

# **Sisätilapaikannusjärjestelmän valinta Jyväskylän yliopiston kampukselle**

Pekka Kinnunen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2018  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), tietotekniikan tutkinto-ohjelma  
Tietoverkkotekniikka

Tekijä(t) Kinnunen, Pekka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä joulukuu 2018
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Sisätilapaikannusjärjestelmän valinta Jyväskylän yliopiston kampukselle.</b>		
Tutkinto-ohjelma Tietotekniikan (tietoverkkotekniikan) tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Antti Häkkinen, Sampo Kotikoski		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän yliopiston digipalveluiden tietotekniikkapalvelut		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Jyväskylän yliopiston digipalveluiden tietotekniikkapalvelut tarvitsee paikannusjärjestelmän, jolla paikantaa häiriölähteitä kampuksen langattomassa lähiverkossa (WLAN).</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtävänä oli tutkia tarjolla olevia paikannusjärjestelmiä ja esittää toimeksiantajalle sopivin tuote häiriölähteiden paikannukseen. Tavoitteena oli löytää riittävän tarkkaan paikannukseen kykenevä tuote, jossa olisi palveluita tai valmiuksia myös tulevien tarpeiden täyttämiseen.</p> <p>Tutkimus suoritettiin etsimällä markkinoilla olevia paikannusjärjestelmiä nettihauilla, tutustumalla niistä saatavilla oleviin tietoihin Järjestelmiä arvioitiin analysoimalla kerättyä tietoa suhteessa toimeksiantajalta saatuihin kriteereihin. Esiteltäväksi valittiin toimeksiantajan aiemmin testaaman paikannusjärjestelmän rinnalle kuusi järjestelmää, jotka joko parhaiten edustivat kaivattuja ominaisuuksia tai olivat muuten mielenkiintoisia toimeksiantajalle.</p> <p>Tämä opinnäytetyö esittelee sisätilapaikannuksen teoriaa, toimeksiantajan kannalta kiinnostavimmat tällä hetkellä markkinoilla olevat sisätilapaikannusjärjestelmät sekä lähitulevaisuudessa tiedossa olevia muutoksia. Tulokset auttavat toimeksiantajaa tutustumaan sisätilapaikannuksen nykytilanteeseen ja tekemään paikannusjärjestelmän hankkimiseen liittyviä päätöksiä.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Paikannus, sisätilapaikannus, sisätilapaikannusjärjestelmä, reaaliaikainen sisätilapaikannus (RTLS), navigointi sisätiloissa, WLAN		
Muut tiedot		

Author(s) Kinnunen, Pekka	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2018
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 48	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Choosing indoor location system for the University of Jyväskylä campus.</b>		
Degree programme Information technology (Network technology) degree programme		
Supervisor(s) Häkkinen, Antti, Kotikoski, Sampo		
Assigned by University of Jyväskylä Digital Services, Technology Services		
<p>Abstract</p> <p>University of Jyväskylä Digital Services Technology Services needs a location system to pinpoint sources of disturbance in campus wireless local area network (WLAN).</p> <p>In this thesis the task was to examine available location systems and present the assigning organization with the most suitable system for locating sources of disturbance. The objective was to find a system capable of accurate enough locating, and with services or readiness to meet future needs.</p> <p>This study was conducted by searching the market for available location systems using web search, acquainting with the information. The systems were prioritized by analyzing the data based on the criteria from the assigning organization. Six location systems best featuring sought after properties or being otherwise of interest for the assigning organization were chosen to be presented alongside one system that the assigning organization had previously tested.</p> <p>This thesis introduces theory of indoor location, the most interesting available indoor location systems for the assigning organization and the known changes in the near future. The results help the assigning organization to get to know the present situation in indoor location technology and to make decisions regarding purchase of a location system.</p>		
<p>Keywords/tags (<a href="#">subjects</a>)</p> <p>Location, positioning, indoor location, indoor positioning, indoor location system, real time location system (RTLS), indoor navigation, WLAN</p>		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>Käsitteet ja lyhenteet.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Työn tausta ja toteutus.....</b>	<b>7</b>
1.1 Tavoitteet .....	7
1.2 Toimeksiantajan toimintaympäristö .....	7
1.3 Toteutus.....	9
<b>2 Langaton lähiverkko ja paikannus .....</b>	<b>11</b>
2.1 Langaton lähiverkko .....	11
2.2 Paikannus .....	11
<b>3 Langaton paikannus.....</b>	<b>12</b>
3.1 Langattoman paikannuksen toimintaperiaatteet .....	12
3.2 Maailmanlaajuiset satelliittipaikannusjärjestelmät .....	15
3.3 Radioaaltoja käyttävät sisätilojen langattomat paikannustekniikat .....	16
3.3.1 Langaton lähiverkko .....	17
3.3.2 Bluetooth .....	17
3.3.3 Radiotaajuinen etätunnistus .....	18
3.3.4 ZigBee .....	19
3.3.5 Ultra Wide Band .....	19
3.4 Muut langattomat sisätilojen paikannustavat .....	20
3.4.1 Valo .....	20
3.4.2 Kamerate ja konenäkö .....	21
3.4.3 Ääni ja ultraääni .....	21
3.4.4 Liike ja inertia.....	22
3.4.5 Sähkömagneettiset kentät .....	22
3.5 Langattoman lähiverkon paikannuksen tulevaisuudennäkymiä.....	23
<b>4 Toimeksiantajan kriteerit ja analyysikysymykset .....</b>	<b>24</b>
4.1 Toimeksiantajan toiminnalliset ja tekniset kriteerit .....	24

4.2	Paikannusjärjestelmien analysointi ja vertailu.....	26
<b>5</b>	<b>Järjestelmävaihtoehdot ja niiden arviointi .....</b>	<b>27</b>
5.1	Karsitut järjestelmävaihtoehdot .....	27
5.2	Cisco.....	28
5.2.1	MSE, CMX ja CleanAir .....	28
5.2.2	Cisco Hyperlocation .....	29
5.3	HERE, Indoor Positioning.....	30
5.4	infsoft, LocAware.....	32
5.5	MapsPeople, MapsIndoors.....	33
5.6	Sensewhere .....	34
5.7	Situm.....	35
<b>6</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>36</b>
6.1	Toimeksiantajalle sopivimmat paikannusjärjestelmät.....	36
6.2	Suosituksia paikannusjärjestelmiin liittyen .....	37
6.3	Yleisiä sisätilapaikannukseen liittyviä suosituksia .....	39
<b>7</b>	<b>Yhteenveto ja työn arviointi .....</b>	<b>40</b>
7.1	Yhteenveto .....	40
7.2	Työn arviointi.....	41
<b>8</b>	<b>Lähteet.....</b>	<b>43</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>47</b>
	<b>LIITE 1. Paikannusjärjestelmien analyysi .....</b>	<b>48</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Sisätilapaikannuksen menetelmiä.....	13
Kuvio 2. Differentiaalisen GPS-paikannuksen periaate.....	16

**Taulukot**

Taulukko 1. Toimeksiantajan kriteerit.....	26
Taulukko 2 Paikannusjärjestelmien analyysitulosten koonti .....	27

## Käsitteet ja lyhenteet

802.11	IEEE:n WLAN-standardi langattomille lähiverkoille.
AoA	Angle of Arrival, saapuvan signaalin tulokulman mittaustavalla antennijärjestelmällä.
API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta tietojen vaihtoon sovellusten välillä.
BLE	Bluetooth Low Energy, vähemmän energiaa kuluttava versio Bluetooth langattomasta verkosta.
Bluetooth	Bluetooth Special Interest Groupin standardoima langaton verkko.
CI, CID	Cell-ID, matkapuhelinverkkojen tukiasemien solutunniste.
CIR	Channel Impulse Response, kanavan impulssivasteet, joita voidaan käyttää sormenjälkikarttapaikannuksen kartoittavina sormenjälkinä.
CoO	Cell of Origin, kun lähetin kuuluu, kohde paikantuu lähettimen kuuluvuusalueelle. Mitä pienempi kuuluvuusalue, sitä parempi tarkkuus.
CSI	Channel State Information, kanavan tilamuutokset, joita voidaan käyttää sormenjälkikarttapaikannuksen kartoittavina sormenjälkinä.
DD	Decimal Degrees, desimaaliasteet, koordinaattien ilmaisutapa, esim. 62.241481, 25.759187
DDM	Degrees Decimal Minutes, asteet ja desimaaliminuutit, koordinaattien ilmaisutapa, esim. 62 14.48886, 25 45.55122
DMS	Degrees Minutes Seconds, asteet, minuutit ja sekunnit, koordinaattien ilmaisutapa, esim. 62°14'29.3"N, 25°45'33.1"E
FTM	Fine Timing Measurement, signaalin saapumisaika -menetelmässä käytettävä protokolla.
GNSS	Global Navigation Satellite System, planeetan kattavia satelliitinavigointijärjestelmiä: BeiDou, Galileo, GLONASS ja GPS.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen elektroniikan ja sähkötekniikan alan ammattilaisten järjestö, joka määrittelee omien alojensa standardit.
IPS	Indoor Positioning System, sisätilapaikannusjärjestelmä.
IR	Infrared, infrapunasäteily, ihmissilmälle näkymätön valon alue, jolle IrDA, Infrared Data Association, on määritellyt tietoliikennestandardin.

LiDAR	Light Detection And Ranging, laserkeilaus, 3D-skannaus, kartoittaminen mittaamalla laservalon heijastumista kartoitettavalta alueelta.
MIMO	Multiple Input and Multiple Output, moniantennijärjestelmä, laitteet käyttävät lähettämiseen ja vastaanottamiseen yhtä aikaa useampaa kuin yhtä antennia.
PDR	Pedestrian Dead Reckoning, vektorisuunnistus, sijainnin arviointi mittaamalla kiihtyvyyksiä, liikkeen suuntaa ja esim. askelten määrää viimeisestä tunnetusta sijainnista eteenpäin.
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus.
RSS	Received Signal Strength, vastaanotetun signaalin voimakkuus.
RSSI	Received Signal Strength Indicator, vastaanottimeen saapuvien signaalien tehoon perustuva arvio etäisyyksistä lähettiin.
RSS fingerprint map	RSS-sormenjälkikartta, kartta ja tietokanta eri pisteissä paikannusalueella havaittavissa olevien tukiasemien RSS-arvoista.
RTT	Round Trip Time, sijainnin kolmiomittaus laskemalla etäisyys useisiin lähettämiin signaalien matka-ajoista (ToF).
SDK	Software Development Kit, ohjelmistokehitystyökalu, joukko työvälineitä tiettyyn ohjelmistoon liittyvien sovellusten tekemiseen.
SLAM	Simultaneous Localisation And Mapping, järjestelmiä, jotka kartoittavat tuntematonta ympäristöä samalla, kun paikantavat käyttäjää.
Site survey	Alueen tarkistaminen WLANin laadun arvioimiseksi. Paikannuksessa: sormenjälkitietojen, paikkakohtaisten ainutlaatuisien havaittavien suureiden kerääminen ja kartoittaminen.
Tag, tagi, tägi	Paikannuksen yhteydessä: paikannettava erillinen laite, mikropiiri ja antennijärjestelmä. Yleensä koteloitu mukana kannettavaksi tai paikannettavaan kohteeseen kiinnitettäväksi, esimerkiksi tarra, avaimenperä, ranneke, riipus, rasia tai laatta.
TDoA	Time Difference of Arrival, signaalien saapumisaikojen erotus, verrataan lähettimeltä useisiin vastaanottimiin saapuvien signaalien saapumisaikojen erotusta.
TDoF	Time Difference of Flight, käytetään etäisyyden mittaamiseen eri nopeuksilla liikkuvia signaaleja, kuten ultraääniä ja radioaaltoja, ja verrataan tuloksia tarkkuuden lisäämiseksi.
ToA	Time of Arrival, signaalin saapumisaika, etäisyys lähettimeen lasketaan signaalin lähettimestä vastaanottimeen kuluvan matka-ajan avulla.



ToF	Time of Flight, etäisyys lähettimeen lasketaan signaalin lähetimestä vastaanottoon tai lähettimestä kohteeseen ja siitä takaisin lähettimelle kuluva aika avulla.
TR	Time Reversal, vastaanotetun signaalin lähtöpaikan laskenta häiriöiden perusteella.
TRIPS	Time Reversal Indoor Positioning System, käytetään monitie-etenemisen aiheuttamia häiriöitä sormenjälkikartta-menetelmän kartoitettavina sormenjälkinä.
ZigBee	ZigBee Alliancen standardoima vähän energiaa kuluttava langaton verkko.

# 1 Työn tausta ja toteutus

## 1.1 Tavoitteet

Tämä opinnäytetyö on toiminnallinen opinnäytetyö, joten se perustuu työelämälähtöiseen toimeksiantoon ja työssä tuotetaan tuotos/tuloksia sekä kehittämisehdotuksia toimeksiantajalle (Opinnäytetyön ohjaajan käsikirja n.d.). Työn lähtökohtana oli toimeksiantajan eli Jyväskylän yliopiston digipalveluiden tietotekniikkapalveluiden (jatkossa 'tietotekniikkapalvelut' tai 'toimeksiantaja') käytännön tarve kyetä paikantamaan esimerkiksi tietoliikenneverkossa esiintyviä häiriölähteitä. Työn tavoitteena oli

- 1) kartoittaa ja vertailla langattoman verkon paikannusjärjestelmiä
- 2) valita niistä toimeksiantajan toimintaympäristöön parhaiten sopiva järjestelmä

Työn toteutus perustui toimeksiantajalta saatuihin tietoihin heidän toimintaympäristöstään ja heidän kriteereistään sopivalle järjestelmälle. Toimeksiannon pääkriteereitä olivat, että järjestelmä on yhteensopiva toimeksiantajan jo käytössä olevan infrastruktuurin kanssa ja että se pystyy paikantamaan häiriölähteitä sekä pyydettäessä käyttäjien laitteita. Muita toivottuja ominaisuuksia olivat, että järjestelmä mahdollistaisi käyttäjien anonyymin analysoinnin sekä paikannuksen ja navigoinnin toimintaympäristössä toimiville käyttäjille.

## 1.2 Toimeksiantajan toimintaympäristö

Tietotekniikkapalvelujen toiminta-alue koostuu kolmesta toisistaan kävelymatkan päähän sijoittuvasta kampusalueesta noin yhden neliökilometrin alalla Jyväskylän kaupungissa. Seminaarinmäen kampus ulottuu Rautpohjasta Hippokselta Harjun lounaispäätyyn Normaalikoulun lukioon ja yläasteelle, Lounaispuistosta Köyhälammelle. Mattilanniemen kampus on hieman yli puolen kilometrin kaistale Korkeakoskenlahden ja Rantaväylän välissä. Ylistönmäen kampus on rinteessä Survontien ja Korkeakoskenlahden välissä. Lisäksi yliopistolla on yksikkö Vuokatissa sekä tutkimusasema Konnevedellä.

Toimeksiantajan ylläpitämä langaton verkko koostuu noin 700 langattoman lähiverkon (Wireless Local Area Network, WLAN) tukiasemasta (Access Point, AP). Kaikki tukiasemista toimivat sekä 2,4 GHz:n että 5 GHz:n taajuualueilla (dual band) ja tukevat 802.11a-, 802.11b-, 802.11g- ja 802.11n-standardeja, uusimmat noin 250 tukiasemaa myös 802.11ac-standardia. Lähiverkon (LAN) puolella on kymmenen runkolaiteta, 90 alue- ja rakennuskytkintä ja noin 400 työasemakytkintä. Lähiverkkoon sallitaan vain yliopiston digipalveluiden ylläpidossa olevat laitteet, kuten työasemat, kannettavat työasemat, palvelimet, monitoimikoneet ja verkkotulostimet. Näitä on yhteensä noin 6000. Käyttäjien mukana kulkevat omat laitteet yhdistetään alueen tietoverkkoihin käyttäen WLAN:ia.

Jyväskylän yliopiston alueella liikkuu ja palveluita käyttää aktiivisesti noin 20 000 henkilön joukko. Työntekijöitä on noin 2 300 ja tutkinto-opiskelijoita noin 14 000. Heistä päivittäin kampuksilla liikkuu yli 8 000 henkilöä. Lähes jokaisella heistä on mukanaan yksi tai useampia langatonta verkkoa käyttäviä laitteita, kuten älypuhelin, tablettitietokone tai kannettava tietokone. Työntekijöillä, opiskelijoilla ja sidosryhmähenkilöillä on yliopiston tunnukset, jotka vaaditaan liittymiseksi toimeksiantajan ylläpitämään WLAN:iin. Tietotekniikkapalveluiden tavoitteena on rakentaa kampusalueille, ainakin osaan rakennuksista, langattoman lähiverkon sisätilapaikannusjärjestelmä.

Ensimmäisessä vaiheessa sisätilapaikannusjärjestelmällä pyritään paikantamaan langattoman verkon häiriölähteitä sekä laitteita, joita niiden käyttäjät pyytävät paikannettavaksi. Kun paikannusjärjestelmä saadaan toimimaan riittävällä tarkkuudella, sen avulla voidaan tuottaa ja analysoida tietoa, jota monet kampusalueiden palveluiden tarjoajat voivat käyttää toimintansa tehostamiseen. Monet paikannusjärjestelmistä mahdollistavat omien paikannusjärjestelmää hyödyntävien sovellusten kehittämisen, kuten paikannus, navigointi tai sijaintiin sidottu tiedon välittäminen. Paikannusjärjestelmää ja sen tuottamaa tietoa voidaan tarjota yliopiston laitoksille tutkimuskäyttöön. Kampusalueilla toimivat tahot voivat kehittää ja tarjota omia paikkatietoa hyödyntäviä sovelluksiaan käyttäjille.

Toimeksiantaja on jo testannut sisätilapaikantamista. Vuonna 2015 tietotekniikkapalvelut suoritti pilottitestin Ciscon tuotteilla (MSE, CMX, Clean Air, ks. s. 28) yhdessä suuressa rakennuksessa. Pilottitestin suunnittelussa käytettiin Ciscon

NCS-verkonhallintaohjelmiston sisältämää suunnittelutyökalua, joka arvioi käytetyllä laitteistolla paikannustarkkuudeksi 7 metriä 90% ajasta. Tämä tarkoittaa, että paikannettu kohde olisi todennäköisesti 7 metrin säteellä osoitetusta paikasta, noin 154 m<sup>2</sup> eli suureen omakotitaloon verrattavissa olevan alueen sisällä. Pilotin tulokset eivät olleet tyydyttäviä. Järjestelmä ei käytännössä onnistunut paikantamaan testikohteita edes tyydyttävällä tarkkuudella, vaan saattoi esimerkiksi paikantaa kaikki rakennuksessa olevat testikohteet rakennuksen ulkopuolelle. Kokemuksen perusteella toimeksiantaja ei ottanut Ciscon paikannusjärjestelmää käyttöön, vaan päätti lykätä paikannusjärjestelmän hankintaa. (Leino 2016.)

Kaikkia syitä paikannuksen epäonnistumiseen pilottitestissä ei tiedetä, mutta todennäköistä on, että rakennuksen WLAN-tukiasemien määrän ja sijoittelun ollessa suunnittelutyökalun perusteella teoriassa riittävä paikannuksen tarpeisiin, toimiminen tyydyttävällä tarkkuudella vaatisi edelleen enemmän tukiasemia. Se, että pilottitestissä kohteet paikannettiin rakennuksen ulkopuolelle, johtuu todennäköisesti siitä, että esteiden aiheuttaman vaimennuksen vuoksi paikannusjärjestelmä arvioi kohteiden olevan kymmeniä metrejä todellista kauempana tukiasemista. Osaan rakennuksen väliseinistä (ns. desibeliseinät) oli käytetty verkon suunnittelun jälkeen huomattavasti ennakoitua vaimentavampia materiaaleja. (Leino 2016.)

### 1.3 Toteutus

Työn toteutusprosessi oli seuraava:

- 1) Sopivan järjestelmän kriteerien määrittely toimeksiantajan kanssa.
- 2) Langattoman verkon paikannusjärjestelmien kartoitus kirjallisten lähteiden avulla.
- 3) Sopivien järjestelmävaihtoehtojen analyysi ja vertailu.
- 4) Tuloksiin pohjautuvien toimenpide-ehdotusten esittäminen.

Toimeksiantaja haki ensisijaisesti langattomassa lähiverkossa esiintyvien häiriöiden häiriölähteiden paikantamiseen soveltuvaa paikannusjärjestelmää. Valitun järjestelmän tuli olla yhteensopiva nykyisen langattoman verkon infrastruktuurin kanssa. Uusien laitteiden hankinta oli mahdollista, mutta suuremmassa mittakaavassa se tulisi tapahtumaan vain nykyisten laitteiden elinkaaren tahdissa.

Toissijaisesti järjestelmän avulla tulisi kyetä paikantamaan pyynnöstä käyttäjien laitteita. Valitussa järjestelmässä olisi hyvä olla ohjelmointirajapinta mahdollistamaan järjestelmää hyödyntävien ohjelmien kehittäminen. Vertailussa tuli kiinnittää huomiota teknologioihin, joihin paikannus perustuu, ja järjestelmällä saavutettavaan paikannustarkkuuteen. Toimeksiantajan kriteerit on kuvattu yksityiskohtaisemmin luvussa 4.

Langattoman verkon paikannusjärjestelmiä haettiin Internetistä hakukoneilla käyttäen seuraavia hakusanoja: paikannus, lähiverkon paikannus, langattoman lähiverkon paikannus, sisätilapaikannus, location, location system, location service, LAN location, WLAN location, indoor location, location based services, positioning, positioning system, positioning service, LAN positioning, WLAN positioning, indoor positioning sekä position based services. Kustakin hausta käytiin läpi kaksisataa ensimmäistä osumaa. Niiden pohjalta kirjattiin ylös noin 120 yrityksen ja tuotteen nimet lähempää tarkastelua varten. Tuolloin hylättiin tuotteet, jotka tarkastelun pohjalta

- 1) eivät olleet WLAN-paikannuksen mahdollistavia,
- 2) keskittyivät ajoneuvojen, läheisten ja lemmikkien paikantamiseen tai liikuntaharrastuksen seurantaan, tai
- 3) perustuivat mukana kannettavaan, nimenomaan paikannettavaksi suunnitellun esineen, kuten esimerkiksi turvarannekkeen tai tagin käyttöön.

Jäljelle jääneisiin sisäverkossa tapahtuvaan paikannukseen liittyviin tuotemerkkeihin ja järjestelmiin perehdyttiin tarkemmin. Tutustumalla yritysten verkkosivuilla oleviin tuote-esittelyihin karsittiin pois järjestelmät, jotka eivät useissa kohdin täyttäneet toimeksiantajan kriteereitä. Koska toimeksiantajan kriteerit täyttävissä järjestelmissä oli heikkouksia, tutustuttiin tarkemmin kolmeen toimeksiantajan kriteerit parhaiten täyttävään ja neljään muuten toimeksiannon kannalta mielenkiintoisimpaan järjestelmään. Niiden ominaisuuksia vertailtiin käyttäen hyväksi valmistajien antamia tietoja.

## 2 Langaton lähiverkko ja paikannus

### 2.1 Langaton lähiverkko

Kun 1980-luvun alussa suunniteltiin IEEE 802.3 -standardia lähiverkolle (Local Area Network, LAN), lähiverkko määriteltiin rajatulla, kohtalaisen pienehköllä maantieteellisellä alueella, kuten toimistorakennuksessa, varastorakennuksessa tai kampuksen alueella, toimivaksi tiedonsiirtoverkoksi (Harrison 1983, 101). Se yhdistää esimerkiksi yhdessä rakennuksessa sijaitsevat tietokoneet ja niihin liittyvät oheislaitteet toisiinsa sekä Internetiin. Lähiverkossa tieto siirretään kuparikaapeleissa tai valokuidussa.

Jos lähiverkkoon yhdistetään yksi tai useampia langattoman lähiverkon tukiasemia, tieto siirtyy kaapeloinnin sijaan ilman halki käyttämällä radiotaajuuksien sähkömagneettisia signaaleita, radioaaltoja. Langaton lähiverkko (Wireless LAN, WLAN) palvelee erityisesti kannettavia laitteita, kuten kannettavia tietokoneita, älypuhelimia ja tablettitietokoneita, mutta sillä korvataan usein perinteinen lähiverkkokaapelointi myös paikollaan pysyvissä laitteissa.

### 2.2 Paikannus

Paikannus tarkoittaa kohteen sijainnin määrittämistä vertausjärjestelmässä. Näitä vertausjärjestelmiä ovat muun muassa koordinaatti- tai osoitejärjestelmä, aluejako, matkaviestinverkon solukkojärjestelmä sekä suhteet valittuun reittiin tai tunnettuihin kohteisiin. (Paikannussanasto 2002, 10.) Sijainti voi täten olla suhteellinen, esimerkiksi kohde on 70 metrin päässä etuvasemmalla, tai absoluuttinen, esimerkiksi Piippukatu 2, 40100 JYVÄSKYLÄ.

Maailmanlaajuisen sateliittipaikannuksen (Global Navigation Satellite System, GNSS) yleistyttyä absoluuttinen sijainti esitetään usein laitteissa ja Internet-sivujen karttojen yhteydessä myös koordinaatteina. Koordinaatistoja sekä tapoja ilmaista koordinaatit on useita. On syytä pitää huolta, että koordinaatteja lukiessaan ja merkitessään on tietoinen siitä, mitä kirjoitustapaa käytetään. Global Positioning System (GPS) käyttää World Geodetic System 1984 (WGS84) -järjestelmää. Suomessa käytetään WGS84-yhteensopivaa EUREF-FIN -koordinaatistoa (Häkli, Puupponen, Koi-vula & Poutanen 2009, 10). Google Maps -karttapalvelu (Etsi tai syötä leveys- ja

pituusasteet 2018) esittää WGS84-koordinaateille esimerkkeinä kolme eri kirjoitustapaa:

- ”Asteet, minuutit ja sekunnit (DMS): 41°24'12.2"N 2°10'26.5"E
- asteet ja desimaaliminuutit (DMM): 41 24.2028, 2 10.4418
- desimaaliasteet (DD): 41.40338, 2.17403. ”

### 3 Langaton paikannus

#### 3.1 Langattoman paikannuksen toimintaperiaatteet

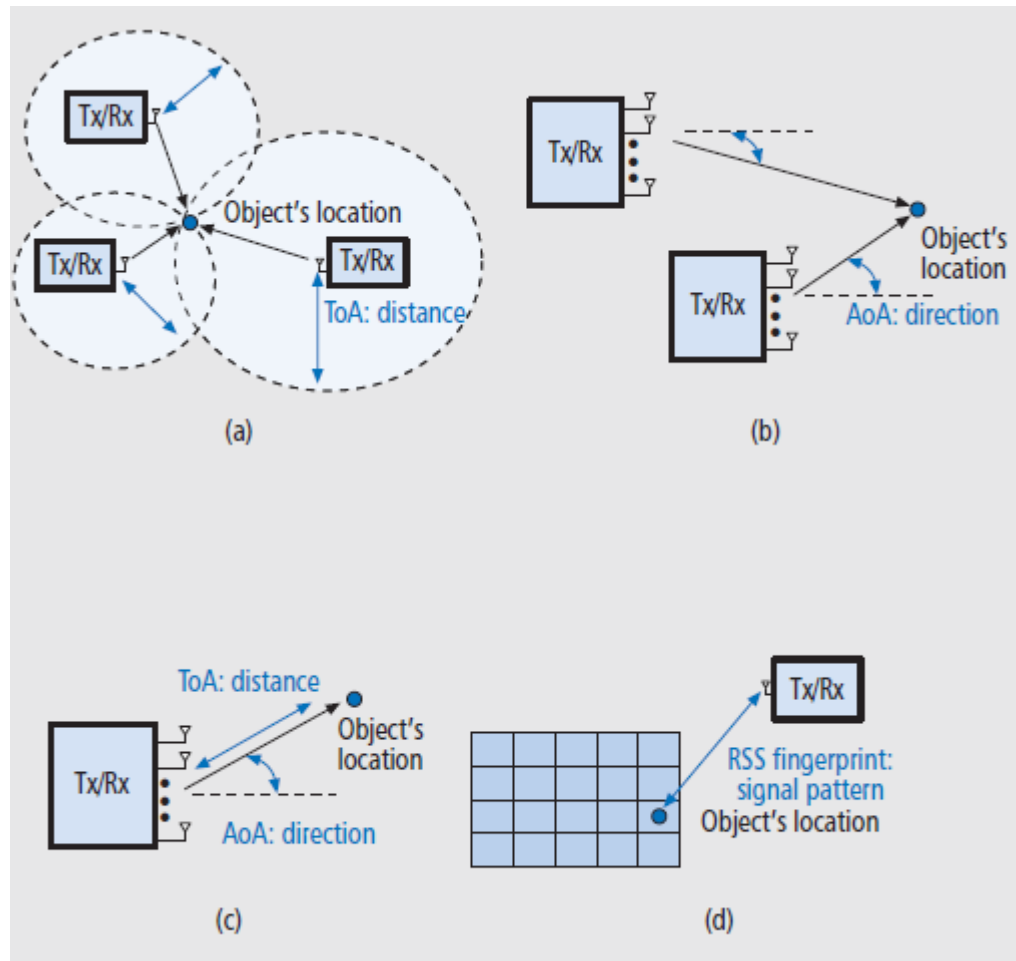
Yleisin tapa määrittää sijainti langattomassa paikannuksessa perustuu siihen, että kun kohteen etäisyys kolmeen tunnettuun pisteeseen tiedetään, tiedetään myös kohteen sijainti kaksiulotteisesti, ”kartalla”. Jos tunnettuja pisteitä on neljä tai enemmän, tiedetään sijainti kolmiulotteisessa tilassa. Pisteiden etäisyyden mittaamiseen voidaan käyttää radiosignaalia, valoa, ääntä ja ultraääntä. Muita langattomassa paikannuksessa käytettäviä tapoja ovat kamerat ja konenäkö, liike ja inertia tai sähkömagneettiset kentät.

Yang ja Shao (2015) katsovat langattomassa lähiverkossa tapahtuvan radioaaltojen avulla tapahtuvan paikannuksen perustuvan pääasiassa neljään menetelmään: 1) Time of Arrival (ToA), 2) Angle of Arrival (AoA), 3) ToA/AoA-hybridi ja 4) Received Signal Strength -sormenjälkikartta (RSS fingerprint map). Näistä kolme ensimmäistä perustuvat kohteen ja tunnettujen sijaintien välisten etäisyyksien määrittämiseen. Niiden toimintaperiaatteet pätevät myös silloin, kun mittauksena on valo, ääni tai ultraääni. Neljäs menetelmä perustuu radiosignaalien voimakkuuksien kartoittamiseen kohteen sijaintipaikassa. Vastaavaa toimintaperiaatetta käytetään useilla tavoin, niin radiotaajuuksilla kuin muillakin menetelmillä, mittaamalla RSS:n sijaan muita sijainnille yksilöllisiä arvoja, kuten radiokanavien impulssivasteita ja tilamuutoksia tai kartoittamalla maapallon magneettikentän voimakkuuden muutoksia.

Yang ja Shao (2015) ovat visualisoineet kunkin menetelmän mittauksien kuviossa 1:

- kohta a Time of Arrival (ToA): signaalin saapumishetkestä laskettu etäisyys
- kohta b Angle of Arrival (AoA): signaalien saapumiskulmista lasketut suunnat

- kohta c ToA/AoA-hybridi: molemmat edellä mainitut
- kohta d RSS-sormenjälkikartta: alueella havaittujen signaalien voimakkuuksien kartoittaminen.



Kuvio 1. Sisätilapaikannuksen menetelmiä (Yang & Shao 2015, 151, muokattu alkuperäisestä).

**Signaalin saapumisaikaan perustuvalla ToA-menetelmällä** (ks. Kuvio 1, kohta a) saadaan selville kohteen etäisyys tunnettuun pisteeseen, tukiasemaan. Kun signaalin nopeus ja sen lähetysaika tunnetaan, saapumishetkestä lasketaan signaalin matka-aika ja etäisyys. Tarkan ajan selvittäminen vaatii, että lähetinten ja vastaanotinten aika on synkronoitu. Kun tiedetään etäisyys kolmeen tunnettuun pisteeseen, saadaan kohde paikannettua kaksiulotteiselle kartalle (trilateraatio). Kun tiedetään etäisyys neljään tunnettuun pisteeseen, saadaan kohde paikannettua kolmiulotteisessa avaruudessa. (Yang & Shao 2015, 150.)



**Signaalin saapumiskulmaan perustuvassa AoA-menetelmässä** (ks. Kuvio 1, kohta b) moniantennijärjestelmiä (Multiple Inputs Multiple Outputs, MIMO) käyttävien tukiasemien avulla voidaan vastaanotetuista signaaleista laskea eri antenneista saapuvien signaalien vaihe-erojen perusteella signaalin saapumiskulma. Kun saapumiskulma saadaan vähintään kahdesta lähettimestä, muodostuu vähintään kaksi janaa. Kohde paikannetaan näiden janojen leikkauspisteeseen. (Yang & Shao 2015, 151.)

**Signaalin saapumisajan ja -kulman mittauksen yhdistävällä ToA/AoA-hybridimenetelmällä** (ks. Kuvio 1, kohta c) on mahdollista paikantaa kohde yhden lähettimen perusteella. Signaalin matka-ajasta lasketaan etäisyys lähettimeen ja tulokulman perusteella tiedetään missä suunnassa lähetin sijaitsee. (Yang & Shao 2015, 151.)

**Vastaanotetun signaalin voimakkuuteen perustuvalla RSS-sormenjälkikartta -menetelmällä** (ks. Kuvio 1, kohta d) kartoitetaan paikannettava alue laitteistolla, joka mittaa lähetinten kuuluvuutta eli niiden signaalien tehojen eroja. Kartoitettuja sijainneille yksilöllisiä signaalien tehoarvoja kutsutaan sormenjäljiksi (fingerprint). Eri lähetinten signaalien tehot eri kohdissa paikannettavaa aluetta mittaamalla (location site survey) luodaan RSS-sormenjälkitietokanta (fingerprint database). Paikannettavan kohteen havaintoja siitä, mitkä signaalit kuuluvat ja kuinka voimakkaasti, verrataan tähän tietokantaan. Sijainniksi arvioidaan lähimmäksi havaintoa vastaava kartoitettu sijainti. (Yang & Shao 2015, 151.)

RSS:ää voidaan käyttää myös yksinkertaisemmin **RSSI-menetelmänä**, jolloin signaalin voimakkuuden arvoa käytetään paikannettavan laitteen ja tukiasemien välimatkojen arvioimiseen. Signaalin vaimeneminen kertoo suoraan etäisyydestä lähettimen ja vastaanottimen välillä. (Cisco 2016; Yang & Shao 2015, 151.) Etäisyyksiä käytetään ToA/ToF-menetelmien tavoin kohteen paikantamiseen trilateraation tai multilateraation avulla (Cisco 2016). Kaikista yksinkertaisimmaksi RSS-menetelmäksi katsotaan **Cell of Origin (CoO) -menetelmä**: jos lähetin kuuluu, olet sen kuuluvuusalueella, ja paikkatieto on koko kuuluvuusalue. Mitä pienempi kuuluvuusalue lähettimellä on, sitä tarkempi paikannus. (Kárník 2016, 315.)

ToA-menetelmän kanssa samanlaisella periaatteella toimii myös signaalin matka-aikaan perustuva **Time of Flight (ToF) -menetelmä**. Sillä saadaan selville kohteen

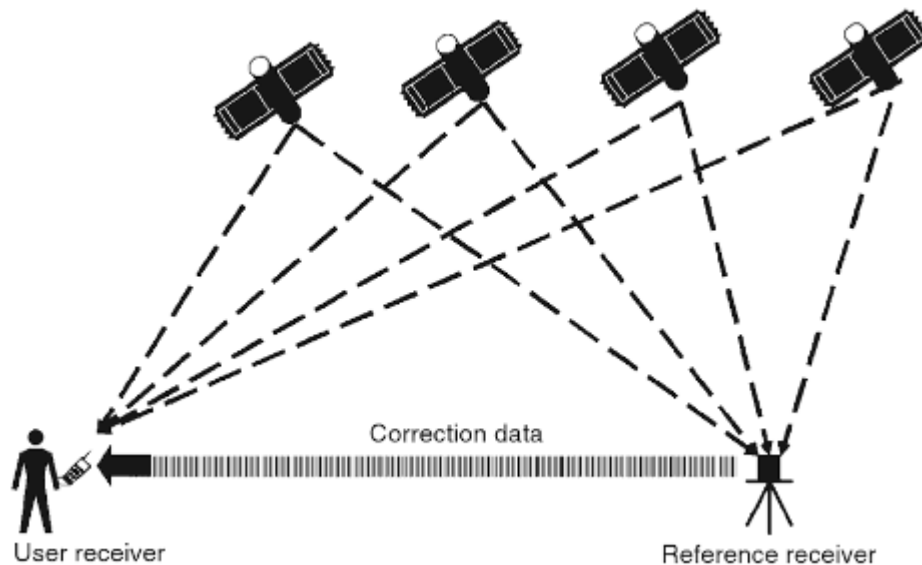
etäisyys tunnettuun pisteeseen, tukiasemaan, kun signaalin nopeus tunnetaan ja sen lähetys- ja vastaanottohetken väliin jäävä signaalin matka-aika lasketaan (Lymeropoulos & Liu 2017, 128). Tarkan ajan selvittäminen vaatii, että lähetinten ja vastaanotinten aika on synkronoitu. Termiä ToF näkee käytettävän harvemmin kuin termiä ToA.

Lymeropoulos ja Liu (2017, 130) kuvaavat **Time Difference of Flight (TDoF) -menetelmää**, joka voidaan nähdä ToF:n edistyneempänä muotona. TDoF-menetelmässä lasketaan kahden eri nopeudella liikkuvan signaalin matka-aika ja käytetään molempia yhdessä etäisyyden mittaukseen. Hitaammalla signaalilla saavutetaan suurempi mittaustarkkuus ja eri nopeuksilla etenevien signaaleiden matkaan käyttämän ajan erotus tarkentaa etäisyyden laskentaa lisää. (Lymeropoulos & Liu 2017, 130.)

### 3.2 Maailmanlaajuiset satelliittipaikannusjärjestelmät

Kehittyneimmät ja tarkimmat laajalti käytössä olevat langattomat paikannusjärjestelmät ovat maailmanlaajuisia satelliittipaikannusjärjestelmiä (Global Navigation Satellite System, GNSS): Galileo, Beidou, GLONASS ja GPS. Ne toimivat yleensä hyvällä tarkkuudella ulkona avarassa maastossa. Sen sijaan korkeiden esteiden välissä tai alla liikkeessä, kuten kaupunkien kaduilla ja rakennusten sisällä, satelliittipaikannus menettää tarkkuuttaan tai lakkaa kokonaan toimimasta (Leppäkoski 2015, 1).

GPS perustuu paikannettavan laitteen ja paikannussatelliittien väliseen tarkkaan etäisyydsmittaukseen ja etäisyyksien multilateraatioon (vrt. Kuvio 1 kohta a). Etäisyys kolmeen satelliittiin kertoo summittaisen paikan ja neljäs satelliitti tarkentaa tuloksen (Bricombe & Li 2009, 174). GPS-satelliittien asemointi kiertoradoilla varmistaa, että esteettömältä paikalta on jatkuvasti tavoitettavissa viidestä kahdeksaan satelliittia (Bricombe & Li 2009, 173). Kuvio 2 esittää differentiaalisen GPS-paikannuksen periaatteen. Siinä paikannusvirheiden estämiseksi maan pinnalla on referenssiasemia, jotka vastaanottavat paikannussignaalia, laskevat korjauksia mahdollisiin virheisiin sekä välittävät korjaustiedon käyttäjien paikannettaville laitteille (Bricombe & Li 2009, 183).



Kuvio 2. Differentiaalisen GPS-paikannuksen periaate (Bricombe & Li 2009, 183).

### 3.3 Radioaaltoja käyttävät sisätilojen langattomat paikannustekniikat

Radioaaltoja paikannukseen käyttäviä paikannustekniikoita ovat langattomat lähiverkot (WLAN, Wi-Fi) sekä RFID, Bluetooth, ZigBee ja UWB. Ne määrittävät sijainteja mittaamalla etäisyyksiä lähettämiensä tai vastaanottamiensa radiosignaalien avulla. Radioaaltoja kuvaavia suureita ovat taajuus, amplitudi ja vaihe.

- **Taajuus**, yksikkö hertsi (Hz, 1/s), ilmaisee, kuinka monta aaltoliikettä signaalissa tapahtuu sekunnin aikana. Langattomissa lähiverkoissa taajuudet ovat tyypillisesti 2,4 GHz tai 5 GHz, jolloin signaaleissa tapahtuu miljardeja aaltoliikkeitä sekunnissa.
- **Amplitudi**, yksikkö desibelimilliwatti (dBm,  $[1 \text{ mW} \times 10]^{(x/10)}$ ), ilmaisee signaalin tehon eli kuinka paljon tehoa signaalissa on lähetyspisteessä tai mittauspisteessä verrattuna yhteen milliwattiin. Langattomissa lähiverkoissa käytettyjen radiolaitteiden lähetysteho on 2,4 GHz:n taajuudella korkeintaan 100 mW eli 20 dBm ja 5 GHz:n taajuudella 200 mW eli 23 dBm.
- **Vaihe**, yksikkö aste ( $0^\circ$ – $360^\circ$ ) tai radiaani ( $0$ – $2\pi$ ), ilmaisee signaalin vaihe-eron tiettyyn hetkeen tai toiseen signaaliin verrattuna, kokonaisen aaltoliikkeen ollessa  $360^\circ$ ,  $2\pi$ .

Näiden paikannustekniikoiden haasteita ovat radiosignaalin kuuluvuus ja monitie-eteneminen. Radiosignaalin kuuluvuutta voidaan parantaa käyttämällä matalampaa taajuutta ja/tai suurempaa lähetystehoa. Tällöin signaali saadaan lähetettyä kauemmaksi tai läpäisemään esteitä. Monitie-etenemisessä lähetetty signaali voi saapua vastaanottoon useita kertoja hieman eri aikaan ja eri vaiheissa, kuljettuaan eri reittejä esteistä ja heijastuksista johtuen. Useimmissa paikannustekniikoissa tämä ilmiö tuottaa häiriötä (Yang & Shao 2015, 150), mutta sitä opitaan myös käyttämään hyödyksi (ks. esim. UWB ToF -menetelmä: Rath, Kulmer, Bakr, Grosswindhager & Witrissal 2017 tai TRIPS-menetelmä: Wu & Chen 2015).

### 3.3.1 Langaton lähiverkko

Langaton lähiverkko (WLAN, WiFi) on hyvin suosittu, yksi eniten käytetyistä langattomista tekniikoista. WLAN soveltuu hyvin edullisten sisätilapaikannusjärjestelmien tekniikaksi, koska WLAN-tukiasemia on runsaasti julkisilla paikoilla ja koska kaikki langattomat verkkokortit kykenevät joidenkin paikantamiseen sopivien parametrien mittaamiseen. WLAN-verkoilla on käytössä tällä hetkellä kaksi vapaata taajuusalueita, 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n. (Kárník 2016, 312-311.) Yang ja Shao (2015, 150) toteavat sisätilojen monimuotoisuuden ja rajoitusten asettavan haasteita tarkan ja edullisen paikannusjärjestelmän saavuttamiselle, eikä heidän mielestään sellaista ole vielä saavutettu. WLAN-tekniikkaan perustuva paikannus on kiivaan kehitystyön ja tutkimuksen kohteena.

### 3.3.2 Bluetooth

Bluetooth (BL) kuuluu myös suosittuihin langattomiin tekniikoihin. Monet matkapuhelimet, tabletit, kannettavat tietokoneet ja esimerkiksi älykellot on varustettu sillä. Bluetoothista on markkinoilla kaksi versiota: vanhempi Bluetooth 2 ja uudempi, virransäästö- ja radiotien käyttöominaisuuksiltaan parempi Bluetooth 4. Paikannus tapahtuu käyttämällä niin sanottuja yhdistämiskyselyjä (inquiry), joita lähetetään aina täydellä teholla. BL 2:ssä nämä kestävät yli 10 sekuntia, kun taas BL 4 voidaan asettaa lähettämään vain muutamien millisekuntien pituisia kyselyjä. Jo tämän vuoksi BL 4 käyttää vähemmän virtaa. Lisäksi BL 4 sisältää Bluetooth Low Energyksi (BLE) kutsutun osan standardia, joka pienentää virrankulutusta niin, että BLE-majakka voi toimia

nappiparistolla yli vuoden siinä missä BL 2 -laitteessa virta riittäisi vain joiksikin päiviä. Nykyään paikannuksessa käytetäänkin lähinnä vain BLE-majakoita. Bluetooth käyttää samaa vapaata 2,4 GHz:n taajuusaluetta kuin WLAN. (Kárník 2016, 312.)

Bluetooth-paikannus perustuu yleensä RSS-menetelmiin (CoO, RSSI, RSS-sormenjälkikartta) sekä BLE-majakoihin. BLE-majakka lähettää yhdistämiskyselynsä standardin mukaisesti aina samalla, täydellä teholla, jollakin kolmesta käytössä olevasta kanavasta. Vastaanottaja voi päätellä etäisyytensä BLE-majakkaan kyselyn signaalin vaimenemisesta. Kolme eri kanavaa mahdollistaisi paremman RSS-sormenjälkikarttaan perustuvan paikannuksen, jos kyselyitä vastaanottavat laitteet rekisteröisivät, miltä kanavalta kysely tuli. Vain jotkut laitteet toimivat näin, esimerkiksi Applen iOS-laitteet. RSS-paikannuksen tarkkuutta vähentää myös se, että osa laitteista välittää tietoa vastaanottamistaan BLE-kyselyistä vain hyvin karkealla kolmijaolla: alle 0 dBm, lähellä 0 dBm, yli 0 dBm. (Kárník 2016, 312.)

### 3.3.3 Radiotaajuinen etätunnistus

Radiotaajuinen etätunnistus eli Radio Frequency identification (RFID) on kehitetty suoraan paikannusmenetelmäksi, joka käyttää RFID-tageiksi kutsuttuja tunnisteita. Niitä luetaan RFID-lukijoilla ja tiedot käsitellään tietokoneilla. Tagi sisältää antennin ja lähetin-vastaanottimen. RFID-tageja on kolmenlaisia: passiivisia, puolipassiivisia ja aktiivisia. Passiiviset tagit saavat energian vastauslähetykseen lähettimen signaalista. (Kárník 2016, 314.) Niiden lukeminen onnistuu taajuusalueesta riippuen 0,5–10 m etäisyydeltä. Paikannustarkoituksessa tämä antaa arvion etäisyydestä.

Puolipassiiviset tagit vahvistavat vastaustaan paristolla pystyäkseen vastaamaan kauempaa. Aktiiviset tagit lähettävät ajoittain paikkatietoilmoituksia ilman lukijalta tulevaa herätettä ja niiden signaali voidaan lukea 40 m–1 km etäisyydelle saakka. (Kárník 2016, 314; Bai, Wu, Wu & Zhang 2012, 7).

RFID-tunnisteiden etäisyyksien ja sijainnin määrittämiseen käytetään tyypillisesti AoA-, RSS-, ToA- ja TDoA-menetelmiä. Menetelmät hyötyisivät suorasta näköyhteydestä lähettimen ja vastaanottimen välillä. Jotkut RSS-menetelmistä toimivat paremmin sisätiloissa. Ainakin RSS-menetelmät (CoO, RSSI, RSS-sormenjälkikartta) ovat muita mainittuja menetelmiä yhteensopivampia useiden radiotaajuudella toimivien

tekniikoiden kanssa (RFID, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi). CoO sietää näistä parhaiten ympäristön aiheuttamia häiriöitä. (Bai ym. 2012, 7–8).

### 3.3.4 ZigBee

ZigBee on vähemmän käytetty Bluetoothia muistuttava lyhyiden välimatkojen viestintätekniikka. ZigBee on suunniteltu muodostamaan vertaisverkkoja (peer-to-peer) useampien laitteiden välille. Se voi muodostaa laajojakin verkkoja. Sitä käytetään eniten älytalotekniikassa. Paikannuksessa ZigBee käyttää lähinnä CoO- ja RSSI-paikannusmenetelmiä, vaikka AoA, ToA ja TDoA ovat myös mahdollisia. ZigBee toimii Euroopassa 868 MHz:n ja 2,4 GHz:n taajuuksilla, USA:ssa ja Kanadassa 915 MHz:n ja 2,4 GHz:n taajuuksilla. (Kárník 2016, 312.)

### 3.3.5 Ultra Wide Band

Ultra Wide Band (UWB) on lyhyen matkan korkean kaistanleveyden viestintätekniikka. Se on suunniteltu sietämään hyvin monitie-etenemistä ja läpäisemään hyvin rakennusmateriaaleja. Tästä johtuen UWB-tekniikka soveltuu erinomaisesti sisätilapaikannukseen. Jotta lähettimen katsotaan edustavan UWB-tekniikkaa, sen tulee käyttää yli 500 MHz leveää kaistaa tai yli 20% kantotaajuudestaan. Lyhyt kantama sekä rajoitetut kantotaajuusalue ja lähetysteho vähentävät UWB-lähettimien toisille radiotekniikoille aiheuttamia häiriöitä. Euroopassa UWB toimii 6 GHz– 8,5 GHz:n taajuusalueella, USA:ssa ja Kanadassa 3,1 GHz – 10,6 GHz:n taajuusalueella. (Kárník 2016, 313.)

Matalampi pää taajuusalueista läpäisee betonia ja puuta varsin hyvin, mikä mahdollistaa etäisyyden mittaamisen tyypillisten sisätiloissa esiintyvien esteiden läpi. Tästä on hyötyä ja haittaa. Etuna on, että yhdellä lähettimellä voi kattaa useita huoneita seinien läpi. Haittana on häiriöiden ja heijastusten pääsy seinien läpi (Kárník 2016, 313). Häiriö voidaan kääntää tekniikaksi, jossa monitie-etenemisen ominaisuuksia mittaamalla suoritetaan itse paikannus, kuten UWB ToF (Rath ym. 2017).

UWB:tä käytetään etäisyyden mittaamiseen jatkuvasti lähetävillä, impulsseja lähetävillä ja keinotekoista häiriökuviota lähetävillä lähettimillä. Jatkuvasti lähetävä lähetin suorittaa tyypillisesti pyyhkäisyjä läpi koko kaistan. Impulssilähetin lähettää niin lyhyitä impulsseja, että niiden heijastukset eivät ehdi häiritä alkuperäistä signaalia.

Keinotekoisien häiriön tunnetusta kuvioista voidaan laskea monitie-etenemisen vaikutuksia. (Kárník 2016, 313.)

### 3.4 Muut langattomat sisätilojen paikannustavat

Radioaaltojen lisäksi paikantaminen voi tapahtua esimerkiksi valon, kameroiden ja konenäön, äänen ja ultraäänen, liikkeen ja inertian tai sähkömagneettisten kenttien avulla. Useat tahot tutkivat ja soveltavat myös niiden käyttämistä apuna radioaaltoihin perustuvan paikannuksen tarkentamiseen ja täydentämiseen alueilla, joissa radiopaikannus ei onnistu lainkaan tai jää hyvin epätarkaksi (Leppäkoski 2015).

Samoja tapoja käytetään niin tilojen kolmiulotteisessa kartoittamisessa ja mallintamisessa kuin sijainnin määrittämiseen kolmiulotteisessa avaruudessa. Kolmiulotteista dataa voidaan hankkia monin eri tavoin: laserkeilaus (Light Detection And Ranging, LiDAR ja salama-LiDAR), stereonäkö, tutka, viistokaikuluotaus ja strukturoidun valon kolmiomittaus (Bosse, Zlot & Flick 2012, 1104). On huomionarvoista, että valoon, näköön ja ääneen perustuvat järjestelmät vaativat käytännössä suoran näköyhteyden, sillä ne läpäisevät esteitä huomattavasti heikommin kuin radioaaltoihin perustuvat järjestelmät.

#### 3.4.1 Valo

Sekä ihmissilmälle näkyvillä että näkymättömillä valon aallonpituuksilla on toteutettu erilaisia paikannusjärjestelmiä. Infrapunalähttimiä ja vastaanottimia käytetään nykyään esimerkiksi kameroiden tarkentamista avustavissa etäisyysmittareissa sekä videopeliohjainten sijainnin ja asennon määrittämisessä. Sisätilapaikannuksessa alueelle voidaan rakentaa yksilöllisiä signaaleja lähettävien infrapunalähttimien infrastruktuuri ja paikannettavilla kohteilla on infrapuna-antureita. Kun antureilla havaitaan useampia lähttimiä, havaittujen lähttimien tiedoista kohteiden päätelaitteet laskevat sijaintinsa. Tai toisin päin: paikannettavilla kohteilla on yksilöityjä sekvenssejä lähettäviä valolähteitä ja alueelle on rakennettu antureiden infrastruktuuri. Anturit vastaanottavat signaaleita kohteiden lähttimiltä. Useamman anturin havaitessa saman kohteen voidaan laskea kohteen sijainti. (Mannings 2008, 116–119.)

Riippumatta paikannukseen käytetystä tavasta alue voidaan alussa tarkasti kartoittaa laserkeilauksella tai 3D-skannauksella (Applanix 2017). Tällaista tarkkaa karttaa hyödynnetään laskennassa, paikannusverkon tunnettujen kiinteiden laitteiden sijainnin määrittelyssä sekä paikannettavien kohteiden sijoittamisessa kartalle. Paikannus voi perustua myös siihen, että kohteen kantama LiDAR- tai 3D-skanneri tunnistaa aiemmin kartoitettuja tunnettuja ympäristön muotoja ja mittoja (Sánchez, Taddei, Ceriani, Wolfart & Sequeira 2016, 198).

Kehitteillä on myös samaa teknologiaa hyödyntäviä Simultaneous Localisation And Mapping (SLAM) -paikannustekniikoita. SLAM mahdollistaa paikallistamisen alueelle, jota ei ole aiemmin kartoitettu. Paikalle liikkueensa tekniikka skannaa ympäristönsä ja muodostaa siitä kartan, johon sitten paikantaa itsensä. (Sánchez ym. 2016, 197–198.)

#### 3.4.2 Kameratekniikka ja konenäkö

Kameratekniikka, digikamerat ja konenäkösovellukset ovat kehittyneet voimakkaasti viime vuosikymmeninä. Niitä voidaan käyttää eri tavoin paikannukseen. Esimerkiksi kun alueelle on rakennettu kameraverkosto, tunnistettavan kohteen näkyminen kamerassa/kameroissa kertoo sen sijainnin. Tai vastaavasti kohteella on kamera/kameroita, jolloin sijainti määritellään näkyvissä olevista tunnistettavista maamerkeistä. Suurkaupunkien liikennevalvontakameroiden avulla paikannetaan etsitty ajoneuvo, kun rekisterikilpiä lukeva automatiikka ilmoittaa, missä kamerassa/kameroissa etsitty rekisterikilpi näkyy. Liikkeenkaappauskameroilla mitataan liikkuvan kohteen liikkeet ja muutetaan ne digitaaliseen muotoon esimerkiksi animaatioelokuvaa tai virtuaalitoellisuutta varten. (Mannings 2008, 123–126.)

#### 3.4.3 Ääni ja ultraääni

Äänellä, erityisesti ihmiskorvalle kuulumattomilla ultraäänillä (äänen aallonpituus yli 25 kHz), on toteutettu erilaisia paikannusmenetelmiä. Kohteen etäisyyden ja suunnan mittaamista äänen avulla käytetään esimerkiksi kaikuluotaimissa. Varhaisissa Polaroid-kameroissa etäisyys kohteeseen tarkennusta varten mitattiin ultraääneen perustuvalla etäisyysmittarilla. (Mannings 2008, 119–121.)



Tyypillisesti äänen avulla paikannettaessa alueelle rakennetaan ultraäänilähettimien infrastruktuuri ja paikannettavilla kohteilla on ultraääniantureita. Ultraäänilähettimet lähettävät vastaanottimille radioteitse tiedon seuraavasta ultraäänisignaalista. Kohteen päätelaite laskee sijaintinsa lähettimien tietoja ja signaalien saapumisaikoja vertaamalla. Tai vastaavasti paikannettavilla kohteilla on yksilöity ultraäänilähetin, ja alueelle on rakennettu ultraääniantureiden infrastruktuuri. Anturijärjestelmä pyytää radioteitse tiettyä lähetintä lähettämään ultraäänisignaalin. Kohteen sijainti laskeaan vertaamalla eri antureiden vastaanottaman ultraäänisignaalin saapumisaikoja. (Mannings 2008, 119–121.) Time Difference of Flight (TDoF) on eräs ultraäänisignaalin ja radiosignaalin matka-aikaa yhdessä käyttävä paikannusmenetelmä (Lymeropoulos & Liu 2017, 130).

#### 3.4.4 Liike ja inertia

Kulkusuuntaan ja nopeuteen perustuva paikan arviointi aloitettiin jo purjealusten aikakaudella, sitä kutsuttiin nimellä Dead Reckoning. Esimerkiksi Mannings (2008) ja Leppäkoski (2015) ovat kuvanneet menetelmän nykyaikaista versiota. Monissa moderneissa laitteissa, esimerkiksi älypuhelimissa, on suunnan ja nopeuden mittaamiseen soveltuvia mittalaitteita, kuten kompassi, gyroskooppi, kiihtyvyyssantureita ja askelmittari. Kun lähtöpiste tunnetaan, voidaan sijainti laskea kuljetusta matkasta sekä suunnan ja nopeuden muutoksista. Henkilöpaikannuksessa tätä periaatetta soveltavia menetelmiä kutsutaan nimellä Pedestrian Dead Reckoning (PDR). (Mannings 2008, 127–131; Leppäkoski 2015, 14–21.)

#### 3.4.5 Sähkömagneettiset kentät

Sähkömagneettisia kenttiä on käytetty navigointiin jo ennen ajanlaskumme alkua, kun keksittiin kompassi, jolla voidaan selvittää suunta maapallon magneettikentän avulla. Sähkömagneettisia kenttiä voidaan luoda ja havainnoida käämien avulla. Käämit toimivat sekä lähettiminä että antureina. Kun paikannettavalla kohteella oleva käämi liikkuu käämeistä rakennetun infrastruktuurin alueella, sen aiheuttamia muutoksia mittaamalla pystytään paikantamaan kohde. Tai vastaavasti kohde voi määrittää sijaintinsa mittaamalla käämeistä rakennetun infrastruktuurin sähkömagneettisten kenttien voimakkuuksia. (Mannings 2008, 131–132.)

Nykyaikaiset teräsbetonirakennukset ovat metallirakenteiden, sähköjohtojen ja sähkölaitteiden vuoksi hyvin vaihteleva sähkömagneettinen ympäristö. Kartoittamalla tietyn alueen sähkömagneettikentän voimakkuudet voi alueella liikkuva kohde päätellä sijaintinsa vertaamalla liikkeensä suuntaa ja magnetometrianturin mittaamia lukemia kartoitettuihin arvoihin, magneettikenttien sormenjälkikarttaan. (Haverinen & Kempainen 2009, 1028–1029). Tämä muistuttaa radiosignaalien voimakkuuksien kartoittamiseen perustuvaa RSS-sormenjälkimenetelmää, mutta on stabiilimpi. Magneettikenttä ja rakennusten rakenteet muuttuvat hitaammin kuin suhteellisen lyhytikäisiin radiolähettimiin ja niiden mahdollisesti vaihtuviin asetuksiin perustuva infrastruktuuri.

### 3.5 Langattoman lähiverkon paikannuksen tulevaisuudennäkymiä

Eräs uusimpia langattomassa lähiverkossa tapahtuvaa paikannusta tarkentavia standardeja on IEEE 802.11mc (Au 2016), josta käytetään nimitystä Wi-Fi Round-Trip-Time (RTT). Wi-Fi RTT käyttää Fine Timing Measurement (FTM) -protokollaan perustuvaa etäisyyksien mittausta (Android P features and APIs 2018). FTM kykenee mittaamaan matka-ajan nanosekuntien tarkkuudella.

Wi-Fi RTT standardisoitiin vuonna 2014 ja revisioitiin vuonna 2016 (Au 2016), mutta kuluttajien kannettaviin laitteisiin RTT ei ilmaantunut ennen vuotta 2018. Google julkaisi elokuussa 2018 Android Pie -käyttöjärjestelmän, ensimmäisen version mobiililaitteiden Android-käyttöjärjestelmästä, joka sisältää alustatuen Wi-Fi RTT -protokollalle (Android P features and APIs 2018). Applen älypuhelimien käyttöjärjestelmissä ei vastaavaa Wi-Fi RTT -tukea ole vielä ollut, eikä myöskään syyskuussa 2018 julkaistu iOS 12 tuonut sitä tullessaan. RTT-protokollaa tukevan käyttöjärjestelmän lisäksi paikantaminen vaatii myös, että laitteissa on RTT-suorittamiseen soveltuva tekniikka.

Alle nanosekuntien tarkkuudella mitattuun matka-aikaan ja siitä laskettuun etäisyyteen perustuu Vasishtin, Kumarin ja Katabin (2016) kehittämä Chronos-menetelmä. Moniantennijärjestelmää (MIMO) käyttävä tukiasema laskee etäisyyden paikannettavaan laitteeseen jokaisesta antennistaan. Tällöin yhdellä tukiasemalla saavutetaan tarkkuus, johon tyypillisesti on tarvittu etäisyyden mittausta neljään tai viiteen eri tuki-

asemaan. Chronos-menetelmällä päästiin testeissä 0,98 m tarkkuuteen. (Vasisht, Kumar & Katabi 2016.) Paikannusjärjestelmiä haettaessa ei löytynyt tuotteita, jotka perustuisivat tähän menetelmään.

Kumar, Gil, Katabi ja Rus (2014) ovat kehittäneet Ubicarse-menetelmän, jolla MIMOa käyttävää kannettavaa kuluttajalaitetta sopivasti liikuttamalla saadaan laitteen paikatieta alle metrin tarkkuudella käyttäen Synthetic Aperture Radar (SAR) -tutkan periaatetta. Kun laite on signaalin lähettäessään eri paikassa kuin signaalin vastaanottaessaan, tämä matka kasvattaa laskennallisesti laitteen antennin kokoa ja tarkkuutta. SAR-tutka vaatisi huomattavasti tarkemman ja hallitumman liikkeen kuin käsissä pidettävällä laitteella voidaan saavuttaa, mutta kannettavan laitteen aiheuttamia epätarkkuuksia onnistuttiin korjaamaan laskennallisesti. Ubicarse-menetelmällä päästiin testeissä HP SplitX2 -tablettia paikannettaessa 0,39 m tarkkuuteen. (Kumar ym. 2014.) Paikannusjärjestelmiä haettaessa ei löytynyt tuotteita, jotka perustuisivat tähän menetelmään.

Langattoman lähiverkon paikannuksen seuraava IEEE-standardi tulee olemaan 802.11az, jonka tavoitteena on saavuttaa 802.11mc FTM -protokollaa parempi paikannustarkkuus. Standardia valmistelee Next Generation Positioning Study Group. Valmistelu on aloitettu 2015 ja sen on määrä valmistua maaliskuussa 2021. 802.11az määrittää muutoksia High Throughput (HT) -, Very High Throughput (VHT) - ja Directional Multi Gigabit (DMG) -verkkojen fyysisen kerroksen ja siirtokerroksen MAC-osajärjestelmän ominaisuuksiin sekä fyysistä kerrosta High Efficiency WLAN (HEW) - ja Next Generation 60GHz:n (NG60) -verkkoihin, jotka ovat parhaillaan kehitteillä. (Segev 2018.)

## **4 Toimeksiantajan kriteerit ja analyysikysymykset**

### **4.1 Toimeksiantajan toiminnalliset ja tekniset kriteerit**

Toimeksiantajan kriteerit paikannusjärjestelmälle selvitettiin haastattelemalla tietotekniikkapalveluiden päällikköä ja hänen alaisiaan. Järjestelmän toiminnallisuuden suhteen toimeksiantajan ensisijainen tarve on häiriölähteiden paikantaminen. Järjes-

telmän tulee tarvittaessa kyetä paikantamaan tietty langatonta verkkoa käyttävä, tarjoava tai häiritsevä laite kampuksen alueella. Toinen tärkeä tarve on pystyä paikantamaan laitteita, joita niiden käyttäjät pyytävät paikannettavaksi.

Näiden lisäksi mielekkäällä tarkkuudella toimiva paikannus mahdollistaisi kampuksen käyttäjien palvelemisen monin eri tavoin. Nämä ovat toissijaisia, mutta tulevaisuuden digitaalisen kampuksen kannalta erittäin mielenkiintoisia mahdollisuuksia. Langatonta verkkoa käyttävän laitteen avulla voisi esimerkiksi määrittää oman sijaintinsa kampusalueilla tai navigoida haluttuun paikkaan. Tämä palvelisi erityisesti toiminta-alueella vierailevia henkilöitä sekä uusia opiskelijoita ja henkilökuntaa näiden tutustuessa kampusalueisiin. Alueen käyttäjien määrää ja toimintaa voitaisiin myös analysoida sekä hallinnollisissa että tieteellisissä tarkoituksissa. Tämä hyödyttäisi toimeksiantajan sidosryhmiä, kuten yliopiston rakennuksista vastaavia Tilapalvelut-yksikköä ja Sonaatti-kiinteistöjä, kampusten palveluntarjoajia (esimerkiksi Semma-ravintolat, yliopiston kirjasto) sekä yliopiston tiedekuntaa. Sidosryhmät voisivat hankkia paikantamisen avulla aineistoa tutkimus- ja kehitystyön tueksi. Sidosryhmiä kiinnostaa myös kampuksen tilojen käytön seuranta ja käytön tehostaminen. Esimerkiksi käyttäjät haluaisivat tietoa vapaista tiloista vaikkapa nopealla aikataululla syntyviä kokouksia ja ryhmätöitä varten.

Paikannusjärjestelmän teknisenä kriteerinä on, että toimeksiantaja haluaa ainakin alkuvaiheessa käyttää paikannusjärjestelmää yhdessä nykyisen laitekantansa kanssa. Tällä hetkellä tietotekniikkapalveluilla on käytössä NCS Cisco Prime Infrastructure 3.x ja kontrollereina Cisco WLC 5500 -sarjan laitteita. Paikannustiedot tulisi pystyä keräämään näiltä laitteilta, mieluiten NCS:ltä tai kontrollerilta.

Taulukko 1. Toimeksiantajan kriteerit.

Aihe	Kriteeri
Toiminta	Järjestelmä paikantaa WLAN-verkossa olevia häiriölähteitä ja pyydetessä valittuja laitteita.
Yhteensopivuus	Järjestelmä toimii toimeksiantajan nykyisen laitekanan kanssa eikä vaadi välittömästi laajaa uusien laitteiden hankkimista
Lisätoiminnot	Järjestelmässä on ohjelmistonkehitystyökalu, joka mahdollistaa järjestelmää hyödyntävien ohjelmien kehittämisen. Järjestelmässä on ohjelmointirajapinta joka mahdollistaa paikkatiedon viemisen toisiin sovelluksiin
Paikannustarkkuus	Järjestelmä pystyy paikantamaan kohteen huoneen tarkkuudella

## 4.2 Paikannusjärjestelmien analysointi ja vertailu

Seitsemää sisätilapaikannusjärjestelmää tai -tuotetta vertailtiin tarkemmassa analyysissä (ks. Liite 1. Paikannusjärjestelmien analyysi, s. 46). Analyysissä selvitettiin seuraavia ominaisuuksia: kuuluvuuskartta, paikannusmenetelmä, laitteistot, rajapinta, ylläpidon työkalut, palvelu käyttäjille ja hinnoittelu, alle olevien kysymysten avulla

- Käyttääkö järjestelmä kuuluvuuskarttaa?
- Mitä menetelmää järjestelmä käyttää pääasiassa sijainnin määrittelyyn?
- Vaatiiko tuotteen käyttö valmistajan laitteiston käyttöä?
- Mitä paikannukseen perustuvia työkaluja järjestelmä tarjoaa ylläpidolle?
- Mitä ohjelmointityökaluja ja -rajapintoja tuote tarjoaa?
- Mitä palveluja järjestelmä tarjoaa vierailijalle?
- Mihin tuotteen hinnoittelu perustuu?

Analyysin tulokset koottiin alla olevaan taulukkoon 2, joka havainnollistaa, missä määrin kukin järjestelmä vastaa toimeksiantajan kriteereitä, ja mahdollistaa järjestelmien vertailun. Vihreä ruutu merkitsee, että järjestelmä tai tuote täyttää toimeksiantajan kriteerin kyseisen ominaisuuden osalta. Punainen ruutu tarkoittaa, että kriteeri ei täyty, tai vaaleanpunaisten ruutujen osalta täyttyy sitä paremmin, mitä vaaleampi väri on. Valkoiset ruudut ilmaisevat, että kyseistä tietoa ei saatu.

Taulukko 2 Paikannusjärjestelmien analyysitulosten koonti

	ominaisuus								
Järjestelmä/tuote	CISCO yhteensopiva	Paikantaa häiriölähteet	tarkkuus m	Paikantaa laitteet	käyttäjäanalyysi	Käyttäjä paikantaa	Käyttäjä navigoi	SDK	API
Cisco MSE & CMX & CleanAir			7-10						
Cisco Hyperlocation			3						
HERE Indoor Positioning			3-4						
Infsoft LocAware			5-15						
MapsPeople MapsIndoors									
Sensewhere			5-10						
Situm			1-5						

Taulukon 2 kuvaamia järjestelmien ominaisuuksia ja sopivuutta toimeksiantajalle avataan seuraavassa luvussa 5.

## 5 Järjestelmävaihtoehdot ja niiden arviointi

### 5.1 Karsitut järjestelmävaihtoehdot

Toimeksiantaja haki paikannusjärjestelmää, joka paikantaisi WLAN-verkossa olevia häiriölähteitä ja kuluttajalaitteita, mikä karsi pois paikannusjärjestelmät, jotka keskittyivät paikannettavien kohteiden mukana olevien yksinomaan paikannettaviksi suunniteltujen laitteiden ja anturien, tagien, paikantamiseen. Tällaisia tuotteita oli hyvin runsaasti, kolmannes hakutuloksista. Ne palvelevat erityisesti terveydenhuollon ja teollisuuden tarpeita.

Toimeksiantaja haki paikannusjärjestelmää, joka toimisi jo käytössä olevassa WLAN-verkossa, joka on toteutettu Ciscon valmistamilla tuotteilla: Ciscon tukiasemat (AP), WLAN-kontrollerit (WLC) ja verkonhallintaohjelmisto (NCS). Käytännössä tämä vaatimus rajoittaisi valittavan paikannusjärjestelmän Ciscon valmistamiin ja niiden kanssa yhteensopiviin tuotteisiin. Tämän kriteerin perusteella karsittiin pois esimerkiksi ACCUWARE Wi-Fi Location Monitor, Aruba Analytics and Location Engine ja Ruckus Smart Positioning Technology, jotka toimivat vain kyseisen järjestelmän tuottaneen yrityksen valmistamissa tukiasemissa.

Tässä työssä esitellään kuitenkin neljä paikannustuotetta, jotka eivät täytä vaatimusta häiriölähteen paikantamisesta eivätkä suorasta yhteensopivuudesta Ciscon tuotteiden kanssa: HERE, MapsIndoors, Sensewhere ja Situm. Nämä neljä tuotetta esitetään vaihtoehtoina, koska paraskaan tarkastelluista tuotteista ei vaikuttanut riittävän hyvältä toimeksiantajan tarpeisiin. Toimeksiantajalta saatetaan vaatia nopeassakin aikataulussa paikannusjärjestelmää, joka täyttää toimeksiantajan sidosryhmien vaatimuksia. Edellä mainitut tuotteet voivat soveltua tuohon tarpeeseen. Lisäksi niissä on esimerkkejä paikannustuotteiden joukosta löytyvistä kiinnostavista uusista ominaisuuksista.

## 5.2 Cisco

### 5.2.1 MSE, CMX ja CleanAir

Ciscon oma paikannusjärjestelmä perustuu Cisco Mobility Services Engine (MSE) -laitteistoon. Uusinta MSE-laitteiston ohjelmistoa kutsutaan nimellä Cisco Connected Mobile Experience (CMX). WLAN-verkon ongelmia ja WLAN-taajuuksilla häiriöitä aiheuttavia laitteita pystytään havaitsemaan Cisco CleanAir -tekniikalla. Verkon hälytykset, raportit ja analyysit katsotaan NCS:ltä. Rakentamalla MSE:n ja CMX:n avulla WLAN-paikannusjärjestelmä ja käyttämällä CleanAir-tekniikkaa tukevia WLAN-tukiasemia havaitsemaan häiriöt ja tekemään hälytykset, saadaan hälytyksen yhteyteen paikkatieto häiriölähteen sijainnista. (Cisco Product Training 2016.) Cisco CMX SDK tarjoaa ohjelmistotyökalun paikkatietoa hyödyntävien mobiilisovellusten tekemiseen (Shah 2014).

Ciscon paikannuksessa käyttämä etäisyyksien mittaustapa perustuu vastaanotetun signaalin voimakkuuteen (Received Signal Strength, RSS). RSS-mittaustapa on ei-lineaarinen (Kárník 2016, 315) sekä kärsii esteistä johtuvista vaimennuksesta ja monitieetenemisestä (Yang & Shao 2015, 150-151). Järjestelmän paikannustarkkuudeksi ilmoitetaan 7–10 metriä (Cisco 2018a). Toimeksiantajan toteuttamassa pilottitestissä NCS:n verkonsuunnitteluohjelma antoi järjestelmän paikannustarkkuuden arvioksi 7 m. Se pitäisi todennäköisesti paikkansa avoimissa tiloissa, mutta toimeksiantajan pilottitestin rakennuksessa oli runsaasti erilaisia seiniä ja rakenteita. 7 m paikannustarkkuus ei pienempiä huoneita sisältävissä tiloissa riitä paikantamaan kohdetta läheskään aina siihen huoneeseen, jossa kohde todellisuudessa sijaitsee. (Leino 2016.)

MSE, CMX ja CleanAir plussat ja miinukset:

- + täysin yhteensopiva toimeksiantajalla käytössä olevan laitteiston kanssa
- + paikantaa häiriölähteet
- + mahdollistaa laitteiden paikannuksen
- + analyysijä suoraan NCS:stä ja Cison tuoteperheessä saatavissa lisää analyysituotteita
- + Cison tuoteperheestä löytyy paikannus- ja navigointituotteita käyttäjille
- + löytyy SDK sekä REST- ja SOAP-APIt
- + testattu toimeksiantajan pilotissa
- + kustannustaso toimeksiantajan tiedossa
- osoittautui pilotissa huomattavasti ilmoitettua 7—10 m tarkkuusarviota epätarkemmaksi, niin epätarkaksi, ettei järjestelmää voinut ottaa käyttöön

### 5.2.2 Cisco Hyperlocation

Ciscolla on tarjolla AoA-menetelmää käyttäviä tuotteita, joita markkinoidaan nimellä Cisco Hyperlocation. Suunta-antennijärjestelmä voidaan liittää Cisco 3600 -, 3700 - ja 4800 -sarjojen WLAN-tukiasemiin. Yhden WLAN-tukiaseman antennijärjestelmä sisältää 32 antennia kehässä tukiaseman ympärillä (16 kpl 5 GHz:n antennia, 16 kpl 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n dual band -antennia). Näiden avulla saadaan selville saapuvan signaalin tulosuunta. Käyttämällä tällaisia tukiasemia paikannustarkkuus paranee valmistajan arvion mukaan 1-3 metriin. Cisco Hyperlocation ei vaadi location site surveyn suorittamista, mikä säästää merkittävästi henkilötöitä paikannusjärjestelmää asennettaessa ja muutoksien yhteydessä. (Cisco 2016 ja 2015.)

Cisco Hyperlocation plussat ja miinukset:

- + täysin yhteensopiva toimeksiantajalla käytössä olevan laitteiston kanssa
- + paikantaa häiriölähteet
- + mahdollistaa laitteiden paikannuksen
- + analyysijä suoraan NCS:ltä ja lisää Cison tuoteperheestä
- + Cison tuoteperheestä löytyy paikannus- ja navigointituotteita käyttäjille
- + löytyy SDK sekä REST- ja SOAP-APIt
- + lisää tarkkuutta CMX-tuotteeseen AoA-menetelmällä
- + ei vaadi location site surveyn suorittamista
- paikannus perustuu samaan RSSI-menetelmään, joka epäonnistui toimeksiantajan pilotissa



- korkea kustannustaso

### 5.3 HERE, Indoor Positioning

HERE Indoor Positioning ei täytä toimeksiantajan ensimmäistä vaatimusta häiriölähteen paikantamisesta. Järjestelmä kuitenkin otettiin esiteltäväksi, koska tiedustellessa muissa suomalaisissa yliopistoissa käytettäviä tai harkittavia paikannusratkaisuja, kävi ilmi, että yhdessä yliopistossa ollaan ottamassa käyttöön HERE:n sekä MapsPeoplen paikannustuotteita ja toisessa samat tuotteet ovat paikannusjärjestelmäpilotissa. Näin ollen lähitulevaisuudessa saataneen tietoa näiden paikannusjärjestelmien toteutuksesta ja toimivuudesta yliopistokampuksilla, esimerkiksi tietoa siitä, kuinka paikannus toimii toisten yliopistojen WLAN-verkossa ja onko paikannusta varten päädytty rakentamaan BLE-paikannusverkko. HERE käyttää omaa paikannustuotettaan ja MapsPeople Googlen paikannustuotteita. Näiden kahden katsotaan olevan tällä hetkellä markkinajohtajia paikannusjärjestelmien alalla (Zoller 2018b).

Ovum, Informa PLC -konserniin kuuluva englantilainen tutkimus- ja johdon konsultointiyritys, suorittaa puolivuositain analyysin markkinoilla olevien paikannusjärjestelmien markkina-asemasta ja tuotteiden valmiusasteesta. Arviointi ei kohdistu yksinomaan sisätilapaikannukseen, vaan valmistajan koko tuotevalikoimaan, kuten ajoneuvoille suunnatut tuotteet, globaalit karttapalvelut ja satelliittinavigointi. Näissä analyyseissä Google on ollut kuuden vuoden ajan suvereeni johtaja aina vuoteen 2017 asti. Vuoden 2018 ensimmäisen puoliskon arvioinnissa HERE on ensimmäistä kertaa tavoittanut, ja hiuksenhienosti ohittanut, Googlen. Googlessa katsotaan olevan kattavin markkina-asema, mutta HERE-paikannustuotteiden katsotaan olevan valmiimpia. Ovumin analyysin 0-10 asteikolla HERE (9.33) ja Google (9.32) ovat selvästi edellä lähimpiä kilpailijoitaan, jotka ovat TomTom (7.33) ja Apple Maps (5.87). Näiden neljän katsotaan kuuluvan johtaviin toimijoihin paikannuskokonaisuuksien alalla. Haastajina listalla seuraavat ESRI, Mapbox, Comtech, Telenav, OSMF ja Garmin. (Zoller 2018a ja 2018b.)

HERE Indoor Positioning tapahtuu laitteessa, laitteeseen asennettavassa ohjelmassa. HERE tarjoaa ohjelmistonkehitysalustan paikannusta hyödyntävien ohjelmien laatimiseen Android- ja iOS-käyttöjärjestelmille. iOS paikantaa vain BLE:n avulla,

Android BLE:n sekä WLAN:in avulla. HERE Advanced Positioning ilmoittaa käyttävänsä lisäksi GSM-, CDMA-, WCDMA-, TD-SCDMA- ja LTE-verkkojen kuuluvuustietoja (Here 2018a). HERE Indoor Positioning asennusohjeessa painotetaan BLE-majakoihin perustuvan paikannusverkon etuja WLAN-verkkoon nähden. Eddystone tai iBeacon yhtensopivia BLE-majakoita tulisi sijoittaa vähintään yksi jokaiseen huoneeseen, korkeintaan 8-10 metrin päähän toisistaan. WLAN-paikannuksen ilmoitetaan vaativan mieluummin yli viisi yhtä aikaa kuuluvilla olevaa WLAN-tukiasemaa. (Here 2018b.)

HERE Indoor Positioning -järjestelmän käyttöönoton yhteydessä suoritetaan paikannettavalla alueella radiotaajuuksien kartoitus, perinteinen site survey, paikannukseen käytettävän RSS-sormenjälkikartan luomiseksi. Paikannettavalla alueella kuljetaan valitun paikannusmenetelmän radiotaajuuksia tallentavan laitteen kanssa, merkiten sijainti tasaisin väliajoin HERE-järjestelmään tallennettuun kohteen karttaan. Mikäli molempia WLAN- ja BLE -verkkoja käytetään, vaatii kumpikin verkko oman site surveyn. Mikäli käytettyä paikannusverkkoa muutetaan, täytyy sen site survey suorittaa uudelleen. (Here 2018b.)

HERE on ilmoittanut yhteistyöstä, jossa VergeSense tarjoaa alustan ja antureita kiinteistöhuollon ja -hallinnan tiedonkeruun automatisointiin, ja VergeSensen tuottamaa tietoa voidaan esittää HERE:n kartoilla (Agarwal 2018). Tämä on kiinnostavaa toimeksiantajan kannalta, koska toimeksiantajan sidosryhmät ovat kiinnostuneita kampuksen tilojen käytön seurannasta ja käytön tehostamisesta. Kampuksen käyttäjät haluaisivat tietoa vapaista tiloista esimerkiksi nopealla aikataululla syntyviä kokouksia ja ryhmätöitä varten.

HERE plussat ja miinukset

- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle paikannustyökaluja
- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle analyysityökaluja
- + tuoteperheestä löytyy käyttäjille paikannus- ja navigointisovelluksia
- + löytyy SDK sekä REST API
- + ilmoitettu 3-4 m paikannustarkkuus lupaava
- + kustannustaso alussa 0 – 450 euroa, lisää kasvun ja työkalujen myötä
- + maailman kärjessä paikannustuotteensa valmiusasteessa
- ei kerro suoraan olevansa Cisco-yhteensopiva

- ei paikanna häiriölähteitä
- ilmoitettu paikannustarkkuus ei todennäköisesti toteudu, sillä toimeksiantajan käyttämä ympäristö soveltuu huonosti RSSI etäisyyden mittaukseen
- vaatii site surveyn alussa ja uusimisen paikallisverkkoa muutettaessa

## 5.4 infsoft, LocAware

Infsoft-paikannustuote rakentuu infsoftin LocAware-alustalle. Kokonaisuuteen kuuluvat 1) Indoor Digitization, rakennuksen tietojen muuttaminen digitaaliseen muotoon, jotta se on helposti eri tietojärjestelmien käytettävissä, 2) Indoor Navigation, paikkatiedon käyttäminen suunnistamiseen, 3) Indoor Analytics, paikkatiedon käyttö kuluttaja-analyysiin ja 4) Indoor Tracking, laitteiden ja tagien aktiivinen seuranta infsoft Locator Node -laitteiden avulla. (Infsoft 2018a). Toimeksiantajan tarpeeseen paikantaa häiriölähteitä soveltuu erillisellä paikannuslaitteilla ja paikannuspalvelimella tapahtuva aktiivinen seuranta, Indoor Tracking.

Infsoft tuo esiin mahdollisuuden tuoda tietoa paikannustuotteelleen esimerkiksi Ciscon sisätilapaikannustuotteista (Infsoft 2018b, 4-5). Tämä lienee mahdollisuus siirtää paikkatietoa infsoftin ja Ciscon sisätilapaikannustuotteiden rajapintojen välillä. Indoor Tracking -tuotteessa sisätilapaikannukseen käytetään Locator Node -laitteita. Niiden hinnoittelu on Infsoftin asiakaspalvelun (2018) mukaan hyvin kilpailukykyinen verrattuna toimeksiantajan käytössä oleviin tukiasemiin tai Hyperlocation-varusteluihin tukiasemiin. On kuitenkin huomioitava, että nämä laitteet eivät voi korvata tukiasemia tiedonsiirrossa, vaan ne toimivat vain paikantamistarkoituksessa. Locator Node -laitteet ovat modulaarisia, mahdollistaen eri paikannustekniikoiden (WLAN, BLE, UWB, RFID) käytön. (Infsoft 2016-2018a). Laitteet ovat varustettavissa infsoft 360° Antennas -suunta-antennilla WLAN-paikannuksen tarkkuuden parantamiseksi. Kyseiset suunta-antennit toimivat vain 2,4 GHz:n taajuudella. (Infsoft 2016-2018b.)

Infsoft plussat ja miinukset:

- + ilmoittaa olevansa Cisco-yhteensopiva
- + paikantaa häiriölähteet
- + paikantaa laitteet
- + tuoteperheestä löytyy analyysityökaluja
- + tuoteperheestä löytyy käyttäjille paikannus- ja navigointisovelluksia

- + löytyy SDK sekä REST- ja SOAP API:t
- + kustannustaso vaikuttaa edulliselta (ei tukiasemia vaan paikannuslaitteita)
- ilmoitettu 5-15 m paikannustarkkuus heikko
- paikannus perustuu samaan RSSI etäisyyden mittaukseen, joka epäonnistui pilotissa
- ilmoitettu paikannustarkkuus ei todennäköisesti toteudu, sillä toimeksiantajan käyttämä ympäristö soveltuu huonosti RSSI-sormenjälkikarttapaikannukseen
- ei ole dual-band, vain 2,4 GHz

## 5.5 MapsPeople, MapsIndoors

MapsPeople tuotteistaa ja kaupallistaa Googlen sisätilakarttapalvelua, tarjoten tuotteen ja työkaluja Googlen sisätilakarttojen helppoon käyttöön. MapsIndoors-tuote perustuu Google Maps -alustaan. (MapsPeople n.d.) Google ei paljasta tarkemmin, mihin tekniikoihin tai menetelmiin sen sisätilapaikannus perustuu. Koska Google valmista maailman yleisintä matkapuhelinten käyttöjärjestelmää, Androidia, on sen helppoa ja mahdollista esimerkiksi pitää yllä CI-, WLAN- ja BLE-tietokantoja ja RSSI -sormenjälkikarttoja. Se voi myös käyttää omassa paikannustuotteessaan laajalti kaikkia matkapuhelinten ominaisuuksien ja anturien tarjoamia tekniikoita, kuten PDR- ja sensor fusion -menetelmiä. MapsIndoors-tuotteessa paikannukseen voidaan valita sopivin tapa, esimerkiksi WiFi, BLE tai magneettikenttä (MapsPeople n.d.). Arviota paikannustarkkuudesta ei löytynyt. MapsPeople edustaja ilmoitti kustannusarvioksi noin 5000 euroa 10 000–20 000 m<sup>2</sup> rakennuksessa suoritettavalle pilotille ja noin 40 000 euroa koko yliopiston noin 200 000 m<sup>2</sup> kattavalle paikannukselle.

Kuten edellä HEREn yhteydessä mainittiin, Ovumin paikannustuotteiden analyyseissä Google on ollut kuuden vuoden ajan suvereeni johtaja aina vuoteen 2017 saakka. Vuoden 2018 ensimmäisen puoliskon arvioinnissa Googlella katsotaan olevan edelleen kattavin markkina-asema, mutta HERE-paikannustuotteiden katsotaan olevan valmiimpia. (Zoller 2018a ja 2018b.) Tiedonkeruun yhteydessä kävi ilmi, että nämä molemmat johtavat paikannustuotteet ollaan ottamassa käyttöön yhdessä suomalaisessa yliopistossa ja samaiset tuotteet ovat paikannusjärjestelmäpilotissa toisessa yliopistossa. MapsPeople (2017) on esiteltyjen järjestelmien valmistajista ainoana huomionut yliopistot erityisenä asiakasryhmänä, kuvaillen paikannusjärjestelmän etuja yliopistokiinteistöjen hallinnassa sekä opiskelijoiden navigointiongelmia ja heille suunnattuja palveluita.

## MapsIndoors plussat ja miinukset

- + tietoa voidaan siirtää MapsIndoorsin ja Ciscon välillä
- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle paikannustuotteita
- + tuoteperheestä löytyy käyttäjille paikannus- ja navigointisovelluksia
- + löytyy SDK sekä Java API
- + hinnoittelu perustuu paikannettavan alueen pinta-alaan, paljousalennus
- + maailman kärjessä paikannusalan käyttäjien määrässä
- ei paikanna häiriölähteitä
- ei tietoa analyysityökaluista
- ei ilmoitettua paikannustarkkuutta
- ei tietoa REST- tai SOAP-APIsta

## 5.6 Sensewhere

Sensewhere-sisätilapaikannusjärjestelmä perustuu WLAN- ja BLE-verkkojen sijaintitietoihin (global indoor RF location database) sekä PDR-menetelmiin (Sensewhere 2014). Järjestelmään on lisätty PDR:n mahdollistamia SLAM-tekniikoita parantamaan paikannustarkkuutta uusille alueille liikkuesssa ja tunnistamaan eniten käytettyjä kulkuväyliä ja alueita (Sensewhere 2017). Kaikki järjestelmän käyttäjät päivittävät jatkuvasti radiotaajuuksilla toimivista lähettimistä tietokantaa, jota Sensewhere käyttää paikannukseen (Sensewhere 2014). Sensewhere käyttää olemassa olevia verkkoja eikä vaadi investointeja paikannusinfrastruktuuriin. Tuotteeseen kuuluu SDK-paikannuksen liittämiseksi Android- ja iOS-sovelluksiin. Paikannustarkkuudeksi ilmoitetaan alle 10 metriä. (Sensewhere 2014 ja 2017.)

## Sensewhere plussat ja miinukset

- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle paikannustuotteita
- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle analyysituotteita
- + tuoteperheestä löytyy käyttäjille paikannus- ja navigointisovelluksia
- + löytyy SDK
- + crowdsourcing paikannustietokanta
- + PDR- ja SLAM-tekniikat tarkentamassa paikannusta
- + toimii riippumatta alueen verkkorakenteesta
- + voi täyttää toimeksiantajan sidosryhmien tarpeita
- ei tietoa Cisco yhteensopivuudesta

- ei paikanna häiriölähteitä
- ei tietoa APIsta
- melko heikko ilmoitettu tarkkuus 5 – 10 m
- kustannustaso käy ilmi vasta neuvotellessa

## 5.7 Situm

Situm-sisätilapaikannusjärjestelmää voi käyttää navigointiin kuluttajalaitteilla ja esimerkiksi työntekijöiden ja resurssien seurantaan. Järjestelmä käyttää paikannukseen magneettikenttiä, WLAN- ja BLE-verkkojen sijaintitietoja sekä PDR-tekniikkaa. (Situm 2017 ja 2018). Situm (2018) kertoo paikannuksen onnistuvan millä tahansa olemassa olevalla infrastruktuurilla ilman muutoksia. Paikannus toimii laitteelle asennettuna, vaikka matkapuhelin- ja internetyhteydet olisivat hetkellisesti tavoittamattomissa. Tarvittaessa seuranta toimii myös laitteen ollessa taskussa, ei ainoastaan aktiivisen käytön aikana. (Situm 2018.) Situm on tehnyt paikkatietoon perustuvia sovelluksia asiakkaidensa seuranta-, analyysi- ja markkinointitarkoituksiin (Situm 2017 ja 2018). Paikannus- ja seurantatuotteet ovat saatavilla Android- ja iOS-laitteille. Paikannus-tarkkuudeksi ilmoitetaan 1-5 m. (Situm 2018.)

### Situm plussat ja miinukset

- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle paikannustuotteita
- + tuoteperheestä löytyy ylläpidolle analyysituotteita
- + tuoteperheestä löytyy käyttäjille paikannus- ja navigointisovelluksia
- + löytyy SDK- ja REST-API
- + PDR-tekniikka tarkentamassa paikannusta
- + toimii riippumatta alueen verkkorakenteesta
- + voi täyttää toimeksiantajan sidosryhmien tarpeita
- + hyvä ilmoitettu paikannustarkkuus 1—5 m
- ei tietoa Cisco yhteensopivuudesta
- ei paikanna häiriölähteitä
- kustannustaso käy ilmi vasta neuvotellessa, hinnoittelun perusteena lisenssi/rakennus

## 6 Tulokset

### 6.1 Toimeksiantajalle sopivimmat paikannusjärjestelmät

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin seitsemää sisätilapaikannusjärjestelmää. Niistä kolme sopi toimeksiantajan kriteereihin: Cisco Hyperlocation, MSE, CMX ja CleanAir sekä infsoft LocAware. MSE, CMX ja CleanAir -järjestelmää toimeksiantaja oli jo testannut vuonna 2015. Parhaiten kriteerit täytti Cisco Hyperlocation -järjestelmä. Järjestelmän sopivuus toimeksiantajan kriteereihin ei kuitenkaan ole täydellinen, erityisesti paikannustarkkuuden riittävyys ja hinnan kohoaminen liian korkeaksi epäilyttävät.

Cisco Hyperlocation täyttää toimeksiantajan tärkeimmät kriteerit: se on yhteensopiva toimeksiantajalla käytössä olevan Ciscon laitteiston kanssa ja paikantaa häiriölähteitä sekä haluttuja laitteita. Järjestelmä mahdollistaa analyysit suoraan NCS:ltä ja lisää analyysituotteita saa Ciscon tuoteperheestä. Sieltä löytyy myös paikannus- ja navigointituotteita käyttäjille. Käytettävissä on ohjelmistotyökalu ja ohjelmointirajapintoja. Verrattuna Ciscon CMX-tuotteeseen, Hyperlocation saa lisää tarkkuutta AoA-menetelmällä. Järjestelmän käyttöä helpottaa, että se ei vaadi location site surveyn suorittamista.

Hyperlocation perustuu samaan RSSI etäisyyden mittaukseen, jota käytti toimeksiantajan pilotoima ja epätydyttäväksi osoittautunut toinen järjestelmä. Olettavaa on, että samat ongelmat toistuisivat tässä järjestelmässä. Huolimatta siitä, että Ciscon laitteistot, laiteohjelmistot ja paikannettavien kohteiden ominaisuudet kehittyvät, on melko vähän toivoa siitä, että toimeksiantajalla parhaillaan käytössä olevilla tukiasemilla, määrällä ja sijoittelulla voitaisiin saavuttaa tyydyttävä paikannustarkkuus. Todennäköisemmin parempaa paikannustarkkuutta tarjotaan vasta seuraavan hintaluokan tukiasemien ja tulevien laitesukupolvien puolella uusilla etäisyydenmittaustekniikoilla. Järjestelmän käyttöönottoa vastaan puhuu myös sen korkea kustannustaso.

MSE, CMX ja CleanAir -järjestelmä täyttää toimeksiantajan perusvaatimukset: on yhteensopiva jo käytössä olevan laitteiston kanssa, paikantaa häiriölähteet ja mahdollistaa laitteiden paikannuksen. Lisäksi järjestelmä mahdollistaa analyysit suoraan NCS:stä ja Ciscon tuoteperheestä saa lisää analyysituotteita. Tuoteperheestä löytyy

myös paikannus- ja navigointituotteita käyttäjille. Järjestelmässä on ohjelmistotyökalu ja ohjelmointirajapintoja. Tämän järjestelmän toimeksiantaja on jo testannut pilotissa. Valitettavasti se osoittautui huomattavasti ilmoitettua 7–10 m tarkkuusarviota epätarkemmaksi. Tuosta syystä järjestelmää ei otettu käyttöön. Ei ole syytä olettaa, että vuonna 2015 tehdyn testin jälkeen järjestelmä olisi kehittynyt merkittäväällä tavalla.

Infsoft LocAware täyttää toimeksiantajan perusvaatimukset: se on Cisco-yhteensopiva ja paikantaa häiriölähteet sekä halutut laitteet. Tuoteperheestä löytyy ylläpidolle analyysityökaluja ja käyttäjille paikannus- ja navigointisovelluksia. Järjestelmässä on ohjelmointityökalu ja ohjelmointirajapintoja. Kustannustaso vaikuttaa edulliselta, koska järjestelmä ei tarvitse käyttöönsä tukiasemia, vaan paikannuslaitteita. InfSoft LocAwaren valintaa vastaan puhuu kuitenkin se, että sille ilmoitettu 5-15 m paikannustarkkuus on heikko eikä se todennäköisesti toteudu, sillä toimeksiantajan toimintaympäristö soveltuu huonosti järjestelmän käyttämään RSSI-sormenjälkikartapaikannukseen. Tuota menetelmää käytti myös toimeksiantajan aiemmin testaama ja tuloksiltaan heikoksi jäänyt paikannusjärjestelmä. Heikkoutena on myös, että järjestelmä tukee vain 2,4 GHz taajuutta, kun 5 GHz taajuuden käyttö lisääntyy koko ajan.

Järjestelmän lopulliseen valintaan vaikuttavat myös hinta ja lisensseihin liittyvät kysymykset, kuten mihin järjestelmän lisenssimaksut perustuvat, onko tarjolla tutkimuskäyttöön tarkoitettuja lisenssejä ja onko järjestelmän valmistaja kiinnostunut tutkimusyhteistyöstä yliopiston kanssa. Näistä asioista ei tämän työn yhteydessä saatu riittävästi tietoa, joten toimeksiantajan tulee arvioida niitä itse hankinnan yhteydessä.

## 6.2 Suosituksia paikannusjärjestelmiin liittyen

Paikannusjärjestelmien yleinen puute on paikannustarkkuuden heikkous suhteessa toimeksiantajan toimintaympäristön vaatimuksiin. Riittävää paikannustarkkuutta voitaisiin yrittää tavoittaa muutamilla keinolla. Paikannus huoneen tarkkuudella voisi onnistua siirtymällä tulevaisuuden hankinnoissa käyttämään Cisco Hyperlocation -tuotteita. Kuitenkin niin kauan kuin etäisyyden mittaamiseen käytetään RSSI-



menetelmää, on runsaasti seiniä sisältävissä rakennuksissa huomattava riski epäonnistua. Myös kustannukset nousevat merkittävästi, koska yksittäinen Hyperlocation-varusteltu tukiasema tulee kolme – neljä kertaa kalliimmaksi toimeksiantajalla tällä hetkellä käytössä oleviin WLAN-tukiasemiin verrattuna. Lisäksi tukiasemaverkon suunnittelu paikannustarpeen mukaan lisää asennettavien tukiasemien tiheyttä eli määrää.

Toinen mahdollisuus koettaa parantaa paikannustarkkuutta olisi lisätä tukiasemia, mikä on kuitenkin kallista. Samaan tulokseen voitaisiin päästä edullisemmin käyttämällä tukiasemia vain tiedonsiirron vaatima määrä ja lisäämällä paikannusta tukemaan infsoftin Locator Node -paikannuslaitteita. On kuitenkin huomioitava, että niiden käyttämät suunta-antennit toimivat vain 2,4 GHz:n taajuudella, mutta toimeksiantajan paikannettavista laitteista yhä useampi siirtyy käyttämään 5 GHz:n taajuutta, mikäli se vain on mahdollista. Kaikki toimeksiantajan tukiasemat ovat sekä 2,4 GHz:n että 5 GHz:n taajuuksilla toimivia.

Koska toimeksiantajan WLAN-verkko on laaja, sen hallitsemisen helpottamiseksi käytetään WLC-laitteita, joiden ansiosta verkko kykenee reagoimaan muuttuviin tilanteisiin varsin nopeasti. Käyttäjien määrän vaihtelut, käyttäjien eri ikäisten laitteiden vaatimukset dual band -taajuusalueiden välillä ja eri lähetysnopeuksilla sekä häiriötekijöihin reagoiminen voivat muuttaa tukiasemissa käytettyjä lähetystehoja ja kanava-valintoja varsin nopeasti ja usein. (Leino 2016.) Tällä perusteella perinteisellä location site surveyllä tallennettu RSS-sormenjälkikartta voi vanhentua, tai ainakin muuttua epätarkemmaksi, minuuttien välein alueen radioympäristön automaattisen ohjauksen suorittamien muutoksien takia. Näin ollen RSS-sormenjälkikarttoihin perustuvat järjestelmät soveltuvat oletusarvoisesti heikommin paikantamiseen ja navigoimiseen toimeksiantajan WLAN-verkossa. Lisäksi satojen tukiasemien verkossa joudutaan laitteita vaihtamaan ajoittain ja tällainen muutos vaatisi aina uuden location site surveyn suorittamisen RSS-sormenjälkikartan päivittämiseksi alueelle, johon muutos vaikuttaa. RSS-sormenjälkikartan pitäminen ajan tasalla on varsin työlästä muuttuvassa ympäristössä.

Sensewhere-sisätilapaikannusjärjestelmässä käyttäjät päivittävät jatkuvasti järjestelmän paikannukseen käyttämää tietokantaa langattomista verkoista (Sensewhere 2017). Tällöin järjestelmän ylläpitäjän ei tarvitse käyttää aikaa tähän. Siksi olisikin

kiinnostavaa selvittää, saisiko tällainen joukkovoimin tapahtuva päivittäminen (crowdsourcing) location site surveyssä pidettyä sormenjälkikarttaa ajan tasalla toimeksiantajan verkon kaltaisessa haastavassa ympäristössä. Toimeksiantaja kannattaa seurata crowdsourcing-ominaisuuden yleistymistä.

Mikäli toimeksiantaja päätyy jossain vaiheessa rakentamaan BLE-majakoihin perustuvan paikannusverkon, on syytä tutustua Cisco Beacon Point -tuotteeseen. Se pystyy lähettämään lähiympäristöönsä kahdeksan suunnattua BLE-signaalia, jotka toimivat kuin BLE-majakat. Cisco kutsuu näitä virtuaalisiksi majakoiksi (virtual beacon). Yksi kattoon asennettu Power over Ethernet (PoE) Beacon Point voi korvata kahdeksan patterista tai akusta virtansa saavaa BLE-majakkaa. Siinä missä BLE-majakka saattaa maksaa vain 20 \$, patterien vaihto pari kertaa vuodessa voi nostaa BLE-majakan elinkaarikustannukset jopa 300 \$ majakkaa kohden (Cisco Product Training 2016). Cisco Beacon Pointin käyttökustannukseksi arvioidaan noin 120 \$/vuosilisenssi, 700 \$/laite sekä hinta PoE-kaapelin vetämisestä asennuspisteeseen. Cisco Beacon Point suositellaan asentamaan 3,9 m korkeuteen, mikä rajoittaa paikkoja, missä sitä pystyy hyvin hyödyntämään. (Cisco 2018b; Cisco Product Training 2016.)

### 6.3 Yleisiä sisätilapaikannukseen liittyviä suosituksia

Toimeksiantaja ei esittänyt muita teknisiä kriteereitä, kuin järjestelmän yhteensopivuuden nykyisin käytössä olevan laitteiston kanssa. Paikannusjärjestelmiin laajemmin tutustuttaessa nousi esiin asioita, joita toimeksiantajan kannattaa huomioida paikannusjärjestelmää valittaessa ja toteutettaessa.

- Järjestelmän kannattaa käyttää hyväkseen satelliittipaikannusta (GNSS), sillä käyttäjät liikkuvat ulkona kampusalueilla ja niiden välillä. Lisäksi GNSS voi toimia ajoittain rakennuksissa. Lähes kaikki järjestelmät jo tekevätkin näin.
- Järjestelmä voisi käyttää paikannukseen kaikkia matkapuhelinten, tablettien ja kannettavien tietokoneiden käyttämiä langattomia verkkoja, koska niillä saatettaisiin saavuttaa nopeampi paikannuksen aloitus tai parempi tarkkuus.
- Järjestelmä voisi hyötyä useita paikannettavan laitteen antureita hyödyntävistä PDR- ja sensor fusion -tekniikoista, jotka vaikuttavat tarkentavan muilla tekniikoilla suoritettua paikannusta ja sijaintia.

- Olisi hyvä, että järjestelmä ei kelpuuta selvästi väärää arviota liikkeestä, esimerkiksi seinän tai lattian läpi. Tätä varten paikannusjärjestelmään viedyn paikannettavan alueen kartan tulisi olla mahdollisimman tarkka ja paikannus-algoritmin pystyvä erottamaan mahdolliset liikesuunnat mahdottomista.
- Jos matkapuhelinten käyttäjille tarjotaan mahdollisuus paikantaa itsensä, sen tulisi toimia ainakin Android- ja mielellään myös iOS-käyttöjärjestelmissä, koska nämä ovat esimerkiksi vuonna 2016 valmistetuissa älypuhelimissa yleisimmät käyttöjärjestelmät (Worldwide Smartphone OS Market Share (Share in Unit Shipments) 2017). Tällä hetkellä iOS WLAN -paikannus on mahdollista vain järjestelmillä, joissa paikannus tapahtuu palvelimella, ei itse mobiililaitteissa (infsoft n.d.). Tästä johtuen niissä monissa paikannusjärjestelmissä, joissa paikannus tapahtuu mobiililaitteessa, WLAN-paikannus tukee vain Android-käyttöjärjestelmää. Jos paikannuksen tulee tapahtua iOS-laitteissa, on käytettävä radiotekniikkana BLE-majakoita WLAN-järjestelmän sijaan.
- Paikannusjärjestelmää olisi hyvä kehittää jatkuvasti, valmistautuen käyttämään tulevia tarkempia menetelmiä, kuten 802.11mc, Wi-Fi RTT, FTM ja 802.11az, sitä mukaa, kun ne mahdollistava tekniikka yleistyy kuluttajalaitteissa.
- Järjestelmän tulisi myös käsitellä mahdollisesti kerättävää analyysitietoa oletusarvoisesti anonymisti. Käyttäjän omasta pyynnöstä tai viranomaisten vaatimuksesta tulisi olla mahdollista avata anonymiteetti tietyn laitteen paikantamiseksi, kuten häiriölähteen tai hukatun tai varastetun laitteen löytämiseksi/jäljittämiseksi.

## 7 Yhteenveto ja työn arviointi

### 7.1 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa erilaisia langattoman verkon paikannusjärjestelmiä ja valita niistä sopivin käytettäväksi Jyväskylän yliopiston tietoliikennepalvelujen toiminta-alueella. Paikannustuotteita tarjoavien yritysten määrä kasvaa koko ajan, mutta suurin osa toimii muilla sektoreilla kuin langattoman

verkon sisätilapaikannuksen parissa. Toimeksiantajan kanssa määritellyt kriteerit täyttäviä menetelmiä löytyi vain kolme. Analyysin pohjalta esitettiin toimeksiantajalle tällä hetkellä parhaiten soveltuvaksi paikannusjärjestelmäksi Cisco Hyperlocation, mutta todettiin ettei sekään todennäköisesti saavuta toimeksiantajaa tyydyttävää paikannustarkkuutta. Hyperlocation-järjestelmälle ilmoitetut 1-3 metrin tarkkuudet on todennäköisesti mitattu avarissa halleissa, joissa paikannettava kohde on esteettömässä yhteydessä useisiin tukiasemiin yhtä aikaa.

Häiriöitä paikantavan WLAN-sisätilapaikannusjärjestelmän hankinnan osalta toimeksiantajaa kehoitetaan seuraamaan tuotteiden kehitystä, suorittamaan mahdollisuuksien mukaan uusia pilottitestejä ja ryhtymään hankintoihin vasta, kun toimeksiantajan toimintaympäristössä riittävään tarkkuuteen kykenevä järjestelmä on kohtuullisin kustannuksin saatavilla. Toimeksiantajaa kehoitetaan varautumaan mahdollisiin nopealla aikataululla eteneviin sisätilapaikannustarpeisiin tutustumalla korvaaviin paikannustuotteisiin.

Sisätilapaikannus on voimakkaan ja kasvavan tutkimuksen kohteena. Jos toimeksiantajan ei ole välttämätöntä hankkia sisätilapaikannusjärjestelmää nopeassa aikataulussa, seuraava tuotesukupolvi voi olla tarkempi myös toimeksiantajan toimintaympäristössä. Lähiaikoina voi tulla tarjolle myös tietoa sisätilapaikannuksen käytännön kokemuksista toisissa suomalaisissa yliopissa, ainakin HEREn ja MapsIndoorsin osalta.

## 7.2 Työn arviointi

Tämä opinnäyte työ on toiminnallinen opinnäytetyö eli se lähti liikkeelle toimeksiantajan tarpeesta ja työn tavoitteena oli löytää käytännön ratkaisu tuohon tarpeeseen. Työn tuloksena ei pystytty suosittelemaan toimeksiantajalle yhtä täysin soveltuvaa paikannusjärjestelmää, koska sellaista ei näytä oleva tarjolla. Työssä kuitenkin esitetään tietoa ja suosituksia, jotka tukevat toimeksiantajaa jatkossa paikannusjärjestelmän hankinnassa ja toteuttamisessa.

Tiedon saaminen järjestelmien vertailemiseksi osoittautui ennakoitua haastavammaksi. Monista järjestelmistä ei saanut valmistajilta tarkempia tietoja edes suorilla pyynnöillä ja tiedusteluilla. Useimmat eivät vastanneet tiedusteluihin. Esimerkiksi yhdestä yrityksestä vastattiin, että heillä ei ole aikaa auttaa opinnäytetyössä, huolimatta siitä, että pyysin tyypillisiä kiinnostuneelle asiakkaalle

suunnattuja esitteitä ja koetin tehdä selväksi, että opinnäytetyön lähtökohta on toimeksiantajan tarve paikannusjärjestelmälle. Tästä johtuen työstä on voinut jäädä pois järjestelmiä, jotka olisivat soveltuneet toimeksiantajan tarpeeseen, mutta tieto soveltuvuudesta on jäänyt saamatta.

## 8 Lähteet

- Agarwal, A. 2018. VergeSense integrates with HERE Venues to provide powerful spatial analytics. HERE [www.sivu](http://www.sivu) 6.6.2018. Viitattu 2.12.2018.  
<https://360.here.com/vergesense-integrates-with-here-venues-to-provide-powerful-spatial-analytics>.
- Android P features and APIs. 2018. Android sovelluksien kehittäjille suunnattu sivusto. Päivitetty 8.5.2018. Viitattu 21.8.2018.  
<https://developer.android.com/preview/features>.
- Au, E. 2016. The Latest Progress on IEEE 802.11mc and IEEE 802.11ai. IEEE Vehicular Technology Magazine 11, 3, 19-21. Viitattu 21.5.2018. <https://jamk.fi/kirjasto>, Janet, [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org).
- Applanix. 2017. TIMMS™: FAST, ACCURATE & COST-EFFECTIVE INDOOR MAPPING. Lidar kartoitustilteen tuote-esite. Viitattu 6.12.2018.  
[https://www.applanix.com/downloads/products/brochures/2017\\_Timms2Brochure\\_r1\\_feb2017\\_web.pdf](https://www.applanix.com/downloads/products/brochures/2017_Timms2Brochure_r1_feb2017_web.pdf).
- Bai, Y. B., Wu, S., Wu, H. & Zhang, K. 2012. Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology. Geospatial Science Research 2 Symposium. 10.-12.12.2012. Viitattu 6.12.2018.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/bc61/b9527b2901dcfa4683483373c24ee5a2a642.pdf>.
- Bosse, M., Zlot, R. & Flick, P. 2012. Zebedee: Design of a spring-mounted 3-D range sensor with application to mobile mapping. IEEE Transactions on Robotics 28, 5, 1104–1119. Viitattu 8.5.2018. <https://jamk.fi/kirjasto>, Janet, [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org).
- Brimcombe, A. & Li, C. 2009. Location-Based Services and Geo-Information Engineering. John Wiley & Sons. <https://jamk.fi/kirjasto>, Janet, Books24x7.
- Burke, D. 2018. Previewing Android P. Artikkele Android Developers Blog -blogissa. Viitattu 4.5.2018. <https://android-developers.googleblog.com/2018/03/previewing-android-p.html>.
- Cisco. 2015. Hyperlocation Deployment Guide. Tekninen dokumentti Ciscon [www.sivu](http://www.sivu)lla 2.4.2015. Viitattu 2.12.2018.  
[https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/technotes/8-1/Halo-DG/b\\_hyperlocation-deployment-guide.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/technotes/8-1/Halo-DG/b_hyperlocation-deployment-guide.html).
- Cisco. 2016. The Opportunity Inside: Make the Most of Indoor Location on TechWiseTV. Teknologian esittelyvideo 13.10.2016. Lataaja Cisco. Viitattu 2.12.2018.  
<https://www.youtube.com/watch?v=646o7V-HyGE>.
- Cisco. 2018a. Cisco Connected Mobile Experiences Data Sheet. Esite Ciscon [www.sivu](http://www.sivu)lla 5.6.2018. Viitattu 7.12.2018.  
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise-networks/connected-mobile-experiences/datasheet-c78-734648.pdf>.

Cisco. 2018b. Cisco Beacon Point —Hardware Installation Guide. Tekninen dokumentti Ciscon www-sivulla, päivitetty 4.9.2018. Viitattu 2.12.2018. [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/cmx\\_cloud/vBLE\\_HIG/b\\_ble\\_hig/b\\_ble\\_hig\\_chapter\\_01.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/cmx_cloud/vBLE_HIG/b_ble_hig/b_ble_hig_chapter_01.html).

Cisco Product Training. 2016. Cisco Prime Infrastructure 3.0 - Monitoring Features Overview. Tuote-esittelyvideo. 14.12.2016. Lataaja Cisco Product Training. Viitattu 28.11.2018. [https://www.youtube.com/watch?v=n1M\\_bsxzhQ](https://www.youtube.com/watch?v=n1M_bsxzhQ).

Etsi tai syötä leveys- ja pituusasteet. 2018. Google Maps karttaohjelman ohjeet. Viitattu 19.5.2018. <https://support.google.com/maps/answer/18539?co=GENIE.Platform%3DDesktop&hl=fi>.

Gaudlitz, E. 2016. Indoor Navigation with Android and iOS Devices – What Are the Differences and Fields of Application? Infsoft blogi 29.2.2016. Viitattu 1.12.2018. <https://www.infsoft.com/blog-en/articleid/55/indoor-navigation-with-android-and-ios-devices-what-are-the-differences-and-fields-of-application>.

Harrison, T.J. 1983. IEEE Project 802: Local and metropolitan area network standards (An April 1983 status report). FAC Proceedings Volumes 16, 5, 97-113. Viitattu 19.5.2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017625229>.

Haverinen, J. & Kemppainen A. 2009. Global indoor self-localization based on the ambient magnetic field. Robotics and Autonomous Systems 57, 10, 1028–1035. Viitattu 23.3.2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889009001092>.

Here. 2018a. HERE Android SDK. Advanced Positioning by HERE. Käyttöohje HERE www-sivulla 1.10.2018. Viitattu 2.12.2018. [https://developer.here.com/documentation/android-premium/dev\\_guide/topics/advanced-positioning.html](https://developer.here.com/documentation/android-premium/dev_guide/topics/advanced-positioning.html).

Here. 2018b. Indoor Positioning Installation Guide. Käyttöohje HERE www-sivulta 6.9.2018. Viitattu 1.12.2018. <https://www.here.com/file/31041/>.

Häkli, P., Puupponen, J., Koivula, H. & Poutanen, M. 2009. Geodeettisen laitoksen tiedote no. 30: Suomen geodeettiset koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset. Geodeettinen laitos. Päivitetty 10.12.2009. Viitattu 19.5.2018. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/fgi/GLtiedote30.pdf>.

Infsoft. 2016-2018a. Infsoft Locator Nodes – Flexible Indoor Positioning. Tuote-esittely infsoftin www-sivulla. Viitattu 3.12.2018. <https://www.infsoft.com/technology/hardware/infsoft-locator-nodes>.

Infsoft. 2016-2018b. Infsoft 360° Antennas Using Angle of Arrival Technology. Tuote-esittely infsoftin www-sivulla. Viitattu 3.12.2018. <https://www.infsoft.com/technology/hardware/>

Infsoft. 2018a. Solutions for Indoor Navigation, Indoor Analytics, Indoor Tracking and Indoor Location-Based Services. Infsoft www-sivu. Viitattu 3.12.2018. <https://www.infsoft.com/solutions/application-fields>.

Infsoft. 2018b. White Paper, Indoor Positioning & Services. Julkaisu infsoft www-sivulla 2.2.2018. Viitattu 3.12.2018.

[https://cdn.infsoft.com/www/images/solutions/basics/whitepaper/infsoft-Whitepaper-EN-Indoor-Positioning\\_download.pdf](https://cdn.infsoft.com/www/images/solutions/basics/whitepaper/infsoft-Whitepaper-EN-Indoor-Positioning_download.pdf).

Infsoft. N.d. Indoor navigation using iOS – what is important. Teksti indoornavigation.com -tietoportaalissa. Viitattu 1.12.2018.

<https://www.indoornavigation.com/knowledge/indoor-navigation-using-ios-what-is-important>.

Infsoft asiakaspalvelu. 2018. Keskustelu infsoftin chat-asiakaspalvelussa 3.12.2018.

Kárník, J. & Streit, J. 2016, Summary of available indoor location techniques. IFAC-PapersOnline 49, 25, 311-317. Viitattu 27.11.2018.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631632691X>.

Kumar, S., Gil, S., Katabi, D. & Rus, D. 2014. Accurate indoor localization with zero start-up cost. MobiCom '14: Proceedings of the 20th annual international conference on Mobile computing and networking. New York: ACM. 483–494. Viitattu 19.5.2018.

<https://kirjasto.jyu.fi/JYKDOK>, ACM digital library.

Leino, J. 2016. Verkkosuunnittelija. Jyväskylän yliopisto, Digipalvelut. Keskustelu 6.6.2016.

Leppäkoski, H. 2015. Novel methods for personal indoor positioning. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu 1330. Viitattu 1.5.2018. [https://tutcris.tut.fi/portal/files/3706935/leppakoski\\_1330.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/3706935/leppakoski_1330.pdf).

Lymberopoulos, D. & Liu, J. 2017. The Microsoft indoor localization competition: Experiences and lessons learned. IEEE Signal Processing Magazine 34, 5, 125–140. Viitattu 10.5.2018. <https://jamk.fi/kirjasto/Janet/ieeexplore.ieee.org>.

Mannings, R. 2008. Ubiquitous positioning. Boston: Artech House. Viitattu 12.3.2018. <https://jamk.fi/kirjasto/Janet/Books24x7>.

MapsPeople. 2017. The Better Campus How to improve your university experience. Linkki esitteeseen MapsPeople www-sivulla 13.11.2017. Viitattu 6.12.2018. <https://www.mapspeople.com/resources/>.

MapsPeople. N.d. MapsIndoors Indoor Wayfinding with. MapsPeople tuote-esittely www-sivu. Viitattu 6.12.2018. <https://www.mapspeople.com/mapsindoors/>.

Opinnäytetyön ohjaajan käsikirja. N.d. Ohjeistus Jyväskylän ammattikorkeakoulun sivustolla. Viitattu 10.5.2018. <https://oppimateriaalit.jamk.fi/yamk-kasikirja/tyoelaman-tutkiva-kehittamistoiminta/projektityo-vs-ns-toiminnallinen-tutkimuksellinen-kehittamishanke-opinnaytetyo/>.

Paikannussanasto. 2002. Helsinki: Tekniikan Sanastokeskus ry. TSK 30. Viitattu 19.5.2018. <http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/paikannussanasto.pdf>.



- Rath, M. Kulmer, J. Bakr, M. Grosswindhager, B. & Witrals, K. 2017. Multipath-assisted indoor positioning enabled by directional UWB sector antennas. 2017 IEEE 18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). Viitattu 2.12.2018. <https://jamk.fi/kirjasto>, Janet, [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org).
- Sánchez, C., Taddei, P., Ceriani, S., Wolfart, E. & Sequeira, V. 2016. Localization and tracking in known large environments using portable real-time 3D sensors. *Computer Vision and Image Understanding* 149, 197–208. Viitattu 9.5.2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314215002568>.
- Segev, J. 2018. Status of IEEE 802.11az. IEEE P802.11 – Task Group AZ - MEETINGS UPDATE. Nettisivu. Viitattu 27.11.2017. [http://www.ieee802.org/11/Reports/tgaz\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgaz_update.htm).
- Sensewhere. 2014. Sensewhere overview. Esitys sensewhere [www.sivuilla](http://www.sivuilla) 27.11.2014. Viitattu 6.12.2018. <http://sensewhere.com/files/sensewhereOverviewPresentationENG.pdf>.
- Sensewhere. 2017. Indoor Positioning System. Esitys sensewhere [www.sivuilla](http://www.sivuilla) 13.7.2017. Viitattu 4.12.2018. <http://www.sensewhere.com/wp-content/uploads/2017/07/48292-IPS-Datasheet-Letter-WEB.pdf>.
- Shah, P. 2014. Unlock Location-based Engagement with the CMX SDK. Blogikirjoitus Cisco [www.sivuilla](http://www.sivuilla) 8.10.2014. Viitattu 2.12.2018. <https://blogs.cisco.com/wireless/unlock-location-based-engagement-with-the-cmx-sdk>.
- Situm. 2017. Situm Indoor Positioning. Tuote-esittelyvideo 22.7.2017. Viitattu 4.12.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=HrAU5Im-0Is>.
- Situm. 2018. Situm Indoor Positioning. Video tuote-esittelystä Phocuswright konferenssissa 13.11.2018. Viitattu 4.12.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=46EyNcyojHI>.
- Vasisht, D., Kumar, S. & Katabi, D. 2016. Decimeter-level localization with a single WiFi access point. *Proceedings of the 13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '16)*, 165–178. Viitattu 20.5.2018. [https://www.usenix.org/sites/default/files/nsdi16\\_full\\_proceedings\\_interior.pdf](https://www.usenix.org/sites/default/files/nsdi16_full_proceedings_interior.pdf).
- Worldwide smartphone OS market share (Share in unit shipments). 2017. Taulukko International Data Corporationin (IDC) sivustolla. Viitattu 10.5.2018. <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>.
- Wu, Z.-H. & Chen, Y. 2015. A Time-Reversal Paradigm for Indoor Positioning System. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 64, 4, 1331–1339. Viitattu 6.12.2018. [http://sig.umd.edu/publications/Wu\\_TVT\\_201504.pdf](http://sig.umd.edu/publications/Wu_TVT_201504.pdf).
- Yang, C. & Shao, H. 2015. WiFi-based indoor positioning. *IEEE Communications Magazine* 53, 3, 150–157. Viitattu 9.5.2018. <https://jamk.fi/kirjasto>, Janet, [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org).

Zoller, E. 2018a. Location Platform Index: Mapping and Navigation, 2H17. Key vendor rankings and market trends. Markkina-analyysi Ovum yhtiön www-sivulla 15.3.2018. Viitattu 1.12.2018. <https://ovum.informa.com/resources/product-content/location-platform-index-mapping-and-navigation-2h17>.

Zoller, E. 2018b. Location Platform Index: Mapping and Navigation, 1H18. Key vendor rankings and market trends. Markkina-analyysi Ovum yhtiön www-sivulla 20.8.2018. Viitattu 1.12.2018. [https://go.engage.here.com/download-ovum-location-platform-index.html?detailed\\_source=https%3A//here.com/en](https://go.engage.here.com/download-ovum-location-platform-index.html?detailed_source=https%3A//here.com/en).

## Liitteet

### Liite 1. Tuotevertailu

## LIITE 1. Paikannusjärjestelmien analyysi

	1	2	3	4	5	6	7
ominaisuus							
Järjestelmä/tuote	kuuluvuuskartta	Menetelmä	laitteistot	rajapinta	ylläpidon työkalut	palvelu käyttäjälle	hinnoittelu
Cisco MSE & CMX & CleanAir	-	RT	T,S	A,S	P,A	P,N	L,S,T
Cisco Hyperlocation	-	ART	T,S	A,S	P,A	P,N	L,S,T
HERE Indoor Positioning	SS	CoCoF	P	A,S	P,A	P,N	K/U
Infsoft LocAware	-	ART	T,P	A,S	P,A	P,N	L,S,T
MapsPeople MapsIndoors			P	S	P	P,N	A
Sensewhere	A	CoPR	P	S	P,A	P,N	
Situm		CoMP	P	A,S	P,A	P,N	R

tyhjä = ei tiedossa

1 Käyttääkö tuote kuuluvuuskarttaa? - = ei käytä, SS = location site survey, A = automaattinen crowdsourcing kartan päivitys

2 Mitä menetelmää tuote pääasiassa käyttää sijainnin määrittelyyn? A = AoA, Ci = Cell-ID, Co = CoO, F = RSS Fingerprint, P = PDR R = RSSI

3 Vaatiiko tuotteen käyttö valmistajan laitteiston käyttöä? - = ei vaadi, P = pilvipalvelu, S = valmistajan palvelin, T = valmistajan tukiasemat

4 Mitä paikannukseen perustuvia työkaluja tuote tarjoaa ylläpidolle? - = ei mitään, P = paikannus, A = analyysityökaluja

5 Mitä ohjelmointi rajapintoja tuote tarjoaa? - = ei mitään, A = API, S = SDK

6 Mitä palveluja tuote tarjoaa vierailijalle? - = ei mitään, P = paikannus, N = navigointi

7 Mihin tuotteen hinnoittelu perustuu? - = ilmainen, A = käyttöalueen pinta-ala, K = kiinteä hinta, O = ohjelmistolisenssit

T = tukiasemien määrä, R = rakennusten määrä S = palvelinten määrä, U = käyttäjien määrä,