajanjaksoissa.

Ciscon (2008) mukaan paikannuslaitteisto laajentaa verkohallintajärjestelmän (katso luku 8.1.2) paikannusominaisuuksia kuten paikan laskentaa, paikkatietojen keräämistä ja paikka-historiatietojen tallentamista tietokantaan. Verkohallintajärjestelmä voi esittää paikkahistoriatietoja aina 1 500 Wi-Fi -laitteesta. Tässä roolissa paikannuslaitteisto toimii palvelimena verkohallintajärjestelmälle.

Ciscon (2008) mukaan paikannusympäristöt, joissa on useita paikannuslaitteita ja verkohallintajärjestelmiä, voidaan paikannuslaitteiston tietokanta varmistaa minkä tahansa verkohallintajärjestelmän ennalta määriteltyyn FTP-kansioon (engl. *File Transfer Protocol*). Tietokanta voidaan myös palauttaa koska tahansa samaiselta verkohallintajärjestelmältä. Verkohallintajärjestelmän ja paikannuslaitteiston tietokannat on mahdollista synkronoida millä hetkellä tahansa.

Riippuen verkon vaatimuksista voidaan Ciscon (2008) mukaan paikannusratkaisua laajentaa paikantamaan enemmän kuin 1 500 Wi-Fi -laitetta. Tässä ratkaisussa voidaan käyttää useampien paikannuslaitteiden hallintaan ja ylläpitoon yhtä verkohallintajärjestelmää. Jos käytetään useampaa järjestelmää eri WLAN-verkkojen hallintaan, tällöin yksittäistä paikannuslaitetta voidaan hallinnoida Wi-Fi -laitteiden paikantamisessa useammalla verkohallintajärjestelmällä. Rajoituksena kuitenkin on, että Wi-Fi -laitteiden määrä ei saa ylittää 1 500 laitetta.

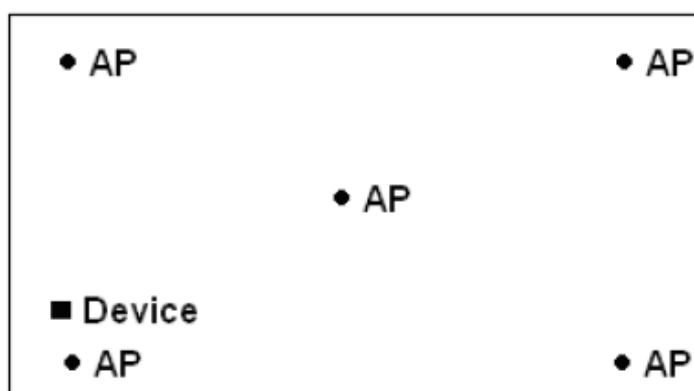
Yleisesti toimistorakennuksissa verkkopalveluja jaettaessa käyttäjille tukiasemat sijoitetaan ympäristöön peittoalueen, WLAN-tukiaseman kaistanleveyden, käyttökelpoisuuden, esteettisyyden ja tietoturvan mukaan. WLAN-paikannuksen näkökulmasta WLAN-tukiasemien sijoittelussa tulee huomioida myös tukiasemien paikka ja määrä. Mitä enemmän tukiasemia on sijoitettu paikannettavaan ympäristöön sen parempi. WLAN-paikannuksessa tarvitaan vähintään 3 tukiasemaa peittämään paikannettava-alue, mielellään 4 tai 5 tukiasemaa. Myös tulee varmistua siitä, että vähintään 3 tukiasemaa tunnistaa peittoalueella olevan Wi-Fi -laitteen.

Erittäin tärkeää on, että tukiasemat ympäröivät halutun paikannusalueen. Tukiasemat tulee sijoittaa paikannettavalla alueella suurinpiirtein 17 - 20 metrin päähän toisistaan, joka tarkoittaa yhtä tukiasemaa jokaista noin 230 - 450 neliömetrin kokoista aluetta kohti (Cisco 2008).

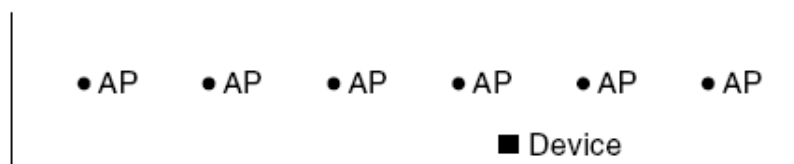
Paikannustarkkuuden optimoimiseksi on Ciscon (2008) mukaan erittäin tärkeää tukiasemien tarkoituksenmukainen sijoittelu. Seuraavassa on lueteltu eräitä perusasioita tukiasemien sijoittelusta:

- Tukiasemat tulee sijoittaa paikannettavalla alueella huoneen tai raken-

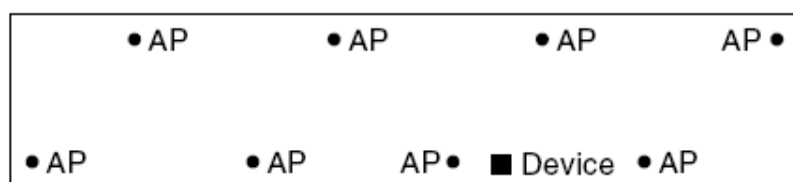
- nuksen ulkoreunalle (katso kuva 8)
- Kasvattamalla tukiasemien määrä ja siirtämällä ne kohti paikannettavan alueen reunaa ja myös siten, että ne muodostavat toisiinsa nähden samanpituisen etäisyyden
 - Tukiasemia ei tule sijoittaa kapealla käytävällä peräkkäin, koska tällöin tukiasemat peittävät Wi-Fi -laitteen (katso kuva 9) lähettämää signaalia ja täten mahdollisesti estää paikan laskennan
 - Tukiasemat tulee kapealla käytävällä porrastaa toisiinsa nähden (katso kuva 10).



Kuva 8. Tukiasemien optimaalinen sijoittaminen (Cisco 2007).



Kuva 9. Tukiasemien ei-optimaalinen sijoittaminen (Cisco 2007).



Kuva 10. Tukiasemien porrastaminen (Cisco 2007).

8.1.2 Cisco-verknhallintajärjestelmä

Ciscon (2007) langaton verkkohallintajärjestelmä (Wireless Control System, WCS) laajentaa selain- ja komentorivikäyttöliittymän avulla verkohallinnan mahdollisuuksia yksittäisen ohjaimen- ja tukiasemanhallinnasta koko verkon hallintaan. Langaton verkkohallintajärjestelmä mahdollistaa koko langattoman verkon suunnittelun, konfiguroinnin, paikantamisen, kalibroinnin, suorituksen monitoroinnin, turvallisuuden, virheiden, käyttäjien ja ylläpitotehtävien hallinnan.

Ciscon (2007) verkohallintajärjestelmä, joka sisältää tietokannan voidaan asentaa Microsoft Windows 2003, Red Hat Enterprise Linux ES 4.0 ja AS 4.0 -palvelimille. Sekä Windowsia että Linuxia voidaan ajaa normaalina sovelluksena tai palveluna. Verkohallintajärjestelmän selainkäyttöliittymä on yhteensopiva ainoastaan Microsoft Internet Explorer 6.0 tai uudemman selaimen kanssa. Verkohallintajärjestelmä yksinkertaistaa ohjaimien konfigurointia ja monitorointia alentamalla virheiden määrää, sisältäen myös automaattisen virheestä palautumistoiminnon. Se käyttää liikennöinnissä ohjaimien kanssa standardia verkohallintaprotokollaa (engl. *Simple Network Management Protocol*).

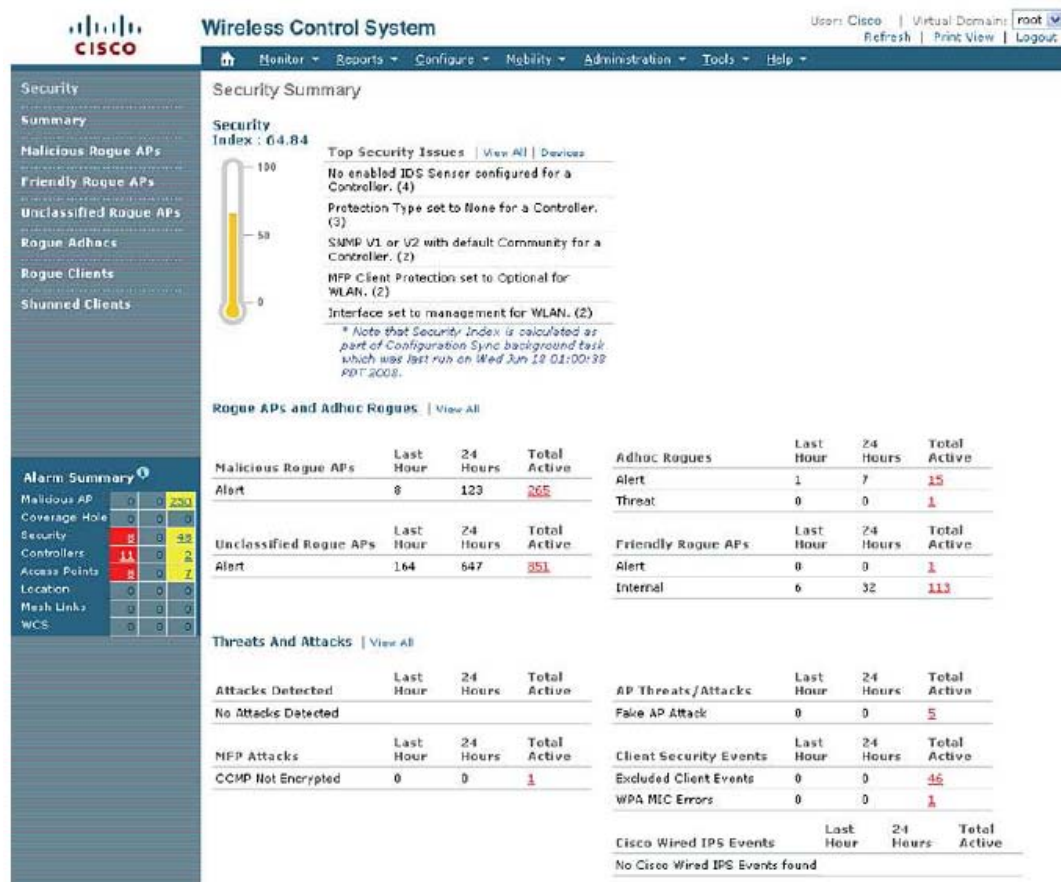
Verkohallintajärjestelmä voidaan ottaa käyttöön myös ilman paikannuslaitetta, tällöin voidaan paikantaa ainoastaan yksi Wi-Fi -laite kerrallaan.

Verkohallintajärjestelmässä ylläpitäjä voi suorittaa Ciscon (2007) mukaan erilaisia ylläpito-toimenpiteitä kuten määrittellä paikannuslaitteistolle erilaisia tapahtumien seuranta esimerkiksi määrittellä paikannuslaitteiston lähettämään tietyistä tapahtumista virheilmoituksen verkohallintajärjestelmälle. Verkohallintajärjestelmä mahdollistaa myös ylläpitäjän konfiguroimaan järjestelmää, suorittamaan erilaisia virheiden monitorointia käyttämällä suojattua selainkäyttöliittymää, suorittamaan ajoitettuja ylläpitotehtäviä. Ylläpitäjä voi luoda, muokata ja poistaa käyttäjiä järjestelmästä, määrittellä käyttäjien oikeuksia järjestelmässä, muuttaa salasanoja sekä liittää käyttäjiä eri käyttöoikeusryhmiin.

8.1.3 Cisco-paikkatietojärjestelmän tietoturva

Ciscon (2007) tietoturvaratkaisu (Unified Wireless Network Solution Security) sitoo tässä luvussa kuvatuilla tietoturvasoilla 1, 2 ja 3 WLAN-tukiasemien tietoturvakomponentit yhteen yksinkertaisella tietoturvasääntöjen hallinnalla mahdollistaen näin yksinkertaisen ja yhdistetyn tietoturvahallintatyökalun sisätilapaikannukseen. Verkohallintajärjestelmä mahdollistaa erilaisten tieturvayhteenvetöjen esittämisen graafisessa käyttöliittymässä, josta voidaan nähdä tietoturvaa heikentäviä tai vaarantavia tekijöitä (katso kuva 11). Yleisempiä tietoturvauhkia ovat palvelunestohyökkäys (engl. *denial of service*) ja mies välissä -hyökkäys (engl. *man-in-the-middle*).

in-the-middle attack).



Kuva 11. Cisco-verkonhallintajärjestelmän yhteenveto langattoman verkon tietoturvasta (Cisco 2007).

Tietoturvatason 1 ratkaisu

Ciscon 1 tason tietoturvaratkaisussa voidaan määritellä sisäänkirjautumisten yritysten määrän ja automaattisen tunnuksen lukituksen. Myös käyttöjärjestelmällä voidaan estää SSID-liikenne (engl. *Service Set Identifier*) (Cisco 2007).

Tietoturvatason 2 ratkaisu

Jos vaaditaan korkeamman tason tietoturvaa ja salausta, voidaan käyttää standardeja tietoturvaratkaisuja kuten EAPin (engl. *Extensible Authentication Protocol*) ja WPA:n (engl. *Wi-Fi Protected Access*) dynaamisia avaimia. Ciscon 2 tason tietoturvaratkaisussa WPA-avaimet sisältävät AES- (engl. *Advanced Encryption Standard*), TKIP- (engl. *Temporal Key Integrity Protocol*) tai staattiset WEP-avaimet (engl. *Wireless Encryption Protocol*). Toisen tason tietoturvaratkaisussa on myös käytössä automaattinen käyttäjätunnuksen lukitus väärin sisäänkirjau-

tumisyrytysten jälkeen (Cisco 2007).

Huolimatta valitusta langattoman lähiverkon suojauksesta, kaikissa toisen tason tietoturvaratkaisuissa WLAN-ohjaimien ja tukiasemien välinen tietoliikenne on suojattu LWAPP-tunneleinnilla (engl. *Lightweight Access Point Protocol*) (Cisco 2007).

Tietoturvatason 3 ratkaisu

Kolmannen tason tietoturvassa voidaan langattoman lähiverkon tietoturvaa parantaa tunneleimalla koko liikenne VPN-ratkaisulla (engl. *Virtual Private Network*). Ciscon kolmannen tason tietoturvaratkaisu tukee myös RADIUS:ta ja MAC-suodatusta (engl. *Media Access Control*). MAC-suodatus sopii hyvin pienelle määrälle Wi-Fi -laitteita, koska suodatuksessa tulee konfiguroida kaikkien suodatusta hyödyntävien laitteiden MAC-osoite (Cisco 2007).

Seuraavassa on lueteltu eräitä Ciscon (2007) paikkatietojärjestelmää ja paikkatietoja parantavia tietoturvatekijöitä:

- Ciscon tietoturvaratkaisu tukee valtuuttamista, todentamista ja kirjautumista, joka mahdollistaa nopeasti konfiguroimaan ja toteuttamaan joukon tietoturvasääntöjä läpi koko Ciscon langattoman tietoverkon
- WLAN-ohjaimet ja tukiasemat on varustettu järjestelmälaajuisella todentamisella ja valtuuttamisella
- Ciscon tietoturvaratkaisu käyttää Radio Resource Management (RRM) -toimintoa, joka jatkuvasti valvoo ilmatilaa häiriöiltä ja tietoturvarikkomuksilta
- Ciscon hyökkäyksen tunnistus- ja suojausjärjestelmä (engl. *Cisco intrusion detection system/intrusion protection system*) ohjeistaa ohjaimia estämään hyökkäyksen kohteeksi joutuneita Wi-Fi -laitteita käyttämästä langatonta verkkoa.

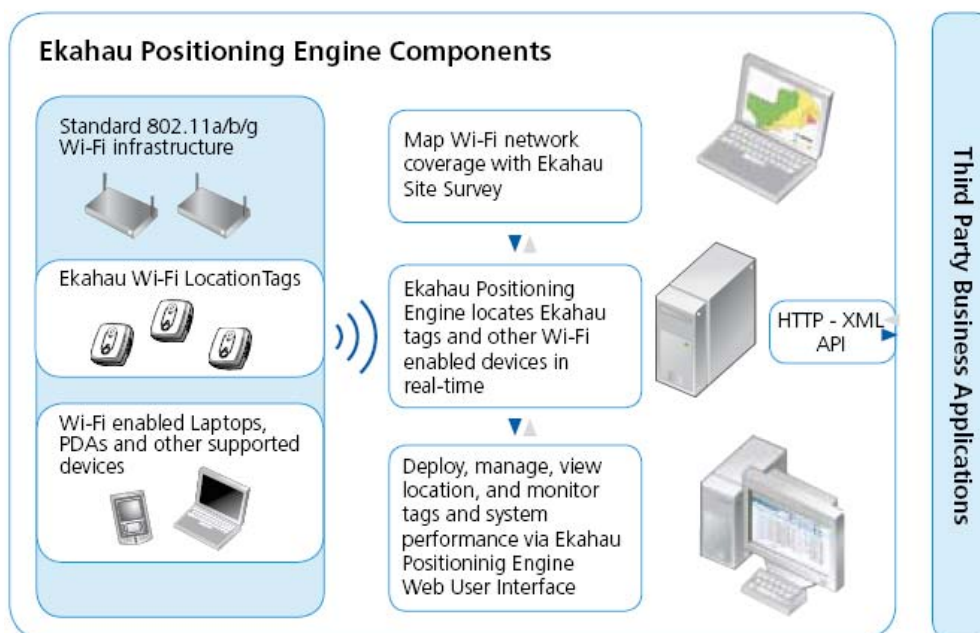
8.2 Ekahau-paikkatietojärjestelmä

Suomalainen Ekahau (2008) on ainoa ohjelmistopohjainen reaaliaikainen paikkatietojärjestelmä markkinoilla, joka perustuu yli 10 vuoden tutkimukseen yhdessä Helsingin yliopistossa toimivan monimutkaisten järjestelmien laskentaryhmän (engl. *Complex Systems Computation Group, CoSCo*) kanssa. Ekahaun paikkatietoratkaisua käytetään pääsääntöisesti terveydenhuollossa esimerkiksi Tuusulan terveysasema ja London Clinic hyödyntää Ekahaun paikkatietoratkaisua lääkäreiden, sairaanhoitajien sekä sairaalalaitteiden paikantamisessa (Proessori 2008). Teollisuus hyödyntää Ekahau paikannusratkaisua myös logistiikassa tavaroiden ja tuot-

teiden paikantamiseen (Ekahau 2008).

Ekahau-paikkatietojärjestelmä on täysin ohjelmistopohjainen (katso kuva 12), joka hyödyntää olemassa olevaa WLAN-infraa. Kuitenkin tulee huomioida, että yleisesti valmiiksi asennettuja WLAN-tukiasemia ei ole optimoitu paikannuksen näkökulmasta. Tästä syystä, myös Ekahaun-paikkatietojärjestelmää käyttöönotettaessa tulee WLAN-tukiasemat sijoittaa kalibroivalla alueella optimaalisesti. Katso luku 8.1.1, jossa on kuvattu tarkemmin tukiasemien sijoittamista.

Ekahaun-paikkatietojärjestelmä rakentuu Location Survey -kalibrointiohjelmasta ja Position Engine -paikannusohjelmasta, jonka tietokantaan radiosignaalin etenemisen vaimentumismalli tallennetaan. Ekahau Positioning Engine laskee ja vertailee jäljitettävien Wi-Fi -laitteiden todellisen sijainnin noin 1 - 3 metrin tarkkuudella. Kaikkiin paikannettaviin Wi-Fi -laitteisiin tulee asentaa Ekahaun Client-ohjelmisto RSSI-informaation keräämiseksi WLAN-tukiasemilta, joka edellyttää myös käyttöönotettaessa Position Enginen ip-osoitteen tuntemista. Vertailuna Ekahau -järjestelmään Cison ratkaisussa paikannettaviin Wi-Fi -laitteisiin ei tarvitse asentaa mitään ohjelmia. Ekahaun paikannusratkaisu ei myöskään tue tällä hetkellä Symbian- tai Linux-käyttöjärjestelmällä varustettuja Wi-Fi -laitteita.



Kuva 12. Ekahau-kokoonpano ja arkkitehtuuri (Ekahau 2008).

8.3 Signaalin vaimennusmallin luonti paikannettavasta ympäristöstä

Kalibroinnin tarkoitus on mallintaa paikannettavasta alueesta radiosignaalin etenemisen vaimennusmalli tietokantaan, jossa on huomioitu kalibroittavan alueen vaimennustekijät kuten seinät, ovet, avoimet tilat, huonekalut, ihmiset jne. Paikannustarkkuus on parempi tiloissa, joissa on väliseiniä tai muita esteitä kuten huonekaluja. Isoissa avoimissa tiloissa paikannustarkkuus heikkenee, koska suurissa tiloissa on vähemmän vaimennustekijöitä ja tästä syystä RSSI-signaaleja on vaikeampi erottaa toisistaan. Tässä luvussa kuvataan Ciscon ja Ekahaun kalibrointiohjelmia.

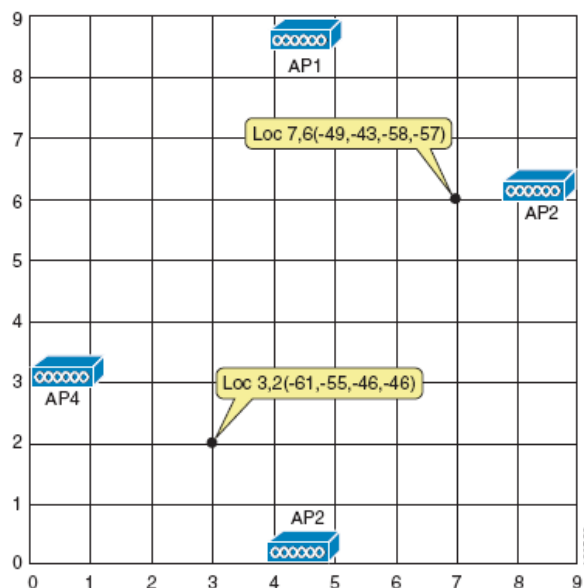
Ciscon ratkaisussa kalibrointi voidaan suorittaa hyödyntämällä joko valmiita RF-malleja tai tekemällä sen piste- tai lineaarikalibrointina. Kalibrointi suoritetaan ottamalla selaimella yhteys Ciscon verkkohallintajärjestelmään, joka ei edellytä ohjelmien asentamista kalibroinnissa käytettävään tietokoneeseen.

Ekahaun ratkaisussa tietokoneeseen tulee asentaa Location Survey -kalibrointiohjelma. Lisäksi Ekahaun kalibrointiohjelma vaatii Ciscon WLAN-verkkokortin toimiakseen luotettavasti. Ekahaussa kalibrointi voidaan tehdä määrittelemällä raiteet, avoimet tilat tai alueita, jotka ovat rajoitettuja-alueita (katso luku 8.3.3).

8.3.1 Ciscon kalibrointi- ja toiminnallinen vaihe

Cisco käyttää Wi-Fi -laitteen paikan määrittämisessä ns. sormenjälki-menetelmää, jonka algoritmit huomioivat kolmiomittauksen lisäksi myös ympäristön vaimennustekijät (katso luku 4.1). Sormenjälki-menetelmä jakaantuu kahteen eri vaiheeseen, joita Cisco (2006) kutsuu kalibrointi- ja toiminnalliseksi vaiheeksi.

Kalibrointi-vaiheessa kerätään määritellystä kohdeympäristöstä kävellen RSSI-signaalit käyttäen apuna mobiililaitetta tai kannettavaa tietokonetta. Kohdealueen WLAN-tukiasemat lähtevät eri voimakkuudella RSSI-signaalia riippuen mobiililaitteen tai kannettavan tietokoneen ja WLAN-tukiaseman välisestä etäisyydestä toisiinsa nähden sekä myös mobiililaitteen ja WLAN-tukiaseman välillä olevista esteistä kohdeympäristössä. Tästä syystä RSSI-näytteitä kerätään WLAN-tukiasemilta tietokantaan (radiokarttaan) useita. RSSI-näytteet välitetään tukiasemilta WLAN-ohjaimelle, joka välittää ne edelleen paikannuslaitteen tietokantaan käsiteltäväksi. Kuvassa 13 on esitetty yksinkertaistettu kuva kerätyistä RSSI-näytteistä, joita kutsutaan myös sormenjäljiksi tai viitepisteiksi (Cisco 2007).



Kuva 13. Yksinkertaistettu kuva kerätyistä RSSI-näytteistä (Cisco 2006).

Toiminnallisessa vaiheessa paikan laskennassa käytetään monimutkaista paikannusalgoritmia, jossa kalibrointi-vaiheessa radiokarttaan kerätyjä RSSI-näytteitä verrataan Wi-Fi-laitteen toiminnallisessa vaiheessa lähettämiin RSSI-näytteisiin todellisen paikan päättämiseksi. Ciscon materiaali ei kerro tarkasti, mitä paikannusalgoritmia heidän kehittämä paikkatietojärjestelmä käyttää paikan laskemiseksi. Kuitenkin perustuen Ciscon (2007) materiaaliin, voidaan päätellä paikan laskentaan käytettävän Bayesian-luokittelumenetelmää (katso luku 4.1.2).

8.3.2 Kalibrointi Ciscon-verkonhallintajärjestelmällä

Ciscon (2006) verkonhallintajärjestelmä sisältää yleisempien oletusympäristöjen RF-kalibrointimalleja sisätilapaikannukseen, jotka helpottavat Ciscon verkonhallintajärjestelmän käyttöönottoa. Eräs näistä malleista on tarkoitettu esittämään tyypillistä toimistoympäristöä (engl. *cubes and walled offices*), jossa on sekä avoimia että seinällä erotettuja toimistotiloja ja toinen malleista esittää ainoastaan seinällä erotettuja tiloja (engl. *drywall office*).

Cisco (2006) lupaa verkonhallintajärjestelmään sisältyvien valmiiden RF-kalibrointimallien antavan hyvän lähtökohdan arvioida tavallisia signaalin vaimentumisia (engl. *path loss*) kussakin aiemmin esitetyistä ympäristöistä. Monissa tavallisissa toimistoissa valmiit paikannusmallit vastaavat riittävästi useita paikannettavia toimistoympäristöjä, erityisesti jos on tarve saada verkonhallintajärjestelmä käyttöön mahdollisimman nopeasti. Kuvassa 14 nähdään Ciscon oletus RF-kalibrointimallin (*cubes and walled offices*) peittoalue STUKin 5C-kerroksessa. Valmis RF-malli peitti lähes koko paikannettavan alueen. Aikaa kalibrointiin kului

aikaa vain noin 1 minuutti. Vihreä alue tarkoittaa valmiista kalibrointialuetta ja punainen kalibrointialuetta. Paikannuksen peittoalueen valmius tarkoittaa, että arvioitu paikka tulee olla 10 metrin sisällä vastaavasta todellisesta paikasta 90 % ajasta.

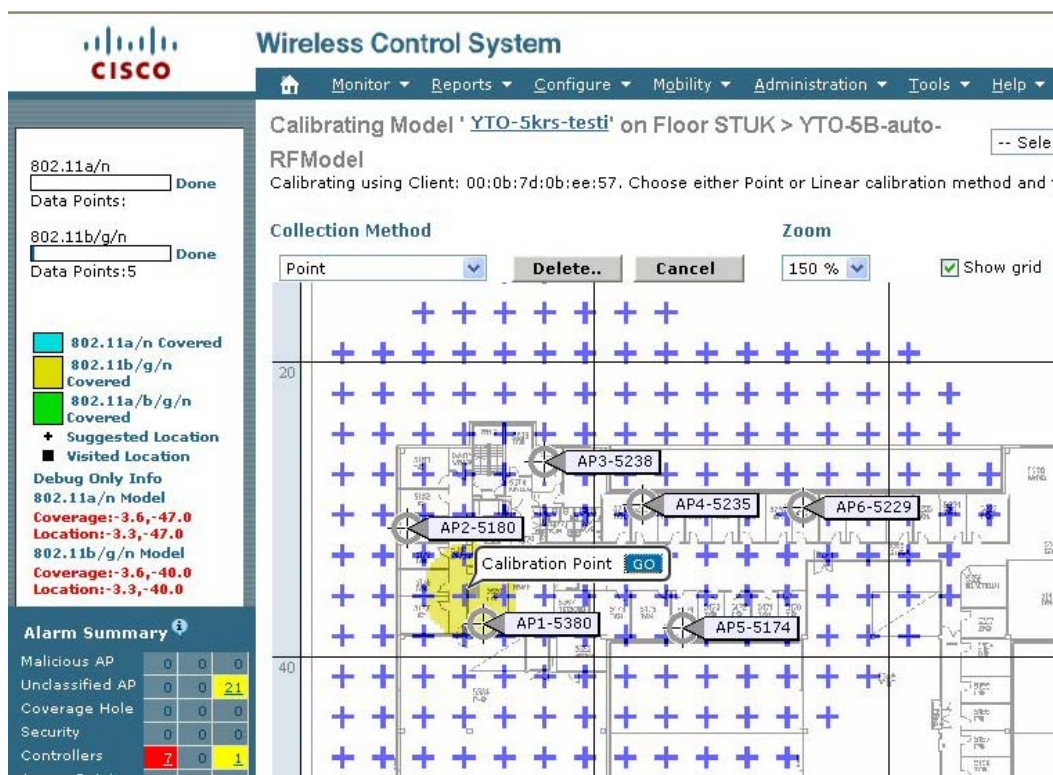


Kuva 14. Kalibroidun alueen valmius paikannusta varten.

Tulee kuitenkin huomioida, että valmiit paikannusmallit eivät välttämättä huomioi kaikkia mahdollisia signaalin etenemisen vaimentumiseen vaikuttavia tekijöitä paikannettavissa huoneiloissa. Tällöin kalibrointi voidaan suorittaa lineaarisena- tai pistekalibrointina paikkasormenjälkien keräämiseksi tietokantaan. Useammassa tapauksessa aikaa kuluttava kalibrointivaihe ns. offline-vaihe parantaa paikannustarkkuutta verrattaessa sitä oletuspaikannusmallin käyttöön.

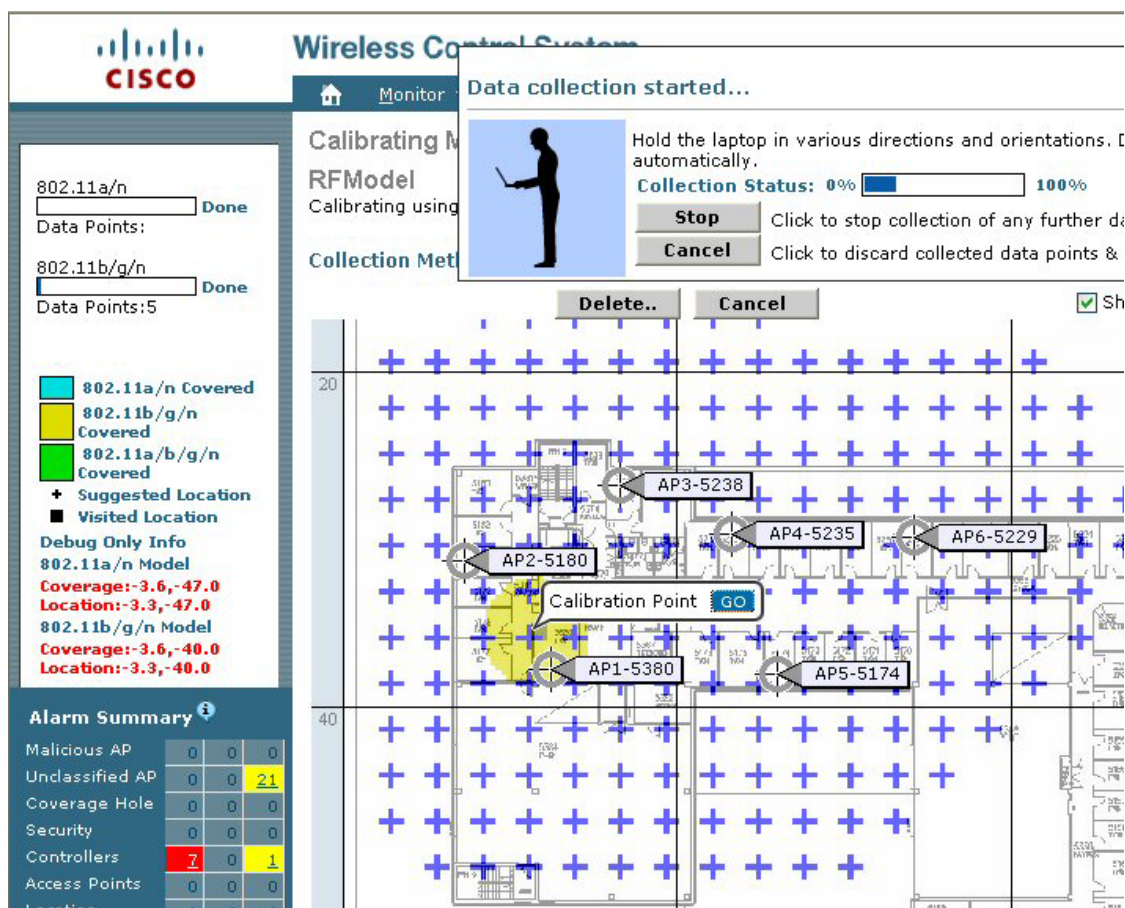
Ciscon (2006) mukaan kalibrointi on useampi vaiheinen prosessi, joka aloitetaan ensin määrittelemällä uusi kalibrointimalli. Ciscon kalibrointiohjelma skaalaa pohjakartan automaattisesti oikeisiin mittasuhteisiin. Seuraavaksi viitepisteet lisätään kalibrointimalliin käyttämällä erityistä kalibrointiohjelmaa, joka on yhdistetty langattomaan lähiverkkotekniikkaan (WLAN) ja monitorointiin. Kalibrointiohjelma lähettää kaikilla kanavilla jatkuvasti tiedustelupyynnöitä WLAN-tukiasemille, jotka ovat kalibrointialueella. Jos kalibrointiohjelma on Cisco CCXv2 ja CCX-paikannusmittaus on mahdollistettu, CCXv2-kalibrointiohjelma vastaa tiedusteluun milloin tahansa paikannusmittauslähetys on saatavilla. Kalibrointiohjelma toistaa lähetetyn tiedustelupyynnön useita kertoja verkonhallintajärjestelmälle. Hallintaohjelma välittää tiedon paikannuslaitteelle, joka kerää WLAN-ohjaimelle tukiasemien toimittaman RSSI-informaation.

Ennen kalibroinnin aloittamista tulee suorittaa peittoalueen tarkistukset sekä suositeltu saapuvan signaalin voimakkuuden rajan tarkistus, joka on tavallisesti -75 dBm. Tämä lisäksi tulee tarkistaa vähintään 3 tukiaseman toiminta kalibrointia varten. Kaikki paikannuksessa käytettävät WLAN-tukiasemat tulee olla rekisteröity WLAN-ohjaimelle ja että paikannuslaite on täysin toiminnassa. Verkonhallintajärjestelmän kalibrointiohjelma ehdottaa paikannettavan alueen pohjakartalle kalibrointipisteet tai viitepisteet, joista paikkasormenjäljet kerätään. Ciscon verkonhallintajärjestelmä mahdollistaa kalibroinnin pysäyttämisen ja jatkamisen myöhemmin uudelleen. Kuvassa 15 on käytetty 5C-kerroksen kalibroinnissa pistekalibrointia.



Kuva 15. Verkonhallintajärjestelmän kalibrointivaiheessa ehdottamat kalibrointipisteet pohjakartalla STUKin 5C-kerroksessa.

Ennen pistekalibroinnin (katso kuva 16) lopettamista ja tietojen tallentamista tietokantaan, tulee vähintään 150 kalibrointipaikkaa tukiaseman taajuutta kohden mitata 50 erilisestä paikasta kohdeympäristössä kääntymällä 360 astetta ympäri kalibrointipisteessä kunnes ohjelma ilmoittaa valmis. Tulee kuitenkin huomata, että välttämättä kaikkia kohdealueen paikkoja ei tule mitattua, tällöin alueet näkyvät kartalla punaisina alueina (katso kuva 14). Mittaamattomat alueet on hyvä käydä uudelleen läpi paikannustarkkuuden parantamiseksi. Kun riittävä määrä dataa (RSSI-informaatiota) on kerätty ns. sormenjälkiä, data tulee käsitellä ja mallintaa kalibroitu kartta. Varsinaisen mallin kalibrointi kerätystä datasta voi viedä jonkin aikaa, koska verkonhallintajärjestelmä suorittaa monia matemaattisia laskelmia tuottaakseen parhaan signaalin vaimennus mallin (engl. *path loss model*) paikannetusta ympäristöstä tietokantaan.



Kuva 16. Pistekalibrointi STUKin 5C-kerroksessa.

8.3.3 Kalibrointi Ekahau Location Survey -ohjelmalla

Ekahau Location Survey on ohjelma, jolla luodaan ympäristöstä radiosignaalin etenemisen vaimennusmalli. Ohjelma tallentaa malliin WLAN-verkon tuottamat radiosignaalit ja ympäristön vaimennustekijät. Sen lisäksi sitä käytetään langattoman verkon ja paikannuksen tarkkuuden analysointiin. Ohjelma mahdollistaa yhden Wi-Fi -laitteen paikantamisen ilman Positioning Enginea. Ekahau suosittelee käyttämään paikannukseen Wi-Fi -laitetta, jolla kalibroitu malli on luotu (Ekahau 2008).

Ekahau Location Survey -ohjelman pääpiirteitä ovat:

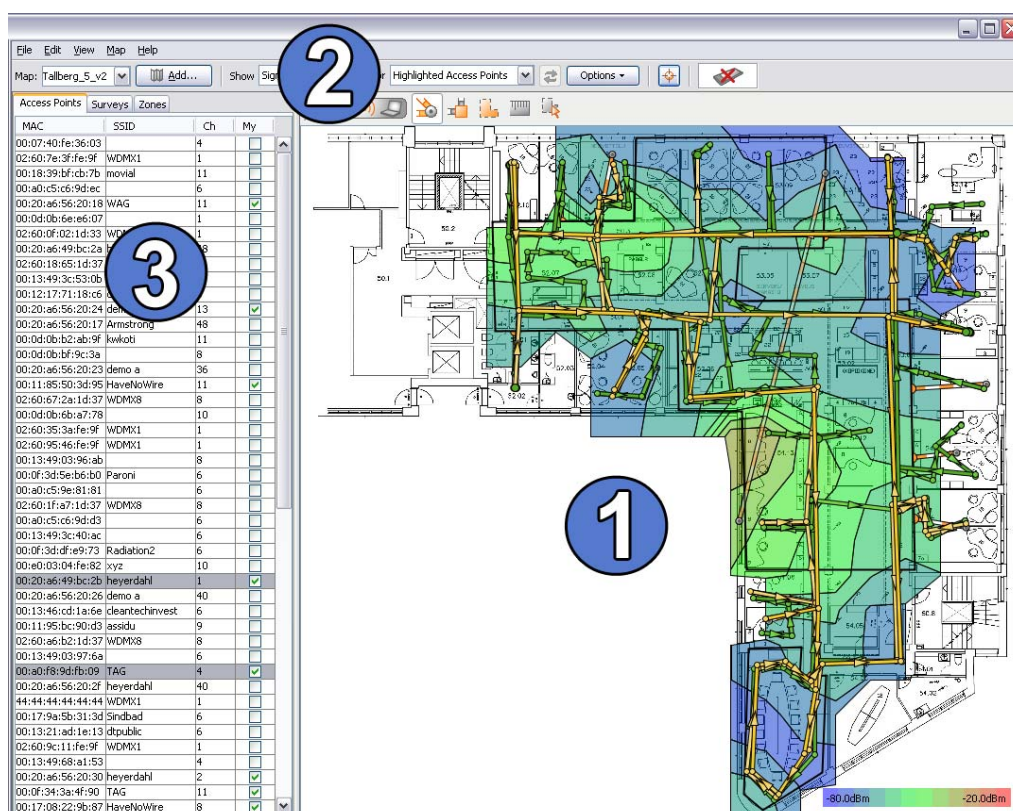
- Radiosignaalin etenemisen vaimennusmallin luonti
- Kalibroitavaan ympäristöön voidaan määrittellä avoimia tiloja, alueita ja raiteita
- Paikannustarkkuuden optimointi ja analysointi
- Paikannusmallin tallentaminen Ekahau Positioning Enginealle

- Yhden Wi-Fi -laitteen paikantaminen ilman paikannusohjelmaa (Positioning Engine)
- Useamman mallin tallentaminen yhdeksi tiedostoksi (Ekahau 2008).

Location Survey -ohjelmaan sisältyy seuraavia rajoittavia tekijöitä:

- Ohjelmasta tulee epävakaata, jos yksittäinen malli sisältää enemmän kuin 1000 tukiasemaa
- Ohjelmaan tallennettu pohjakartta ei saa olla suurempi kuin 5000 x 5000 pikseliä. Ekahaun suositus pohjakartan kooksi on 2500 x 2500 pikseliä
- Ohjelmasta tulee epävakaata, jos vaimennusmalliin on tallennettu dataa yli 50 tuntia (Ekahau 2008).

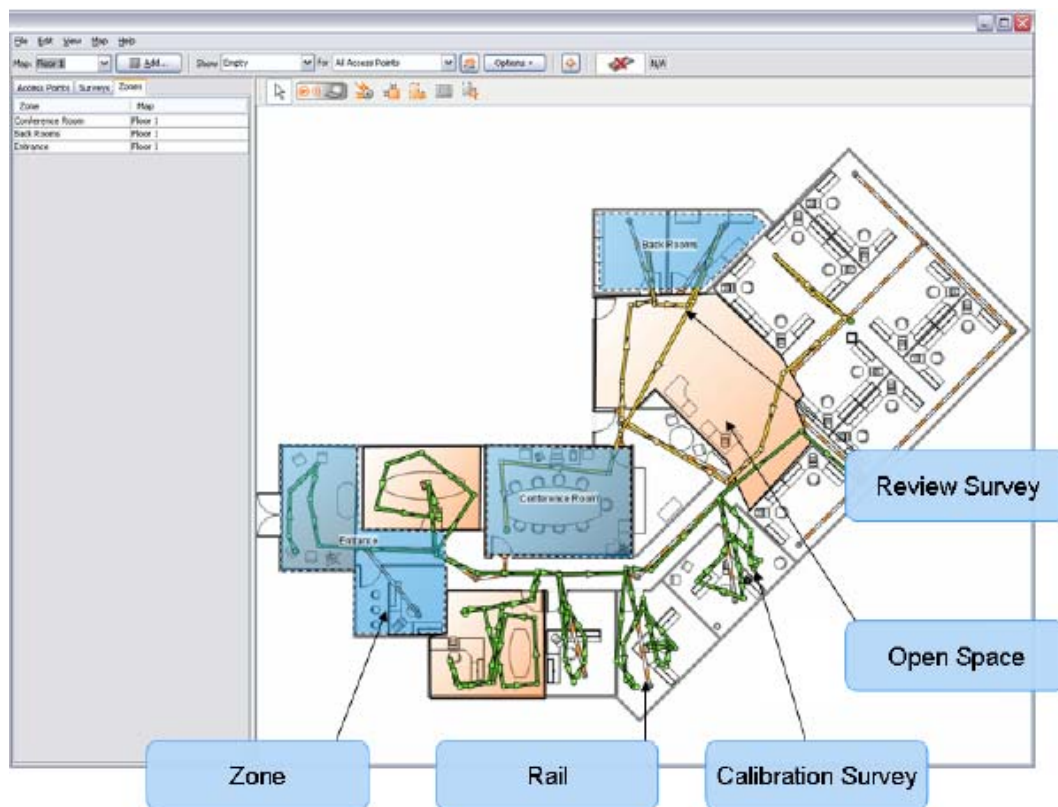
Kuvassa 17 nähdään Ekahau Location Survey -ohjelman käyttöliittymä, jossa on 1) ohjelmaan tallennettu ympäristön pohjakartta, 2) ohjelman valikot ja työkalut ja 3) tukiasemat, kalibrointimallit ja alueet.



Kuva 17. Ekahau Location Survey -käyttöliittymä.

Pohjakartalle määritellään ennen kalibroinnin aloittamista alueita (zones), raiteita (rails) ja avoimia tiloja (open spaces). Katso kuva 18. Ekahaun mukaan avoimia tiloja on järkevä määri-

tellä, kun tilan koko on yli 25 m². Alueita voidaan määrittellä, kun halutaan esimerkiksi turvallisuussyistä rajoittaa kulkua tietyllä alueella. Raiteita on hyvä määrittellä oletetuille kulkureiteille kuten käytäville.



Kuva 18. Ekahau Location Survey -ohjelman kalibrointielementit.

Seuraavassa on kuvattu Ekahaun kalibroitavaiheet:

- Lisätään ohjelmalle kartta ja asetetaan sen mittasuhteet
- Määritellään ympäristö: Luodaan raiteet ja avoimet tilat
- Valinnaisesti määritellään alueet
- Suoritetaan ympäristön paikannustarkkuuden analysointi ja optimointi
- Tallennetaan malli Ekahau Positioning Engineen (Ekahau 2008).

8.4 Paikkatiedon laskenta WLAN-pohjaisessa paikannuksessa

WLAN-pohjaisessa paikannuksessa paikkatieto lasketaan perustuen saapuvan signaalin voimakkuuteen (RSSI). Tässä lähestymistavassa saapuvan signaalin voimakkuus mitataan Wi-Fi-laitteen lähettämästä RSSI-signaalista. Kun tunnetaan Wi-Fi-laitteen lähettämän signaalin voimakkuus ja signaalin vaimennusmalli (engl. *path loss model*), on mahdollista ratkaista kahden laitteen välinen etäisyys (Cisco 2006).

Seuraava on yleinen esimerkki signaalin vaimennusmallista, jota käytetään sisätilapaikannuksessa 2.4 GHz -taajuudella: $PL = PL_{1\text{metri}} + 10\log(D^n) + S$, jossa

- PL = vastaanottimen ja lähettimen välistä kokonaisvaimennusta desibeleinä (dB)
- $PL_{1\text{metri}}$ = viitevaimennusta desibeleinä (dB), kun etäisyys vastaanottimesta lähettimeen on 1 metri
- D = vastaanottimen ja lähettimen välistä etäisyyttä metreissä
- n = ympäristön vaimennusekspONENTTI
- S = tämänhetkisen ympäristön varjostuksen (vaimennus) määrä desibeleinä (dB).

Kokonaisvaimennus (PL) on lähettimen ja vastaanottimen välinen RSSI-erotus, joka esittää tämän hetkistä vapaassa tilassa etenevää signaalin vaimennuksen tasoa ja johon vaikuttaa myös heijastuminen, taipuminen ja hajonta. VaimennusekspONENTTI (n) esittää taajuuden, ympäristön ja esteiden funktiota. Yleisesti käytetyn vaimennusekspONENTIN vaihtelualueen arvo vaihtelee avoimessa vapaassa tilassa arvosta 2 suurempaan arvoon kuin 2 ympäristöissä, joissa on esteitä. Tyypillisen toimistoympäristön vaimennusekspONENTTI on 3.3. S muuttuja esittää ympäristön aiheuttaman vaimennuksen suuruutta RSSI-signaalin etenemiseen. Ympäristöissä, joissa on paljon huonejakoja, seiniä tai muita esteitä Wi-Fi-laitteen ja vastaanottimen (tukiaseman) välillä, voi S muuttujan arvon vaihteluväli olla $\pm 7\text{dB}$ tai enemmän (Cisco 2006).

Tuntemalla edellä mainitut muuttujat, voidaan vastaanottimen saapuvan signaalin voimakkuuden laskea kaavalla (3):

$$RXPWR = TXPWR - LossTX + GainTX - PL + GainRX - LossRX \quad (3)$$

jossa:

- $RXPWR$ = havaittu signaalin voimakkuus desibeleissä
- $TXPWR$ = lähettimen lähetysteho desibeleissä
- $LossTX$ = kaikki lähettimen kaapeli ja yhteyshäviöiden summa desibeleis-

sä

- GainTX = lähettimen anteenin vahvistus desibeleissä
- LossRX = kaikki vastaanottimen kaapeli ja yhteyshäviöiden summa desibeleissä
- GainRX = vastaanottimen anteenin vahvistus desibeleissä.

8.4.1 Paikkatiedon laskenta Cisco-verkonhallintajärjestelmässä

Cisco (2007) paikannusratkaisussa paikkatiedon laskenta suoritetaan keräämällä saapuvan signaalin voimakkuuden informaatio (engl. *received-signal-strength-indication, RSSI*) kaikilta Wi-Fi -laitteilta. Wi-Fi -laitteita voivat olla kaikki WLAN-piirillä varustetut laitteet kuten kannettavat tietokoneet, mobiililaitteet, tunnistamattomat langattomat laitteet (engl. *rogue devices*) ja tunnistamattomat langattomat tukiasemat (engl. *rogue access points*). RSSI-informaatio lähetetään WLAN-ohjaimille, jossa informaation verkkoliikennöinnissä käytetään kevyttä tukiasemaprotokollaa (engl. *Lightweight Access Point Protocol, LWAPP*). WLAN-ohjaimet keräävät RSSI-informaation yhteen ja lähettävät sen edelleen paikannuslaitteelle käyttämällä verkkoliikennöinnissä standardia verkonhallintaprotokollaa (engl. *Simple Network Management Protocol, SNMP*).

Kun paikkatiedot on kerätty paikannuslaitteen tietokantaan, suoritetaan seuraavaksi paikan laskenta perustuen RSSI-informaatioon. WLAN-ohjaimet tulee olla liitetty paikannuslaitteeseen, jotta RSSI-informaation tallentaminen paikkatietokantaan on mahdollista.

Heti kun pohjapiiroskartta ja tukiasemat on lisätty paikannuslaitteelle, voidaan Wi-Fi -laitteiden paikat esittää graafisesti pohjapiiroskartalla. Ciscon verkonhallintajärjestelmä esittää paikkainformaation visuaalisesti, mikä laajentaa paikkatiedonhallintaa, hyödyntää paikkapohjaista tietoturva (katso luku 8.1.3) ja mahdollistaa näkyvyyden WLAN-laitteisiin. Paikkatietoa voi hyödyntää myös muut sovellukset SOAP/XML-rajapinnan kautta.

8.4.2 Paikkatiedon laskenta Ekahau-paikkatietojärjestelmässä

Ekahaussa paikkatiedon laskenta suoritetaan keräämällä saapuvan signaalin voimakkuuden informaatio (RSSI) WLAN-tukiasemilta mobiililaitteen tai tietokoneen paikannusohjelmalle (Positioning Client). Paikannusohjelma kerää WLAN-tukiasemien lähettämän RSSI-informaation yhteen ja lähettää sen edelleen paikannuslaitteelle.

RSSI-informaation keräämiseen liittyy Ekahaun mukaan ongelma, jossa erilaiset laitteet havaitsevat eri signaalit eri tavalla aiheuttaen näin ongelmia paikannustarkkuuteen. Ekahau on kehittänyt tähän ongelmaan algoritmin, joka osaa normalisoida eri laitteiden väliset signaa-

lierot ja näin niistä saadaan vertailukelpoisempia (Proessori 2008).

Kun paikkatiedot on kerätty Ekahaun paikkatietokantaan, suoritetaan seuraavaksi paikan las- kenta perustuen RSSI-informaatioon. Tukiasemilta kerättyä RSSI-informaatiota verrataan paik- katietokantaan tallennetun radiosignaalikartan viitepisteisiin tai kalibroitipisteisiin, joissa on huomioitu paikannettavan alueen vaimennustekijät.

Ekahaun todennäköisyyslaskentaan perustuvat algoritmit mallintavat kohteen liikkeitä hyö- dyntäen tietoa mahdollisista kulkureiteistä ja ylläpitävät näin samanaikaisesti useita vaihto- ehtoisia paikkahypoteeseja. Ekahaun algoritmit osaavat poistaa mahdolliset epävarmuusteki- jät tarkastelemalla peräkkäistä signaalihavainnoista koostuvaa aikasarjaa (Proessori 2008).

Ekahaun ratkaisu ei tue tällä hetkellä Linux- ja Symbian-käyttöjärjestelmillä varustettuja mobiililaitteita tai tietokoneita. Tästä syystä näiden laitteiden paikantaminen ei ole vielä mahdollista.

Ekahaun ratkaisussa paikkatietoa voivat muut sovellukset hyödyntää SOAP/XML-rajapinnan kautta.

8.5 Yhteenveto

Seuraavassa on yhteenveto Cisco- ja Ekahaun paikkatietojärjestelmien soveltuvuudesta sätei- lyhavainnointiin.

Cisco-järjestelmän plussat:

- Wi-Fi-päätelaitteisiin ei tarvitse asentaa ohjelmaa RSSI-informaation ke- räämiseksi paikannuslaitteelle
- Cisco-järjestelmä paikantaa kaikki Wi-Fi -laitteet riippumatta käyttöjär- jestelmäalustasta
- Tietokoneeseen, jolla tehdään kalibrointi, ei tarvitse asentaa kalibroi- ntiohjelmaa. Kalibrointi tehdään ottamalla selaimella yhteys Cison WCS- ohjelmistoon
- Tietoturva voidaan porrastaa. Tukee Lightweight Access Point protokol- laa, jolla voidaan parantaa paikannusverkon tietoturvaa
- Järjestelmän suorituskyky on skaalautuva
- Järjestelmässä on valmiita eri ympäristöjen signaalin vaimennusmalleja.

Cisco-järjestelmän miinukset:

- Järjestelmän käyttöönotto edellyttää asiantuntemusta WLAN-tietoliikenneverkosta ja -tekniikoista. Cisco suosittelee käyttämään järjestelmän käyttöönotossa Ciskon valtuuttamaa teknistä asiantuntijaa
- Paikannustekniikka tukeutuu Ciskon tietoliikennetekniikkaan
- Järjestelmän käyttöönotto on työläs prosessi.

Ekahau-järjestelmän plussat:

- Järjestelmän käyttöönotto on yksinkertainen. Ei vaadi erityisasiantuntemusta WLAN-tietoliikenneverkoista ja -tekniikoista
- Paikannusohjelmistoa ei tarvitse välttämättä asentaa Server-alustalle. Voidaan asentaa myös työasemalle valitsemalla asennustavaksi Multi-Purpose Mode
- Hyödyntää olemassa olevaa WLAN-infrastruktuuria.

Ekahau-järjestelmän miinukset:

- Wi-Fi -pätelaitteisiin tulee asentaa ohjelma RSSI-informaation keräämiseksi paikannusohjelmistolle
- Tukee ainoastaan Windows-alustaa.

9 WLAN-sisätilapaikannuksen toteuttaminen säteilymittaukseen

Työn soveltava osan toteuttamisen mahdollistamiseksi STUKin 5C-kerrokseen rakennettiin sisätilapaikannuksen testiympäristö. Ympäristön soveltuvuutta ad-hoc -tyyppiseen säteilymittaukseen selvitettiin hyödyntämällä sekä yhdysvaltalaisen Cisco Systemsin STUKille demokäyttöön toimittamia paikannuslaitteita ja -ohjelmistoa että suomalaisen Ekahaun paikannusratkaisua. Laurea-ammattikorkeakoulusta saadut ohjelmistolisenssit mahdollistivat Ekahaun-paikannusohjelmiston testaamisen.

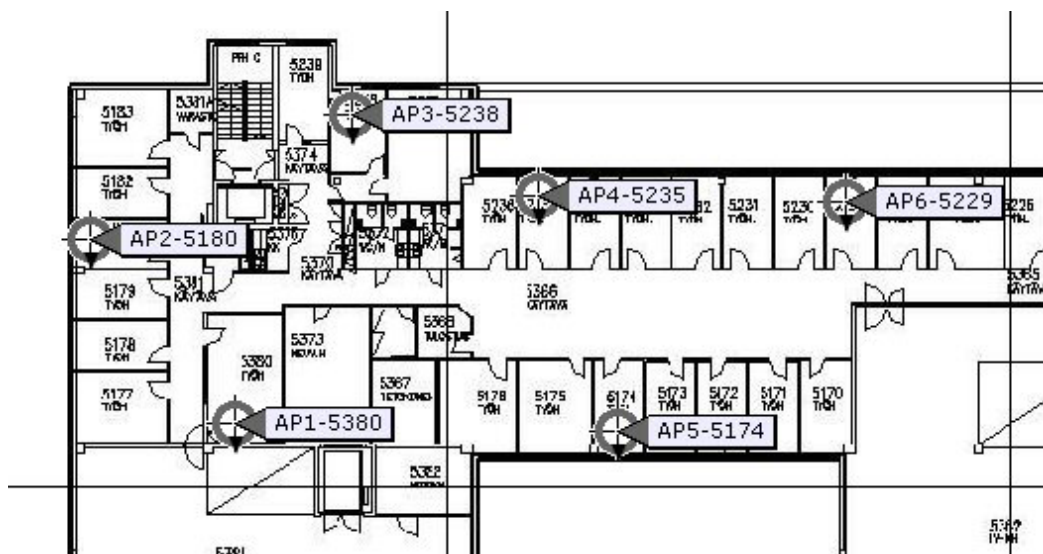
Työssä selvitettiin kokeellisesti sormenjälki-menetelmään perustuvan sisätilapaikannuksen soveltuvuutta sekä sen hyödynnettävyyttä säteilylähteiden havainnointiin ad-hoc -tyyppisesti. Testiympäristöön oli tuotu yksi lähde, jonka paikantamista evaluoitiin Ekahaun- ja VASIKKA-järjestelmän kanssa. Ekahaun paikannusratkaisu hyödynsi testiympäristössä Ciscon ja STUKin WLAN-infrastruktuuria. STUKin 5C-kerroksen testiympäristö on kerrosalaltaan noin 720 m².

9.1 Testiympäristön käyttöönotto

Testiympäristö koostui seuraavista verkkokomponenteista (katso kuva 21): 1) Paikannuslaitteesta (engl. *Wireless Location Appliance*), 2) WLAN-ohjaimesta (engl. *Wireless LAN Controller*), 3) 6 tukiasemasta (engl. *Access Points*) ja 4) langattomasta verkkohallintajärjestelmästä (engl. *Wireless Control System*).

WLAN-tukiasemat tuli ensimmäiseksi sijoittaa testiympäristöön optimaalisesti (katso luku 8.1.1). Tukiasemien sijoittamisen jälkeen voitiin tehdä WLAN-ohjaimen konfigurointi kytke-mällä kannettava tietokone sarjaliitännällä ohjainlaitteeseen. Konfigurointi tehtiin Windowsin HyperTerminal -tietoliikenneohjelmalla, jolla määriteltiin mm. DHCP-pooli ip-osoitteiden jakamiseksi sekä Wi-Fi-laitteille että tukiasemille.

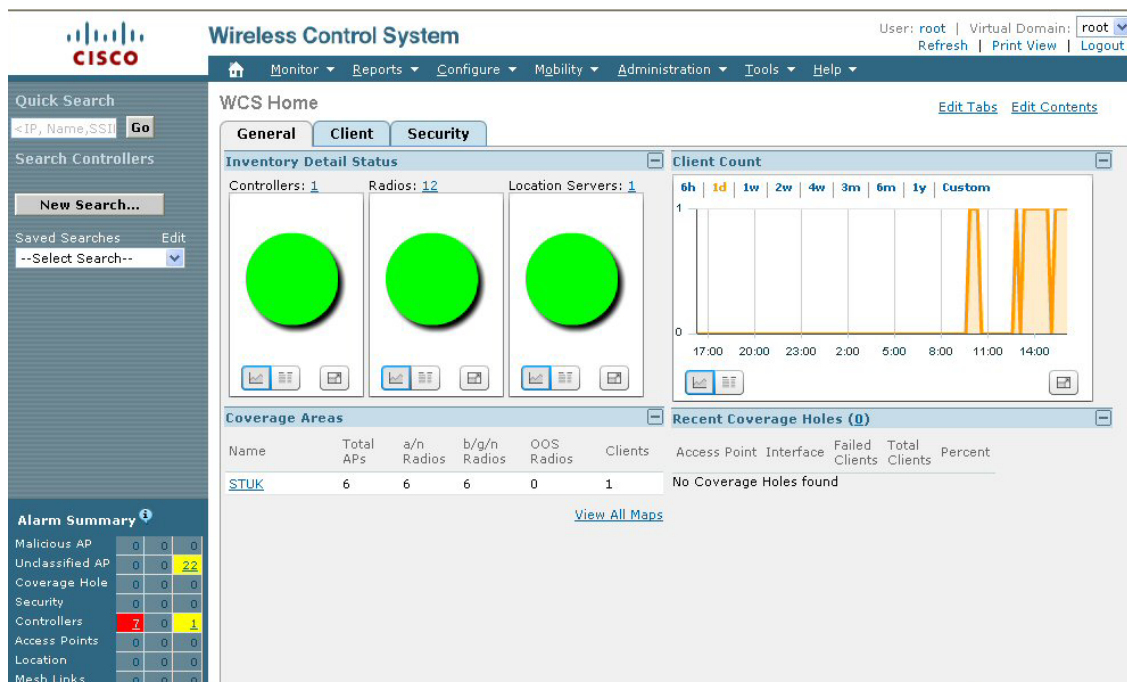
Ciscon verkonhallintajärjestelmässä on toiminto, jolla voidaan optimoida tukiasemien määrä ja myös niiden optimaalinen sijoittaminen peittoalueella. Järjestelmän mukaan STUKin 5C-kerroksen testiympäristössä olisi riittänyt 4 tukiasemaa kattamaan määritellyn peittoalueen.



Kuva 19. Tukiasemien sijainnit 5C-kerroksessa.

WLAN-ohjaimen konfiguroinnin ja tukiasemien rekisteröitymisen jälkeen, oli mahdollista konfiguroida paikannuslaite. Paikannuslaitteen palvelinalustana toimi Red Hat Enterprise Linux ES 4.0. Paikannuslaitteen konfigurointi tehtiin myös käyttämällä Windowsin HyperTerminal -ohjelmaa. Paikannuslaite, tukiasemat ja verkonhallintajärjestelmä liitettiin kytkimellä ohjaimen. Cisco-arkkitehtuurissa ohjain kerää RSSI-informaation tukiasemilta ja toimittaa sen edelleen paikannuslaitteelle, joka laskee paikannusalueella olevien Wi-Fi -laitteiden oletetun paikan.

Paikannuslaitteen konfiguroinnin jälkeen verkonhallintajärjestelmä asennettiin dedikoidulle Windows 2003 Server -palvelimelle, jossa Apache TomCat Web Server hoiti Web-liikennöinnin. Verkonhallintajärjestelmän alustana toimi Dell 830 -tyypin testikannettava (katso kuva 20).

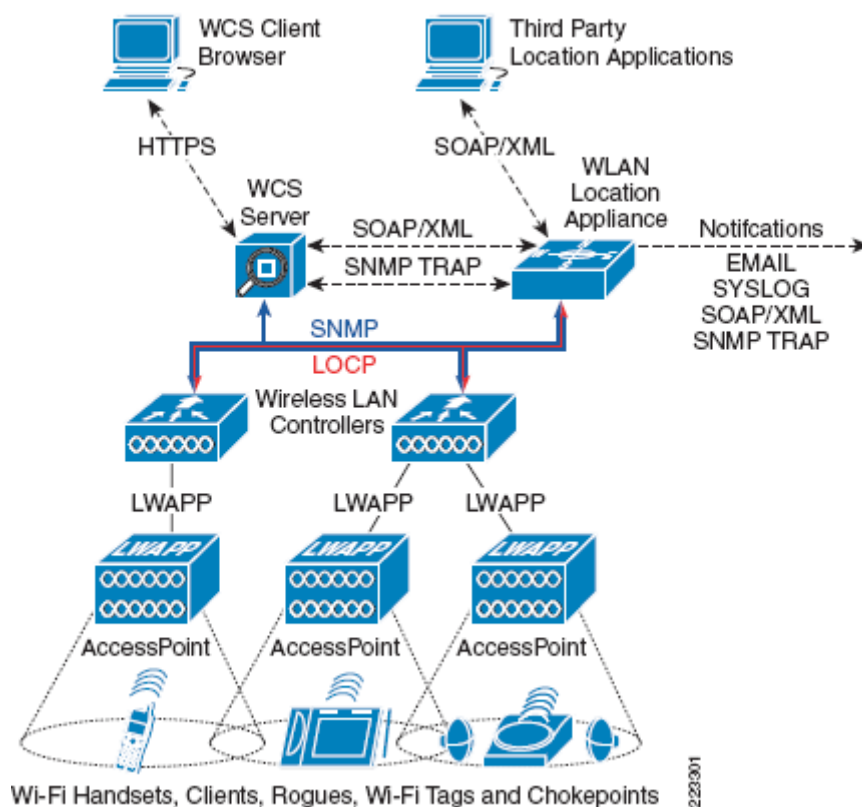


Kuva 20. Cisco-verkonhallintajärjestelmä.

Verkonhallintajärjestelmä kytkeytyy paikannuslaitteeseen käyttämällä http-protokollaa. Verkokonfiguraatiossa määritettiin kiinteä ip-osoite WLAN-ohjaimelle, paikannuslaitteelle sekä verkonhallintajärjestelmälle. Verkonhallintajärjestelmä synkronoitiin lopuksi paikannuslaitteen kanssa.

Ciscon (2008) paikannusratkaisun toiminnan edellytyksenä oli, että testiympäristön WLAN-infrastruktuuri tukee Ciscon Lightweight Access Point (LWAPP)-protokollaa langattoman lähiverkon liikennöinnissä.

Kuvassa 21 on kuvattu tyypillinen ylempien tason Ciscon paikannusarkkitehtuuri. Testiympäristön paikannusarkkitehtuuri rakentui kuvasta poiketen yhdestä WLAN-ohjaimesta. Arkkitehtuuri kuvassa on esitetty myös SOAP/XML API-rajapinta kolmannen osapuolen paikannussovellukseen, joka voisi olla rajapinta paikkatietokannasta VASIKKA-järjestelmän LINSSI-tietokantaan verrattaessa datan aikaleimoja. Karttasovelluksessa hyödynnetään aikaleimojen lisäksi paikkatietokannan x- ja y-koordinaatteja paikkapisteen piirtämiseksi pohjakartalle.



Kuva 21. Cisco (2006) paikannuksen tyypillinen laitekoonpanon arkkitehtuuri.

9.2 Paikannusohjelmiston käyttöönotto

Ekahau paikannusratkaisu oli helpompi ottaa käyttöön, koska se ei vaatinut WLAN-ohjaimen parametrisointia eikä asiantuntemusta WLAN-tietoliikenneverkosta ja -tekniikoista toisin kuin Ciscon käyttöönotto. Ekahau hyödyntää olemassa olevaa WLAN-infrastruktuuria. Ekahau-paikannuspalvelin (Positioning Engine) ei vaadi toimiakseen Server-käyttöjärjestelmää toisin kuin Cisco. Kuitenkin luotettavuus syistä Ekahau (2008) suosittelee ohjelmiston asennuksen Server-alustalle. Ekahaun paikannusohjelmisto asennettiin Dell 600-tyyppin kannettavaan tietokoneeseen, jossa oli Windows XP-käyttöjärjestelmä (katso kuva 22). Asennustavaksi valittiin Multi-purpose PC mode, joka mahdollisti paikannusohjelmiston ajamisen muiden ohjelmistojen rinnalla. Lisäksi paikannettavaan testikannettavaan tuli asentaa Ekahau Positioning Client -ohjelma, johon määriteltiin paikannuspalvelimen ip-osoite. Tämän lisäksi testikannettavan palomuurisääntöjä tuli muuttaa avaamalla tiettyjä UDP- ja TCP-portteja kommunikoinnin mahdollistamiseksi paikannuspalvelimen kanssa.

Ekahaun Location Survey -kalibrointiohjelma asennettiin eri testikannettavaan kuin paikannusohjelmisto. Kalibrointiohjelma edellytti toimiakseen Ciscon WLAN-verkkokorttia, joka mahdollisti sen luotettavan toiminnan. Kalibrointiohjelmisto on täysin riippumaton Positioning Engine -ohjelmasta ja sillä voidaan paikantaa vain yksi Wi-Fi -laite kerrallaan. Useamman

laitteen paikantaminen edellyttäisi Position Engine -ohjelman asentamista.

Ekahau Positioning Engine

System Tags Groups Configs Models Users Help

System

Welcome to Ekahau Positioning Engine, admin.

Status

System Status	
Version	4.4.5
Build Number	30444
Started	2008-12-09 14:42:43
Uptime	5 days
Number of Tags	1 of 10

Activity	
Location Update Events	1890 (1890 ELP, 0 UDP, 0 TCP, 0 NET)
Locations	1889
Filtered Locations	0
Maintenance Calls	115 (115 EMP, 0 T201)
Counters Started	On Startup
Reset	Reset activity counters

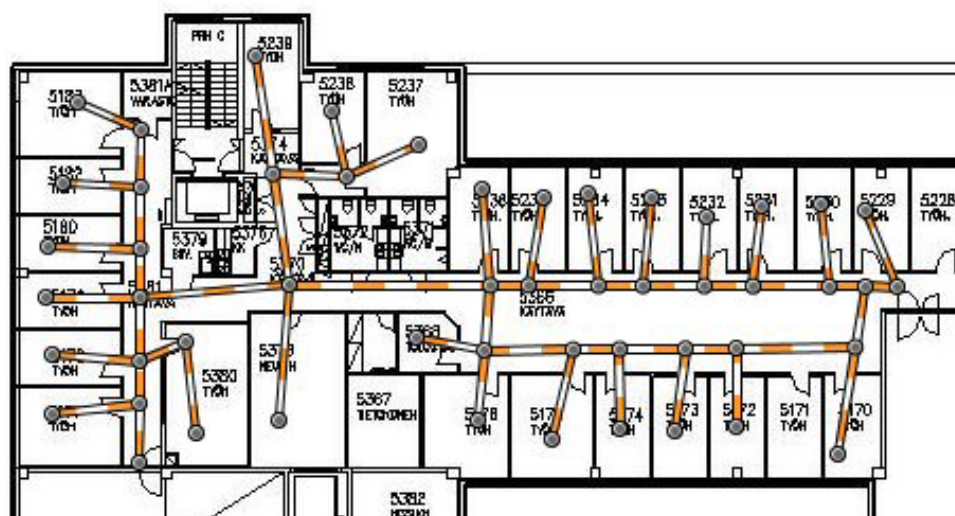
Actions

[Log File](#) | [Licenses](#)

Kuva 22. Ekahau Positioning Engine -hallintaohjelma.

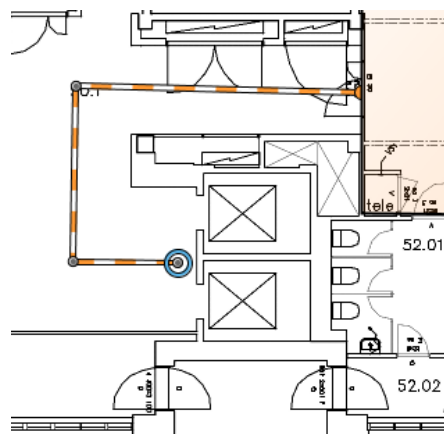
9.3 Testiympäristön kalibrointi

Säteilylähteen havainnoinnissa hyödynnettiin Ekahau Location Survey -ohjelmalla STUKin 5C-kerroksesta kalibroituja radiosignaalin etenemisen vaimennusmallia. Ympäristön kalibrointi aloitettiin tuomalla kalibrointiohjelmalle pohjakartta, jolle määriteltiin erityisellä mittatyökalulla oikeat mittasuhteet. Toisin kuin Cison kalibrointiohjelma Ekahau ei osannut automaattista mittasuhteiden asettamista. Mittasuhteet asetettiin kartalle metreinä, kertomalla ohjelmalle todellinen kahden pisteen välinen etäisyys pituus- ja leveys suunnassa. Kun mittasuhteet oli asetettu kartalle oikein, voitiin kalibrointi suorittaa määrittelemällä avoimia tiloja, alueita tai raiteita pohjakartalle. Määriteltyjen avoimien tilojen koko tuli olla yli 25 m². Testiympäristöön ei määritelty avoimia tiloja. Kuvassa 23 nähdään 5C-kerroksen käyttäville määritellyt raiteet, joita pitkin testiympäristön kalibrointi suoritettiin.




Kuva 23. Määritellyt raiteet 5C-kerroksessa.

Ekahau (2008) mukaan määriteltäessä avoimia tiloja ja raiteita tulee huomioida, että ne eivät limity toistensa kanssa. Kuvassa 24 esitetään, miten raiteet tulee jatkuja oikeaoppisesti avoimesta tilasta.



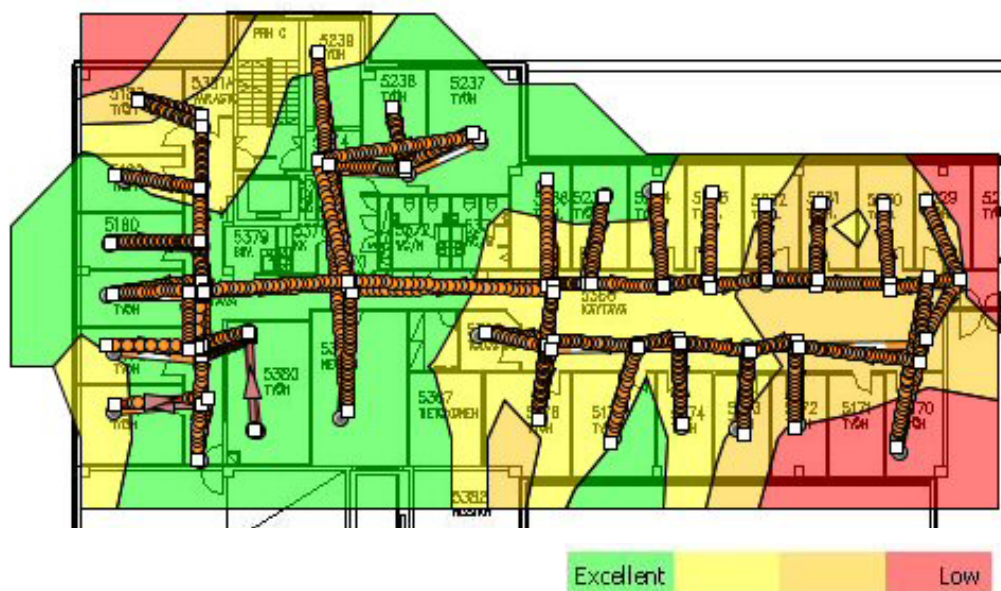
Kuva 24. Raiteen jatkuminen avoimesta tilasta (Ekahau 2008).

Koekalibrointi suoritettiin kulkemalla kuvan 23 esittämiä raiteita pitkin. Kalibrointi käynnistettiin ohjelmassa valitsemalla Record Survey -painike  ja aktivoimalla sen jälkeen kartalle nykyinen oma sijainti hiiren vasemmalla painikkeella sekä päätepiste, johon kuljetaan raidetta pitkin hitaasti. Ohjelmassa voidaan kuljettavan raiteen leveys määrittellä metreinä, oletus on 2.4 metriä. Koekalibroinnissa raiteen leveys määriteltiin 3 metriksi. Kuvassa 25 nähdään, miten hyvään tarkkuuteen kalibroinnissa päästiin. Tulos osoittaa, että kalibroinnin laatu on korkea käytävillä, joihin raiteet määriteltiin.



Kuva 25. Kalibroinnin laatu STUKin 5C-kerroksessa.

Kuvasta 26 voidaan havaita, miten pelkästään raiteiden määrittelyllä on mahdollista peittää melkein koko 5C-kerroksen testialue.



Kuva 26. Testiympäristön peittoalue 5C-kerroksessa.

9.4 Yhteenveto

Yhteenvetona lukuun 9 voidaan todeta, että säteilymittauksen suorittamisen mahdollistami-

seksi sitä edeltävät käyttööntovaiheet ovat työläitä eivätkä täytä luvussa 7.1 esitettyä STUKin vaatimusta säteilymittauksen suorittamiseksi nopeasti ja huomaamattomasti.

10 Säteilähteen paikantamisen evaluointi

Edellisessä luvussa 9 kuvattiin STUKin 5C-kerrokseen rakennettua sisätilapaikannuksen testiympäristöä säteilyhavainnoinnin mahdollistamiseksi. Tarkastelun näkökohtana oli ympäristön soveltuvuus säteilymittauksiin.

Tässä luvussa käsitellään säteilylähteiden paikantamisen evaluoinnin toteutusta ja tulosta.

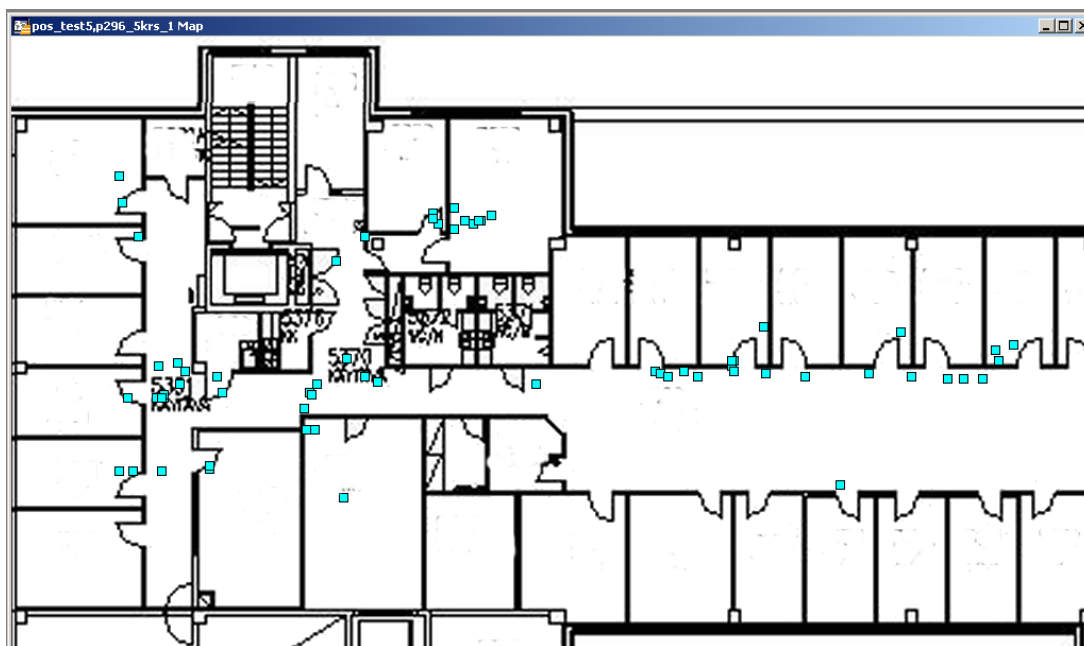
Säteilylähteen havainnointiin käytettiin VASIKKA-järjestelmää. Jolanta Garlacz Laurea-ammattikorkeakoulusta teki Javalla ohjelman paikkatietojen (x, y, timestamp ja mac-osoite) lukemiseksi Ekahau-järjestelmän tietokannasta xml-tiedostoon. Säteilymittaus- ja paikka-aikaleimojen yhdistämisellä sekä x- ja y-paikkakoordinaattien avulla voitiin päätellä kuljetun reitin säteilyhavainnot. Kerätyt paikka- ja säteilymittaustiedot esitettiin graafisesti 5C-testiympäristön pohjakartalla. Paikkatietojen latauksen tietokantaan ja karttaesityksen teki järjestelmäasiantuntija Tarja Ilander.

Luvussa 10.1.1 kuvataan koemittauksen suorittamista testiympäristössä, luvussa 10.1.2 kuvataan koemittauksen suorittaminen VASIKKA-järjestelmällä ja luvussa 10.1.3 paikka- ja säteilyhavainnointitietojen visualisointiprosessi pohjakartalle ja yhdistäminen LINSSI-tietokannassa.

10.1 Koemittauksen suorittaminen testiympäristössä

Koepaikannus tehtiin ensin ilman VASIKKA-järjestelmää (katso luku 6.1). Koe tehtiin kulke-malla ennalta määritelty reitti testikannettavalla, johon oli asennettu Positioning Engine, Positioning Client ja Indoor Positioning -lukuohjelma. Tämän kokeen tarkoituksena oli selvittää, miten hyvin paikkapisteet sijoittuvat karttajärjestelmässä testiympäristön pohjakartalle. Kuvassa 27 nähdään paikannuksen onnistuminen.

Pohjakartalla (katso kuva 27) nähdään Indoor positioning -ohjelmalla Ekahaun tietokannasta kerätyt paikkakoordinaattien pisteet. Ongelmaksi muodostui, että kerättyjä paikkakoordi-naatteja ei ole riittävästi, jotta voitaisiin luoda kartalle yhtenäinen pistejono kuljetusta reitistä. Ongelma johtuu siitä, että Ekahaun ratkaisussa Wi-Fi -laitteeseen asennettu client-ohjelma kerää RSSI-informaation ja nykyiset WLAN-piirit eivät mahdollista RSSI-informaation skannaamista WLAN-tukiasemilta kuin enintään 5 sekunnin välein. Yhden sekunnin skannausväli mahdollistaisi yhtenäisen pistejonon muodostamisen kartalle. Ekahaun mukaan ongelma voitaisiin ratkaista käyttämällä http-protokollaa ja Ekahau-ohjelmistorajapinnan stackstream -objektia Indoor positioning -lukuohjelmassa. Tämä mahdollistaisi paikkakoordinaattien luke-misen Ekahau paikkatietojärjestelmän tietokannasta jatkuvana virtana ilman taukoja (Puhe-linkeskustelu Siren/Syrjälä).



Kuva 27. Paikkakoordinaattien visualisointi kartalle.

10.2 Koemittauksen suorittaminen VASIKKA-järjestelmällä

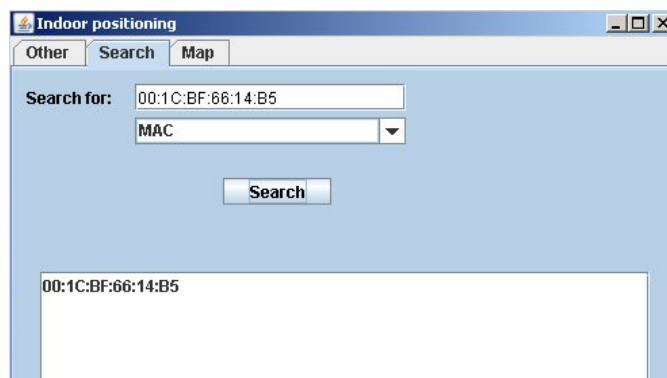
Toisella kertaa testiympäristöön tuotiin säteilylähde, joka havainnointiin VASIKKA-järjestelmällä. Paikkatiedot kerättiin testikannettavalla, johon oli asennettu Ekahau Positioning Engine -paikkatietojärjestelmä. Säteilymittaus suoritettiin kulkemalla määritelty reitti hitaammin huomioiden Ekahau Positioning Clientin RSSI-signaalien skannausnopeus tukiasemilta. Kuvan 27 mukaisesti kuljettiin sama reitti uudelleen, joka mahdollisti yhtenäisen pistejonon muodostamisen paikkakoordinaateista kartalle.

Ennen mittauksen suorittamista, asetettiin VASIKKA-järjestelmän ja testikannettavan järjestelmäkellot samaan aikaan. Tiedot kerättiin tämän jälkeen kulkemalla ennalta määriteltyä reittiä pitkin samanaikaisesti VASIKKA-säteilyhavainnointijärjestelmän ja testikannettavan kanssa. Testikannettavaan oli asennettu Ekahau positioning client-ohjelma RSSI-datan keräämiseksi tukiasemilta Ekahau Positioning Enginen -tietokantaan. VASIKKA keräsi säteilydatan LINSSI-tietokantaan.

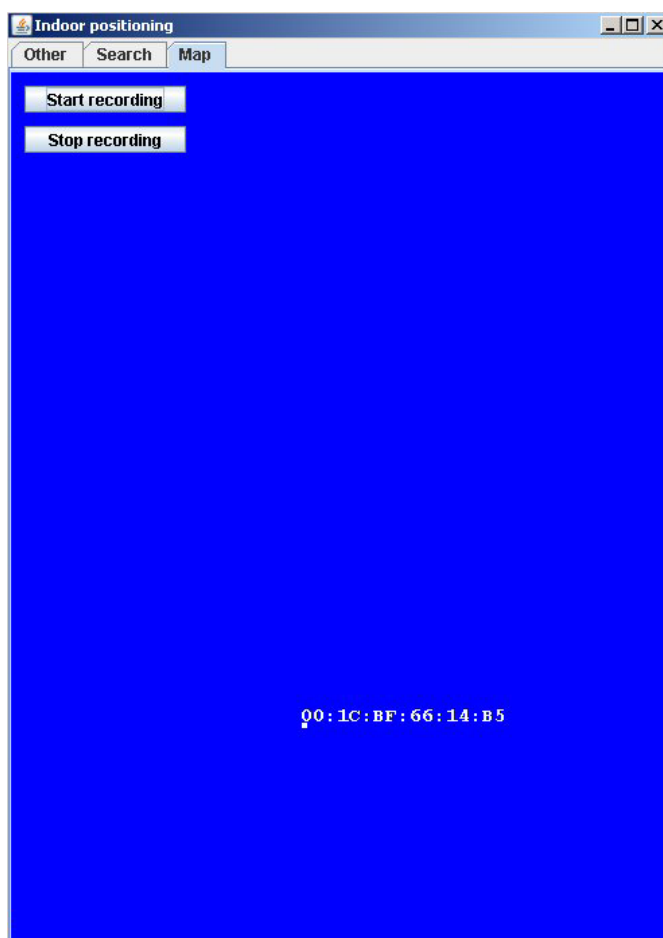
Testikannettavaan oli asennettu myös Indoor positioning -lukuohjelma (katso liite 1), joka lukee Ekahau Positioning Enginen -paikkatietokannasta kuljetun reitin x-, y-, timestamp-tiedot sekä testikannettavan mac-osoitteen xml-tiedostoon (katso liite 2). Paikkatiedot luettiin asettamalla ohjelmalle testikannettavan mac-osoite (katso kuva 28) ja käynnistämällä lukuohjelma Start recording -toimintopainikkeella (katso kuva 29). Kuvassa 29 nähtävän testikannettavan mac-osoite (00:1C:BF:66:14:B5) osoittaa käyttöliittymässä testikannettavan sijainnin. Lukuohjelman käyttöliittymässä ei ole pohjakarttaa, joka osoittaisi havainnollisem-

min lukuohjelman sisältävän testikannettavan sijainnin.

Ekahaun tietokannasta luetut paikkatiedot yhdistettiin lopuksi LINSSI-tietokannan mobile-Coordinates -tauluun (katso kuva 30).



Kuva 28. Jäljitettävän Wi-Fi -laitteen mac-osoitteen asettaminen lukuohjelmalle.



Kuva 29. Paikkatietojen lukeminen paikkatietokannasta xml-tiedostoon.

10.3 Paikkatietojen visualisointiprosessi ja yhdistäminen LINSSI-tietokantaan

Säteily- ja paikkatietojen visualisointiprosessi tehtiin MapInfo -karttajärjestelmällä. Editoidut kohdekarttanäkymät sekä säteily- ja paikkatietojen visualisointi kartalle on toteutettu hyödyntämällä MapInfo-ohjelmaa yhdessä STUKin räätälöimän java-ohjelman kanssa, jossa käytettiin Ekahau paikkatietokannasta luettuja x- ja y-koordinaatteja paikan määrittämiseksi kartalle.

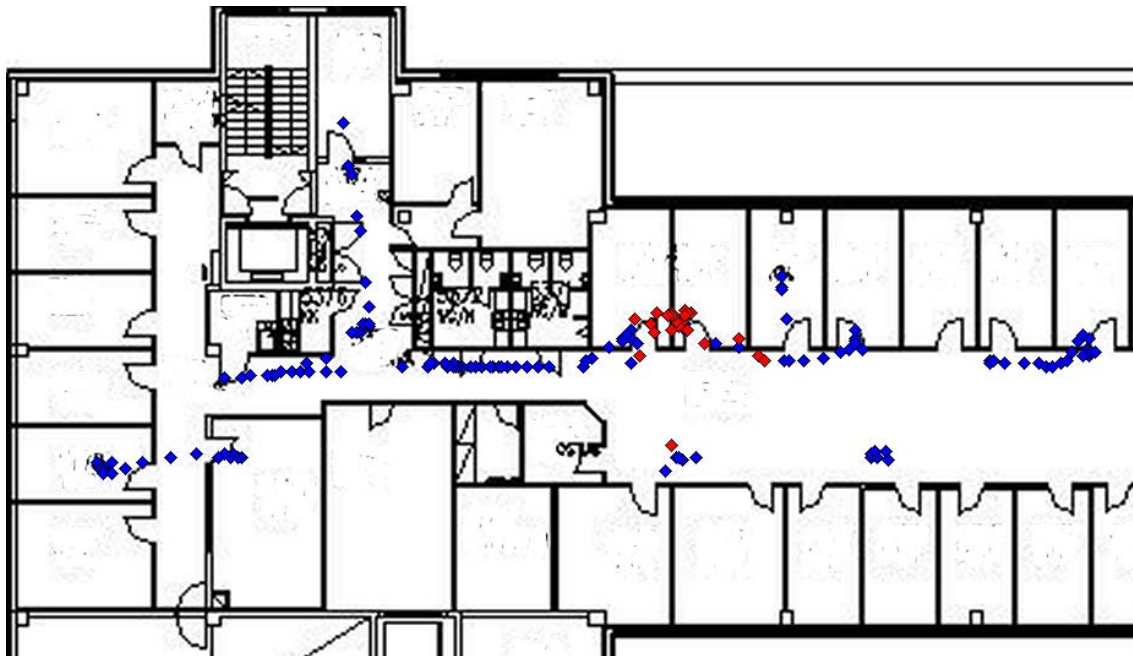
Visualisointiprosessissa tallennettiin ensin kaikki VASIKKA-järjestelmällä kerätyt mittaustiedot LINSSI-tietokantaan. Sen jälkeen lisättiin LINSSI-tietokannan mobileCoordinates-tauluun (katso kuva 30) Ekahaun antamat paikkatiedot.

mobileCoordinates			
Field	Type	Length	Flags
idSeconds	int	4	PN
idNanoSeconds	int	4	PN
positionSource	varchar	20	PN
facilityId	varchar	80	PF
positionType	varchar	10	
project	varchar	40	
positionTime	datetime	8	I
coordSystem	varchar	20	
speed	double	8	
heading	double	8	
numSatellites	int	4	
xCoordinate	double	8	
yCoordinate	double	8	
altitude	double	8	
hDOP	double	8	
vDOP	double	8	
pDOP	double	8	
age	double	8	
fix	int	4	
comments	text	0	
(facilityId) → facilities(facilityId)			

Kuva 30. LINSSI-tietokannan mobileCoordinates-taulu (Aarnio 2007).

Seuraavaksi valmisteltiin STUKin 5C-kerroksen pohjapiirroskuva karttajärjestelmään. Karttajärjestelmässä kartan ei tarvinnut olla välttämättä missään tunnetussa koordinaatistossa. Projektiona käytettiin "Non Earth" ja määriteltiin pohjapiirroksen kulmakoordinaatit metreiksi. Metrit saatiin jakamalla pohjapiirroskuvan pikselit luvulla 11.7, joka saatiin Ekahau Positioning Engine -palvelimelta. Kun pohjapiirros oli saatu karttajärjestelmään, tehtiin LINSSI-tietokantaan kysely kaikkien kuljettujen reittipisteiden hakemiseksi kartalle. Kun reittipisteet olivat kartalla, haettiin lisäksi myös kaikki hälyttäneet pisteet kartalle. Hälytykset yhdistettiin lopuksi reittipisteisiin kellonajan perusteella.

Kuvassa 31 voidaan nähdä sinisellä värillä kuljettu reitti ja punaisella värillä ne pisteet STUKin 5C-kerroksen pohjakartalla, jossa säteilylähde havaittiin.



Kuva 31. Säteilylähteen havainnointi VASIKKA-järjestelmällä.

10.4 Yhteenveto

Tuloksena voidaan todeta, että vaikka reittipisteet eivät täysin optimaalisesti osuneetkaan oikealle reitille, olisi kartan avulla helppo löytää hälytykset aiheuttanut lähde. Kaikki hälytyspisteet ovat noin 3,5 metrin päässä lähteen todellisesta sijainnista.

11 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tässä luvussa vastataan opinnäytetyössä asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Miten hyvin Ciscon ja Ekahaun paikkatietojärjestelmät soveltuvat ad-hoc -tyyppiseen säteilylähteiden havainnointiin sisätiloissa?

Säteilyturvakeskus suorittaa säteilylähteiden havainnointia ad-hoc -tyyppisesti isoissa yleisötapahtumissa kuten urheilu- ja poliittiset tapahtumat. Ad-hoc -tyyppisen säteilyhavainnoinnin tulee tapahtua nopeasti ja vähän aikaa kuluttavasti.

Sormenjälki-menetelmät edellyttävät riittävän määrän optimaalisesti sijoitettuja tukiasemia paikannettavalle alueelle. Ennen ympäristön kalibrointia tulee yleisötapahtumapaikalle rakentaa WLAN-infrastruktuuri, jos sitä ei ole saatavilla. Vaikka WLAN-infrastruktuuri on olemassa, useimmissa tapauksissa kalibroitavalle alueelle tulee lisätä tukiasemia ja sijoittaa ne sinne myös optimaalisesti. Tämän jälkeen tulee tehdä aikaa kuluttava kalibrointi. Mahdollisimman hyvän paikannustarkkuuden saavuttamiseksi, olisi hyvä tehdä kalibrointi vasta kun yleisötapahtuma on alkanut. Chen, Chiang, Huang ja Tsui (2005) ovat havainneet omista tutkimuksissaan, että suuret ihmismassat voivat aiheuttaa noin 8 desibelin vaimennuksen signaalin laatuun.

Tukiasemien suuri virrankulutus on ongelma, joka kasvaa lähetystehon noustessa. Nykyiset tukiasemat eivät vielä toimi akuilla. Toisaalta tukiasemien lähetystehon ollessa noin 100 mW paranee signaalin voimakkuus ja laatu. Hyvään paikannustarkkuuteen ei päästä tukiasemilla, joilla on alhainen lähetysteho.

Yleisötapahtuman ”ad-hoc” paikannusinfrastruktuurin rakentamista voidaan parhaassa tapauksessa yrittää nopeuttaa konfiguroimalla ennakkoon reitittävä WLAN-tukiasema, johon määritellään dhcp-pooli ip-osoitteiden jakamiseksi muille verkkoon liitettäville tukiasemille. Myös, jos käyttövirtaa tukiasemille ei ole saatavilla, voidaan hyödyntää Power over Ethernet (PoE)-tekniikkaa, jossa käyttövirta syötetään parikaapelin käyttämättömien parien kautta kaapeliin. Edellytyksenä on, että paikannettavassa ympäristössä on valmiiksi rakennettu LAN-verkko. Ekahaun paikannusjärjestelmä on ohjelmistopohjainen ja osaa hyödyntää ympäristössä olevia WLAN-tukiasemia paikannuksessa. Ekahaun paikannusjärjestelmä voidaan minimisään asentaa kannettavaan tietokoneeseen, jossa on Windows XP -käyttöjärjestelmä. Ciscon ratkaisussa ”ad-hoc” ympäristö tulisi rakentaa siten, että WLAN-reitittimeen liitetään kytkimen avulla WLAN-ohjain ja paikannuslaite paikkatietojen käsittelemiseksi sekä hallintaohjelma, joka tulee asentaa Windows 2003 Server tai Red Hat Linux -alustalle. Tukiasemat voidaan liittää langattomasti reitittävään tukiasemaan. Ciscon (2008) mukaan paikannusratkaisu toimii

luotettavasti käyttämällä Cison omaa tietoliikenne infrastruktuuria sisätilapaikannuksessa. Kalibrointia voi yrittää nopeuttaa käyttämällä valmista vastaavanlaisen ympäristön radiosignaalin vaimennusmallia.

Niin Cisco Systemsin kuin Ekahaunkin paikannusratkaisu lähtee olettamuksesta, että on valmis optimoitu WLAN-infrastruktuuri, johon paikannustekniikka tukeutuu.

Yhteenvetona voidaan todeta, että sormenjälki-menetelmään perustuvien paikannusratkaisujen käyttöönotto on hyvin työlästä ja aikaa kuluttavaa. Parhaassa tapauksessa käyttöönotto voi tapahtua jopa tunnissa huomioiden WLAN-laitteiden esikonfigurointi, mutta paikannustarkkuudessa voidaan hävitä paljonkin. Hyvään tulokseen pääsemiseksi käyttöönotto on useampi tuntinen tehtävä. Myös tämän työn soveltavan osan suorittamisen aikana on muodostunut käsitys, että nykyiset sisätilapaikannustekniikat kuten Cisco Systems ja Ekahau, eivät ole vielä soveltuvia STUKin vaatimuksen mukaisesti ad-hoc -tyyppiseen nopeaan ja huomaamattomaan säteilyhavainnointiin.

Millaisia ongelmia liittyy sisätilapaikannukseen?

Sisätilapaikannukseen liittyviä ongelmia on kuvattu tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 5 WLAN-paikannuksen ympäristötekijät ja tietoturva.

Yleisimmät ongelmat sisätilapaikannuksessa liittyvät signaalin vaimennus- ja voimakkuustekijöihin. Radiosignaalien edetessä vapaassa tilassa, signaaleja on vaikea erottaa toisistaan ja tämä vaikeuttaa oletetun paikan laskemista RSSI-informaatiosta. Signaalit myös heikkenevät suurissa avoimissa tiloissa, jolloin signaali leviää ja summautuu muihin signaaleihin sekä saman signaalin heijastuksiin. Tästä syystä parempiin tuloksiin paikannuksessa päästään ympäristöissä, joissa ei ole suuria avoimia tiloja vaan huoneet on erotettu väliseinillä toisistaan kuten tyypillisissä toimistotiloissa.

Suuret yleisötapahtumat on järjestetty yleensä tiloihin, joissa on suuria ja korkeita avoimia tiloja. Tämän kaltainen ympäristö asettaa suuria vaatimuksia sisätilapaikannustekniikoille ja algoritmeille.

Miten helposti ja nopeasti paikkatietojärjestelmä on käyttöönotettavissa?

Sormenjälki-menetelmään perustuvat sisätilapaikannustekniikat hyödyntävät valmista WLAN-infrastruktuuria. Kuitenkin useimmissa tapauksissa ympäristöissä, joissa halutaan hyödyntää sisätilapaikannusta, tukiasemien sijoittamista kohdeympäristössä ei ole lähtökohtaisesti suunniteltu sisätilapaikannuksen näkökulmasta. Tästä syystä WLAN-tukiasemia joudutaan käytän-

nössä lisäämään kohdeympäristöön ja sijoittamaan siten, että voidaan kerätä mahdollisimman paljon RSSI-informaatiota.

Esimerkiksi STUKin WLAN-tukiasemien sijoittelussa ja niiden määrässä ei ole huomioitu sisällä tehtävää paikannusta. Tästä syystä STUKissa testattu Cisco Systemsin lähiverkkopaikannusjärjestelmä edellytti ensin WLAN-tukiasemien lisäämistä ja sijoittamista testiympäristössä paikannuksen näkökulmasta optimaalisesti.

Ekahaussa paikannusratkaisu on täysin ohjelmistopohjainen, joka hyödyntää olemassa olevaa WLAN-verkkoa RSSI-informaation keräämiseksi tukiasemilta. Kuitenkin myös Ekahaun tapauksessa WLAN-tukiasemat tulee sijoittaa ympäristöön optimaalisesti parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Ekahaun ratkaisu edellyttää, että kaikkiin paikannettaviin Wi-Fi -laitteisiin asennetaan Ekahaun positioning client -ohjelma RSSI-informaation keräämiseksi. Tämän lisäksi tulee myös Wi-Fi -laitteen palomuurisääntöjä muuttaa avaamalla tiettyjä UDP- ja TCP-portteja.

Kun WLAN-infrastruktuuri on asennettu ja optimoitu, tulee tämän jälkeen tehdä työläs ja aikaa kuluttava kalibrointivaihe signaalin vaimennusmallin luomiseksi paikannustietokantaan. Cisco Systemsin ratkaisussa on valmiita oletusmalleja sisätilaympäristöistä, jotka nopeuttavat joissakin tapauksissa kalibrointia. STUKissa testattiin Cisco-paikannusjärjestelmän cubes and walled offices -signaalin vaimennusmallia, joka kattoi lähes koko paikannusalueen, kalibrointiin kului aikaa vain noin 1 minuutti (katso luku 8.3.2). Testialueen signaalin vaimennusmalli tehtiin myös manuaalisesti hyödyntämällä Ciscon pistekalibrointia, johon kului aikaa noin 3 tuntia 720 m² testialueella. Valmiilla kalibrointimallilla ja manuaalisella kalibroinnilla päästiin lähes samaan tulokseen.

Ekahaun järjestelmässä kalibrointi testialueella tehtiin piirtämällä ensin pohjakartalle raiteet ja tämän jälkeen suoritettiin varsinainen kalibrointi signaalin vaimennusmallin luomiseksi tietokantaan. Pohjakartalle piirrettyjä raiteita pitkin kulkeminen 720 m² alueella vei aikaa noin tunnin.

Yhteenvetona kysymykseen voidaan todeta, että tässä työssä testatut sisätilapaikannusjärjestelmät eivät ole vielä soveltuvia nopeaan ja huomaamattomaan ad-hoc -tyyppiseen säteilylähteiden paikantamiseen suurissa yleisötapahtumissa.

12 Jatkotutkimus

Tämän työn aikana on muodostunut käsitys, että WLAN-pohjaisen sisätilapaikantamisen hyödyntäminen säteilylähteiden paikantamiseen on työlästä ja aikaa kuluttavaa. WLAN-tukiasemat tarvitsevat toimiakseen sähkövirtaa, joka on ongelmallista ad-hoc -tyyppisessä sisätilapaikantamisessa tukiasemien optimaalisen sijoittamisen näkökulmasta.

Toinen ihan erilainen ja lupaava jatkotutkimuksen kohde voi tulevaisuudessa olla Zigbee -tekniikkaan perustuvan langattoman verkon hyödyntäminen ”ad-hoc” -tyyppisessä säteilylähteiden paikantamisessa.

Heily (2004) määrittelee Zigbeeen ”nopeasti kasvavana, maailmanlaajuisena, hyötyä tavoittelemattomana teollisuusyhteensijittymänä, jonka tehtävänä on määritellä luotettava, kustannustehokas, vähän virtaa kuluttava, langattomasti liitettävä, valvottava ja ohjattava tuote perustuen avoimiin standardeihin”

Zigbee tarkoittaa IEEE 802.15.4 -standardin mukaista lyhyen kantaman tietoliikenneverkkoa, jossa pienet ja yksinkertaiset laitteet voidaan verkottaa keskenään langattomasti. Verkkoon liittäminen tapahtuu nopeasti noin 30 ms. Zigbee laitteiden kantomatka on noin 100 metriä. Zigbee toimii yhdellä 868 MHz taajuuden kanavalla, kymmenellä 915 MHz taajuuden kanavalla ja myös kuudellatoista 2.4 GHz taajuuden kanavalla (Zigbee Alliance 2008).

Alla olevassa kuvassa 32 on vertailtu Zigbeetä muihin markkinoilla oleviin langattomiin standardeihin. Säteilevien kohteiden paikantamiseksi riittää noin 20 kilotavun tiedonsiirtonopeus, johon Zigbeeen tiedonsiirtonopeus on riittävä.

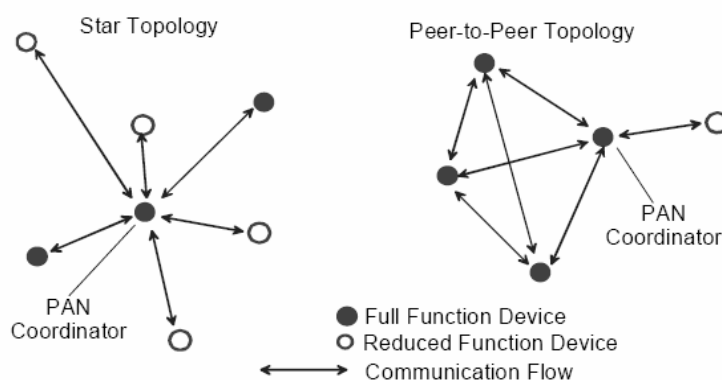
Market Name	ZigBee®	---	Wi-Fi™	Bluetooth™
Standard	802.15.4	GSM/GPRS CDMA/1x/RTT	802.11b	802.15.1
Application Focus	Monitoring & Control	Wide Area Voice & Data	Web, Email, Video	Cable Replacement
System Resources	4KB - 32KB	16MB+	1MB+	250KB+
Battery Life (days)	100 - 1,000+	1-7	.5 - 5	1 - 7
Network Size	Unlimited (2 ⁶⁴)	1	32	7
Maximum Data Rate (KB/s)	20 - 250	64 - 128+	11,000+	720
Transmission Range (meters)	1 - 100+	1,000+	1 - 100	1 - 10+
Success Metrics	Reliability, Power, Cost	Reach, Quality	Speed, Flexibility	Cost, Convenience

Kuva 32. Zigbee verrattuna muihin langattomiin standardeihin.

Holger ja Willig (2005) tuovat esiin kotiautomaation, kotiverkot ja kodin tietoturvan mahdollisena IEEE 802.15.4 standardin soveltamiskohteina. He lisäävät, että “useimmat näistä soveluksista vaativat ainoastaan muutaman sadan bitin tietovirran, maltillisen kesimääräisen viiveen ilman liian tiukkoja viivevaatimuksia ja joillekin solmuille on täysin mahdollista alentaa energiakulutus minimiin”.

Zigbee-verkot ovat itsensä määrittäviä toisin kuin WLAN-verkot. IEEE 802.15.4 -standardi määrittelee kaksi eri tyyppistä loogista laitetta. FFD (engl. *full function device*) sekä RFD (engl. *Reduced Function Device*) -laitteen. FFD on laite, joka voi toimia PAN-koordinaattorina (engl. *Personal Area Network, PAN*), koordinaattorina tai tavallisena laitteena. PAN-koordinaattori on vastuussa verkon muodostamisesta ja tunnuksen antamisesta verkolle. RFD on ominaisuuksiltaan hyvin yksinkertainen. Zigbee-verkossa RFD-laite kommunikoi aina FFD-laitteen kanssa, ei koskaan toisen RFD-laitteen kanssa (Zigbee Alliance 2008).

Ollakseen sovellusvaatimusten kanssa sopusoinnussa, LR-WPAN (engl. *Low-Rate Wireless Personal Area Network*) toimii tähti tai peer-to-peer topologiassa (katso kuva 33). Tähtitopologiassa RFD kommunikoi yksittäisen ohjaimen kanssa, PAN-koordinaattorin kanssa. PAN-koordinaattori voi suorittaa saman toiminnon kuin RFD, mutta se on myös vastuussa PANin valvonnasta. PAN-koordinaattori aloittaa, lopettaa ja reitittää tietoliikenteen verkossa. Peer-to-peer topologia tukee ad-hoc -verkkotyöskentelyä. Mikä tahansa laite peer-to-peer topologiassa voi kommunikoida minkä tahansa muun laitteen kanssa sen kommunikointialueella; kuitenkin tässä topologiassa on myös PAN-koordinaattori. Kaikilla laitteilla LR-WPANissa on yksilöllinen 64-bitin osoite. PAN-koordinaattori allokoii tämän tai lyhyemmän 16-bittisen osoitteen, jota voidaan käyttää PANin sisällä. Sen lisäksi, kullakin PANilla on yksilöllinen tunniste. PAN-tunnisteen ja lyhyen 16-bittisen osoitteen yhdistelmä mahdollistaa kommunikoinnin eri PAN-verkkojen välillä (IEEE 802.15.4 Standard 2003).



Kuva 33. Tähti ja peer-to-peer topologia LR-WPAN -verkossa (IEEE 802.15.4).

13 Johtopäätökset

Tässä työssä on tutkittu sisätilapaikannuksen soveltuvuutta säteilylähteiden paikantamiseen. Evaluointiympäristössä hyödynnettiin Cisco Systemsin WLAN-verkon komponentteja. Sisätilapaikannusta testattiin sekä Cisco Systemsin että Ekahaun paikkatietojärjestelmillä.

Työssä voitiin osoittaa, että säteilylähteitä on mahdollista paikantaa perustuen WLAN-tekniikkaan. Ongelmaksi muodostui kuitenkin vaatimus ympäristön säteilyhavaintojen suorittamisesta nopeasti ja huomaamattomasti (katso luku 7.1.1). Säteilyturvakeskus suorittaa pistekoemaisesti ja mahdollisimman huomaamattomasti säteilyhavainnointia suurissa yleisötahtumissa. Tästä syystä ympäristön havainnointi tulee olla mahdollista ilman työlästä ja aikaa kuluttavaa kalibrointia sekä WLAN-infrastruktuurin optimointia.

Työssä evaluoidut sisätilapaikannusjärjestelmät käyttävät sormenjälki-menetelmää, jossa paikannuksen mahdollistamiseksi ympäristöstä tulee ensin kerätä tietokantaan riittävä määrä RSSI-informaatiota. Tämä vaihe on erittäin aikaa kuluttava. Myös monessa tapauksessa tukiasemia tulee lisätä ja sijoittaa ympäristöön optimaalisesti hyvän paikannustarkkuuden saavuttamiseksi. Tulee myös huomioida, että WLAN-tekniikassa tukiasemat eivät ole itsensä määrittäviä ja tästä syystä ne edellyttävät jonkin verran konfigurointia ennen käyttöönottoa. Nykyiset WLAN-tukiasemat eivät myöskään toimi akuilla ja tästä syystä ne tarvitsevat sähköverkkoa. Tämä voi muodostua joissakin tapauksissa ongelmalliseksi optimaalisen sijoittamisen näkökulmasta.

Tulee huomata, että tässä työssä evaluoidut paikannusjärjestelmät on tarkoitettu lähtökohteisesti käyttöönotettavaksi ympäristöissä, joissa WLAN-infrastruktuuri on ennakolta suunniteltu ja optimoitu paikannuksen näkökulmasta pysyväksi. Ekahaun paikannusjärjestelmä on täysin ohjelmistopohjainen, joka mahdollistaa hyödyntämään olemassa olevaa WLAN-verkkoa. Kuitenkin tässä työssä voitiin todeta, että myös Ekahaun tapauksessa WLAN-tukiasemat tulee sijoittaa paikannusympäristöön optimaalisesti säteilylähteen havainnoinnin onnistumiseksi.

Lähteet

- Aarnio, P. 2007. Linssi SQL Database for Gamma-Ray Spectrometry. Part I: Database. Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan julkaisuja. Teknillinen korkeakoulu. Espoo, 1 - 118.
- Baburoglu, O. N., & Ravn, I. 1992. Normative Action Research. *Organization Studies* (13:1), 19 - 34.
- Badawy, O.M. & Hasan, M. 2007. Decision tree approach to estimate user location in WLAN based on location fingerprinting. *Proceedings of 24th National Radio Science Conference, Ain Shams Univ., Egypt*, 1 - 10.
- Bahl, P. & Padmanabhan, V.N. 2000. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system, *Proceeding of INFOCOM 2000*, 775 - 784.
- Baskerville, R. & Myers, M.D. 2004. Special Issue on Action Research in Information Systems: Making IS Research Relevant to Practice - Foreward. *MIS Quarterly* Vol. 28 No. 3, pp. 329 - 335.
- Blum, F. 1955. Action Research — A Scientific Approach? *Philosophy of Science* (22:1), 1 - 7.
- Brunato, M. & Battiti, R. 2004. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless lans. Technical Report. [WWW-dokumentti].
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VRG-4DTM0FS-1&_user=6495482&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=6495482&md5=0338c2aa32cbbff445e859a52a9f7692. (Viitattu 12.8.2008).
- Brown, R.G. & Hwang, P.Y.C. 1996. *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*. 3 ed: John Wiley & Sons.
- Chen, Y., Chiang, J. Chu, H. Huang, P., Tsui, A. 2005. Sensor-Assisted Wi-Fi Indoor Location System for Adapting to Environmental Dynamics. *MSWiM'05*, October 10-13.
- Chen, G. & Kotz, D. 2000. A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research. Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College.
- Cisco. 2008. Cisco 2700 Series Wireless Location Appliance Deployment Guide. [WWW-dokumentti].
http://www.cisco.com/en/US/products/ps6386/tsd_products_support_series_home.html. (Viitattu 6.9.2008).

Cisco. 2007. Cisco Wireless Control System Configuration Guide. [PDF-dokumentti].
<http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/wcs/4.1/configuration/guide/wcspref.html>.
(Viitattu 8.9.2008).

Cisco. 2006. Wi-Fi Location-Based Services—Design and Deployment Considerations. [PDF-dokumentti]. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/solution/wifidesi.pdf>. (Viitattu 10.6.2008).

Davis, J. B. 1998. "Handbook of Economic Methodology", 75.

Dey, A. & Abowd, G.D. 1999. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. Technical Report 22, Georgia Institute of Technology, Atlanta. [PDF-dokumentti].
<ftp://ftp.cc.gatech.edu/pub/gvu/tr/1999/99-22.pdf>. (Viitattu 14.7.2008)

3rd Generation Partnership Project. 2008. Universal Geographical Area Description (GAD), Technical Specification, Release 4, 3GPP TR 23.032 V4.0.0.

Geier, J. 2005. Langattomat lähiverkot. Edita Prima Oy: Helsinki.

Gigl, T., Janssen, G., Dizdarevic, V., Witrisal, K. & Irahauten, Z. 2007. Analysis of a UWB indoor positioning system based on received signal strength, Proceedings of the 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. Hannover, Germany, 97 - 101.

Ekahau. 2008. Positioning Engine. [WWW-dokumentti].
<http://www.ekahau.com/products/positioningengine/>. (Viitattu 3.6.2008)

Ekahau. 2008. Industries. [WWW-dokumentti]. <http://www.ekahau.com/>. (Viitattu 3.11.2008)

European Telecommunications Standards Institute. 2008. [WWW-dokumentti].
<http://www.etsi.org/Website/Standards/Standard.aspx>. (Viitattu 21.8.2008).

Fränti, M. & Pirinen, R. 2005. "Tutkiva oppiminen integratiivisissa oppimisympäristöissä - BarLaurea ja REDLabs"

Hakolahti, T. 2003. Mobiilit paikkatietosovellukset. Pro gradu - tutkielma. [PDF-dokumentti].
ftp://ftp.cs.joensuu.fi/pub/Theses/2003_MSc_Hakolahti_Teemu.pdf. (Viitattu 25.9.2008).

Harter, A. & Hopper, A. 1994. A Distributed Location System for the Active Office. IEEE Net-

work 8, No. 1, 62 - 70.

Hevner, R.A., March, S.T. & Park, J. 2004. Design Science in Information System Research. MIS Quarterly Vol. 28 No. 1, pp. 75 - 105.

Holger, K. & Willig, A. 2005. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. London.

IEEE 802.15.4 Standard. 2003. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). New York

ISO/TC211. 2008. [WWW-dokumentti]. <http://www.isotc211.org>. (Viitattu 21.8.2008).

Ito, S. & Kawaguchi, N. 2005. Bayesian based location estimation system using wireless LAN. Proceedings of the Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 273-278.

Järvinen, P. & Järvinen, A. 2004. Tutkimustyön metodeista. Tampere: Opinajan kirja.

Juutilainen, M. 2008. Radiotekniikan perusteet: signaalien eteneminen. [PDF-dokumentti]. www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento02.pdf. (Viitattu 19.9.2008).

Kaemarungsi, K. 2005. Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique. University of Pittsburg. [PDF-dokumentti]. <http://etd.library.pitt.edu/ETD/available/etd-02232005-235903/unrestricted/dissertation28Feb05.pdf>. (Viitattu 10.6.2008).

Kaemarungsi, K. & Krishnamurthy, P. 2004. Modelling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting. School of Information Science, University of Pittsburgh. IEEE Infocom. [PDF-dokumentti]. (Viitattu 11.6.2008).

Kolb, D.A. 1984. Experimental Learning. Experience as the Source of Learning and Development.

Kotanen, A., Hännikäinen, M., Leppäkoski, H. & Hämäläinen, T.D. 2003. Experiments on local positioning with bluetooth. Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing [Computers and Communications] (ITCC 2003), 297- 303.

Ladd, A.M, Bekris, K.E, Marceau, G., Rudys, A., Kavraki, L.E. & Wallach, D.S. 2002. Robotics-

based location sensing using wireless ethernet. ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02), 227 - 238.

Lassabe, F., Canalda, P., Chatonnay, P. & Spies, F. 2005. A Friis-based calibrated model for Wi-Fi terminals positioning, Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, 382 - 387.

Lassenius, C., Soininen, T. & Vanhanen, J. 2001. Constructive Research - Methodology Workshop.

Leonhardt, U. 1998. Supporting Location-Awareness in Open Distributed Systems. PhD thesis, Department of Computing, Imperial College, London.

Li, B., Dempster, A.G., Rizos, C., & Barnes, J. 2005. Hybrid method for localization using WLAN. Spatial Sciences Conference, Melbourne, Australia, 12 - 16 September 2005, 341 - 350.

Li, B., Salter, J., Dempster, A.G. & Rizos, C. 2006. Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN. [PDF-dokumentti].

http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lib_et al2006a.pdf. (Viitattu 16.6.2008).

Li, B., Wang, Y., Lee, H.K., Dempster, A.G. & Rizos, C. 2005. Method for Yielding a Database of Location Fingerprints in WLAN. Communications, IEE Proceedings, Vol. 152, Issue 5, October 2005, 580 - 586.

Lukka, K. 2003. "Constructive research approach" (teoksessa Ojala et al (eds.): Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration (Sarja B1), 83 - 101.

Madigan, D., Einahrawy, E., Martin, R.P, Ju, W., Krishnan, P. & Krishnakumar, A.S. 2005. Bayesian indoor positioning systems. Proceedings of the IEEE 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2005), 1217 - 1227.

Newbury. 2008. Newbury RF Firewall. [WWW-dokumentti].

<http://www.newburynetworks.com/rffirewall-literature.htm>. (Viitattu 30.8.2008).

Open Geospatial Consortium. 2008. [WWW-dokumentti].<http://www.opengeospatial.org/ogc>. (Viitattu 20.8.2008).

Open Mobile Alliance. 2008. [WWW-dokumentti]. <http://www.openmobilealliance.org>. (Viitattu 21.8.2008).

Paikkatietotekniikan perusteet. 2007. Maanmittauslaitos. Helsinki. [WWW-dokumentti].
http://www.rakennusperinto.fi/news/Uutiset_2007/fi_FI/Paikkatietodirektiivi/. (Viitattu 4.6.2008).

Poutanen, M. 1998. GPS-paikanmääritys. URSA, 272.

Proessori. 2008. Proessori lehden artikkeli Ekahau paikkatietojärjestelmästä. Artikkelissa on haastateltu Ekahaun teknologiajohtaja Pauli Misikangasta. Maalaisjärjellä menestykseen. Proessori, 10/2008, 48 - 50.

Puska, M. 2005. Langattomat lähiverkot. Tallentum.

Raunio, A. 2003. Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Teknologia katsaus 143/2003. Helsinki, 3.

Roos, T., Myllymäki, P., Tirri, H., Misikangas, P. & Sievänen, J. 2002. A probabilistic approach to wlan user location estimation. International Journal of Wireless Information. Networks, vol. 9, no. 3, 155.

Schilit, B. & Theimer, M. 1994. Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts. IEEE Network 8, 22 - 32.

Tekniikan sanastokeskus.2002. Paikannussanasto (TSK 30). Helsinki, 48. [PDF-dokumentti].
<http://www.tsk.fi/fi/info/paikannussanasto.pdf>. (Viitattu 4.6.2008).

Tynjälä, P. 1999. "Oppiminen tiedon rakentamisena - Konstruktiivisen oppimiskäsityksen perusteita", 47.

Wallbaum, M. & Dornbusch, B. 2001. Design considerations for a platform supporting location-aware services. [Word-dokumentti].
<http://www.fabsoft.de/public/DesignConsiderationsforaPlatformSupportingLocationAwareApplications.doc>. (Viitattu 28.8.2008).

Wang, Y., Jia, X., Lee, H.K. & Li, G.Y.2003. An indoor wireless positioning system based on WLAN infrastructure. 6th Int. Symp. on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services, Melbourne, Australia, 22 - 25

Wann, C. & Lin, M. 2004. Data fusion methods for accuracy improvement in wireless location systems. In Proceeding of the IEEE wireless communications and networking conference, 21 -

25 March 2004 (WCNC 2004), Vol. 1, 471 - 476.

Want, R., Hopper, A., Falcao, V. & Gibbons, J. 1992. The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems* 10, No. 1, 91 - 102.

Want R., Schilit, B.N., Adams, N.I., Gold, R., Petersen, K., Goldberg, D., Ellis, J.R. & Weiser, M. 1995. The PARCTAB Ubiquitous Computing Experiment. Technical Report CSL-95-1, Xerox Palo Alto Research Center.

Ward, A., Jones, A. & Hopper, J. 1997. A New Location Technique for the Active Office. *IEEE Personal Communications* 4, No. 5, 42 - 47.

Welch, G. & Bishop, G. 2006. An Introduction to the Kalman Filter. [PDF-dokumentti].
http://www.math.itb.ac.id/~wp-kkstat/wp-content/uploads/2008/02/kalman_intro.pdf.
(Viitattu 10.8.2008).

Wu, C.L., Fu, L.C., & Lian, F.L. 2004. WLAN location determination in e-Home via support vector classification. *IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control*. Taipei, Taiwan, 1026 - 1031.

Xiang, Z., Song, S., Chen, J., Wang, H., Huang, J. & Gao, X. 2004. A Wireless LAN-based indoor positioning technology. *IBM J. RES. & DEV. VOL. 48 NO. 5/6.*, 617 - 626.

Yim, J., Park, C., Joo, J. & Jeong, S. 2008. Extended Kalman Filter for wireless LAN based indoor positioning. *Decisions Support Systems*. Elsevier.

Yim, J. 2008. Introducing a decision tree-based indoor positioning technique. *Expert Systems with Applications* 34 (2), 1296 - 1302.

Youssef, M., Agrawala, A. & Shankar, A. U. 2003. WLAN location determination via clustering and probability distributions. In *Proceedings of IEEE international conference on pervasive computing and communications*, 23 - 26 March 2003 (PerCom), 143 - 150.

Youssef, M. & Agrawala, A. 2004. Continuous space estimation for WLAN location determination systems. In *Proceedings of 13th international conference on computer communications and networks (ICCCN 2004)*, 161 - 166.

Zigbee Alliance. 2008. ZigBee Specification v1.0. [WWW-dokumentti].
http://www.zigbee.org/en/spec_download/zigbee_downloads.asp. (Viitattu 2.12.2008).

Julkaisemattomat lähteet:

Puhelinkeskustelu Jari Syrjälä / Santteri Siren Ekahau 28.11.2008

Säteilyturvakeskus (STUK). 2008. Säteilytiedustelu SONNI-mittausautolla. Kuva 6.

Säteilyturvakeskus (STUK). 2008. Kannettava säteilytiedustelulaitteisto VASIKKA. Kuva 7.

Kuvat

Kuva 1. Paikannusmenetelmät (Tekniikan sanastokeskus 2002).....	14
Kuva 2. Symbolinen paikkatietohierarkia (Schilit & Theimer 1994).....	16
Kuva 3. Sormenjälki-menetelmän vaiheet: a) offline-vaihe ja b) online-vaihe (Li, Salter, Dempster & Rizos 2006).....	23
Kuva 4. Käyttäjän kehon vaikutus signaalin voimakkuuteen (Kaemarungsi 2005).	30
Kuva 5. Pittsburghin yliopiston neljännen kerroksen WLAN-tukiasemien sijainti (Kaemarungsi 2005).....	31
Kuva 6. Säteilytiedustelu SONNI-mittausautolla (STUK 2008).....	33
Kuva 7. Kannettava säteilytiedustelulaitteisto VASIKKA (STUK 2008).	34
Kuva 8. Tukiasemien optimaalinen sijoittaminen (Cisco 2007).	43
Kuva 9. Tukiasemien ei-optimaalinen sijoittaminen (Cisco 2007).....	43
Kuva 10. Tukiasemien porrastaminen (Cisco 2007).	43
Kuva 11. Cisco-verkonhallintajärjestelmän yhteenveto langattoman verkon tietoturvasta (Cisco 2007).	45
Kuva 12. Ekahau-kokoonpano ja arkkitehtuuri (Ekahau 2008).	47
Kuva 13. Yksinkertaistettu kuva kerätyistä RSSI-näytteistä (Cisco 2006).	49
Kuva 14. Kalibroidun alueen valmius paikannusta varten.	50
Kuva 15. Verkonhallintajärjestelmän kalibrointivaiheessa ehdottamat kalibrointipisteet pohjakartalla STUKin 5C-kerroksessa.	51
Kuva 16. Pistekalibrointi STUKin 5C-kerroksessa.....	52
Kuva 17. Ekahau Location Survey -käyttöliittymä.	53
Kuva 18. Ekahau Location Survey -ohjelman kalibrointielementit.	54
Kuva 19. Tukiasemien sijainnit 5C-kerroksessa.	60
Kuva 20. Cisco-verkonhallintajärjestelmä.	61
Kuva 21. Cisco (2006) paikannuksen tyypillinen laitekokoonpanon arkkitehtuuri.	62
Kuva 22. Ekahau Positioning Engine -hallintaohjelma.....	63
Kuva 23. Määritellyt raiteet 5C-kerroksessa.	64
Kuva 24. Raiteen jatkuminen avoimesta tilasta (Ekahau 2008).	64
Kuva 25. Kalibroinnin laatu STUKin 5C-kerroksessa.	65
Kuva 26. Testiympäristön peittoalue 5C-kerroksessa.	65
Kuva 27. Paikkakoordinaattien visualisointi kartalle.	68
Kuva 28. Jäljitettävän Wi-Fi -laitteen mac-osoitteen asettaminen lukuohjelmalle.....	69
Kuva 29. Paikkatietojen lukeminen paikkatietokannasta xml-tiedostoon.	69
Kuva 30. LINSSI-tietokannan mobileCoordinates-taulu (Aarnio 2007).	70
Kuva 31. Säteilylähteen havainnointi VASIKKA-järjestelmällä.	71
Kuva 32. Zigbee verrattuna muihin langattomiin standardeihin.....	75
Kuva 33. Tähti ja peer-to-peer topologia LR-WPAN -verkossa (IEEE 802.15.4).	76

Määritelmät

Tässä luvussa kuvataan käytetyt lyhenteet ja mitä niillä tarkoitetaan tässä työssä.

Access Point	Langaton tukiasema. Tukiaseman tehtävänä on yleensä yhdistää langaton ja langallinen verkko toisiinsa fyysisen- ja siirtoyhteyserroksen tasolla.
Bluetooth	Lyhyen kantaman radiotekniikkaan perustuva langaton tiedonsiirtotekniikka.
dBm	Tarkoittaa desibelimäärää suhteessa milliwattiin.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol on verkkoprotokolla, jonka yleisin tehtävä on jakaa IP-osoitteita uusille lähiverkkoon kytkeytyville laitteille.
FTP	FTP (engl. <i>File Transfer Protocol</i>) on TCP-protokollaa käyttävä tiedostonsiirtomenetelmä kahden tietokoneen välille. FTP-yhteys toimii asiakas-palvelin-periaatteella.
GPS	Global Positioning System. Sateliitteihin perustuva maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä, jossa paikannus perustuu etäisyyden ja ajan mittaukseen. Paikantamisessa tarvitaan vähintään kolme sateliittia.
LOS	Line-of-Sight. Näköyhteys tukiaseman ja päätelaitteen välillä.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikanalan järjestö, jonka toimintaan kuuluu laaja julkaisutoiminta, tieteellisten konferenssien järjestäminen, koulutuksen edistäminen sekä keskeisten standardien määrittely.
Kinematiikka	Kinematiikka eli geometrinen liikeoppi on mekaniikan osa-alue, joka tutkii kappaleiden liikettä geometriselta kannalta kiinnittämättä lainkaan huomiota liikkeen syihin.
MAC	MAC-osoite (engl. <i>Media Access Control</i>) on verkkosovittimen ethernet-verkossa yksilöivä osoite. Se on useimmiten fyysisesti kirjoitettu jo tehtaalla kortille, mutta sitä voi myös vaihtaa ohjelmallisesti jälkikäteen.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing. OFDM-järjestelmä on monikantoaaltojärjestelmä, jossa dataa lähetetään useilla rinnakkaisilla kapeakaisaisilla (ali)kantoaalloilla samanaikaisesti. Alikantoaallot ovat ortogonaalisia toistensa suhteen eli kantoaallot eivät interferoi keskenään.
PoE	Power over Ethernet on tekniikka, jolla voidaan syöttää käyttöjännite esimerkiksi WLAN-tukiasemalle kierretyn parikaapelin avulla.
POIX	POIX-merkkauskieltä (engl. <i>Point Of Interest eXchange Language</i>) käytetään paikkatiedon esittämiseen yli julkisen tietoverkon (Internet). Esimerkiksi autojen navigointijärjestelmät käyttävät POIX-kieltä paikkatiedon esittämiseksi.
RADIUS	RADIUS -protokolla (engl. <i>Remote Authentication Dial In User Service</i>) on

	aikoinaan suunniteltu sisäänsoittopalveluissa tapahtuvaan tunnistukseen, jossa se on nykyäänkin laajassa käytössä. RADIUS -protokollan pääasiallinen käyttökohde on operaattorin sisäisessä verkossa, jolloin verkkoa voidaan pitää kohtuullisen luotettavana ja yhden tahon ylläpitämänä.
RF-signaali	Radiotaajuus- eli RF-signaali on sähkömagneettinen aalto, jota tietoliikennejärjestelmät käyttävät siirtääkseen tietoa pisteestä toiseen. Radiotaajuus-signaalin voimakkuutta kuvataan usein desibeleinä (dB). RF-signaalit ovat yleisin langattomissa tietoverkoissa käytetty tapa tiedonsiirtoon.
RFID	Radio Frequency Identification. Lyhyen kantaman radiotekniikkaan perustuva langaton etätunnistusmenetelmä.
RRM	RRM (engl. <i>Radio resource management</i>) on järjestelmätason työkalu yhteiskanavahäiriöiden ja muiden radiolähetysominaisuuksien hallintaan langattomissa verkoissa. Esimerkiksi soluverkoissa, langattomissa verkoissa ja radiolähetysjärjestelmissä.
RSSI	Received Signal Strength Indication. Saapuvan signaalin voimakkuuden mittaussuure.
RTLS	Real-Time Location System. Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä.
SOAP	SOAP on lyhenne sanoista Simple Object Access Protocol. Kevyt XML-pohjainen sanomaprotokolla, jota käytetään koodaamaan informaation vastaus ja lähetys sanomat Web service:ssä ennen lähettämistä yli julkisen verkon. SOAP sanomat ovat käyttöjärjestelmä tai protokolla riippumattomia ja voidaan siirtää käyttämällä lukuisia eri Internet-protokollia sisältäen SMTP, MIME ja HTTP.
SSID	Service Set Identifier. SSID on langattoman lähiverkon nimi. Kaikki langattomat laitteet langattomassa lähiverkossa täytyy ottaa sama SSID käyttöön muodostaakseen yhteyden toistensa kanssa.
UDP	UDP (User Datagram Protocol) on yhteyksikäytäntö, jolla sovellus voi lähettää viestejä toiselle tietokoneelle.
TCP	TCP (Transmission Control Protocol) on tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille, joilla on pääsy Internetiin.
Wi-Fi	Wi-Fi (Wireless Fidelity). Wi-Fi viittaa langattoman lähiverkon laitteisiin, jota käytetään kaupallisissa yhteyksissä. Langattomat laitteet, jotka ovat käyneet läpi yhteensopivuustestit saavat myös Wi-Fi -sertifikaatin merkiksi laadusta ja yhteentoimivuudesta toisten langattoman lähiverkon laitteiden kanssa.
WLA	Wireless Location Appliance. Ciscon paikannuslaitteisto, joka laajentaa verkkohallintajärjestelmän (WCS) paikannusominaisuuksia kuten paikan laskentaa, paikatietojen keräämistä ja paikkahistoriatietojen tallentamista tietokantaan.

WLAN	Wireless Location Area Network. Langaton lähiverkko.
WCS	Wireless Control System. Ciscon verkonhallintajärjestelmä, jolla voidaan koko Ciscon langattoman verkon lisäksi myös hallinoida ja ylläpitää paikannuslaitteistoa.
XML	XML on lyhenne sanoista Extensible Markup Language. Kuvauskieli, jolla määritellään WWW-sivuilla olevan datan tarkempi kuvaus. HTML-kieli määrittelee vain tavan, jolla data esitetään. XML puolestaan antaa datalle merkityksen, mikä auttaa muun muassa erilaisia tietokantasovelluksia. XML organisoii hajanaiset tiedot verkossa helpommin saavutettavaan muotoon ja antaa viestille älykkyyden. ("kuka olen, mistä tulen ja mitä minulle pitää tehdä").

Liitteet

Indoor positioning -ohjelmakoodi	90
Paikkatietojen lukeminen Ekahaun tietokannasta.....	98

Indoor positioning -ohjelmakoodi, jolla luetaan Ekahau paikkatietojärjestelmän tietokannasta x, y, times-tamp ja mac-osoite xml-tiedostoon.

```
import java.awt.Font;
import java.awt.Graphics;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;
import java.io.BufferedOutputStream;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.IOException;
import java.io.OutputStream;
import java.io.OutputStreamWriter;
import java.io.UnsupportedEncodingException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.HashMap;

import javax.swing.DefaultListModel;
import javax.swing.JButton;
import javax.swing.JComboBox;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JList;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.JScrollPane;
import javax.swing.JTabbedPane;
import javax.swing.JTextField;

import com.ekahau.common.sdk.EConnection;
import com.ekahau.common.sdk.EException;
import com.ekahau.common.sdk.EMsg;
import com.ekahau.common.sdk.EResponse;

/*
 * Class IndoorPos contains the following classes: ServerConn (connects to the server),
 * panel (contains methods readPos and drawPos), keepData (useful class for keeping data)
 * and writeXML (writes the output into a xml code). The method posUI is responsible for user
 * interface.
 *
 * Brief description about how the application Indoor Positioning works:
 * To find available devices write mac in the field 'Search for' and press 'Search' button.
 * To find particular mac's address write the address in the 'Search for' field, select mac
 * from the list below and press 'Search' button.
 * Select one or more mac's addresses from the list and go to 'Map' tab. The selected macs should
 * appear as red dots and the rest of the macs as white dots.
 * To create history press 'Start recording' button, the data will be written to xml file (the file
 * should be in the same location where the class IndoorPos is). To cancel
 * the history press 'Stop recording' button.
 */
public class IndoorPos {

    JFrame fr = null;
    JPanel p1 = null, p2 = null;
    panel p3 = null;
    JLabel lb1 = null, lb2 = null, lb3 = null;
    JTextField tf1 = null;
    JComboBox cb1 = null;
```

```

JList jl1 = null;
DefaultListModel dlm = null;
JScrollPane sp = null;
JButton b1 = null, b2 = null, bstart = null, bstop = null;
JTabbedPane tb = null;
int w = 500, h = 700;
EConnection conn = new EConnection("localhost", 8550);
EMsg[] msgs;
String[] smsgs;
writeXML keepxml = null;

public void interf() {
    posUI();
}

public IndoorPos() {

    interf();
    dlm.clear();
}

/*
 * Class ServerConn connects to the server and gets information from it in
 * real time. Depending on the used call it will give different response.
 * When we call "/epe/pos/taglist?&fields=posgood" The message will look
 * like: EMSG(TAG): tagid=72051298287, mac=00:10:C6:97:8F:EF, posx=736,
 * posy=663, posmodelid=21, posmapid=1, poszoneid=-1,
 * posmapname=lopullinen_pohja, posquality=71, posreason=3,
 * postime=1226919245071, postimestamp=2008-11-17 12:54:05+0200,
 * poscounter=23172, battery=100. The response: msgs from the server is used
 * later to get particular elements about devices, like mac, posx, posy and
 * postimestamp. Timestamp is formatted according to ISO 8601 format
 * YYYY-MM-DD HH:M:SSZ. For example, May 29, 2006 at 3:44:16 PM in the
 * Eastern Standard Time (EST, GMT-5) is encoded as 2006-05-29
 * 15:44:16-0500.
 */
class ServerConn {
    public void connection() {
try {
                conn.setUserCredentials("admin", "admin");
                EResponse resp = conn.call("/epe/pos/taglist?&fields=posgood");
                msgs = resp.get();

} catch (EException e) {
                System.out
                    .println("An exception has occurred " + e.getMessage());
                e.printStackTrace();
            }
        }

/*
 * Class panel contains methods readPos and drawPos that are responsible for
 * getting positions and drawing them on the screen.
 */
class panel extends JPanel {
    public String dist = null;
    public String[] aamac = null;

```

```

public HashMap<String, keepData> data = new HashMap<String, keepData>();

public panel() {
    this.setSize(w, h);
    this.setLocation(0, 0);
    this.setBackground(Color.BLUE);
    this.setLayout(null);
    keepxml = new writeXML();
}

/*
 * The method readPos uses method connection from the class ServerConn
 * to get the response from the server. The response: msgs is splited
 * with coma to an array: smsgs. Now depending on which element we want
 * we will use index of the array to choose one. In our example it is:
 * mac (index=1), posx (index=2), posy (index=3) and postimestamp
 * (index=11). The choosen informations are stored in the container
 * data.
 */
    public void readPos() {
new ServerConn().connection();
data.clear();
for (int j = 0; j < msgs.length; j++) {
keepData kd = new keepData();
smsgs = msgs[j].toString().split(",");
String mac = null;
for (int a = 1; a < 2; a++) {
                                mac = smsgs[a].substring(5);
                                kd.amac = mac;
                                }
for (int a = 11; a < 12; a++) {
String tstamp = smsgs[a].substring(14);
kd.atstamp = tstamp;
                                }
for (int a = 2; a < 3; a++) {
String x = smsgs[a].substring(6);
int xx = Integer.parseInt(x);
kd.xa = xx;
                                }
for (int a = 3; a < 4; a++) {
String y = smsgs[a].substring(6);
int yy = Integer.parseInt(y);
kd.ya = yy;
                                }
data.put(mac, kd);
}
}

/*
 * The method drawPos basically draw positons of the devices (as dots)
 * on the screen on tab Map. It calls the method readPos to get mac,
 * postimestamp and positions x and y. The coordinate system which is
 * used starts with zero point in the left upper corner of the screen.
 * If the value from JList has been choosen then the mac is marked with
 * red color otherwise with white color.
 */
    public void drawPos(Graphics g) {

```

```
this.readPos();
Object[] aamac = jl1.getSelectedValues();
ArrayList<String> selectedMacs = new ArrayList<String>();
for (int i = 0; i < aamac.length; i++)
    selectedMacs.add((String) aamac[i]);
    for (java.util.Iterator<keepData> i = data.values().iterator(); i
.hasNext();) {
keepData kd = i.next();

if (selectedMacs.contains(kd.amac)) {
g.setColor(Color.red);
g.setFont(new Font("Courier", Font.BOLD, 15));
g.drawString(kd.amac + kd.atstamp, kd.xa, kd.ya);
g.fillOval(kd.xa, kd.ya, 5, 5);
} else {
g.setColor(Color.white);
g.setFont(new Font("Courier", Font.BOLD, 15));
g.drawString(kd.amac, kd.xa, kd.ya);
g.fillOval(kd.xa, kd.ya, 5, 5);
}
    }
    repaint();
}

    public void paintComponent(Graphics g) {
super.paintComponent(g);
drawPos(g);
    }
}

/*
 * Class keepData was created to handle with data got from the server. The
 * following variables are related to msgs as following: xa (posx), ya
 * (posy), amac (mac), atstamp (postimestamp)
 */
class keepData {
public int xa = 0, ya = 0;
public String amac = null, atstamp = null;
}

/*
 * Class writeXML write output to an xml file. It overwrites methods
 * interrupt and run which are used further to record data in some kind of
 * history. The method xwrite first call readPos method to get current data
 * and then write them into xml file. It has 2 seconds of break.
 */
class writeXML extends Thread {
public OutputStream fileout = null;
public OutputStream buffout = null;
public OutputStreamWriter out = null;
public boolean finish = false;

public void interrupt() {
finish = true;
try {
out.write("</LML>\r\n");
out.flush();
}
}
```

```
out.close();
} catch (IOException e) {
e.printStackTrace();
}
super.interrupt();
}

public void run() {
super.run();
finish = false;
try {
fileout = new FileOutputStream("pos_test.xml");
buffout = new BufferedOutputStream(fileout);
out = new OutputStreamWriter(buffout, "8859_1");
} catch (Exception ee) {
}
this.xwrite();
}

public synchronized void start() {
super.start();
}

public void xwrite() {

try {
    out
        .write("<?xml version='1.0' encoding='ISO-8859-1'?>\r\n");
    out.write("<LML xmlns='http://www.stuk.fi/linssi'>\r\n");
    p3.readPos();
    Object[] aamac = jl1.getSelectedValues();
    ArrayList<String> selectedMacs = new ArrayList<String>();
    do {
try {

                for (int i = 0; i < aamac.length; i++)
                    selectedMacs.add((String) aamac[i]);
                for (java.util.Iterator<keepData> i = p3.data.values()
                    .iterator(); i.hasNext();) {
                    keepData kd = i.next();

                    if (selectedMacs.contains(kd.amac)) {

                        out.write("<Tag>" + "<mac>" + kd.amac
+ "</mac>" + "<posx>" + kd.xa
+ "</posx>\r\n" + "<posy>" + kd.ya
+ "</posy>\r\n" + "<timestamp>"
+ kd.atstamp + "</timestamp>\r\n"
+ "</Tag>");
                    }
                }
            Thread.sleep(2000);

        } catch (Exception ee) {
        }
    } while (!finish);

} catch (UnsupportedEncodingException e1) {
```

```
} catch (IOException e) {
    System.out.println(e.getMessage());
}
}
}

/*
 * The method posUI creates user interface. The user interface is divided
 * into three tabs: Other, Search and Maps. The 'Other' tab might be used in
 * the future as tab for some kinds of settings.
 */
public void posUI() {

    fr = new JFrame("Indoor positioning");
    fr.getContentPane().setLayout(null);
    fr.setSize(w, h);
    fr.setLocation(0, 0);
    fr.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);

    /*
     * Tab Other
     */
    p1 = new JPanel();
    p1.setSize(w, h);
    p1.setLocation(0, 0);
    p1.setBackground(null);
    p1.setLayout(null);

    lb3 = new JLabel("Legend: The selected MAC is highlited in red color"
        + " the other is white");
    lb3.setSize(500, 20);
    lb3.setLocation(5, 5);
    lb3.setForeground(Color.black);
    p1.add(lb3);

    lb1 = new JLabel("Choose language: ");
    lb1.setSize(300, 20);
    lb1.setLocation(5, 35);
    lb1.setForeground(Color.black);
    p1.add(lb1);

    /*
     * Tab Search
     */
    p2 = new JPanel();
    p2.setSize(w, h);
    p2.setLocation(0, 0);
    p2.setBackground(null);
    p2.setLayout(null);

    lb2 = new JLabel("Search for: ");
    lb2.setSize(300, 20);
    lb2.setLocation(10, 10);
    lb2.setForeground(Color.black);
    p2.add(lb2);

    tf1 = new JTextField();
    tf1.setSize(200, 20);
```



```

tf1.setLocation(90, 10);
tf1.setForeground(Color.BLACK);
tf1.setBackground(Color.WHITE);
p2.add(tf1);

String[] searchBy = { "People", "Rooms/Labs", "Places", "MAC" };

cb1 = new JComboBox();
cb1.setSize(200, 20);
cb1.setLocation(90, 35);
cb1.setBackground(Color.WHITE);
for (int i = 0; i < searchBy.length; i++) {
cb1.addItem(searchBy[i]);
}
p2.add(cb1);

d1m = new DefaultListModel();

j1l = new JList(d1m);
j1l.setSize(450, 400);
j1l.setLocation(20, 150);
j1l.setBackground(Color.WHITE);
p2.add(j1l);

sp = new JScrollPane(j1l);
sp.setSize(450, 400);
sp.setLocation(20, 150);
p2.add(sp);

/*
* The button b1 (Search) call method readPos to get the information
* about macs and then it works in two ways. If we type 'Mac' into the
* text field then it will search for all available devices and will add
* them to Jlist with mac's addresses. The other way is to write the
* exact mac address into the text field and select MAC from combo box,
* if the written mac is available then it will be added to Jlist.
*/

b1 = new JButton("Search");
b1.setSize(80, 20);
b1.setLocation(155, 80);
b1.setForeground(Color.black);
b1.addActionListener(new ActionListener() {
public void actionPerformed(ActionEvent e) {
d1m.clear();
p3.readPos();
if (tf1.getText().trim().compareToIgnoreCase("mac") == 0) {
for (java.util.Iterator<keepData> i = p3.data.values()
.iterator(); i.hasNext();) {
keepData kd = i.next();
d1m.addElement(kd.amac);
}
} else if (cb1.getSelectedIndex() == 3) {
for (java.util.Iterator<keepData> i = p3.data.values()
.iterator(); i.hasNext();) {
keepData kd = i.next();
if (tf1.getText().trim().compareToIgnoreCase(kd.amac) == 0) {
d1m.addElement(kd.amac);
}
}
}
}
}

```

```

    }
    }
});

    p2.add(b1);

    /*
     * Tab MAP
     */
    p3 = new panel();

    /*
     * The button bstart calls method start from class writeXML so it will
     * record the data until we press button stop to interrupt the process
     * of recording data.
     */
    bstart = new JButton("Start recording");
    bstart.setSize(120, 20);
    bstart.setLocation(10, 10);
    bstart.setForeground(Color.black);
    bstart.addActionListener(new ActionListener() {
        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
            keepxml.start();
        }
    });
    p3.add(bstart);

    /*
     * The button bstop calls method interrupt from class writeXML that
     * kills the process of recording data.
     */
    bstop = new JButton("Stop recording");
    bstop.setSize(120, 20);
    bstop.setLocation(10, 40);
    bstop.setForeground(Color.black);
    bstop.addActionListener(new ActionListener() {
        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
            keepxml.interrupt();
            keepxml = new writeXML();
        }
    });
    p3.add(bstop);

    tb = new JTabbedPane();
    tb.setSize(w, h);
    tb.addTab("Other", p1);
    tb.addTab("Search", p2);
    tb.addTab("Map", p3);
    fr.getContentPane().add(tb);
    fr.setVisible(true);
}

public static void main(String[] args) {
    new IndoorPos();
}
}

```

Ekahaun tietokannasta Indoor positioning -lukuohjelmalla luetut paikkatiedot. Huom! ohessa on vain osa tiedoista.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
- <LML xmlns="http://www.stuk.fi/linssi">
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>515</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:43+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>516</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:48+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>516</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:48+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>516</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:48+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>515</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:53+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>515</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:53+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>173</posx>
  <posy>515</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:53+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
  <posx>140</posx>
  <posy>415</posy>
  <timestamp>2008-11-25 14:37:58+0200</timestamp>
</Tag>
- <Tag>
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>
```

```
<posx>140</posx>  
<posy>415</posy>  
<timestamp>2008-11-25 14:37:58+0200</timestamp>  
</Tag>  
- <Tag>  
  <mac>00:1C:BF:66:14:B5</mac>  
  <posx>139</posx>  
  <posy>405</posy>  
  <timestamp>2008-11-25 14:38:03+0200</timestamp>  
</Tag>  
- </LML>
```

