



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Sisätilapaikannus mobiililaitteella

Ahti Pellinen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2015
Tietotekniikka
Ohjelmistotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka
Ohjelmistotekniikka

AHTI PELLINEN
Sisätilapaikannus mobiililaitteella

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Joulukuu 2015

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää prototyyppiapplikaatio toteuttamaan mobiililaitteen paikannusta sisätiloissa. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Tampereen ammattikorkeakoulu, joka tarvitsi tutkimustietoa siitä, voiko mobiililaitetta paikantaa kampusalueen sisätiloissa olemassa olevaa laiteinfrastruktuuria käyttämällä.

Prototyyppiapplikaatio kehitettiin Flux-arkkitehtuurin mukaisesti React-käyttöliittymäkirjastoa, JavaScriptiä ja HTML 5:tä hyödyntäen. Sisätilapaikannus toteutettiin trilateromalla langattomista lähiverkkotukiasemista vastaanotettujen signaalien tehoa suhteessa etäisyyteen. Prototyypin koodirunko on kääritty Apache Cordovalla ja on siirrettävissä mobiilikäyttöjärjestelmälustalta toiselle.

Ensimmäinen luku sisältää johdannon opinnäytetyöhön. Toinen luku esittelee nykyisiä mobiililaitteen paikannusmenetelmiä. Kolmas luku käsittelee prototyyppiapplikaation suunnittelua, sen kehittämiseen käytettyjä työkaluja, testilaitteita ja prototyypin kehitystyötä. Neljäs luku esittää langattomien lähiverkkotukiasemien mittausten valmistelut, mittausten suoritukset, mittaustulosten analyysit ja prototyyppiapplikaation käytännön testauksen. Luku viisi sisältää pohdinnan opinnäytetyön onnistumisesta, prototyyppiapplikaation jatkokehityksestä ja paikkatietoapplikaation tietoturvakysymyksistä.

Prototyyppiapplikaatiosta saatiin toimiva ja paikannustarkkuus on vaatimuksissa määritettyä kerroksen tarkkuutta parempi. Paikannustarkkuus oli sisätilapaikannuksen erityispiirteistä ja rakennusten laiteinfrastruktuurista johtuen kuitenkin summittainen. Mobiililaitteen paikantaminen onnistui kerroksen, kerroksen osan tai tilan tarkkuudella riippuen rakennuksesta.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Computer Science
Software engineering

AHTI PELLINEN:
Indoor location on a mobile device

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 1 page
December 2015

The purpose of this Bachelor's thesis was to develop a prototype application to provide an indoor location service on a mobile device. The assignment for my thesis was received from Tampere University of Applied Sciences. Research was needed to determine if gathering indoor location information inside the campus area is possible on a mobile device using existing device infrastructure.

The prototype application was developed using Flux-architecture with React user interface library, JavaScript and HTML 5. Indoor location service was performed by trilateration of signal strengths received from wireless local area network access points versus distance. The prototype application codebase was wrapped with Apache Cordova and is transferrable from a mobile device operating system to another.

Chapter one includes introduction to this thesis. The second chapter presents current positioning services available to mobile devices. The third chapter introduces the prototype application, tools and devices used in prototype application development process. Chapter four describes the measurement process, analysis of measured data and practical testing of the prototype application. The fifth chapter reflects the success of the thesis, future development of the prototype application and security concerns of a positioning application.

Prototype application was fully functional and the positioning accuracy was better than the accuracy demand of locating device to a certain floor. Because of the special features of indoor location and of wireless local area networking device infrastructures, the location accuracy was reasonable. Positioning of a mobile device was possible within a floor, part of a floor or within a room, depending on the device infrastructure of the building.

Key words: indoor location, wireless local area network, react, javascript

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	MOBIILILAITTEEN PAIKANNUSMENETELMÄT	9
2.1	GPS-paikannus.....	9
2.2	Tukiasemapaikannus.....	10
2.3	WLAN-paikannus	12
2.4	Bluetooth-paikannus	12
2.5	NFC ja RFID.....	13
2.6	Magnetismipohjainen paikannus	14
2.7	Paikannus kiihtyvyyksimittauksella.....	14
2.8	Hybridipaikannus.....	15
3	PROTOTYYPPIAPPLIKAATIO	16
3.1	Suunnittelu ja vaatimukset.....	16
3.1.1	Alustariippumattomuus.....	16
3.1.2	Käyttöliittymä	17
3.1.3	Sisätilapaikannus.....	17
3.2	Työkalut.....	18
3.2.1	React.....	18
3.2.2	Reapp.....	20
3.2.3	Apache Cordova.....	21
3.2.4	Git.....	22
3.3	Testilaitteet.....	23
3.4	Prototyyppiapplikaation kehitys	23
3.4.1	Käyttöliittymä	23
3.4.2	Google Maps ja Geolocation APIs.....	24
3.4.3	Piirto ja kosketus	26
3.4.4	WLAN-metodit	27
4	MITTAUKSET JA TESTAUS	30
4.1	Mittausten valmistelu.....	30
4.2	Signaalin vastaanottoteho vapaassa tilassa	31
4.2.1	Vapaan tilan mittauksen analysointi	32
4.3	Rakenteiden vaikutus vastaanottotehoon.....	35
4.3.1	Rakenteiden vaikutuksen analysointi.....	35
4.4	Tarkkuus käytännön applikaatiossa	37
5	POHDINTA.....	40
5.1	Jatkokehitysehdotukset	40
5.2	Tietoturva.....	42

LÄHTEET	43
LIITTEET	46
Liite 1. Esimerkki mittauspöytäkirjasta.....	46

ERITYISSANASTO

React	Avoimen lähdekoodin JavaScript-kirjasto reaktiivisten käyttöliittymien toteuttamiseen.
HTML5	Hypertext Markup Language, kuvauskielten viides ja uusin versio.
JavaScript	Web-kehityksessä käytetty dynaaminen komentosarjakieli.
Reapp	Avoimeen lähdekoodiin perustuva käyttöliittymäkehys, johon on integroitu Webpack –moduuliniputtaja, Babel –muuntaja ja React –kirjasto.
Apache Cordova	Avoimeen lähdekoodiin pohjaava mobiili kehityskehys, joka tarjoaa mahdollisuuden laiteriippumattomaan ohjelmistokehitykseen.
Git	Eryteisesti ohjelmistokehitykseen tarkoitettu versionhallintatyökalu.
UI	User Interface, käyttöliittymä.
Webpack	Modulaarinen moduuliniputtaja suurten ohjelmakokonaisuuksien hallintaan.
GPS	Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä. Paikannus perustuu maapalloa kiertävien satelliittien lähettämien kellonaikojen erotusten laskemiseen.
WAAS	Wide Area Augmentation System, kiinteisiin maa-asenteisiin referenssiasemiin perustuva GPS:n tarkkuutta parantava järjestelmä USA:ssa.
A-GPS	Assisted GPS, avustettu GPS, SIM-kortin sisältäviä laitteita varten kehitetty järjestelmä, joka avustaa laitteen satelliittipaikannusta matkapuhelinverkon tuottamalla datalla.
Hybridipaikannus	Menetelmä, joka yhdistää useasta eri paikannusmetodista saadun tiedon sijainnin selvittämiseksi.
WLAN	Wireless local area network, langaton lähiverkko, jonka kautta langattomat verkkolaitteet voidaan yhdistää toisiinsa.
Android	Tunnettu Googlen valmistama käyttöjärjestelmä mobiililaitteille.
Bluetooth	Lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtostandardi.

RFID	Radio Frequency Identification, elektromagneettiseen kenttään perustuva langaton tiedonsiirtomenetelmä.
NFC	Near Field Communication, lähietäisyydelle tarkoitettu RFID-menetelmään perustuva kommunikaatioprotokolla.
Cell-ID	Matkapuhelintukiaseman solutunniste.
Trilateraatio	Geometrian prosessi, jolla määritellään pisteen sijainti vertaamalla sen etäisyyttä kolmeen tai useampaan pisteeseen.
Kolmiomittaus	Geometrian prosessi, jolla määritellään pisteen sijainti mittaamalla siihen viittaavia kulmia useista tunnetuista pisteistä.
RSSI	Received Signal Strength Indication, vastaanotetun signaalin teho.
SSID	Service Set Identifier, nimi, jota käytetään langattomien lähiverkkotukiasemien tai lähiverkkojen yksilöintiin.
BSSID	Basic Service Set Identifier, käytännössä verkkolaitteen fyysinen MAC-osoite, joka määritellään jokaiselle laitteelle jo valmistusvaiheessa.
dBm	Radiotekniikassa määre, jossa verrataan desibelimäärä suhteessa milliwattiin. Esim. 20 dBm tarkoittaa 100 mW tehoa.

1 JOHDANTO

Tampereen ammattikorkeakoulu ilmaisi keväällä 2015 tarpeen tuottaa ohjelma, joka kykenisi opastamaan vierailevia luennoitsijoita, koulun vieraita ja uusia oppilaita etsimiinsä tiloihin. Ajatuksena oli tuottaa tarkoitukseen sopiva mobiiliapplikaatio, joka kykenisi tuottamaan paikkatietoa päätelaitteen sijainnista kampusalueella. Tämä opinnäytetyö sai alkunsa tästä ideasta, jolloin tehtiin suunnitelma sisätilapaikannusapplikaation prototyypin kehittämisestä. Opinnäytteeksi rajattiin prototyyppiapplikaatio, koska se sopi laajuudeltaan ja vaativuudeltaan opinnäytetyöksi. Applikaation tuotantoversion tekeminen olisi ollut huomattavasti laajempi ja vaativampi projekti.

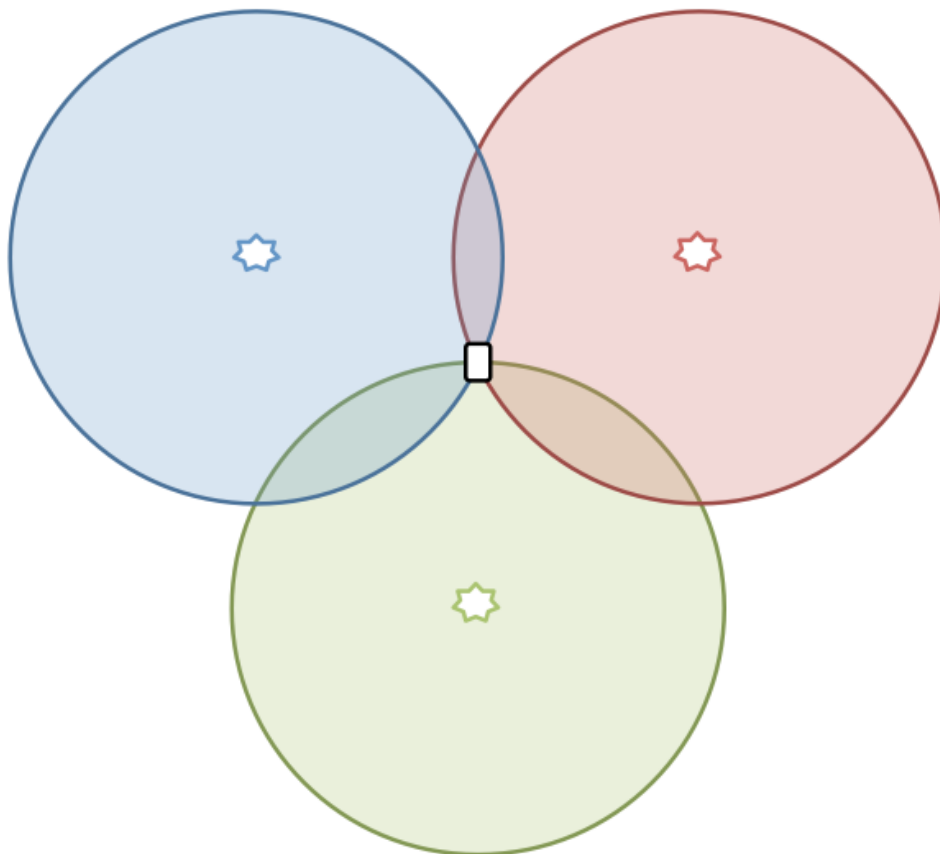
Pääpiirteittäin prototyyppiapplikaatiota suunniteltaessa huomioitiin tarve paikkatietojen saamiseen sisätiloissa käyttäen jo olemassa olevaa laiteinfrastruktuuria, applikaation siirrettävyyteen käyttöjärjestelmälustalta toiselle ja applikaation toteuttaminen jollakin opinnäytetyöntekijälle uudella tavalla.

Tämän opinnäytetyön toisessa kappaleessa käsitellään nykyisin käytössä olevia mobiililaitteen paikantamismenetelmiä. Kolmannessa kappaleessa käsitellään prototyyppiapplikaation suunnittelua, valittuja työkaluja ja kehitystä. Neljännessä kappaleessa käydään läpi suoritettuja mittaustoimenpiteitä ja prototyyppiapplikaation käytännön testausta. Viides kappale sisältää pohdinnan opinnäytetyön toteutuksesta, prototyypin jatkokehityksestä ja tietoturvasta.

2 MOBIILILAITTEEN PAIKANNUSMENETELMÄT

2.1 GPS-paikannus

Global Positioning System, GPS, on maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä. Järjestelmän toiminta perustuu GPS-satelliitteihin, jotka lähettävät avaruudesta signaalia, joka sisältää tiedon niiden sijainnista, tilasta ja lähetyshetken erittäin tarkan kellonajan. Signaali otetaan vastaan GPS-päätelaitteella, joka rekisteröi signaalin saapumisajan, josta lasketulla erotuksella määritetään etäisyys satelliitista päätelaitteelle. Kun päätelaitte saa laskettua etäisyydet vähintään neljään satelliittiin, se voi trilateraatiota (kuva 1) käyttäen geometrisesti määrittellä sijaintinsa maapallolla. (National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics 2015.)



KUVA 1. GPS-satelliittien trilateraatio, kohteen sijainti on mitatun etäisyyden (säteen) perusteella satelliiteista piirrettyjen ympyröiden leikkauspisteessä.

Nykypäivänä Yhdysvaltojen ilmavoimien ylläpitämä GPS-järjestelmä on kenties tunnetuin käytössä oleva paikannusjärjestelmä, jota hyödyntäviä laitteita on valmistettu lukemattomia määriä. GPS:ää tukee nykypäivänä lähes jokainen tunnettu älypuhelin ja tablettitietokone. GPS-kykyisten mobiililaitteiden myynnin arvioitiin ulottuvan 960 miljoonaan laitteeseen vuonna 2014 (Berg Insight, GPS and mobile handsets, 2012).

Tarkkuudeltaan GPS kykenee määrittelemään laitteen sijainnin normaalioloissa tarkkuutta lisääviä järjestelmiä (WAAS) käyttäen ja hyvällä vastaanottimella 3,351 metrin vaakataarkkuuteen ja 4,684 metrin pystytarkkuuteen 95% ajasta (William J. Hughes Technical Center, FAA GPS Performance Analysis Report 2014, 22).

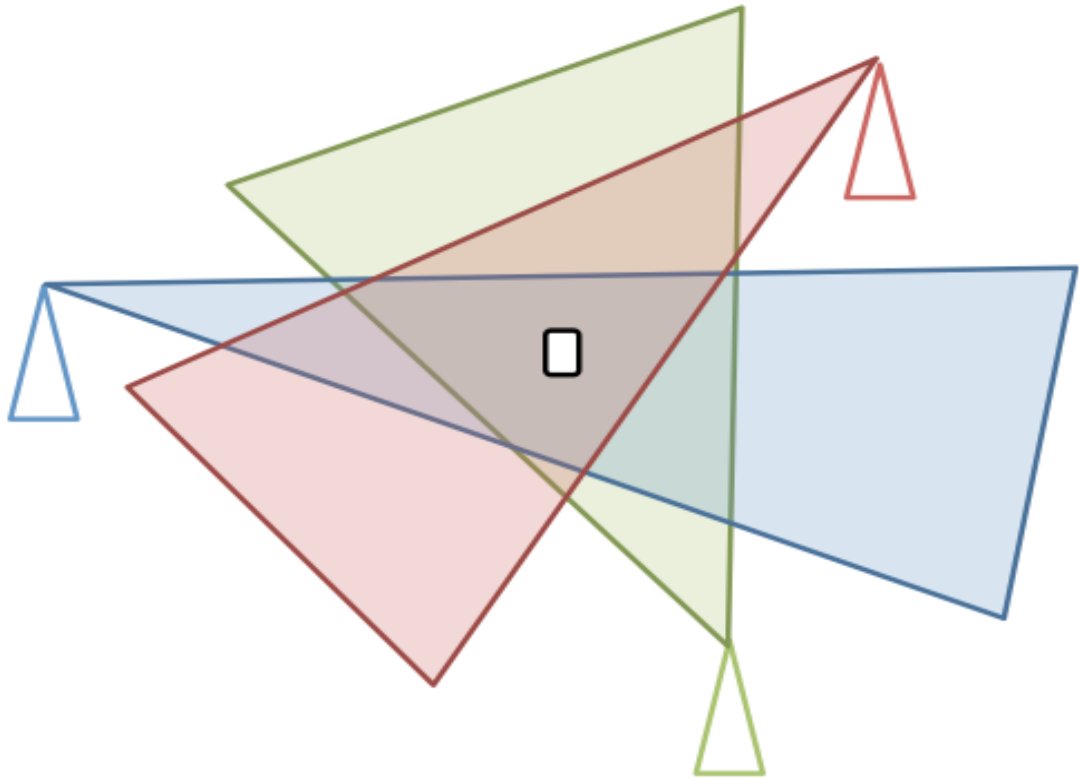
GPS:n ehdottomia etuja ovat Yhdysvaltojen valtion taustatuki ja ylläpito. Järjestelmän tarkkuus on myöskin erinomainen. Yksi järjestelmän käytön heikkouksista kuitenkin on sen toimimattomuus rakennusten sisällä tai esimerkiksi tiheän puuston alla. Satelliittien siviilien käyttöön lähettämä 1575,42 MHz L1 -signaali on teholtaan maapallon pinnalle päästyään enää minimissään -158.5 dBW, jolloin se on lähes kykenemätön läpäisemään rakenteita. Toimiakseen kunnolla järjestelmä tarvitsee vapaan näkyvyyden satelliiteilta paikannuslaitteelle. (Department of Defense, Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard 2008.)

A-GPS (assisted GPS), on avustettu GPS-järjestelmä, joka yhdistää satelliittipaikannuksen nopeuttamiseksi ja tarkentamiseksi matkapuhelinverkon välityksellä saapuvaa vastaavaa signaalia. A-GPS myös mahdollistaa paljon heikommin kuuluvien satelliittien signaalien käyttämisen paikannuksessa, koska matkapuhelinverkon yli saapuvalla vastaavalla signaalilla voidaan paikata aukot varsinaisen GPS:n signaalien vastaanottamisessa. A-GPS:ää käytettäessä riittää, että päätelaite saa tiedon siitä, minkä satelliitin kuuluvuusalueella tämä on, varsinaiseen sijainnin määrittämiseen tarvittavat muut tiedot se voi hakea matkapuhelinverkolta tulevasta signaalista. (Frank Stephen Tromp Van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS, 2009, 2.)

2.2 Tukiasemapaikannus

Tukiasemapaikannuksella tarkoitetaan paikannusmenetelmiä, jotka perustuvat matkapuhelinverkon tukiasemien ja matkapuhelimien välisen signaaliliikenteen viiveiden ja te-

hojen mittaamiseen taikka tukiasemien solutietojen käyttämiseen (kuva 2). Kun tukiasemia on matkapuhelimen kuuluvuusalueen sisällä useampia, voidaan trilateraatiota ja/tai kolmiomittausta hyödyntäen paikallistaa puhelimen summittainen sijainti. (J.P. Martin & M. Panario, Fast-Trilateration + Cell-ID Method for Mobile Phones Location Estimation, 2009.)



KUVA 2. Matkapuhelintukiasemien solupaikannus

Paikannusmenetelmänä signaaliviiveistä laskettavalla etäisyyden mittauksella, trilateraatiolla, on korkeintaan summittainen paikannustarkkuus, koska vain harvoissa tapauksissa on käsillä tilanne, jossa kaikkiin mitattaviin tukiasemiin on suora näköyhteys. Paikannustarkkuutta heikentävät erityisesti erilaiset esteet ja signaalien monitieheijastumat.

Tukiasemiin perustuvalla paikannuksella on kuitenkin sijansa erityisesti hybridipaikannuksen osana. Kun käyttäjän sijainnista saadaan summittainen arvio tukiasemapaikannuksella, voidaan esimerkiksi GPS-paikannukseen kuluva aikaa lyhentää merkittävästi. (Goran M. Djunick & Robert E. Richton, Geolocation and Assisted GPS, 2001.)

2.3 WLAN-paikannus

Langattomiin lähiverkkotukiasemiin perustuvat paikannusmenetelmät voivat mitata tukiasemalaitteiden lähettämien signaalien vahvuutta. Kun saatuja tietoja verrataan olemassa olevaan tietokantaan, johon on syötetty tukiasemalaitteiden fyysiset sijaintitiedot, voidaan muodostaa arvio paikannettavan laitteen sijainnista suhteessa tukiasemiin.

Paikannusmenetelmän heikkoudet ovat hyvin samanlaiset kuin muillakin menetelmillä. Monitieheijastumat, signaalien heikot tehot, suuri signaali-kohina -suhde ja vastaanotinlaitteiden eroavaisuudet luovat haasteita tarkan paikannustiedon saamisessa.

Menetelmän kenties parhaana puolena voidaan kuitenkin pitää jo valmiiksi laajahkoa laiteinfrastruktuuria. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön prototyypinapplikaatiota tehdessä ilmeni, että yksistään kampuksen A-rakennuksen kolmanteen kerrokseen on sijoitettu kolme langatonta lähiverkkotukiasemaa. Onkin siis perusteltua tehdä johtopäätös siitä, että langattomiin lähiverkkotukiasemiin perustuvalla paikannuksella voidaan käyttäjä paikantaa vähintäänkin rakennusosan tarkkuudella.

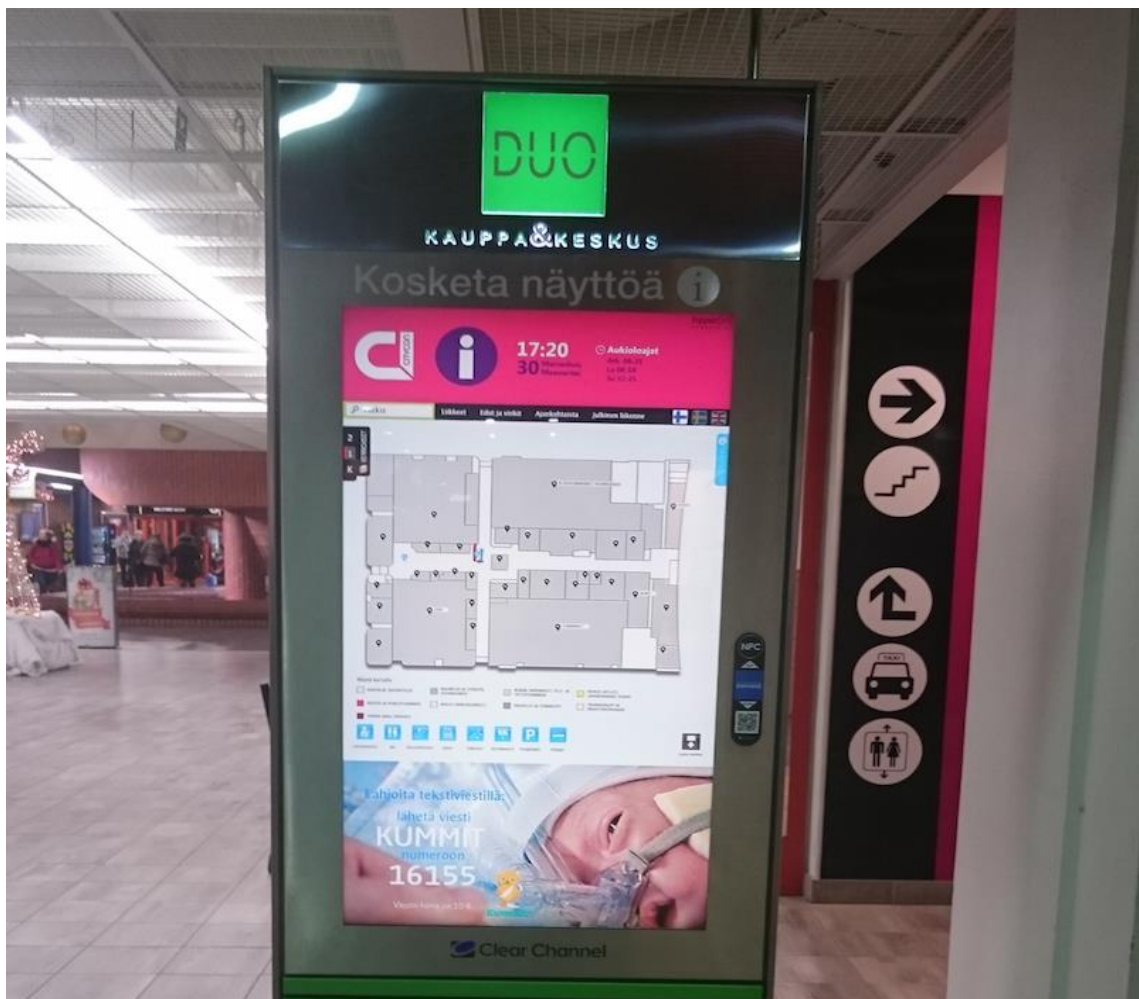
Tämä opinnäytetyö keskittyy omalta osaltaan WLAN-paikannuksen toteuttamiseen ja testaamiseen käytännössä.

2.4 Bluetooth-paikannus

Myös lyhemmän kantaman radiotaajuuslaitteita voi hyödyntää paikannuksessa. Bluetooth-järjestelmää voi hyödyntää pieniä lähetinlaitteita, majakkoja, käytävissä paikannusapplikaatioissa. Majakoilla toteutettu Bluetooth-paikannus perustuu siihen, että laite havaitsee majakoitten lähettämät signaalit ja kykenee näiden avulla määrittelemään lähimmän majakan ja sen myötä kohtuullisen tarkan sijainnin. (Metropolitan Government of Nashville and Davidson County, Tennessee, Mayor Music City Center Unveil Wayfinding App, 2014.)

2.5 NFC ja RFID

Nykyaikaisissa älypuhelimissa on usein NFC (near field communication) -valmius. NFC hyödyntää RFID (radio frequency identification) -tekniikkaa ja sitä voidaankin käyttää NFC-laitekättelyn lisäksi samalla 13,56 MHz taajuudella toimivien, yleisesti kulunvalvonnassa käytettyjen HF RFID-merkkien lukemiseen. Paikannuksen kannalta potentiaalinen applikaatio olisikin asettaa käyttäjän saataville fyysisesti paikallaan pysyviä RFID-merkkejä, joiden tunnistetta tietokantaan vertaamalla voitaisiin käyttäjälle kertoa tämän sijainti. Koska järjestelmän kantomatka on vain joitakin senttejä, vaatii se käytännössä RFID-merkin fyysistä koskemista laitteella, jolloin se ei ole kovinkaan toimiva dynaamiseen paikantamiseen. Kuvassa 3 on Tampereen Hervannan kauppakeskus Duossa sijaitseva opastaulu, joka antaa käyttäjän älylaitteelle opastietoja, kun käyttäjä koskettaa opastaulua NFC-yhteensopivalla älylaitteella. (Liikenne- ja viestintäministeriö, Near Field Communications, NFC-työryhmän loppuraportti, 2010.)



KUVA 3. NFC-yhteensopiva paikannusapplikaatio kauppakeskus Duon opastaulussa.

2.6 Magnetismipohjainen paikannus

Elektronista kompassipiiriä, jollainen löytyy mm. nykyaikaisista älypuhelimista, voidaan käyttää mittaamaan rakennusten teräsrakenteiden aiheuttamia häiriöitä maan magneettikentässä. Kun mittauksia verrataan aiemmin muodostettuun karttaan magneettikentän arvoista tietyissä pisteissä, voidaan sijainti määritellä. Sormenjälkiperiaatteella luotu paikkatieto oli saatu testeissä tuottamaan oikeaa paikkatietoa 1 metrin tarkkuudella 88 % ajasta. Testi oli suoritettu useissa kerroksissa sekä rakennuksen käytävätiloissa että suuremmassa huoneessa. (MIT Media Laboratory, Indoor Location Sensing Using Geo-Magnetism, 2011).

2.7 Paikannus kiihtyvyyksmittauksella

Nykyisissä älypuhelimissa on yleisesti liuta sisäänrakennettuja kiihtyvyyksantureita. Teoriassa olisikin mahdollista saavuttaa näitä antureita hyödyntäen tieto siitä, miten laite liikkuu kolmiulotteisesti tilassa. Kun tieto laitteen liikkeestä yhdistettäisiin tarkkaan tietoon mittauksen aloituspaikasta, voitaisiin passiivisia sensoreita käyttämällä laskea arvio siitä, minne laite on liikkunut. Kuitenkin, käytännön tasolla tarkan mittaus-tiedon tuottaminen hyödyntämällä laitteen kiihtyvyyksantureita on äärimmäisen hankalaa.

Pienetkin mittausvirheet laitteen kallistuksessa tuottavat haasteita. Kallistuksen aiheuttaman mittausvirheen kompensoiminen vaatisi gyroskoopin mittaaman kallistuksen vertaamista laitteen kiihtyvyyksmittauksiin, joita taasen tulisi verrata kompassin antamaan vakioon. Varsinaisen ongelman tuottavat itse anturit, joiden tuottamassa mittaustiedossa on virhettä. Jotta kiihtyvyyksmittauksella saataisiin tuotettua paikkatietoa, mittaustulosta integroidaan kahdesti. Kun sensoreiden antamaa tulosta integroidaan useasti, virhemarginaalista tulee eksponentiaalinen käyrä, joka tarkoittaa huomattavan suurta virhettä lopputuloksessa, mikäli alkuperäisessä kallistuksen mittaustuloksessa on pienikin virhe. (David Sachs, Google Tech Talk, Sensor Fusion On Android Devices, 2010.)

2.8 Hybridipaikannus

Hybridipaikannuksella tarkoitetaan tekniikkaa, jossa yhdistetään kaksi tai useampia paikannusmenetelmiä ja lasketaan näillä saatujen paikkatietojen perusteella arvio siitä, missä paikallistettava päätelaite sijaitsee. Tarkoitukseen sopivia järjestelmiä on tuotettu maailmalla lukuisia, joista mainittavia valmistajia ovat Apple, Google ja Skyhook Wireless. (Paul A. Zandbergen, Department of Geography, University of New Mexico, Accuracy of iPhone Locations, 2009.)

Erilaisten hybriditekniikoiden etuna on perinteisesti paikkatietoja tuottavaan GPS:ään verrattuna mahdollisuus käyttää tekniikoita, jotka kuluttavat vähemmän mobiililaitteen akkua kuin GPS. Yleisesti erilaisissa hybridipaikannusjärjestelmissä tietoa voidaan tuottaa esimerkiksi tukiasemapaikannuksella, GPS/AGPS, WLAN-tiedoista, Bluetoothin, NFC/RFID:n tai kompassitietojen avulla. Omiin kokemuksiini pohjaten hybridipaikannustekniikoilla voidaan saavuttaa summittaista paikkatietoa mobiililaitteen sijainnista muutamissa sekunneissa ja muutaman metrin tarkkuudella olevaa tietoa muutamissa kymmenissä sekunneissa. Käytännön tasolla voidaan siis tehdä oletamus, että hybridipaikannusjärjestelmien hyvät ja huonot puolet ovat järjestelmän komponenttien summa, johon voidaan lisätä eduksi järjestelmän luotettavuus, kun samaa paikannustulosta pyrkii kartoittamaan useampi järjestelmä.

3 PROTOTYYPPIAPPLIKAATIO

Varsinaisena opinnäytteenä oli tarkoitus luoda prototyyppi sisätilapaikannukseen kykenevästä mobiiliapplikaatiosta. Ajatus sisätilapaikannusapplikaatiosta tuli Tampereen ammattikorkeakoulun tarpeesta tuottaa vierailevia luennoitsijoita, muita vieraita ja uusia opiskelijoita varten mobiilipalvelu, jonka avulla vierailun kohteena olevan tilan löytyminen helpottuisi. Prototyyppiapplikaation tarkoituksena olikin selvittää, onko riittävän tarkan paikkatiedon saaminen kampusalueen sisätiloissa mahdollista mobiililaitteella jo olemassa olevaa tietoliikenneinfrastruktuuria käyttäen.

3.1 Suunnittelu ja vaatimukset

Suunnittelun lähtökohtana käytettiin vaatimuslistaa, johon oli kerätty ominaisuuksia, joita prototyyppiapplikaation tulisi täyttää.

- Alustariippumaton koodirunko, siirrettävyys eri käyttöjärjestelmille
- Olemassa olevan tietoliikenneinfrastruktuurin käyttäminen
- Riittävä paikannustarkkuus (rakennuksen kerros / pääty)
- Hybridipaikannuksen käyttäminen
- Uuden web-tekniikan opettelu
- Käyttöliittymä-standardin näennäinen toteuttaminen

3.1.1 Alustariippumattomuus

Keskeisenä vaatimuksena oli listattu ohjelman alustariippumattomuus, joka mahdollistaa saman koodirungon käyttämisen useilla eri laitealustoilla ja käyttöjärjestelmillä. Koska laitealustasta riippumatta kaikki modernit käyttöjärjestelmät voidaan saattaa ymmärtämään web-pohjaisia ohjelmia, valittiin perustekniikoiksi HTML 5 ja Javascript. Koska siirrettävyyteen tuli panostaa, suunniteltiin koodirungon käärintää varten hyödynnettäväksi Apache Cordovaa.

3.1.2 Käyttöliittymä

Käyttöliittymän suunnittelu oli hyvin vapaata, ainoa vaatimukseksi listattu kohta oli käyttöjärjestelmien käyttöliittymästandardin toteuttaminen. Suunnitteluvaiheessa selvitettiin soveltuvia tekniikoita käyttöliittymän toteuttamiseen. Selvityksen yhteydessä päädyttiin melko tuoreeseen, Facebook, Inc. kehittämään ja ylläpitämään, nimenomaisesti käyttöliittymien rakentamiseen tarkoitettuun React-JavaScript-kirjastoon.

Suunnittelun alkuvaiheessa havaittiin avoimen lähdekoodin React-käyttöliittymäkomponentteja olevan tarjolla suuria määriä. Käyttöjärjestelmien käyttöliittymästandardin ollessa lähtökohta, otettiin suunnitteluun mukaan avoimen lähdekoodin Reapp-käyttöliittymäkehys, joka tarjoaa liudan valmiiksi standardin mukaiseksi määriteltäviä React-komponentteja. Komponenttipaketin käyttämisen pääteltiin nopeuttavan toteuttamista huomattavasti.

3.1.3 Sisätilapaikannus

Prototyypin sovelluksen päätarkoitus oli kyetä vastaamaan kysymyksiin sisätiloissa tapahtuvasta mobiililaitteen paikannuksesta. Sisätilapaikannuksen ongelmat ovat ilmeiset, sillä ulkotiloissa äärimmäisen hyvin toimiva GPS ei läpäise rakenteita juurikaan, jolloin sen käyttö ei luonnollisestikaan ole mahdollista rakennusten sisällä.

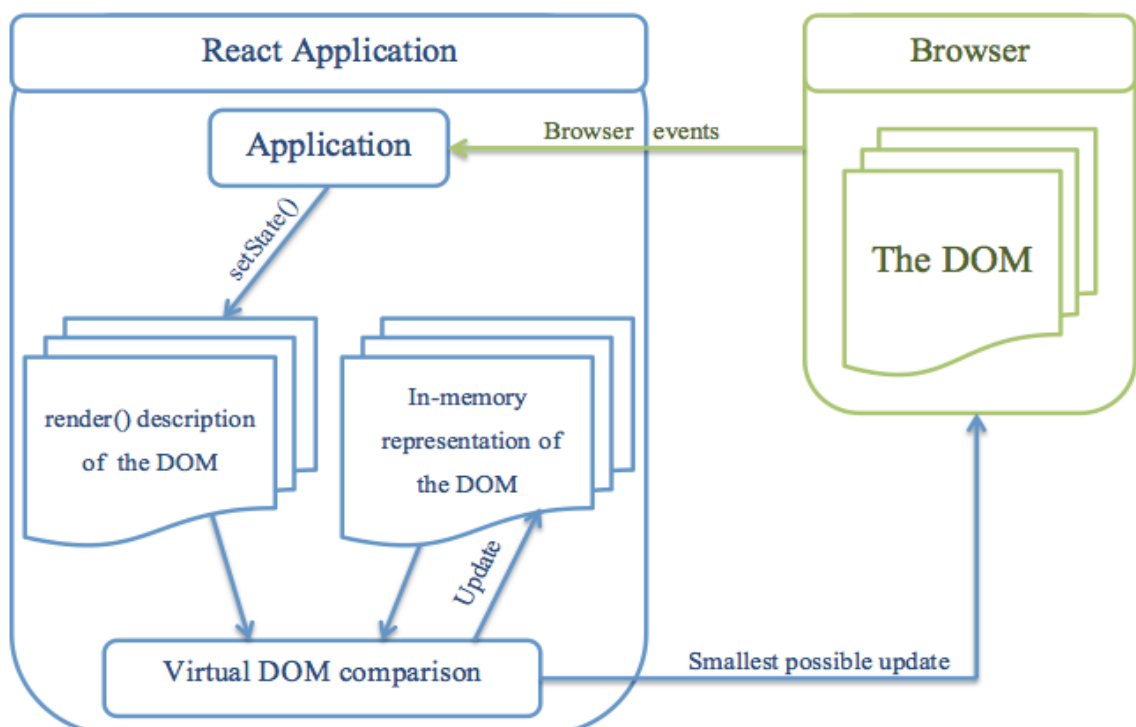
Koska vaatimusluettelossa mainittiin hybridipaikannus ja jo olemassa olevan tietoliikenneinfrastruktuurin käyttäminen, alettiin suunnittelua paikannuksen osalta toteuttaa käyttämällä tekniikoita, jossa GPS/AGPS-järjestelmään yhdistettäisiin kohderakennuksen sisätiloihin jo valmiiksi asennettujen langattomien lähiverkkotukiasemien tuottama signaalitieto.

3.2 Työkalut

3.2.1 React

React on Facebook, Inc.:n sekä vapaan yhteisön kehittämä ja ylläpitämä, reaktiivisten käyttöliittymien toteuttamiseen tarkoitettu avoimeen lähdekoodiin perustuva JavaScript kirjasto (Facebook, Inc. React Documentation, React license 2015). Reactia käyttää jo yli 1500 tunnettua verkkosivustoa maailmanlaajuisesti, sisältäen Facebookin ja Instagramin lisäksi toimijoita kuten Paypal, Imgur, Netflix, Airbnb ja Deezer (Libscore React# 2015).

Reactin tuomana uutuutena JavaScript-kirjastojen maailmaan voi pitää virtuaalista dokumenttioliomallia (Virtual DOM), joka mahdollistaa varsinaisen dokumenttioliomallin kuvauksen vertaamisen muistissa olevaan esitysmuotoon (kuvio 1). Vertauksessa laskeaan kuvausten eroavaisuudet, jolloin kirjasto voi päättää nopeimman tavan päivittää muuttuneet osat varsinaiselle selaimelle. Koska varsinaista dokumenttioliomallia ei tarvitse päivittää kokonaan, nopeuttaa virtuaalinen dokumenttioliomalli sivun päivittymistä huomattavasti, antaen hyvin reaktiivisen vaikutelman. (Facebook, Inc., React Documentation 2015.)



KUVIO 1. Virtuaalisen dokumenttiobjektimallin toiminta

Käyttöliittymää rakennettaessa React nojaa komponenttijatteluun, jossa perusajatukse-
na on, että yksi komponentti tuottaa tietynlaisen osan käyttöliittymää tai kuvausta.
React-komponentteja käsitellään kuten funktioita tai luokkia, jolloin tietty osavastuu
ohjelman ajosta saadaan erotettua tiettyyn paikkaan, selkeyttäen kehitystä ja koodin
luettavuutta. Komponenttien on tarkoitus luoda modulaarisia osia, joiden uusiokäyttä-
minen on mahdollisimman helppoa. (Facebook, Inc., React Documentation 2015.)

Suosittu suuren dataliikenteen palvelut voivat myös hyötyä Reactin mahdollistamasta
palvelinpuolen matemaattisesta kuvantamisesta, joka nopeuttaa käyttäjäkokemusta pal-
velimen huolehtiessa välittömästä kuvantamisesta käyttäjän saapuessa sivustolle.
(Michael Hart, react-server-example 2015.)

React-konseptiin kuuluu myös Flux-arkkitehtuurin mukainen yhdensuuntainen datalii-
kenne (kuvio 2), jolla voidaan varmistaa, että komponentit luodaan aina alkuperäisten,
puhtaiden arvojen perusteella. Kun komponenttien tiloja voidaan muuttaa vain kompo-
nenttien itsensä sisältä, pysyy varsinainen tilarakenne mahdollisimman virheettömänä.
(Facebook, Inc., Flux Documentation 2015.)



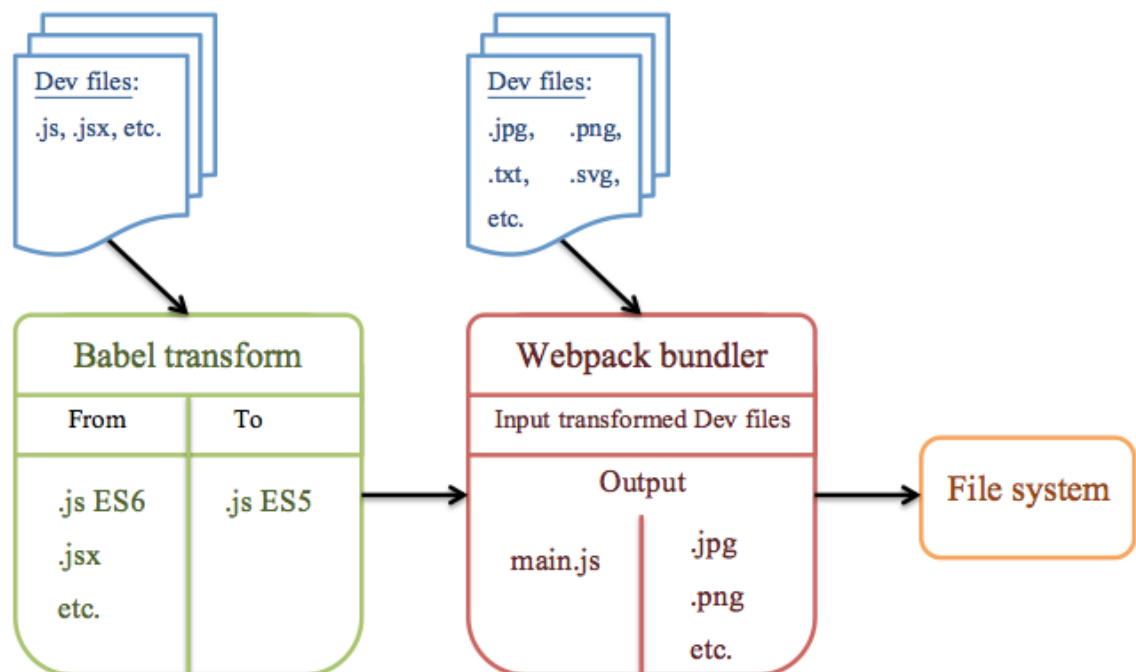
KUVIO 2. Flux-arkkitehtuurin mukainen yhdensuuntainen datavirta (Facebook, Inc.,
Flux Documentation 2015, muokattu.)

Tähän opinnäytetyöhön React valittiin pitkälti sen tuoreuden takia: alkuperäinen React-
kirjasto (v0.3.0) julkaistiin toukokuun lopulla 2013, ollen kirjoitushetkellä potentiaali-
sista reaktiivisista käyttöliittymäkirjastoista uusin. Toinen valintakriteeri oli kirjaston
kehityksen ja käytön todennäköinen jatkuminen tulevaisuudessa. Kun kehitystyön taut-
talla on yksi alan suurimmista toimijoista, voidaan suhteellisen turvallisesti tehdä olet-
tamus, että kirjasto jatkaa kehittymistään myös jatkossa. Kirjoitushetkellä React on ver-
siossa 0.14.2.

3.2.2 Reapp

Prototyypin kehitystä nopeuttamaan otettiin Reapp, avoimeen lähdekoodiin perustuva käyttöliittymäkehys (UI framework), jossa React on integroitu Webpack-moduuliniputtajaan sekä Babel-kääntäjään. Reapp tarjoaa valmiiksi alustetun kääntäjän lisäksi pakkaukseen sisältyvät valmiit käyttöliittymäkomponentit, jotka mukailevat natiiveja käyttöliittymäelementtejä vakioidun käyttöliittymärakenteen luomiseen. Komponenttien lisäksi paketti sisältää mm. JavaScript-pohjaisia animaatioita sekä teemoja, jotka imitoivat natiivien käyttöjärjestelmien vastaavia toimintoja. (Reapp, Reapp documentation 2015.)

Reapp toteuttaa toimintonsa oman komentorivityökalunsa (CLI, Command line interface) kautta. Reapp yhdessä Webpackin ja Babelin kanssa kääntävät ohjelman eri notaatioilla kirjoitetut osat yhdeksi JavaScript-tiedostoksi, jonka jälkeen se niputetaan palautuskansioon tarvittavien staattisten tiedostojen kanssa (kuvio 3). (Reapp, Reapp documentation, 2015). Webpack-moduuliniputtajan hyödyt tulevat esiin varsinkin suurissa, yhden sivun applikaatioissa, joissa suuri määrä koodia ja staattisia hyödykkeitä tulee ajaa käyttäjätasolla. Kun kehitys voidaan tehdä useissa pienissä moduuleissa, niiden uudelleenkäytettävyys paranee ja koodin hallinnointi helpottuu. (Webpack, Webpack documentation 2015.)



KUVIO 3. Ohjelmakoodin ja staattisten hyödykkeiden niputtaminen

Käyttöliittymäkehityksen mukana tuleva reapp-server tarjoaa myös hyödyllisiä ominaisuuksia ohjelman kehittämiseen ja testaamiseen, mahdollistaen ohjelman ajamisen paikallisen palvelimen kautta suoraan selaimen. Hyviksi havaittuja ominaisuuksia ovat myös palvelinkoodin automaattinen päivittyminen, joka mahdollistaa dokumenttiolion mallin muokkaamisen reaaliajassa testaustarkoituksissa. (Reapp, Reapp documentation, 2015.)

3.2.3 Apache Cordova

Prototyypin helpon siirrettävyyden varmistamiseksi mobiililaittealustalta toiselle, tarvittiin tähän soveltuva pakkaustyökalu. Apache Cordova on avoimeen lähdekoodiin perustuva mobiili kehityskehys (mobile development framework), joka sisältää tarvittavat natiivit laiterajapinnat (native device APIs), joiden avulla yhden koodikannan HTML, CSS ja JavaScript-ohjelman voi kääriä ja siirtää usealle käyttöjärjestelmälle ja mobiililaitteelle sopivaksi. (The Apache Software Foundation, Apache Cordova documentation, 2015.)

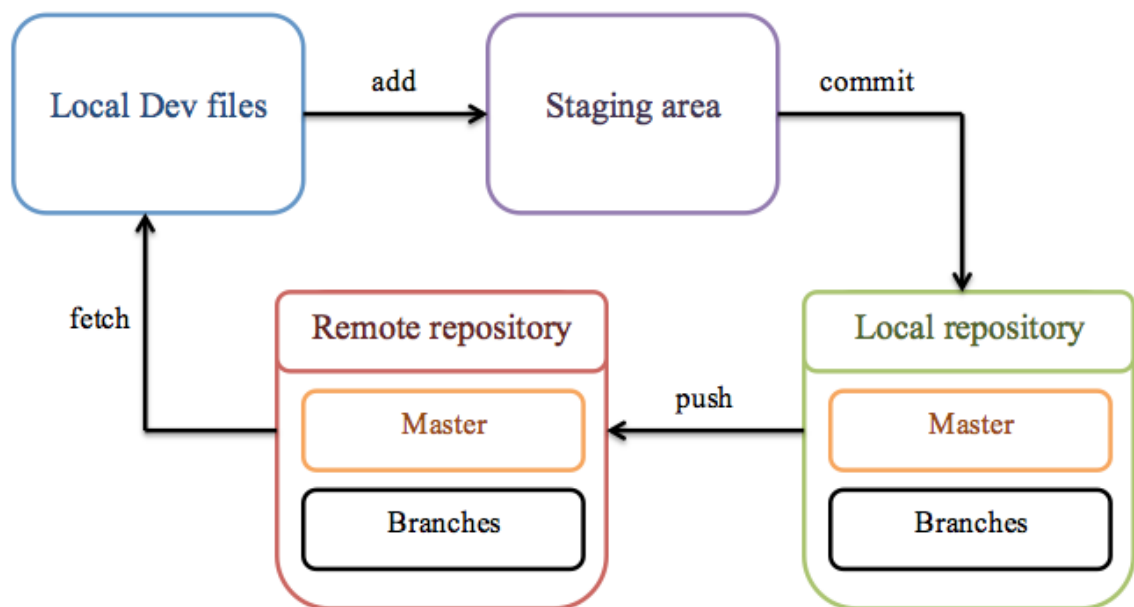
Apache Cordova tukee kolmen johtavan mobiilikäyttöjärjestelmän (iOS, Android, Windows Phone 8) lisäksi myös Suomessa vähemmän käytettyjä käyttöjärjestelmiä kuten Amazon Fire OS, BlackBerry 10 ja Firefox OS. Johtavien mobiilikäyttöjärjestelmien osalta Apache Cordova tukee lähes kaikkia laiterajapintoja, helpottaen kehitystyötä merkittävästi. (The Apache Software Foundation, Apache Cordova documentation 2015.)

Toiminnaltaan Apache Cordova luo yhteiseen konfiguraatitiedostoon ja koodikantaan perustuvan kääreen, tai pakkauksen, jokaiselle kohdennetulle alustalle. Kääreeseen lisätään itse koodikannan lisäksi laitealustasta riippuvaiset liityntäpinnat, jonka jälkeen ohjelma rakennetaan kohdelaitteen ymmärtämään muotoon ja asennetaan laitteelle. Koska Apache Cordova tukee myös useita käyttöjärjestelmäemulaattoreita, ei ohjelman testaamiseen välttämättä tarvita fyysistä laitetta. Koodi on myös mahdollista ajaa virtuaalipalvelimen avulla kehitysalustan selaimen. (The Apache Software Foundation, Apache Cordova documentation 2015.)

3.2.4 Git

Oleellinen osa ohjelmistokehitystä on tehokas ja toimiva versionhallinta, joka mahdollistaa koodin käsittelyn useista useista paikoista käsin ja mahdollistaa sen jakamisen eteenpäin helposti. Versionhallinnaksi valittiin Git sen todistetun toiminnan, vapaan lähdekoodin ja suuren käyttäjäkunnan kannustamana.

Versionhallintaohjelmana Git on hyvin yksioikoinen (kuvio 4): lisää (add) halutut tiedostot valmistelutilaan (staging area), luo valmistelutilasta muutosversio (commit) ja työnnä se palvelimelle uudeksi pääversioksi (push). Git tukee myös kehityshaarojen (branch) luomista ja niiden liittämistä (merge) pääversioon. Mikäli versio halutaan hakea palvelimelta käyttäjälle, voidaan se suorittaa myös suoraan Git:n kautta (fetch). Git toimii myös hajautettuna versionhallintana, jolloin jokaisella käyttäjällä voi olla paikallinen kopio versionhallinnasta. Versiota päivitettäessä Git huolehtii muutosten viemisestä uuteen versioon ja pitää kirjaa muutetuista tiedoista. Versionhallinta mahdollistaa uusien lähestymistapojen helpon kokeilun ilman, että varsinaista tuotantoversiota tarvitsee käsitellä, jolloin muutosten kumoaminen tarvittaessa on yksinkertainen toimenpide. (Git, Software Freedom Conservancy, Git About 2015.)



KUVIO 4. Git-työvirta.

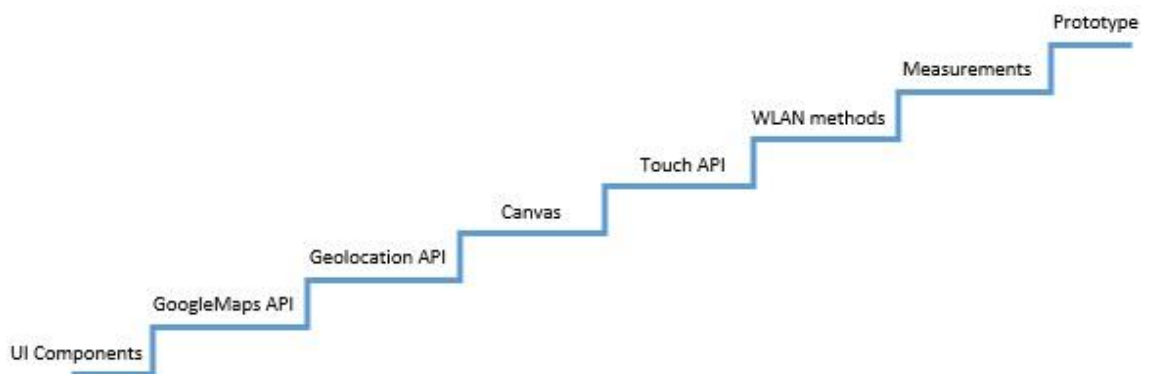
3.3 Testilaitteet

Opinnäytetyön prototyyppiapplikaation testaamisessa käytettiin kannettavien laitteiden osalta Sony Xperia Z3 Compact -älypuhelinta ja Asus MeMo Pad 6 -tablettitietokonetta. Lisäksi kehitystyössä ja testauksissa käytettiin HP Pavilion 13-b281no kannettavaa tietokonetta. Kaikki mainitut testilaitteet tukevat IEEE 802.11g-standardin langatonta lähiverkkoyhteyttä sekä mobiililaitteiden osalta että myös GPS/AGPS-ominaisuuksia.

Ohjelmiston virheiden etsinnässä sekä korjauksessa käytettiin Google Chrome Canary -selainta ja Webpack-moduuliniputtajan Babel-kääntäjää.

3.4 Prototyyppiapplikaation kehitys

Kaikelle uudelle kehitystyölle on hyvin ominaista portaittainen kehittyminen, jossa ohjelmaa rakennetaan moduuli tai toiminto kerrallaan. Jokainen uusi ominaisuus kehitetään ja testataan niin pitkälle kuin mahdollista, jonka jälkeen siirrytään kehittämään seuraavaa osaa ohjelmasta. Kuvio 5 kuvaa prototyyppiapplikaation kehitystä portaikkona.



KUVIO 5. Prototyyppiapplikaation kehitys portaikkona.

3.4.1 Käyttöliittymä

Ohjelman käytettävyyden kannalta hyvin oleellinen osa on ohjelman käyttöliittymä, joka mahdollistaa käyttäjän syötteiden antamisen ohjelmalle. Käyttöliittymän kehityksessä seurattiin suunnittelun lähtökohtana ollutta vaatimusta käyttöliittymästandardin toteutumisesta. Reapp-käyttöliittymäkehitys tarjosi suuren osan käyttöliittymäkompo-

nenttien kehyksistä valmiiksi standardin mukaisina, jolloin käytännön työksi jäi vain komponenttien toiminnallisuuden luominen.

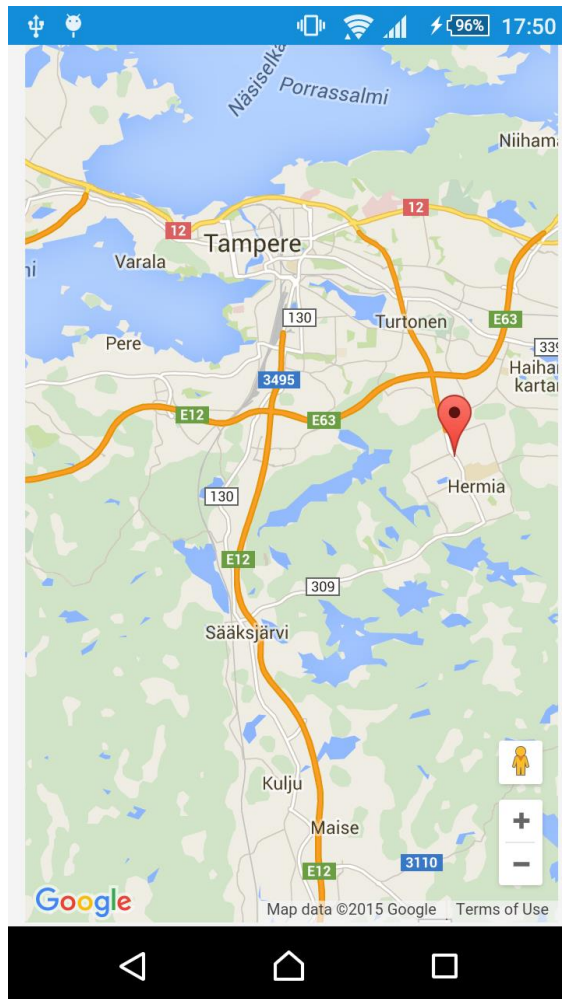
Käyttöliittymää varten luotiin ohjelmaan otsikkorivi, suurenoksen säätövedin, asetusivu ja säiliöt kerrosten pohjakuville sekä Google Maps -rajapinnalle. Otsikkorivi sisältää tiedon näkyvissä olevasta kerroksesta sekä ns. hampurilaisikonin, joka toimii käyttöliittymästandardin mukaisena asetuspainikkeena. Asetuspainikkeen esiin tuoma ponnahtusvalikko on esitelty kuvassa 4. Ponnahtusvalikko sisältää kerrosvalikon sekä mahdollisuuden siirtyä asetussivulle.



KUVA 4. Asetuspainike sekä ponnahtusvalikko prototyypinsovelluksessa.

3.4.2 Google Maps ja Geolocation APIs

Prototyypin suunnittelussa vaadittiin hybridipaikannuksen käyttämistä. Kirjoitushetken kenties tehokkain kartta- ja hybridipaikannuskombinaatio on Google Maps sekä HTML 5:n tarjoama Geolocation API. Google tarjoaa ohjelmointirajapinnan Maps-palveluunsa, joka mahdollistaa Google Mapsin upottamisen kolmannen osapuolen verkkosivuille tai mobiiliapplikaatioihin. Rajapinta mahdollistaa käyttäjän omien syötteiden antamista Google Mapsille, jolloin se mahdollistaa esimerkiksi nyt toteutetun, kuvassa 5 esitellyn melko yksinkertaisen paikannuskomponentin esittämisen kaksikulotteisella karttakuvalla. (Google Developers, Google Maps APIs, 2015.)



KUVA 5. Google Maps API prototyypinäkymä. Käyttäjän sijainti piiryy kartta-kuvaan.

Kun Google Mapsiin yhdistetään HTML 5:n geolocation API, saadaan nopeasti muodostettua hybridipaikannusta hyödyntävä ohjelmamoduuli, joka tarjoaa hyvinkin tarkkaa paikkatietoa ulkotiloissa, sekä kohtuullisen tarkkaa paikkatietoa rakennuksen sisällä esimerkiksi ikkunoiden läheisyydessä. W3C Geolocation API tuottaa paikkatietoa hyödyntämällä vastaanottolaitteen laiterajapinnoista kerättyä tietoa. Tietoa kerätään etenkin GPS/AGPS, WLAN, GSM rajapinnoista ja IP-osoitteen pohjalta, mutta joissakin tapauksissa myös Bluetoothin tai RFID:n avulla on mahdollista saada lisätietoa laitteen sijainnista. Kerätyt tiedot niputetaan yhteen ja lähetetään paikkatietopalvelimelle, joka prosessoi tiedot ja palauttaa laitteeseen tiedot laitteen arvioidusta sijainnista ja arvion tarkkuudesta. Geolocation API myös mahdollistaa jatkuvan paikkatiedon pyytämisen palvelimelta, jolloin palvelimelle lähetetään paikkatietopyyntö ja se palauttaa kerran sekunnissa uuden arvion. (W3C, Geolocation API Specification, 2014.)

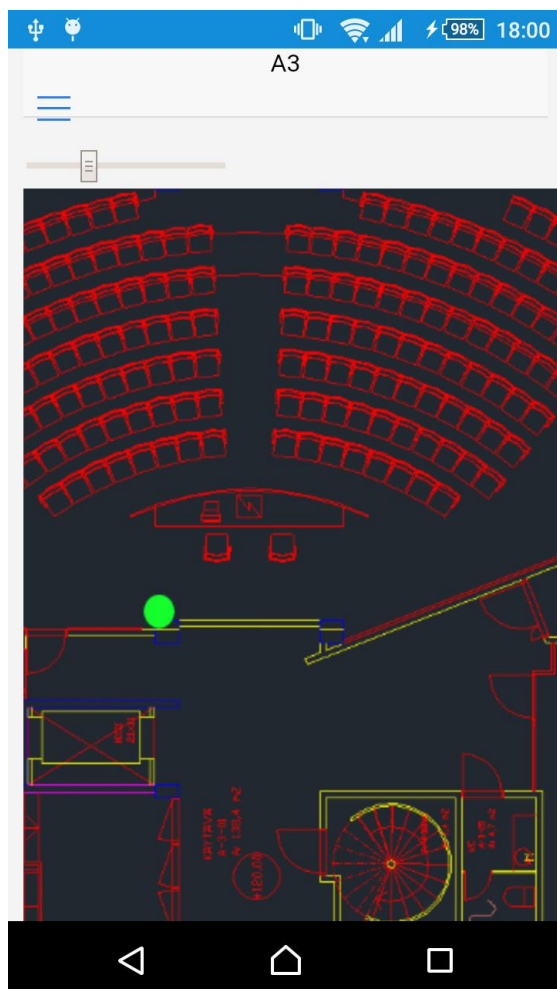
Kehityksen kannalta valmius kartta- ja paikkatietorajapintojen käyttöön lisättiin, koska käyttötilanteessa käyttäjä saattaa olla vielä rakennuksen ulkopuolella, jolloin on oleellista saada käyttäjälle siirrettyä tieto hänen sijainnistaan suhteessa kohteeseen.

3.4.3 Piirto ja kosketus

Pohjakuvan piirtämiseksi, paikkatietojen esittämiseksi ja pohjakuvien selausta varten kehityksessä luotiin HTML-säiliö, joka mahdollistaa asynkronisen kuvanlatauksen sekä kosketuskomentojen välittämisen. Prototyypissä kuvan manipulointi, siirtäminen sekä WLAN-tukiasemien signaalivahvuuksien esitykset on toteutettu HTML 5:n 2D Context API:lla, joka mahdollistaa mittavan määrän erilaisia manipulaatioita ja piirtofunktioita. (W3C, HTML Canvas 2D Context, 2015.)

Käytännön tasolla pohjakuvan piirtofunktio huolehtii kuvasäiliön muokkauksesta käyttäjän laitteen ruudulle sopivaksi. Lisäksi piirtofunktio manipuloi kuvaa ja kuvan sijaintia suhteessa käyttäjän antamiin syötteisiin, joiden perusteella kuvaa suurennetaan tai pienennetään ja sen sijaintia tarkastellaan muutosmatriisilla. Kuuluvuusalueella olevien langattomien lähiverkkotukiasemien signaaleista piirretään kuvaan arviot niiden etäisyydestä, jolloin käyttäjän arvioitu sijainti osuu piirrettyjen etäisyyksien leikkauspisteiden sisälle. Piirtofunktiota käytettäessä React-kirjaston virtuaalinen dokumenttiobjekti-malli pääsee näyttämään kyntensä nopeutensa ja automaattisen päivittymisensä käytössä.

Käyttäjän antamia syötteitä vastaanotetaan kuvasäiliöön integroiduilla kosketustapahtumilla. Kosketustapahtuman alkaessa ohjelma rekisteröi tapahtuman alkaneeksi ja tallentaa käyttäjän kosketuksen aloituspisteen suhteessa kuvan koordinaatteihin. Kosketustapahtuman jatkuessa ohjelma laskee erotusta äskettäin tallennettujen koordinaattien ja sen hetkisen kosketuskoordinaattien välillä, muodostaen saadusta tiedosta suunnan ja nopeuden, jolla käyttäjä kuvaa siirtää. Tieto halutusta suunnasta ja nopeudesta välitetään kuvan piirtometodiin, joka laskee uuden arvon muutosmatriisiin ja piirtää manipuloidun kuvan kokonaisuudessaan uudelleen kuvasäiliöön. Kuvassa 6 esitellään suurennettua kuvaa A-rakennuksen kolmannen kerroksen auditoriosta prototyypinapplikaatiossa.



KUVA 6. Canvas-piirtofunktion tuottama kuva TAMK:n pääkampuksen A-rakennuksen kolmannen kerroksen auditoriosta prototyypinsoiapplikaatioissa.

3.4.4 WLAN-metodit

Oleellinen osa prototyypinsoiapplikaation sisätilapaikannusta oli käyttää jo olemassa olevaa tietoliikenneinfrastruktuuria, tässä tapauksessa langattomia lähiverkkotukiasemia. Langattomien lähiverkkotukiasemien signaalitietojen hakemiseksi prototyypinsoiapplikaatioon kehitettiin metodi, joka hyödyntää Apache Cordovan vapaan lähdekoodin WifiWizard-lisäosaa. WifiWizard tuo HTML 5 / JavaScript Apache Cordova -ohjelmaan mahdollisuuden käyttää mobiililaitteiden langattoman lähiverkon natiivia rajapintaa. Kirjoitushetkellä lisäosa tuottaa huomattavan määrän mahdollisuuksia Android-käyttöjärjestelmälle, mutta on ominaisuuksiltaan toistaiseksi vielä vajavainen muiden käyttöjärjestelmien osalta. Prototyypinsoiapplikaation toiminnan todentamiseen lisäosa kuitenkin antaa kaikki edellytykset. (Matt Parsons, WifiWizard GitHub, 2015.)

WifiWizard-lisäosaa käytettiin skannaamaan laitteen kuuluvuusalueella olevia langattomia lähiverkkotukiasemia ja tallentamaan niistä saadut tukiasemien nimet (SSID), tukiasemasta vastaanotetun signaalin voimakkuus (RSSI), tukiaseman taajuus (frequency) sekä skannaukseen kulunut aika millisekunteina. Myöhemmässä vaiheessa skannaustuloksiin lisättiin myös tukiaseman MAC-osoite (BSSID), sillä monesti useissa suurissa organisaatioissa langattomilla lähiverkkotukiasemilla on samat SSID:t, mutta jokaisella verkkolaitteella on standardin mukaisesti yksilöllisesti asetettu fyysinen MAC-osoite jo tehtaalta.

Jokaiselle rakennuksen osalle tai kerrokselle kartoitettiin oma olio (listaus 1), johon asetettiin kerroksen tunniste, pohjakuvan resoluutio, tukiasemien x- ja y-koordinaatit, tukiasemien BSSID:t sekä etäisyysindikaattori, jonka perusteella lasketaan kuinka monta pikseliä on yksi metri pohjakuvassa. Pohjakuvat sekä tukiasemien sijaintitiedot toimitti Tampereen ammattikorkeakoulun IT-tuki.

LISTAUS 1. Prototyypin applikaation kerrosolio, joka sisältää kerroksen langattomien lähiverkkotukiasemien sekä pohjakuvan tiedot.

```
this.pictureObjectTest = {
    floor: "Test",
    width: 3000,
    height: 1000,
    ssid: [ "Location-1", "Location-3", "Location-4" ],
    bssid: [ "00:20:A6:56:71:78", "00:20:a6:68:8d:94", "00:20:a6:68:8d:5e" ],
    APx: [775, 1410, 630],
    APy: [245, 750, 755],
    distanceIndicator: 42
};
```

Seuraavassa otsikossa käsiteltyjen mittausten avulla muodostettiin arvio siitä, millainen on langattomasta lähiverkkotukiasemasta vastaanotetun signaalin tehon suhde etäisyyteen ja yleisimpiin rakennusmateriaaleihin. Mitattujen arvojen perusteella luotiin ohjelmaan metodi, joka arvioi etäisyyttä langattomiin lähiverkkotukiasemiin skannaustuloksista kerättyjen keskiarvojen perusteella. Ohjelma hakee jokaisesta tukiasemasta 100 kappaletta skannaustuloksia, joista kerätystä vastaanotetun signaalin voimakkuuksista (RSSI) lasketaan keskiarvo. Keskiarvon perusteella muodostetaan arvio vastaanottavan laitteen etäisyydestä suhteessa lähettävään tukiasemaan. Kun tukiasemia on vastaanot-

tavan laitteen läheisyydessä useampi, voidaan etäisyyksiin perustuvan trilateraation avulla arvioida vastaanottavan laitteen sijaintia pohjakuvasta.

4 MITTAUKSET JA TESTAUS

4.1 Mittausten valmistelu

Prototyypin apilikaatiota kehittäessä oleellinen osa sen toiminnallisuutta oli tutkimus siitä, voiko langattomista lähiverkkotukiasemista ylipäättään saada luotettavaa, toistettavaa ja käyttöarvoltaan riittävää tietoa mobiililaitteen paikantamiseen. Mittauksia päätettiin toteuttaa kaksi, kumpikin mittaus hieman erilaisessa ympäristössä.

Mittaukset päätettiin suorittaa yksinkertaisemmasta mahdollisesta tilanteesta aloittaen. Ensimmäinen mittaus suunniteltiin Tampereen Messukeskuksen A-hallissa, jossa tarkoitus oli selvittää signaalin vastaanottotehon suhdetta laitteen etäisyyteen tukiasemasta mahdollisimman avoimessa tilassa, jossa saataisiin suljettua pois mahdollisimman paljon ympäristöllisiä tekijöitä.

Toinen mittauksista suunniteltiin toteutettavaksi esteellisessä tilassa, lähempänä varsinaista prototyypin apilikaation suunniteltua käyttöpaikkaa. Tarkoituksena oli selvittää tukiasemasta lähteneen signaalin vastaanottotehossa tapahtuvaa vaimentumaa tilanteessa, jossa signaali joutuu kulkemaan erilaisten rakenteiden läpi.

Testitulosten tallioimiseksi prototyypin apilikaatioon lisättiin myös ohjelmakoodi, joka tallentaa laitteen muistiin lokitiedoston myöhempää käyttöä varten. Prototyypin apilikaatiota ajettaessa lokitiedostoon tallentuu ohjelman käynnistysaika, tieto kuuluvuusalueella olevien tukiasemien nimistä, tukiasemien lähetysignaalin vastaanottotehosta, tukiasemien signaalin taajuudesta sekä tukiasemaskannaukseen kuluneesta ajasta.

Mittauksia varten saatiin Tampereen ammattikorkeakoulun tietohallinnosta lainaksi neljä kappaletta Proxim ORiNOCO AP-700 2,4GHz taajuudella toimivia, IEEE 802.11g-standardin mukaista langatonta lähiverkkotukiasemaa. Tukiasemat sisältävät kaksi antennia, toinen pystysuuntaisesti sijoitettuna ja toinen vaakasuuntaisesti sijoitettuna. Tukiaseman tuottama lähetysteho on 20dBm. (Proxim, ORiNOCO AP-700 User guide, 2006.)

Mittauksia varten alustettiin kolme Proxim ORiNOCO AP-700 langatonta lähiverkkotukiasemaa. Tukiasemille määriteltiin yksilöivät SSID:t ja tukiasemista jokaiselle määriteltiin oma taajuus.

Mittausmenetelmäksi suunniteltiin järjestely, jossa kolme langatonta lähiverkkotukiasemaa sijoitettaisiin rakenteiden kannalta hyviksi arvioituihin paikkoihin, jonka jälkeen niiden lähettämän signaalin vastaanottotehoa mitattaisiin porrastetusti kultakin noin 120 mittaustuloksen verran. Mittaustulokset taltioitaisiin taulukkolaskentaohjelmaan, jonka avulla niistä tuotettaisiin visuaalinen representaatio.

4.2 Signaalin vastaanottoteho vapaassa tilassa

Tampereen Messu- ja Urheilukeskuksen A-halli tarjoamia puitteita hyödynnettiin ensimmäisen mittauksen toteuttamisessa. Halli tarjosi n. 150 metriä esteetöntä tilaa juoksuradan muodossa, joka soveltui mainiosti mittauksien suorittamiseen häiriötekijöiden ollessa minimissään.

Mittaukset suoritettiin kiinnittämällä 50 senttimetrin korkeuteen penkille kolme langatonta lähiverkkotukiasemaa 5 metrin päähän hallin seinästä. Myös tukiasemien väliin jätettiin 50 senttimetriä väliä. Tukiasemista mitattiin mittakelalla mittauspisteet 5 metrin välein aina 120 metriin asti. Mittalaitteena käytettyä Sony Xperia Z3 Compact-älypuhelinta siirrettiin 50 senttimetriä korkean pahvilaatikon kanssa mittauspisteeltä toiselle mittausten välissä. Kullakin mittauspisteellä suoritettiin kolme mittausta: ensimmäisessä mittauksessa älypuhelimien yläreuna osoitti tukiasemia kohti (kuva 7), toisessa mittauksessa älypuhelimien oikea reuna osoitti kohti tukiasemia ja kolmas mittaus, jossa älypuhelimien vasen reuna osoitti kohti tukiasemia.

Jokaiselta mittauspisteeltä tallennettiin vähintään 3*100 mittaustulosta jokaista langatonta lähiverkkotukiasemaa kohden. Yhteensä mittaustuloksia kertyi yli 20 000 kappaletta.



KUVA 7: Mittausjärjestelyt Tampereen Messu- ja Urheilukeskuksessa

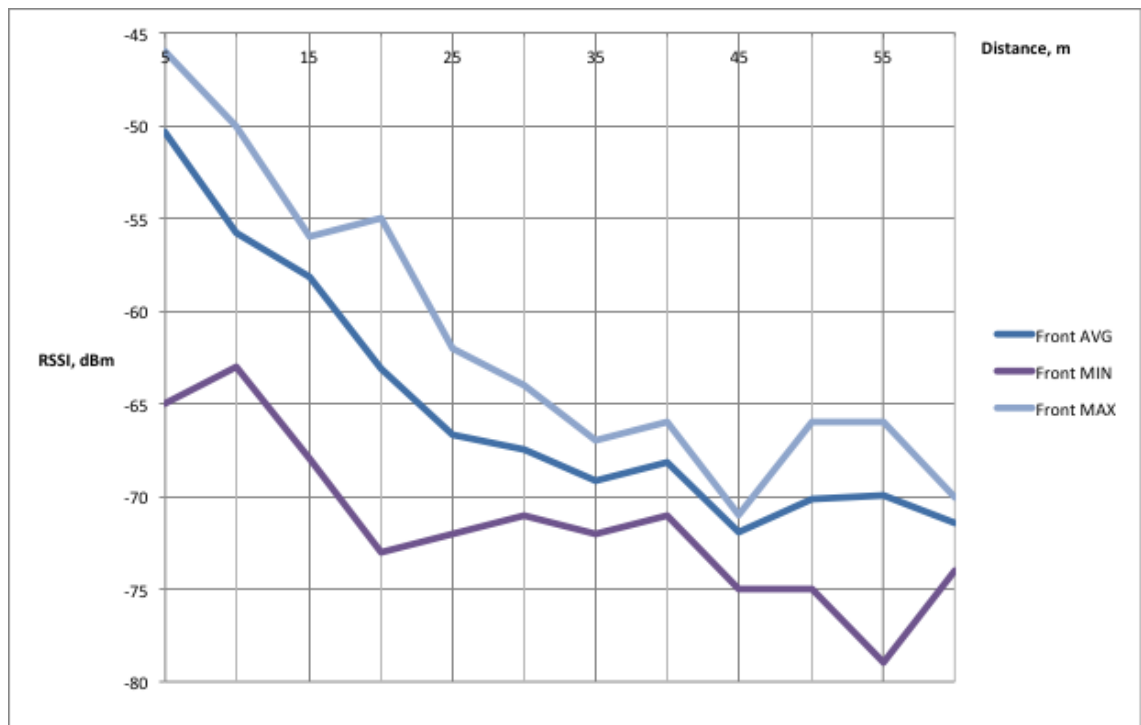
4.2.1 Vapaan tilan mittauksen analysointi

Tampereen Messu- ja Urheilukeskuksessa suoritetusta mittauksesta tuotettiin tietoa vastaanotetun signaalivoimakkuuden (RSSI) suhteesta etäisyyteen mahdollisimman vapaassa ja häiriöttömässä tilassa. Mittauksesta saadut yli 20 000 tulosta syötettiin taulukkolaskentaohjelmaan, jossa niistä määriteltiin vastaanotetun signaalin vahvuuksien keskiarvot kunkin mittausetäisyyden ja asennon osalta kuhunkin mitattuun tukiasemaan. Mittaustuloksista eroteltiin myös kunkin mittauksen osalta sekä suurimmat että pienimmät mitatut arvot, joiden lasketulla keskiarvolla määriteltiin mittauksen virhettä.

Ensimmäisenä huomiona todettiin, että vaikka testattujen langattomien lähiverkkotukiasemien kuuluvuus oli erinomainen ja mahdollisti yhteyden ottamisen jopa 120 metrin päästä, mahdollisuus vastaanotetun signaalivoimakkuuden (RSSI) käyttämiseen etäisyyden arvioinnissa päättyi tulosten perusteella noin 45 metrin etäisyydelle. Yli 45 met-

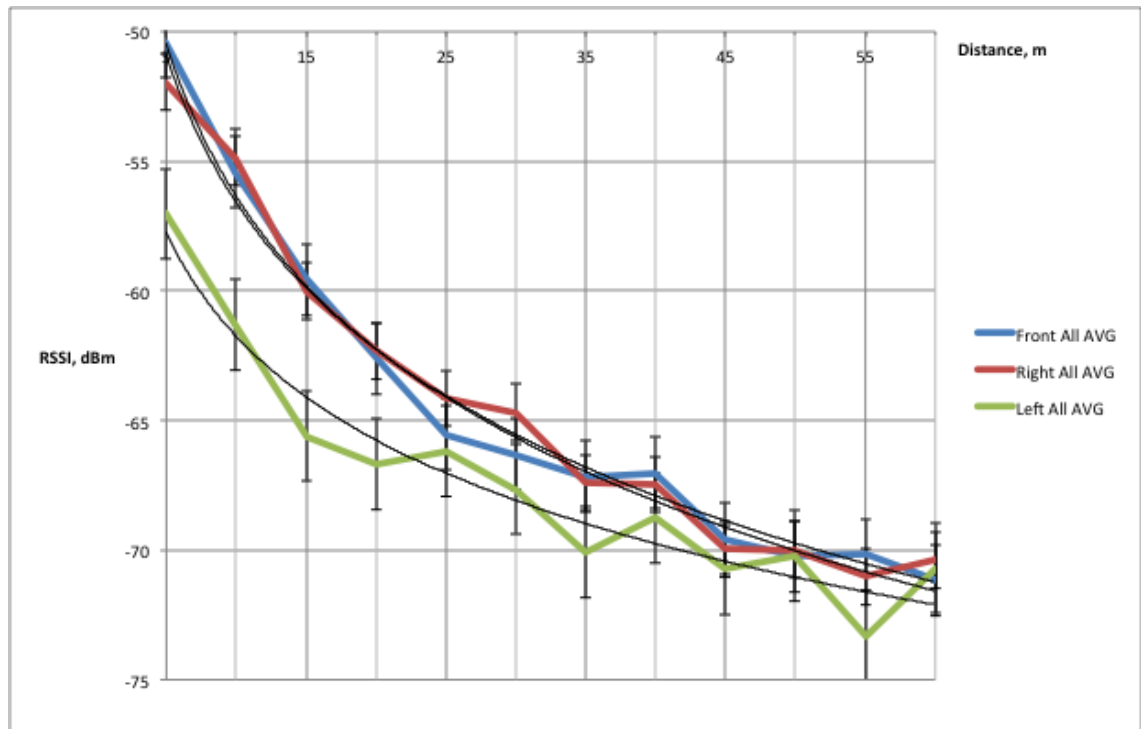
rin etäisyydeltä tukiasemista mitatut vastaanottotehot ovat hyvin liki toisiaan, jolloin vastaanotettujen signaalien tehoja on käytännössä mahdotonta yhdistää etäisyyteen käyttökelpoisella tarkkuudella.

Mittauksesta ilmenee, että mikäli langattomia lähiverkkotukiasemia käytetään paikantamiseen, on ensiarvoisen tärkeää mitata vastaanotetun signaalin tehoa riittävän usein, jotta tuloksista voidaan laskea keskiarvo. Yksittäisen mittauksen virhe voi olla merkittävä, mutta virhettä voidaan tehokkaasti pienentää lisäämällä mitattujen arvojen määrää. Kuvio 6 esittelee yksittäisestä tukiasemasta mitattua vastaanotetun signaalin voimakkuutta. Erotus pienimmän ja suurimman mitatun arvon välillä on huomattava.



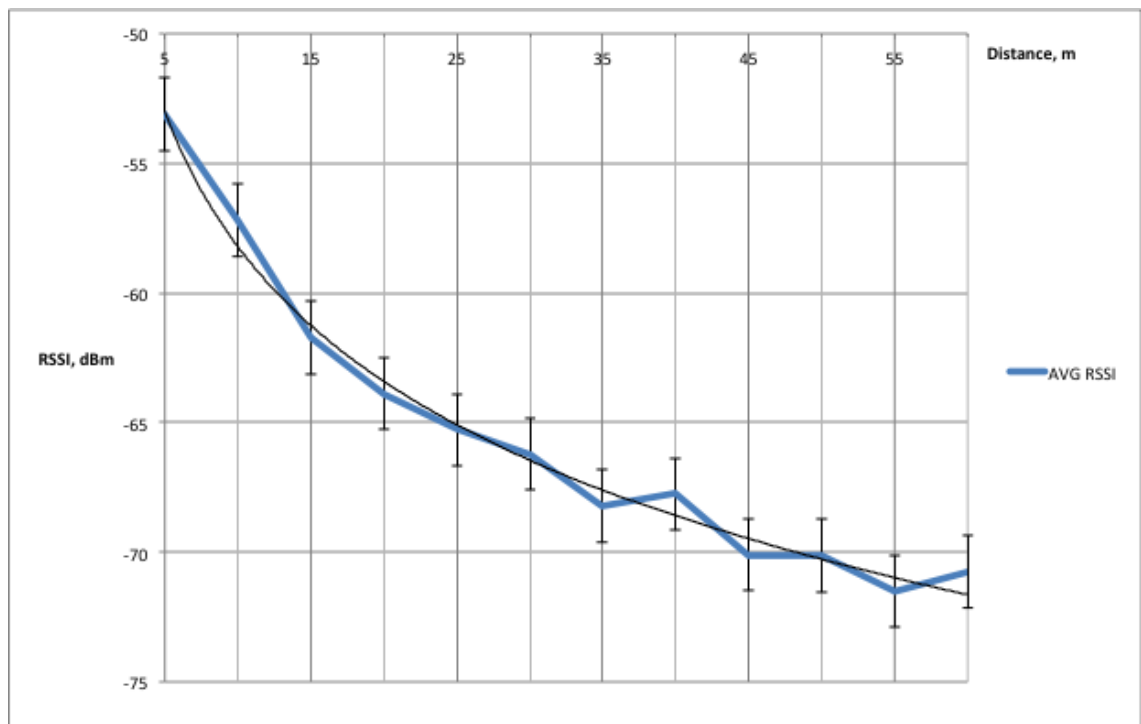
KUVIO 6: Vastaanotetun signaalin voimakkuuden keskiarvo sekä minimi- ja maksimiarvot yhdestä mitatusta tukiasemasta.

Kaikkien mittausten suurimmat ja pienimmät arvot taltioitiin, joista saatiin keskimääräiseksi maksimivirheeksi $\pm 4,65$ dBm. Mittausten keskihajonnaksi saatiin $\pm 1,40$ dBm. Kuvio 7 esittelee kaikista mittaustuloksista laskettuja arvioita suhteessa laitteen asentoon mittauspisteillä. Huomionarvoisena voidaan pitää vaimentumaa vastaanotetun signaalin voimakkuudessa silloin, kun laitteen vasen kylki osoittaa kohti tukiasemia.



KUVIO 7: Vastaanotetun signaalin voimakkuus suhteessa etäisyyteen ja vastaanottavan laitteen asentoon.

Kun kaikki saadut mittaustulokset yhdistettiin, voitiin muodostaa arvio vastaanotetun signaalin voimakkuudesta suhteessa etäisyyteen (kuvio 8).



KUVIO 8: Signaalin vastaanottotehon keskiarvo suhteesta etäisyyteen.

4.3 Rakenteiden vaikutus vastaanottoon

Rakenteiden vaikutusta prototyypin rakenteita varten mitattiin vanhassa teollisuuskiinteistössä. Mittaustilaksi kiinteistö valittiin, koska laajojen vapaiden tilojen lisäksi kiinteistöön lukeutui pienempiä tiloja ja erilaisia rakennusmateriaaleja, kuten kipsiä, teräsbetonia ja tiiltä. Mittauksen tarkoituksena oli selvittää langattomien lähiverkkotukiasemien signaalien vaimentumaa suhteessa rakenteisiin, jotka ovat lähempänä varsinaisen prototyypin rakenteiden suunniteltua käyttöpaikkaa.

Langattomat lähiverkkotukiasemat asetettiin kiinteistöön erilaisten rakenteiden taakse 50 senttimetrin välein, joista mitattiin 5 metrin etäisyys mittauspisteeseen. Mittauksissa mitattiin rakenteiden vaikutusta vastaanotetun signaalin voimakkuuteen ja pyrittiin havaitsemaan, millainen käytännön vaikutus mittaavan laitteen asennolla on mittaustuloksiin. Kutakin mittausta toteutettiin kolme kappaletta, joissa ensimmäisessä laitteen etureuna, toisessa laitteen oikea kylki ja kolmannessa laitteen vasen kylki osoittivat kohti tukiasemia. Jokaisesta tilanteesta taltioitiin 100 mittaustulosta.

Mittauksessa tutkittiin taulukon 1 mukaisia rakenteita.

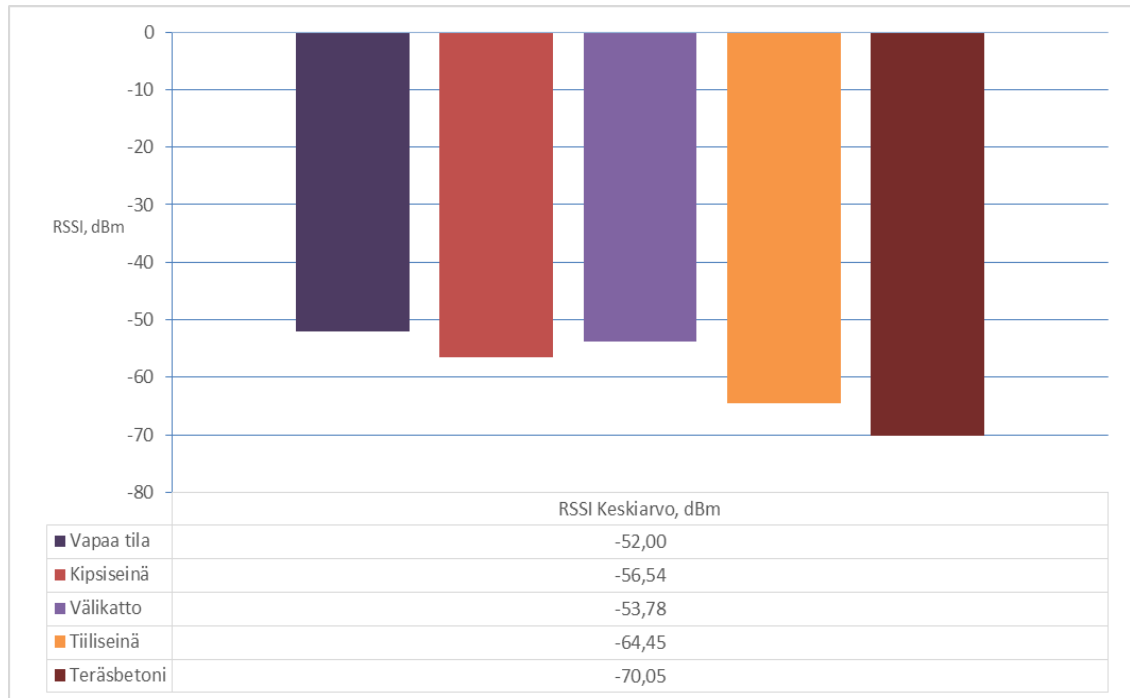
TAULUKKO 1. Toisessa mittauksessa tutkitut rakenteet ja niiden seinämävahvuudet.

Rakenne	Paksuus
Kipsiseinä, puukehikolla	10 cm
Välikatto, puukehikolla	20 cm
Tiiliseinä, teräsvahvistettu	20 cm
Teräsbetonielementti	40 cm

4.3.1 Rakenteiden vaikutuksen analysointi

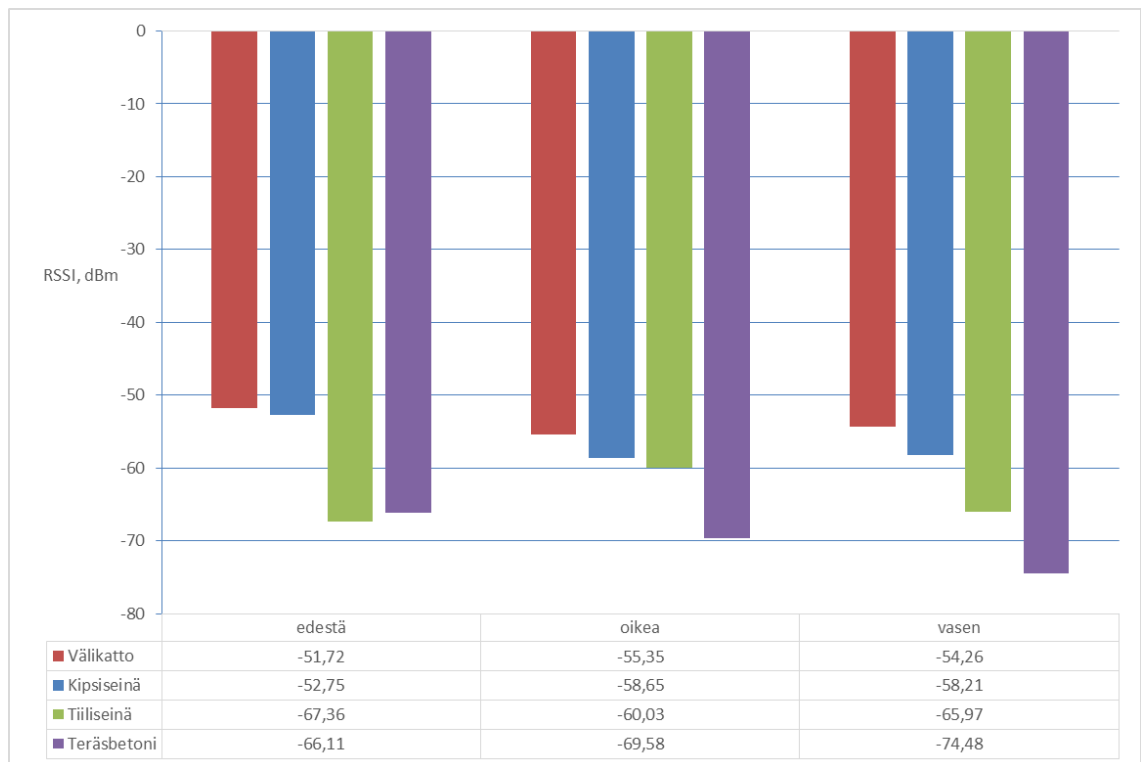
Mittaus havainnollistaa hyvin rakenteiden vaikutusta langattoman lähiverkkotukiaseman signaaliin, tuloksia esittelee kuvio 9. Ohuet, sisätilojen jakamiseen tarkoitetut materiaalit vaimentavat signaalia vain hieman, kun taas jyrkemmät ja tiiviimmät rakenteet vaimentavat signaalia huomattavasti. Merkittävänä havaintona voidaan pitää etenkin jämän teräsbetonielementin aiheuttamaa vaimentumaa vastaanotetun signaalin tehossa. Kun signaali on läpäissyt teräsbetonielementin, on pelkästään sen tehosta vai-

kea päätellä, onko kyseinen tukiasema teräsbetonielementin takana, vaiko kenties yli 45 metrin etäisyydellä. Tilanteesta voidaan myös tehdä johtopäätös, että teräsbetonielementillä eristetyt langattomat tukiasemat eri kerroksissa tuskin häiritsevät mahdollista paikantamista, vaan pikemmin helpottavat paikannettavan laitteen yksilöimisen tiettyyn kerrokseen.



KUVIO 9. Rakenteiden läpi mitattujen vastaanotettujen signaalien tehojen keskiarvot.

Sen sijaan laitteen asennon suhteesta vastaanotetun signaalin tehoon on haastava tehdä täysin varmaa tulkintaa. Mittauksista ilmenee, että laitteen asennolla on jonkinlainen merkitys vastaanotetun signaalin tehoa taltioitaessa. Kuvio 10 kuvaa vastaanotetun signaalin tehoa suhteessa laitteen asentoon. Suurin mittauksissa saatujen vastaanotettujen signaalien tehojen keskiarvojen välisen erotuksen itseisarvo laitteen asentojen välillä oli 8,37 dBm, joka mitattiin teräsbetonielementin läpi. Vastaavat suurimmat erotusten itseisarvot mittaustulosten keskiarvoissa asentojen välillä olivat välikatolle 3,63 dBm, kipsiseinälle 5,9 dBm ja tiiliseinälle 7,33 dBm. Mittaustuloksia analysoitaessa voidaan tehdä perusteltu kysymys, ovatko rakenteet aiheuttaneet monitieheijastumisen, eivätkä mitatut vastaanotettujen signaalien tehot ole kaikissa tapauksissa juuri rakenteiden läpi tullut signaali.



KUVIO 10. Vastaanotettujen signaalien vahvuuksien keskiarvot suhteessa vastaanottavan laitteen asentoon.

Taulukko 2 kertoo mittausten vastaanotetun signaalin tehon keskiarvon, pienimmän mitatun arvon, suurimman mitatun arvon ja kaikkien mittausten keskihajonnan kullekin mitatulle rakenteelle.

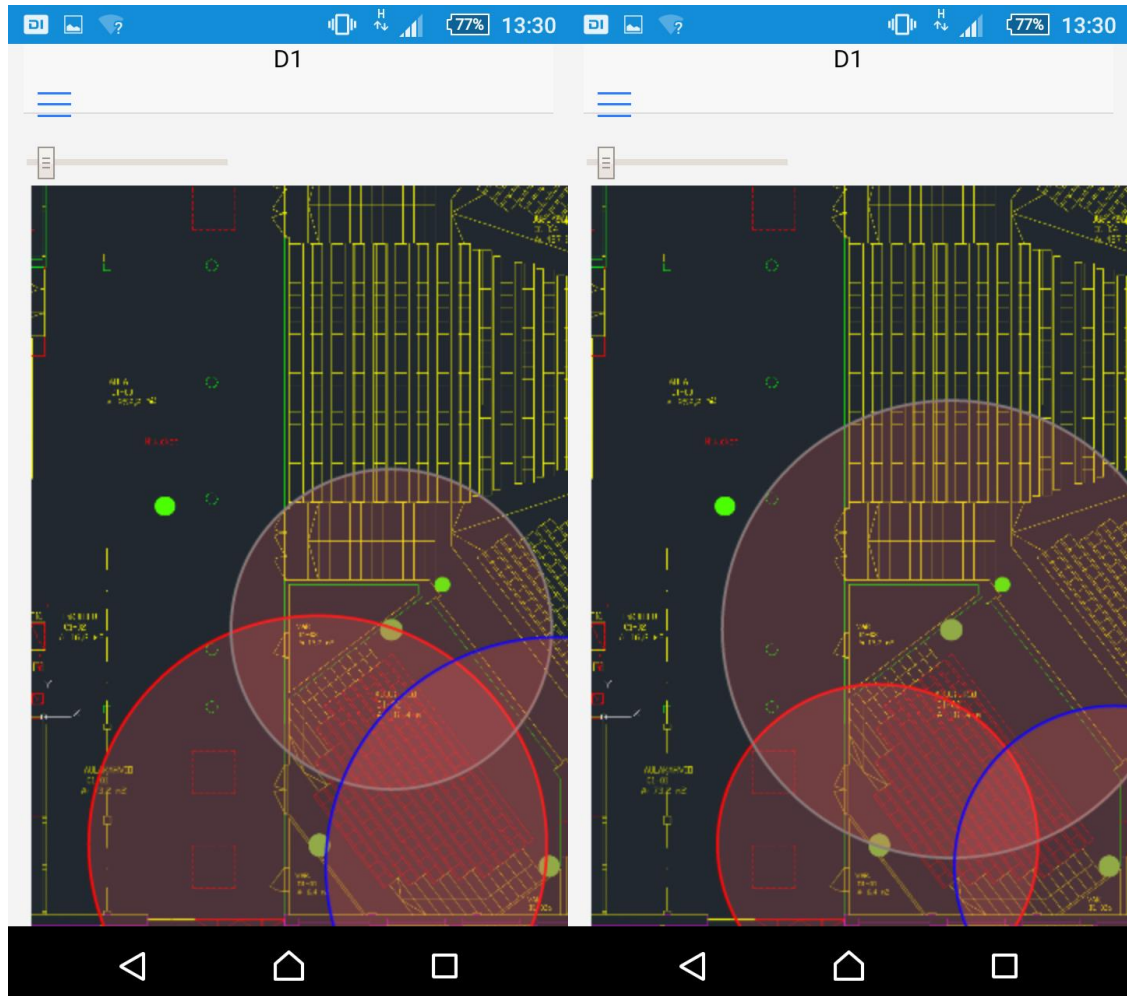
TAULUKKO 2. Mittaustulosten keskiarvo, pienimmät sekä suurimmat mitatut arvot ja keskihajonta materiaalityypeittäin.

	Välikatto	Kipsiseinä	Tiiliseinä	Teräsbetoni
RSSI Keskiarvo, dBm	-53,78	-56,54	-64,45	-70,05
RSSI MIN, dBm	-64,67	-62,33	-72,11	-80,78
RSSI MAX, dBm	-49,22	-52,89	-59,22	-62,89
Keskihajonta, dBm	4,13	2,93	3,68	4,90

4.4 Tarkkuus käytännön applikaatiossa

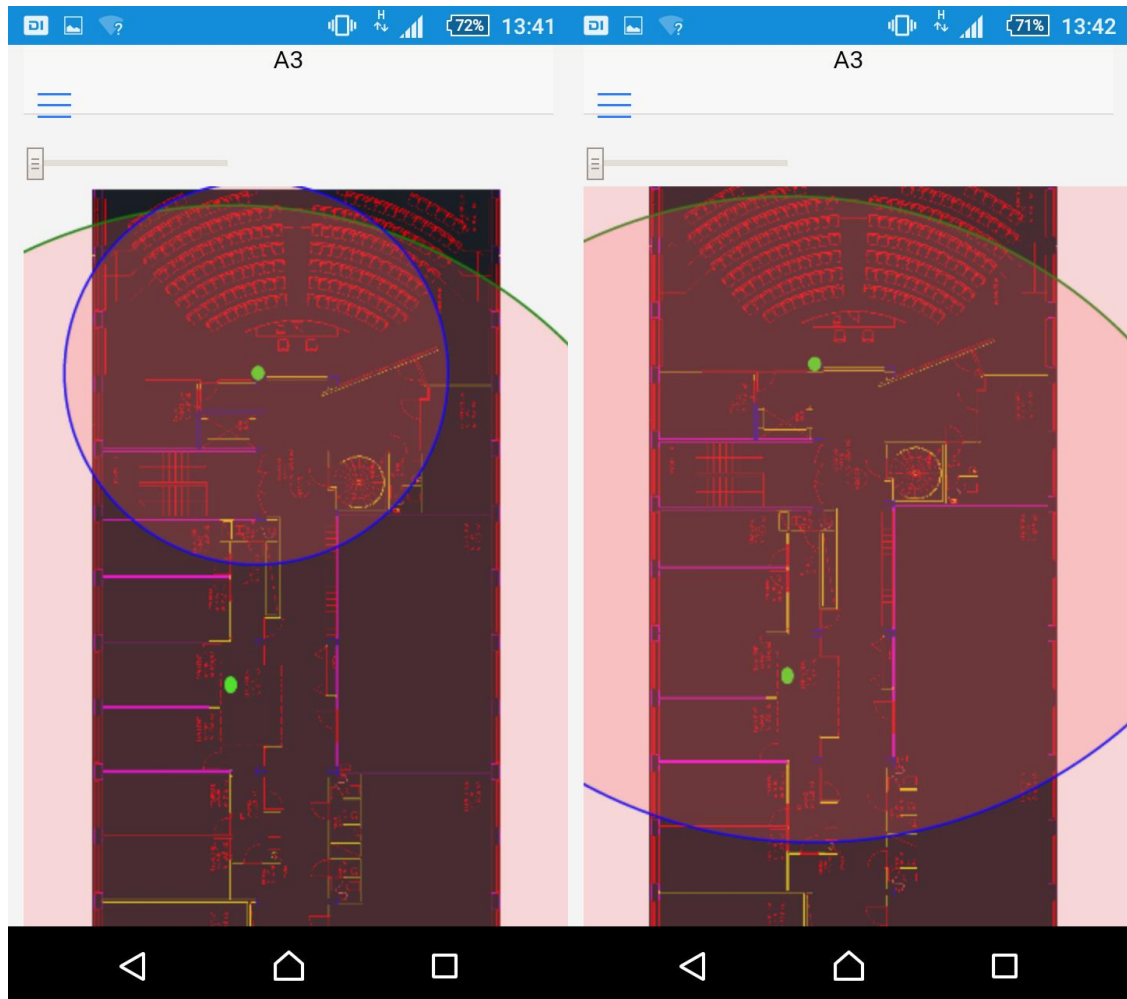
Prototyypinapplikaatiota varten luotiin mittaustulosten perusteella viitearvot, joilla pyrittiin saamaan suuntaa antavaa paikannustietoa applikaation suunnittelussa käyttöpäikässä. Kuvassa 8 on esitelty prototyypinapplikaation toimintaa käytännössä. Paikannus-

tarkkuus on muutamia metrejä tilanteessa, jossa kolmeen tukiasemista on suora näköyhteys pienessä ja avoimna olevassa tilassa.



KUVA 8. Prototyypin käyttöä käytännön trilateraatio. Paikannettava laite sijaitsee tukiasemista piirrettyjen ympyröiden leikkauspisteiden sisäpuolella. Siirryttäessä pienen, avoimen tilan sisällä paikannustarkkuus on 3-4 metriä.

Testausta suoritettiin myös pääkampuksen A-rakennuksessa, jossa paikantaminen on hieman haasteellisempaa johtuen suuresta määrästä rakenteita ja pieniä huoneita. Testauksen tulokset olivat kuitenkin sikäli myönteisiä, että paikannustarkkuudeltaan päästään vaatimusten määrittelemään vähimmäistarkkuuteen. Laite kykenee varmuudella paikantamaan itsensä rakennuksen spesifiin kerrokseen ja kerroksen sisällä kerroksen päätyihin taikka keskelle. Käytännön paikannustarkkuus on noin 15-25 metriä. Kuva 9 esittelee käytännön paikannustarkkuutta A-rakennuksen kolmannessa kerroksessa.



Kuva 9. A3-kerroksen käytävällä prototyypinsovellus paikantaa laitteen kerroksen päättyyn. Liikuttaessa paikannusalue hieman laajenee.

Prototyypinsovelluksen käytännön haasteeksi ilmenivät rakennuksen osat tai kerrokset, jotka sisältävät vain yhden langattoman lähiverkkotukiaseman. On mahdollista päätellä, että päätelaite on kyseisessä kerroksessa langattoman lähiverkkotukiaseman kanssa, mutta tarkempaa laitteen sijaintia on mahdotonta määrittää pelkän vastaanotetun signaalin tehon suhteesta etäisyyteen.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mobiililaitteen paikantamista sisätiloissa ja luoda sisätilapaikannusta toteuttava prototyyppiapplikaatio. Prototyyppiapplikaatio toteutti sille asetetut vaatimukset, ja osoitti mahdolliseksi langattomien lähiverkkotukiasemien käyttämisen päätelaitteen paikkatietojen saamiseen riittävällä tarkkuudella sisätiloissa potentiaalista jatkokehitystä ajatellen.

Koin opinnäytetyöni aiheen äärimmäisen mielenkiintoiseksi ja olisin mielelläni tehnyt aiheesta enemmänkin tutkimusta. Saadut tulokset mittauksista olivat vakuuttavia, mutta paljon jäi vielä hämärän peittoon. Oppimisprosessi on ollut johdonmukainen niin langattoman lähiverkkoteknologian, paikannustekniikoiden kuin web-pohjaisten ohjelmien kehittämisen osalta. Opinnäytetyössä myös hyödynnettiin laajasti ohjelmistotekniikan eri osa-alueita aina suunnittelusta versionhallintaan ja testaukseen asti.

Työn suorittamisen kannalta itsekritiikkiä voisi esittää mittausjärjestelyistä rakenteiden osalta. Vapaan tilan mittauksen oli hyvin kontrolloitu ja saadut tulokset olivat toistettavia, mutta rakenteita mitatessa järjestelyistä johtuen ei voitu vakuuttua siitä, ettei signaaleilla olisi ollut mahdollisia monitieheijastuksia. Rakenteiden mittaustuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, mutta tulokset eivät ole virheitä poissulkevia.

5.1 Jatkokehitysehdotukset

Jatkokehityksen kannalta olisi hyvin oleellista tuottaa lisää riittävän luotettavia mittaus-tuloksia etenkin erilaisten päätelaitteiden osalta, ja tutkia rakennusten sisällä mahdollisesti tapahtuvaa signaalien monitieheijastumista. Prototyyppiapplikaation kerrosolioihin olisi hyvin yksinkertaista lisätä muuttuja tai kerroin kuvaamaan kunkin tukiaseman ominaispiirteitä tai sijoittumista rakenteiden osalta, jolloin saataisiin tuotettua tarkempaa paikkatietoa erityyppisissä osissa rakennusta.

Kerrosten pohjakuvat ja käyttöliittymä olivat prototyypissä viimeistelemättömiä, mutta toimivia, jolloin luonnollinen jatkokehityskohde olisi myöskin käyttäjäkokemukseen perehtyminen. Prototyyppiapplikaatio tuottaa oleelliset funktionaalisuudet käyttäjälle,

mutta käytetty React-käyttöliittymäkirjasto mahdollistaa huomattavan nopean, sulavan ja nykyaikaisen käyttäjäkokemuksen.

Koska ohjelman siirrettävyys listattiin suunnitteluvaiheen vaatimuksissa, olisi kehityksen kannalta mielestäni hyvin oleellista tuottaa applikaatiosta versiot nykyisen Android-version lisäksi myös hyvin yleisille iOS ja Windows Mobile-käyttöjärjestelmille. Prototyyppiapplikaation kehityksessä otettiin huomioon siirrettävyys laitealustalta toiselle, jolloin applikaation siirtäminen toiselle käyttöjärjestelmälle on kohtalaisen helppoa.

Hyödyllistä voisi olla myöskin matemaattisen kaavan muodostaminen laskemaan varsinaista mobiililaitteen sijaintia, jolloin paikkatiedon voisi tuottaa esimerkiksi karttakoordinaatteina. Nykyinen prototyyppiapplikaation proof-of-concept indikoi mobiililaitteen sijaintia visuaalisesti ja suhteessa langattomiin lähiverkkotukiasemiin pohjakuvalla.

Varsinaista paikannussovellusta varten olisi myös aiheellista tehdä back-end-palvelu, joka helpottaisi kerrosolioiden ja pohjakuvien muokkaamista ja lisäämistä. Prototyyppiapplikaatiota varten luotu staattinen kerrosolio soveltuu tuotannossa olevaan applikaatioon heikosti. Pohjakuvien lataus palvelimelta on prototyyppiapplikaatiossa jo valmiiksi, joten kerrosolioiden lataaminen verkosta olisi melko yksinkertaista toteuttaa.

Front-end jatkekehityksessä tulisi myös huomioida erilaiset mobiililaitteet ja etenkin niiden verkkokomponentit. Laitteiden verkkokorttien palauttamaa RSSI-arvoa ei ole standardoitu, joten laitevalmistajasta riippuen palautettu arvo voidaan ilmoittaa desibelimilliwatteina, milliwatteina, prosentteina taikka numeraalisena arvona väliltä 0-127. (Joe Bardwell, Converting Signal Strength Percentage to dBm Values, 2002.)

Testilaitteiden määrää tulisi kasvattaa testausten yhteydessä, koska erilaisten verkkolaitteiden vastaanotettavien signaalien tehot samasta langattomasta lähiverkkotukiasemasta saattavat erota toisistaan valmistajien ja laitteiden välillä. Mahdollisuuksien mukaan tulisi pyrkiä tilanteeseen, jossa käytössä olevaa laitetta verrattaisiin taulukkoon, joka sisältäisi laitetyypille tai mallille ominaisen vastaanotetun tehon suhteen etäisyyteen.

5.2 Tietoturva

Paikantamistekniikkaan perustuvaa applikaatiota tulisi mielestäni aina käsitellä myös tietoturvanäkökulmasta. Paikkatietoteknologiaa, etenkin jos sen avulla on mahdollista yksilöidä tietty laite taikka käyttäjä, tulisi käsitellä äärimmäisen harkiten ja varovaisesti. Tieto henkilön taikka laitteen tarkasta sijainnista saattaa olla hyvin intiimi, jolloin väärinkäytön vaara on olemassa. Yhtä useasti kuin järjestelmän tai applikaation tuottajalla on vastuu järjestelmän tietoturvariskien hallinnasta, täytyy myös applikaation käyttäjän tiedostaa käyttämänsä ohjelman laatu. (W3C, Geolocation API Specification, 2014.)

Älypuhelin- ja mobiililaitteympäristössä käyttäjällä on mahdollisuus laiterajapintatasolla vaikuttaa siihen, ovatko laitteen fyysiset paikannuslaitteet kytketty päälle. Applikaatiota kirjoitettaessa ohjelmalle täytyy myös antaa lupa käyttää paikantamispalveluita. Suurimmat väärinkäyttöriskit aiheuttavat kolmannen osapuolen sovellukset, joita ei asenneta älypuhelin- ja mobiililaitteiden valmistajien virallisia jakokanavia pitkin. Kyseisenlaiset, niin sanotut villit applikaatiot, voivat siirtää käyttäjänsä tietämättä esimerkiksi laitteen paikkatietoja kolmannen osapuolen ulottuville.

Myös virallisia jakokanavia hyödyntävissä applikaatioissa on riskinsä, mikäli paikkatietoja kerätään esimerkiksi palvelun taikka ohjelmakokemuksen parantamiseksi, tai sen varjolla. Useimmiten virallisia jakokanavia pitkin levitetyt applikaatiot kysyvät käyttäjältä lupaa eri rajapintojen käyttämiseen applikaatiota asennettaessa, mutta tämän jälkeen käyttäjältä ei enää erikseen kysytä lupaa esimerkiksi paikkatietojen käyttämiseen.

Ohjelman kehittäjällä on myöskin suuri vastuu varmistua, ettei applikaation tuotanto-versioon siirry esimerkiksi tämän opinnäytetyön prototyypin applikaation testaamiseen ja langattomien lähiverkkotukiasemien mittaamiseen käytettyjen lokien keräämisen toteuttavaa ohjelmakoodia. Mainitun kaltaiset lokitiedostot kertovat mitattujen arvojen ohella hyvin täsmällisesti mittauksen suorituspaikan sijainnin, päivämäärän ja kellonajan.

Tietenkään kaikki paikkatietoihin liittyvät tietoturvatekijät eivät ole ohjelman kehittäjän hallittavissa. Myös pelkkä langattoman lähiverkon käyttäminen saattaa asettaa laitteen ja henkilön alttiiksi tietoturvariskeille. (Mathieu Cunche, I know your MAC Address: Targeted tracking of individual using Wi-Fi. 2013.)

LÄHTEET

Facebook, Inc., 2013-2015. React Docs. Luettu 17.10.2015

<https://facebook.github.io/react/docs/>

Facebook, Inc., 2013-2015. BSD License for React software. Luettu 17.10.2015.

<https://github.com/facebook/react/blob/master/LICENSE>

Facebook, Inc., 2014-2015. Flux documentation. Luettu 19.10.2015.

<https://facebook.github.io/flux/docs/>

Libscore, 2015. React search. Luettu 17.10.2015.

<http://libscore.com/#React>

Michael Hart, 2015. react-server-example. Luettu 18.10.2015.

<https://www.npmjs.com/package/react-server-example>

Reapp, 2015. Reapp documentation. Luettu 18.10.2015.

<http://reapp.io/ui.html>

Webpack, 2015. Webpack documentation. Luettu 19.10.2015.

<http://webpack.github.io/docs/>

The Apache Software Foundation, 2015. Apache Cordova documentation. Luettu 18.10.2015.

<https://cordova.apache.org/docs/en/5.1.1/guide/overview/>

Git, Software Freedom Conservancy, 2015. Git –fast-version-control. Luettu 18.10.2015.

<https://git-scm.com/about/>

National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. Official U.S., 2015. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. Luettu 19.10.2015.

<http://www.gps.gov>

Berg Insight, 2012. GPS and mobile handsets. Luettu 19.10.2015.

<http://www.berginsight.com/ReportPDF/Summary/bi-gps4-sum.pdf>

William J. Hughes Technical Center, 2014. FAA GPS Performance Analysis Report. Luettu 19.10.2015.

http://www.nstb.tc.faa.gov/reports/PAN86_0714.pdf

United States of America, Department of Defense, 2008. Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard. Luettu 19.10.2015.

<http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>

Metropolitan Government of Nashville and Davidson County, Tennessee, 2014. Mayor Music City Center Unveil Wayfinding App. Luettu 31.10.2015.

<http://www.nashville.gov/News-Media/News-Article/ID/3477/Mayor-Music-City-Center-Unveil-Wayfinding-App>

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2010. Near Field Communications, NFC-työryhmän loppuraportti. Luettu 31.10.2015.

http://www.lvm.fi/docs/fi/1551284_DLFE-11779.pdf

David Sachs, Google Tech Talk, Sensor Fusion on Android Devices: A Revolution in Motion Processing, 2.8.2010. Katsottu 2.11.2015.

<https://www.youtube.com/watch?v=C7JQ7Rpwn2k>

J.P. Martin & M. Panario, School of Engineering – University of Buenos Aires, Argentina, 2009. Fast-Trilateration + Cell-ID Method for Mobile Phones Location Estimation. Luettu 2.11.2015.

<http://web.fi.uba.ar/~jmartin/Fast-Trilateration.pdf>

Goran M. Djuknic & Robert E. Richton, Bell Laboratories, Lucent Technologies, 2001. Geolocation and Assisted GPS. Luettu 3.11.2015.

http://www.cs.columbia.edu/~drexel/CandExam/Geolocation_assistedGPS.pdf

Frank Stephen Tromp Van Diggelen, 2009. A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS. Yhdysvallat: Artech House.

Proxim, ORiNOCO AP-700 User guide, 2006.

[http://www.intelek.cz/db/repository.nsf/v/E913B7018BED9E7BC125736600675368/\\$file/Manual_Orinoco_Access_Point_AP-700.pdf](http://www.intelek.cz/db/repository.nsf/v/E913B7018BED9E7BC125736600675368/$file/Manual_Orinoco_Access_Point_AP-700.pdf)

Jaewoo Chung, Matt Donahoe, Chris Schmandt, Ig-Jae Kim, Pedram Razavai, Micaela Wisemam, MIT Media Laboratory, 2011. Indoor Location Sensing Using Geo-Magnetism. Luettu 17.11.2015.

<https://www.media.mit.edu/speech/papers/2011/positioning.systems.pdf>

Andrei Popescu, Google, Inc., 2014. W3C Geolocation API Specification. Luettu 21.11.2015.

<http://dev.w3.org/geo/api/spec-source.html>

Google Inc. Google Maps APIs, 2015. Luettu 27.11.2015.

<https://developers.google.com/maps/>

Rik Cabanier, Jatindir Mann, Jay Munro, Tom Wiltzius & Ian Hickson, 2015. W3C HTML Canvas 2D Context API Specification. Luettu 27.11.2015.

<http://www.w3.org/TR/2dcontext/>

Matt Parsons, WifiWizard GitHub, 2015. Luettu 27.11.2015.

<https://github.com/parsonsmatt/WifiWizard>

Mathieu Cunche, University of Lyon, 2013. I know your MAC Address: Targeted tracking of individual using Wi-Fi. Luettu 27.11.2015.

https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/858324/filename/Wi-Fi_Stalking.pdf

Paul A. Zandbergen, Department of Geography, University of New Mexico. Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning, 2009. Luettu 27.11.2015.

http://www.paulzandbergen.com/PUBLICATIONS_files/Zandbergen_TGIS_2009.pdf

Joe Bardwell, Converting Signal Strength Percentage to dBm Values, 2002. Luettu 30.11.2015.

http://madwifiproject.org/attachment/wiki/UserDocs/RSSI/Converting_Signal_Strength.pdf?format=raw

LIITTEET

Liite 1. Esimerkki mittauspöytäkirjasta.

Mittaus 1. Tampereen Messu- ja Urheilukeskus 19.11.2015
Vastaanotetun signaalin teho suhteessa etäisyyteen, vapaa tila

15m Front	Location-1
Average:	-58,18
Min:	-68
Max:	-56
Stdev.s:	3,07

SSID / name	RSSI / dBm	Frequency / MHz	Scantime / ms
Location-1	-68	2412	30
Location-1	-68	2412	8
Location-1	-68	2412	12
Location-1	-68	2412	39
Location-1	-68	2412	19
Location-1	-68	2412	14
Location-1	-68	2412	16
Location-1	-56	2412	19
Location-1	-56	2412	11
Location-1	-56	2412	30
Location-1	-56	2412	32
Location-1	-56	2412	31
Location-1	-56	2412	25
Location-1	-56	2412	28
Location-1	-56	2412	22
Location-1	-58	2412	27
Location-1	-58	2412	30
Location-1	-58	2412	22
Location-1	-58	2412	20
Location-1	-58	2412	16
Location-1	-58	2412	29
Location-1	-58	2412	23
Location-1	-60	2412	16
Location-1	-60	2412	15
Location-1	-60	2412	23
Location-1	-60	2412	16
Location-1	-60	2412	16
Location-1	-60	2412	16
Location-1	-60	2412	15
Location-1	-59	2412	32
...
Location-1	-59	2412	18