



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TONI NOPANEN
SISÄTILAPAIKANTAMINEN ILMAN VERKKOYHTEYTTÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Kari Systä
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
9. elokuuta 2017

TIIVISTELMÄ

TONI NOPANEN: Sisätilapaikantaminen yhteydettömässä tilassa
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 42 sivua
Elokuu 2017
Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Ohjelmistotuotanto
Tarkastaja: professori Kari Systä

Avainsanat: sisätilapaikannus, yhteydetön, wifi-paikannus, online

Sisätilapaikantaminen on suuressa kasvussa oleva tutkimuskohde. Sisätilapaikantamiselle etsitään koko ajan uusia mahdollisia ratkaisuja. Erilaisten sisätilapaikannusratkaisujen halutaan suoriutuvan paikantamisesta sisätiloissa muutamien metrien tarkkuudella. Näille sisätilapaikannusratkaisuille on jo olemassa useita erilaisia käyttökohteita, kuten navigointi lentokentillä ja ostoskeskuksissa. Edellä mainittujen lisäksi sisätilapaikannusratkaisujen käyttökohteisiin kuuluvat kohdennettu mainonta, käyttäjien seuranta ja lokaalit haut. Kuten huomataan, sisätilapaikannusratkaisuille on olemassa monia käyttökohteita, joissa muutamien metrien tarkkuudesta on suuresti hyötyä.

Sisätilapaikantaminen voidaan käytännössä toteuttaa kahdella eri arkkitehtuurilla: yhteydellisellä tai yhteydettömällä tilalla. Yhteydellisessä tilassa toteutettu järjestelmä vaatii jatkuvan verkkoyhteyden, mutta se tarjoaa useita ohjelmistokehittäjiä helpottavia ominaisuuksia, kuten yksinkertaisemman algoritmien päivittämisen. Yhteydettömässä tilassa toimiva järjestelmä taas tarjoaa nimensä mukaisesti ilman verkkoyhteyttä toimivaa paikannusta, mistä on esimerkiksi hyötyä parkkihalleissa ja muissa sijainneissa, joissa ei ole verkkoyhteyttä saatavilla.

Työssä tutustutaan ja vertaillaan näitä kahta toteutustapaa sekä esitellään sisätilapaikantamisen nykytilaa ja sen tulevaisuutta. Näiden lisäksi tässä työssä esitellään yhteydettömässä tilassa toimivan järjestelmän toteuttamisen haasteita ja ongelmia, sekä pohditaan, kuinka valmista järjestelmää voitaisiin yhä kehittää eteenpäin paremmaksi.

ABSTRACT

TONI NOPANEN: Indoor positioning in offline mode

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 42 pages

August 2017

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Software Engineering

Examiner: Professor Kari Systä

Keywords: indoor positioning, offline, online, wifi-positioning

Indoor positioning is a subject that has gained a lot of interest. New solutions for indoor positioning techniques are being researched all the time. Strict requirements for the positioning quality have resulted for these researches. It should be able to provide positioning accuracy of less than a couple of meters. Use cases of indoor positioning currently include navigation in airports and shopping malls. Other use cases are targeted advertising, tracking of user movements and localized searches. As can be realized, it has a myriad of use cases which are able to utilize the positioning accuracy of a couple meters.

Indoor positioning can be currently completed in two different modes: online or offline. In online mode, active network connection is required all the time but it has benefits that help the software engineers, such as easier way to update algorithms. In offline mode, positioning works without active network connection which is especially useful in places such as parking halls and other locations without active network connection.

This thesis introduces and compares these two ways of building indoor positioning systems. It also introduces the current situation and future of indoor positioning. On top of these things, this thesis showcases problems and challenges faced when building an indoor offline positioning system. It also discusses how to improve and move forward with this system to create better positioning experience.

ALKUSANAT

Työn aiheen antoi sisätilapaikantamiseen keskittynyt yritys IndoorAtlas Oy, jota haluan kiittää työn tekemisen mahdollistamisesta sekä sen ohjaamisesta. Työn ohjaajana toimi Tampereen Teknillisen Yliopiston puolesta tietotekniikan laitokselta Kari Systä, jota haluan kiittää työn ohjaamisesta sekä varmistamisesta siitä, että työ eteni oikeaan suuntaan.

Erityisesti haluan kiittää vanhempiani ja veljeäni työni tukemisesta. Kiitokset kuuluvat myös ystävälleni Nooralle, joka piti huolen seikkailuista sekä kannusti työn tekemisessä.

Tampereella, 17.08.2017

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Toni', followed by a long horizontal line that ends in a small flourish.

Toni Nopanen

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | JOHDANTO | 1 |
| 1.1 | Tausta | 1 |
| 1.2 | Diplomityön tavoite | 2 |
| 1.3 | Diplomityön rakenne | 3 |
| 2. | SISÄTILAPAIKANNUS..... | 5 |
| 2.1 | Nykytila..... | 5 |
| 2.2 | Hyödyt..... | 6 |
| 2.3 | Eri toteutustavat | 7 |
| 2.3.1 | Beaconit | 8 |
| 2.3.2 | Wi-Fi..... | 9 |
| 2.3.3 | Magneettikenttä | 12 |
| 2.4 | Käyttäjän paikantaminen..... | 13 |
| 2.5 | Haasteet..... | 16 |
| 2.5.1 | iOS ja Android | 17 |
| 3. | YHTEYDELLINEN JA YHTEYDETÖN..... | 19 |
| 3.1 | Yhteydellinen | 20 |
| 3.1.1 | Hyödyt | 20 |
| 3.1.2 | Haitat..... | 21 |
| 3.2 | Yhteydetön..... | 23 |
| 3.2.1 | Hyödyt | 23 |
| 3.2.2 | Haitat..... | 25 |
| 4. | YHTEYDETTÖMÄN SISÄTILAPAIKANNUKSEN TOTEUTUS..... | 28 |
| 4.1 | Yleiset vaatimukset | 29 |
| 4.2 | Datan lataaminen palvelimelta..... | 30 |
| 4.3 | Datan käsittely laitteessa ja sen välittäminen eteenpäin | 31 |
| 4.4 | Sensorien lukeminen | 32 |
| 4.5 | Algoritmin toiminnallisuus | 32 |
| 4.6 | Arviointi..... | 33 |
| 4.7 | Kehitysehdotukset..... | 34 |
| 5. | TULEVAISUUS | 38 |
| 5.1 | 5G..... | 38 |
| 5.2 | Uudet käyttökohteet | 38 |
| 5.3 | Tulevaisuus ohjelmistokehittäjien kannalta | 39 |
| 6. | YHTEENVETO..... | 41 |
| | LÄHTEET..... | 43 |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|-----------------|--|
| AOA | engl. Angle of Arrival, radiosignaalin saapumiskulma |
| Beacon | Langaton laite, joka lähettää radiosignaalia ympäristöönsä |
| BLE | engl. Bluetooth Low Energy, yksityinen verkkoteknologia, jota käytetään muun muassa beaconeissa. |
| Eddystone | Googlen määrittelemää formaattia tukema beacon |
| FCC | engl. Federal Communications Commission, yhdysvaltalainen yritys, joka säännöstelee telealaa. |
| GNSS | engl. Global Navigation Satellite System, nimitys satelliittijärjestelmistä, jotka tarjoavat sijaintia maailman jokaisessa kohdassa. Sisältää muun muassa GPS, GLONASS ja Galileo. |
| GPS | engl. Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä |
| iBeacon | Applen määrittelemää formaattia tukema beacon |
| Joukkoistaminen | Hajautettu ongelmanratkaisumalli, jossa hyödynnetään yhteisön osaamista tiettyä tehtävää kohtaan |
| JSON | engl. Javascript Object Notation, kevyt dataformaatti. |
| POC | engl. Proof of Concept, todiste; todistetaan, että jokin asia on mahdollista ylipäänsä tehdä. |
| REST | engl. Representational State Transfer, arkkitehtuurimalli rajapintojen toteuttamiseen |
| TTY | Tampereen teknillinen yliopisto |
| TOA | engl. Time of Arrival, yhden radiosignaalin matkaan kulunut aika lähettimeltä vastaanottimelle |
| URL | engl. Uniform Resource Locator, verkkosivun osoite |
| Wi-Fi | IEEE 802.11 –standardia noudattama WLAN |
| WLAN | engl. Wireless Local Area Network, langaton lähiverkkotekniikka |

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Nykyään käyttäjien ja laitteiden paikantaminen onnistuu käytännössä ympäri maailman edellyttäen, että paikannuksen kohde on ulkotiloissa ja näköyhteydessä maata kiertäviin satelliitteihin. Käyttäjien paikantaminen ympäri maailman onnistuu GNSS-järjestelmien eli satelliittijärjestelmien avulla, mitkä tarjoavat sijaintia maailman jokaisessa kohdassa. Nämä järjestelmät eivät kuitenkaan tarjoa mahdollisuutta paikantaa käyttäjiä riittävällä tarkkuudella sisätiloissa. Sisätiloissa paikantamistarkkuudeksi ei riitä useat kymmenet metrit, vaan tarvitaan vähintään muutamien metrien tarkkuutta. Nämä vaatimukset ovatkin luoneet uusia haasteita teknologialle ja näin on syntynyt useita erilaisia toteutustapoja toteuttaa paikantaminen sisätiloissa [1].

Kysyntä paikantamiselle sisätiloissa on kasvanut suuresti, ja sisätilapaikantamisen käyttökohteet ovatkin vasta ratkeamassa [1]. Sisätilapaikantamisessa on tällä hetkellä olemassa useita ratkaisuja, sillä ei ole löydetty yhtä ratkaisua, joka sopisi kaikkiin käyttötapauksiin. Tämä on aiheuttanut sen, että usein joudutaan käyttämään useampaa toteutustapaa, jotta voidaan kattaa mahdollisimman monet käyttötapauksista.

Uusia käyttökohteita tällaiselle erittäin tarkalle paikantamiselle on jo olemassa useita, kuten navigointi kauppakeskuksissa, mainonta kaupoissa metrin tarkkuudella ja lokaalit haut [2]. Tällaiset ominaisuudet eivät olisi mahdollisia nykyisten GNSS-järjestelmien perusteella – näiden ratkaisuun tarvitaan jotain tarkempaa, kuten Wi-Fi:in, maan magneettikenttään tai beaconeihin perustuvaa paikannusta [3]. Näiden ratkaisujen yhdisteleminen hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi sisätilapaikantamisessa onkin normaalia, sillä jokaisella ratkaisulla on merkittäviä heikkouksia verrattuna toisiinsa.

Sisätilapaikantaminen on erittäin uusi tutkimusala ja sen ratkaisut ovat yhä kehittymässä [4]. Tämä on aiheuttanut sen, että tutkittavaa tällä alalla on paljon. Vaikka vielä ei ole vakiintunut mitään yhtä tapaa tämä toteuttaa, on olemassa useita yhteisiä tutkimuskohteita, jotka yhdistävät suurta määrää näistä eri toteutustavoista.

Yksi näistä yhteisistä tutkimuskohteista on datan käsittely ja sijainti laitteiden ja palvelimen välillä. Data ja datan toiminnallisuus eli algoritmi voivat sijaita joko laitteessa tai palvelimella. Data ja sen käsittely voi siis tapahtua joko yhteydellisessä tai yhteydettömässä tilassa. Toisin sanoen verkkoyhteys on joko käytössä tai ei. Molemmilla näistä on omat hyvät ja huonot puolensa, niin käyttäjien kuin järjestelmien kannalta. Tämä onkin

aihe, jota tulisi tutkia tarkemmin ja pyrkiä havaitsemaan molempien toteutustapojen hyödyt ja haitat.

Sisätilapaikantamisessa toisena merkittävänä aiheena on paikannettavien käyttäjien yksityisyys. Sisätilapaikantamisen yhteydessä onkin syytä pohtia, kuinka tällainen sijaintidata suojataan mahdollisimman hyvin ulkopuolisilta, sillä se tarjoaa paljon enemmän tietoa käyttäjistä kuin tavallisempi GNSS-järjestelmästä saatu epätarkempi sijaintidata. Edes GNSS-sijaintidatan seuraamisesta eivät käyttäjät yleensä iloitse – ongelma onkin suurempi, mitä tarkempaa sijaintidata on.

Lähitulevaisuudessa on olettavissa sisätilapaikantamisjärjestelmien kehittyminen eteenpäin nopealla aikataululla. Näin ollen onkin odotettavissa, että uusia ratkaisumalleja tulee löytymään lähivuosina yhä lisää.

Sisätilapaikannusjärjestelmien arkkitehtuurina on yleensä joko yhteydellinen (online) tai yhteydetön (offline) ratkaisu. Yhteydellinen tila käyttää koko ajan verkkoyhteyttä hyödykseen ja kaikki oleellinen data sijaitsee palvelimella, johon laitteet ovat sitten yhteydessä. Paikannus ei siis toimi ilman aktiivista verkkoyhteyttä. Yhteydettömässä tilassa aktiivinen verkkoyhteys ei ole tarpeellinen, sillä paikantamiseen tarvittavat algoritmit ja komponentit sijaitsevat itse laitteissa. Näin ollen paikantaminen toimii ilman verkkoyhteyttä.

1.2 Diplomityön tavoite

Tämän diplomityön tavoitteena on tutustua tarkemmin sisätilapaikantamiseen yhteydettömässä tilassa ja yhteydettömän tilan vaatimiin ominaisuuksiin verrattuna yhteydelliseen tilaan. Tarkoituksena on myös tutkia tarkemmin millaisia vaatimuksia, haasteita ja hyötyjä sisätilapaikantaminen yleisesti antaa ohjelmistotekniikan näkökulmasta. Työn tärkeimpänä kiinnostuksen ja tutkimuksen kohteena onkin sisätilapaikantaminen yhteydettömässä tilassa ja sen aiheuttamat haasteet ja hyödyt.

Työssä tutustutaan tarkemmin yhteydettömän sisätilapaikannusjärjestelmän rakentamiseen ja siinä kohdattuihin ongelmiin ja haasteisiin, joita ei välttämättä tule yhteydellisissä sisätilapaikannusjärjestelmissä vastaan. Työssä esitellään yhteydettömän sisätilapaikannusjärjestelmän toteuttaminen alusta loppuun ja pohditaan mitä vaatimuksia se asettaa tehtävälle järjestelmälle, niin tietoturvan kuin ohjelmistotekniikan kannalta.

Työssä myös esitellään sisätilapaikantamisen nykytilaa ja esitellään vaihtoehtoisia tapoja sen toteuttamiseen. Näistä myös pohditaan mitä mahdollisia hyötyjä ja haittoja niillä on toisiinsa verrattuna. Niistä siis tutkitaan, mihin jokainen niistä parhaiten sopii ja missä niitä ei ehdottomasti tulisi käyttää. Työssä tutkitaan mitä haasteita ja hyötyjä nämä vaihtoehtoiset toteutustavat tuovat ohjelmistotekniikan näkökulmasta. Sen lisäksi tutkitaan,

onko olemassa selkeästi parasta ratkaisua paikantamiseen sisätiloissa. Työssä siis tutkitaan kuinka, sisätilapaikantaminen toteutetaan parhaalla mahdollisella, mahdollisimman tietoturvallisella ja tehokkaalla tavalla.

Työssä on tarkoituksena vertailla yhteydettömiä ja yhteydellisiä teoreettisella tasolla. Työssä erityisesti esitellään mitä hyötyjä sekä yhteydetön että yhteydellinen sisätilapaikannusjärjestelmä tuo toisiinsa verrattuna. Työssä tulee myös ilmi millaisia haasteita nämä eri ratkaisut aiheuttavat niin ohjelmistokehittäjille kuin loppukäyttäjillekin. Muutamaa erityisesti näiden kahden toteutustavan välillä olevaa haastetta esitellään ja tutkitaan laajasti. Siinä myös pohditaan mihin käyttötarkoitukseen kumpikin näistä toteutustavoista sopisi parhaiten.

Loppujen lopuksi työssä on tarkoituksena pohtia näiden järjestelmien tulevaisuuden näkymiä. Millaisia haasteita niillä on mahdollisesti edessään, sekä millaisia kilpailijoita tälle alueelle on mahdollisesti tulossa lähitulevaisuudessa. Näiden lisäksi pohditaan, millaisia käyttökohteita sisätilapaikantamisella tulee olemaan tulevaisuudessa sekä kuinka sitä voidaan hyödyntää parhaimmalla mahdollisella tavalla. Työssä pohditaan myös, kuinka tämänhetkisiä ratkaisuja voidaan mahdollisesti käyttää tulevaisuudessa. Eli kuinka niistä saadaan mahdollisimman suuri hyötyä myös tulevaisuudessa ohjelmistotekniikan kanalta.

1.3 Diplomityön rakenne

Työ koostuu kuudesta luvusta, joista ensimmäisessä esitellään yleiset asiat työstä ja johdatetaan aiheeseen. Ensimmäisessä luvussa esitellään sisätilapaikantamisen taustaa ja esitellään myös tämän työn motivaatio ja tutkimuksen kohteet.

Toisessa luvussa keskitytään sisätilapaikannukseen ja sen tämän hetkiseen tilaan. Siinä esitellään mihin sisätilapaikannusratkaisuja tällä hetkellä käytetään ja mitä hyötyjä niillä saavutetaan tällaisissa käyttökohteissa verrattuna tavallisimpiin GNSS-pohjaisiin ratkaisuihin, joissa epätarkkuus on huomattavasti suurempi. Siinä myös esitellään, mitkä ovat tällä hetkellä yleisesti käytössä olevat sisätilapaikannusratkaisut. Kilpailu tällä osa-alueella on erittäin kovaa, sillä nyt yritetään löytää yksinkertaista ja mahdollisimman taloudellista ratkaisua. Luvussa kaksi esitellään myös sisätilapaikannuksen perusidea ja kuinka se on mahdollista toteuttaa.

Työn kolmas luku keskittyy vertailemaan mitä hyötyjä sekä mahdollisia haittoja yhteydetön sisätilapaikannus tuo verrattuna yhteydellisessä tilassa toteutettuun. Luvussa tuodaan esille kaikista tärkeimmät hyödyt ja haitat, mitä kummallakin toteutustavalla saavutetaan. Kolmannessa luvussa esitellään myös käyttökohteita, jotka sopivat paremmin jommallekummalle toteutustavalle. Eli käyttökohteita, joiden perusteella jommankumman, yhteydettömän tai yhteydellisen sisätilapaikannuksen, käyttäminen on erittäin perusteltua.

Neljäs luku esittelee, kuinka yhteydetön sisätilapaikannusjärjestelmä toteutettiin ja mitä haasteita siinä tuli vastaan. Siinä kerrotaan myös tällaisen ilman verkkoyhteyttä toimivan järjestelmän toimintaperiaate. Luku siis kuvaa käytännössä kaikki oleelliset haasteet, mitä tällaista järjestelmää tehdessä tuli vastaan sekä kuinka niistä selvittiin. Luvussa keskitytään erityisesti siihen, kuinka data kulkee laitteen ja muualla sijaitsevan palvelimen välillä mahdollisimman tehokkaasti ja tietoturvallisesti.

Viides luku tutkii ja pohtii sisätilapaikannusjärjestelmien tulevaisuutta. Mietitään mitä mahdollisia tulevaisuuden käyttökohteita tällaisilla järjestelmillä on, ja mitä hyötyjä niistä mahdollisesti saavutetaan. Luvussa esitellään myös lähitulevaisuudessa tulevia ratkaisuja, jotka helpottavat ja mahdollisesti haastavat nykyisiä toteutustapoja, joilla sisätilapaikantaminen on mahdollista toteuttaa.

Kuudes luku sisältääkin yhteenvedon työssä esitellyistä aiheista, tutkimuksista ja vertailuista sekä näiden kaikkien vaikutuksista sisätilapaikantamiseen ja sen tulevaisuuteen. Kuudennesta luvusta löytyykin tiivistettynä tärkeimmät työssä tehdyt havainnot sisätilapaikantamisesta.

2. SISÄTILAPAIKANNUS

2.1 Nykytila

Kilpailu sisätilapaikannuksessa on kovaa, sillä useat eri toimijat yrittävät löytää mahdollisimman yksinkertaista, taloudellista ja energiatehokasta ratkaisua toteuttamaan paikantamisen sisätiloissa. Näiden lisäksi järjestelmältä halutaan myös mahdollisimman hyvää tarkkuutta ja luotettavuutta. Järjestelmältä vaaditaan myös vähäistä määrää uuden laitteiston asentamista sekä pieniä huoltokustannuksia [5]. Sisätilapaikannus on melko uusi aihealue ja tämän seurauksena ratkaisuja onkin tällä hetkellä olemassa monia, sillä vielä ei ole vakiintunut mitään tiettyä yleistä toteutustapaa. Markkinoilla olevat sisätilapaikantamisen ratkaisut eroavatkin toisistaan: toiset järjestelmät eivät tarvitse mitään uusia asennettavia laitteita - toiset taas tarvitsevat kaikkiin haluttuihin paikannuspaikkoihin asennettavat beaconit.

Suurimpia syitä siihen miksei sisätilapaikannuksessa ole vielä löytynyt vakiintunutta ratkaisua, on sisätilojen monimutkaisuus ja niiden aiheuttamat rajoitteet [1, 6]. Sisätilassa ollessa yhteydet erilaisiin paikannusjärjestelmiin, kuten GPS, heikkenevät eivätkä ne tämän takia tarjoa tarpeeksi tarkkaa tarkkuutta [7, 8]. Esimerkiksi GPS:lle aiheutuu ongelmia sisätiloissa, koska näköyhteys satelliitteihin ei ole suurimmaksi osaksi mahdollinen. Sisätilat ovat rakenteeltaan muutenkin monimutkaisempia niiden sisältämien esteiden, kuten seinien, ihmisten ja muiden signaalien takia. Nämä esteet aiheuttavat GPS:ssä multipath-ongelmaa, eli signaali heijastuu muista paikoista ja näin ei voida päätellä oikeaa sijaintia [7]. Kaiken lisäksi sisätiloissa ollessa toivotaankin yleensä enintään muutamien metrien epätarkkuutta - muuten paikannuksesta ei ole mitään hyötyä [5]. Kuten huomataan, sisätilapaikantaminen vaatii omat ratkaisut, jotta näiden vaatimusten toteuttaminen on mahdollista.

Sisätilapaikantaminen on suuressa nousussa ja onkin saanut paljon huomiota, niin tutkijoiden kuin yritystenkin suunnalta. Sisätilapaikantaminen on myös saanut paljon kaupallista kiinnostusta [1]. Siihen löytyy jo useita erilaisia ratkaisuja, joista jokaisella on omat hyötynsä ja haasteensa. Kysyntää sisätilapaikantamiselle siis on, kuten selviää alan julkaisuista [6] ja [5]. Nämä julkaisut esittelevätkin sisätilapaikantamisen vaatimuksia sisätilapaikantamiseen tehtäville järjestelmille. Ne esittelevät muun muassa vaatimuksia, jotka parantavat käyttäjäkokemusta tällaisissa järjestelmissä, kuten pieni vasteaika.

Sisätilapaikantamisen ongelmien ratkaiseminen on myös erittäin tärkeää tulevaisuudessa, sillä esimerkiksi FCC on ehdottanut, että sisätiloissa tehdyt hätäpuhelut tulisi pystyä paikantamaan [1]. Se on siis käytännössä yleisen turvallisuuden ongelma, koska suurin osa sisällä tehtävistä hätäpuheluista tehdään mobiililaitteilla eikä kiinteissä sijainneissa olevilla lankapuhelimilla. Tämän lisäksi sisätilapaikantaminen ja sen käyttökohteet tulevat

aivan varmasti kasvamaan tulevaisuudessa yhä enemmän – koko ajan löydetään uusia käyttökohteita, joissa sitä voidaan hyödyntää. Myös ilmiselvät tapaukset, kuten ihmisen paikantaminen hätäpuhelun aikana entistä tarkemmin tulee selkeästi olemaan tärkeä ja mahdollisesti ihmishenkiä pelastava käytötapaus.

2.2 Hyödyt

Sisätilapaikantamiselle on selkeästi kysyntää, mikä näkyy siinä, että se on melko uusi aihealue ja ratkaisuja on jo olemassa useita. Sisätilapaikantaminen tarjoaa useita hyötyjä, jotka eivät ole olleet aiemmin mahdollisia muilla paikannusjärjestelmillä, kuten GNSS-pohjaisilla. Tämän hetkisiä käyttökohteita sisätilapaikantamiselle ovat muun muassa navigointi erilaisissa rakennuksissa, kuten suurissa metroasemissa, varastoissa, ostoskeskuksissa, lentokentillä ja sairaaloissa. Sisätilapaikantamista voidaan myös käyttää mainontaan kaupossa, käyttäjien liikkumisen seurantaan, lokaaliin hakuun ja museo-opastukseen [5]. Se onkin kerännyt paljon kaupallista kiinnostusta ja tulevaisuudessa tulee varmasti paljon uusia käyttökohteita[1].

Sisätilapaikannus tuo suuren hyödyn kaikkialle, missä erittäin tarkka sijaintitieto on hyödyllistä [2]. Käyttäjien seuranta kaupassa avaa mahdollisuudet uudenlaiseen analysointiin heidän ostotoiminnastaan ja liikkeistään. Sisätilapaikannus mahdollistaa myös mainosten esittämisen käyttäjän ollessa tuotteen vieressä eikä kymmenien metrien etäisyydellä [9]. Mainokset voivat olla, esimerkiksi muuttuvia tarjouksia kyseisestä tuotteesta, mitkä ovat tarkoitettu vain kyseiselle käyttäjälle. Kaupat voivat myös tällaisten järjestelmien avulla nähdä miten käyttäjät kyseisessä kaupassa liikkuvat. Tämän avulla kaupan tuotteiden sijoittelua ja asiakkaiden viihtyvyyttä kaupassa voidaan mahdollisuuksien mukaan parantaa.

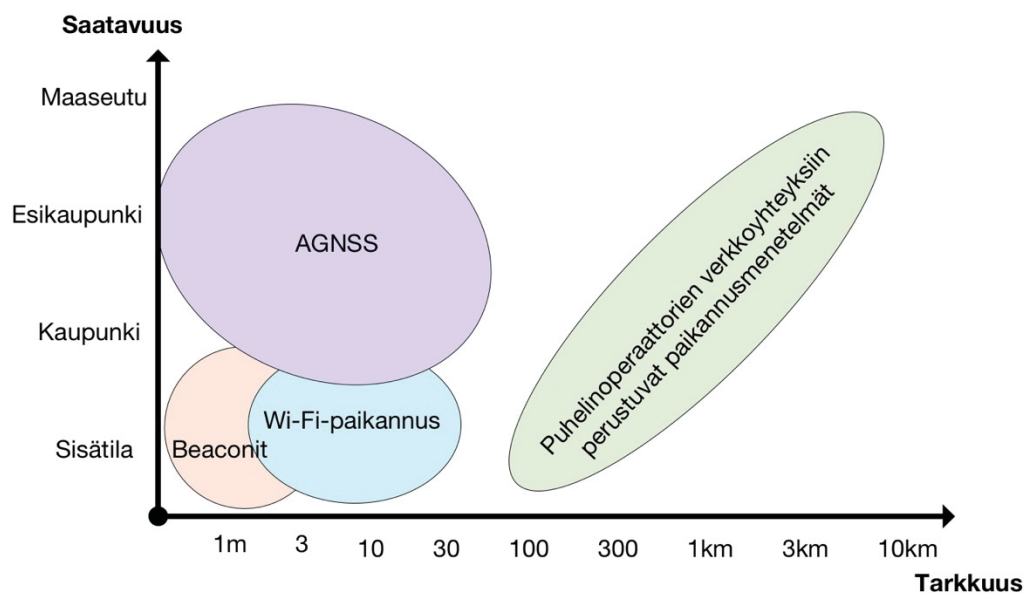
Sisätilapaikannus antaa käyttäjille myös mahdollisuuden paremmin navigoida suurilla metro- ja juna-asemilla, mitkä ovat usein erittäin monimutkaisia ja monitasoisia rakennelmia [9]. Erityisesti tällaisilla asemilla sisätilapaikannuksesta on huomattavaa hyötyä käyttäjille, kun he voivat nähdä metrin tarkkuudella missä he liikkuvat ja mihin heidän tulisi seuraavaksi mennä. Tämä sama pätee myös käyttäjien opastukseen niin lentokentillä, ostoskeskuksilla kuin sairaaloissa. Sisätilapaikantaminen siis parantaa loppukäyttäjien käyttökokemusta. Käyttäjät arvostavatkin, kun voivat löytää helpommin kohteeseensa monimutkaisissa rakennuksissa. Näiden tietojen perusteella rakennusten navigointia voidaan myös parantaa ja näin ollen helpottaa kohteiden löytämistä.

Sisätilapaikannus avaa myös uudenlaisen mahdollisuuden interaktiivisille museokierroksille. Kun tiedetään erittäin tarkasti missä käyttäjä sijaitsee, voidaan sille näyttää juuri sillä hetkellä olevaa relevanttia tietoa, mahdollisesti käyttäjän sillä hetkellä katsomasta esineestä. Tällaiset käyttötapaukset vievät myös museot ja niiden teknologian nykyaikaan ja mahdollistavat samaan aikaan käyttäjien paremman seurattavuuden läpi museoiden. Voidaan esimerkiksi havaita, mitkä asiat näyttelyssä olivat kaikista kiinnostavimmat ja

minkä luona käyttäjät viettivät eniten aikaa. Tällaista tietoa voidaan käyttää tulevaisuudessa hyödyksi uusissa näyttelyissä.

Sisätilapaikantaminen tuo myös hyötyjä ohjelmistoliiketoiminnalle, sillä se mahdollistaa uusien sovellusten kehittämisen, mihin ei ole ollut aiemmin tarvetta, kuten edellä mainituista hyödyistä voidaan havaita. Se luo myös uusia käyttökohteita aiemmin tehdyille paikannussovelluksille, kun nyt niitä voidaan mahdollisesti käyttää myös sisätiloissa. Toisaalta sisätilapaikantaminen aiheuttaa aina suuria muutoksia eri sovellusten alkuperäiseen toimintaan, jotta se saadaan toimimaan loogisesti sekä ulkona että sisällä: missä menee raja, milloin käytetään GNSS-järjestelmää ja milloin sisätilaan asennettua järjestelmää.

2.3 Eri toteutustavat



Kuva 1. Nykyiset paikannusratkaisut [5]

Kuten Kuva 1 näyttää, paikannusratkaisuja on olemassa useita, ja jokaiselle niistä on omat käyttötarkoituksensa ja -tarpeensa. Kaikki niistä eivät sovi sisätilapaikantamiseen, kuten AGNSS tai matkapuhelinverkkopohjaiset ratkaisut. Ainoastaan beaconien ja Wi-Fi:n voidaan ajatella tarjoavan tarpeeksi tarkkuutta sisätilapaikantamiseen.

Mikään ratkaisu ei tarjoa ratkaisua kaikkiin ongelmiin, vaan jokaisella sisätilapaikannusratkaisulla on omat hyötynä ja haittansa, mistä tärkeimmät esitellään seuraavaksi. Sisätilapaikannuksen voi toteuttaa joko beaconeilla, Wi-Fi:n avulla tai suoraan käyttämällä maan magneettikenttää. Ainoastaan maan magneettikentän käyttäminen ei vaadi uusia laiteinvestointeja - vaan kaiken voi toteuttaa jo olemassa olevalla laitteistolla.

Käytännössä mitä huonompi tarkkuus käyttöön riittää, sitä nopeampaa sijainnin määrittäminen onnistuu. Toisaalta, jos halutaan tarkempaa tarkkuutta, niin silloin sijainnin määrittäminen yleensä hidastuu. Sisätilapaikannusjärjestelmää toteutettaessa joudutaan myös tekemään valintoja suorituskyvyn, järjestelmän monimutkaisuuden ja hinnan välillä [7]. Eli toteutettavan paikannusjärjestelmän arkkitehtuuriset päätökset eivät ole triviaaleja ja ne vaikuttavat suuresti käyttäjäkokemukseen, kuten Wirolan julkaisuista [2, 5] selviää. Toisaalta on myös muistettava, että sijainnin määrittäminen erilaisten algoritmien kautta on stokastista ja siinä tulisi myös aina ottaa huomioon virheen osuus pelkän tarkkuuden sijasta. Sijainnin määrittäminen ei ole siis yksinkertaista. Erityisesti, jos tutkitaan vain pelkkää tarkkuutta, saatetaan tehdä vääriä johtopäätöksiä paikantamisen laadusta.

Tulisikin mieluummin olla varmoja, että käyttäjä on jonkin epävarmuusalueen sisäpuolella kuin tarkalleen järjestelmän laskemassa tietyssä pisteessä. Näin myöskään uusia käyttökohteita tehtäessä ei tehtäisi vääriä oletuksia paikantamisen tarkkuudesta ja käyttäjän sen hetkisestä sijainnista.

2.3.1 Beaconit

Paikantaminen beaconien avulla perustuu käyttäjien etäisyyteen tilaan asennetuista beaconeista. Kun käyttäjä on tarpeeksi lähellä beaconia, hänen mobiililaitteensa havaitsee sen ja voidaan päätellä, missä käyttäjä sijaitsee. Mitä enemmän tilassa on beaconeita, sitä paremmin käyttäjän sijainti voidaan määrittellä. Beaconeita tarvitaan kuitenkin useampia ennen kuin niiden avulla voidaan määrittää käyttäjän sijainti luotettavasti ja tarpeeksi tarkasti.

Beacon-toteutukset perustuvat tiloihin asennettaviin beaconeihin, jotka yleensä toimivat iBeacon -tai Eddystone-tilassa. Mahdollisesti myös molemmissa, riippuen aina beaconien ominaisuuksista. Näistä iBeacon on Applen kehittämä beaconformaatti ja Eddystone taas vastaavasti Googlen kehittämä avoin formaatti [10, 11]. Molempien formaattien toiminnallisuus on käytännössä sama, vaikka Eddystone tarjoaakin hieman monipuolisempia ominaisuuksia, kuten valmiin URL:n, jonka loppukäyttäjät voivat nähdä suoraan. Tämän lisäksi Eddystone-beaconit lähettävät telemetriadataa, jonka avulla nähdään beaconien ja siihen kytkettyjen sensorien sen hetkinen status, kuten akkujen tila. Suosituin maailmalla tällä hetkellä kuitenkin on Applen tukema iBeacon-formaatti [9, 12-14].

Toisaalta beaconeissa on haasteena myös niiden eroavaisuudet eri valmistajien kesken. Kaikki beaconit eivät välttämättä noudata niille määriteltyjä standardeja. Tällaiset standardista eroavat beaconit saattavat aiheuttaa ongelmia niin paikannuksessa kuin niiden havaitsemisessa. Tämä siis vaatii, että jokainen beacon tarkistetaan erikseen, jotta ne olisivat mahdollisimman lähellä standardia. Toisaalta, beaconeita apunaan käyttävät järjestelmät on tehtävä niin vikasietoisiksi, että tällaiset standardista eroavat beaconit eivät aiheuta sille suuria ongelmia.

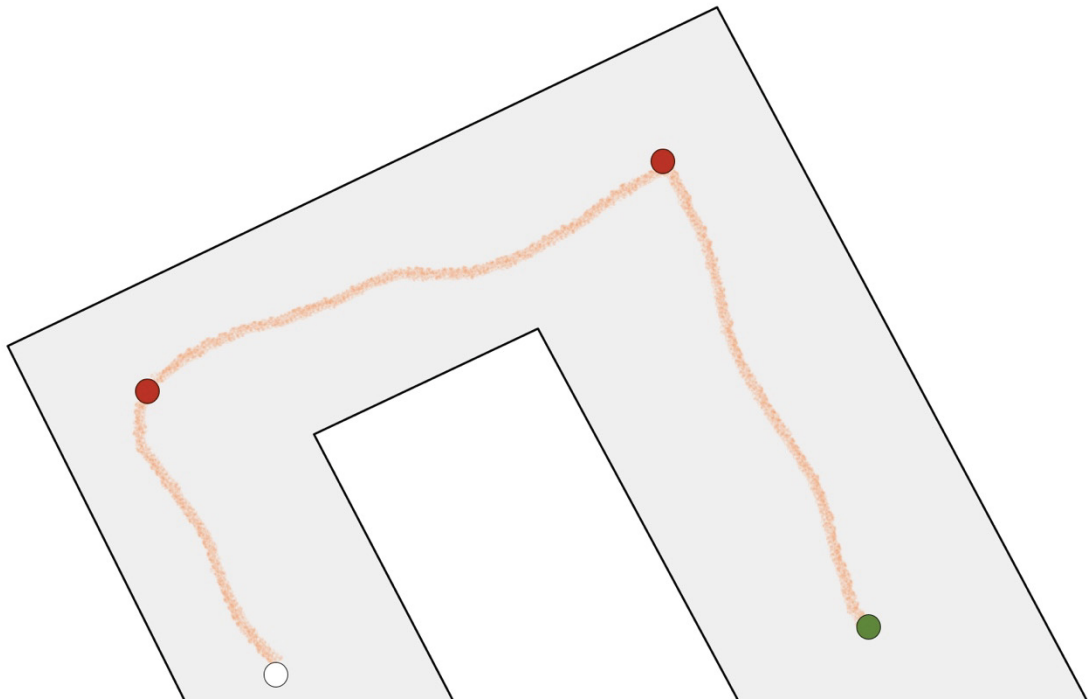
Beaconeissa on kuitenkin haasteena niiden sijoittaminen [9]. Tämä tulee pohtia tarkkaan, sillä riippuen beaconin sijainnista, se voi lähettää signaaliensa jopa 10-30 metrin päähän. Tämä tapahtuu silloin, kun beacon on asennettu seinälle. Vastaavasti, kun beacon on asennettu kattoon, on sen lähettämän signaalin etäisyys vain noin 5-10 metriä. Kuten huomataan, niiden asentaminen on haastavaa, mikä tuo monia uusia haasteita niiden käyttöön. Beaconeja asentaessa tulee tutkia mihin asti beaconien kantama riittää, ja käyttäytyvätkö melkein samanlaisissa paikoissa olevat beaconit samalla tavalla. Nämä vaativat paljon paikan päällä testaamista, jotta voidaan olla varmoja niiden toiminnasta.

Beaconeiden haasteellisuuden takia niitä käytetäänkin yleensä apuna muissa paikannusmetodeissa, kuten Wi-Fi-paikantamisessa. Beaconeiden avulla paikantamisen aloitustarkkuutta ja nopeutta voidaan parantaa huomattavasti. Niitä voidaan käyttää myös erottamaan eri kerrokset toisistaan, jos käytössä on esimerkiksi sama Wi-Fi-ympäristö. Niitä voidaan esimerkiksi asentaa rappusten ja hissien yläpäähän, jotka eri laitteet sitten havaitsevat ja tietävät heti missä kerroksessa ovat. Erityisesti niistä on hyötyä iOS-laitteiden paikantamisessa, jotta saadaan mahdollisimman nopeasti ensimmäinen suuntaa antava tieto laitteen sijainnista.

2.3.2 Wi-Fi

Wi-Fi-perustaiset ratkaisut perustuvat mahdollisuuksien mukaan laitteen tukemaan Wi-Fi-skannaustukeen. Tämän avulla on tarkoituksena kerätä dataa lähellä olevista tukiasemista. Kerättyä dataa voidaan siten verrata aiemmin kerättyyn sensoridataan kyseisessä paikassa olevista tukiasemista ja muista laitteen sensoreihin vaikuttavista ominaisuuksista. Näin voidaan laskea laitteen sen hetkinen sijainti käyttäen hyödyksi kappaleessa 2.4 esiteltäviä tekniikoita.

Alan julkaisun [6] mukaan Wi-Fi:stä tulee yleisin tapa ratkaista sisätilapaikannusongelmia. Tämä voidaan myös todeta jo sillä perusteella, että Wi-Fi löytyy käytännössä jokaisesta mahdollisesta rakennuksesta. Wi-Fi-tukiasemilla on myös laaja peittoalue, mikä vähentää niiden tarvittua määrää per paikannettava rakennus. Wi-Fi-perustaiset ratkaisut vähentävätkin mahdollisesti tarvittavien uusien laitteiden asentamista, koska voidaan käyttää jo olemassa olevaa infrastruktuuria.



Kuva 2. Kerättävä Wi-Fi-data [15]

Kerättävä Wi-Fi-data on käytännössä lähellä olevista tukiasemista saatua dataa. Kuva 2 havainnollistaa, kuinka kerätyn datan perusteella voidaan myös päätellä, minkälaisen reitin käyttäjä on laitteensa kanssa kulkenut. Käytännössä tähän samaan tietoon perustuu käyttäjän paikantaminen sen liikkumisen aikana.

Wi-Fi-ratkaisujen selkeänä hyötynä ovat niiden globaali jo olemassa infrastruktuuri. Maailma on täynnä ostoskeskuksia, kouluja ja toimistoja, jotka ovat täynnä Wi-Fi-tukiasemia. Käytännössä myös jokainen nykyaikainen mobiililaitte sisältää Wi-Fi-tuen [16]. Wi-Fi:n avulla paikantaminen voidaan tehdä joko käyttäen apuna aiemmin kerättyä dataa (fingerprinting) tai suoraan sen hetkisen datan perusteella (triangulation).

Wi-Fi-ratkaisut eivät kuitenkaan tarjoa hopealuotia sisätilapaikantamiseen, sillä niissä on myös muutamia puutteita. Suurimpana ongelmana voidaan pitää Wi-Fi-tukiasemien dynaamisuutta: kuka tahansa voi pystyttää Wi-Fi-verkon ja myös siirtää sen sijaintia. Aikaisemmin pystytetyt Wi-Fi-verkot voivat myös muuttaa nimiänsä ja muita ominaisuuksia, minkä jälkeen aiemmin kerättyyn dataan perustuvien ratkaisujen on todella hankala arvioida laitteiden sijaintia.

Etenkin myöhemmin esiteltävää fingerprint-tekniikkaa käyttävien Wi-Fi-ratkaisujen suuren ongelma on, että niiden käyttämää tietokantaa on koko ajan päivitettävä uudelleen, jotta se pysyisi mahdollisimman ajan tasalla. Tietokantaan on siis koko ajan kerättävä muuttuneet tukiasemat, uudet tukiasemat, siirtyneet tukiasemat ja muuttuneet pohjapiirrokset, kuten selviää vaatimuksista sisätilapaikantamiselle [5]. Vanhentunut tietokanta tekee sisätilapaikantamisesta haastavaa, jos tukiasemien sijainnit, määrät ja nimet ovat

muuttuneet [16]. On kuitenkin todennäköistä, ettei kaikkien tukiasemien nimet muutu samaan aikaan, joten suurimmassa osassa tapauksia algoritmit pystyvät päättelemään sijainnin ainakin kohtuullisella tarkkuudella.

Tämän takia Wi-Fi-ratkaisut perustuvat usein joukkoistettuihin Wi-Fi-tietokantoihin. Wi-Fi-tietokantojen joukkoistamisella tarkoitetaan Wi-Fi-datan keräämistä kaikkien käyttäjien avulla – ei vain tiettyjen henkilöiden. Ilman joukkoistamista tällaisten tietokantojen ylläpito kävisi todennäköisesti liian kalliiksi, jotta sisätilapaikannusjärjestelmän ylläpito olisi taloudellisesti kannattavaa. Wi-Fi-ratkaisujen yhtenä esteenä yleistymiselle ovat tällaisten Wi-Fi-tietokantojen ylläpito ja niiden vaatima suuri työ määrä [17]. Datan kerääminen onkin yleensä työlästä ja aikaa vievää [1, 18].

Toisaalta myös joukkoistaminen tuo omat ongelmansa, sillä eri käyttäjien keräämä data saattaa olla eri muotoista riippuen käytetystä laitteesta. Tulisikin pohtia kuinka Wi-Fi-data pystyttäisiin keräämään mahdollisimman helposti ilman, että siihen vaikuttaisi laitteiden omat datatyypit [5, 16]. Eri käyttäjien keräämä data tulisikin normalisoida, ettei se aiheuttaisi myöhemmin ongelmia datan yhteneväisyyden kanssa.

Wi-Fi:ä hyödykseen käyttävien sisätilapaikannusjärjestelmien toimivuuteen vaikuttaa kuitenkin suuresti myös Wi-Fi:lle sekä muille signaaleille tyypilliset ongelmat. Suurimpina ongelmina ovat signaalin voimakkuuteen vaikuttavat tekijät, kuten liike, ihmisvarhala, tukiasemien päällekkäisyys ja rakennusten ovet sekä seinät [7]. Näiden vaikutukset paikannuksen tarkkuuteen saattavat olla suuret ja etenkin ennalta-arvaamattomat. Kuten voidaan huomata, jos Wi-Fi-dataa kerätään talteen tulisi siitä pyrkiä poistamaan kaikki mahdollinen ylimääräinen kohina, joilla voi olla mahdollisia haittavaikutuksia paikannuksen tarkkuuteen [19].

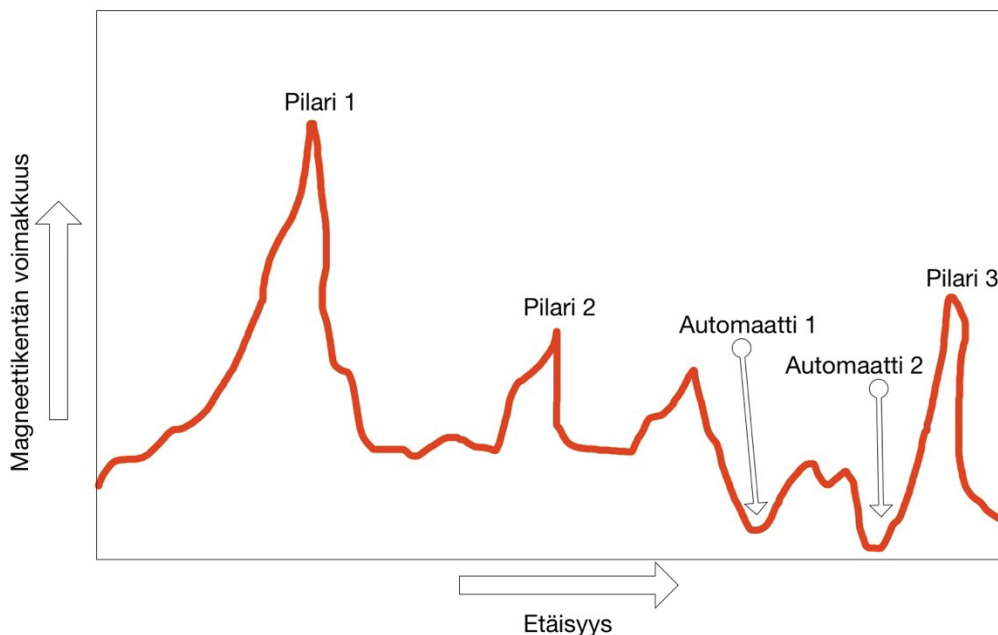
Wi-Fi-paikantamisessa ei kuitenkaan tarvitse olla käytössä aktiivista verkkoyhteyttä – pelkkä Wi-Fi:en skannaus riittää. Toki muut toteutustekniset asiat voivat vaatia verkkoyhteyden, kuten jos halutaan lähettää dataa palvelimelle koko ajan talteen käynnissä olevista paikannusessioista.

Yksi suuri haitta, mikä on olemassa etenkin Wi-Fi-ratkaisuihin perustuvissa paikannusjärjestelmissä, on niiden toimimattomuus mahdollisissa hätätilanteissa. Hätätilanteilla tässä tarkoitetaan tilanteita, kuten tulipalot, sähkökatkokset ja romahdukset. Näin ollen ei voida ajatella, että tällaista paikantamista käytettäisiin hyödyksi näissä hätätilanteissa, joissa Wi-Fi ei ole saatavilla. Tämä tarkoittaa sitä, että palomiehiä, poliiseja ja lääkintähenkilöstöä on haastava paikantaa sisätilassa, jossa tällainen poikkeustilanne on käynnissä [1]. Toisaalta, tätä voidaan käyttää hätäpuheluissakin vain tiettyyn rajaan asti, eikä kaikista katastrofaalisimmista tapauksista, joissa virta saattaa olla poikki koko rakennuksesta.

Wi-Fi-ratkaisut kuitenkin tarjoavat hyvän yleisen toteutusalueen sisätilapaikantamiselle, ja aiemmin esiteltyjen erityistapausten voidaankin ajatella olevan kulmatapauksia. Tärkeimpänä asiana voidaan kuitenkin pitää sitä, että paikantaminen sisätilassa toimii suurimmassa osassa normaaleja käyttötapauksia, kuten navigoinnissa ja käyttäjien yleisessä seurannassa.

2.3.3 Magneettikenttä

Toinen ratkaisu, jota voidaan käyttää paikantamiseen sisätiloissa, on maan magneettikenttä. Maan magneettikenttää voidaan käyttää hyödyksi paikantamisessa, sillä rakennusten sisällä olevat rakenteet aiheuttavat siihen ainutlaatuisia muutoksia, joiden perusteella paikantaminen voidaan suorittaa. Magneettikenttää muokkaavat rakennuksissa olevat rauta-, teräs- ja sähkörakenteet. Esimerkiksi tietyssä rakennuksessa olevan tietyn toimiston tietty kulma voidaan päätellä sen magneettisen intensiteetin voimakkuuden perusteella [9, 20]. Maan magneettikenttä on siis käytännössä ainutlaatuinen kartta tietystä alueesta, jonka avulla voidaan päätellä missä käyttäjä liikkuu. Sen voidaankin ajatella muistuttavan Wi-Fi-ratkaisuja, jotka perustuvat aiemmin kerättyyn dataan: molemmissa on käytössä aiemmin kerätty data, jota sitten käytetään ikään kuin ohjeena käyttäjän sijainnin määrittämisessä.



Kuva 3. Tunnistaminen maan magneettikentän intensiteetin avulla [20]

Kuva 3 havainnollistaa kuinka maan magneettikentän intensiteetin avulla voidaan päätellä, missä kohtaa on mitään. Kuten huomataan jokainen pilari ja automaatti aiheuttavat omanlaisen vaikutuksensa magneettikenttään, kun niiden intensiteetin voimakkuutta mitataan. Kun tällainen data on kerätty, voidaan sitä myöhemmin käyttää hyödyksi käyttäjän

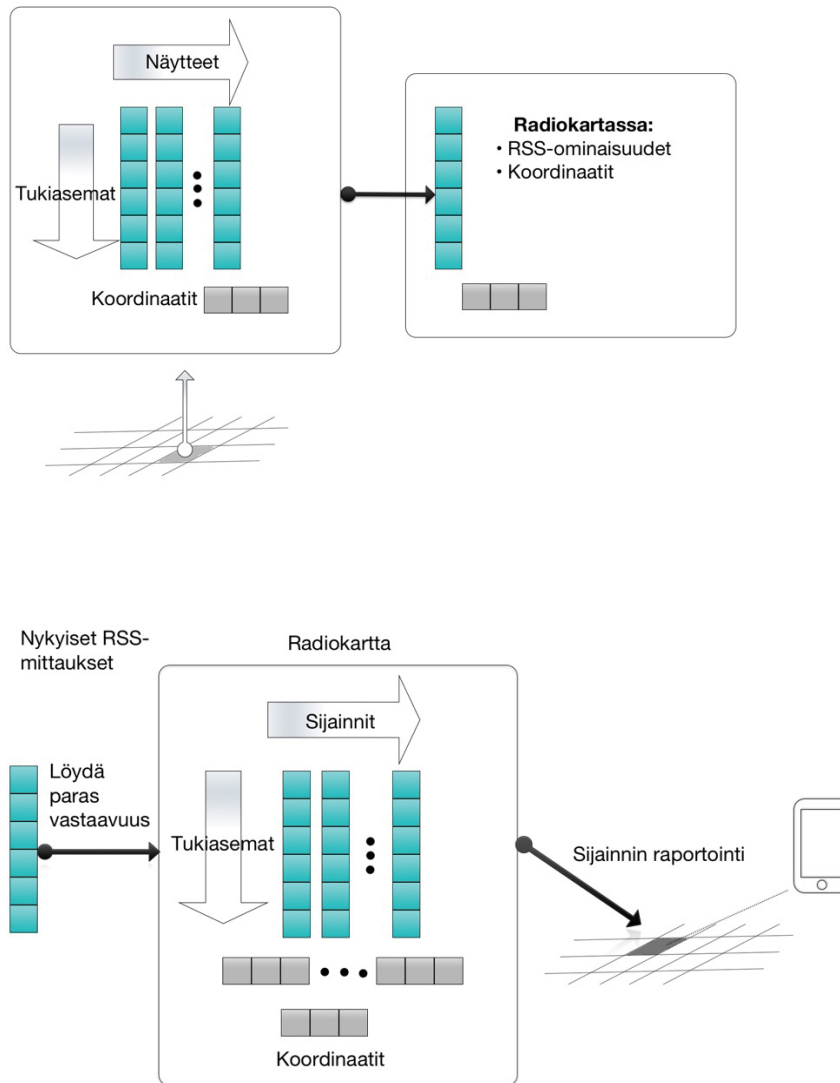
sijainnin määrittämisessä, koska silloin voidaan verrata reaaliaikaista sensoridataa tähän aiemmin kerättyyn dataan. Näistä voidaan sitten päätellä, minkä lähistöllä käyttäjä mahdollisesti on.

Maan magneettikentän käyttö sisätilapaikantamisessa kohtaa osittain samat hyödyt, ongelmat ja haasteet kuin Wi-Fi-paikannus. Jotta rakennuksessa pystytään paikantamaan, pitää siitä olla aiemmin kerätty magneettidataa [9]. Ilman jo olemassa olevaa vertailumagneettidataa ei ole mahdollista paikantaa käyttäen hyödyksi magneettikentän vaikutuksia laitteiden kompasseihin. Toisaalta magneettidatat eivät muutu niin usein kuin Wi-Fi-tukiasemien sijainnit, joten se on tältä kannalta parempi ratkaisu. Maan magneettikenttä tarjoaakin paremman tarkkuuden paikan määrittämiseen eikä kärsi muille toteutustavoille tyypillisistä ongelmista signaalien suhteen kuten, jos signaalin edessä on jokin joka vaimentaa sitä [7]. Magneettikenttien tapauksessa on tosin mahdollista, että paikannettavaan tilaan tuodaan esimerkiksi uusia huonekaluja, jotka sitten muuttavat magneettikenttää. Tämä voi vaikeuttaa myöhemmin sijainnin määrittämistä, jos kerättyä magneettidataa ei ole uudistettu uusien esineiden jälkeen.

2.4 Käyttäjän paikantaminen

Useiden toteutustapojen lisäksi sisätilapaikantamiseen liittyy myös useita erilaisia tekniikoita, joilla käyttäjän sijainti voidaan määrittää valitussa toteutustavassa. Sijainnin määrittämiseen sisätiloissa käytetään yleensä jotakin seuraavista tekniikoista: fingerprinting, triangulation, proximity tai vision analysis [7]. Jokainen muu paitsi proximity, tarjoaa absoluuttisen, relatiivisen ja proximity -sijainnin. Proximity tarjoaa vain nimensä mukaisesti läheisyys-informaation.

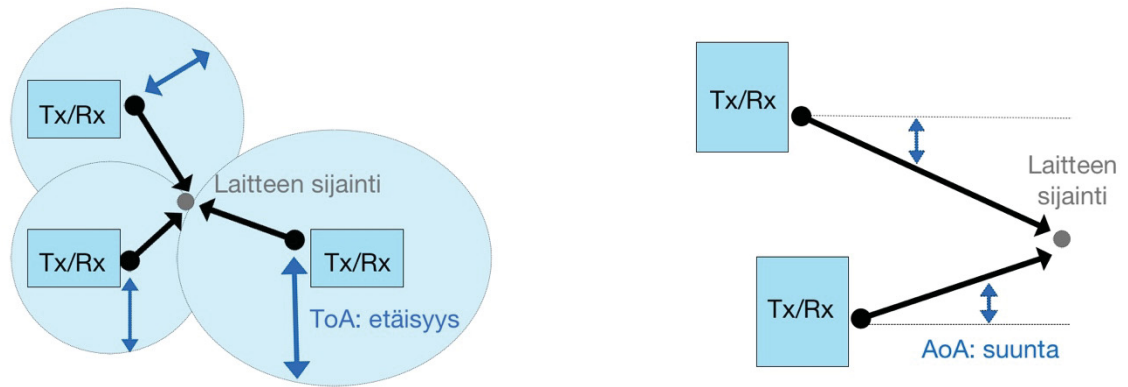
Fingerprinting-tekniikassa halutusta alueesta kerätään dataa valmiiksi, jota sitten käytetään myöhemmin apuna, kun määritellään käyttäjän sijaintia sen hetkisen kerätyn datan perusteella. Nämä tekniikat perustuvat siis sen hetkisen datan vertaamiseen aiemmin kerättyyn referenssidataan [7]. Niissä onkin yleisesti kaksi vaihetta: datan kerääminen ja uuden datan vertaaminen tähän aiemmin kerättyyn. Yleisesti aiemmin kerätty data sisältää laitteiden eri sensoreilta saatua dataa kyseisen sijainnin eri kohdissa. Tätä dataa voidaan käyttää hyödyksi, kun opetetaan paikannusjärjestelmää paikantamaan käyttäjiä sen hetkisen sensoridatan perusteella.



Kuva 4. *Fingerprint-tekniikan perusidea* [1]

Kuva 4 selkeyttää fingerprint-tekniikan perusidea. Alussa suoritetaan vertailudatan kerääminen, joka sen jälkeen tallennetaan palvelimelle tai laitteelle säilöön. Tämän jälkeen paikannettava laite lukee sensoridataa uudelleen ja vertaa sitä tähän jo palvelimella/laitteessa olevaan dataan. Näin voidaan erilaisten algoritmivariaatioiden avulla yrittää päätellä parhaalla mahdollisella tavalla, missä laite ja käyttäjä mahdollisesti sijaitsevat.

Käytännössä Wi-Fi- ja magneettikenttäratkaisut käyttävät hyödyksi fingerprinting-tekniikkaa suurimmassa osassa tapauksia. Algoritmien, jotka käyttävät fingerprinting-tekniikkaa, ajatellaan yleensä olevan robustimpia erilaisiin muutoksiin ympäristössä [1]. Näillä muutoksilla on yleensä vaikutus kerättävään signaalidataan – ne saattavat aiheuttaa ennalta-arvaamattomia häiriöitä kerättyssä datassa. Robustisuuden takia fingerprinting-tekniikoiden ajatellaankin olevan parempia kuin triangulation-tekniikoihin perustuvat lähestymistavat.



Kuva 5. ToA ja AoA [6]

Triangulation-tekniikat keskittyvät kolmeen vaihtoehtoiseen toteutustapaan, jotka ovat RSSI (Received Signal Strength Indicator) -arvojen tutkiminen, Angle of Arrival (AOA) ja Time of Arrival (TOA). RSSI-arvojen eli havaittujen signaalien voimakkuuksien perusteella voidaan päätellä missä käyttäjä sijaitsee. Samaa ideologiaa voidaan myös soveltaa TOA- ja AOA-tekniikoihin ja näin ollen voidaan päätellä käyttäjän sijainti kuten Kuva 5 havainnollistaa. Kuva 5 esittää triangulation-tekniikoiden perusidean, kun käytössä on muutama signaalilähde [7]. Kuten voidaan havaita nämä tekniikat vaativat tietoon ainoastaan tukiasemien sijaintien koordinaatit [8].

Proximity-tekniikat ovat kaikista rajoittuneita, sillä ne tarjoavat vain proximityinformaation [7]. Tiedetään siis vain, jos käyttäjä on lähellä. Niistä ei siis voida määrittellä absoluuttista tai relatiivista sijaintia. Tämä tekniikka on käytännössä käytössä kaikissa pelkästään beaconeilla toimivissa järjestelmissä. Sen avulla ei yleensä saada tarpeeksi tarkkaa sijaintia, ellei beaconeita ole suurta määrää paikannettavalla alueella. Eli ainoastaan beaconeihin pohjautuva sisätalapaikannusjärjestelmä ei välttämättä ole kovin taloudellinen, jos jokainen kohde, missä järjestelmän halutaan toimivan, vaatii useita beaconeita. Tämän lisäksi niiden asennus jokaiseen kohteeseen vie huomattavasti aikaa.

Vision Analysis-tekniikka yrittää päätellä käyttäjän sijaintia käyttäen hyödyksi kameeroita, joiden reaaliaikaisesta kuvasta on mahdollista päätellä missä käyttäjä sijaitsee. Tämäkin tekniikka vaatii ennalta kerättyä dataa, johon näitä kuvia voidaan sitten mahdollisesti verrata. Vision Analysis siis vertaa reaaliaikaista kuvaa käyttäjän laitteesta sen tietokannassa oleviin, ja yrittää niiden perusteella päätellä, missä käyttäjä todennäköisemmin on.

Jokainen edellä mainituista tekniikoista vaatii jonkinlaista ennakkodataa ennen kuin sitä voidaan käyttää käyttäjän sijainnin määrittämisessä. Toiset tekniikat vaativat huomattavasti vähemmän kuin toiset; toisille riittää tukiasemien sijaintitieto ja toiset tarvitsevat kaiken mahdollisen saatavilla olevan sensoridatan. Mitä enemmän työtä ja aikaa käytetään datan keräämiseen, niin sitä parempia paikannustulokset sitten tulevaisuudessa ovat. Toisaalta tässäkin asiassa tulisi löytää sopiva määrä, jonka jälkeen datan kerääminen ei

enää kannata sen muuttuvien ominaisuuksien takia – ei kannata kerätä kaikkea mahdollista dataa, jos se on jo seuraavaan päivään mennessä muuttunut erilaiseksi.

2.5 Haasteet

Koska sisätilapaikantaminen on uusi ala, etenkin tutkimusmielessä ja uusien toteutustapojen koko ajan syntyessä, on siinä olemassa vielä useita haasteita. Sisätilapaikantaminen onkin monimutkaista useiden haasteiden takia. Erilaiset ongelmatilanteet ovatkin pakottaneet sisätilapaikannusjärjestelmien käyttämään monia ratkaisuja, jotta jokaisella alustalla saataisiin mahdollisimman hyvä paikannus- ja käyttäjäkokemus.

Suurimpana haasteena ja tavoitteena sisätilapaikantamisessa on selkeästi löytää ratkaisu, joka tarjoaa tarpeeksi tarkkaa sijaintia ilman että sen kulut ovat suuret. Halutaan siis löytää sisätilapaikannusjärjestelmä, joka tarjoaa haluttua tarkkuutta sisätiloissa ja on taloudellisesti kannattava. Tarkkuuden lisäksi halutaan, että ensimmäisen sijainnin saaminen eli time-to-first-fix ei ole kohtuuttoman suuri. Vain näiden avulla voidaan tarjota käyttäjille paikannusta, jonka käyttökokemus on hyvä [5]. Sisätilapaikannusjärjestelmien tulee siis olla taloudellisia, mahdollisimman tarkkoja ja nopeita.

Koska sisätilapaikantamisessa on tällä hetkellä niin monia ratkaisuja ja valittavia parametreja, mitkä vaikuttavat paikannustarkkuuteen, on oikean vaihtoehdon valinta vaikeaa. Se joudutaankin yleensä valitsemaan yksityiskohtaisesti jokaisen toteutettavan sovelluksen vaatimusten ja käytettävissä olevien resurssien perusteella [1]. Toisin sanoen sisätilapaikannusjärjestelmien ratkaisut ovat aina kompromisseja haluttujen ominaisuuksien, kulujen ja järjestelmän nopeuden välillä.

Yhtenä ilmiselvänä haasteena niin sisätilapaikantamisessa kuin yleisesti ohjelmistokehityksessäkin on käytettävien laitteiden eroavuudet. Jokainen valmistaja käytännössä toteuttaa yhteiset ominaisuudet omalla tavallaan, mikä saattaa aiheuttaa eroavaisuuksia, esimerkiksi sensorien mittaustuloksissa [1]. Eroavaisuuksia aiheuttavat esimerkiksi laitteiden erilaiset antennit, antennien sijainnit ja antennien koot. Näiden lisäksi signaalimitauksia ei yleensä ole standardisoitu. Nämä eroavaisuudet aiheuttavatkin dataan ylimääräistä kohinaa. Yleensä onkin siis pohdittava, kuinka kerättävä data normalisoidaan, jotta se ei aiheuta eroavaisuuksia eri laitteiden välillä.

Toisaalta toisista laitteista saattaa puuttua jokin hyödyllinen paikannuksessa käytettävä osa kuten gyroskooppi. Tällaiset eroavuudet aiheuttavat suuresti haittaa paikantamisessa ja se tuleekin ottaa erityisesti huomioon sekä järjestelmä tulee testata mahdollisimman monella eri laitteella. Laite-eroavaisuudet haittaavat muutenkin ohjelmistokehitystä ja tässä tapauksessa vaikuttavatkin suuresti siihen, kuinka sisätilapaikannusjärjestelmiä tulee kehittää ja testata. Käytännössä, jos unohdetaan testata tehtyä järjestelmää jollakin tietyllä laitteella, ei välttämättä ikinä huomata, että se ei toimi sillä oikein tai paikantamisen tarkkuus on huono.

Haasteita aiheuttaa myös käytännössä sisätilapaikannuksessa tarvittava datafuusio eli eri datalähteiden yhdistäminen. Datan kerääminen yhdestä lähteestä ei yleensä riitä, vaan siihen tarvitaan useita eri lähteitä. Yksi datalähde ei yleisesti tarjoa tarpeeksi ja täydellistä tietoa ongelman ratkaisuun, jonka vuoksi datalähteitä saatetaan tarvita useita. Kun dataa saadaan kerättyä useasta lähteestä ja kun se voidaan fuusioida, saadaan ongelman ratkaisuun lisää tietoa. Datafuusion seurauksena ongelmien ratkaisu yleensä helpottuu ja näin ollen halutun tarkkuuden saavuttaminen sisätilapaikantamisessa on yksinkertaisempaa [1]. Fuusioituun dataan käytetään yleisesti Kalman- ja Partikkeli-filttereitä, jotta saavutetaan haluttu lopputulos – etenkin paikannustarkkuuden suhteen. Partikkelifilteri on raskaampi toteuttaa, minkä takia Kalmanfilterin käyttö saattaa olla mobiililaitteissa suositeltavaa. Nämä filtrit ovat matemaattisia malleja, siitä kuinka sijainti tässä tapauksessa määritetään. Tämän kaltainen datafuusio kohtaa myös aiemmin mainitun ongelman signaalien eroista eri laitteiden välillä. Eli kerätty data tulisi aina normalisoida.

Yhtenä suurena haasteena sisätilapaikantamisessa tällä hetkellä on myös kerrosten vaihtaminen, sekä ulko-sisätilasiirtymät. Kerrosten vaihtaminen onkin yksi hankalimmista haasteista ja sen ratkaisemiseen voidaan muun muassa käyttää ilmanpainemittaria, tutkimalla sen avulla korkeuseroja. Toisena ratkaisuna voivat olla beaconit tukemassa paikantamisen aloitusta ja oikean kerroksen löytämistä. Helpoiten paikannus onnistuu, kun on olemassa kiinteä sijainti, mutta yleensä ostoskeskuksetkin ovat monikerroksisia rakennuksia, joten tämä on erittäin aiheellinen haaste. Tällaisissa tilanteissa on myös mahdollista, että kerätty Wi-Fi-data muuttuu korkeuden mukaan. Myös käyttäjän havaitseminen, kun hän siirtyy ulkotilasta sisätilaan, on haastavaa. Siihen auttaa erityisesti beaconit, mutta sisätilasta ulospäin siirryttäessä on hankalaa arvioida poistuuko käyttäjä todella rakennuksesta, ja milloin voidaan siirtyä käyttämään pelkkää GPS:ää. Sisätilapaikantaminen ei toimi rakennusten ulkopuolella ainakaan nykyisissä ratkaisuissa.

2.5.1 iOS ja Android

Ohjelmistokehityksen näkökulmasta toisena suurena haasteena sisätilapaikannuksessa on etenkin iOS- ja Android-laitteiden eroavuudet niiden tarjoamissa rajapinnoissa [9, 21, 22]. Tämä aiheuttaa eroja näiden sisätilapaikannusjärjestelmien toiminnallisuuteen eri käyttöjärjestelmien välillä.

Erytisesti Wi-Fi:in perustuvat paikannusjärjestelmät kärsivät paljon iOS:n puolella sen rajallisten julkisten Wi-Fi-rajapintojen vuoksi. Suurimpana ongelmana on iOS:sta puuttuva tuki Wi-Fi-skannauksille. Tämä käytännössä jättää iOS-laitteet kokonaan Wi-Fi:in perustuvien sisätilapaikannusjärjestelmien ulkopuolelle. Tämän seurauksena kyseisellä sisätilapaikannusjärjestelmällä saavutettava käyttäjämäärä pienenee huomattavasti, jos jätetään iOS-laitteet kokonaan tukematta. Yleensä tällaisissa tapauksissa iOS-ratkaisuiksi on kehitetty jokin korvaava ratkaisu, jottei niiden käyttäjiä ei unohdettaisi kokonaan, kuten beaconit. Android tarjoaakin monissa tapauksissa monipuolisemmat rajapinnat, jotka

mahdollistavat paikantamisen useilla eri tavoilla. Sen voidaankin ajatella suoriutuvan hyvin jo nyt sisätilapaikantamisesta.

Yleensä iOS-laitteiden paikantamista joudutaan ainakin tukemaan beaconien avulla – ilman niitä paikantaminen sisätiloissa on hankalaa. Androidille onkin siis tarjolla huomattavasti parempi tuki sisätilapaikannukselle sen tarjoaman Wi-Fi-skannaustuen ansiosta. iOS-laitteet joutuvat siis tyytymään magneettikenttien ja beaconien väliseen paikannukseen. Tällä hetkellä Android saavuttaa parhaimmat sisätilapaikannustulokset juuri näiden ansiosta. Valitettavasti iOS-paikannus ei aivan samaan pysty - ainakaan time-to-first-fix:n suhteen.

3. YHTEYDELLINEN JA YHTEYDETTÖN

Sisätalapaikantaminen voidaan toteuttaa joko yhteydellisenä tai yhteydettömänä ratkaisuna. Yhteydellisissä toteutuksissa kaikki laskenta sekä aiemmin kerätty data sijaitsevat palvelimella, josta sitä ladataan tarpeen vaatiessa. Tämä tarkoittaa myös sitä, että laitteella kerätty sensoridata lähetetään takaisin palvelimelle vertailtavaksi. Yhteydettömässä sisätalapaikannusjärjestelmässä mahdollisimman suuri osa laskennasta ja datasta sijaitsee valmiina laitteessa. Yleensä kaikki tarvittava data on ladattu aiemmin laitteelle, jotta se voisi toimia täysin yhteydettömässä tilassa tarpeen vaatiessa. Tämä data saatetaan ladata laitteelle esimerkiksi sovelluksen asennuksen yhteydessä.

Olenneisimpana erona yhteydellisten ja yhteydettömien sisätalapaikannusjärjestelmien välillä on siis aiemmin kerätyn datan sijainti; sijaitseeko se palvelimella vai laitteessa. Loppujen lopuksi näiden järjestelmien järjestelmäarkkitehtuuri ei eroa huomattavasti: molemmat tarvitsevat palvelimen, jossa on jonkinlaista dataa valmiiksi tallennettuna. Vain järjestelmien arkkitehtuurit ovat erilaiset. Tämä ero on kuitenkin sellainen, mitä käyttäjät eivät välttämättä huomaa ollenkaan, kunhan vain ovat hyvän verkkoyhteyden tavoitettavissa. Ero onkin toteutustekninen, mikä tulee ottaa huomioon, kun pohditaan, millaista järjestelmää aletaan kehittää. Näiden järjestelmien datan kulkuun liittyy monia haasteita, joita tulee pohtia, kuten missä vaiheessa, missä muodossa ja miten data saadaan ladattua palvelimelta laitteelle. Suurimpana päätöstä auttavana tekijänä saattaa olla myös sisätalapaikannussovelluksen tyyppi: onko mahdollista, että sitä käytetään tilanteissa, joissa ei ole saatavilla verkkoyhteyttä tai se on heikko.

Järjestelmän tyyppin valinta yhteydellisen ja yhteydettömän tilan välillä onkin siis huomattavan tärkeä, sekä suuresti ohjelmistokehitykseen vaikuttava. Käytännössä valinta yhteydellisen ja yhteydettömän tilan välillä on yksi olennaisimmista asioista, mikä vaikuttaa siihen, kuinka sisätalapaikannusjärjestelmä kehitetään. Se ratkaisee mihin erilaiset tietokannat luodaan ja missä vaiheessa verkkoyhteyttä käytetään. Se myös käytännössä rajaa kuinka data kannattaa tallentaa ja tarvitseeko sitä suojata ulkopuolisilta. Palvelimella sijaitseva data pysyy paremmin suojassa kuin, jos data siirretään suoraan laitteeseen, jossa käyttäjillä on suora pääsy laitteessa olevaan dataan. Tällaista käyttäjän laitteelle tallennettavaa dataa voidaan pyrkiä suojaamaan erilaisilla kryptausmenetelmillä.

Wi-Fi-perustaiset ja myös muutkin ratkaisut voivat olla joko yhteydellisiin tai yhteydettömiin tiloihin perustuvia. Kuten Wirolan julkaisusta [16] selviää, molemmilla ratkaisuilla on omat hyötynsä ja haittansa niin tarkkuuden (accuracy), saatavuuden (availability), time-to-first-fix:n, yksityisyyden, turvallisuuden, autentikoinnin, datan käytön ja palvelimien resurssien suhteen.

Molemmat tavat, yhteydellinen ja yhteydetön, käyttävät yleensä joka tapauksessa aiemmin mainittua Wi-Fi-tietokantaa sijainnin määrittämiseen. Ainoana erona on tietokannan sijainti: tietokanta voi sijaita palvelimella, jos käytössä on yhteydellinen sisätilapaikannusjärjestelmä. Yhteydettömän sisätilapaikannusjärjestelmän tapauksessa tietokanta yleensä ladataan laitteelle – ainakin osa siitä. Laitteelle saatetaan esimerkiksi ladata tietyn kaupungin tai osa-alueen Wi-Fi-tietokanta valmiiksi [16]. Tällöin tuo data on käyttäjän saatavilla koko ajan: oli laitteella verkkoyhteys tai ei.

3.1 Yhteydellinen

Yhteydellisissä järjestelmissä on useita hyötyjä, kun niitä verrataan vastaavanlaisiin yhteydettömiin toteutuksiin. Toisaalta, niistä löytyy myös monia haittapuolia, jotka eivät välttämättä ole aina aivan ilmiselviä. Voidaankin ajatella, että molemmat järjestelmät tarjoavat omat hyötynsä ja haittansa ja käytettävä järjestelmä tulisikin valita käytettävän kohteen vaatimusten perusteella. Tämä valinta on siis riippuva toteutettavasta projektista ja sen käyttökohteista ja vaatimuksista.

Toisissa tapauksissa saattaa riittää, että sijainti päivittyy muutaman minuutin välein, jolloin yhteydettömässä tilassa toimivalle järjestelmälle ei ole välttämättä tarvetta – kunhan vain verkkoyhteys on välillä saatavilla. Toisaalta, tällaisen ennustaminen ja päättelyminen saattavat olla vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Näitä katkoksia voidaan mahdollisuuksien mukaan tukea myös yhteydettömässä tilassa toimivalla väliaikaisella järjestelmällä.

3.1.1 Hyödyt

Yhteydellisessä tilassa olevien järjestelmien suurimpana hyötynä on niiden helppo päivitettävyyys. Jos algoritmeja, sijainnin määrittämistä tai muuta osaa sovelluksen toiminnallisuudesta halutaan muuttaa, ei tarvitse kuin päivittää se palvelimelle. On olemassa vain yksi sijainti, jossa esimerkiksi algoritmin toiminnallisuutta voi muuttaa suoraan ilman, että käyttäjille pitäisi tarjota päivityksiä tai että käyttäjän pitäisi edes ylipäänsä tietää mitä tapahtuu taustalla. Tämä mahdollistaa algoritmien helpon korjaamisen ja kehittämisen entistä paremmaksi entistä nopeammin.

Ohjelmistokehittäjien on helppoa ja yksinkertaista saada palautetta tekemistään muutoksista, kun kaikki muutokset näkyvät reaaliajassa kaikilla loppukäyttäjillä. Näin ohjelmistokehittäjien työt myös etenevät nopeammin eteenpäin. Tämä myös mahdollistaa ohjelmistokehittäjille sen, että tietyiltä tai kaikilta loppukäyttäjiltä voidaan ottaa tiettyjä ominaisuuksia, esimerkiksi väliaikaisesti pois päältä, jos halutaan testata jotakin tiettyä ominaisuutta loppukäyttäjillä.

Paikantamistarkkuudesta saadaan heti palautetta suuremmalta joukolta kuin yhteydettömässä tapauksessa olisi mahdollista. Kun nähdään kuinka paikannusjärjestelmä ja sen suorituskyky toimivat, on algoritmien optimointi helpompaa. Tietenkään, itse laitteessa

toimivan sovelluksen päivitys ja sen ominaisuuksien päivitys eivät onnistu näin helposti, vaan vastaan tulee haasteet käyttäjien sovellusten päivittämisestä. Käyttäjien sovelluksia saatetaan haluta päivittämään tukemaan palvelimelle implementoituja uusia ominaisuuksia, jotka vaativat myös käyttäjien laitteilta tuen.

Toisena etuna yhteydellisessä tilassa olevissa järjestelmissä on käyttäjien suurempi näkyvyys. Tiedetään aina kun käyttäjä on käyttämässä kyseistä järjestelmää. Nähdään mitä käyttäjä tekee ja missä sekä kuinka kauan. Näin käyttäjien analysointi ja ongelmien hallinnointi ovat yksinkertaisempaa. Tämä antaa myös paremman tiedon vaadittavista resursseista, niin asiakaspalvelussa kuin palvelimella. Näin voidaan esimerkiksi reaaliajassa ratkoa käyttäjien ongelmia paikantamisen kanssa, kun nähdään missä kohtaa he liikkuvat. Yhteydellinen sisätilapaikannusjärjestelmä siis tarjoaa reaaliaikaista dataa siitä, kuinka käyttäjät käyttäytyvät ja missä he liikkuvat milloinkin, sekä minkälaisia mahdollisia virheitä he kohtaavat. Sen ansiosta voidaan siis reaaliajassa havaita, jos jokin osa paikannusjärjestelmästä ei toimi. Tämä ei yleensä ole mahdollista yhteydettömässä tilassa toimivissa järjestelmissä.

Etuna näissä järjestelmissä on myös se, että kaikki data on palvelimella. Nykyaikana data on yksi arvokkaimmista asioista yritysten toiminnassa [23]. Sen analysointi ja mahdollinen muu käyttö antaa paljon enemmän mahdollisuuksia kuin, jos data pysyisi itse laitteessa eikä päätyisi ikinä palvelimelle. Yhteydellinen sisätilapaikannusjärjestelmä kerää yleensä talteen paljon enemmän dataa kuin yhteydettömässä tilassa toimiva. Eli voidaan ajatella, jos datan keruu on tärkeää, tulisi laitteen ja palvelimen välillä olla melko jatkuva verkkoyhteys. Jatkuvan verkkoyhteyden ansiosta dataa voitaisiin välittää lähes reaaliaikaisesti palvelimelle analysoitavaksi ja tallennettavaksi myöhempää käyttöä varten.

3.1.2 Haitat

Erityisesti yhteydellisessä tilassa toteutettuja Wi-Fi-ratkaisuja koskevat haasteet kommunikoinnissa palvelimen kanssa, kuten voidaan havaita verkkoyhteyden viiveiden perusteella. Time-to-first-fix saattaa erota paljon, jos käytössä on huonolaatuinen verkkoyhteys, joka hidastaa tiedon siirtymistä palvelimelta takaisin laitteelle. Jos viive palvelimen ja laitteen välillä on suuri eli satoja millisekunteja, niin vaikutus tiedonsiirtoon on merkittävä paikantamisen kannalta. Hyvälaatuisen verkkoyhteyden kanssa, time-to-first-fix yhteydellisen ja yhteydettömän tilan välillä on olemattoman pieni. Time-to-first-fix on tärkein asia, joka vaikuttaa käyttäjäkokemukseen sisätilapaikannuksessa kuten selviää julkaisusta [5]. Pienikin viive ensimmäisen paikan määrittämisessä vaikuttaa heti käyttäjään ja voikin huonoimmassa tapauksessa aiheuttaa käyttäjällä sovelluksen käytön lopettamisen [16].

Time-to-first-fix:n lisäksi siirrettävän datan määrä laitteesta palvelimelle kasvaa verrattuna yhteydettömään toteutukseen. Tämä saattaa olla haitallista etenkin loppukäyttäjille, joilla on mahdollisesti käytössään datamäärän suhteen erittäin rajalliset verkkoyhteydet.

Käytännössä siirrettävä datamäärä on kuitenkin pientä, eikä sillä ainakaan normaalikäytössä ole suurta vaikutusta käytettyyn datamäärään. Tämä on kuitenkin asia, joka tulee huomioida, kun valitaan, millainen järjestelmä halutaan toteuttaa.

Myös järjestelmän tietoturvasuus tuo haasteita käytännössä jokaiseen ratkaisutapaan. On pohdittava erikseen, kuinka datan kulku laitteesta palvelimelle ja sieltä takaisin salataan niin, etteivät ulkopuoliset pääse siihen käsiksi. On myös pohdittava, kuinka autentikointi toteutetaan mahdollisimman tietoturvasellisella tavalla [24]. Tietoturvasuudessa ja yksityisyydessä kuitenkin suurimpana haasteena on itse laitteelle tulleen datan käyttö: kuinka voidaan vakuuttua siitä, etteivät käyttäjät käytä dataa väärin tai muihin tarkoituksiin kuin se on sallittua. Tämä ongelma kasvaa vielä suuremmaksi yhteydettömissä ratkaisuisa, joissa data pitää ladata laitteelle valmiiksi ennen kuin sen avulla voidaan enustaa käyttäjän sijaintia. Sijaintidatan tulee olla saatavilla luotettavasti ja helposti halutuista paikoista haluttuun aikaan oikealla tarkkuudella ilman että datan tietoturva vaarantuu [5, 16]. Datan suojaamiseen käyttäjän laitteessa voidaankin ajatella käytettävän erilaisia kryptausratkaisuja. Nekään eivät loputtomiin asti suojaa, mutta tarjoavat hieman enemmän suojaa kuin ilman mitään suojaa tallennetut datat.

Toisaalta, reaaliajassa käyttäjien sijainnit näyttävä palvelin on suuri uhka ja haaste myös käyttäjien yksityisyydelle. Oletettavasti moni käyttäjä ei halua heitä seurattavan. Tällainen ratkaisu saattaa myös houkuttaa ylimääräisiä ihmisiä yrittämään päästä tunkeutumaan järjestelmään, joka käytännössä reaaliajassa paikantaa sen käyttäjiä. Yhteydellisessä sisätalapaikannusjärjestelmässä tulee pohtia, kuinka käyttäjien yksityisyys suojataan mahdollisimman hyvin siten, että he kokevat hallitsevansa koko ajan heistä tallennettavan datan.

Kaikissa yhteydellisessä tilassa toimivissa sisätalapaikannuksissa on ongelmana myös saataavuus. Verkkoyhteydet eivät välttämättä ole aina saatavilla ja tällöin paikantaminen ei mahdollisesti onnistu. Myös verkon laadulla on yleensä merkittäviä vaikutuksia paikannukseen ja sen laatuun. Myös erilaiset verkkovierailutilanteet saattavat rajoittaa käytettävissä olevia verkkoyhteyksiä [16]. Käyttäjät eivät välttämättä halua käyttää verkkoyhteyksiä ulkomailla ollessaan suurien maksujen pelossa. Näin ollen sisätalapaikannusjärjestelmien hyöty jää käyttäjien kotimaassa tapahtuvaan paikantamiseen. On myös mahdollista, että verkko vaikuttaa olevan kunnossa, mutta niin huonolaatuinen ettei sen avulla pystytä suorittamaan paikannusta. Tällaisen tilanteen havaitseminen sekä siitä toipuminen voikin olla haastava ongelma itse ohjelmistokehittäjille.

Yhteydellinen paikannus onkin suurimman osan ajasta verkkoyhteydestä riippuvainen paikannusjärjestelmä. Siinä on osattava varautua paremmin verkkoyhteyden katkoksiin. Ne on huomioitava koko ajan ja pohdittava, kuinka niistä toivutaan. Verkkoyhteyksien aiheuttamia ongelmia voidaan minimoida monella eri tavalla, kuten käyttämällä hetkellisesti jotakin ilman verkkoyhteyttä toimivaa paikannusalgoritmia, joka on mahdollisesti laitteessa valmiina. Kuten voidaan havaita, yhteydellistä sisätalapaikannusjärjestelmää ei

voida rakentaa aivan kokonaan verkkoyhteyttä vaativaksi järjestelmäksi, vaan sen tulisi ainakin kestää muutamien sekuntien verkkoyhteyshäiriöitä.

Yhteydelliset sisätilapaikannusjärjestelmät ja niiden ajamat paikannusalgoritmit saattavat myös olla haastavia skaalautuvuuden suhteen. Ne eivät välttämättä aina skaalaudu hyvin – tämä on kuitenkin erittäin riippuvainen siitä, kuinka itse järjestelmä on toteutettu. Vaikka ne skaalautuisivat hyvin, käyttäisivät ne silti entistä enemmän tehoja palvelimilta, mikä saattaisi aiheuttaa kasvavia kustannuksia. Kun paikannusjärjestelmän käyttäjämäärät kasvaisivat, jouduttaisiin hankkimaan lisää palvelimia, jotta kaikkien paikannussessiot onnistuisivat. Se lisäisi hallittavan järjestelmän monimutkaisuutta, ja toisi mukanaan todennäköisesti uusia haasteita, mitä ei aiemmin ollut olemassa. Tällaista ongelmaa ei olisi yhteydettömissä järjestelmissä – ei ainakaan näin suuressa mittakaavassa.

Vaikka yhteydellisessä tilassa olevaa järjestelmää päivitettäessä riittää usein pelkän palvelimen päivittäminen, saattaa välillä olla tarve päivittää myös itse käyttäjien laitteissa ajettava sovellus. Tämä tuo haasteet sille, kuinka palvelin tukee vanhempia ja uudempia versioita samanaikaisesti eri käyttäjien laitteissa olevista ohjelmista. Pitää olla taattu taaksepäin yhteensopivuus. Tällaisen ylläpitäminen saattaa olla raskasta ajankäytöllisesti sekä taloudellisesti.

3.2 Yhteydetön

Yhteydettömäksi sisätilapaikannusjärjestelmäksi voidaan ajatella järjestelmä, joka suorittaa suurimman osan toiminnallisuudestaan itse käyttäjän laitteessa sekä pystyy toimimaan ilman verkkoyhteyttä. Verkkoyhteyttä tarvitaan siis vain silloin, kun dataa siirretään laitteen ja palvelimen välillä – ei siis koko aikaa kuten yhteydellisessä tapauksessa. Tällaisten järjestelmien voidaan ajatella olevan kaikista hyödyllisimpiä sijainneissa, joissa verkkoyhteys ei ole mahdollinen rakenteellisten esteiden takia. Tällaisia sijainteja ovat muun muassa useat parkkihallit, muut maanalaiset alueet ja syrjäisemmät alueet. Se soveltuu siis myös paremmin maihin, joissa verkkoyhteydet eivät välttämättä ole vakaat suurten käyttäjämäärien tai verkkoon vaikuttavien muiden asioiden takia.

Yhteydetön sisätilapaikannusjärjestelmä tarjoaa yleensä responsiivisempaa käyttökokemusta, vaikka haittapuolena tällaisten järjestelmien käyttäjämäärien näkyvyys itse valmistajalle saattaa olla heikko [5]. Tällaiset ratkaisut myös vievät enemmän tilaa itse käyttäjien laitteilta. Siitä on siis sekä hyötyä, että haittaa, mutta kuten huomataan hyödyt ovat paljon suuremmat kuin haitat.

3.2.1 Hyödyt

Toisaalta yhteydettömät ratkaisut tarjoavat käyttäjän kannalta enemmän suojaa, sillä kaikki niiden laitteiden keräämä sijaintidata pysyy laitteessa eikä lähde palvelimelle.

Tämä estää palvelimella tapahtuvia tietomurtoja saamasta haltuunsa käyttäjien omaa sijaintidataa [16]. Sijaintidatan ajatellaan yleensä olevan erittäin arkaluonteista eikä sitä toivoisi kenenkään ulkopuolisen pääsevän siihen käsiksi. Toisaalta on mahdollista, että laitteiden keräämä sijaintidata siirtyy joka tapauksessa palvelimelle siinä vaiheessa, kun verkkoyhteys on käytettävissä. Tämä on kuitenkin toteutustekninenkysymys ja tämän pystyvät käyttäjät sitten mahdollisesti jo havaitsemaan. Todennäköistä kuitenkin on, että paikannusjärjestelmän tekijät haluavat kerätä tämän sijaintidatan talteen, jotta he näkevät missä heidän järjestelmänsä käytetään.

Koska yhteydettömässä tilassa toimiva paikannus ei tarvitse yhtäjaksoisesti avukseen palvelinta, voidaankin ajatella, että sen saatavuus on yleensä parempi kuin vastaavan yhteydellisessä tilassa toimivan järjestelmän [16]. Tällainen järjestelmä saattaa esimerkiksi toimia parkkihallissa, missä ei ole mitään verkkoyhteyksiä saatavilla. Näin ollen yhteydettömään tilaan perustuva järjestelmä pystyisi, esimerkiksi tarjoamaan käyttäjilleen mahdollisuuden paikantaa itsensä parkkihalleissa tai muissa sijainneissa, missä ei ole verkkoyhteyttä saatavilla. Se saattaisi toimia myös paremmin tilanteissa, joissa verkkoyhteyden laatu on niin heikko, ettei sen kautta pysty välittämään mitään dataa. Toisaalta, jos laitteelle ei ole ladattu valmiiksi tietokantaa eikä verkkoyhteyttä ole saatavilla, niin silloin yhteydetön ratkaisu ei tulisi toimimaan, mutta ei myöskään yhteydellinen ratkaisu.

Yhteydettömässä tilassa toimiva paikannus saattaa olla hyödyllisempi hätätilanteissa – erityisesti alueilla, joilla verkkoyhteys ei ole käytettävissä. Sitä voidaan esimerkiksi käyttää hätäpuhelujen paikantamiseen parkkihalleissa, mikä olisi muuten käytännössä mahdotonta – ainakin muutamien metrien tarkkuudella. Tätä voitaisiin myös käyttää sähkökatkoksen aikana, jos paikannus perustuisi ainakin osittain maan magneettikentän intensiteetteihin.

Yhteydellisten sisätilapaikannusjärjestelmien ajamat algoritmit palvelimella ovat huomattavan raskaita itse palvelimelle, minkä seurauksena algoritmien ajo palvelimella aiheuttaakin käyttökustannusten kasvua. Eli voidaankin sanoa, että yhteydetön sisätilapaikannusjärjestelmä on kevyempi palvelimen kannalta ja se pitää kaiken raskaan toiminnallisuuden käyttäjän laitteistossa [16]. Yhteydetön sisätilapaikannusjärjestelmä siis vähentää kustannuksia käyttämällä hyödyksi käyttäjien laitteissa olevaa suoritusnopeutta. Ylläpidolliset kustannukset paikannusjärjestelmässä siis vähenevät huomattavasti tämän seurauksena.

Palvelimen ja laitteen välillä siirrettävän datan määrä ei ole yleensä suurta, eikä sillä ole täten suurta vaikutusta datan siirtomääriin. Tietenkin, jos kaikki data pitää olla ladattuna laitteen muistiin eikä palvelimelle, niin dataa siirretään enemmän. Laitteisiin ladattava data on yleensä muutamia megatavuja eli toisin sanoen käyttäjille ei pitäisi missään vaiheessa esiintyä ongelmia datan määrän kanssa. On kuitenkin mahdollista, että tällaiset tiedonsiirtomäärät ovat merkittäviä maissa, joissa verkkoyhteydet eivät ole rajattomia ja jokainen megatavu maksaa runsaasti.

Koska kaikki laskenta tapahtuu yhteydettömissä sisätilapaikannusjärjestelmissä itse laitteessa, niin sijainnin määrittämisen viive pienenee huomattavasti, kun ei tarvitse odottaa palvelinta ja sen vastauksia. Tämä saattaa usein olla erittäin hyvä etu yhteydettömissä sisätilapaikannusjärjestelmissä, jos time-to-first-fix saadaan alhaisemmaksi. Tällaiset järjestelmät ovatkin yleensä vasteajaltaan muutenkin parempia. Tämä tarjoaa mahdollisuuden parempaan käyttäjäkokemukseen. Näin ollen järjestelmästä tulee responsiivisempi käyttäjänkin kannalta eikä tarvitse mahdollisesti odottaa useita kymmeniä sekunteja ennen kuin saadaan käyttäjän sijainti selville.

Toisaalta, datan siirtoon kulunut aika on muuhun laskennallisuuteen verrattuna pieni, ja suurin osa käyttäjän sijainnin paikantamisesta kuluu algoritmin konvergoitumiseen. Eli siihen, että algoritmi pystyy päättämään missä kohtaa käyttäjä ja hänen laitteensa sijaitsee. Algoritmi tarvitsee siis tarpeeksi dataa, jotta käyttäjän sijainti on sen perusteella mahdollista päätellä. Datan siirtoon kulunut viive ei siis yleensä oleellisesti muuta paikantamisen nopeutta vaan enemmänkin parantaa tai huonontaa itse kokonaisvaltaista käyttäjäkokemusta.

Yhteydetön sisätilapaikannusjärjestelmä mahdollistaa myös tehokkaammin laitteiden paikantamisen taustalla. Jos laitteita halutaan paikantaa myös, kun itse paikannussovellus on taustalla, niin havaitaan, että yhteydettömästä sisätilapaikannusjärjestelmästä on yhä enemmän hyötyä. Sen ei tarvitse koko ajan avata verkkoyhteyttä, jotta saadaan sijainti määritettyä – vaan kaikki tapahtuu suoraan käyttäjän laitteessa ja näin ollen laitteen virrankulutus pienenee. Yhteydetön sisätilapaikannusjärjestelmä onkin siis mainio ratkaisu laitteeseen, jonka virrankulutuksen halutaan olevan minimaalinen ja jolla ei ole aina verkkoyhteyttä saatavilla. Tällainen laite voisi olla esimerkiksi jokin koko ajan autossa oleva seurantalaitte, joka on aina välillä parkkihalleissa verkkoyhteyden kuulumattomissa.

3.2.2 Haitat

Toisaalta jos kaikki toiminnallisuus suoritetaan käyttäjän laitteessa, käyttää se huomattavasti enemmän käyttäjän laitteen omia resursseja. Tämä ei välttämättä ole kovin toivottu ominaisuus. Mobiililaitteiden resurssit ovat yleensä erittäin rajatut, joten kaiken toiminnallisuuden suoritus käyttäjän laitteessa tulisi pohtia hyvin tarkkaan. Laitteessa ei välttämättä kannattaisi tehdä mitään liian raskaita operaatioita juuri rajallisten resurssien takia. Tämä saattaa aiheuttaa ylimääräistä virrankulutusta käyttäjien laitteissa. Mobiililaitteissa ajettavien sovellusten halutaan olevan virrankulutukseltaan niin pieniä kuin vain on mahdollista. Onkin mahdollista, että käyttäjät eivät käytä tai poistavat sovelluksia, mitkä kulluttavat liian paljon virtaa.

Yhteydettömien sisätilapaikannusjärjestelmien ongelmana on myös se, että yleensä itse järjestelmien omistajat eivät tiedä koska ja missä järjestelmää käytetään. Tämän voidaan ajatella olevan suuri ongelma, sillä on tärkeää saada palautetta järjestelmän toimimisesta. Toisaalta tämä voidaan ratkaista yhteydettömällä lokituksella: kerätään dataa käyttäjän

sijainnista ja lähetetään tämä palvelimelle, kun verkkoyhteys on käytössä. Kuitenkin kaikenlainen datan kerääminen aiheuttaa aina tietoturvakysymyksiä ja käyttäjän yksityisyyteen liittyviä haasteita: on mietittävä, kuinka tärkeää tällainen datan kerääminen loppujen lopuksi on. Tulisi myös pohtia kuinka data suojataan ja salataan kaikilta ulkopuolisilta siten, että asianomaiset pääsevät siihen helposti käsiksi.

Yhteydettömän sisätalapaikannusjärjestelmän haittapuolena on myös datan tallentaminen laitteeseen: data on käyttäjien saatavilla ja joissakin tapauksissa tällainen kerätty Wi-Fi-data saattaa olla arvokasta eikä sen toivota päätyvän väriin käsiin. Käytännössähän käyttäjällä on pääsy laitteelle tallennettuun dataan ja he voivat tehdä sillä mitä haluavat. Eli jos yhteydetön ratkaisu halutaan toteuttaa, tulisi datan käytännössä olla jo valmiiksi kaikkien saatavilla eikä sen kannattaisi sisältää mitään kovin arkaluonteista tietoa – ei ainkaan tietoa, mitä ei haluttaisi julkisesti jakaa eteenpäin.

Datan lähettäminen palvelimelle myöhemmin jonkinlaisen lokituksen avulla saattaa olla hyvä toimintamalli, mutta siinä on myös haittansa. Tällainen data ei ole enää reaaliaikaista, eikä näin saada informaatiota paikannuksen toiminnasta reaaliajassa. Paikannusjärjestelmä saattaa esimerkiksi olla useita päiviä rikki ja tieto siitä saadaan vasta sitten kun käyttäjän laite saa seuraavan kerran verkkoyhteyden. Tällaisessa tilanteessa tulisi mahdollisesti pohtia olisiko mahdollista havaita erilaisia paikannusvirheitä itse laitteessa sen ollessa yhteydettömässä tilassa.

Yhteydettömässä tapauksessa myös laitteeseen tallennetun datan tulisi olla mahdollisimman synkronoitu itse palvelimella sijaitsevan datan kanssa. Toisin sanoen palvelimelta ladatun ja laitteelle väliaikaisesti tallennetun Wi-Fi-datan tulee siis olla mahdollisimman uutta. Kun tämä data on valmiina laitteessa, ei aktiiviselle verkkoyhteydelle ole enää tarvetta. Datan synkronointi on käytännössä suuri haaste, kun kyseessä on järjestelmä, jolla ei välttämättä ole verkkoyhteyttä aina käytössä. Datan synkronointiprosessi palvelimen ja laitteen välillä tulisi olla niin toimiva ja luotettava, että verkkoyhteyden katkot eivät aiheuttaisi sille mitään ongelmia. Tämän lisäksi datan tulisi olla mahdollisimman usein ja mahdollisimman pian erilaisten muutosten jälkeen synkronoitu palvelimella sijaitsevan datan kanssa.

Datan tallentaminen laitteeseen tuo myös synkronointiongelman itse laitteessa olevan paikannussovelluksen ja laitteeseen tallennetun datan välillä. Paikannussovellus on aina pidettävä synkronoituna paikallisen datan kanssa. Sen on myös tiedettävä ja osattava toimia oikein, jos käyttäjä poistaa lokaalisti tallennetun datan. Tällaisessa tilanteessa sen tulisi todennäköisesti vain pyrkiä lataamaan data uudelleen, jotta paikantaminen voitaisiin taas aloittaa. On myös mahdollista, että käyttäjän laitteen tallennustila tulee täyteen eikä ladattua dataa pystytä näin lataamaan. Tämä saattaa vaikuttaa laitteessa olevan datan eheyteen ja siihen, kuinka paikannus silloin toimii. Nämä ovat yksinkertaisia asioita, mitkä tulisi muistaa ottaa huomioon, kun paikannusjärjestelmää kehitetään.

Myös sijaintialgoritmien päivitys on huomattavasti haastavampaa yhteydettömässä tilassa, kun ei ole käytössä yhtä palvelinta, johon nämä päivitykset voitaisiin tehdä heti tarpeen vaatiessa. Yhteydettömässä tapauksessa, jokaisen loppukäyttäjän sovellus on päivitettävä uusimpaan versioon, jotta saadaan uusimmat muutokset mukaan – tämä saattaa olla haastava prosessi. Käyttäjät eivät yleensä päivitä heti uusimpiin ohjelmistoversioihin ja yhteydellisiin sisätilapaikannusjärjestelmiin verrattuna tällainen päivitystapa on huomattavasti hitaampi. Tämä saattaa aiheuttaa sen, että käyttäjillä on käytössään eri versiot algoritmeista ja paikannussovelluksista. Näin he saattavat saada erilaisia tuloksia riippuen juuri heidän käyttämästään versiosta. Toisaalta sijainnin määrittämisessä käytettäviä algoritmeja ei päivitetä usein, ellei niissä esiinny ongelmia.

Käyttäjien käyttämät eri versiot kehitetyistä sovelluksista aiheuttavat monia ongelmia myös ohjelmistokehittäjille, kun he joutuvat ratkomaan käyttäjien ongelmia. Aina ei välttämättä ole selvää, mitä versiota kukin käyttäjä käyttää ja näin ollen erilaisten ongelmien ratkonta saattaa olla haastavaa sekä aikaa vievää. Tämän lisäksi ohjelmistokehittäjät joutuvat ylläpitämään toiminnassa myös vanhempia versioita sovelluksista - mahdollisesti niin kauan kuin niiden kaikki käyttäjät on saatu päivitettyä uudempiin versioihin. Tällainen vanhempien sovellusten tukeminen lisää ohjelmistokehittäjien työmäärää sekä myös sekavoittaa sitä, kun pitää myös huolehtia vanhemmista sovelluksista, joiden virheet saatetaan olla jo korjattu uudemmissa versioissa. Ohjelmistokehittäjien työmäärä olisi siis pienempi ja yksinkertaisempi, jos sovellusten kaikki toiminnallisuus ei olisi käyttäjien laitteissa.

4. YHTEYDETTÖMÄN SISÄTILAPAUKANNUKSEN TOTEUTUS

Yhteydettömän sisätilapaikantamisjärjestelmän toteuttamisessa on useita asioita, joita tulee ottaa huomioon. Sen toteuttamisessa tulee miettiä, millä käyttöjärjestelmällä sitä on ylipäänsä tarkoitus ensiksi testata ja halutaanko sitä mahdollisesti myös testata toisella käyttöjärjestelmällä. Android ja iOS kuitenkin molemmat rajaavat osittain, kuinka tämä järjestelmä voidaan toteuttaa eli ne ovat melko rajaavia ominaisuuksia – etenkin jos valitaan molemmat.

Vaikka sisätilapaikannusjärjestelmän halutaan olevan yhteydettömässä tilassa, tulee miettiä, kuinka sen tarvitsema data saadaan laitteeseen ja missä vaiheessa järjestelmä tulee olemaan verkkoyhteydessä, jotta tarvittava paikannusdata saadaan laitteeseen ladattua paikannuspalvelimelta. Käytännössä verkkoyhteyttä tulisi siis aina hyödyntää, kun sellainen on saatavilla, sillä koskaan ei tiedetä koska se on seuraavan kerran saatavilla. Ei ole olemassa mitään, mikä takaa koska laitteet saavat seuraavan kerran verkkoyhteyden.

Kolmas iso aihe, joka yhteydettömässä sisätilapaikannusjärjestelmässä tulee esiin, on datan käsittely laitteessa ja kuinka se toteutetaan. Tämä on erityisen oleellista yhteydettömässä sisätilapaikannusjärjestelmässä, sillä siinä käyttäjien laitteille saatetaan tallentaa arkaluonteista Wi-Fi-dataa väliaikaisesti. Datan käsittelyn toteutus tulee miettiä erittäin tarkkaan, ettei myöhemmin kohdata ongelmia vääriin käsiin joutuneen datan kanssa. Datan tulee olla koko ajan samanmuotoista tai ainakin eri komponenttien on oltava tietoisia missä muodossa data liikkuu. Eri komponenttien on myös oltava tietoisia koska data liikkuu, kauanko ja mihin sen on tarkoitus seuraavaksi mennä.

Muita aiheita, joita järjestelmää toteutettaessa on syytä pohtia ovat sensorien lukeminen sekä kuinka algoritmi itseasiassa toimii. Tässä luvussa esitellystä algoritmista on jo olemassa Javapohjainen toteutus, mikä tulee kääntää C-kielelle laitteiden ja muiden paikannuskomponenttien vaatimusten takia.

Toisin sanoen olemassa oleva yhteydellisessä tilassa toimiva sisätilapaikannusjärjestelmä käännetään yhteydettömiin tilanteisiin sopivaksi järjestelmäksi. Tässä hyödynnetään osittain olemassa olevaa koodikantaa, mutta itse yhteydettömän sisätilapaikannusjärjestelmän toimintalogiikka joudutaan tekemään kokonaan uudelleen sen erilaisten vaatimusten takia. Näiden lisäksi luvussa esitellään kehitysehdotuksia ja arvioidaan, kuinka tämän järjestelmän toteutus loppujen lopuksi onnistui. Erityisesti luvussa tuodaan esille ongelmia ja haasteita, mitkä olivat odottamattomia ja mihin ei osattu varautua.

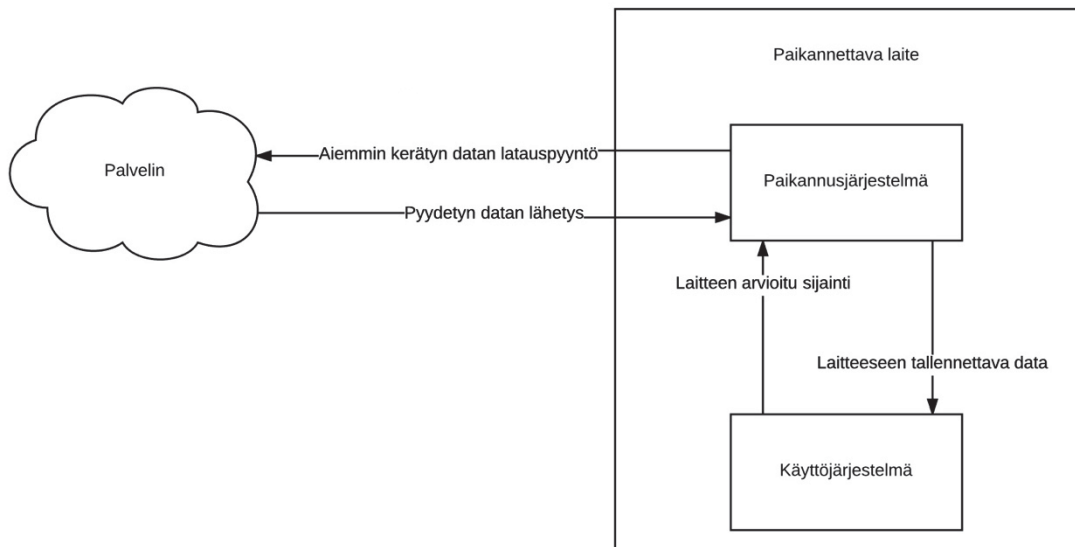
4.1 Yleiset vaatimukset

Järjestelmästä on tarkoitus toteuttaa yhteydettömässä tilassa toimiva sisätilapaikannusjärjestelmä käyttäen mahdollisimman paljon jo olemassa olevaa koodikantaa. Yritetään siis välttää ylimääräinen työ, jotta nähdään mitä haasteita ja hyötyjä tällainen järjestelmä oikeasti tuo. Kyseessä on siis Proof of Concept (POC) -tyylinen projekti. Järjestelmän halutaan toimivan aluksi Android-laitteilla sen Wi-Fi-skannaustuen takia. Jos yhteydettömän sisätilapaikannusjärjestelmän todetaan olevan hyödyllinen ja sen testaaminen onnistuu hyvin, voidaan edetä myös iOS-versioon yhteydettömästä sisätilapaikantamisesta.

Paikantaminen toteutetaan käyttäen apuna jo olemassa olevaa REST-rajapintaa, joka palauttaa kerättyä paikannusdataa pyydytyltä alueelta JSON-muodossa. Tässä tapauksessa palvelimen ainoana tehtävänä on palauttaa tätä paikannusdataa. Paikannusdata sisältää kyseisellä alueella olevien tukiasemien sijainnit sekä muut parametrit. Näiden lisäksi se sisältää havaitut beaconit. Tämä data on tarkoitus käsitellä laitteessa ja käyttää sitä apuna määriteltäessä käyttäjän sijaintia Wi-Fi-skannausten avulla. Käyttäjän sijainti Wi-Fi-skannausten perusteella määritellään yksinkertaisella painotetulla algoritmilla. Toteutus tulee siis olemaan Wi-Fi-perustainen, joka käyttää hyödyksi myös beaconeita, jos niitä on saatavilla kyseisessä sijainnissa. Käyttäjän estimaatin määrittävän komponentin toiminta esitellään luvussa 4.5 yleisellä tasolla.

Toisin sanoen suurin osa toiminnallisuudesta on nimensä mukaisesti tarkoitus tapahtua laitteessa ilman yhteyttä palvelimeen tai mihinkään muuhun. Ainut vaihe missä verkkoyhteyttä tarvitaan, on aiemmin kerätyn paikannusdatan lataaminen palvelimelta. Tämä ajoitus tulee määritellä vielä erikseen ja miettiä kuinka se on kaikista järkevintä toteuttaa.

Järjestelmässä tulee myös huomioida, kuinka palvelimelta ladattu data tallennetaan ja kuinka pidetään huoli, että datan ja yhteyden tietoturvasäilyvyys ja yksityisyys säilyvät. Tässä vaiheessa joudutaan siis pohtimaan aiemmin esiteltyä ongelmaa siitä, kuinka data pidetään yksityisenä ja palvelimen data turvassa ulkopuolisilta. Joudutaan myös miettiä, kuinka data tallennetaan laitteeseen siten, että käyttäjillä on mahdollisimman pienet mahdollisuudet päästä käsiksi dataan muissa kuin kyseisen järjestelmän paikantamistarkoituksissa.



Kuva 6. Haluttu yhteydetön toteutus, kun järjestelmä on käytössä

Yllä oleva Kuva 6 tiivistää aiemmin esiteltyt vaatimukset järjestelmälle. Käytännössä kaikki toiminnallisuus alkaa siitä, kun laite lähettää arvioitun sijainnin paikannusjärjestelmään, joka sen perusteella sitten pyytää aiemmin kerättyä dataa. Kun palvelin saa pyynnön, lähettää se pyydetyn datan takaisin paikannusjärjestelmälle, josta se kulkeutuu takaisin paikannettavaan laitteeseen talteen ennalta määriteltyyn tietokantaan.

4.2 Datan lataaminen palvelimelta

Datan lataaminen palvelimelta on selkeästi yksi monimutkaisimmista aiheista. Datan lataaminen tulee suorittaa silloin kun laitteella on verkkoyhteys käytössä. Sen lataaminen ei välttämättä ole ilmiselvä asia, kun kyseessä on yhteydetön sisätilapaikantaminen. Laitteella ei siis välttämättä ole verkkoyhteyttä aina käytettävissään. Tämän takia datan lataaminen ja lähettäminen on jaksotettava ja määriteltävä oikein, jotta tämän kaltainen järjestelmä on edes mahdollista toteuttaa.

Laitteen on aluksi hyvä saada arvio nykyisestä sijainnistaan, joka määrittelee, minkälaiselta alueelta dataa palvelimelta ladataan. Alkuarvio on useimmissa tapauksissa laitteen sen hetkinen sijainti tai käyttäjän määrittelemä sijainti, jos applikaation tekijä on tämän erikseen määritellyt. Tämän alkuarvion avulla lasketaan halutut paikannusdatat ja lähetetään niiden latauspyyntö palvelimelle. Palvelimen tarjoama paikannusdata sisältää siis aiemmin kerättyä Wi-Fi- ja beacon-dataa. Palvelimen ainut toiminnallisuus tässä järjestelmässä on tarjota Wi-Fi- ja beacon-dataa.

Jos paikannusdatan lataaminen ensimmäisellä kerralla ei onnistu, niin silloin ei myöskään ole paikannus käytössä, sillä järjestelmä tarvitsee joka tapauksessa toimivan verkkoyhteyden ennen ensimmäistä paikantamista. Tämän jälkeen verkkoyhteyttä ei välttämättä

tarvita, sillä kaikki paikantamiseen liittyvät laskennat tapahtuvat itse laitteessa. Toisin sanoen järjestelmän on oltava ainakin kerran verkkoyhteydessä, jotta tarvittava paikannusdata saadaan ladattua. Toisaalta voidaan ajatella, että järjestelmä muodostaa yhteyden palvelimelle samassa vaiheessa kuin sitä käyttävä applikaatio asennetaan ja näin ollen data voidaan ladata asennusvaiheessa. Tässä vaiheessa järjestelmä voisi ladata tarvitsemansa paikannusdatan niin suurelta alueelta, että lataamiselle ei välttämättä olisi tarvetta myöhemmin. On myös mahdollista, että koko tarvittava paikannusdata tulisi asennuspaketin mukana.

Kuten voidaan havaita, verkkoyhteyden laadun havaitseminen on loppujen lopuksi melko tärkeää. Tämä on otettava huomioon järjestelmää tehdessä; on tiedettävä, missä vaiheessa hyvä verkkoyhteys on käytettävissä, sekä missä vaiheessa sitä voi ja pitää käyttää uuden datan lataamiseen palvelimelta. Ylipäättänsä on huomioitava verkkoyhteyden vaikutukset järjestelmään, jonka voi olettaa olevan suurimmaksi osaksi verkkoyhteyden tavoittamattomissa. Tällaista järjestelmää olisikin siis hyvä testata sijainneissa, joissa verkkoyhteyttä ei ole ollenkaan tai sen laatu on huono.

4.3 Datan käsittely laitteessa ja sen välittäminen eteenpäin

Koska suurin osa toiminnallisuudesta siirretään itse laitteeseen palvelimen sijasta, tulee sinne huomattavasti enemmän datan käsittelyä ja sen välittämistä eteenpäin. Datan on tarkoitus kulkea suurimmaksi osaksi JSON-muodossa palvelimen ja laitteiden välillä.

Vaikka siirrettävä ja käsiteltävä data tulee olemaan käytännössä samassa muodossa koko ajan, liittyy siihen silti monia haasteita. Järjestelmään tulee myös toteuttaa jonkinlainen välimuistijärjestelmä, jotta paikannusdatan saaminen olisi nopeampaa eikä siihen tarvittaisi verkkoyhteyttä. Tämä data saattaa joissain tapauksissa olla arvokasta, jonka takia on hyvä miettiä, kuinka se tallennetaan laitteeseen. Käyttäjien on käytännössä mahdollista päästä myös käsiksi tähän dataan.

Toteutettava järjestelmä tarvitsee siis osakseen välimuistijärjestelmän, joka on synkronoitu aina aika ajoin palvelimella olevan datan kanssa. Laitteella oleva paikannusdata siis pitää aina ennalta määritellyn ajan välein synkronoida palvelimella sijaitsevan datan kanssa. Laitteille tallennettava data siis sijaitsee edellä mainitussa välimuistijärjestelmässä. Kun synkronointi on kunnossa, palvelimella sijaitsevaan dataan tehdyt paikannusta parantavat muutokset ovat kohtuullisen ajan kuluessa käytössä myös laitteissa. Välimuistijärjestelmässä on kuitenkin vaarana se, jos se ei toimi oikein tai synkronointi ei ikinä onnistu, niin silloin saatetaan käyttää vanhaa paikannusdataa.

Välimuistijärjestelmään on tarkoitus tallentaa ladattua paikannusdataa, jotta yhteydetön toteutus edes olisi mahdollinen. Tallennettava datamäärä ei ole suurta, joten tätä varten ei tarvita suurta määrää tallennustilaa. Riittävä määrä tallennustilaa välimuistijärjestelmälle on muutama kymmenen megatavua. Data tallennetaan laitteiden sisäiselle muistille, eikä

ulkoiselle, ettei esiintyisi ongelmia, joissa data on kadonnut. Myös tallennettavan datan pieni määrä tukee laitteiden sisäisen muistin käyttämistä.

Välimuistijärjestelmä käyttää ladatun paikannusdatan tallentamiseen käyttöjärjestelmien (iOS ja Android) omia metodeja. Data tallennetaan binäärimuodossa omiin tiedostoihinsa, ja niistä pidetään indeksiä SQLite-tietokannassa. SQLite-tietokanta sisältää myös tiedon koska kyseinen paikannusdata on ladattu, jotta sen validoiminen ja synkronointi olisi mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista. Toteutettavan järjestelmän on siis tarkoitus olla mahdollisimman yksinkertainen.

4.4 Sensorien lukeminen

Kuten aiemmin tuli jo esille, yhteydetöntä sisätilapaikannusjärjestelmää toteutettaessa on otettava myös huomioon laitekohtaiset erot eri sensorien välillä; toisten laitteiden sensorit lähettävät useammin keräämäänsä dataa kuin toiset. Sensorien lukeminen toteutettaisiin samalla tavalla yhteydellisessä sisätilapaikannusjärjestelmässä. Sensorien lukemisessa kerätty data kerätään yhteen aina, jonka jälkeen se lähetetään tietyin väliajoin käsiteltäväksi. Näin vältetään laitekohtaisilta eroilta sensorien lukunopeuksissa. On kuitenkin huomioitava, että eri laitteet voivat kerätä sensoridataa hieman eri muodossa, jonka takia se tulisi normalisoida mahdollisimman yhteneväksi kaiken kerätyn sensoridatan kanssa.

Näiden sensorien lukunopeuksia on myös mahdollista tietyissä laitteissa muokata, jolloin voidaan saada sensorilukemia useammin ja näin ollen on olemassa enemmän dataa. Ja mitä enemmän on kerättyä dataa, niin sitä parempi tarkkuus voidaan saavuttaa sijaintia määritettäessä. Tämä on kuitenkin ylimääräinen ominaisuus, jolla ei ole tässä vaiheessa merkitystä, kun tehdään yhteydetöntä sisätilapaikannusjärjestelmää. On kuitenkin suotavaa, että kaikki laitteet lähettäisivät sensorilukemansa suunnilleen samassa tahdissa.

Sensorien lukeminen ei vaadi tämän enempää logiikkaa, kuin niiden lähettäminen yhdessä paketissa laskentaa tekeväälle järjestelmälle. Eli järjestelmää tehdessä tulee muistaa kerätä kaikki sensoridata yhteen pakettiin, joka lähetetään ennalta määritellyn ajan mukaan eteenpäin. Järjestelmä hoitaa tämän datan lukemisen ja purkamisen eteenpäin käytettäväksi sijainnin määrittämisessä. Sensoridatan lukeminen ja lähettäminen ovat siis jo käytännössä valmiina, kun tätä yhteydetöntä sisätilapaikannusjärjestelmää aletaan tehdä.

4.5 Algoritmin toiminnallisuus

Käyttäjän sijainnin määrittämiseen sisätilassa käytetään algoritmia, joka perustuu painotettuun keskiarvoon. Algoritmilta syötetään laitteen mittaamaa radiodataa. Tämä koostuu siis Wi-Fi-skannauksessa saaduista datoista ja laitteen välittömästä läheisyydestä löytyneistä BLE -laitteista. Tämän jälkeen algoritmissa verrataan näitä arvoja aiemmin ladattuun paikannusdataan, jonka sijaintitietoja käytetään tässä apuna.

Näille Wi-Fi-skannauksessa saaduille tukiasemille voidaan laskea painotetut arvot käyttäen hyödyksi kaikkea saatavilla olevaa dataa. Painojen avulla voidaan määrittää käyttäjän sijainniksi painotettu keskiarvo tukiasemien paikoista.

Algoritmi ei ole suorituskyvyllisesti kovin vaativa, mikä on hyvä asia mobiililaitteiden maailmassa. Se tarjoaa kuitenkin käyttäjän nopean sijainnin määrittämisen, kunhan paikannusdata vain on laitteessa valmiina. Tällainen ratkaisu on hyvä juuri yhteydettömässä tilassa toimivalle järjestelmälle.

4.6 Arviointi

Kuten edellisistä luvuista voidaan havaita, ei tällaisen yhteydettömän sisätilapaikannusjärjestelmän toteuttaminen ole aivan yksinkertaista. Sitä toteuttaessa on edessä useita haasteita, mutta etenkin päätöksiä liittyen järjestelmän yleiseen toimintaan. Nämä päätökset ovat usein yrityksen toimintaan ja pääperiaatteisiin liittyviä, kuten sijaintidatan tallentaminen ja sen yksityisyys. Vaikka ne liittyvät yrityksen toimintaan, on niillä suuri vaikutus teknisiin ratkaisuihin ja niiden takia tehtäviin päätöksiin.

Eryteisesti tätä yhteydettömässä tilassa toimivaa järjestelmää toteutettaessa suurimmat haasteet olivat selkeästi se, kuinka tämän järjestelmän halutaan ylipäänsä toimivan: onko tarkoitus olla koko ajan yhteydettömässä tilassa vai käytetäänkö sitä vain yhteydellisen tilan jatkeena silloin kuin verkkoyhteyttä ei ole käytettävissä. Käyttötarkoitus olisi mahdollisesti kannattanut määritellä alusta alkaen selkeämmin, jolloin se olisi ollut jonkinlaisena tavoitteena siitä mitä halutaan. Koska kyseessä oli kuitenkin POC, niin tällainen lähestymistapa oli ymmärrettävä.

Toisena suurena haasteena oli toteutuksen tekeminen C-kielellä, sillä aiemmasta käytöstä oli kulunut aikaa. Mutta kun C-kielen ominaisuudet muistui mieleen, niin työn tekeminen loppuun ei tuottanut enää ongelmia tämän suhteen. Tämän lisäksi haasteita aiheutti tämän uuden ominaisuuden liittäminen jo olemassa olevaan järjestelmään, mikä vaati hyvää tuntemusta kyseisestä järjestelmästä. Järjestelmään tutustumisen jälkeen uuden ominaisuuden liittäminen siihen onnistui ilman, että se tuotti uusia ongelmia.

Haasteita tuotti myös koko järjestelmän toimintalogiikan saaminen järkeväksi kaikkien kannalta. Tuli pohtia, miten tämä uusi toteutus paikantamisjärjestelmästä liitetään olemassa olevan rinnalle. Oli pohdittava myös, kuinka tällainen järjestelmä näkyy itse lopputuottajille sekä kuinka se näkyy ohjelmistokehittäjille. Tällaiset päätökset ovat kuitenkin suuria, sillä niiden muuttaminen myöhemmin on haastavaa, jos aiemmin on jo päädytty tietynlaiseen rajapintaan tämän järjestelmän suhteen. Missään tapauksessa ei haluta vahingoittaa ohjelmistokehittäjien työtä muuttamalla kerran määriteltyjä rajapintoja uudelleen.

Toisin sanoen uuden osan lisääminen olemassa olevaan järjestelmään vaati myös monia päätöksiä, jotka eivät olleet niin teknisiä. Loppukäyttäjien tarpeet tuli ottaa huomioon ja näin ollen järjestelmän piti olla sellainen, että loppukäyttäjät näkevät sen myös hyödyllisenä ominaisuutena. Uusi osa siis noudatti huomattavasti olemassa olevien käyttäjien toiveita siitä, mitä he tällaiselta yhteydettömässä tilassa toimivalta järjestelmältä haluavat.

Myös datan kulkeminen oikeassa muodossa oikeaan aikaan oikeaan paikkaan tuotti haasteita. Oli haastavaa löytää, missä kohtaa Java- ja C- koodia järjestelmä kaatui. Piti miettiä, kuinka toimitaan, jos haluttua paikannusdataa ei ole saatavilla ja mitä tehdään, jos kohdataan paikannusdataan liittyviä virhetilanteita. Tässä vaiheessa työtä tuli myös pohtia, kuinka laitteeseen tallennetaan dataa. Oli siis mietittävä, kuinka data suojataan ulkopuolisilta niin, ettei siihen pääse kukaan helposti käsiksi, vaikka se olisi olemassa laitteessa koko ajan. Sen lisäksi tuli pohtia, kuinka järjestelmästä tehdään mahdollisimman robusti. Niin kestävä, ettei se kaadu kaikkiin virheisiin, kuten virheellisesti määriteltyihin beaconeihin.

Eryityisesti beaconit, jotka eivät olleet standardin mukaisia saattoivat kaataa koko paikannusjärjestelmän ilman mitään helposti löydettävää virheilmoitusta. Nämä ongelmat perustuivat kuitenkin suurimmaksi osaksi liian positiivisiin olettamuksiin beaconeista ja muiden järjestelmien toiminnasta ja standardien noudattamisesta. Järjestelmä tehtiin kuitenkin niin vikasietoiseksi, että vakavan virheen kohdatessa se ei kaatunut vaan pyrki jatkamaan toimintaansa mahdollisuuksien mukaan. Eryityisesti standardeja tukemattomat beaconit eivät enää kaataneet järjestelmää. Tämä oli mystinen ongelma, jonka ratkaisuun kului ylimääräistä aikaa, koska oltiin oletettu, että kaikki beaconit olisivat standardien mukaisia.

Suuria ongelmia toteutuksessa tuotti erilaiset virheelliset toimintalogiikat ja näiden virheelliset tarkistukset, joihin järjestelmä saattoi kaatua ilman virheilmoitusta. Ongelmia toimintalogiikassa esiintyi esimerkiksi siinä, missä vaiheessa laitteella kerätyt sensoridatat lähetettiin paikantamisesta vastuussa olevaan komponenttiin. Sensoridatat saattoivat lähteä väärään aikaan, jolloin kaikki ei ollut vielä valmista itse paikantamiselle.

4.7 Kehitysehdotukset

Nyt kun on olemassa tuki paikantamiselle myös yhteydettömässä tilassa, niin tälle löytyy varmasti paljon uusia käyttötarkoituksia ja mahdollisuuksia. Voidaankin ajatella, että uutta yhteydetöntä sisätilapaikannusjärjestelmää voidaan joko käyttää yhteydellisen järjestelmän korvaajana tai vain sen tukena tilanteissa, joissa verkkoyhteys on heikko. Tällainen tilanne saattaisi esimerkiksi olla ostoskeskuksissa, joiden parkkipaikoilla verkkoyhteydet eivät yleensä toimi, mutta itse ostoskeskuksessa ne toimivat. Näin saataisiin kehitettyä järjestelmä, joka on toimintavalmiudessa koko ajan – oli verkkoyhteys tai ei.

Toisaalta järjestelmä, jossa olisi sekä yhteydellinen että yhteydetön toteutus todennäköisesti aiheuttaisi myös uusia haasteita. Ainakin paljon enemmän ratkaistavaa ja pohdittavaa, sillä silloin siinä olisi molempien toteutustapojen haasteet, mutta toisaalta myös hyödyt. Yhtenä suurimpana haasteena olisi selkeästi paikannusalgoritmien synkronointi yhteydellisen ja yhteydetön toteutuksen välillä. Tulisi pohtia kuinka algoritmi, joka sijaitsee sekä palvelimella, että käyttäjien laitteessa pidettäisiin niin hyvin synkronoituna, ettei sen takia tulisi ongelmia paikannustarkkuudessa eri sijainneissa.

Tällaista yhdistettyä järjestelmää voitaisiin esimerkiksi käyttää hyödyksi tilanteissa, joissa käyttäjä saattaa aina välillä haluta erittäin tarkkaa sijaintia yhteydellisen sisätilapaikannusjärjestelmän kautta. Välillä käyttäjälle saattaa riittää yksinkertaisempi ja epätarkempi sijainti, jolloin voitaisiin käyttää vähemmän virtaa kuluttavaa yhteydetöntä sisätilapaikannusjärjestelmää, jonka ei tarvitsisi olla verkkoyhteydessä koko ajan. Näin saavutettaisiin käyttäjiä tyydyttävä tarkkuus paikantamisessa sekä säästettäisiin käyttäjän laitteen virtaa ja paikannusjärjestelmän palvelinkustannuksia.

Pelkästään yhteydetön tilassa toimivasta järjestelmästä voisi olla esimerkiksi hyötyä maissa, joissa verkkoyhteyksien laatu ei ole vakaa eikä niiden kautta pysty siirtämään tarpeeksi luotettavasti dataa. Toisaalta myös erilaiset yksittäiset sijainnit, kuten sairaalat, saattaisivat hyötyä pelkästään yhteydetön tilassa toimivasta paikannusjärjestelmästä. On kuitenkin osoitettu, että yhteydellinen sisätilapaikannusjärjestelmä tarjoaa sairaaloillekin erittäin tarkkaa ja toimivaa paikannusratkaisua kuten huomataan juuri julkistetusta paikannusapplikaatiosta Sarasotan sairaalassa [9]. Tietenkin tuollainen ratkaisu tarvitsee avukseen tarpeeksi tukiasemia ja beaconeita.

Selkeänä kehityskohtena tässä järjestelmässä myös olisi se, kuinka sisätilapaikantaminen saataisiin yhtäläisemmäksi kokemukseksi Androidilla ja iOS:lla. Olisi tärkeää, että paikantamiskokemus olisi näillä molemmilla alustoilla mahdollisimman samanlainen, ilman että toinen tarjoaisi huomattavasti parempaa sijaintia. Tulisikin siis pohtia kuinka tehty järjestelmä kannattaisi tehdä iOS:lle, jotta siitä saataisiin kaikista suurin hyötyä irti ilman, että se jäisi paljoo jälkeen vastaavalle Android toteutukselle. Tämän pohdinnan seurauksena järjestelmän voisi siis tehdä myös toimimaan iOS-alustalla, jotta saavutettaisiin suurempi kohdeyleisö. Tämä mahdollistaisi paremman asiakkaiden palvelemisen.

Tällainen järjestelmä, jossa on käytössä melko yksinkertainen algoritmi käyttäjän sijainnin määrittämiseen, ei kuitenkaan tarjoa markkinoiden tarkinta mahdollisinta sijaintitietoa. Olisikin ehkä syytä pohtia, kuinka tätä järjestelmää voisi kehittää edelleen, jotta paikannustarkkuus parantuisi lähemmäksi markkinoiden tarkimpia paikannusalgoritmeja. Toisaalta jokainen algoritmi vaikuttaa eri tavalla, niin tarkkuuteen kuin myös time-to-first-fix:iin. Eli tulisikin pohtia millainen algoritmi olisi paras siten, että se täyttäisi kaikki halutut toiveet paikannuksen suhteen.

Järjestelmän paikantamistarkkuutta voisi parantaa lisäämällä tähän paikantamisalgoritmiin Pedestrian Dead Reckoning (PDR) [1]. Sen avulla voitaisiin tarkemmin määrittää käyttäjien suunta ja näin ollen päätellä mihin käyttäjät ovat mahdollisesti seuraavaksi kulkeudessa. Tämä tarjoaisi sulavamman toteutuksen käyttäjän paikantamiselle. PDR ottaa huomioon ihmisten liikkeelle tyypillisiä ominaisuuksia ja arvioi näiden perusteella käyttäjän suuntaa. Näin paikantamistarkkuus siis paranisi ja tämän seurauksena käyttäjät saisivat entistä paremman käyttökokemuksen. PDR siis parantaisi käyttökokemusta huomattavasti nykyisestä. Tämä vaatisi vain hieman lisää laskentaa laitteelle ja sensoreista kerättyä dataa tulisi hyödyntää paremmin. Tämän voisi siis selkeästi nähdä seuraavana kehityskohteena tällaiselle yhteydettömälle sisätilapaikannusjärjestelmälle.

Tällaisen POC:a varten tehdyn järjestelmän kehittämistarpeiden löytäminen on osittain selkeää. Kyseisen järjestelmän toimintalogiikkaa onkin erityisesti tarpeen vielä tästä parantaa ja hioa robustimmaksi. Tämä voidaan nähdä tärkeänä kehittämisen kohteena järjestelmässä, jolla ei ole verkkoyhteyttä käytössä. Sen tulisi olla niin robusti kuin vain mahdollista.

Erytyisesti tulisi kiinnittää huomiota siihen, kuinka välimuistijärjestelmä toimii, ja missä vaiheessa uutta paikannusdataa ladataan. Välimuistijärjestelmä kannattaisi pohtia mahdollisimman tehokkaaksi sekä myös mahdollisimman vähän tilaa vieväksi laitteilla olevan pienen tallennustilan takia. Sen synkronointi niin lokaalin kuin palvelimen kanssa tulisi myös tehdä niin vikasietoiseksi kuin vain mahdollista. Synkronoinnin olisi myös hyvä tapahtua mahdollisimman usein – aina kun olisi jotain synkronoitavaa. Tämä estäisi sen, että vastaan tulisi tilanteita, joissa on käytössä vanhentunutta dataa eikä tiedetä mikä sen aiheuttaa.

Myös erilaiset virhetilanteet koko järjestelmässä tulisi miettiä todella tarkkaan, järjestelmän ei kannata missään vaiheessa kaatua kokonaan virheeseen. Sen tulisi pystyä palautumaan erilaisista virheistä ilman, että se vaikuttaa paikantamisen muihin osiin. Sen tulisi siis olla niin vikasietoinen kuin vain mahdollista. Erilaisten virhetilanteiden tulisi olla käytännössä näkymättömiä loppukäyttäjälle, kun ollaan yhteydettömässä tilassa ja kohdataan jokin virheitä aiheuttava komponentti tai asia. Nämä virhetilanteet, joita mahdollisesti kohdataan, kun verkkoyhteys ei ole saatavilla olisi tärkeää tallentaa johonkin odotamaan seuraavaa kertaa, kun laitteella olisi verkkoyhteys saatavilla. Tällöin ne voitaisiin lähettää palvelimelle tutkittavaksi ja näin erilaiset viat eivät jäisi korjaamatta.

Yksi kehityskohteista voisi myös olla paikannus eri kerrosten välillä: tämä ei ole yksinkertainen asia, sillä se vaatii paljon logiikkaa kerrosten vaihtamiseksi. Järjestelmää kannattaisi siis kehittää niin, että se pystyisi myös huomaamaan, missä kerroksessa ollaan. Tähän voisi esimerkiksi auttaa ilmanpainemittarin hyödyntäminen, kuten Leppäkoski mainitsee [1]. Laitteen ilmanpainemittaria voitaisiin verrata aiemmin olleisiin arvoihin ja

näin olisi mahdollista päätellä, jos käyttäjä ja laite siirtyvät mahdollisesti toiseen kerrokseen. Toisena mahdollisena ratkaisuna olisi selkeästi jokaisessa kerroksessa olevat beaconit, joita laite sitten havaitsisi sitä mukaan, kun liikkuisi eri kerrosten välillä.

Kun järjestelmä voidaan todeta tarpeeksi toimintavarmaksi tilanteissa, joissa verkkoyhteys ei ole saatavilla, voidaan se viedä tuotantoon asti. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmän tulee olla vikasietoinen, tarkka ja robusti. Nämä asiat kuitenkin vaativat paljon testaamista eikä voidakaan olettaa, että järjestelmä olisi heti valmis tuotantokäyttöön. Ohjelmistokehittäjien tulisi testata järjestelmää useissa eri sijainneissa, useilla eri laitteilla ja useilla eri verkkoyhteyden saatavuusasteilla. Näin ollen voitaisiin varmistua, että järjestelmä toimii oikein.

Toisaalta tässäkin tapauksessa on muistettava, että tämän järjestelmän kehittäminen halutunlaiseksi tulee todennäköisesti myös vaatimaan jonkinlaisia kompromisseja paikantamistarkkuuden suhteen. Ilman tiettyjä kompromisseja ei järjestelmästä välttämättä saada helposti skaalautuvaa ja taloudellista ratkaisua, mitä voidaan oikeasti hyödyntää myös tulevaisuudessa.

5. TULEVAISUUS

Sisätilapaikantamisella on selkeästi edessään vielä paljon ongelmia, jotka kaipaavat ratkaisua. Tämän lisäksi on odotettavissa, että jokin tietty paikantamistapa yleistyy enemmän kuin muut – näin ei ole tällä hetkellä vielä varsinaisesti käynyt, vaan nyt käytetään näitä kaikkia tekniikoita sekaisin saavuttaakseen paras suorituskyky mahdollisimman useassa käyttökohteessa. Ehkä tämä on mahdollisesti se tapa, jolla sisätilapaikantaminen tulee tulevaisuudessa toteuttaa. On kuitenkin selvää, että lähitulevaisuudessa tulee olemaan paljon sisätilapaikannukseen liittyviä ratkaisuja ja haasteita, joita pyritään ratkaistaan niin ohjelmistokehittäjien kuin eri viranomaistenkin puolesta.

5.1 5G

5G-paikannus on osa tulevaa 5G-verkkoa, joka on 4G-verkon seuraaja. 5G-verkko tulee mahdollistamaan entistä tarkemman paikantamisen, jopa sisätiloissa. Tuleva 5G-standardi lupaa paikannustarkkuuden olevan metrin tai alle, joten saattaa olla, että muutamien vuosien kuluessa ei näillä muilla paikantamistavoilla ole merkitystä [25]. 5G saattaa ratkaista sisätilapaikantamisen ongelmat sen suuntautuvien antennien avulla, jotka mahdollistavat käyttäjien tarkan paikantamisen. Tämä tietenkin vaatii laajan 5G-peittoalueen sekä 5G:tä tukevat käyttäjien laitteet, jotka ovat vielä vähintään muutamien vuosien päässä. Tuleva 5G-standardi vaatii myös tiheässä olevat tukiasemat, jotta nämä kaikki uudet tiukat vaatimukset voidaan täyttää. Eli nykyisille ratkaisuillekin on selkeästi vielä kysyntää useiden vuosien ajan, jotta saadaan toteutettua sisätilapaikantamista mahdollisimman monipuolisesti.

Toisaalta muutamien vuosien kuluttua tilanne saattaa olla se, että 5G:llä on laaja peittoalue ja sitä tukevia laitteita on useita, jolloin aiemmat teknologiat sisätilapaikantamisen toteuttamiseksi saattavat olla turhia. Tämän lisäksi ne saattavat mahdollisesti tarjota huomion käyttökokemuksen kuin 5G:n tarjoama sisätilapaikannuksen tarkkuus. Tämä jää kuitenkin tulevaisuudessa nähtäväksi kuinka nopeasti 5G yleistyy ja kuinka hyvin se loppujen lopuksi tulee tarjoamaan hyvää ja luotettavaa sisätilapaikannusta. Myös käyttäjien laitteiden on yleistyttävä tukemaan uutta 5G-standardia, jotta siitä olisi mitään hyötyä.

5.2 Uudet käyttökohteet

Joka tapauksessa sisätilapaikantaminen tulee olemaan tärkeässä roolissa tulevaisuudessa, sillä ihmiset viettävät keskimäärin yli 80% ajastaan sisätiloissa, kuten selviää aiemmin tehdystä tutkimuksesta [26]. Se tulee siis olemaan todennäköisesti erittäin merkittävä teknologia tulevaisuudessa. Sen käyttötapaukset ovat vasta selviämässä ja uusia käyttökoh-

teita on tulossa tulevaisuudessa. Sen nykyiset käyttökohteetkin ovat merkittäviä käyttäjien käyttökokemuksen kannalta: navigointi sisätiloissa ja mainonta sekä seuranta metrien tarkkuudella.

Tulevaisuudessa onkin mahdollista, että sisätilapaikantamista käytetään hyödyksi kaikessa mahdollisessa mihin se vain sopii sekä missä se on taloudellista. Todennäköisesti mikä tahansa kauppa haluaa seurata käyttäjiään tarkasti, jotta he voivat paremmin analysoida kuinka käyttäjät käyttäytyvät kaupoissa. Tämän lisäksi kaupat haluavat todennäköisesti tarjota käyttäjille tarkemmin personoituja mainoksia riippuen heidän tarkasta sijainnistaan. Tämäkään ei olisi mahdollista nykyisillä GNSS-järjestelmillä vaan tarvitaan selkeästi jotain vielä tulevaisuudessa olevaa sisätilapaikantamisjärjestelmää.

5.3 Tulevaisuus ohjelmistokehittäjien kannalta

Toisaalta tällaiset sisätilapaikantamisjärjestelmät tulevat selkeästi lisäämään ohjelmistokehittäjien työmääriä, sillä ne vaativat uudenlaista ja tarkempaa sovelluslogiikkaa eri tilanteisiin riippuen käyttäjien sijainnista. Ne tulevat myös vaatimaan paljon enemmän tallennettavaa dataa, jos sitä halutaan käyttää jollakin tavalla hyödyksi. Tällöin datalle on löydettävä jokin paikka mihin se tallennetaan. Data voidaan joko tallentaa palvelimille tai laitteille. Toisaalta on myös mahdollista, että tulevaisuudessa sisätilapaikantaminen tulee olemaan osa käyttöjärjestelmiä eikä sen käyttäminen tuota enää suuria haasteita.

Ohjelmistokehittäjien on tällöin pohdittava tarkemmin, kuinka sovellukset tehdään ja kuinka niiden käyttötapaukset tulevaisuudessa mahdollisesti eroavat nykyhetkestä. Sisätilapaikantaminen tulee siis tarjoamaan uusia sovelluksia, joita ohjelmistokehittäjien on tehtävä. Tällä on siis selkeä positiivinen vaikutus myös työpaikkojen kasvun suhteen.

Tulevaisuudessa ohjelmistokehittäjien on myös ratkaistava, kuinka sisätilapaikantaminen ilman verkkoyhteyttä ratkaistaan mahdollisesti paremmin kuin se tällä hetkellä on ratkaistu tässä työssä esitellyllä tavalla. On pohdittava, kuinka sisätilapaikantamisesta luodaan niin robusti, että se toimii missä vain ilman että siinä esiintyy vakavia virheitä paikantamisessa – sen tulee siis olla erittäin toimintavarma.

Toisaalta on myös mietittävä, kuinka sisätilapaikannusjärjestelmillä saadaan katettua mahdollisimman suuri markkinaosuus niin Android- kuin iOS-puolellakin. Onkin siis pyrittävä ratkaisemaan erot näiden käyttöjärjestelmien ominaisuuksien välillä. On tutkittava, kuinka iOS saadaan samalle tasolle Androidin kanssa, mutta myös ratkaistava kuinka Androidiin tulemassa olevat virrankäyttöominaisuudet ja -rajoitteet vaikuttavat sen tulevaisuuteen [21]. Toisaalta tässä on mahdollisuutena se, että Android menee lähemmäs iOS:a toiminnallisuudellaan ja näin ollen helpottaa sisätilapaikannusjärjestelmien rakentamista tulevaisuudessa.

Kuten aiemmin työssä tuli esille, niin myös eri viranomaiset saattavat tulevaisuudessa vaatia sisätilapaikantamisen toimivuutta mahdollisimman monessa paikassa mahdollisimman tarkasti, kuten hätäpuhelujen aikana. Tällöin varmasti halutaan myös, että paikantaminen toimii silloin kun verkkoyhteys ei ole toimintakunnossa, esimerkiksi sähkökatkoksen aikana. Tällöin tullaan tarvitsemaan toimivaa yhteydettömässä tilassa toimivaa sisätilapaikantamisratkaisua. Todennäköisesti yhteydettömässä tilassa toimiva sisätilapaikantaminen tulee olemaan suuressa osassa sisätilapaikantamisen tulevaisuutta, sillä verkkoyhteys on kuitenkin yhä ympäri maailman melko rajattu. Eli sisätilapaikantamisen kehittyminen tulevaisuudessa voi olla myös osittain viranomaisten vaikutusta heidän omien vaatimustensa ansiosta.

Monien vuosien aikana kaiken siirrettävän datan määrä on kasvanut eksponentiaalisesti, ja se tulee todennäköisesti tulevaisuudessa yhä jatkamaan kasvuaan. Tämä tulee luomaan yhteydettömälle sisätilapaikantamiselle uusia haasteita siinä, kuinka dataa saadaan mahdollisimman tehokkaasti siirrettyä laitteen ja palvelimen välillä niin, ettei se aiheuta muita ongelmia. Onkin siis ratkaistava juuri datan siirtoon liittyviä ongelmia yhteydellisen ja yhteydettömän tilan välillä.

6. YHTEENVETO

Kuten huomataan, sisätilapaikannus on kasvava aihealue ja tutkimus sen parissa tulee varmasti vain kiihtymään. Erityisesti haasteet liittyen yhteydettömään sisätilapaikannukseen ovat haasteellisia ja niille tulee varmasti olemaan kova kysyntä.

Tällaiset sisätilapaikannusjärjestelmät mahdollistavat monia käyttökohteita kuten käyttäjien liikkumisen seuraamisen kaupoissa ja ostoskeskuksissa. Myös käyttäjien opastaminen lentokentillä, juna-asemilla ja suuremmissa rakennuksissa tulee varmasti olemaan suosittua. Toisaalta sisätilapaikantamista voidaan käyttää myös käyttäjien turvallisuuden parantamiseen, kuten hätäpuheluiden helpompaan, nopeampaan ja tarkempaan paikallistamiseen sisätiloissa.

Ennen kuin tällaiset seurantamahdollisuudet ovat mahdollisia, on löydettävä keino paikantaa käyttäjä nopeasti ja tarkasti metrin tarkkuudella ilman että kyseinen paikannusjärjestelmä vaatii suuria investointeja. Ratkaisuja tähän on tällä hetkellä useita, ja niitä yhdistelemällä voidaan saavuttaa taloudellisesti kannattavia sisätilapaikannusjärjestelmiä, joissa myös käyttäjäkokemus on hyvä.

Tässä työssä tutkittiin yhteydellisten ja yhteydettömien sisätilapaikannusjärjestelmien eroja sekä niiden hyötyjä ja haittoja. Huomattiin, että molemmille toteutustavoille on omat käyttötarkoituksensa eikä kumpikaan tarjoa toista enempää hyötyjä. Yhteydettömistä toteutuksista on mahdollisesti enemmän hyötyä tilanteissa, joissa verkkoyhteys ei jostakin syystä ole käytettävissä, kuten parkkihalleissa. Yhteydelliset toteutukset taas tarjoavat helppoa päivitettävyyttä ja käyttäjien seurantaa verrattuna yhteydettömiin toteutuksiin. Käyttäjille ero yhteydettömien ja yhteydellisen sisätilapaikannusjärjestelmien välillä ei ole kuitenkaan niin selkeä: molemmissa tapauksissa he näkevät sijaintinsa tietämättä mitä taustalla tapahtuu. Kuitenkin itse ohjelmoijille tämä ero on huomattava ja se tuleeekin huomioida tarkasti. Tämän lisäksi tulee varmistaa, että ollaan tietoisia siitä, kuinka datan halutaan siirtyvän ja missä vaiheessa. On myös muistettava, että datan yksityisyyteen ja tietoturvasuuteen liittyviä haasteita tulee pohtia tarkkaan, sillä yhteydettömässä sisätilapaikannusjärjestelmässä data on kaikkien käyttäjien saatavilla

Tämän lisäksi tässä työssä esiteltiin yhteydellisen sisätilapaikannusjärjestelmän muuttaminen yhteydettömäksi sisätilapaikannusjärjestelmäksi ja tutkittiin siinä esiintyneitä haasteita ja huomioita. Loppujen lopuksi saatiin aikaan järjestelmä, joka toimii ilman verkkoyhteyttä ja pystyy määrittämään käyttäjän sijainnin nopeasti käyttäen apunaan valmiiksi ladattua Wi-Fi-tietokantaa ja Wi-Fi-skannauksia.

Lopuksi arvioitiin sisätilapaikantamisen tulevaisuutta, ja sen nykyisten haasteiden vaikutusta sen tulevaisuuteen. Esiteltiin myös tulevia ratkaisuja, jotka mahdollisesti muuttavat

sisätilapaikantamisen ratkaisuja huomattavasti. Loppujen lopuksi todettiin, että sisätilapaikantaminen tulee olemaan merkittävässä roolissa tulevaisuudessa, sillä ihmiset viettävät yli 80% ajastaan sisätiloissa. Tutkimukset sisätilapaikantamiskäytön parissa tulevat siis aivan varmasti jatkumaan.

LÄHTEET

- [1] H. Leppäkoski, Novel Methods for Personal Indoor Positioning, Tampere University of Technology, 2015, Väitöskirja, Saatavissa: https://tutcris.tut.fi/portal/files/3706935/leppakoski_1330.pdf
- [2] L. Wirola, Studies on location technology standards evolution in wireless networks, Tampere University of Technology, 2010, Väitöskirja, Saatavissa: <https://tutcris.tut.fi/portal/files/2005748/wirola.pdf>
- [3] Mike Ng Ah Ngan, Behrang Parhizkar, Mohammed Abdul Karim, Arash Habibi Lashkari, Mobile WiFi-Based Indoor Positioning System, International Journal of Computer Science and Information Security, Vol. 10, Iss. 3, 2012, pp. 13.
- [4] Z. Wu, K. Fu, E. Jedari, S.R. Shuvra, R. Rashidzadeh, M. Saif, A Fast and Resource Efficient Method for Indoor Positioning Using Received Signal Strength, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 65, Iss. 12, 2016, pp. 9747-9758.
- [5] L. Wirola, T.A. Laine, J. Syrjarinne, Mass-market requirements for indoor positioning and indoor navigation, 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp. 1-7.
- [6] Chouchang Yang, Huai-rong Shao, WiFi-based indoor positioning, IEEE Communications Magazine, Vol. 53, Iss. 3, 2015, pp. 150-157, Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7060497>
- [7] Yanying Gu, A. Lo, I. Niemegeers, A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, Iss. 1, 2009, pp. 13-32, Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4796924>
- [8] M. Garcia, C. Martinez, J. Tomas, J. Lloret, Wireless Sensors Self-Location in an Indoor WLAN Environment, 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2007), IEEE, pp. 146-151.
- [9] IndoorAtlas, Saatavissa: <http://www.indooratlas.com>
- [10] Google Developer Beacons, Saatavissa: <https://developers.google.com/beacons>
- [11] iBeacons, Saatavissa: <https://developer.apple.com/ibeacon/>
- [12] Kontakt.io, Saatavissa: <https://kontakt.io>
- [13] Eddystone Forecast to Dominate BLE Beacon Market by 2020, According to ABI Research, Business Wire, Inc, Saatavissa: <https://www.abiresearch.com/press/eddy-stone-forecast-to-dominate-ble-beacon-market-b/>
- [14] P. Kacandes Beacon Technology: Everything You Need to Know to Start Coding, Saatavissa: <https://blog.appdynamics.com/product/beacon-technology-everything-you-need-to-know-to-start-coding/>

- [15] L. Nguyen, J. Zhang, Wi-Fi fingerprinting through active learning using smartphones, Proceedings of the 2013 ACM conference on pervasive and ubiquitous computing adjunct publication, ACM, pp. 969-976.
- [16] L. Wirola, L. Wirola, R. Piche, Bandwidth and Storage Reduction of Radio Maps for Offline WLAN Positioning, 2013, Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/bandwidth-and-storage-reduction-of-radio-maps-for-offline-wlan-positioning\(aee6e44e-24a2-4a6c-866b-c6040b9651ce\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/bandwidth-and-storage-reduction-of-radio-maps-for-offline-wlan-positioning(aee6e44e-24a2-4a6c-866b-c6040b9651ce).html)
- [17] B. Kannan, F. Meneguzzi, M. Dias, K. Sycara, Predictive indoor navigation using commercial smart-phones, Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on applied computing, ACM, pp. 519-525.
- [18] P. Zhang, Q. Zhao, Y. Li, X. Niu, Y. Zhuang, J. Liu, Collaborative WiFi Fingerprinting Using Sensor-Based Navigation on Smartphones, Sensors (Basel, Switzerland), Vol. 15, Iss. 7, 2015, pp. 17534-17557, Saatavissa: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26205269>
- [19] E. Laitinen, J. Talvitie, E. Lohan, On the RSS biases in WLAN-based indoor Positioning, 2015, Konferenssijulkaisu, Saatavissa: https://tutcris.tut.fi/portal/files/2894320/ICC_Elina_cameraready.pdf
- [20] B. Gozick, K.P. Subbu, R. Dantu, T. Maeshiro, Magnetic Maps for Indoor Navigation, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 60, Iss. 12, 2011, pp. 3883-3891, Saatavissa: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5773083>
- [21] Google Developers, Saatavissa: <https://developers.google.com>
- [22] Apple Developer, Saatavissa: <https://developer.apple.com>
- [23] M.V. Välimäki, Data synchronization in web-based liquid software solutions, 2016, Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24058>
- [24] M.H. Saračević, M. Šabanović, E. Azizović, Comparative analysis of AMF, JSON and XML technologies for data transfer between the server and the client, Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), Vol. 4, Iss. 2, 2016.
- [25] M. Koivisto, A. Hakkarainen, M. Costa, P. Kela, K. Leppänen, M. Valkama, High-Efficiency Device Positioning and Location-Aware Communications in Dense 5G Networks, 2016, Saatavissa: <http://arxiv.org/abs/1608.03775>
- [26] N E Klepeis, W C Nelson, W R Ott, J P Robinson, A M Tsang, P Switzer, J V Behar, S C Hern, W H Engelmann, The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol. 11, Iss. 3, 2001, pp. 231-252, Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>