



Jussi Ronkainen

ESSENSIUM LOST -JÄRJESTELMÄN PAIKANNUSTARKKUUS SISÄTILOISSA

ESSENSIUM LOST -JÄRJESTELMÄN
PAIKANNUSTARKKUUS SISÄTILOISSA

Jussi Ronkainen
Opinnäytetyö
16.5.2011
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Sivuja

+

Liitteitä

Tietotekniikka

Insinöörityö

35

+

5

Suuntautumisvaihtoehto

Aika

Langaton tietoliikenne

2011

Työn tilaaja

Työn tekijä

Telesilmukka Oy

Jussi Ronkainen

Työn nimi

Essensium LOST -järjestelmän paikannustarkkuus sisätiloissa

Avainsanat

Essensium, LOST, RTLS, ToF, RSSI, sisäpaikannus, induktiosilmukka

Insinöörityössä tutustuttiin Essensiumin kehittämään LOST-järjestelmään.

Työssä tutustuttiin lisäksi induktiosilmukan toimintaan ja asennukseen. Tavoitteena työssä oli selvittää Essensium LOST -järjestelmän paikannustarkkuus sisätiloissa. LOST on lisenssivapaalla 2,4 GHz:n taajuusalueella toimiva paikannusjärjestelmä ja se käyttää paikannuksessa hyväkseen signaalin kuluaikaa sekä vastaanotetun signaalin voimakkuutta. Työn tilaajana toimii Oulun seudulla vaikuttava yritys Telesilmukka Oy.

Työssä tehtävät mittaukset ja asennukset tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tiloissa. Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla laitteiston teoriaosuuteen käyttöoppaista ja laitteistoon, joka on hankittu koululla käynnissä olevaa ICD-NET-hanketta varten. Työn toteutusaika oli keväällä 2011.

Tehtyjen mittausten perusteella saatiin selville järjestelmän tarkkuus sekä tarkkuuteen vaikuttavat tekijät. Mittausten perusteella järjestelmä on vakaa, mutta mittaustulokset olivat vaihtelevia tilan mukaan, jossa mittauksia tehtiin. Mittausten tavoitteena ollut paikannus istumapaikan tarkkuudella saatiin varmistettua, joten tilaajan on mahdollista käyttää järjestelmää sovelluksessaan.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikköä ja Telesilmukka Oy:tä siitä, että teitte opinnäytetyöni tekemisestä mahdollista. Kiitokset lisäksi tuntiopettaja Heikki Mattilalle opinnäytetyön ohjauksesta ja tuntiopettaja Vinski Bräysylle työn aiheesta ja ICDNET-hankkeen vetämisestä. Kiitokset myös lehtori Tuula Hopeavuorelle opinnäytetyön tekstin ohjauksesta ja koko ICDNET-hankkeen välle avusta ja opastuksesta.

Oulussa 16.5.2011

Jussi Ronkainen

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
ALKUSANAT	4
SISÄLTÖ.....	5
LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO	8
2 LOST-PAIKANNUSMENETELMÄ	9
2.1 Esittely.....	9
2.2 Tekniset tiedot	11
2.3 Skaalautuvuus ja etäisyysmittausten esisuodatus	12
2.4 Tietokantapalvelin	12
2.5 Käyttöliittymä	12
2.6 Mittaus- eli tuki- eli ankkuripisteet.....	13
2.7 Liikuteltava eli mobiilinode.....	14
2.8 Ankkurien optimaalinen asettelu sisätiloissa	15
3 INDUKTIOSILMUKKA.....	17
3.1 Induktiosilmukan tarkoitus	17
3.2 Mittalaitteet	18
4 SUORITETUT MITTAUKSET	20
4.1 Laitteistoon tutustuminen hankkeen tiloissa.....	20
4.2 Hankelaboratorio	21
4.3 Auditorio 2	22
4.4 Auditorio 1	23
5 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI.....	27
6 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	31
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	35

LYHENTEET JA TERMIT

Bluetooth	2,4 GHz:n taajuudella toimiva avoin standardi laitteiden langattomaan kommunikointiin lähietäisyydellä.
Gateway	Yhdyskäytävä, joka mahdollistaa liikennöinnin toiseen verkkoon.
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GUI	Graphical User Interface. Graafinen käyttöliittymä.
HW	Hardware. Fyysinen laitteisto.
Kaistanleveys	Kahden taajuuden erotus, joka muodostaa tietyn yhtenäisen taajuusalueen eli kaistan.
LoS	Line of Sight. Näkökentässä. Vrt. NLoS.
LOST	Location System for Sensor Tracking. Sensoreiden paikannusjärjestelmä.
MAC-osoite	Media Access Control. Verkkosovittimen Ethernet-verkossa yksilöivä osoite.
Mikrokontrolleri	Mikropiiri eli IC-piiri, jossa on mikroprosessori ja muisti- ja liityntälohkoja. Mikrokontrollereita käytetään sulautetuissa järjestelmissä.
Moduuli	Lisälaite.
NLoS	Non-Line of Sight. Näkökentän ulkopuolella. Vrt. LoS.

PostgreSQL	Avoimena lähdekoodina jaettava tietokannan hallintajärjestelmä. Maksullinen vaihtoehto esim. MySQL.
RJ-45	Käytetyin liitintyyppi parikaapelille.
RSSI	Received Signal Strength Indicator. Mittaa vastaanotetun signaalin tehon.
RTLS	Real-time Locating System. Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä.
Sensori	Mittalaitteen osa, joka reagoi ympäristön kanssa. Mittaa esimerkiksi sähkönjohtavuuden muutosta. Käytetään myös nimitystä anturi.
SOC	System on a Chip. Järjestelmäpiiri.
ToF	Time of Flight. Signaalin kulkuaika
WiFi	Langaton lähiverkkotekniikka.
ZigBee	IEEE 802.15.4 -standardin mukainen lyhyen kantaman tietoliikenneverkko.
802.15.4	IEEE:n standardi, jonka päälle LOST-tekniikka on rakennettu. Samaan standardiin perustuu myös ZigBee.

1 JOHDANTO

Työssä tutustutaan Essensium LOST -paikannuslaitteistoon ja sen tarkkuuteen sisätiloissa. Työn tehtävänä on selvittää laitteiston tarkkuus ja siihen vaikuttavat tekijät. Työssä esitetään saatuja mittaustuloksia ja analysoidaan niitä. Analysointi tapahtuu vertaamalla oikeita paikkatietoja mitattuihin arvoihin ja arvioimalla tapahtuneita eroja tuloksissa.

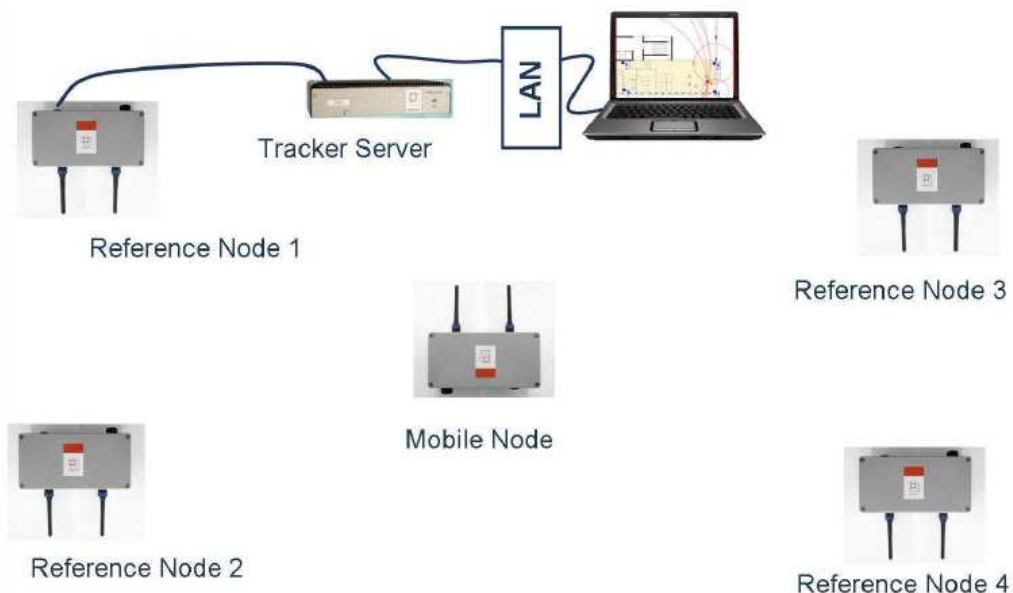
Työn tilaajana on Telesilmukka Oy, jonka tarkoituksena on mahdollisesti ottaa vastaava laitteisto käyttöön omassa liiketoiminnassaan, mikäli laitteiston paikannustarkkuus on sopiva yrityksen käyttötarkoitukseen. Yritys tuli mukaan opinnäytetyöhön Yritystakomon kautta, joka on yhteisöllinen toimintaympäristö, jossa toimijat käyttävät osaamistaan ja kokemustaan uusien liike- ja tuoteideoiden kehittämiseen. Idea jalostetaan aihioiksi ja asiakastarve testataan niin pian kuin mahdollista. (1.) Työ olisi jollain tasolla onnistunut toteuttaa ilman yrityksen mukanaoloa, jolloin työn tilaajana olisi ollut Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Koululla on samaan aikaan menossa ICDNET-hanke, johon Essensium LOST liittyy olennaisesti.

Tässä työssä kerrotaan työn aikana käytetyistä menetelmistä ja tutuksi tulleista aihepiireistä. Tätä dokumenttia lukemalla selviää myös työn aikataulu ja toimintatavat, joita on käytetty. Tavoitteena työssä oli selvittää, riittääkö järjestelmän tarkkuus tilaajan sovellukseen, jossa vaaditaan paikkatieto vierekkäin olevien mittauspaikkojen tarkkuudella. Työn aiheen teki ajankohtaiseksi juuri tämä tarve tilaajan puolelta. Paikannuksen ohessa mitataan induktiosilmukan voimakkuutta ja molemmat tiedot lisätään tilan karttaan, josta käy ilmi induktiosilmukan voimakkuus jokaisella istumapaikalla.

2 LOST-PAIKANNUSMENETELMÄ

2.1 Esittely

LOST on Essensiumin kehittämä reaaliaikainen paikannusmenetelmä sisä- ja ulkosovelluksiin, joka tarjoaa luotettavan paikkatiedon keruun ja tehokkuutta omaisuuden paikantamiseen. Järjestelmä perustuu signaalin kulkuajan radiotiellä (ToF) ja käyttää hyväkseen vastaanotetun signaalin voimakkuutta (RSSI). LOST on merkittävä osa langatonta sensoriverkkoa, ja se mittaa paikannussensorin tarkkuutta sisällä tai ulkona, jopa tiiviisti pakatuissa varastoissa tai ihmisruuhkassa. Toimiakseen järjestelmä tarvitsee vähintään kolme mittaus- eli ankkuripistettä (kuva 1), joilla saadaan ulkotiloissa katettua puolen neliökilometrin suuruinen alue. Lisäämällä ankkuripisteiden määrää saadaan tarkkuutta parannettua. Järjestelmän tarkkuus on riittävä tavaroiden, laatikoiden tai vaikka ihmisten paikantamiseen. (2.)

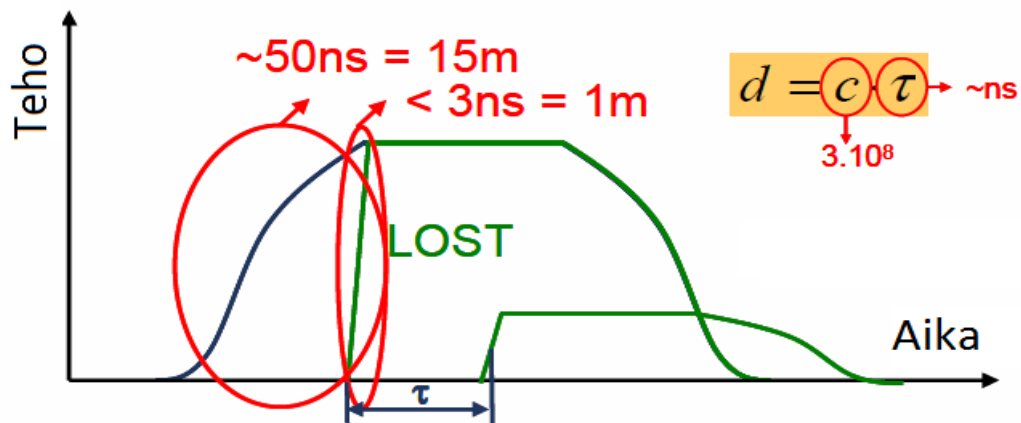


KUVA 1. Neljällä ankkuripisteellä toteutettu LOST-järjestelmä (3)

Järjestelmä on riippuvainen mittausetäisyydestä mobiilinodeen ja ankkuripisteiden välillä, sillä mittaus suoritetaan signaalin kulkuajan perusteella. Heijastukset eivät juurikaan vaikuta LOST-järjestelmän mittauksiin. Mobiilinodeen

paikan mittaamiseen tarvitaan vähintään kolme erillistä mittausta tarkan sijainnin selvittämiseksi. Minimitoteutuksessa (kolme ankkuripistettä) neljällä erillisellä mittauksella korjataan mittausvirhettä ja havaitaan signaalin mahdollista heikentymistä olosuhteissa, joissa näköyhteys puuttuu. LOSTin HW on kykenevä selvittämään aikaeron 3 ns:n tarkkuudella, kun mittaustarkkuus on alle metrin luokkaa. Tarkkuutta on mahdollista parantaa signaaliprosessoinnilla. Mitatut etäisyydet lähetetään seurantapalvelimelle mittauspisteessä tehtävän esisuodatuksen jälkeen. Suodatus minimoi dataliikenteen ja virrankulutuksen. Tämän jälkeen mobiilinoden paikkatiedot lasketaan palvelimella ja näytetään käyttäjälle. Redundanssia eli ylimääräistä mittaustietoa hyödynnetään huonoissakin olosuhteissa hyvän tarkkuuden saamiseksi. (2.)

Radioaaltopurskeen nousureuna määrittää signaalin kulkuajan ja sen ollessa jyrkkä saadaan tarkkoja tuloksia signaalin saapumisajasta mobiilinodeen tai päinvastoin. LOST-järjestelmässä nousureuna on alle 3 ns:n mittainen, mikä tarkoittaa alle metrin mittaustarkkuutta (kuva 2). Kuvassa on esitetty myös toisen järjestelmän nousureuna, jonka pituus on noin 50 ns, joka tarkoittaa 15 metrin tarkkuutta. Vertailun vuoksi kerrottakoon, että tämä 15 metrin tarkkuus löytyy esimerkiksi GPS-paikannuksesta. Yhteen paikannusmittaukseen kaikkine laskutoimituksineen kuluu lyhimmillään alle yhden millisekunnin, joka tarkoittaa, että joka sekunti voidaan tehdä 1000 paikan päivitystä. Näin tiheästi tehty paikan päivitys ei ole useinkaan tarpeen, joten päivitystiheyttä laskettaessa voidaan valvoa tuhansia nodeja kerralla. Paikannustarkkuus on optimoitu peittämään myös näköyhteyden ulkopuoliset olosuhteet. Ulkotiloissa paikannustarkkuus voi olla parempi kuin 50 cm, jos matkaa on korkeintaan 500 m. (2; 12.)



KUVA 2. Matkaan kuluva ajan tarkkuusmittaus (2)

2.2 Tekniset tiedot

LOST-järjestelmä toimii lisenssivapaalla 2,4 GHz:n taajuudella, jolla toimivat myös muun muassa WiFi, ZigBee, Bluetooth ja mikroaaltouuni. Jos verrataan LOSTia vaikka WLAN-paikannukseen, eroa tarkkuudessa löytyy selvästi. WLANin tarkkuus paikannuksessa riippuu paljolti tukiasemien määrästä ja on tyypillisesti muutamia kymmeniä metrejä. WLAN-paikannuksessa hyödynnetään mitattua RSSI-arvoa ja jokaisen tukiaseman yksilöllistä MAC-osoitetta. LOSTissa käytettävä kaistanleveys on 200 MHz. Muut samalla taajuudella toimivat järjestelmät eivät häiritse LOSTia. LOST ei myöskään häiritse muita saman taajuuden protokollia tai kommunikoi niiden kanssa, koska se on suunniteltu toimimaan niiden rinnalla. Alueella toimivat WLAN-verkot eivät siis heikennä suoritettavia etäisyysmittauksia. LOST on todistustasi hyvin vakaa häiriöisissäkin ympäristöissä. Painoa laitteella on noin 1 kilo. (2; 8; 13.)

Sekä ankkuripisteet että mobiilinodeet on toteutettu 802.15.4-standardin päälle, jossa määritellään laitteiden lähettämä esikäsitelty tieto seurantapalvelimelle, konfigurointi ja verkon ylläpito. Tällä tavoin nodeja voidaan valvoa palvelimelta ja tarvittaessa tehdä muutoksia asetuksiin. (3.)

2.3 Skaalautuvuus ja etäisyysmittausten esisuodatus

Järjestelmä skaalautuu helposti ankkurien ja mobiilinodejen lukumäärään. Vain pieni muutos asetuksiin vaaditaan lisättäessä ankkuripisteitä peittoalueelle. Lisääminen tapahtuu niin sanotulla ”Put and Play” -menetelmällä ja vaatii vain järjestelmän hyväksymiskoodin. Nodeja voidaan valvoa asetetulla päivitystarkkuudella; mitä harvempi päivitysväli, sitä enemmän laitteita voidaan valvoa. (2.)

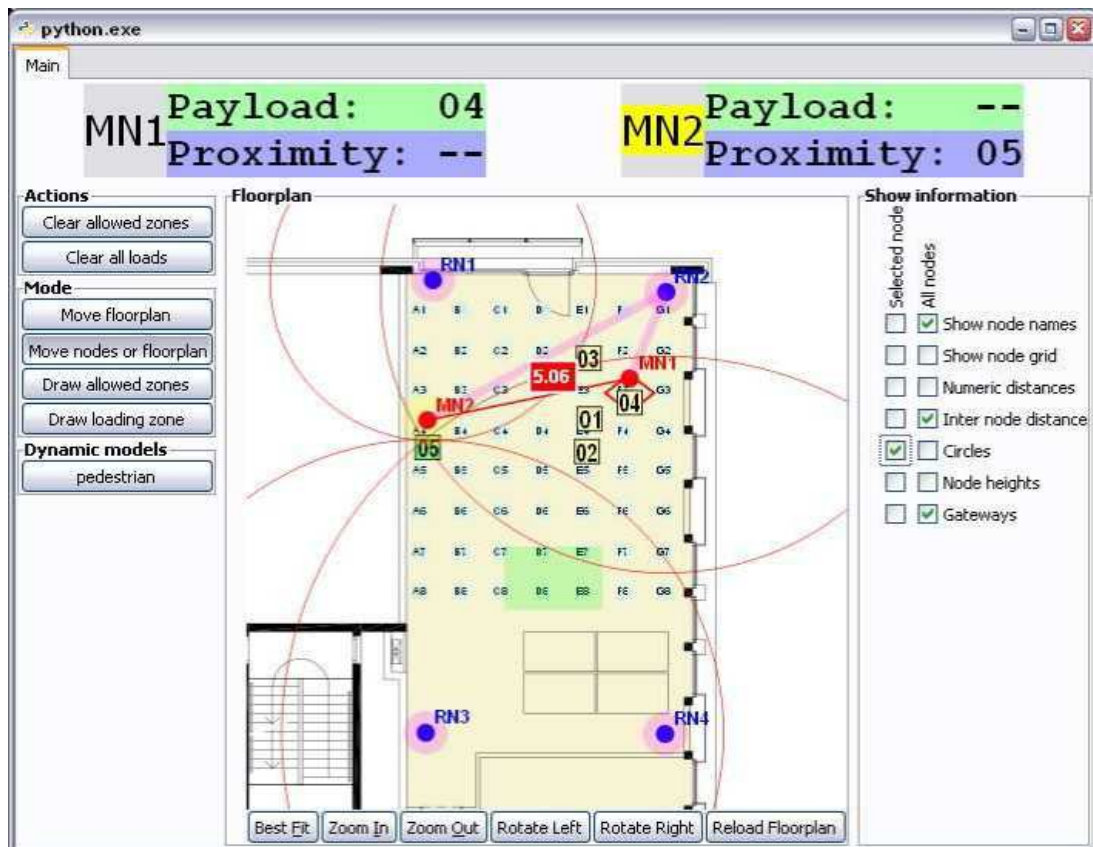
Jokainen näyte todetaan mittauksessa paikkansa pitäväksi tai hylätään tarvittaessa. Keskiarvoistus hävittää virheet ja kasvattaa tarkkuutta. LOST-järjestelmä on luontaisesti vahva monitie-etenemisen haittoja vastaan. Häiriöt, heijastukset tai vaikeat olosuhteet, kun näköyhteyttä ei ole, suodatetaan automaattisesti pois mittaustuloksista. (2.)

2.4 Tietokantapalvelin

Paikkatieto tallennetaan tietokantaan, johon on helppo pääsy tietokoneella PostgreSQL-kyselyillä. Tietokanta käyttää lisäosia, mikä mahdollistaa käsittelykyselyt, jotka perustuvat maantieteellisiin tietoihin. Varoitukset ja estot, jotka perustuvat maantieteellisiin rajoituksiin, voidaan ilmoittaa tietokannassa. Sensorien tiedot ja niiden historia voidaan varastoida ja hakea tarvittaessa. Palvelinta käytetään myös verkon hallintaan ja ylläpitoon. (2.) Tietoja voidaan tallentaa tietokantaan oikeastaan jokaisessa paikannusjärjestelmässä ja monissa muissakin sovelluksissa, joten tämä ei ole mikään mullistava ominaisuus.

2.5 Käyttöliittymä

LOST-järjestelmä tarjoaa graafisen käyttäjäystävällisen käyttöliittymän (kuva 3). GUI on käyttöliittymä käyttäjän, ohjelman ja tietokannan välillä. Sitä käytetään pohjapiirroksen asettamiseen paikalleen, ankkuripisteiden asettamiseen ja valvomaan ja hallitsemaan nodeja. GUI sisältää valmiita asetustyyppejä, jotka auttavat asiakasta läpi asennusprosessin. (3.)

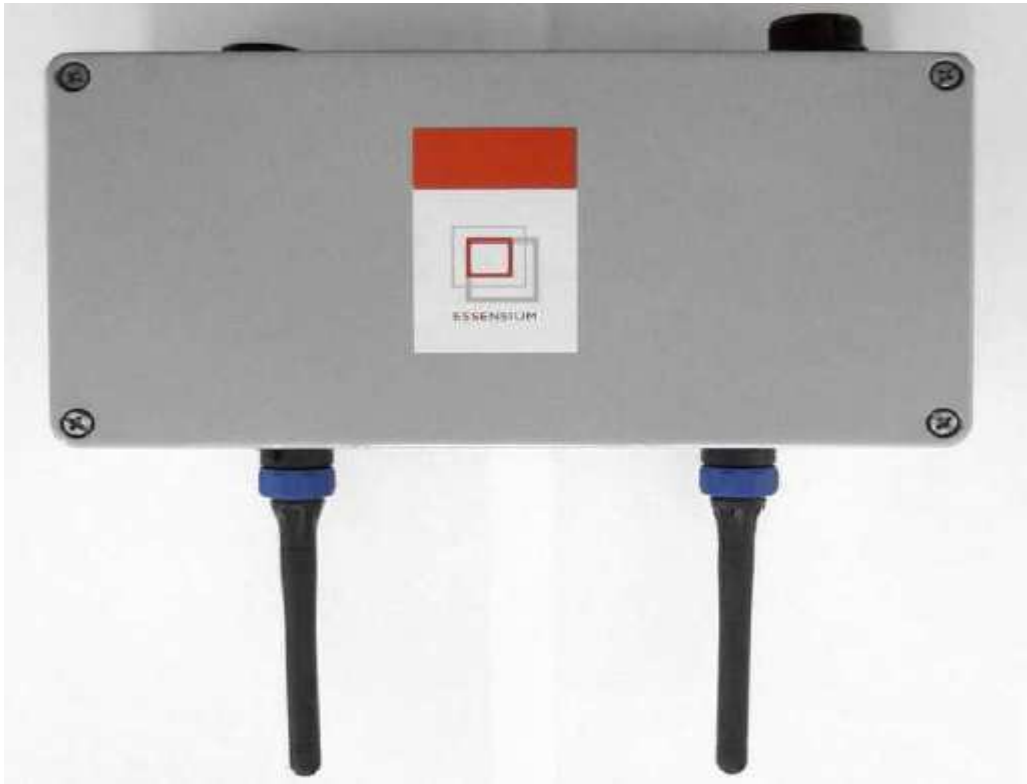


KUVA 3. Graafinen käyttöliittymä (4)

2.6 Mittaus- eli tuki- eli ankkuripisteet

Ankkuri on LOST-järjestelmän peruselementti. Se on suunniteltu tarjoamaan useita toimintoja: etäisyysmittaus, kommunikointi, esisuodatus ja gateway palvelimelle. Ankkuri saa virtansa 100–240 V AC (vaihtovirta) virtalähteestä, jonka virrankulutus on 6,5 W. LOST lähettää ja vastaanottaa etäisyys-signaaleja, joista se laskee paikkatiedon. Kantamarajoista puretaan salausta ja ne suodatetaan ankkurin mikrokontrollerissa. Mikrokontrolleri tekee mittauspahtuman ajoitukset ja kontrolloi viestintää 802.15.4-standardiin pohjautuvalla lähetin-vastaanottimella. Tätä kommunikointikanavaa käytetään mittausdatan lähettämiseen ja noden tunnistamiseen gatewayllä, mutta myös verkon hallintaan. Ankkureilla on vakiopaikat, joista niitä ei siirrellä. Tästä syystä ankkurit toimivatkin yleensä verkkovirralla, joskin vaihtoehtona on myös akkukäyttö. GPS-moduuli voidaan yhdistää helpottamaan kehittämistä ja ylläpitämään reaaliaikaista LOST-paikannusjärjestelmää (RTLS). Ankkurit

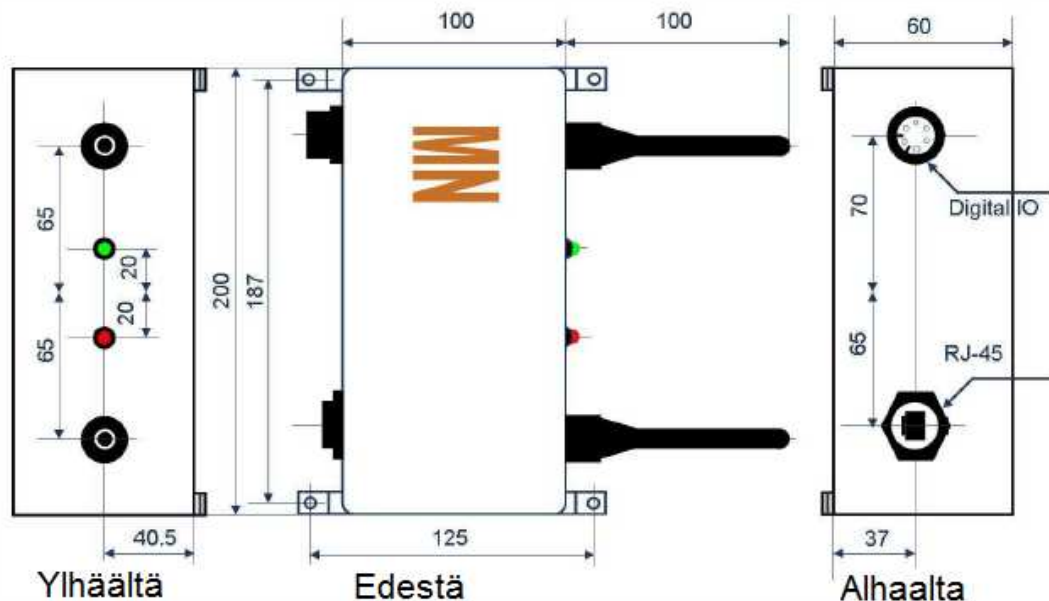
on rakennettu kovaa käyttöä kestävään vedenpitävään koteloon, joka soveltuu myös ulkokäyttöön. Kuvassa 4 on esitetty kuva ankkurista. (6.)



KUVA 4. Ankkuripiste (6)

2.7 Liikuteltava eli mobiilinode

Mobiilinode näyttää ulkoisesti aivan samalta kuin mittauspisteissä oleva ankkurikin. Mobiilinodeissa on sisällä akku, mutta se ottaa tavallisesti virtansa ajoneuvon akusta, kun sitä käytetään sen suunniteltuun käyttötarkoitukseen eli trukkien paikantamiseen. Mobiilinode sisältää vikavirtasuojatun DC (tasavirta) 12–24 V:n virtalähteen laajalla toimintasäteellä. Virtalähteen virrankulutus on 6,5 W. 802.15.4-yhteyskanavaa voidaan käyttää kontrolloimaan digitaalisia liitäntöjä nodessa tai lähettämään tietoja sensoreille, jotka voidaan yhdistää nodeen. Kanavaa käytetään tietenkin myös konfigurointiin ja noden tilan valvontaan. Sensorit tai ohjaimet voidaan yhdistää noden liittimiin. Kuvassa 5 näkyvät mobiilinodeksen mitat ja liittimet eri kuvakulmista. Mitta-arvot ovat millimetreinä.



KUVA 5. Mobiilinode (7)

Mobiilinode voidaan tarvittaessa muuttaa ankkuripisteeksi tekemällä muutoksia config.py-tiedostoon, joka löytyy käytettävän skenaarion kansioista. Muutokset voidaan tehdä esimerkiksi notepadilla. (7.)

2.8 Ankkurien optimaalinen asettelu sisätiloissa

Kun halutaan saada valmistajan käyttöohjeiden mukainen järjestys aikaan, neljä ankkuria tulee asentaa paikannettavan alueen kulmiin, mahdollisimman lähelle välikattoa tai vähintään 2 metriä korkeammalle kuin mobiilinodeet. Antennien tulee osoittaa alaspäin. Ankkurien asennuksessa kannattaa käyttää asennuskiinnikkeitä sekä välttää asennusta puolta metriä lähemmäs metallisia rakenteita. Ankkurien suositeltu maksimietäisyys on 30 metriä, kun näköyhteys on saatavilla, ja 20 metriä, kun sitä ei ole. Optimaalisin paikannusalue on neliön muotoinen, jolloin tarkkuus on parhaimmillaan X- ja Y-suunnissa. Tukiasemat tulee asettaa mahdollisimman tarkasti oikeille paikoille pohjapiirroksessa.

Mobiilinodejen antennien tulee osoittaa ylöspäin ja sijaita mielellään vähintään 2 metriä alempana kuin ankkurit. Yksi ankkureista toimii yhdyskäytävänä tietokoneeseen, jossa on asennettuna LOST-ohjelmisto. Tämä ankkuri

liitetään tietokoneeseen verkkokaapelilla ja IP-osoitteeksi asetetaan 10.3.1.100 ja aliverkon peitteeksi 255.0.0.0. Mittaustuloksia saadaan näky-
mään paikallisesti selaimella osoitteessa //localhost:50000. Varsinaisen
LOST-sovelluksen asetuksissa reduce jitter tarkoittaa synkronointivirheen
pienentämistä. RSSI (vastaanotetun signaalin voimakkuuden indikaattori)
-kompensaatio kannattaa olla käytössä varsinkin yli 100 metrin matkoilla ul-
kona ja sisällä selvästi lyhyemmilläkin matkoilla. (5.)

3 INDUKTIOSILMUKKA

Samalla kun työssä suoritettiin paikannusta LOST-järjestelmällä, ICDNET-hankkeen puolesta tehtiin induktiosilmukkamittauksia. Induktiosilmukan voimakkuus mitataan paikannuksen yhteydessä ja molemmat tiedot lähetetään palvelimelle. Näillä mittauksilla on tarkoitus saada paikan perusteella selville, kuinka hyvin induktiosilmukasta tuleva signaali kuuluu kuulolaitteessa. Koska koululta ei induktiosilmukkaa löytynyt, asensimme laboratorioon väliaikaisen silmukan mittauksia varten. Asennuksessa vedetään kaapeli tässä tapauksessa lattian rajassa kiertäen huoneen ympäri. Kaapelin päähän tulee vahvistin, joka voimistaa kuulolaitteeseen tulevan äänen.

Tarkkuus, joka sovelluksen kannalta vähintään vaaditaan, on istumapaikan tarkkuus. Tällöin tilasta, jossa mittauksia tehdään, on mahdollista piirtää istumapaikkakartta. Karttaan kuvataan eri värein induktiosilmukan kuuluvuus istumapaikan tarkkuudella. Näin huonokuuloinen henkilö voi valita paikkansa sen mukaan, missä induktiosilmukan voimakkuus on parhaimmillaan.

3.1 Induktiosilmukan tarkoitus

Induktiosilmukka on yleisesti käytetty huonokuuloisten apuväline, jolla vähennetään huonon akustiikan ja taustamelun vaikutusta kuunteluolosuhteisiin. Toimintaperiaatteessa hyödynnetään sähkömagneettista induktiota. Yleisimmin induktiosilmukka löytyy kirkoista, isoista auditorioista tai palvelutiskeiltä. (10.)



KUVA 6. Induktiosilmukasta ilmoittavat symbolit. Oikealla kansainvälinen Et-si-symboli. (11.)

Ääntä kerätään mikrofonilla ja konvertoidaan magneettikentäksi. Kuulolaitteessa magneettikentän vaihtelut muunnetaan jälleen kuultavaksi ääneksi. Menetelmä minimoi äänilähteen etäisyyteen, sijaintiin ja ympäristön kohinaan liittyvät ongelmat. Keskustelu pelkkää kuulolaitetta käyttävän kanssa on usein hankalaa akustisen kohinan ja jälkikaikumisen aiheuttaman signaalin heikentymisen takia. Tällöin kommunikointi on helpompaa, kun etäisyys on lyhyt. Induktiosilmukka on kehitetty korjaamaan juuri tämä ongelma. (9.)

Induktiosilmukkajärjestelmän on pystyttävä tarjoamaan magneettikenttä, joka vastaa tarkkoja määritelmiä. Määritelmät on tehty IEC:n standardissa 60118-4. Standardin mukaan keskimääräisen kentänvoimakkuuden tulee olla $-12 \text{ dBL} \pm 3 \text{ dB}$, joka on yhtä kuin 100 mA/m . Suurin kentänvoimakkuus on 0 dBL eli yhtä kuin 400 mA/m . Taajuusvaste on $100\text{--}5000 \text{ Hz} \pm 3 \text{ dB}$ ja taustakohinataso -32 dBL . Ongelmia järjestelmässä voivat yleisesti tuottaa metalliset rakenteet, liian suuri taustakohina tai väärin asennettu äänijärjestelmä. (9.)

3.2 Mittalaitteet

Induktiomittauksissa käytetään NTI:n valmistamia mittalaitteita, pääasiassa Minilyzer ML1 -äänianalysaattoria, jossa on MiniLINK-USB-liitäntä, ja Minirator MR-PRO -signaaligeneraattoria, joka voidaan sopivilla kaapeleilla liittää induktiosilmukkaan. Edellä mainitut laitteet on esitetty kuvassa 7. (9.)



KUVA 7. Minilyzer ML1 ja Minirator MR-PRO (9)

Mittausten ajaksi äänianalysaattoriin liitetään kalibroitu Ampetronic CMR-3 -induktiosilmukkavastaanotin. Kun mittaukset on suoritettu, saadut tulokset voidaan siirtää PC:lle, johon on asennettuna MiniLINK-ohjelmisto. (9.)

4 SUORITETUT MITTAUKSET

Paikannuksen tarkkuusmittauksia tehtiin neljässä koulun tilassa. Mittauksia tehtiin pääosin yhden hengen voimin, mutta muutamiin mittauksiin saatiin avustusta. Alkuasettelu oli mittauksissa aina sama, eli ankkuripisteet laitettiin halutuille paikoille ja mitattiin niiden referenssiarvot. Referenssiarvot tarkoittavat aiemmin tai samassa yhteydessä mitattuja oikeita mitta-arvoja, joiden tiedetään pitävän paikkansa. Ne mitataan jollain toisella laitteella, joka on kalibroitu näyttämään tulos oikein. Tässä työssä referenssiarvot on mitattu laseretäisyysmittarilla.

Tämän jälkeen ankkurit laitettiin juuri mitatuille paikoille myös käyttöliittymässä. Laitteisto oli siis aika lailla valmis mittauksia varten. Tarkkuus vaihteli jonkun verran tilan koon ja muodon mukaan. Pienin mittauksissa käytetty tila oli opiskelijoiden työhuone, jonka koko on 5,75 m x 6,95 m, ja suurin tila oli auditorio 1 kooltaan 9,7 m x 16,5 m. Auditorioissa 1 ja 2 oli laskevat penkkirivit ja se otettiin huomioon mittalaitteistoa paikalleen asettellessa. Pienimmän käytetyn tilan eli opiskelijoiden työhuoneen mittaustulokset olivat niin epätarkkoja huoneen pienen koon takia, ettei katsottu aiheelliseksi esittää niitä tässä dokumentissa.

4.1 Laitteistoon tutustuminen hankkeen tiloissa

Ensimmäiset asiat tutustuttaessa laitteistoon olivat ankkuripisteiden paikkojen muuttaminen huoneessa ja tämän jälkeen uusien paikkojen määrittäminen oikeille paikoille pohjapiirroksessa. Hankkeen tilasta oli olemassa valmis pohjapiirros, joka helpotti ensimmäisten mittausasetelmien tekoa. Huone oli kooltaan 6,25 m x 13,7 m. Tilan keskellä on korkeita hyllyjä ja tilassa on toiminnassa useita muitakin langattomia ja langallisia järjestelmiä. Ankkuripisteitä asetettaessa tulee olla tiedossa etäisyys seiniin sekä korkeus, jolle ankkuri on asetettu. Näissä mittauksissa ankkurit olivat 1,75 metrin korkuisilla

kamerajalustimilla antennit ylöspäin. Mobiilinodeen korkeudeksi oli asetettu 1,50 metriä.

Muutamia mittauksia suoritettiin siten, että mobiilinode vietiin johonkin paikkaan huoneessa ja etäisyydet ankkureihin otettiin muistiin tietokoneelta. Tämän jälkeen mitattiin todelliset etäisyydet laser-etäisyysmittarilla ja verrattiin tuloksia keskenään. Nämä mittausten tulokset löytyvät dokumentin lopusta liitteinä (liitteet 1 ja 2). Kaikkia etäisyyksiä tuloksista ei löydy, koska lasermittarin vaatimaa näköyhteyttä ankkurin ja mobiilinodeen välillä ei kaikissa tapauksissa ollut. Tuloksissa on aika paljon eroja tehtyjen mittausten välillä. Liitteen 1 mittauksissa virhettä on enimmilläänkin vain reilu 20 cm, kun taas seuraavissa mittauksissa virhettä on yleisesti yli 20 cm, paikoin jopa yli 50 cm.

Syy mittaustulosten virheen määrän kasvuun on se, että ensiksi suoritetuissa mittauksissa huojunnan vähennys, RSSI-kompensaatio ja etäisyyspainotus oli kytketty päälle ja seuraavissa ei. Ankkuripisteet eivät myöskään olleet täsmälleen samoilla paikoilla eri mittauksissa. Näin aluksi haluttiin kokeilla erilaisia asetuksia, jotta nähtäisiin, millainen vaikutus niillä on varsinaisiin tuloksiin.

4.2 Hankelaboratorio

Näissä mittauksissa käytettiin neljän ankkuripisteen sijaan viittä eli toisen mobiilinodeen asetuksia muutettiin siten, että siitä saatiin ankkuripiste. Mittaukset erosivat jonkin verran toisistaan, koska haluttiin nähdä, miten muutokset vaikuttavat. Ankkurit oli sijoiteltu siten, että neljä ankkuria muodosti neliokulmion ja yksi ankkuri oli sen ulkopuolella. Tilasta valittiin tiettyjä paikkoja paikannustarkkuuden määrittystä varten. Jälleen etäisyydet otettiin sekä tietokoneohjelmasta että laseretäisyysmittarilla. Mittauspaikalle jätettiin merkki seuraavaa mittausta varten. Mittavirhettä oli yleisesti havaittavissa 20–40 cm, mutta pahimmillaan jopa 80–100 cm. Suurimmat heitot mittauksissa tulivat kauimpana mobiilinodesta olleelta ankkurilta.

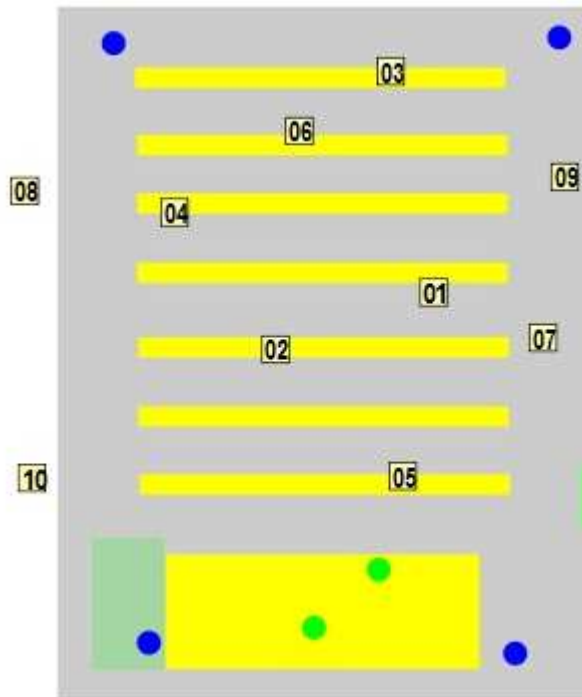
Tarkkuutta mitattiin myös siten, että ankkurit asennettiin katon rajaan, hieman alle 3 metrin korkeuteen antennit alaspäin. Vertailevia mittauksia tehtiin suurin piirtein samoilta mittauspaikoilta kuin edellisissä mittauksissa. Mittavirhettä oli kyseisillä mittauspaikoilla havaittavissa saman verran kuin edellisessä mittauksessa, jossa ankkurit olivat alempana ja antennit ylöspäin. Näköyhteyden paraneminen mobiilinodeen tosin nosti tarkkuutta paikoissa, joissa muuten saatiin ajoittain todella heikkojakin paikkatietoja.

4.3 Auditorio 2

Mittauksia suoritettiin auditoriossa 2 parin päivän ajan, jotta halutut mittaukset saatiin suoritettua. Auditorio 2:n koko on 10,3 m x 7,9 m. Tilassa on laskevat lattiat, kuten auditorioissa yleensä. Näissä mittauksissa käytettiin neljän ankkurin järjestelmää ja ankkurit asetettiin lähelle kulmia. Mittauksia suoritettiin virtuaalitageja käyttämällä ja viemällä paikalle myös konkreettinen esine paikan uudelleenlöytämistä varten.

Virtuaalitagi tarkoittaa tässä tapauksessa tietokoneen ruudulla käyttöliittymässä näkyvää pistettä, johon on mobiilinodeella jätetty merkki. Fyysistä tagia paikalle ei jätetä, vaan paikka näkyy ainoastaan tietokoneen ruudulla. Tagien määrällä ei ole rajoitusta ja niitä voidaan pinota esimerkiksi päällekkäin kuten laatikoita. Jos kuvitellaan järjestelmää käytettävän varastossa, jossa on paljon tavaraa, käyttäjä voi jättää tilaan virtuaalitageja ja tagin numeron perusteella myöhemmin helposti hakea etsimänsä tavarat. Kun tageja pinotaan päällekkäin, vain päällimmäisen tagin voi poimia mukaan yhdellä kertaa.

Aluksi tilaan vietiin suuri määrä virtuaalitageja toisen mobiilinodeen avulla. Tageja oli noin 15 kappaletta ja ne oli laitettu eri puolille huonetta. Kuvassa 8 on asetettu kymmenen virtuaalitagia auditorioon. Tagit on merkitty numeroin 01–10. Tilasta ei ollut saatavilla valmista pohjapiirrosta, joten kuva on itse piirretty mobiilinodejen paikkatietoja hyväksi käyttäen.



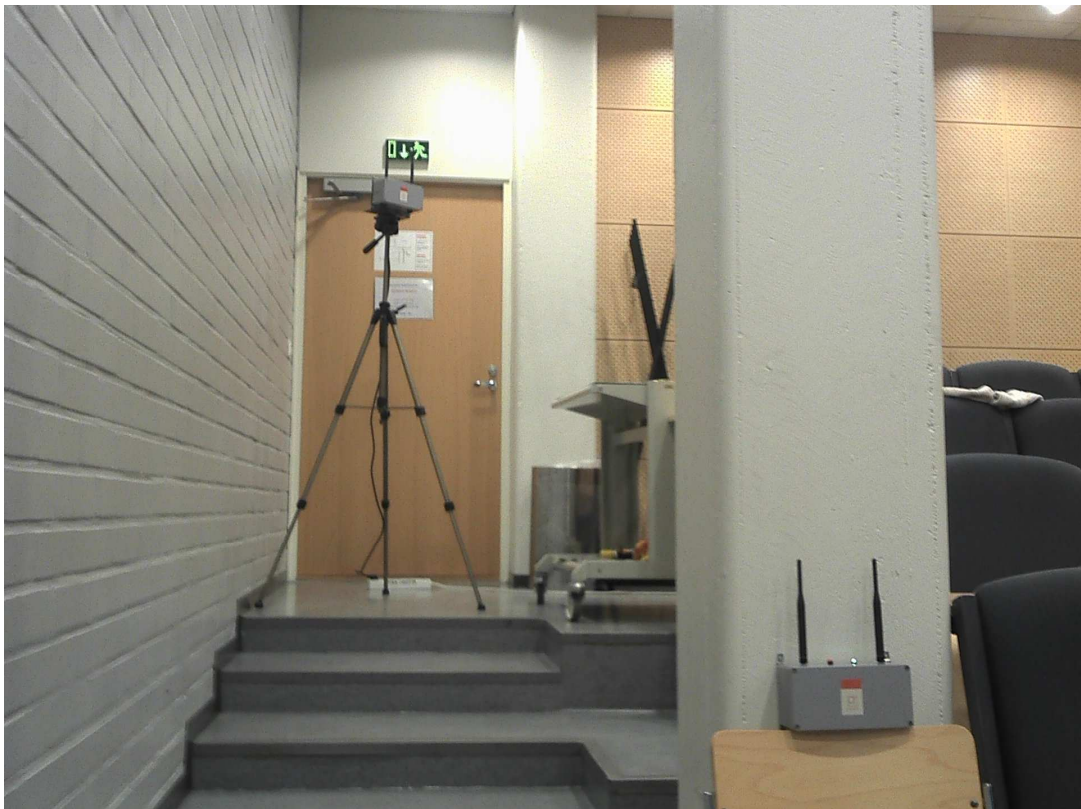
KUVA 8. Virtuaalitageja auditoriossa

Tämän jälkeen tagien paikkoja tarkastettiin toista mobiilinodea käyttäen. Tagi löytyi toisella mobiilinodeella joka kerta samasta paikasta, mihin se oli jätetty. Suurin osa tageista oli 0–10 cm:n virherajoissa ja pahimmillaankin virhetä oli vain 20 cm. Tältä osin mittaustulokset olivat erinomaisia, mutta mobiilinoden paikka pohjapiirroksessa ei joka kerta ollut siinä missä pitäisi. Kuitenkin molemmat mobiilinodeet näyttävät paikat aina samaan kohtaan. Esimerkiksi joissain paikoissa seinän lähellä molemmat mobiilinodeet näyttävät paikan samaan kohtaan tilan ulkopuolella. Tilanne oli sama myös auditorio 1:ssä. Kaikkein tarkin paikkatieto pohjapiirroksessa saatiin viemällä mobiilinode auditorion keskiosiin, vähintään 2 metrin päähän ankkuripisteistä.

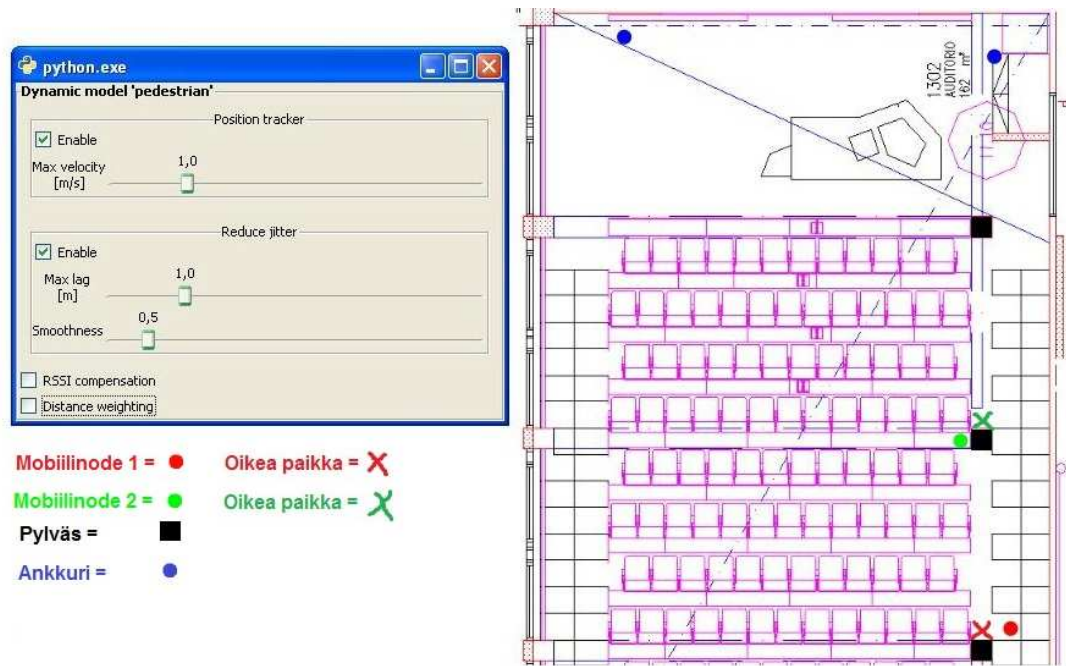
4.4 Auditorio 1

Näissä mittauksissa keskitytään auditoriossa olevien teräsbetonipylväiden vaikutukseen paikannustarkkuuden suhteen sekä induktiosilmukan mittaukseen. Auditorio 1 on kooltaan 16,55 m x 9,70 m ja vastaa elokuvateatterin salia. Näissä mittauksissa käytössä oli valmis pohjapiirros auditoriosta. Se löytyy liitteenä (liite 5) dokumentin lopusta. Liitteeseen on merkitty myös mit-

taustuloksia, joihin viitataan luvussa 5. Suoritetuissa mittauksissa tuli selväksi, että alle metrin etäisyydellä tilassa olevista pylväistä tarkkuus alkaa heikentyä. Tarkkuus heikentyy myös, kun mobiilinode viedään lähelle ankkuripistettä. Tällöin tarkkuuden heikkeneminen ei kuitenkaan ole niin voimakasta kuin teräsbetonipylväiden lähellä. Mobiilinode vietiin eri puolille ja eri etäisyyksille pylvästä. Mittaukset osoittavat, että tarkkuutta heikentävä vaikutus alkaa metrin etäisyydellä pylvästä. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty tilanne, jossa mobiilinode on asetettu aivan pylvään viereen.



KUVA 9. Mobiilinode on asetettu teräsbetonipylvään taakse



KUVA 10. Mobiilinodeihin pylväistä aiheutuva virhe

Ankkuripisteiden paikkojen muuttamisella ei ollut suurta vaikutusta tarkkuuteen, kun mobiilinode oli pylväiden lähellä. Välillisesti järjestelmä saattoi antaa oikeankin paikan, mutta mittauksia toistamalla paikka saatiin väärin selvästi useammin kuin oikein. Laitteiston mukana tulleissa asennusohjeissa ohjeistetaan välttämään mobiilinoden viemistä mahdollisesti metallia sisältävien rakenteiden lähelle, kuten seinät, katto tai pylväät. Metallin todetaan heikentävän suorituskykyä, kuten mittaukset ovat osoittaneet. Mittaukset tosin antavat epätarkkuuden rajaksi metrin, kun taas asennusohjeissa mainitaan 50 senttiä.

Induktiosilmukan voimakkuutta mitataan liittämällä mobiilinode, voimakkuusmittari ja kannettava tietokone tai tablet-tietokone yhdeksi kokonaisuudeksi, jonka kanssa kuljetaan penkkirivien välissä ja suoritetaan mittaukset. Aikataulullisista syistä näitä induktiosilmukkamittauksia ei kuitenkaan pystytty opinnäytetyön ohessa tekemään, koska paikannuslaitteiston ja induktiosilmukan laitteiston sovittaminen yhteen vei enemmän aikaa kuin oli odotettu. Samoin sopivan käyttöliittymän toteutus vaati enemmän aikaa kuin oli odotettu. Opinnäytetyön aiheena oli kuitenkin paikannustarkkuus, joten induktiosilmukan mittausten puuttuminen ei koko työtä viivästyttä. Se olisi kui-

tenkin tarjonnut paremman kuvan tuloksista kuin vain teoriassa kerrottu mitaustapahtuma.

Kun laitteisto on valmis, tarkoituksena on saatujen mittaustulosten sovittaminen pohjapiirroksen päälle asetettuun ruudukkoon. Ruutujen koko on 50 x 50 senttiä ja niitä kuvataan eri väreillä sen mukaan, mikä on induktiosilmukan voimakkuus. Mitatun tilan oveen olisi tarkoitus laittaa tämä kartta, josta induktiosilmukkaa käyttävä henkilö voisi sitten paikkansa valita siten, että kuuluvuus on paras mahdollinen.

5 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI

Työn aikana otettiin mittaustuloksia ylös usealla eri tavalla. Eri menetelmillä saatu tarkkuus erosi jonkin verran lasermittarilla mitattuun ns. oikeaan paikakatietoon nähden. Kun mittausdata otettiin graafisesta käyttöliittymästä saatuna tietona tai Excel-tiedostoon tulevista tiedoista, tulos oli sama. Graafisen käyttöliittymän tulos on tietyllä ajanhetkellä saatu mittaustulos, jota voidaan jonkin verran keskiarvoistaa itse ohjelmalla. Excel-tiedostoon tulevat näkyviin kaikki mittaustulokset. Mittausten aikaväli voidaan määrittää omaa käyttötarkoitusta vastaavaksi. Valmiista tiedostosta voidaan sitten laskea keskiarvo kaikkien mittausten keskiarvo. Kuvassa 11 havainnollistetaan sitä, miten tulokset tulevat näkyviin Excelissä.

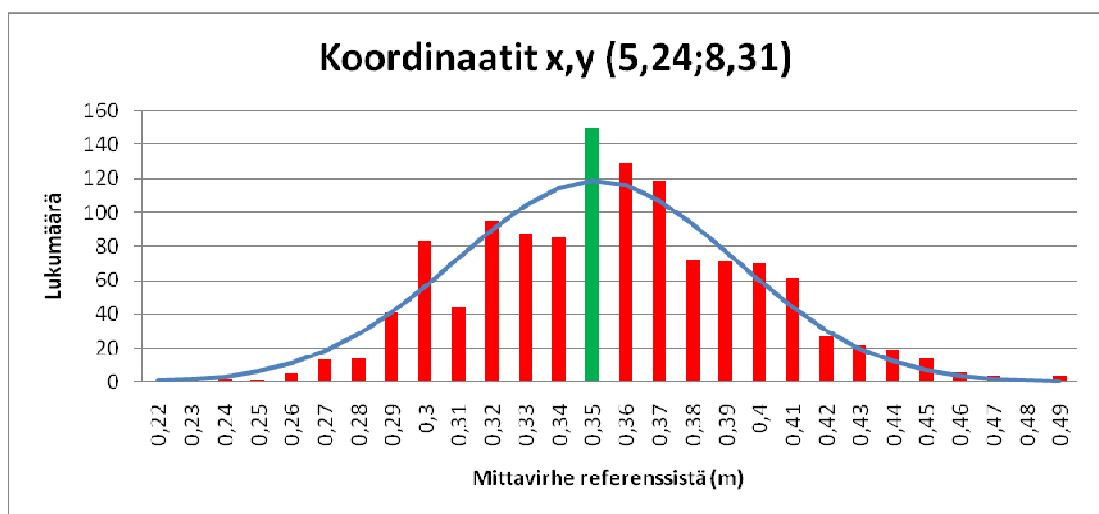
	A	B	C	D
1		x	y	z
2	RN1	5,36	0,28	2,73
3	RN2	4,69	13,27	2,73
4	RN3	5,77	7,95	3,03
5	RN4	0,45	0,43	2,73
6	MN1	0,85	8,47	2,72
7	MN2	5,51	4,97	1,5
8	MN2	2,18	0,11	1,5
9	MN2	2,18	0,11	1,5
10	MN2	2,18	0,11	1,5
11	MN2	2,19	0,29	1,5
12	MN2	2,18	0,49	1,5
13	MN2	2,18	0,48	1,5
14	MN2	2,19	0,45	1,5
15	MN2	2,22	0,42	1,5
16	MN2	2,27	0,37	1,5

KUVA 11. Mittaustuloksia Excel-taulukossa

Näistä tuloksista voidaan sitten laskea hajontalukuja, jotka havainnollistavat tuloksissa olevaa vaihtelua. Seuraavaksi esitetään kolme erillistä mittauspaikkaa auditorio 1:ssä. Mittauspisteistä on laskettu keskihajonta ja mittavirheen keskipoikkeama referenssiarvosta. Tuloksista piirretyt kuvaajat havain-

nollistavat mittaustulosten hajonnan, kun mittauksia on tehty kaikissa kolmessa pisteessä noin 1000 kappaletta. Kuvassa 12 on otettu eräs piste auditorion keskiosista ja laskettu sille keskihajonta. Sininen käyrä on tilanteeseen normitettu normaalijakauma, joka on piirretty keskihajonnan ja mittausten keskiarvopoikkeaman referenssiarvosta avulla. Keskihajonta tässä mittauspisteessä oli 0,0418 ja keskiarvon poikkeama referenssiarvosta 0,3511. Kun mittaustulosten keskiarvo on 0,35 m:n kohdalla, tarkoittaa se sitä, että mittausvirheen keskiarvon etäisyys referenssiarvosta on 0,35 m.

(13.)

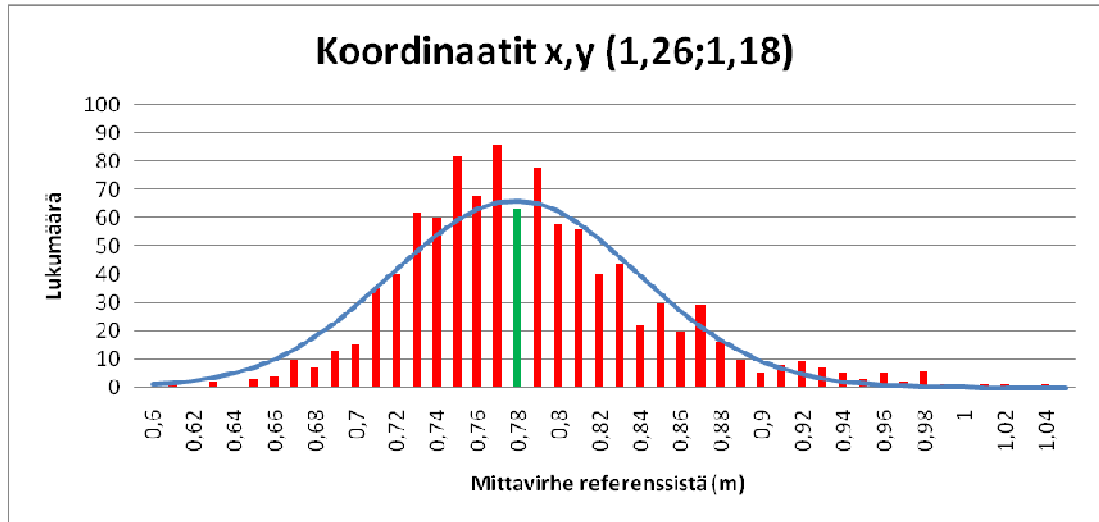


KUVA 12. Auditoriossa tehdyn mittauksen hajonta verrattuna normitettuun normaalijakaumaan. Mittauksen keskiarvoa kuvaa vihreä pylväs.

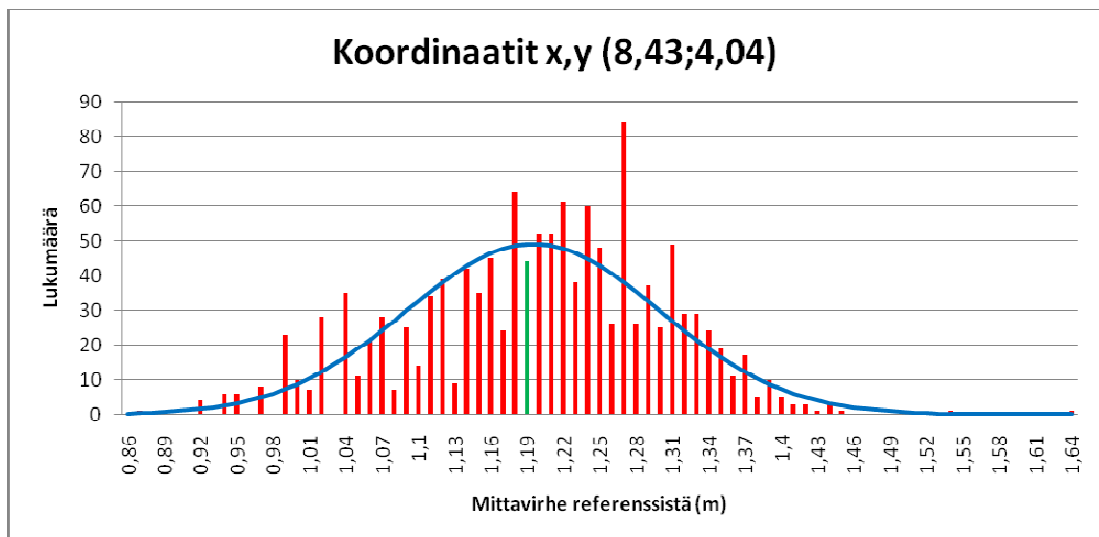
Kuvassa 13 mittaustaikaksi on valittu piste läheltä ankkuria. Kuten kuvasta nähdään, nyt mittaukset ovat jakautuneet laajemmalle alueelle. Keskihajonta tässä mittauspisteessä oli 0,0609 ja keskiarvon poikkeama referenssiarvosta 0,7789. Arvot olivat heikompia kuin edellisessä mittauksessa, kuten kuvasta voidaan nähdä. Mittaustulokset levisivät suuremmalle alalle.

Viimeinen eli kolmas mittaus on tehty ongelmia aiheuttaneen pylvään vieressä. Mittaus tehtiin pylvään vieressä, koska haluttiin saada selville, kuinka paljon valmistajankin mainitsema metallinen rakenne tarkkuuteen vaikuttaa. Keskihajonta tässä mittauspisteessä oli 0,1049 ja keskiarvon poikkeama referenssiarvosta 1,1950. Mittaustulos on nähtävissä kuvassa 14. Kaikkien

kolmen mittauksen keskiarvo ja keskihajonta on merkattu liitteeseen 5, samoin kuin mittauspaikatkin. Vihreät pallot kuvaavat mittauspaikkoja ja punaiset kuvaavat ankkuripisteitä. Pylväät on merkitty mustilla neliöillä.



KUVA 13. Auditoriossa tehdyn mittauksen tuloksia, joka on tehty ankkuripisteiden vieressä



KUVA 14. Auditoriossa tehdyn mittauksen tuloksia, joka on tehty teräsbetonipylvään vieressä

Tehdyt mittaukset poikkesivat tarkkuudeltaan eri mittaustiloissa. Hankelaboratoriossa, kooltaan 6,25 m x 13,7 m, tuli aika paljon heittoa tuloksiin tilan keskellä olevien hyllyrakenteiden ja osittain liian pienen tilan vuoksi. Järjes-

telmä toimii paremmin suuremmissa ja avarammissa tiloissa. Hankelaboratorion kokoisessa tilassa mittausten perusteella ulkoiseksi virheeksi voidaan antaa 30–70 cm tai hieman enemmän, jos näköyhteyttä ankkureihin ei ole. Pylväiden ja seinien aiheuttamalle mittausvirheelle ei ole oikeastaan tämänhetkisellä laitteistolla olemassa ratkaisua. Sisäistä virhettä alkaa tulla enemmän 50–100 cm:n etäisyydellä pylväistä ja se pahenee vielä lähemmäksi mentäessä.

Kun tarkkuutta mitataan virtuaalitagien avulla, sisäisen tarkkuuden merkitys tulee selvästi esiin joka paikassa. Graafisessa käyttöliittymässä näkyvään pohjapiirrokseen tulevat tagit löytyvät hankelaboratoriossa heikoimmillaan 30 cm:n etäisyydeltä niiden jättöpaikasta ja auditorioissa alle 20 cm:n etäisyydeltä.

Jos virtuaalitageja käytetään, tulee ottaa huomioon se, etteivät nekään näytä paikkaa täysin oikein pohjapiirroksessa, mutta kuitenkin toistoja tehtäessä aina lähes saman paikan. Pohjapiirros voidaan toki piirtää itse sitä mukaa, kun mittauksia tehdään, jolloin se ei ole mittakaavassa, mutta paikkojen pitäisi näkyä oikein. Tällainen toimintatapa on joissain tapauksissa toimiva ja joskus välttämätön, jos valmista pohjapiirrosta ei ole saatavilla, eikä sen saatavuutta voida aina olettaakaan.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työssä oli tarkoitus tutustua Essensium LOST -järjestelmään ja selvittää laitteiston tarkkuus sisätiloissa. Tavoitteena oli myös laitteiston tarkkuuteen vaikuttavien tekijöiden määrittäminen ja analysointi. Tuloksien puolesta työtä voidaan pitää onnistuneena ja alussa määritetyt tavoitteet saatiin täytettyä.

LOST-järjestelmän käyttämä taajuus on lisenssivapaa 2,4 GHz, jolla toimii useita muitakin laitteita, esimerkiksi ZigBee, WiFi ja Bluetooth. LOST perustuu signaalin kulkuaikaan radiotiellä (ToF) ja siinä käytetään hyväksi vastaanotossa saatua signaalin voimakkuutta eli RSSI-arvoa. Työssä käytettävä ToF-radiopaikannus perustuu trilateraatiolaskentaan eli siinä on vähintään kolme kiinteää ankkuripistettä, joiden paikat on määritetty.

Työtä aloittaessani tietoni sisäpaikannuksesta olivat perustasolla ja teoriapohjalla. LOST-laitteisto oli minulle ennestään tuntematon. Työn aihe, jonka sain Vinski Bräysyltä, oli mielestäni mielenkiintoinen ja haastava, joten mielenkiinnosta uudehkon tekniikan laitteistoon päätin ottaa haasteen vastaan. Alun perin tarkoitus oli, että paikannusmittausten ohessa mitattaisiin induktiosilmukan voimakkuutta ICDNET-hankkeessa sovelletulla mittarilla. Työn edetessä ja asioihin perehtyessä kävi kuitenkin ilmi, että laite induktiosilmukan voimakkuuden mittaamiseen ei tulisi valmistumaan ajoissa opinnäytetyötä varten.

Käytettävään laitteistoon kuuluu neljä ankkuripisteeksi asetettavaa laitetta ja kaksi paikannettavaa mobiilinodea. Laitteet ovat ulkomuodoiltaan samanlaisia, mutta mobiilinodeissa on sisällä akku. Virtaa akuissa riittää noin viideksi tunniksi kerrallaan. Laitteissa on RJ-45-liitäntä, jolla niistä saadaan mittaus-tiedot talteen tietokoneelle. Laitteet kommunikoivat langattomasti keskenään, joten kaikki mittaus-tiedot saadaan yhden liitännän kautta.

Valmistajan käyttöohjeissa ilmoittama metrin tarkkuus järjestelmän paikka-tiedossa saatiin ongelmakohtia lukuun ottamatta vahvistettua ja hyvissä mit-

tauosolosuhteissa jopa puolitettua. Hyviä tiloja mittausten suorittamiseen olivat koulun auditoriot, joista toinen vastasi kooltaan elokuvateatterin salia ja toinen isoa luentosalia. Ongelmallisiksi muodostuivat valmistajankin materiaaleissa ilmoitetut metallia sisältävät rakenteet, jotka heikensivät tarkkuutta jopa siinä määrin, ettei aina päästy edes metrin tarkkuuteen. Kun verrataan omia mittaustuloksia teorian tietoon, huomataan, että sisäinen virhe on lähes aina valmistajan antamien rajojen sisällä, mutta ongelmaksi muodostuu monissa paikoissa ulkoinen virhe, joka kasvaa paikoin jopa metriin. Käyttöohjeissa ei erikseen ilmoiteta tarkkuutta ongelmapaikoille.

Jatkokehityksen kannalta tulisi ottaa huomioon laitteiston koko, sillä järjestelmä onkin varsinaisesti kehitetty trukkien paikannukseen teollisuusalueilla ja varastoissa. Juuri tämän takia laitteet ovatkin järeän oloisia ja sään kestäviä. Pienikokoisempina laitteistolla olisi varmasti potentiaalia monenlaisiin sovelluksiin, joskin nykyiselläänkin käyttökohteita voi olla useita. Valmistajalla on käytössään prototyypin asteelle kehitettyjä pienempiä laitteita, joita se ei kuitenkaan ilmeisesti ole kaupallistamassa. Myös yhdelle piirilevyille toteutettavat SOC-tyypin laitteet ovat kehitystyön alla ja niiden julkaisu on määrä tapahtua vuonna 2011. Pienempi laite tarkoittaisi myös pienempää virrankulutusta, joka on aika kova nykyisellä laitteistolla, sillä akunkesto on vain noin 5 tuntia. SOC-laitteilla virrankulutus voitaisiin pudottaa murto-osaan nykyisestä.

Toinen jatkokehityksen asia on ulkoinen virhe, jota tuntuu olevan paikoin aika paljon. Ulkoista virhettä voitaisiin mahdollisesti parantaa kalibroimalla laitteet, jolloin mittaustekniikkaan liittyvät systemaattiset virheet otettaisiin paremmin huomioon.

Tämä työ tehtiin siis sovellusta varten, jossa vaadittiin istumapaikan tarkkuutta paikannusmittauksessa. Tämä mittaustarkkuus pystyttiin tarjoamaan, joten kyseinen käyttötarkoitus on mahdollinen. LOST-laitteistoa ja siihen liitettyä induktiosilmukkamittausta testataan yhdessä alkukesällä 2011, jonka jälkeen tilaaja tekee päätöksensä, ottaako se sovelluksen käyttöönsä.

LÄHTEET

1. Yritystakomo. 2011. Saatavissa: <http://www.yritystakomo.fi/>. Hakupäivä 8.5.2011.
2. Dunphy, Stephen 2010. LOST Technology. Saatavissa: http://www.essensium.com/Documents/LOST_Technology_01FT0922-006.pdf. Hakupäivä 26.1.2011.
3. Dunphy, Stephen 2010. LOST Sensor Tracking. Saatavissa: http://www.essensium.com/Documents/LOST_System_01FS0924-007.pdf. Hakupäivä 26.1.2011.
4. Dunphy, Stephen 2010. LOST Demo Kit. Saatavissa: http://www.essensium.com/Documents/LOST_Demokit_01FD0928-005.pdf. Hakupäivä 26.1.2011
5. Dunphy, Stephen 2009. LOST Location for Sensor Tracking EVALUATION KIT USER GUIDE. Saatavissa Demo Kitin mukana.
6. Dunphy, Stephen 2009. LOST Location for Sensor Tracking Datasheet Reference Node. Saatavissa Demo Kitin mukana.
7. Dunphy, Stephen 2009. LOST Location for Sensor Tracking Datasheet Mobile Node. Saatavissa Demo Kitin mukana.
8. Zigbee. 2010. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/ZigBee>. Hakupäivä 20.4.2011.
9. Norman, David Ian. 2009. Induction Loop System. Saatavissa: http://www.nti-audio.com/Portals/0/Products/Minstruments/ML1/AppNotes/NTI_AppNote_AFILS_E.pdf. Hakupäivä 22.2.2011.

10. Induktiosilmukka. 2010. Saatavissa:

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Induktiosilmukka>. Hakupäivä 18.2.2011.

11. Induktiosilmukka. 2009. Saatavissa:

<http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/apuvalineet/induktiosilmukka/>. Hakupäivä 24.3.2011.

12. Global Positioning System. 2011. Saatavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System. Hakupäivä 2.5.2011.

13. Wi-Fi Positioning System. 2011. Saatavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Positioning_System. Hakupäivä 2.5.2011.

14. Normal distribution. 2011. Saatavissa:

http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution. Hakupäivä 3.5.2011.

LIITTEET

- Liite 1. LOST-mittauksia 2.2.2011 hankelabrassa
- Liite 2. LOST-mittauksia 4.2.2011 hankelabrassa
- Liite 3. LOST-mittauksia 23.2.2011 hankelabrassa
- Liite 4. LOST-mittauksia 1.3.2011 hankelabrassa
- Liite 5. Pohjapiirros auditorio 1:stä

[illegible]

[illegible]

[illegible]

LOST mittauksia 1.3.2011 hankelabora																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2																
3	Testcase2 mittauksia koululla 1.3.2011															
4																
5	Testi1, kun ankkurit ovat 1,75m korkeudessa															
6	Testi2, kun ankkurit korkeudella 2,73															
7	Etäisyys lasermittarilla				3,91	9,28	RN2 - mittapiste		RN3 - mittapiste		RN4 - mittapiste		MN1 - mittapiste		Koordinaatit	
8	Etäisyys ohjelmistosta				3,93	9,71			4,19	6,77			5,96	Ohjelmasta (ka)		5,10; 4,22
9														Lasermittarilla		4,83; 3,99
10																
11	Etäisyys lasermittarilla					5,42			2,33				3,18	Ohjelmasta (ka)		3,32; 7,97
12	Etäisyys ohjelmistosta				8,27	5,67			2,83	12,17			3,09	Lasermittarilla		3,91; 7,98
13																
14	Etäisyys lasermittarilla				4,2				6,92	2,82			6,21	Ohjelmasta (ka)		1,82; 2,62
15	Etäisyys ohjelmistosta				4,38	12,95			7,94	2,7			6,29	Lasermittarilla		1,93; 2,40
16																
17	Etäisyys lasermittarilla				2,6	11,83			6,92	3,37				Ohjelmasta (ka)		2,42; 1,00
18	Etäisyys ohjelmistosta				3,03	12,41			7,82	3,96			8,15	Lasermittarilla		3,36; 1,50
19																
20	Etäisyys lasermittarilla													Ohjelmasta (ka)		6,06; 4,31
21	Etäisyys ohjelmistosta													Lasermittarilla		5,85; 4,31
22																
23	Etäisyys lasermittarilla					7,21			5,41	6,77			1,73	Ohjelmasta (ka)		2,14; 8,13
24	Etäisyys ohjelmistosta				8,58	7,85			5,6	7,88			1,39	Lasermittarilla		0,84; 7,18
25																
26																
27																
28																

