

SISÄTILAPAUKANNUS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Tieto- ja viestintäteknikka
Syksy 2018
Lauri Piirainen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Piirainen, Lauri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 48	Valmistumisaika Syksy 2018
Työn nimi SISÄTILAPAIKANNUS		
Tutkinto Insinööri (AMK), Tietotekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa sisätilapaikannus Lahden ammattikorkeakoulun NiemiCampukselle. Sisätilapaikannus toteutettiin tilaajan valitsemilla laitteilla ja sovelluksilla. Tilaajalla oli valittuna Cisco Connected Mobile Experiences, joka toteutaisi paikannuksen. Tukiasemina tilaajalla oli käytössä Cisco Cisco Aironet 4800.</p> <p>Cisco Connected Mobile Experiences tarvitsee toimiakseen kartat alueista ja paikkatiedot alueella olevista tukiasemista. Karttojen ja tukiasemien tietojen tuontiin tilaajan käytössä on Cisco Digital Network Architecture Center-ratkaisu. Cisco Connected Mobile Experiences hyödyntää laitteiden paikannuksen Ciscon kehittämää hyperlocation-ominaisuutta, joka mahdollistaa paikannuksen yhden metrin tarkkuuteen. Cisco Aironet 4800-tukiasemat tukevat hyperlocatiointia.</p> <p>Työssä käydään läpi erilaiset paikannusmenetelmät, paikannuksen toteutus langattomalla lähiverkolla sekä Bluetoothin Low Energy avulla sekä tutustutaan Cisco Connected Mobile Experiencesin toimintaan ja sen tarjoamiin hyötyihin ja ominaisuuksiin.</p> <p>Sisätilapaikannuksen käyttöönoton jälkeen pystyttiin tarkastelemaan tilojen käyttöastetta luokittain, vierailijoiden liikkumista rakennuksessa ja kuinka vierailijoiden määrä jakautuu tunneittain.</p>		
Asiasanat sisätilapaikannus, Cisco, langaton lähiverkko		

Abstract

Author(s) Piirainen, Lauri	Type of publication Bachelor's thesis	Published Autumn 2018
	Number of pages 48	
Title of publication Indoor positioning		
Name of Degree Bachelor of Engineering, Information Technology		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to implement indoor positioning on the NiemiCampus of Lahti University of Applied Sciences. The indoor positioning was implemented with software and hardware choices made by the client. The client had chosen Cisco Connected Mobile Experiences to execute the positioning. As access points the client had chosen Cisco Aironet 4800.</p> <p>Cisco Connected Mobile Experiences needs maps and information of access points in the area. To import maps and information of access points to Cisco Connected Mobile Experiences the client had the Cisco Digital Network Architecture Center solution. Cisco Connected Mobile Experiences uses hyperlocationing, which has been developed by Cisco to locate devices. Hyperlocation can localize devices with one meter accuracy. Cisco Aironet 4800 access points support hyperlocation.</p> <p>The theory part deals with different positioning methods, implementation of localization done with wireless LAN and Bluetooth Low Energy, and also the benefits of Cisco Connected Mobile Experiences.</p> <p>Indoor positioning was used to examine the utilization rates of the premises by classes. It was also used to examine visitors' movement in the premises and how the number of visitors was divided hourly.</p>		
Keywords indoor positioning, Cisco, wireless local area network		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LANGATON TIEDONSIIRTO	2
2.1	Langaton lähiverkko.....	2
2.2	Bluetooth	6
3	PAIKANNUS	10
3.1	Paikannusmenetelmät	10
3.2	Paikannuksen toteutus ulkotiloissa	13
3.3	Paikannuksen toteutus sisätiloissa	14
3.3.1	Bluetooth-paikannus.....	14
3.3.2	Lähiverkkopaikannus	16
3.4	Sisätilapaikannuksen hyödyt.....	18
3.4.1	Tilojen seuranta	18
3.4.2	Laitteiden seuranta	19
3.4.3	Henkilöiden seuranta	20
3.5	Sisätilapaikannuksen haitat	20
4	PAIKANNUSJÄRJESTELMÄ	22
4.1	Cisco Connected Mobile Experiences.....	22
4.2	CMX Palvelut.....	25
4.2.1	Detect & locate	26
4.2.2	Analytics	28
4.2.3	Connect	30
4.2.4	Manage	32
4.2.5	System	35
4.3	Paikannus.....	37
4.4	Yksityisyys	38
5	SISÄTILAPAIKANNUKSEN TOTEUTUS	40
6	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	49

LYHENTEET

AoA	Angle of Arrival. Saapumiskulma
BLE	Bluetooth Low Energy
CMX	Connected Mobile Experiences
CPU	Central Processing Unit. Prosessori
CSI	Channel State Information. Kanavan tilatiedot
DFS	Dynamic Frequency Selection. Dynaaminen taajuusvalinta
DNA	Digital Network Architecture
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface. Graafinen käyttöliittymä
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things. Esineiden internet
ISM	Industrial Scientific Medical. Teollinen, tieteellinen ja lääketieteellinen
LoS	Line of Sight. Näköyhteys
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NMSP	Network Mobility Services Protocol
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PII	Personal Identifiable Information. Henkilökohtainen tunnistetieto
PoE	Power over Ethernet.
RF	Radio Frequency. Radiotaajuus
RSS	Received Signal Strength. Vastaanotetun signaalin voimakkuus
RSSI	Received signal strength indicator. Vastaanotetun signaalin voimakkuuden ilmaisin
RX	Receive. Vastaanottaa
SRD	Short Range Devices. Lyhyen matkan laitteet

TOA	Time of Arrival. Saapumisaika
TPC	Transmit Power Control. Lähetystehon säätö
TX	Transmission. Lähettää
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network. Langaton lähiverkko
WLC	Wireless LAN Controller

1 JOHDANTO

Paikantaminen ulkotiloissa on ollut jo pitkään yleisesti käytössä. Ulkona ollessaan ihmiset hyödyntävät GPS:ää paikantaakseen sijaintinsa, kun he ovat uudessa ympäristössä, haavevat optimaalisinta reittiä kohteeseensa ja löytävät kartasta heitä lähellä olevia mielenkiintoisia kohteita. GPS:n toiminta rajoittuu ulkotiloihin johtuen GPS-signaalien heikosta kuuluvuudesta sisätiloihin.

Kehittyneiden langattomien tekniikoiden ansiosta paikannusta voidaan nykypäivänä myös toteuttaa sisätiloissa. Kehitystä sisätilapaikannuksessa tapahtui antennien kehittymisen ansiosta. MIMO (Multiple Input Multiple Output) -tekniikan ansiosta vastaanotettavasta signaalista voidaan saada selville sen tulokulma, jonka ansiosta signaalin lähettäjän suunta voidaan helpommin paikallistaa. Signaalien tulokulmien tietäminen yhdistettynä kolmiomittaukseen mahdollistaa tarkemman paikkatiedon laskemisen.

Tämän työn tavoitteena on toteuttaa sisätilapaikannus Lahden ammattikorkeakoulun NiemiCampukselle. Sisätilapaikannus tullaan toteuttamaan tilaajan valitsemilla sovellus- ja laitevalinnoilla. Tilaajalla on valittuna Cisco Connected Mobile Experiences, joka toteuttaa paikannuksen. Cisco CMX hyödyntää Ciscon kehittämää hyperlocation-paikannusratkaisua. Tukiasemina tilaajalla on valittuna Cisco Aironet 4800 -malli, johtuen tämän sisäänrakennetusta tuesta hyperlocationille. Lisäksi tässä työssä tullaan tutustumaan langattoman lähiverkon ja Bluetoothin toimintaan, erilaisiin paikannusmenetelmiin sekä perehdytään Cisco Connected Mobile Experiencesin toimintaan.

2 LANGATON TIEDONSIIRTO

2.1 Langaton lähiverkko

Langaton lähiverkko, Wi-Fi ja WLAN, näillä sanoilla tarkoitetaan yleensä samaa asiaa. Lyhenne WLAN tulee sanoista wireless local area network, joka suomennettuna tarkoittaa langatonta lähiverkkoa. Yleisesti langattomasta lähiverkosta puhuttaessa tarkoitetaan IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11-standardien langatonta verkkoa. Wi-Fi on kaupp nimi näille tuotteille, eli WLAN on langaton verkko, IEEE 802.11 on standardi ja Wi-Fi on kaupp nimi näille laitteille. Wi-Fi sertifioiduista tuotteista löytyy alla oleva logo (kuvio 1). (Viestintävirasto 2014.)



Kuvio 1. Wi-Fi logo (Wi-Fi 2018)

Shawin mukaan ensimmäinen IEEE 802.11-standardi hyväksyttiin 1997. Siitä käytetään nimitystä 802.11-1997. Vuodesta 1997 lähtien langatonta yhteyttä on kehitetty ja uusia standardeja on ilmestynyt sitä mukaan, kun kehitystä on tapahtunut. Kyseessä on maailmanlaajuinen standardi, ja laitteet käyttävät samoja ISM-taajuuksia (industrial, scientific ja medical). Taajuudet on sitten vielä jaettu kanaviin. Eri maissa käytettävät kanavat vaihtelevat. (Viestintävirasto 2014.)

Taulukko 1. 2,4 GHz kanavien vertailu maittain (Poole 2018c)

CHANNEL NUMBER	EUROPE (ETSI)	NORTH AMERICA (FCC)	JAPAN
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓
12	✓	No	✓
13	✓	No	✓
14	No	No	802.11b only

2,4 GHz:n ISM-taajuus on jaettu 14:ään eri kanavaan (Poole 2018c). Yllä oleva taulukko (taulukko 1) havainnollistaa kanavien käytettävyyden eri maiden välillä. Esimerkiksi Suomessa kanavan 13 käyttö on sallittua, kun taas Pohjois-Amerikassa kyseisen kanavan käyttö on kiellettyä. Samanlainen ilmiö on myös 5 GHz:n ISM-taajuuksilla. 5 GHz:n taajuuksilla käytettävien kanavien numerointi ei mene kuitenkaan yhtä systemaattisesti kuin 2,4 GHz:n taajuudella. Osa 5 GHz Wi-Fi-kanavista menee sallittujen lisensoimattomien ISM-taajuuksien ulkopuolelle. Tästä johtuen erilaisia rajoituksia on asetettu niiden käytön suhteen. Alla oleva taulukko (taulukko 2) näyttää 5 GHz kanavien käytettävyyden maittain. Taulukossa käytetyt lyhenteet ja niiden selitteet:

- DFS = Dynamic Frequency Selection, dynaaminen taajuusvalinta
- TPC = Transmit Power Control, lähetystehon säätö
- SRD = Short Range Devices, lyhyen matkan laite (max 25 mW tehoa).

Lisäksi osassa maissa, esimerkiksi Australiassa, Brasiliassa ja Kiinassa, on alueellisia eroja. Tämän lisäksi Japanissa on pääsy osaan kanavista, jotka ovat alle 5180 MHz. (Poole 2018c.)

Taulukko 2. 5 GHz kanavien käytön vertailu maittain (Poole 2018c)

CHANNEL NUMBER	FREQUENCY MHZ	EUROPE (ETSI)	NORTH AMERICA (FCC)	JAPAN
36	5180	Indoors	✓	✓
40	5200	Indoors	✓	✓
44	5220	Indoors	✓	✓
48	5240	Indoors	✓	✓
52	5260	Indoors / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
56	5280	Indoors / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
60	5300	Indoors / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
64	5320	Indoors / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
100	5500	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
104	5520	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
108	5540	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
112	5560	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
116	5580	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
120	5600	DFS / TPC	No Access	DFS / TPC
124	5620	DFS / TPC	No Access	DFS / TPC
128	5640	DFS / TPC	No Access	DFS / TPC
132	5660	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
136	5680	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
140	5700	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
149	5745	SRD	✓	No Access
153	5765	SRD	✓	No Access
157	5785	SRD	✓	No Access
161	5805	SRD	✓	No Access
165	5825	SRD	✓	No Access

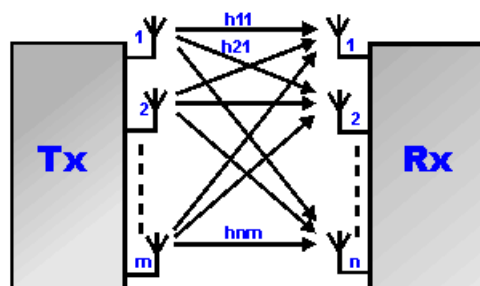
Wi-Fi-verkot pyrkivät käyttämään lisensoimattomia ISM-taajuuksia. ISM-taajuudet ovat tarkoitettuja teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön. Tämä johtuu taajuuksien käytön helppoudesta, koska lisensoimattomien taajuuksien käyttämiseen ei tarvitse luoda erilaisia säännöksiä ja rajoituksia. Huonona puolena lisensoimattomien taajuuksien käytössä on se, että moni muukin voi käyttää kyseisiä taajuuksia. (Poole 2018c.)

Taulukko 3. IEEE 802.11-standardien vertailu (Poole 2018a; Poole 2018c; Shaw 2018)

IEEE 802.11	Hyväksymisvuosi	Max Data-nopeus	Taajuus	Kaistanleveys (MHz)	Modulointi
802.11a	1999	54 Mbps	5 GHz	20	OFDM
802.11b	1999	11 Mbps	2,4 GHz	20	CCK (DSSS)
802.11g	2003	54 Mbps	2,4 GHz	20	CCK, DSSS, OFDM
802.11n	2009	600 Mbps	2,4 tai 5 GHz	20, 40	CCK, DSSS, OFDM
802.11ac	2013	6,93 Gbps	5,8 GHz	20, 40, 80 160 (valinnainen)	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 256-QAM (valinnainen)
802.11ad	2012	6,7 Gbps	60 GHz		erilaisia: yksittäisiä kuljettajia, OFDM
802.11af	2014		470-710 MHz	6	BPSK
802.11ah	2016	347 Mbps	alle 1 GHz	1, 2,4,8,16	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM

Jokainen uusi IEEE 802.11-standardi sisältää uusia ominaisuuksia verrattuna edelliseen. Ensimmäinen hyväksytty 802.11 WLAN-standardi oli 802.11b, joka käytti 2,4 GHz:n taajuutta (taulukko 3). Kyseinen standardi käytti CCK (Complementary Code Keying) -modulointia, mutta se myös tuki DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) -modulointia, joka löytyi alkuperäisestä 802.11 määritelmästä. Lähes samaan aikaan hyväksyttiin toinen standardi 802.11a, kyseinen standardi käyttää 5 GHz taajuutta ja modulointiin se käyttää OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) -tekniikkaa. Näistä kahdesta 802.11b oli suosittu, koska 2,4 GHz sirut olivat helpompia ja halvempia valmistaa. Uudemmissa IEEE -standardeissa on alettu käyttämään eri taajuuksia, kuin 2,4 GHz ja 5 GHz. Suurempi taajuus pystyy kuljettamaan enemmän dataa, mutta välimatka lyhenee. Pienempi taajuus pystyy kuljettamaan vähemmän dataa, mutta välimatka voi olla pitempi. (Poole 2018a.)

Suuri nousu suurimmassa datanopeudessa tuli IEEE 802.11g:n ja 802.11n:n välillä (taulukko 3). Tämä johtuu siitä, että 802.11n käyttää MIMO-tekniikkaa. MIMOssa on nimensä mukaisesti useita sisääntuloja ja useita lähtöjä, joita sitten käytetään signaalien lähettämiseen ja vastaanottamiseen (kuvio 2). Kuvio ilmentää MIMO-tekniikan perusajatus, laite käyttää kahta tai useampaa antennia lähettämiseen (Tx) ja sama vastaanottamiseen (Rx). MIMOn ideana on tarjota vastaanottajalle useita versioita samasta signaalista. Tällä vähennetään mahdollisuutta signaalin vioittumiseen matkalla. On olemassa useita erilaisia monimuotoisuustiloja signaaleille, ja niillä saavutetaan erilaisia etuja: ajan monimuotoisuus, taajuuden monimuotoisuus ja antennin monimuotoisuus. Ajan monimuotoisuus saavutetaan lähettämällä viesti eri aikoihin, esimerkiksi käyttämällä eri aikaväliä ja kanavakoodausta. Taajuuden monimuotoisuus käyttää eri taajuuksia viestin lähettämiseen, esimerkiksi käyttämällä eri kanavia. Antennin monimuotoisuus on yksinkertaisesti lähettämällä viesti eri antenneista ja näin ollen luoden eri polun signaalille. MIMO-tekniikalla vähennetään kanavan vaimenemisesta aiheutuvan signaali-kohinasuhteen vaikutusta. MIMO-tekniikalla saavutetaan myös suurempia datanopeuksia, koska signaalit käyttävät eri polkuja kuljettaakseen ylimääräisen liikenteen. (Poole 2018b.)



Kuvio 2. MIMO-tekniikan perusajatus (Poole 2018b)

2.2 Bluetooth

Idea langattomasta lisälaitteiden lisäyksestä alkoi jo vuonna 1994, kun Ericsson alkoi miettimään tapaa lisätä lisälaitteita tietokoneisiin sekä puhelimiin ilman johtoja. Bluetooth Special Interest Group eli SIG perustettiin helmikuussa vuonna 1998. Sen perustivat Ericsson, Nokia, IBM, Intel ja Toshiba. Nimi Bluetooth tulee kuninkaasta Harald "Bluetooth" Gormsson. Harald Gormsson sain liikanimen "Bluetooth" hänen kuolleen hampaansa, joka oli tumman sininen/harmaan värinen, takia. Nimi sai alkunsa 1996, kun Intel, Ericsson ja Nokia tapasivat suunnitellakseen standardoinnin lyhyen matkan radioteknologialle, tukeakseen yhdistettävyyttä ja yhteistyötä erilaisten tuotteiden ja yritysten kanssa. Tapaamisen aikana Intelin edustaja ehdotti Bluetooth-nimeä, jonka oli tarkoitus olla vain

väliaikainen koodinimi projektille, kunnes markkinointi keksisi paremman nimen. Lopulta nimen tilalle ei ehditty löytää parempaa nimeä, ehdolla oli PAN ja RadioWire, mutta PAN oli jo varattu ja aika ei riittänyt tavaramerkkitutkimukseen RadioWiren kohdalla. Tapahtumien seurauksena Bluetooth-nimi hyväksyttiin virallisesti 1998. Bluetooth logo (kuvio 3) on Nuorempien Futharkin, Hagall (*) ja Bjarkan (ᚢ) Haraldin, alkukirjaimien riimukirjaimien yhdistelmä. (Morrow 2002, 10; Bluetooth 2018a; Bluetooth 2018b.)



Kuvio 3. Bluetooth logo (Bluetooth 2018a)

Bluetooth toimii lisensoimattomalla 2,4 GHz ISM-taajuusalueella. Bluetooth tukee monia eri lähetysmahdollisuuksia ja mahdollistaa näin erilaiset käyttötarkoitukset. Bluetoothilla on kaksi erilaista radioversiota: Bluetooth Low Energy (LE) ja Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR). Molemmat on suunniteltu erilaisiin käyttökohteisiin. (Bluetooth 2018c.)

Bluetooth Low Energy, on optimoitu toimimaan lyhyissä purske datalähetyksissä (taulukko 4). Bluetooth Low Energy toimii 2,4 GHz:n ISM-taajuudella, jossa se lähettää 40:llä eri kanavalla. Varmistaakseen luotettavan toimivuuden se hyödyntää tehokasta taajuushyppeilyä koko taajuusspektrillä. Datanopeus on 125 kb ja 2 Mb sekunnissa väliltä. Bluetooth Low Energy on suunniteltu toimimaan erittäin pienellä virrankulutuksella. Tehotaso voi vaihdella 1 ja 100 mW:n väliltä. Bluetooth Low Energy tukee monia eri verkkotopologioita. Se tukee pisteestä pisteeseen-, broadcast- ja mesh-verkkotopologiaa. (Bluetooth 2018c.)

Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) on optimoitu toimimaan jatkuvissa datavirroissa (taulukko 4). Sekin toimii 2,4 GHz:n ISM-taajuudella ja hyödyntää taajuushyppeilyä. Erona Bluetooth Low Energyyn BR/EDR käyttää 79:ää eri kanavaa, mikä tarkoittaa, että kanavien väli on paljon pienempi kuin Bluetooth LE:n. BR/EDR datanopeus on kuitenkin suurempi kuin Bluetooth LE:n, sillä BR/EDR pystyy lähettämään dataa 1Mb sekunnissa aina 3MB sekunnissa asti. Suuremman datanopeuden huomaa hieman suuremmissa virrankulutuksissa, mutta silti BR/EDR:n virrankulutus on pieni. BR/EDR tukee vain pisteestä pisteeseen-verkkotopologiaa. (Bluetooth 2018c.)

Taulukko 4. Bluetooth radioversioiden vertailu (Bluetooth 2018c)

	Bluetooth Low Energy	Bluetooth BR/EDR
Optimoitu	Lyhyt purske tiedonsiirto	Jatkuvaan datavirtaan
Taajuusalue	2,4 GHz ISM (2,402 – 2,480 GHz hyödynnetty)	2,4 GHz ISM (2,402 – 2,480 GHz hyödynnetty)
Kanavat	40 kanavaa, 2 MHz:n välein 3 Mainostus/37 Data	79 kanavaa, 1 MHz:n välein
Kanavan käyttö	Taajuushyppely koko spektrillä (FHSS)	Taajuushyppely koko spektrillä (FHSS)
Modulointi	GFSK	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK
Tehon kulutus	~0.01x – 0.5x viitearvosta	1 (viitearvo)
Datanopeus	LE 2M PHY: 2 MB/s LE 1M PHY: 1 MB/s LE Coded PHY(S=2):500 Kb/s LE Coded PHY(S=8):125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s
Maksimi lähetysteho	Luokka 1: 100 mW (+20 dBm) Luokka 1,5: 10 mW (+10 dbm) Luokka 2: 2.5 mW (+4 dBm) Luokka 3: 1 mW (0 dBm)	Luokka 1:100mW(+20dBm) Luokka 2: 2.5 mW(+4 dBm) Luokka 3: 1 mW (0 dBm)
Verkkotopologiat	Pisteestä pisteeseen Broadcast Mesh	Pisteestä pisteeseen

Kuten yllä olevasta taulukosta (taulukko 4) ilmenee, radioversioissa on eroavaisuuksia. Erilaisuutensa vuoksi niillä on erilaiset käyttökohteet. Bluetooth BR/EDR on suunniteltu jatkuviin datavirtoihin, joten sen optimoituja käyttökohteita ovat audiolähetykset. Tästä johtuen BR/EDR:n käyttökohteita ovat monet jokapäiväiset äänentoistolaitteet. Esimerkkejä BR/EDR:n käyttökohteista ovat Bluetooth-kuulokkeet ja handsfree-laitteet autossa. BR/EDR-tekniikkaa käytetään useassa kodin laitteessa, jonka tarkoitus on vain liittyä yhteen laitteeseen ja toimia yhdellä tavalla. Tätä edesauttaa sen kyky kuljettaa enemmän dataa kuin Bluetooth Low Energyn. Bluetooth Low Energyllä on useampia eri käyttökohteita, koska se tukee useita eri verkkotopologioita. Pisteestä pisteeseen-verkkotopologia soveltuu tiedonsiirtoihin. Esimerkki Bluetooth LE pisteestä pisteeseen laitteesta on fitness ranneke, joka lähettää tietoa Bluetoothin yli. Broadcast-verkkotopologiassa muodostetaan

yhteys yhdestä laitteesta moneen laitteeseen. Tätä hyödynnetään paikannuksessa. Ideaalisia käyttökohteita ovat sisätilapaikannuksessa sekä navigoinnissa sisätiloissa. Mesh-verkkotopologiassa muodostetaan monesta moneen laitteeseen verkko. Mesh ominaisuutta hyödynnetään, kun halutaan luoda suuren koon laiteverkkoja. Esimerkkejä suuren koon laiteverkkojen käyttökohteista on, kun halutaan monitoroida, kontrolloida ja automatisoida systeemejä, joissa on paljon laitteita. (Bluetooth 2018c; Bluetooth 2018d.)

3 PAIKANNUS

3.1 Paikannusmenetelmät

Paikannuksella tarkoitetaan yleisesti kohteen sijainnin selvittämisestä. Paikannuksen kohteena voi olla esimerkiksi ihminen, auto tai esine. (Tekniikan Sanastokeskus ry 2002, 10.) Received signal strength indicator (RSSI), eli suomennettuna vastaanotetun signaalin voimakkuuden ilmaisin on yleisesti hyödynnetty paikannuksessa. RSSI on yksi yleisemmin käytetty ominaisuus sisätilapaikannuksessa. RSSI perustuu vastaanotetun signaalin sisältämään tehoon. Signaalin voi lähettää tukiasema ja sen vastaanottaa asiakas tai toisinpäin. Radioaallon kulkema matka voidaan mitata, koska radioaalto vaimenee käänteisen neliönlain mukaisesti. Tästä johtuen etäisyys voidaan laskea tukiaseman ja asiakkaan välille. Etäisyyslaskenta voi olla virheellinen, jos signaalissa on tapahtunut virheitä. Myös signaalin eteen sattuvat esteet vaimentavat signaalin kulkua, minkä takia paikannus yhdellä tukiasemalla voi olla virheellistä. RSSI on yksi halvimmista ja helpoimmista tekniikoista pystyttävä. Helppoudella ja hinnalla on seurauksensa, koska RSSI ei ole paras tarkkuudessa, joten tulosten suodatus on avainasemassa, jos pystyttävä RSSI järjestelmän. (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)

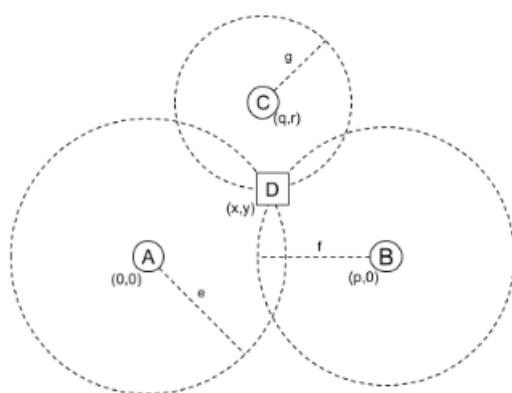
Useampi tukiasema auttaa parantamaan paikannuksen tarkkuutta. Tarkkuus paranee, koska useampi tukiasema pystyy keräämään paljon enemmän dataa asiakkaasta kuin yksi tukiasema. Useampi tukiasema kuitenkin aiheuttaa myös haittaa, koska se lisää riskiä erilaisten signaalien mahdollisuutta häiritä toistensa signaalia ja näin aiheuttaa virheitä signaalissa. (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)

Kolmiomittaus on mallipohjainen tekniikka, jolla pystytään sijoittamaan paikannettava kohde 2D-kartalla tiettyyn pisteeseen. Paikannus 2D-pisteeseen tapahtuu laskemalla kohteen eli vastaanottajan etäisyys vähintään kolmeen lähettimeen. On tärkeää tietää, missä lähettimet sijaitsevat, jotta paikannustieto olisi mahdollisimman tarkkaa. Paikannus vaatii vähintään kolme lähetintä, mutta useampi lähetin parantaa paikannustarkkuutta, koska neljäs lähetin saa kerättyä lisää dataa vastaanottajasta, jonka avulla voidaan tarkentaa sijaintitietoa. (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)

Lähettimet lähettävät jatkuvasti paketteja. Tästä johtuen vastaanottaja voi koko ajan vastaanottaa lähetyksiä ja näin tallentaa RSSI dataa lähetyksistä, RSSI:stä pystytään laskemaan suhteellinen sijainti lähettäjän ja vastaanottajan välille. Etäisyys pystytään laskemaan polkuvaimennusmallin (kaava 1) avulla (Sadowski & Spachos 2018, 30153).

$$RSSI = -10n \log_{10}(d) + C \quad (1)$$

Kaavassa 1 n on reitin menetys kerroin, joka riippuu kulloisestakin ympäristöstä. Kaavassa 1 d on lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys. C on kiinteä vakio, joka kuvastaa systeemin menetyksiä. Polkuvaimennusmalli ottaa huomioon sen, että ympäristö voi vaikuttaa RSSI tulokseen. Ympäristön vaikutus eli reitin menetys kerroin joudutaan laskemaan jokaiselle ympäristölle erikseen, ennen kuin kaavaa voidaan käyttää. Polkuvaimennusmallia ei voida aina myöskään käyttää, koska ei tiedetä tarkkaa lähetystehoja lähettimeltä. Tällöin joudutaan käyttämään muita menetelmiä RSSI:n laskemiseksi. (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)



Kuvio 4. Kolmiomittaus (Sadowski & Spachos 2018, 30153)

Kolmiomittauksen perusajatus näkyy yllä olevasta kuviosta (kuvio 4). D on vastaanotin ja A, B ja C ovat lähettimiä. A sijoitetaan koordinaatiston nollakohtaan eli origoon (0.0). B sijoitetaan A:n kanssa samalle pystyakselille, mutta positiiviselle vaaka-akselille, saaden näin sijainnin (p.0). C sijoitetaan positiivisessa suhteessa A:han ja B:hen vaaka- ja pystyakselilla saaden sijainnin (q.r). Vastaanotin D sijoitetaan tiedettyyn koordinaatistopisteeseen (x.y). Lähettimien A, B ja C:n etäisyys vastaanottaja D:hen ilmoitetaan etäisyyksinä e, f ja g. Jokainen etäisyys (e, f ja g) lasketaan hyödyntämällä kaavan 1 polkuvaimennusmallia. (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)

Seuraavaksi selvitetään A, B ja C:n sijainti ja lasketaan näiden etäisyys vastaanottajaan D:hen. Kun A, B ja C:n sijainti ja etäisyydet e, f ja g ovat selvillä, voidaan laskea D:n sijainti (x,y). Laskukaavat johdetaan ympyrän kaavasta, joka ilmenee kaavasta 2 (Seppänen, Kervinen, Parkkila, Karkela & Meriläinen 2011, 44). (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \quad (2)$$

Kaavassa 2 piste (x_0, y_0) vastaa ympyrän keskipistettä ja pisteet x ja y vastaavat mitä tahansa pistettä koordinaatistossa. Kaavassa 2 r vastaa ympyrän sädettä. Jos ympyrän keskipiste sijaitsee origossa, saadaan johdettua kaavan 3 mukainen kaava (Seppänen et al. 2011, 44).

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (3)$$

Näitä kaavoja hyödyntämällä saadaan kolmiomittauksessa ratkaistua D :n sijainti seuraavien yhtälöiden avulla:

$$e^2 = x^2 + y^2 \quad (4)$$

$$f^2 = (x - p)^2 + y^2 \quad (5)$$

$$g^2 = (x - q)^2 + (y - r)^2 \quad (6)$$

Kaikkia yhtälöissä on vain kaksi tuntematonta muuttujaa, jotka ovat pisteet x ja y . Nämä pisteet vastaavat D :n sijaintia, joten selvittämällä (x, y) saadaan selville D :n sijainti. (Sadowski & Spachos 2018, 30153.)

Piste (x, y) saadaan selvitettyä yhtälöistä, kun vähennetään yhtälö (4) yhtälöstä (5) ja näin saadaan seuraavanlainen yhtälö (7). Yhtälö (7) saatiin, kun molemmat yhtälöt (4) ja (5) merkittiin nolllaksi ja vähennettiin toisistaan.

$$0 = ((x - p)^2 + y^2 - f^2) - (x^2 + y^2 - e^2) \quad (7)$$

Yhtälöstä (7) voidaan johtaa yhtälön (8) näköinen yhtälö, josta voidaan helpommin johtaa lopullisen kaavan 9 mukainen yhtälö, josta on mahdollista ratkaista x , koska kaikki muut muuttujat tiedetään. (Sadowski & Spachos 2018, 30153-30154.)

$$2xp = e^2 - f^2 + p^2 \quad (8)$$

$$x = \frac{e^2 - f^2 + p^2}{2p} \quad (9)$$

Kun piste x on selvitetty, täytyy enää selvittää pisteen y sijainti, jonka jälkeen D :n sijainti (x, y) on selvillä. Piste y selvitetään samalla tavalla kuin piste x . Piste y :n selvittämiseksi vähennetään yhtälö (4) yhtälöstä (6). Ensiksi merkitään yhtälöt (4) ja (6) nolllaksi, minkä jälkeen voidaan vasta vähentää yhtälö (4) yhtälöstä (6). Tämän seuraamuksena saadaan seuraavanlainen yhtälö (10). (Sadowski & Spachos 2018, 30153-30154.)

$$0 = (x - q)^2 + (y - r)^2 - g^2 - (x^2 + y^2 - e^2) \quad (10)$$

Yhtälön (10) kanssa voi toimia samalla lailla kuin yhtälön (7) kanssa. Eli yhtälöä (10) voidaan johtaa eteenpäin, jotta yhtälö muuttuisi helpommin ratkaistavaksi. Yhtälöstä kerrotaan sulut auki. Sulkujen auki kertomisen jälkeen pystytään yhtälöä supistamaan, jonka jälkeen siirretään y yhtäsuuruusmerkin toiselle puolelle. Tämän seurauksena yhtälö näyttää seuraavalta:

$$2yr = q^2 + r^2 - g^2 + e^2 - 2xq \quad (11)$$

Yhtälö (11) jaetaan $2r$:llä, jotta voidaan selvittää y . $2r$:llä jakamisen jälkeen päästään lopulliseen kaavaan, jossa ei ole enää yhtäkään tuntematonta muuttujaa, joten y voidaan selvittää. Eli vähentämällä yhtälöstä (6) yhtälö (4) ja välivaiheiden kautta päästää kaavaan 12 (Sadowski & Spachos), josta pystytään laskemaan D :n y piste. y pisteen laskemisen jälkeen on molemmat pisteet x ja y selvillä ja näin voidaan osoittaa D :n sijainti xy -koordinaatistossa pisteessä (x,y) .

$$y = \frac{e^2 - g^2 + q^2 + r^2}{2r} - \frac{q}{r}x \quad (12)$$

Kolmiomittauksen tarkkuus pystytään myös laskemaan. Tarkkuuden mittaus tapahtuu MSE:n avulla eli Mean Square Error eli suomennettuna keskimääräinen neliövirhe. MSE on laskelma kahden pisteen välillä, jota käytetään löytämään virhe. Kaavassa 13 on esitetty keskimääräisen neliövirheen laskukaava. Kaavassa 13 x_{calc} ja y_{calc} vastaa laskettua pistettä, kun taas x_{real} ja y_{real} vastaavat vastaanottimen oikeaa pistettä. Kun on otettu tarpeeksi näytteitä tarkkuudesta, voidaan lopulta laskea keskimääräinen arvio tarkkuudelle. MSE:n käyttö vaatii toimiakseen tarkan sijaintitiedon vastaanottajasta, muuten laskukaavaa ei voi käyttää. (Sadowski & Spachos 2018, 30154.)

$$Error = \sqrt{(x_{calc} - x_{real})^2 + (y_{calc} - y_{real})^2} \quad (13)$$

3.2 Paikannuksen toteutus ulkotiloissa

Ulkotiloissa paikannus on yleisesti toteutettu GPS:n eli Global Positioning System avulla. GPS on satelliittipaikannusjärjestelmä, joka koostuu vähintään 24 satelliitista. GPS-järjestelmä on Yhdysvaltojen puolustusvoimien ylläpitämä satelliittijärjestelmä, joka oli alun perin tarkoitettu vain sotilaskäyttöön. Yhdysvaltojen puolustusvoimien virallinen nimi GPS:lle on NAVSTAR ja ensimmäinen GPS-satelliitti laukaistiin 1978. Muita GPS:n kaltaisia satelliittipaikannusjärjestelmiä ovat Euroopassa kehiteltävä Galileo ja venäläinen GLONASS (Tekniikan Sanastokeskus ry 2002, 25). GPS-järjestelmä tuli myös siviilien käyttöön 1980-luvulla. GPS vaatii vähintään kolmen satelliitin käyttöä, jotta kohde voidaan paikantaa 2D

tasolla. Kohde pystytään paikantamaan myös 3D-tasolla, jos käytetään neljää tai useampaa satelliittia. (Garmin 2018.)

GPS:n paikannus perustuu kolmiomittaukseen. Kolmiomittaus toteutetaan vähintään kolmen vastaanottajan avulla. Vastaanottajat laskevat saadusta signaalista tiedon siitä, kuinka kaukana paikannettava kohde on. Lopulta jokaista saatua paikkatietoa verrataan kolmen vastaanottajan kesken, jotta voidaan laskea sijainti suhteessa kaikkiin kolmeen vastaanottajaan. Edelle olevasta kuvioista (kuvio 4) ilmenee kolmiomittauksen perusajatus. Siinä jokainen vastaanottaja A, B ja C saavat lähettäjän D signaalin, jonka jälkeen jokainen laskee oman etäisyytensä D:hen. Tämä vaatii sitä, että A:n, B:n ja C:n sijainti tiedetään. Tämän jälkeen ne vertaavat omaa etäisyyttään muiden etäisyyksiin, tässä tapauksessa etäisyydet e, f ja g. Lopulta näiden vertailujen jälkeen pystytään ilmoittamaan D:n sijainti x ja y koordinaatteina. (Garmin 2018.)

GPS-satelliittipaikannusjärjestelmä on ulkotiiloihin suunniteltu paikannusjärjestelmä.

GPS:llä pystytään paikallistamaan jopa viiden metrin tarkkuuteen. Tämä tarkoittaa, että paikannettava kohde pystytään paikantamaan johonkin tiettyyn rakennukseen, mutta ei pystytä kertomaan, missä kohde sijaitsee rakennuksessa. Tämä johtuu GPS:n heikosta suorituskyvystä sisätiloissa, koska rakennusten rakenteet ja muut esteet vaikeuttavat GPS:n toimintaa sisätiloissa. (Sadowski & Spachos 2018, 30149.)

3.3 Paikannuksen toteutus sisätiloissa

Paikantaminen sisätiloissa on yleisesti hyödyllistä nykypäivänä, koska IoT (Internet of Things) eli suomennettuna esineiden internet laitteet ovat yleistyneet. Sisätiloissa joudutaan turvautumaan johonkin muuhun, kuin GPS:n käyttöön paikannuksessa, johtuen GPS:n heikosta suorituskyvystä sisätiloissa. Sisätilapaikannus eli lähipaikannus tarkoittaa tietyllä rajatulla alueella toimivaa paikannusta, joka perustuu lyhyen matkan signaalien välitykseen. Se voidaan toteuttaa Bluetoothin, langattoman lähiverkon, RFID:n eli Radio Frequency Identification ja Ultra-WideBandin (UWB) avulla. (Tekniikan Sanastokeskus ry 2002, 29; Sadowski & Spachos 2018, 30149-30150.)

3.3.1 Bluetooth-paikannus

Bluetooth-paikannus toteutetaan Bluetooth Low Energyn avulla. BLE:n esitteli Bluetooth Special Interest Group vuonna 2010. BLE suunniteltiin sovelluksille, jotka eivät vaadi suurta määrää datan siirtoa ja näin energiankulutus pysyisi pienenä ja laitteiden hinnat myös alhaisina. BLE:n energiankulutus on pienempi kuin Wi-Fi:n, johtuen BLE:n pienemmästä siirtonopeudesta. Paras paikka hyödyntää BLE:tä on lyhyen välimatkan

etäisyyksillä. Johtuen BLE:n suosiosta, uusia IoT-laitteita ja sovelluksia on kehitetty terveydenhuollon, urheilun ja turvallisuuden piiriin. Yksi kehitetyistä laitteista tunnetaan nimellä beacon eli suomennettuna majakka. (Sadowski & Spachos 2018, 30152.)

Bluetooth-paikannukseen tarvitaan BLE majakka ja vastaanotin ja pohjakuvapiirros alueesta. Bluetooth majakka on pieni laite, jonka ainoana tehtävänä on lähettää lyhyen kantaman signaaleja intervalleissa erilaisilla tehoilla. Intervallit ovat väliltä 0,1 ja 2 sekuntia ja teho vaihtelee -30 ja +4 dBm väliltä. Majakka koostuu pienestä piirilevystä, virtalähteestä, kuten patterista, ja suoja-kuoresta. Piirilevy sisältää sähköiset komponentit, kuten prosessorin, antennin ja flash-muistin. Majakka kuluttaa erittäin vähän virtaa, millä pyritään pitkään akun tai patterin keston. Jokaisella majakalla on uniikki ID eli tunnistus. Tämän uniikin ID:n avulla pystytään identifioimaan, missä paikannettava kohde on suhteessa majakkaan. (Developex 2017.)

Bluetooth-paikannus toteutetaan kolmiomittamalla vastaanottajan etäisyys suhteessa majakkaan. Tämä tapahtuu received signal strength indicatorin (RSSI) avulla. Mitä useampi majakka on, sitä tarkempi sijainti pystytään laskemaan vastaanottajalle. Paikannusta varten tarvitaan pohjakuva alueesta. Pohjakuva voidaan luoda joko kävelemällä alueen läpi älypuhelimien kanssa, johon on asennettu kartanluontisovellus, tai viemällä pohjakuva hallintapaneeliin. Tämän jälkeen Bluetooth majakat täytyy määrittellä. Majakoihin täytyy vähintään määrittää lähetettävän kehyksen tyyppi, lähetysintervalli ja tehon taso. Lähetystehon suuruus vaikuttaa suoraan akun tai patterin keston. Majakan lähetysteho voidaan säätää 2 metristä jopa 70 metriin. Lyhyemmällä lähetyksellä pidennetään patterin kesto. Majakan paristo saattaa kestää vain kuusi kuukautta, jos majakka lähettää suurella teholla. BLE systeemin patteri voi kestää jopa kaksi kokonaista vuotta, jos se lähettää vain minimi teholla kahteen metriin. (Developex 2017.)

Lähetystehon lisäksi on tärkeää määrittää majakan lähetysintervalli. Lähetysintervallilla tarkoitetaan lähetyksen toistuvuutta. Yleensä majakan mainostusintervalli on noin 600 tai 700 millisekuntia. Lähetysintervallin määrittäminen on myös tärkeää patterin keston kannalta. Lyhyempi lähetysintervalli kuluttaa enemmän virtaa kuin pidempi lähetysintervalli, eli jos majakan lähetysintervalli on 200:a millisekuntia, niin se lähettää joka 200:s millisekunti, joka kuluttaa enemmän virtaa, kuin että se lähettäisi vain joka 600:s millisekunti. Lyhyempi intervalli päivittää nopeammin vierailijan sijainnin muutokset karttaan, kuin pitemmän intervallin majakka. (Developex 2017.)

Pohjakuvien luonnin ja majakoiden määrittelemisten jälkeen voidaan majakka asentaa rakennuksessa haluttuun paikkaan. Asennuksen jälkeen on tärkeää merkitä majakka pohjakuvaan tarkasti. Majakan sijainnin merkitseminen pohjakuvaan tarkasti edesauttaa

saavuttamaan tarkempia sijaintitietoja vierailijoista. Asennettavien majakoiden määrä riippuu täysin kohteesta ja majakoiden määrittämisestä. Jos majakat lähettävät pitkissä intervaleissa erittäin lähelle, akunkeston optimoimiseksi, niin silloin tarvitaan enemmän majakoita koko alueen kattamiseen. Eli määriteltäessä majakoita täytyy huomioida ympäristö, jossa majakat tulevat toimimaan, majakoiden määrä sekä haluttu tarkkuus paikannukselle. (Developex 2017.)

3.3.2 Lähiverkkopaikannus

Tekniikan sanastokeskus määrittelee lähiverkkopaikannuksen lähipaikannukseksi, joka toteutetaan langattoman lähiverkon avulla. Joskus lähiverkkopaikannuksesta käytetään nimitystä WLAN-paikannus. Lähiverkkopaikannuksessa tarvitaan laite, joka lähettää ja vastaanottaa signaalin. Lähiverkkopaikannus käyttää IEEE 802.11-standardin langatonta tekniikkaa, Wi-Fiä. Yleensä siihen käytetään jo olemassa olevan langattoman verkon infrastruktuurin tukiasemia. Lähiverkkopaikannus on suosittu, koska sen käyttöönottamiseen ei yleensä tarvita lisälaitteita. Koska lisälaitteiden hankintoja ei tarvitse tehdä, pysyvät käyttöönottokustannukset matalampina. Tukiasemien lisäksi tarvitaan ohjelma, joka kerää ja analysoi signaaleja. Keräyksen ja analysoinnin jälkeen se tuottaa hyödyllistä dataa luettavassa muodossa, kuten paikkatiedon kohteesta kartalle. (Xiao, Zhou, Yi & Ni 2016, 4; Sadowski & Spachos 2018, 30150-30151.)

Lähiverkkopaikannuksessa sijainti pystytään laskemaan monella eri menetelmällä. Yksi menetelmä on käyttää niin sanottua fingerprint metodia. Fingerprint eli suomennettuna sormenjälki metodi koostuu kahdesta vaiheesta: yhteydettömästä koulutusvaiheesta ja yhdistetty sijoitusvaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa kartalle käydään manuaalisesti luomassa RSS sormenjälkiä. Ensimmäinen vaihe vaatii paljon aikaa ja manuaalista työtä, koska jokainen RSS sormenjälki vertailupiste täytyy käydä erikseen luomassa manuaalisesti. Toisessa vaiheessa näitä valmiiksi luotuja vertailupisteitä verrataan oikeaan sijaintiin, jonka jälkeen saadaan arvioitu paikkasijainti paikannettavasta kohteesta. Fingerprint metodia ei pidetä kovin käytännöllisenä, koska se vaatii paljon manuaalista työtä ja vie paljon aikaa. (Xiao et al 2016, 8-9.)

Toisissa tavoissa kohteesta ei rakenneta valmista karttaa, jossa on vertailupisteitä. Näissä menetelmissä hyödynnetään

- Angle of Arrivalia (AoA) saapuvan signaalin kulmaa eli saapumiskulmaa
- Time of Arrivalia (ToA) saapuvan signaalin aikaa
- Received Signal Strengthia (RSS) saapuvan signaalin voimakkuutta

- Channel State Informationia (CSI) saapuvan signaalin kanavatietoa.

AoA-menetelmässä tukiasemien antennit laskevat saapuneen signaalin saapumiskulman ja vertailevat saamiaan AoA:n tuloksiaan keskenään. Tuloksien vertailujen jälkeen pystytään antamaan arvio kohteen sijainnista. Kehittyneen MIMO-tekniikan ansiosta yhdessä tukiasemassa pystyy olemaan monta antennia. Tämä mahdollistaa paljon tarkemman AoA-pohjaisen paikannuksen sisätiloissa. AoA-menetelmä toimii parhaiten, kun tukiasemalla on näköetäisyys kohteeseen. Tästä käytetään nimitystä line of sight (LoS) ja tämän vastakohta non line of sight (NLOS) eli kohteeseen ei ole näköetäisyyttä. (Xiao et al. 2016, 8-10; Sadowski & Spachos 2018, 30150.)

ToA käyttää kuljetettaviin paketteihin upotettuja aikaleimoja sekä saapumisaikaa määrittelykseen kuinka kauas paketin on täytynyt kulkea saavuttaakseen kohteensa. Sadowski & Spachos:n mukaan ToA on yksi tarkimmista saatavilla olevista tekniikoista. Time of Arrival-tekniikan käyttö ei kuitenkaan ole itsestään selvyyttä vaan se vaatii tarkasti synkronoituja kelloja laitteissa. Tekniikan tarkkuus laskee myös, kun lähettäjällä ja vastaanottajalla ei ole näköyhteyttä toisiinsa, eli NLOS tilanteessa. (Xiao et al. 2016, 8-9; Sadowski & Spachos 2018, 30150.)

Xiao et al. sekä Sadowski ja Spachos mukaan RSS on yksi suosituimmista tekniikoista paikannuksessa. RSS:n suosiota edesauttaa sen mitattavuus melkein jokaisesta laitteesta, joka käyttää langatonta tiedonsiirtoa. RSS toimii mittaamalla pakettien signaalin voimakkuuden vastaanottajassa. Signaali heikkenee johdonmukaisesti ilmassa, jonka takia tekniikkaa käytetään etäisyyksien laskemiseen. RSS antaa arvion, kuinka kaukana lähettäjä on vastaanottajasta. RSS toimii parhaiten LoS tilanteissa, koska ylimääräiset esteet signaalin kulussa heikentävät signaalia ja näin ollen antavat virheellistä tietoa etäisyydestä. NLOS tilanteissa pystytään käyttämään aikaisemmin mainittua RSS fingerprint-metodia, jolla pyritään karsimaan sisätiloissa olevien esteiden aiheuttamat virheet tuloksissa.

RSS:n tilalle on ehdotettu uutta tapaa toteuttaa sisätilapaikannus nimeltä CSI. CSI:n eroavaisuudet näkyvät alla olevasta taulukosta (taulukko 5). Siitä ilmenee kuinka erilainen CSI on RSS:hin verrattuna. CSI:tä käytetään nykypäivänä esimerkiksi IEEE 802.11a/g/n, LTE (Long Term Evolution) ja Wimaxissa (Worldwide Interoperability for Microwave Access). CSI edustaa kanavaolosuhteita yksittäisten OFDM-alikantoaaltojen avulla. Useita CSI arvoja voidaan saada samanaikaisesti useiden alikantoaaltojen avulla, toisin kuin RSS:n arvoja, joita on vain yksi jokaista pakettia kohden. CSI:tä pystytään hyödyntämään kolmiomittauksessa sekä fingerprint-metodissa. CSI-pohjainen fingerprint-metodi tutkii CSI:n taajuuden monimuotoisuutta yksilöidäkseen yksilöllisesti sijainnin, joka perustuu siihen, että CSI:t useiden alikantoaaltojen kautta omaavat eri amplitudit ja vaiheet useilla eri

etenemispoluilla. CSI fingerprint-metodissa täytyy rakentaa vertailupistekartta alueesta. (Xiao et al. 2016, 10.)

Taulukko 5. CSI:n ja RSS:n vertailu (Xia et al. 2016, 10)

	Mittauskaista	Kerros	Rakeisuus	Ajallinen vakaus	Taajuuden moninaisuus
CSI	Peruskaista	PHY	Hienojakoinen (per symboli)	Korkea	Kyllä
RSS	RF-kaista	MAC	Karkea (per paketti)	Matala	Ei

Sisätilapaikannusta toteuttaessa lähiverkkopaikannuksella täytyy siis muistaa tukiasemien sijoittelu alueelle siten, että katvealueita olisi mahdollisimman vähän sekä, että tukiasemalla olisi mahdollisimman vähän esteitä tiellä. Tämä edesauttaa signaalin kulkemisessa ja näin ollen antaa tarkempia paikannustietoja. Tämän jälkeen tukiasemat tulee merkitä karttaan tarkasti. Järjestelmän kellojen tulee olla synkronoitu, näin vältetään kellosta johtuvat virheet paikannuksessa. Jos tarpeellista, alueesta täytyy rakentaa vertailupistekartta paikantamista varten. Lähiverkkopaikannus verrattuna Bluetooth-paikannukseen tarjoaa korkeamman bittinopeuden. BLE järjestelmän virrankulutus on kuitenkin pienempi kuin lähiverkkopaikannuksen. Lähiverkkopaikannus tarjoaa kuitenkin muitakin ominaisuuksia kuin pelkästään paikannuksen, toisin kuin BLE, jonka päätehtävänä on toteuttaa vain paikannusta. (Sadowski & Spachos 2018, 30152.)

3.4 Sisätilapaikannuksen hyödyt

Sisätilapaikannus pystytetään, jotta siitä saadaan jonkinlaista hyötyä. Sisätilapaikannuksen hyöty voidaan saada erilaisista kohteista sisätilapaikannuksessa riippuen omista kiinnostuksien kohteista sisätilapaikannusdatan suhteen. Hyötyjä voi olla itse sisätilapaikannus, sen tuottama data alueesta tai sen tuottama data alueella olevista ihmisistä tai laitteista.

3.4.1 Tilojen seuranta

Sisätilapaikannuksella pystytään seuraamaan ihmisten liikkeitä rakennuksen läpi. Tällä tavoin saadaan selville ihmisten käyttämä polku rakennuksessa. Tämä auttaa suunnittelemaan opasteita rakennuksen sisälle, jotta ihmiset löytävät helpommin perille varsinkin isommissa ja monimutkaisemmissa rakennuksissa. Tämä opastus ominaisuus voidaan myös rakentaa mobiilisovellukseen, jolloin henkilö voi sovelluksen avulla valita tilan, johon

haluaa mennä ja sovellus esittää helpoimman reitin kohteeseen. Kyseistä sisätilapaikannusta voi myös hyödyntää hätätilanteissa. Isommissa ja vaikeammassa rakennuksissa voi hyödyntää sisätilapaikannuksen luomaa polkua hätäpoistumistien löytämiseksi. Rueppel ja Stuebbe tutkivat sisätilapaikannuksen hyödyntämistä hätätilanteessa pelastajien näkökulmasta. Tutkimuksessa palomiehet saivat pelastettavasta kohteesta sovellukseen pohjakuvan rakennuksesta. Pohjakuvaan laskettaisiin nopein reitti sammutettavaan kohteeseen. Kyseinen sovellus olisi erittäin hyödyllinen, varsinkin jos kohteena olisi jokin isompi ja sokkeloisempi rakennus. Sovellus yhdistettynä automaattiseen palovaroitusjärjestelmään ilmoittaisi suoraan sovelluksessa, missä palaa ja miten sinne pääsee nopeimmin.

Sisätilapaikannuksella pystytään seuraamaan tiloissa olevien ihmisten määrää. Tällä tavoin sisätilapaikannuksella pystytään seuraamaan rakennuksessa olevien tilojen käyttöasteita. Näin saadaan selville, mitkä tilat ovat kovassa käytössä ja mitkä tilat taas vähemmällä käytöllä. Vähemmällä käytöllä oleville tiloille voidaan keksiä uusia käyttökohteita tai parantaa niiden näkyvyyttä ja käyttöastetta. Esimerkiksi, jos tila olisi enemmän syrjäisemmässä paikassa, kuin suosittu tila, pystyttäisiin matkalle asettamaan enemmän opasteita ja näin ollen parantaa tilan näkyvyyttä. Tämän avulla saataisiin rakennuksen tilojen käyttöä optimoitua, etteivät tilat menisi hukkaan, kun toiseen tilaan jonotettaisiin samalla, kun toinen tila seisoisi puolityhjillään.

Sisätilapaikannusta voisi myös hyödyntää tilojen vartioinnissa. Alue rajattaisiin ja laitettaisiin hälyttämään, jos joku menee alueelle. Tällä tavoin voitaisiin varmistaa jonkin tilan turvallisuus lähettämällä hälytys rakennuksen vartijalle, joka pystyisi tarkistamaan asian heti. Tämä voisi olla hyödyllistä isommissa rakennuksissa, joissa liikkuu paljon ihmisiä ja ihmisillä on pääsy erilaisiin tiloihin.

3.4.2 Laitteiden seuranta

Suuremmissa rakennuksissa, joissa on rajallinen määrä erilaisia laitteita, voi olla hyödyllistä paikantaa käytettävää laitteistoa. Esimerkiksi suurissa sairaaloissa, joissa on kalliita laitteita ja laitteita siirrellään osastolta toiselle, kyseisten laitteiden paikannus voi olla tärkeää. Sovellus pystyy osoittamaan, missä kyseinen laite sijaitsee. Tällä tavoin voidaan myös välttyä kalliilta laitehankinnoilta, koska sovellus pystyisi osoittamaan todellisen käyttöasteen laitteille.

Samalla tavoin laite voidaan sitoa johonkin tiettyyn tilaan, ja jos laite poistuu tilasta, se antaa hälytyksen. Tämä voi olla hyvä keino suojella kalliita laitteita, ja näin voidaan ennalta ehkäistä mahdolliset laitevarkaudet. Sama pätee laitteisiin, jotka ovat sidottuja johonkin

tiettyyn alueeseen. Esimerkiksi ilmanraikastajat, jotka ovat optimoituja juuri tietyn tilan raikastamiseen ja sen vieminen toiseen tilaan ei hyödyttäisi yhtään. Sitomalla ilmanrakastaja johonkin tilaan välttyttäisiin laitteen väärinkäytöltä ja varmistettaisiin laitteen optimaalinen käyttö.

3.4.3 Henkilöiden seuranta

Sisätilapaikannuksen hyödyntämistä henkilöiden paikantamisessa on myös mahdollista. Henkilöiden paikannusta voisi yleisesti toteuttaa erilaisissa tilanteissa turvallisuussyistä. Dementoituneiden henkilöiden paikannus voisi ehkäistä monia katoamistapauksia. Dementoitunutta henkilöä ei tarvitsisi jatkuvasti paikantaa vaan siinä voitaisiin soveltaa hälytystä, jos kohdehenkilö poistuu joltain alueelta, ilman että asiasta on ilmoitettu.

Vankiloissa vankien paikannus voisi olla yksi turvallisuustoimenpide. Suuremmissa vankiloissa, joihin on sijoitettu paljon erilaisia vankeja, tiettyjen vankien paikannus voisi olla turvallisuussyistä hyödyllistä. Näin voitaisiin ennaltaehkäistä erilaisia konflikteja vankilassa. Tällä tavoin voitaisiin myös kartoittaa, missä henkilöt yleisesti liikkuvat alueella, ja vartioida, ettei kukaan mahdollisesti pääse jonnekin, minne heidän ei kuuluisi päästä.

Kaupoissa ja ostoskeskuksissa henkilöitä seuraamalla saadaan heidän yleisemmin käyttämä polkunsu rakennuksen läpi selville. Tämän tiedon avulla markkinointia voidaan kohdentaa tarkemmin ja mahdollisilla sovelluksilla henkilöille voitaisiin lähettää tietoja ja tarjouksia henkilöä lähellä olevista kaupoista ja tuotteista.

3.5 Sisätilapaikannuksen haitat

Ihmisten paikantamiseen liittyy myös haittapuolia, kuten onko eettisesti oikein seurata henkilöitä, vaikka seuranta toteutettaisiin heidän tai muiden turvallisuuden takia. Kerättävä tieto on suoraan yhdistettävissä kohdehenkilön laitteeseen ja täten kohdehenkilöön, joten ketkä pääsevät näihin tietoihin käsiksi ja kuinka ulkopuolisilta on estetty pääsy kyseiseen dataan. Miten henkilö voi vaikuttaa hänestä kerättävään dataan ja kuinka henkilö voi pyytää kyseisen datan poistoa?

Henkilöistä kerätään tietoja ja näiden tietojen perusteella heistä voidaan luoda erilaisia profiileja, esimerkiksi ostosten perusteella tai kaupassa käyttämän ajan ja reitin perusteella. Näitä tietoja ja mahdollisia profiileja voidaan myöhemmin käyttää mahdollisesti vaikka markkinointiin, jonka kohdehenkilö voi mahdollisesti kokea häiritseväksi. Asiakkaille voi myös herätä kysymys, mihin heistä kerättyä dataa käytetään ja luovutetaanko kyseistä dataa eteenpäin.

Johtuen uudesta EU:n hyväksymästä GDPR tietosuoja-asetuksesta asiakkailla on suurempi mahdollisuus vaikuttaa, kerätäänkö heistä dataa. Luvan kerääminen asiakkaalta voidaan toteuttaa henkilön liittyessä verkkoon, jolloin käyttöehtoihin voidaan asettaa kohta, jossa henkilö hyväksyy sijaintitietojen keräämisen, kun hän liittyy verkkoon. Jotkin palvelut eivät välttämättä ole käytössä henkilölle, jos hän kieltäytyy sijaintitietojen keruusta.

4 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄ

4.1 Cisco Connected Mobile Experiences

Cisco CMX eli Connected Mobile Experiences on Cison sovellus, joka käyttää sijaintia ja muita tietoja, joita Cison langaton infrastruktuuri tarjoaa. Näillä tiedoilla CMX luo analyseja ja pystyy tarjoamaan olennaisia palveluita asiakkaille heidän mobiililaitteisiinsa. Tällä hetkellä uusin Cison CMX versio on 10.5, joka julkaistiin 9.7.2018. (Cisco 2018b.)

Cison (2018b) mukaan CMX käyttää kolmea eri komponenttia palveluiden tuottamiseen. Nämä komponentit ovat sijainti, CMX yhdistäminen ja CMX analytiikat. Sijainti käyttää olemassa olevaa langatonta infrastruktuuria laskeakseen verkossa olevien mobiili ja IoT-laitteiden sijainnin. Sijainti pystytään antamaan suuntaa antavalla ”paikalla” tai erittäin tarkalla sijaintitietona kartalla, jota Cisco kutsuu Hyperlocationiksi. Alla olevassa taulukossa (taulukko 6) on esitetty Cisco CMX sijainnin hyödyt tarkemmin. (Cisco 2018b.)

Taulukko 6. CMX-sijainnin hyödyt (Cisco 2018b)

Ominaisuus	Hyödyt
Läsnäolo	Etsii langattoman (Wi-Fi) laitteen mittaamalla lähimmän tukiaseman laitteelle. Ei anna yhtä tarkkaa sijaintitietoa, kuin kolmiomittaus, mutta se voidaan toteuttaa vähemmällä määrällä tukiasemia Suositellaan ulkokäyttöön Tarkkuus: Tagit: ei mahdollista Käyttäjä: 10 – 30 metriä (perustuu RSSI:hin)
RSSI Kolmiomittaus	Etsii yhdistetyt, yhdistämättömät langattoman verkon laitteet ja aktiiviset RFID tagit Cisco CleanAir teknologian avulla myös muut kuin Wi-Fi ja BLE majakat voidaan tulkita ja identifioida Tarkkuus: Tagit: 5 – 7 metriä 90% varmuudella Käyttäjä: 10 metriä 90% varmuudella.
Hyperlocation	Yhdistettyjen Wi-Fi-laitteiden tarkka paikannus Tarkkuus riippuvainen käyttöönotosta Käyttää AoA teknologiaa FastLocate ominaisuuden kanssa FastLocaten avulla Hyperlocation paikallistaa yhdistyneet Wi-Fi-laitteet RSSI kolmiomittauksella Tarkkuus: Tagit: ei sovellu Käyttäjä: 3 metriä 50% varmuudella
Joustavuus ja ohjelmoitavuus	Sovellusliittymät ja ilmoitukset, jotka mahdollistavat sijaintitietojen ulkoisen kulutuksen

CMX yhdistämisen avulla voidaan luoda kohdennettuja sivuja vierailijoille. Sen avulla pystytään luomaan muokattavia kirjautumisportaaleja. Näiden avulla pystytään vierailijasta keräämään erilaisia tietoja. Näiden tietojen perusteella organisaation on mahdollista lähestyä vierailijaa kirjautumisportaalin tai ulkoisen median avulla, kuten mobiilisovellusten tai erillisen markkinoinnin kautta. Tarkemmat CMX yhdistämisestä saatavat hyödyt ovat esitettyinä alla olevassa taulukossa (taulukko 7). (Cisco 2018b.)

Taulukko 7. CMX Yhdistämisen hyödyt (Cisco 2018b)

Ominaisuus	Hyödyt
Muokattava ja modulaarinen käyttöliittymä	Valmiiksi rakennetut pohjat mahdollistavat nopean käyttöönoton Helppo muokata käyttöliittymään ilman ohjelmointitaitoja Saatavilla monilla eri kielillä
Opt in ja opt out	Helppo tapa lisätä käyttöehdot, jotka liittyvät käyttäjän tietoihin ja niiden luovuttamiseen markkinointiin tai johonkin muuhun käyttöön Sijainti opt out: mahdollistaa käyttäjän kieltää CMX:ää sijaintinsa seuraamisen
Useita liittymismahdollisuuksia	Yksinkertaisia rekisteröitymisvaihtoehtoja, joilla voidaan tallentaa käyttäjän nimi, sähköposti, puhelinnumero Tekstiviesti vaihtoehto mahdollistaa käyttäjän puhelinnumeron tallennuksen Sosiaalisten medioiden kirjautumisvaihtoehto mahdollistaa sosiaalisen median tiedon keräämisen käyttäjistä Käyttäjien tietojen käyttäminen mahdollistaa paremman markkinoinnin tulevaisuudessa
Sijaintiin perustuvat säännöt	Mahdollistaa esimerkiksi käyttäjän kaistanleveyden rajoittamisen perustuen käyttäjän kulloiseenkin sijaintiin.
Sitoutuminen	Ajankohtaista tietoa vierasportaalilla Sallii automaattisesti uudelleen vierailevien käyttäjien pääsyn sivustolle
Omaisuuksienhallintajärjestelmä (PMS) integraatio	Samanlainen langattoman verkon liittymiskokemus eri toimipisteissä Poistaa yhdyskäytävät eri toimipisteistä ja säästä laitteistossa ja käyttökustannuksissa
Vierailija analytiikka	Käyttäjien analyysi kertoo, onko vierailija uusi vai palaava käyttäjä Vierailijoiden verkkokäyttäytymisen analysointi Käyttäjien tietokanta on mahdollista tuoda ulos CSV-formaatissa

Taulukko 8. CMX läsnäoloanalyysin hyödyt (Cisco 2018b)

Ominaisuus	Hyödyt
Hallintapaneeli	Antaa nopeasti kuvan tämänhetkisestä ja historiallisesta kävijämäärästä, keskimääräisen viipymisajan, kiireisimmän tunnin ja päivän sekä suurimman laitevalmistajan vierailijoiden joukossa
Läsnäolopohjainen	Käyttöönotto on helppoa Ei tarvitse pohjakuvaa Suositellaan ulkotukiasemille
Vierailijamäärä	Kertoo vierailijoiden ja ohikulkijoiden lukumäärän toimipisteessä Helpottaa hahmottamaan toimipisteiden suosion tiettyinä kellonaikana tai päivänä
Viipymisaika	Tieto, kuinka kauan vierailija viipyy toimipisteessä Kykenee vertailemaan toimipisteitä keskenään viipymisajan suhteen
Uusiutuva vierailija	Pystyy näkemään vierailujen yleisyyden eri aikaväleillä ja milloin sama vierailija tulee uudelleen toimipisteeseen Pystyy määrittelemään, milloin on kiireistä päivällä ja näin suunnittelemaan toimet sen mukaan
Joustavuus ja ohjelmoitavuus	Kyky sivuuttaa MAC-osoite, SSID:t, laite tietynlaisella viipymisajalla tai käytöksellä Sovellusliittymät ja ilmoitukset, jotka mahdollistavat ulkoiset hälytykset tai data voidaan viedä ulkoista analyysia varten

CMX:ssä on kahta erilaista analytiikkaa: läsnäoloanalyysi ja sijaintianalyysi. Läsnäoloanalyysi käyttää Wi-Fi-laitteiden läheisyys tietoa luodakseen reaaliaikaisen ja historiallisen kuvan vierailijoista ja ohikulkijoista. Läheisyys määritellään lähimpien tukiasemien havaitsemien Wi-Fi-laitteiden signaalivoimakkuuden ja keston mukaan. Läsnäoloanalyysi tallentaa tietoja käyttäjien määrästä, viipymisajasta ja uusivien vierailijoiden hajonnasta. Edellä oleva (taulukko 8) selventää läsnäoloanalytiikasta saatavat hyödyt. (Cisco 2018b.)

Cisco sijaintianalytiikka käyttää CMX sijainti moottorin laskemia XY-koordinaatteja tuottaakseen tarkempia reaaliaikaisia ja historiallisia sijaintitietoja. Alla oleva taulukko (taulukko 9) tarkentaa CMX sijaintianalytiikan tuomia erilaisia hyötyjä. (Cisco 2018b.)

Taulukko 9. CMX sijaintianalytiikan hyödyt (Cisco 2018b)

Ominaisuus	Hyödyt
Modulaarinen hallintapaneeli	Pienoisohjelma-pohjainen hallintapaneeli mahdollistaa erilaisten pienoisohjelmien lisäämisen hallintapaneeliin
Paikkaperusteiset tilastot	Luo parempia analyyseja suuremmalla tarkkuudella Mahdollistaa asiakkaiden lisäämään merkintöjä sijaintiin ja näin luomaan analyyseja merkinnöistä
Vierailijamäärä	Pystyy määrittelemään tarkasti tietyn paikan vierailijamäärän Vertailee aikaisempiin vierailijamääriin
Viipymisaika	Ymmärrys, kuinka kauan vierailija viipyy alueella/paikassa Vertailu muiden toimipisteiden kesken
Korrelaatio	Pystyy näkemään, kuinka monen vierailijan laite ollaan myös nähty muissa toimipisteissä/alueilla
Polun analysointi	Vierailijan reitti alueen läpi Pystyy optimoimaan aluettaan vierailijoiden suosimiin reitteihin
Kasvu	Yksinkertaisten asetusten avulla voi luoda raportteja, jotka ovat olennaisia yritykselle
Lämpökartta	Luo reaaliaikaisen visuaalisen kuvauksen aktiivisuudesta pohjakuvalla Näyttää tilojen hyödyntämisen
Joustavuus ja ohjelmoitavuus	Raportit voidaan aikatauluttaa lähtemään sähköpostina Sovellusliittymät ja ilmoitukset, jotka mahdollistavat ulkoiset hälytykset tai data voidaan viedä ulkoista analyysia varten

4.2 CMX Palvelut

CMX toimittaa sen tarjoamat ominaisuudet CMX palveluiden avulla. CMX:ssä on viisi erilaista palvelua. Käytettävissä olevat palvelut määräytyvät lisenssin mukaan. Palveluita voi myös poistaa käytöstä ja ottaa käyttöön komentorivin avulla (Cisco 2018d, 8).

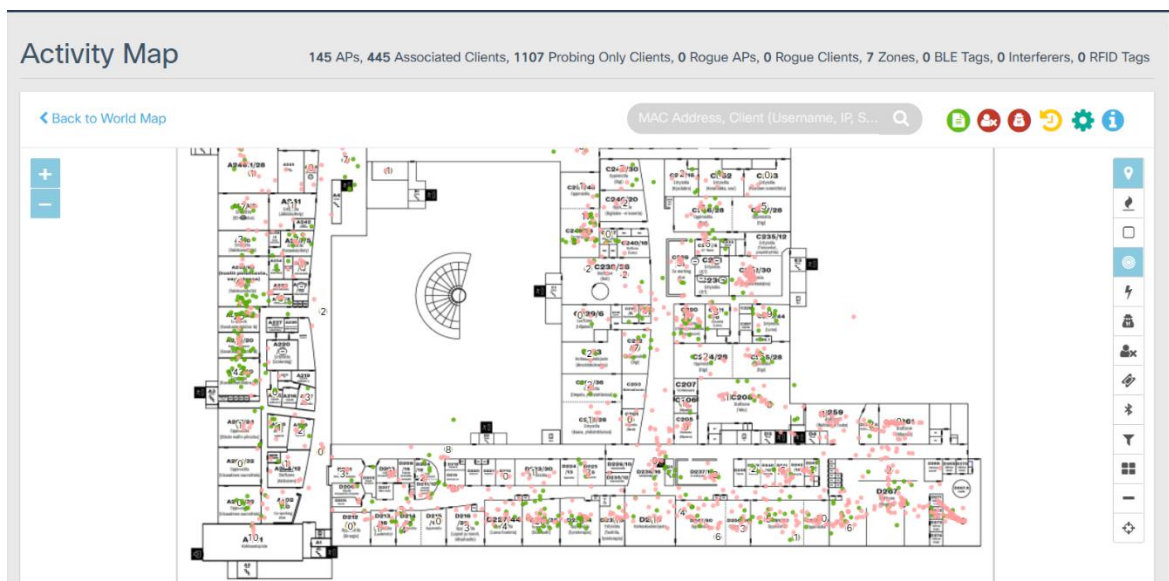
4.2.1 Detect & locate

CMX:n Detect & Locate palvelu mahdollistaa katsoa ja paikantaa laitteita ympäristössä. Palvelulla pystytään tarkkailemaan kaikkia tukiasemia kaikissa rakennuksissa tai halutessa jonkun tietyn rakennuksen tietyn kerroksen tukiasemia. Palvelulla pystyy myös paikantamaan Wi-Fi tageja, Wi-Fi häiritsijöitä ja BLE tageja. Detect & Locate palvelu käyttää Cisco WLC:iden (wireless controller) tuottamaa dataa laskeakseen x,y sijainnin kohteelle. 0,0 piste sijaitsee kartan oikeassa yläkulmassa. Kohteelle laskettu sijainti annetaan yleensä 7 metrin tarkkuudella +/- 5 90% varmuudella, kun käytetään normaalia paikannustekniikkaa. Hyperlocationilla 3 metriä +/- 1 metri, 50% varmuudella. Paikannuksen tarkkuus on riippuvainen tukiasemien asennuksesta ja ympäristön laadusta. Tukiasemat tulee asentaa Ciscon parhaiden käytäntöjen mukaisesti. (Cisco 2018d, 2, 19.)

Ciscon (2018d) mukaan CMX GUI (graphical user interface) eli suomennettuna graafinen käyttöliittymä pystyy näyttämään seuraavien esineiden fyysiset sijainnit kartalla:

- liittyneet langattomat laitteet
- liittymättömät langattomat laitteet
- RF-häiritsijät
- tukiasemat
- kontrolloimattomat tukiasemat
- kontrolloimattomat asiakkaat
- BLE-tagit
- aktiiviset Wi-Fi RFID-tagit.

Laitteita pystyy katsomaan ja paikantamaan aktiivisuuskartasta (kuvio 5). Kartassa vihreällä merkitään liittyneet laitteet ja punaisella liittymättömät. Klikkaamalla liittynyttä laitetta tulee esiin tukiasema, johon laite on kiinnittynyt, sinisellä viivalla ja punaisella viivalla tukiasemat, jotka ovat osallistuneet sijainnin laskemiseen. Jos klikkaa liittymättömää laitetta, tulee esiin tukiasemat, joita käytetään laitteen havainnointiin, punaisilla viivoilla. Ainoastaan 2000 laitetta pystytään näyttämään samanaikaisesti. Määrän ylittyessä ainoastaan liittyneet laitteet näytetään. Jos liittyneiden laitteiden määrä ylittää 2000, niin silloin mitään laitteita ei näytetä. (Cisco 2018d, 20-21.)



Kuvio 5. Cisco CMX aktiivisuuskartta

Aktiivisuuskartan lisäksi lämpökartta antaa hyvän visuaalisen kuvan, mihin kohtaan rakennusta tai kerrosta asiakkaat keskittyvät. Alla oleva kuvio (kuvio 6) havainnollistaa, kuinka lämpökartta helpottaa visuaalisesti hahmottamaan aktiivisuuden kerroksessa. Alueet, joissa on paljon laitekeskittymiä, merkitään kirkkaalla punaisella värillä (Cisco 2018d, 21). Tällä tavoin voidaan helposti selvittää, mitkä alueet ovat kovassa käytössä ja mitkä alueet eivät.



Kuvio 6. Lämpökartta (Cisco 2018d, 21)

CMX:ssä laitteista pystytään helposti katsomaan tietoja alueella olevista laitteista. Alueen kartasta voi valita haluamansa laitteen, minkä jälkeen laitteesta tulee ilmi muun muassa MAC-osoite, IP-osoite ja sen hetkinen status. Laite voidaan myös etsiä. Etsimiseen voidaan käyttää laitteen MAC-osoitetta, IP-osoitetta, SSID, laitevalmistajaa tai käyttäjänimeä. Halutusta laitteesta pystytään myös katsomaan sen liikkumishistoria alueella. Tällä tavoin voidaan katsoa, missä kyseinen laite on liikkunut aikaisemmin esimerkiksi eri päivinä. (Cisco 2018d, 23-26.) Tällä tavoin voidaan hahmottaa halutessaan laitteiden viipymisaikaa ja niiden liikkeitä rakennuksen läpi.

4.2.2 Analytics

Ciscon (2018d) mukaan analytiikka palvelu tarjoaa erilaisia data-analysointityökaluja. Työkaluilla analysoidaan Wi-Fi laitteiden sijaintia. Analytiikka palvelu toimii datan visualisointimoottorina, joka helpottaa visuaalisesti hahmottamaan verkossa tapahtuvat toiminnot. Analytiikkapalvelu mahdollistaa kuuden erilaisen pienoishjelman rakentamisen:

- laitemäärä
- viipymisaika
- viipymisajan jakautuminen
- liittyneiden käyttäjien raportit
- polku
- korrelaatio.

Näiden erilaisten pienoishjelmien kautta käyttäjä pystyy tarkastelemaan käyttäjien käyttäytymistä verkossaan. Analytiikkapalvelun avulla käyttäjä pystyy:

- analysoimaan Wi-Fi laitteiden sijaintia
- arvioimaan uusien ja uusiutuvien vierailijoiden määrää ja heidän viipymisaikansa
- hahmottamaan vierailijoiden käyttäytymisen rakennuksen läpi
- analysoimaan markkinoinnin vaikutuksen
- arvioimaan kiireelliset ajat ja näin parantaa toimintaa näinä aikoina.

Analytiikan hallintapaneeli (kuvio 7) on suunniteltu hahmottamaan vierailijoiden käyttäytymistä halutulla alueella visuaalisesti. Hallintapaneelia voi halutessaan muokata

näyttämään itselleen tärkeitä asioita. Hallintapaneelin vasemmassa laidassa olevasta valikosta käyttäjä pystyy siirtymään erilaisiin raportteihin. Haluamansa raportin yksityiskohtaiset tiedot näkyvät tämän jälkeen hallintapaneelissa. (Cisco 2018d, 55-56.)

Käyttäjä voi luoda omia mukautettuja pienoishjelmia. Tällä tavoin käyttäjä saa pienoishjelmalla juuri sen tiedon, joka on hänelle olennaista. (Cisco 2018d, 67.) Esimerkiksi käyttäjä voi haluta tiedon jonkun tietyn alueen asiakkaiden viipymisajasta tai käyttäjien käyttämästä polusta jonkun alueen läpi. Omilla mukautetuilla pienoishjelmilla voidaan näin parantaa yrityksen tehokkuutta.



Kuvio 7. Analytiikkapalvelun hallintapaneeli (Cisco 2018d, 56)

Analytiikkapalvelussa käyttäjä voi halutessaan myös luoda omia raporttejaan alkuperäisten raporttien lisäksi. Omia raporttejaan luodessaan käyttäjä valitsee sijainnin, ajan, paikan ja haluamansa pienoishjelmat, jonka jälkeen käyttäjä valitsee, kuinka raportti esitetään hallintapaneelissa. Käyttäjän luomat raportit löytyvät vasemmalla olevasta ”raportit” valikosta (kuvio 7). Raportteja luodessa täytyy huomioida, että maksimimäärä pienoishjelmia, joita voi käyttää raporteissa, on yhdeksän. Jos käyttäjä yrittää käyttää useampaa kuin yhdeksää pienoishjelmaa, analytiikkapalvelu antaa virheilmoituksen. (Cisco 2018d, 59.)

Omiin raportteihin voi halutessaan myös lisätä logon, tekstiä, ylätunnisteen ja alatunnisteen, jotta se sopii oman yrityksen tyyliin. Näitä omia kustomoituja raporttejaan voi myös aikatauluttaa, että ne luodaan esimerkiksi joka viikko. Aikataulutetut raportit voi lähettää

haluamansa aikataulun mukaisesti automaattisesti sähköpostilla henkilölle, jolle tämän raportin tieto on olennaista. Aikataulutettu raportti voidaan lähettää joko HTML- tai PDF-muodossa. (Cisco 2018d, 62.)

4.2.3 Connect

Liittymispalvelu tarjoaa mahdollisuuden käyttäjälle luoda sijainti tietoisia ja kustomoituja liittymisportaaleja verkkoonsa asiakkaita varten. Palvelussa on kaksi eri vaihtoehtoa liittymiselle: Facebook ja kustomoitu portaali. Facebook portaalin avulla asiakkaat kirjautuvat verkkoon käyttämällä Facebook tunnustaan. Kustomoidussa portaalissa käyttäjä voi valita miten asiakas pystyy liittymään verkkoon. Vaihtoehtoina kustomoidussa portaalissa on myös mahdollisuus käyttää erilaisen sosiaalisen median käyttäjätunnusta liittymiseen, jos käyttäjä niin haluaa. Kustomoidun portaalin tukemat sosiaalisen median kirjautumisvaihtoehdot näkyvät alla olevasta taulukosta (taulukko 10). Siitä ilmenee, kuinka myös asiakasta saatu data säilytetään eri paikoissa riippuen liittymismenetelmästä. Vierailijan henkilöllisyys pystytään varmistamaan käyttämällä tekstiviestiautentikointia verkkoon liittymisen yhteydessä. (Cisco 2018d, 77, 99.)

Taulukko 10. Facebook ja kustomoidun portaalin eroavaisuudet (Cisco 2018d, 78-79)

	Facebook Wi-Fi	Kustomoitu portaali
Aloitussivu	Facebook isännöi	Cisco CMX isännöi
Sosiaalinen todennus	Facebook	Facebook, Instagram ja Foursquare (OAuth 2.0)
Facebook sovelluksen lupa ponnahtusikkuna	Ei	Kyllä
Lähetys aikajanalla	Sisäänkirjautuminen näkyy käyttäjän aikajanalla (riippuu yksityisyysasetuksista)	Ei
Väestörakenteen data	Tallentuu Facebookiin yhteenslasketulla tasolla (vaatii yli 30 sisäänkirjautumista aktivoituakseen)	Tallentuu Cisco CMX:ään (yksilöllisellä tasolla)
Väestörakenteen datan vienti	Ei	Kyllä
Asiakasprofiili	Markkinointiryhmät Facebookin mainostusbudjetilla tai sosiaalisen median ryhmillä tai molemmilla Palveluntarjoajat hallinnoivat useita pieniä kauppvoja	Markkinointi ryhmät ja IT-ryhmä, jotka mieluummin pitävät datan itsellään
Tuki Post Auth URL:lle	Ei	Kyllä

Facebook portaalin käytön etuna on sen käyttöönoton helppous. Sen sijaan, että kehittäisi oman portaalin, vierailijat ohjataan yrityksen Facebook sivulle. Kustomoidun portaalin käyttö vaatii enemmän työtä. Sen hyötynä on, että liittymisportaalista saa omannäköisensä ja siitä muodostuu vierailijoista saatavan datan lähde myöhempää markkinointia varten. (Cisco 2018d, 82.)

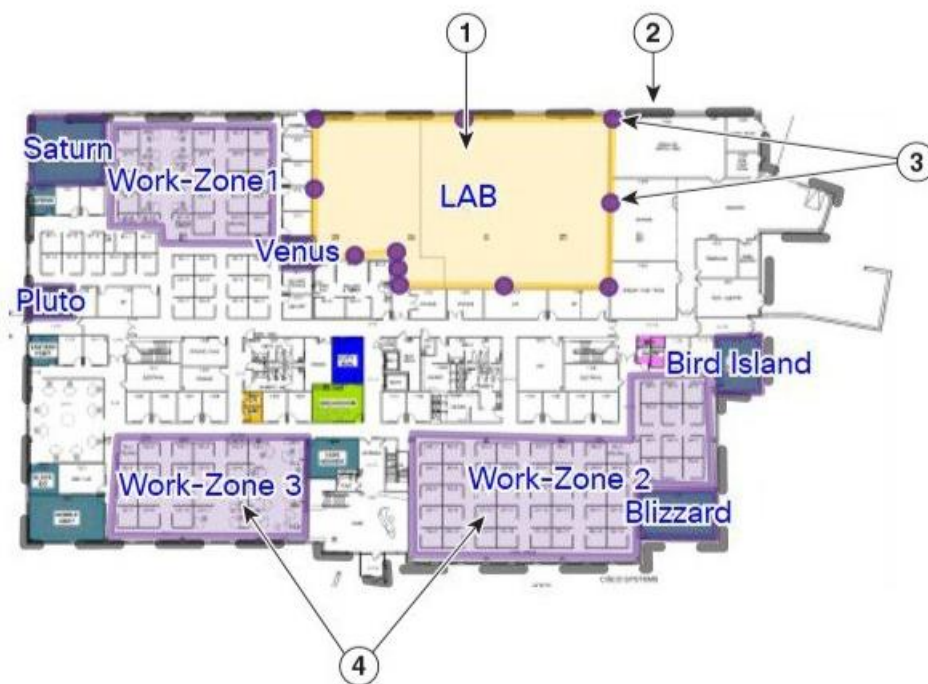
Liittymispalvelun hallintapaneelista käyttäjä pystyy tarkastelemaan yhteenvetoraportin ja kaksi historiallista raporttia. Navigointipalkista pystyy valitsemaan sijainnin ja raporttien intervallin. Sijainnille on tarjolla erilaisia tasoja. Tasoja on muun muassa: maailmanlaajuinen, rakennus, kerros ja alueet. Intervalleissa aikajakson oletuksena on viimeiset seitsemän päivää. Vaihtoehtoina on myös viime kuukausi ja viime vuosi. (Cisco 2018d, 80.)

Yhteenvetoraportti näyttää käyttäjien käyttötiedot nykyhetkellä. Historiallisista raporteista näkee muun muassa uudet ja uusiutuvat vierailijat, verkon käytön kokonaisuudessaan ja käytetyt kielet. Vierailijaa pystyy halutessaan etsimään. Haku voidaan toteuttaa antamalla esimerkiksi nimi tai sähköpostiosoite. Kehittyneempi haku voidaan toteuttaa hyödyntämällä sosiaalisessa mediassa, jota on käytetty kirjautumiseen, olevaa dataa. (Cisco 2018d, 80-81.)

4.2.4 Manage

Manage eli suomeksi hallinnointi -palvelu mahdollistaa Cisco CMX:n hallinnoinnin. Palvelun avulla käyttäjä pystyy hallinnoimaan CMX:n eri osa-alueita, muun muassa: sijainteja, lisenssejä, käyttäjiä, majakoita ja ilmoituksia. (Cisco 2018d, 3, 133.)

Sijaintien hallinnoinnissa käyttäjällä on useita eri käsitteitä sijaintien hallinnointiin: perimeter, zone ja region. Perimeter eli ulkoreuna muodostaa alueen, jossa kaikki asiakkaat ovat aina sen sisäpuolella. Yksittäiset zonet eli vyöhykkeet ovat ulkoreunojen sisäpuolella. Vyöhykkeillä mahdollistetaan alueiden jakaminen osiin (kuvio 8). Vyöhykkeet eivät voi mennä ristiin keskenään. Alueita (region) on olemassa kahdenlaisia, sisällyttäviä ja syrjäyttäviä. Sisällyttävät alueet merkitsevät alueen, jossa laitteet ovat sisällä tai katkeavat rajalla heikon kattavuuden takia. Jokaisella kerroksella voi olla vain yksi sisällyttävää merkitsevä alue. Syrjäyttävä alue merkitsee alueet, jotka ovat sisällyttävän alueen sisällä, mutta laitteet syrjäyttävällä alueella jätetään huomioimatta. Syrjäyttäviä alueita voi olla monia. Merkitsemällä sisällyttävät ja syrjäyttävät alueet käyttäjä pystyy tehostamaan Cisco CMX:n toiminnan haluamilleen alueilleen, eikä näin kuluta resursseja alueille, jotka eivät ole käyttäjälle tärkeitä. (Cisco 2018d, 134-138.)



Kuvio 8. Vyöhykkeet kerroksella (Cisco 2018d, 138)

Yllä olevan kuvion (kuvio 8) käytettyjen numeroitujen kohtien selitykset:

- 1: on vyöhyke, jolle on annettu nimi "Lab"
- 2: on harmaa palkki, joka ilmaisee ulkoreunaa
- 3: on violetti pallo, joka ilmaisee vyöhykkeiden kärkipisteitä
- 4: on kartassa olevat muut vyöhykkeet.

License Type	License Class	Total AP Licenses	Total APs Installed	Compliance
CMX Base	Evaluation	200	1070	45 days remaining
CMX Advanced	Evaluation	200	1070	45 days remaining

License Name	CMX Base (APs)	CMX Advanced (APs)	Install Date	Expiry Date
MSE2016112114360439503.ic	100	100	November 30, 2016	
Internal-Base-eval	100	0	July 29, 2016	
Internal-CMX-eval	0	100	July 29, 2016	

Kuvio 9. Cisco CMX:n lisenssivalikko (Cisco 2018d, 140)

Hallinnointipalvelun lisenssivalikossa (kuvio 9) käyttäjä pystyy hallinnoimaan CMX:n lisenssejä. CMX:ssä on kolme erilaista lisenssimallia: CMX Default, CMX Base ja CMX Advanced. Taulukko 11 selventää lisenssien eroavaisuuksia. Cisco CMX toimitetaan 120-päivän kokeilulisenssillä, jolloin kaikki palvelut ovat käytössä. Kaikki CMX:ään liitettävät tukiasemat tulee myös olla lisensoituja. (Cisco 2018d, 140-141)

Taulukko 11. CMX lisenssit (Cisco 2018d, 140)

Lisenssi	Ominaisuudet
Default	Pilvi sovellukset Lisenssipalvelut (Base ja Advanced asennusta varten) Manage ja System palvelut Northbound ilmoitukset
Base	RSSi paikannus Graafinen käyttöliittymä Detect, Manage ja System palveluihin
Advanced	Base lisenssin ominaisuudet AoA Connect, Presence, Analytics ja Location analytiikka palvelut Koko CMX:n käyttöliittymä

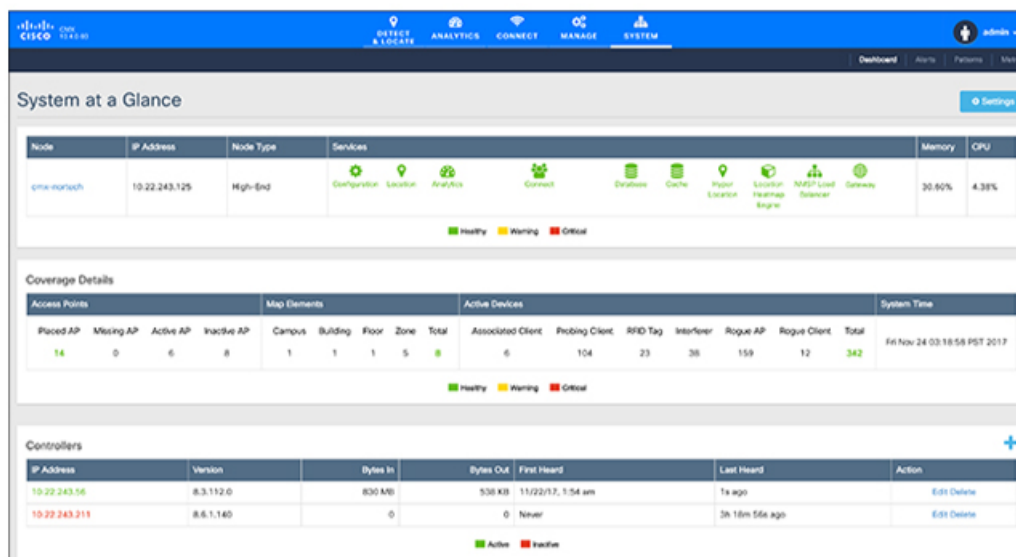
Käyttäjien hallinnointi mahdollistaa erilaisten roolien antamisen käyttäjille (taulukko 12). Tällä tavoin voidaan rajoittaa henkilöiden luku- ja kirjoitusoikeuksia eri palveluihin. Admin käyttäjä voi lisätä, muokata ja poistaa muita käyttäjiä. Yhdelle käyttäjälle voi antaa useita eri rooleja ja näin käyttäjä voi toimia kuten admin käyttäjä. Ainoastaan admin käyttäjä voi poistaa toisen admin käyttäjän. CMX:ssä on myös cmx, cmxadmin ja root käyttäjä. Näitä käyttäjiä käytetään asennuksessa ja hallinnollisissa tehtävissä. Root käyttäjällä ei voi kirjautua sisään SSH:lla tai konsolilla. Root tason tehtävien toteutuksessa täytyy kirjautua cmxadmin käyttäjällä ja käyttää su komentoa. (Cisco 2018d, 142-143, 161.)

Taulukko 12. CMX käyttäjien roolit (Cisco 2018d, 143)

Rooli	Oikeus
Admin	Luku/kirjoitus kaikkiin palveluihin
System	Luku/kirjoitus kyseiseen palveluun
Manage	Luku/kirjoitus kyseiseen palveluun
Location	Luku/kirjoitus kyseiseen palveluun
Analytics	Luku/kirjoitus kyseiseen palveluun
Connect	Luku/kirjoitus kyseiseen palveluun
Connect Experiences	Luku/kirjoitus Connect & Engage palveluihin Lukuoikeus Connect & Engage palveluihin Ei oikeutta Connect & Engage palvelun hallintapaneeliin
Read only	Lukuoikeus kaikkiin palveluihin

4.2.5 System

System eli järjestelmäpalvelu mahdollistaa Cisco CMX järjestelmän toimintakunnon tarkastelun ja suorittamaan erilaisia järjestelmään liittyviä toimia. Järjestelmä palvelun avulla käyttäjä pystyy tarkastelemaan hallintapaneelia (kuvio 10), josta näkyy kokonaiskuva järjestelmästä. Tämän lisäksi käyttäjä pystyy tarkastelemaan hälytyksiä sekä järjestelmän käyttämien resurssien määrää, kuten CPU:n käyttöastetta tai muistin käyttöä. (Cisco 2018d, 3, 163.)



Kuvio 10. Cisco CMX järjestelmän hallintapaneeli (Cisco 2018d, 164)

Järjestelmän hallintapaneelissa (kuvio 10) ylipäinä näytetään Cisco CMX järjestelmän solut. Solu taulukossa ilmenee lista kaikista CMX:n soluista, solun IP-osoitteet, solun tyyppi, solun palvelut ja niiden toimintakunto, muistin määrä prosentteina ja CPU:n käyttö. Seuraavana hallintapaneelissa (kuvio 10) on taulukko kattavuuden yksityiskohdista. Kattavuustaulukko näyttää tiedot tukiasemista. Tukiasemista näytetään seuraavat tiedot: tukiasemien määrä kartalla, asennettujen tukiasemien määrään, puuttuvien tukiasemien määrään, aktiivisten tukiasemien määrään, toimettomien tukiasemien määrään. Puuttuva tukiasema tarkoittaa tukiasemaa, joka on lähettänyt sijaintitietoja, mutta ei ole sijoitettu kartalle. Aktiiviset tukiasemat ovat tukiasemia, jotka ovat olleet aktiivisia viimeisen 24 tunnin aikana. Tämän jälkeen kattavuustaulukossa on tietoja kartan elementeistä. Kartan elementeistä kerrotaan: kampuksien määrä, rakennuksien määrä, kerroksien määrä, vyöhykkeiden määrä ja näiden kaikkien summa. Seuraavana ilmoitetaan aktiivisten laitteiden määrä. Aktiivisissa laitteissa näytetään: liittyneiden laitteiden määrä, liittymättömät laitteet, RFID-tagit, häiritsijät, kontrolloimattomat tukiasemat ja asiakkaat, BLE-tagit ja näiden kaikkien summa. Viimeisenä taulukosta näkyy järjestelmän aika ja mille aikavyöhykkeelle CMX:n on asetettu. (Cisco 2018d, 164-165.)

Viimeisenä hallintapaneelissa (kuvio 10) on tiedot kaikista Cisco WLC:istä (Wireless LAN Controller), jotka lähettävät NMSP (Network Mobility Services Protocol) dataa Cisco CMX:lle. Cisco WLC:istä näytetään seuraavat tiedot: IP-osoite, ohjelmiston versio, lähetettyjen ja vastaanotettujen tavujen määrä. Lisäksi siinä näytetään aika ensimmäisestä ja viimeisimmästä kommunikointi kerrasta. Viimeisimpänä on toimintovaihtoehto, joka mahdollistaa tietojen muokkauksen tai kontrollerin poistamisen. IP-osoite näkyy vihreänä aktiivisilla kontrollereilla ja punaisena toimettomilla kontrollereilla. (Cisco 2018d, 166.)

Pattern eli rakenne valikosta pystyy tarkastelemaan tietyn ominaisuuden muutosta haluamallaan aikavälillä. Valikossa pystyy tarkastelemaan: asiakkaiden määrää, sijainnin laskeamiseen kulutettua aikaa millisekunnissa, CPU:n käyttöä solua kohti, muistin käyttöä, cache palvelun saamat yhteydet ja yhteismäärä iOS laitteista. Metric valikosta näkyy järjestelmän käyttämien resurssien määrä. Valikosta pystyy tarkastelemaan järjestelmän, solun, tietokannan, cache, sijainnin ja analytiikka ilmoitusten statistiikkaa. (Cisco 2018d, 181-182.)

4.3 Paikannus

Cisco CMX pystyy käyttämään paikannukseen Ciscon Hyperlocation-ratkaisua. Hyperlocation on sekoitus sovellus- ja laitteistoinnovaatioita. Hyperlocation käyttää RSSI:tä ja AoA:ta laskeakseen sijainnin kohteelle. Lasketun sijainnin tarkkuus on yhdestä kolmeen metriin. Hyperlocation on mahdollista myös laittaa päälle vain tietyssä osaa kerrosta, jos haluaa parantaa paikannusta tietyllä alueella. Kyseinen tilanne voi olla mahdollinen, jos osa kerroksen tukiasemista ei tue Hyperlocationia ja osa tukee. Paikannuksen tarkkuus on riippuvainen tukiasemien asennuksista ja paikannusolosuhteista. Hyperlocation myös integroituu BLE majakoiden kanssa. Tämän mahdollistaa Cisco Aironet 4800-tukiasema (kuvio 11), joka sisältää sisäänrakennetun tuen Hyperlocationille. Aironet 4800-tukiasema sisältää neljä radiolähetintä, yksi joustava radiolähetin joko 2,4 GHz:lle tai 5 GHz:lle, 5 GHz:n radiolähetin, kolmas 2,4 GHz:lle ja 5 GHz:lle osoitettu radiolähetin sekä BLE radiolähetin. BLE radiolähetin mahdollistaa BLE laitteiden paikannuksen. Koska Aironet 4800 tukee PoE eli Power over Ethernet, pystyy käyttäjä helposti pystyttämään BLE paikannuksen ilman ylimääräistä työtä. (Cisco 2018a; Cisco 2018c; Cisco 2018d, 30-32.)



Kuvio 11. Cisco Aironet 4800-tukiasema (Cisco 2018a)

4.4 Yksityisyys

EU:n hyväksymä GDPR eli General Data Protection Regulation velvoittaa yritykset olemaan enemmän vastuussa tietosuojasta ja käyttämään asianmukaisia turvavalvontaa. GDPR:n mukaan langattoman asiakkaan MAC-osoite tai IP-osoite ovat laskettavissa henkilökohtaiseksi tunnistetiedoksi eli PII (personal identifiable information). Cisco CMX tallentaa sijaintitietoja usealla eri tavalla ja prosessoi kyseistä dataa tuottaakseen analytiikkatietoja. GDPR:n silmissä CMX toimii täten rekisterinpitäjänä ja dataprosessorina. (Cisco 2018d, 171.)

Cisco CMX noudattaa GDPR:ää estämällä suoran pääsyn henkilökohtaisiin tunnistetietoihin (MAC-osoite), jos käyttäjä ottaa käyttöön Data yksityisyys-ominaisuuden (kuvio 12). Tällöin käyttöön tulee MAC-osoitteen hajautus. MAC-osoitteen hajautukseen käytetään suolaus algoritmia. Hajautettua MAC-osoitetta ei pysty palauttamaan takaisin alkuperäiseen arvoonsa. Suolan arvon voi itse valita ja sen arvoa voi vaihtaa eri päiville. Jos suolalle ei ole asetettu arvoa jollekin päivälle, CMX käyttää edeltävää arvoa suolaukseen. Hajautus algoritmi ei käytä suolaa hajautukseen, jos suolalle ei ole annettu yhtäkään arvoa. Käyttäjä voi valita kuinka kauan dataa säilytetään datan säilytys välilehdessä. Siellä käyttäjä voi valita kuinka kauan asiakkaiden, kontrolloimattomien ja analytiikan raakadataa säilytetään päivissä. Vakioarvo asiakkaille ja kontrolloimattomille on 30 päivää ja raaka datalle 365 päivää. (Cisco 2018d, 171, 173-174.)

SETTINGS

- Tracking
- Filtering
- Location Setup
- Data Privacy**
- Data Retention
- Mail Server
- > Controllers and Maps Setup
- Upgrade
- High Availability

Data Privacy [Privacy](#)

MAC Hashing [Hashing](#)

Salt

letter+numbers, min 8, max 256

[Apply Now](#)

Salt Details

Start Date	Salt
2018/03/19	cisco1234

View Salt Schedules

Start Date	Salt	Action
2018/04/01	alphakey123	Delete Update
2018/06/01	beta1234	Delete Update

Kuvio 12. Data yksityisyys (Cisco 2018d, 172)

Cisco CMX tarjoaa kirjautumisportaalissa asiakkaalle mahdollisuuden valita ylläpitääkö ja säilyttääkö Cisco CMX heidän laitteensa sijantihistoriaa. Jos asiakas ei halua, että CMX kerää heidän laitteensa dataa, CMX lopettaa asiakkaan laitteen MAC-osoitteen havaitsemisen ja näin lopettaa analytiikka datan keräämisen kyseisestä laitteesta. Tällöin asiakas ei näy kartalla tai on paikallaan, koska XY sijainti pysyy samana. Valinta on olemassa, jotta asiakkaalla on oikeus valita, kerätäänkö hänestä dataa. Oletuksena Cisco CMX kerää asiakkaasta dataa. (Cisco 2018d, 91.)

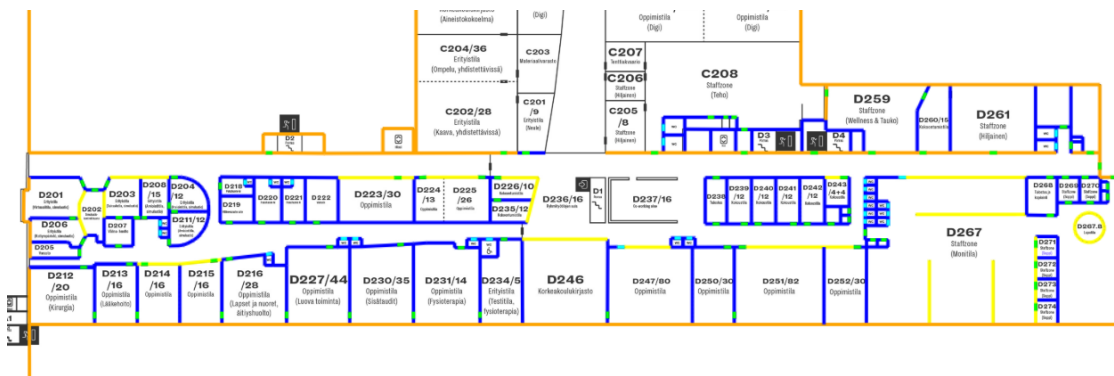
5 SISÄTILAPAIKANNUKSEN TOTEUTUS

Työn käytännön osuus keskittyi Lahden ammattikorkeakoulun NiemiCampuksella sisätilapaikannuksen toteuttamiseen. Sisätilapaikannus toteutettiin tilaajan hankkimilla laite ja sovellusvalinnoilla, Cisco CMX:llä, Cisco DNA (Digital Network Architecture) Centerillä ja Cisco Aironet 4800-tukiasemilla. Työn ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin asennettujen tukiasemien tarkat sijainnit. Tarkan sijainnin saamiseksi käytössä oli Bosch GLM 30 laseretäisyysmittalaite (kuva 1). Bosch GLM 30 mittalaitteen tarkkuus on ± 2 mm. Mahdollisimman tarkat tiedot tukiasemien sijainneista edesauttavat sisätilapaikannuksen tarkkuutta.



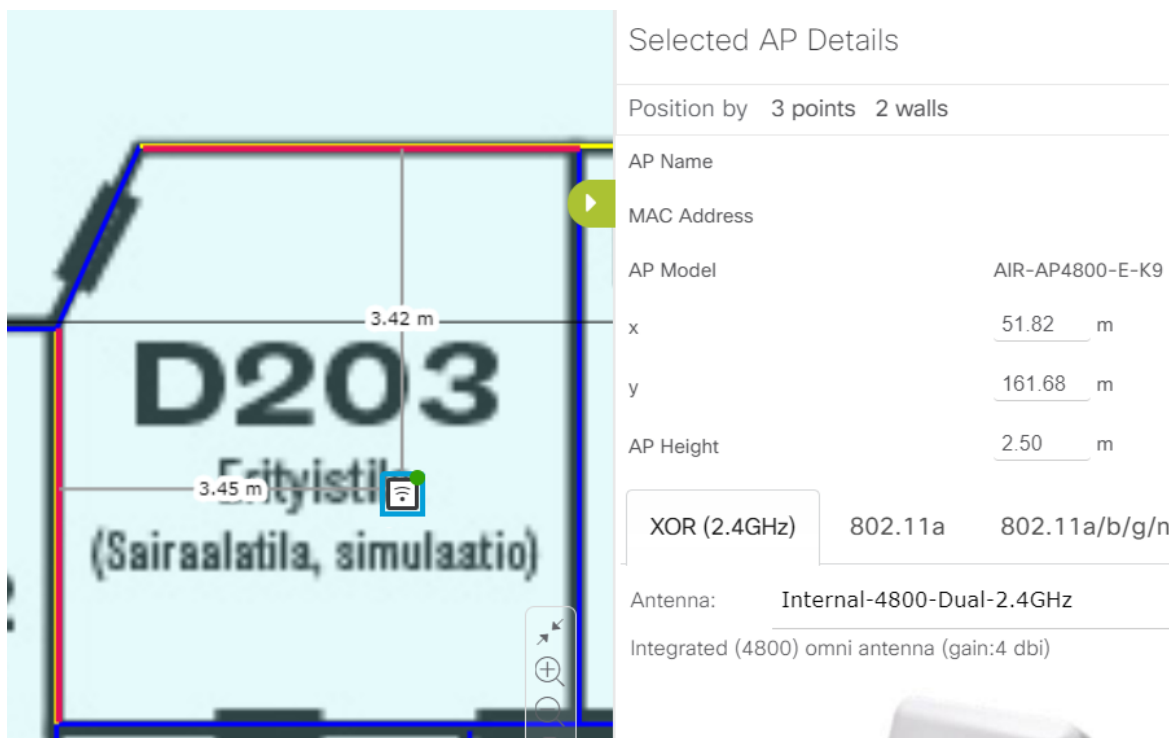
Kuva 1. Bosch laseretäisyysmittalaite

Työssä käytettiin Cisco DNA Centeriä karttojen luontiin. Ensimmäisenä määriteltiin pohjakuvaan seinien materiaalit (kuvio 13). Erilaisilla materiaaleilla on erilainen vaikutus signaalin vaimenemiseen ja materiaalit ilmoitetaan eri väreillä, kuten alla olevasta kuviosta ilmenee. Seinämateriaalien ja muiden esteiden tarkka määrittely parantaa lämpökartan tarkkuutta.



Kuvio 13. Pohjakuvan seinämateriaalit

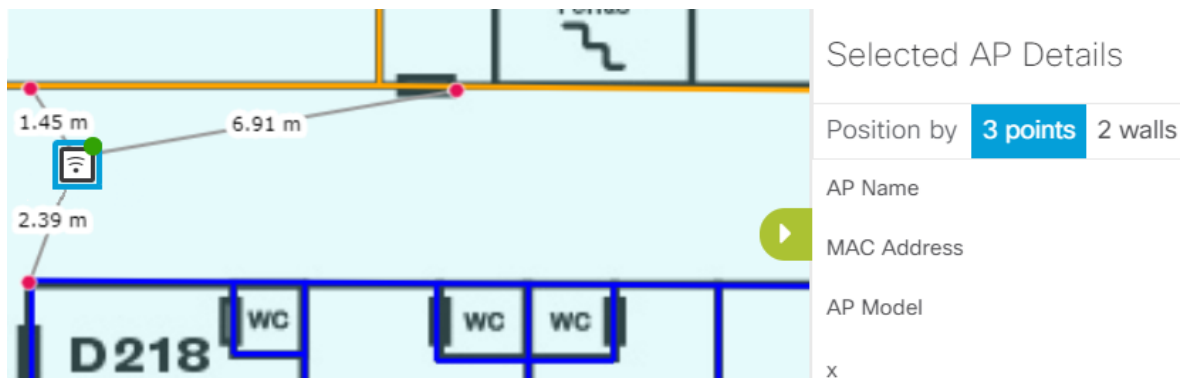
Seinämateriaalien ja muiden esteiden määrittämisen jälkeen määriteltiin tukiasemille tarkat sijainnit. Tähän tarvittiin tieto tukiaseman korkeudesta ja etäisyys joko kahteen seinään tai kolmeen pisteeseen. Työssä tukiasemien sijainti määriteltiin yleisesti etäisyydellä kahteen seinään (kuvio 14). Tällöin pohjakuvasta ilmenee ilmoitetut seinät punaisilla viivoilla ja annetut etäisyydet niihin.



Kuvio 14. Tukiaseman sijoittaminen kahden seinän avulla

Kohteissa, jossa ei ollut mahdollisuutta mitata etäisyyttä kahteen seinään käytettiin etäisyyttä kolmeen pisteeseen (kuvio 15). Tällöin kohde oli esimerkiksi käytävä, jossa laseretäisyydsmittalaite ei kyennyt mittaamaan etäisyyttä vierekkäisiin seiniin. Kolmea

pistettä käytettäessä pisteet kannattaa valita siten, että pisteet on helppo hahmottaa pohjakuvasta.



Kuvio 15. Tukiaseman sijoittaminen kolmen pisteen avulla

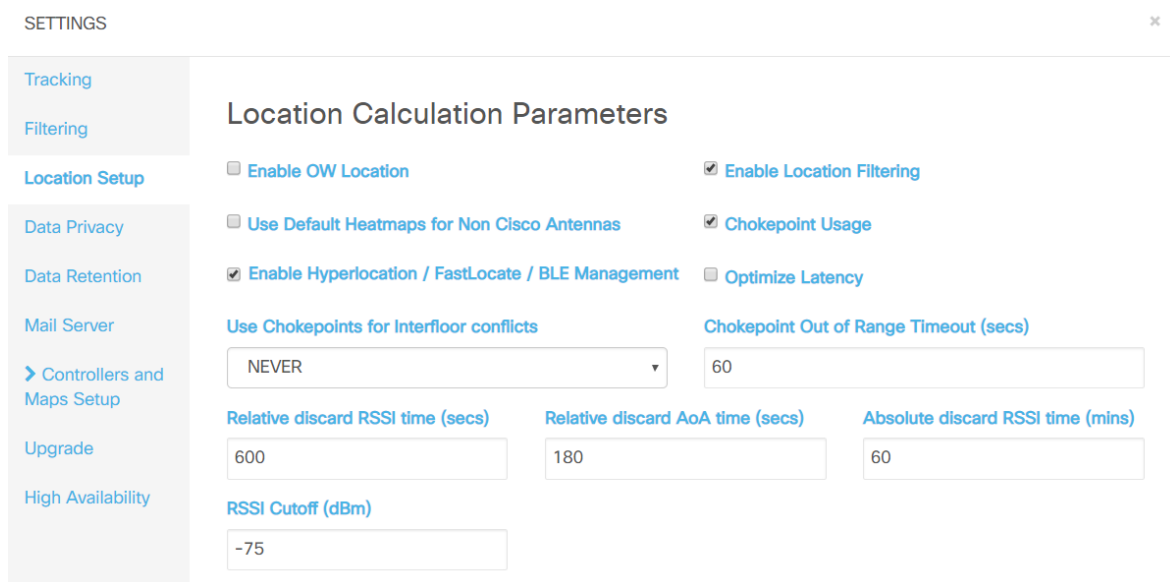
Tukiasemista täytyy myös ilmoittaa asennussuunta (kuvio 16), eli Cisco 4800-tukiase-
missa on nuoli, jonka suunta täytyy ilmoittaa. Tämä tieto edesauttaa paikannuksen tark-
kuutta, koska ohjelma tietää miten antennit sijoittuvat suhteessa vastaanotettavaan sig-
naaliin. Tukiasemista voi myös ilmoittaa kaltevuuden, mutta koska on suositeltavaa, että
tukiasemat sijoitetaan vaakatasoon, kyseinen arvo on yleensä 0.



Kuvio 16. Tukiaseman asennon määrittely

Hyperlocationin päälle laittamiseksi ja tarkan toimivuuden takaamiseksi NTP-palvelin
määriteltiin Cisco WLC:hen ja Cisco CMX:ään. Tällä varmistetaan, että kellot ovat synkro-
noituja järjestelmien välillä. Tämän jälkeen otettiin hyperlocation käyttöön Cisco WLC:ssä
ja Cisco CMX:ssä (kuvio 17). Voidakseen ottaa hyperlocationin käyttöön, täytyy Cisco
CMX:n resurssien vastata korkeamman tason laitevaatimuksia, eli Cisco CMX:llä täytyy
olla käytössään vähintään 64 Gb muistia, 1 Tb tallennustilaa ja 20 virtuaalista suoritinta.

Hyperlocatioinnin aktivoinnin jälkeen täytyi CMX palvelut käynnistää uudelleen komentorivin kautta. Tämän jälkeen on myös suositeltavaa käynnistää langattomat tukiasemat uudelleen, mutta tämä ei aina ole mahdollista toimistoaikoina tuotantokäytössä olevissa tukiasemissa, johtuen käyttäjien tarpeista langattomalle verkolle.



Kuvio 17. Hyperlocatioinnin aktivointi

Palvelujen käynnistymisen jälkeen hyperlocation oli käynnissä ja kartta (kuvio 18) näytti käyttäjien sijainnin tiloissa. Paikannettavat kohteet pystytään valitsemaan paikannusvalikosta. Aktiivisuuskartassa voi valita päivittymisen aikavälin oikeassa yläkulmasta olevasta rattaan kuvasta. Lyhyempi aikaväli päivittää käyttäjien sijaintia aktiivisemmin, mutta vaatii enemmän resursseja.



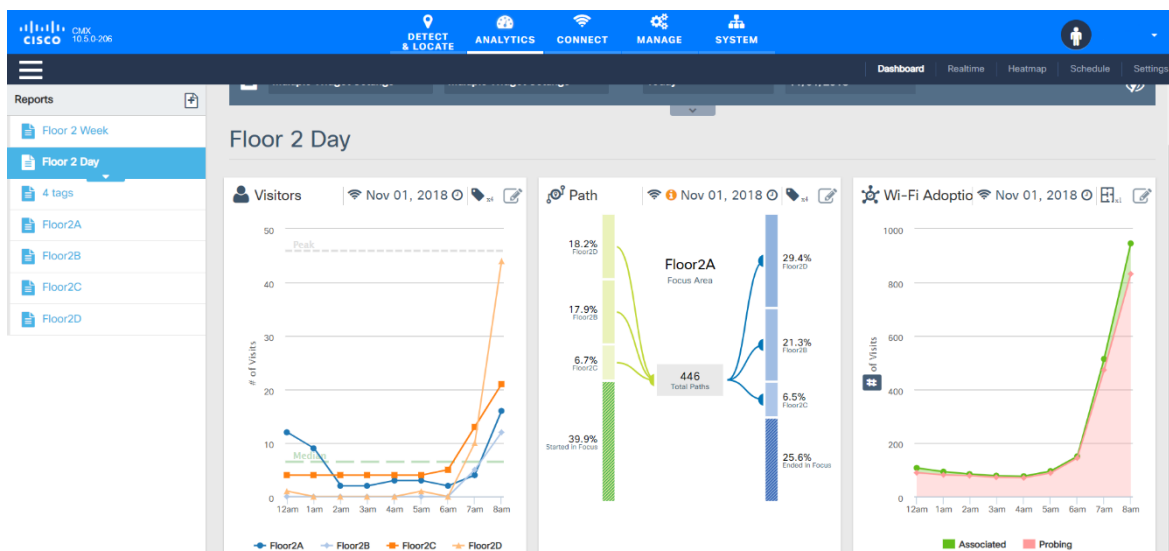
Kuvio 18. CMX aktiivisuuskartta

CMX:ssä pystyy myös seuraamaan tilojen aktiivisuutta lämpökartan avulla (kuvio 19). Lämpökarttaa pystyy seuraamaan reaaliajassa, sekä katsomaan miten aktiivisuus on ja-kautunut aiemmin. Sininen väri ilmoittaa vähemmän aktiivisista ja punainen enemmän aktiivisista alueista.



Kuvio 19. CMX aktiivisuuden lämpökartta

Karttoihin luotiin myös vyöhykkeitä. Vyöhykkeiden avulla analytiikka palvelulla voidaan luoda kattavampia analyyseja tilojen käytöstä. Vyöhykkeisiin pystytään myös lisäämään tageja. Tässä tapauksessa vyöhykkeisiin lisättiin tagit vastaamaan siipeä, jossa vyöhyke sijaitsee. Kuvio 20 esittää esimerkin analytiikka palvelun luomasta raportista. Esimerkissä näkyy vierailijoiden lukumäärä siiveittäin. Lisäksi tästä (kuvio 20) voidaan katsoa vierailijoiden polku rakennuksessa, eli mistä vierailijat ovat kulkeneet sinne ja mihin vierailijat ovat siirtyneet sieltä. Tässä tapauksessa keskityttiin toisen kerroksen A-siipeen. Raportteja on myös mahdollista luoda tarkemmin, jossa eroja pystytään tarkastelemaan luokittain. Tämän mahdollistaa se, että jokaiselle luokalle on luotu oma vyöhyke. Tällä tavoin saadaan alueen toiminnasta parempi käsitys ja nähdään, mitkä tilat ovat aktiivisessa käytössä ja mitkä tilat ovat vähemmällä käytöllä.



Kuvio 20. Esimerkki CMX:n raportista

CMX:n paikannustarkkuus oli noin 1-5 metriä. Mitä kauemmin vieras oli paikoillaan tai useampi tukiasemaa osallistui paikallistamiseen, sitä tarkempaa kohteen paikannus oli. Paikannuksen tarkkuutta pystyisi parantamaan sijoittamalla tukiasemat optimoituna paikannukselle, mutta tällöin langattoman verkon kattavuus kärsisi ja kattavuus oli ensimmäinen prioriteetti langattomien tukiasemien sijoittelussa. Toinen vaihtoehto olisi hankkia lisää langattomia tukiasemia, mutta tämä vaatisi lisää rahallista investointia. NiemiCampuksella BLE paikannusta testattiin, mutta ei otettu käyttöön johtuen sen vähäisestä hyödystä.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä tavoitteena oli rakentaa sisätilapaikannus Lahden ammattikorkeakoulun NiemiCampukselle tilaajan valitsemilla laitteilla ja sovelluksilla, eli Cisco Connected Mobile Experiences, Cisco DNA Center ja tukiasemina toimivat Cisco Aironet 4800. Sovellus ja laitevalintoihin oltiin päädytty Ciscon kehittämän hyperlocation-paikannusominaisuuden takia, joka Cisco CMX:llä pystytään toteuttamaan. Cisco Aironet 4800-tukiasemien valinta johtui niiden sisäänrakennetusta kyvystä tukea hyperlocation-ominaisuutta.

Hyperlocation on Ciscon kehittämä paikannustekniikka, joka pystyy paikantamaan kohteen yhden metrin tarkkuuteen riippuen paikannusympäristöstä. Paikannukseen hyperlocation käyttää RSSI:tä, jonka avulla se pystyy paikantamaan alueella liikkuvat vierailijat. Tarkan sijainnin hyperlocation laskee kolmiomittaamalla hyödyntäen AoA informaatiota. AoA informaatio saadaan Cisco Aironet 4800-tukiasemien avulla. Tämä johtuu niiden sisäänrakennetuista neljästä radiolähettimestä, joiden asento määritellään Cisco DNA Centerissä olevaan pohjakuvaan. Tämän pohjakuvan tiedot Cisco CMX hakee ja laskee paikatiedot kyseisten tietojen perusteella.

Hyperlocation otettiin käyttöön kampuksella ja sen avulla saatiin dataa alueen toiminnasta. Cisco CMX:ssä rakennettavissa raporteista pystyttiin tarkastelemaan tilojen käyttöastetta, vierailijoiden määrää ja kuinka vierailijoiden määrä jakautuu tunneittain. Cisco CMX:n raporteista oli mahdollista nähdä, miten tilojen käyttöaste jakautuu luokittain.

Tulevaisuudessa sisätilapaikannuksen tuottamaa dataa voidaan hyödyntää erilaisissa suunnitteluissa ja opastuksessa. Kyseisen datan avulla voidaan mahdollisesti nostaa koko alueen käyttöastetta hyödyntämällä vähemmän aktiivisia alueita NiemiCampuksella. Opastuksessa sisätilapaikannusta voitaisiin hyödyntää saamalla vierailijalle tarkka opastus heidän haluaan kohteeseen NiemiCampuksella. Sisätilapaikannusta voitaisiin tulevaisuudessa laajentaa ottamalla käyttöön myös Bluetooth Low Energy paikannus. Tämän avulla voitaisiin esimerkiksi paikantaa erilaisia laitteita NiemiCampuksella ja näin parantaa niiden saatavuutta ja vartiointia.

LÄHTEET

Bluetooth 2018a. Origin of the Bluetooth Name [viitattu 26.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.bluetooth.com/about-us/bluetooth-origin>

Bluetooth 2018b. Our History [viitattu 26.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.bluetooth.com/about-us/our-history>

Bluetooth 2018c. Radio Versions [viitattu 27.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions>

Bluetooth 2018d. Topology Options [viitattu 27.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/topology-options>

Cisco 2018a. Cisco Aironet 4800 Access Point Data Sheet [viitattu 15.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-4800-access-point/nb-09-air-4800-acces-ds-cte.html>

Cisco 2018b. Cisco Connected Mobile Experiences Data Sheet [viitattu 12.8.2018]. Saatavissa:

<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/enterprise-networks/connected-mobile-experiences/datasheet-c78-734648.html>

Cisco 2018c. Cisco Hyperlocation Solution [viitattu 15.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/aironet-hyperlocation-module-advanced-security/datasheet-c78-734901.pdf>

Cisco 2018d. CMX Configuration Guide, Release 10.5 [viitattu 9.10.2018]. Saatavissa:

https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/mse/10-5/cmxc_config/b_cg_cmxc105.pdf

Developex 2017. BLE Beacons for Tracking [viitattu 21.8.2018]. Saatavissa: <https://developex.com/blog/ble-beacons-for-tracking/>

Garmin 2018. What is GPS? [viitattu 11.8.2018]. Saatavissa: <https://www8.garmin.com/aboutGPS/>

Morrow, R. 2002. Bluetooth: Operation and use. McGraw Hill Professional.

Poole, I. 2018a. IEEE 802.11 Wi-Fi Standards [viitattu 2.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php>

Poole, I. 2018b. What is MIMO? Multiple Input Multiple Output Tutorial [viitattu 2.10.2018].

Saatavissa: <https://www.radio-electronics.com/info/antennas/mimo/multiple-input-multiple-output-technology-tutorial.php>

Poole, I. 2018c. Wi-Fi / WLAN Channels, Frequencies, Bands & Bandwidths. Radio-Electronics [viitattu 1.10.2018]. Saatavissa: <https://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/80211-channels-number-frequencies-bandwidth.php>

Rueppel, U & Stuebbe, K. 2008. BIM-based indoor-emergency-navigation-system for complex buildings. Tsinghua Science and Technology Vol.13, 362-367 [viitattu 24.9.2018]. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(08\)70175-5](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(08)70175-5)

Sadowski, S & Spachos, P. 2018. RSSI-Based Indoor Localization With the Internet of Things. IEEE Access Vol.6, 30149-30161 [viitattu 11.8.2018]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2843325>

Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L. & Meriläinen, P. 2011. Maol-tilukot. Helsinki: Otava.

Shaw, K. 2018. 802.11: Wi-Fi speeds and standards explained. Network world [viitattu 1.10.2018]. Saatavissa: <https://www.networkworld.com/article/3238664/wi-fi/80211-wi-fi-speeds-and-standards-explained.html>

Tekniikan Sanastokeskus ry 2002. Paikannussanasto. Helsinki: Tekniikan Sanastokeskus ry [viitattu 9.8.2018]. Saatavissa: <http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/paikannussanasto.pdf>

Viestintävirasto 2014. Langaton lähiverkko — enemmän kuin silmä näkee [viitattu 1.10.2018]. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/kyberturvallisuus/tietoturvanyt/2014/09/ttn201409021705.html>

Wi-Fi. 2018. Look for the logo [viitattu 2.10.2018]. Saatavissa: <https://www.wi-fi.org/look-for-the-logo>

Xiao, J., Zhou, Z., Yi, Y & Ni, L. 2016. A survey on wireless indoor localization from the device perspective. ACM Computing surveys Vol. 49(2) [viitattu 24.9.2018]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1145/2933232>

LIITTEET