



TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Automaatio- ja systeemitekniikan osasto

Hanna-Liisa Suontama

Viittojen käyttö palvelurobotin työtehtävien määrittämisessä

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 27.11.2003.

Työn valvoja professori Aarne Halme ja ohjaaja tekniikan tohtori Pekka Forsman

Tekijä Hanna-Liisa Suontama	Päiväys 27.11.2003
	Sivumäärä 79
Työn nimi Viittojen käyttö palvelurobotin työtehtävien määrittämisessä	
Professuuri Automaatiotekniikka	Koodi AS-84
Työn valvoja Professori Aarne Halme	
Työn ohjaaja Tekniikan tohtori Pekka Forsman	
<p>Diplomityössä tutustutaan palvelurobotin työtehtävien määrittämiseen ja opastukseen viittojen avulla. Viittojen avulla välitetään robotille tarpeellista tietoa ympäristöstä ja työtehtävistä. Tutkimuskohteena ovat ennen kaikkea ulko-olosuhteisiin tarkoitettut palvelurobotit.</p> <p>Alkuosiossa perehdytään merkkien käyttöön, niiden havainnointiin ja sisältöön sekä tutustutaan jo käytössä oleviin merkkijärjestelmiin.</p> <p>Viitat jaetaan tyyppiltään aktiivisiin ja passiivisiin viittoihin. Työssä esitellään molempien viittatyyppien käytössä olevia sovelluksia. Pääpaino on passiivisissa viitoissa, mutta lisäksi tutustutaan myös aktiivisten viittojen toteutukseen mm. Bluetooth-tekniikan avulla.</p> <p>Työn keskeinen tutkimusalue on kamerakuvasta tunnistettavien passiivisten viittojen suunnittelu ja toteutus. Työssä esitellään passiivisten viittojen toteutusmahdollisuuksia sekä niiden käyttöä palvelurobotin työtehtävien määrittämisessä erilaisissa sovelluskohteissa. Sovellusosassa toteutetaan fyysinen suuntaviitta ja viitan kuvantunnistuskirjasto. Kirjasto sisältää viitan havainnoinnin, tunnistamisalgoritmin, paikantamisen ja suuntatiedon laskemisen. Kokonaisjärjestelmän toimivuutta testataan WorkPartner-palvelurobotilla.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena saadaan arvioita pelkän kamerakuvan soveltavuudesta viittojen havainnointiin, tunnistamiseen ja paikantamiseen ulko-olosuhteissa. Testit suoritettiin pääosin laboratorion hallissa, mutta myös ulko-olosuhteissa.</p>	
Avainsanat merkkijärjestelmä, viitta, kuvankäsittely	Kieli suomi

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Department of Automation and System Engineering **ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS**

Author	Date
Hanna-Liisa Suontama	27.11.2003
	Pages
	79
Title of Thesis	
Use of signs for configuring tasks for service robots	
Chair	Chair Code
Automation Engineering	AS-84
Supervisor	
Professor Aarne Halme	
Instructor	
Dr.Tech Pekka Forsman	
<p>This research is about signs and the use of them for the control operations of service robots. Signs are used for giving information about a particular task and about the operation environment of the robot. The main attention is given to service robots made for outdoor use.</p> <p>In the beginning there are some general information about signs. The first part also describes recognition methods and general contents of signs. The conventional signs and symbols used currently are also introduced.</p> <p>Signs used with service robots are divided into two categories; active and passive signs. Some pre-applications of both types are introduced. The main emphasis in the study is to implement passive signs and to use them for controlling a service robot, but there is also a generic research about implementation of active signs with Bluetooth-technology.</p> <p>The main focus with the passive signs is in the design of the signs, which can be recognized from a camera picture. Feasible ways to implement passive signs and use of them in different kinds of applications are introduced. Implementation part includes designing and implementation of a directional sign and also an image-processing library for finding and recognizing the sign from the picture. A routine for calculating the direction pointed by the directional sign is also given in the library.</p> <p>Functionality of the system is tested with WorkPartner service robot. The result of the thesis is an estimation of usability of a digital camera for detecting, recognizing and locating signs. Practical experiments were run both in the assembly hall of the laboratory and also outside of the building.</p>	
Keywords	Language
marking, sign, image processing	Finnish

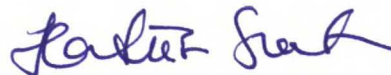
Alkulause

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun Automaatiotekniikan laboratoriossa osana WorkPartner-palvelurobotin kehitysprojektia.

Haluan kiittää työn toteutuksesta Automaatiotekniikan laboratoriota ja erityisesti työni valvojaa professori Aarne Halmea, joka ideoi tämän mielenkiintoisen diplomityön aiheen. Kiitokset myös työn ohjaajalle Pekka Forsmanille, jolta sain paljon hyödyllisiä neuvoja ja ohjeita työn eri vaiheissa.

Lisäksi haluan erityisesti kiittää rakasta aviopuolisoani Vesaa, jonka kommentit, palautteet, kärsivällisyys ja henkinen tuki mahdollistivat tämän työn onnistumisen.

Espoossa marraskuun 27. päivänä 2003



Hanna-Liisa Suontama

Sisällysluettelo

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS.....	3
ALKULAUSE.....	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO.....	8
1.1 WORKPARTNER	8
1.2 TUTKIMUKSEN TAUSTA	10
1.3 DIPLOMITYÖ	10
1.4 DIPLOMITYÖN TAVOITTEET JA RAJAUKSET	11
1.5 DIPLOMITYÖN RAKENNE	11
2 MERKKIKIELEN KÄYTTÖ VIESTINTÄVÄLINEENÄ	13
2.1 MERKKIKIELEN KEHITTYMINEN	13
2.2 MERKKIKIELEN SISÄLTÖ	14
2.3 MERKKIEN TULKINTA JA HAVAITSEMINEN	15
2.4 KEHITTYNEET MERKKIKIELET	16
2.4.1 Liikennemerkit.....	16
2.4.2 Merenkulun viitoitusjärjestelmä	18
3 VIITTOJEN KÄYTTÖ JA SOVELLUKSET	21
3.1 PASSIIVISET VIITAT	22
3.1.1 Vihivaunut	22
3.1.2 Maamerkit	23
3.1.3 Pohdintaa	24
3.2 AKTIIVISET VIITAT	25
3.2.1 Aktiiviset majakat	26
3.2.2 Monirobottijärjestelmät	27
3.2.3 Pohdintaa	29
4 AKTIIVISTEN VIITTOJEN TOTEUTUS	30
4.1 RFID	30
4.1.1 Palomar-piirit	32

4.1.2	RFID:n käyttö aktiivisissa viitoissa	32
4.2	BLUETOOTH	33
4.2.1	Yleistä	33
4.2.2	Bluetooth robottisovelluksissa	35
4.2.3	Bluetooth aktiivisissa viitoissa.....	36
4.3	GPS	37
4.3.1	GPS-tekniikka aktiivisessa viitassa	38
5	PASSIIVISTEN VIITTOJEN TUNNISTUS- JA PAIKANNUSTEKNIIKAT	40
5.1	SENSORIT	40
5.1.1	Laser-skanneri.....	41
5.1.2	Värikamera.....	41
5.1.3	Laserpointteri	41
5.1.4	GPS vastaanotin.....	41
5.1.5	Gyro	41
5.1.6	Inclinometrit eli kulma-anturit.....	42
5.2	TUNNISTUS- JA PAIKANNUSTEKNIIKAT	42
5.2.1	Laserperusteinen paikannus	42
5.2.2	Kameraperusteinen paikannus	43
6	PASSIIVISTEN VIITTOJEN MERKKIJÄRJESTELMÄ	45
6.1	WORKPARTNER-PALVELUROBOTIN TEHTÄVÄN OPASTUS	45
6.2	VIITTOJEN KÄYTTÖ	45
6.3	VIITTOJEN RAKENNE, TOTEUTUSTAVAT JA KÄYTTÖ.....	46
6.4	VIITTOJEN KÄYTTÖ ERI SOVELLUSKOHTEISSA.....	49
6.4.1	Työskentely uudessa ympäristössä kertaluontoisissa tehtävissä	49
6.4.2	Työskentely tuntemattomassa ympäristössä toistuvissa tehtävissä	51
6.4.3	Työskentely tunnetussa ympäristössä.....	52
7	PASSIIVISEN VIITAN TOTEUTUS WORKPARTNER- PALVELUROBOTILLA	55
7.1	RAKENNE.....	55
7.2	VIITAN ETSIMINEN JA PAIKANTAMINEN	56
7.3	KUVANKÄSITTELY	60

8	TUTKIMUSTULOKSET	62
8.1	AKTIIVISET VIITAT	62
8.2	PASSIIVISET VIITAT	64
8.2.1	Kalibrointi	65
8.2.2	Etäisyyden mittaus	65
8.2.3	Viitan paikannus	67
8.2.4	Viitan suuntatarkkuus	70
8.2.5	Menetelmän toimivuus ja luotettavuus	71
8.2.6	Viittojen havainnoinnissa huomioitavaa.....	71
9	YHTEENVETO	73
9.1	TULOKSIEN ARVIOINTI	73
9.2	TUTKIMUKSEN ARVIOINTI JA PUUTTEET	74
9.3	TULEVAT HAASTEET	74
	LÄHDELUETTELO	76
	LIITE 1	78
	KUVANTUNNISTUSOHJELMA	78
	LIITE 2	79
	KUVANTUNNISTUSOHJELMAN ETÄISYYDEN MITTAUKSEN KALIBROINTITÄULUKOT ..	79

1 Johdanto

Liikkuvat robotit ovat viime vuosina kehittyneet teollisuusroboteista ihmistä avustaviksi palveluroboteiksi. Tiedonsiirto- ja ympäristön havainnointitekniikoiden kehittyessä palvelurobotteihin saadaan ominaisuuksia, jotka mahdollistavat robotin työskentelemisen ihmiselle suunnatuissa tehtävissä myös kotiympäristössä. Palvelurobotit ovat ihmisen avuksi kehitettyjä liikkuvia koneita, joiden on tarkoitus auttaa ihmisiä heidän jokapäiväisissä askareissaan. Palvelurobottien kehitys on viime vuosina ollut nopeaa. Kaupallisia tuotteita on jo olemassa muun muassa nurmikon leikkuurobotti, joka hoitaa piha-alueen nurmikon leikkuun itsenäisesti ennalta määritellyn alueen perusteella sekä siivousrobotti, joka imuroi kodin sisätiloja esteitä väistellen. Tulevaisuudessa robotin tehtäväkenttää voidaan laajentaa yhä kattavammaksi.

1.1 WorkPartner

Tämän diplomityön sovelluskohteena käytetään Teknillisen korkeakoulun Automaatiotekniikan laboratorioissa kehitettyä WorkPartner-palvelurobottia. WorkPartner on nelijalkainen, kentauri-tyyppinen palvelurobotti (Kuva1). Robotti on suunniteltu työskentelemään ihmiselle suunnatuissa kevyissä ulkotöissä interaktiivisesti ihmisen kanssa.



Kuva 1 WorkPartner-palvelurobotti

Robotilla on neljä jalkaa, joissa jokaisessa on pyörä. Robotin hyvä liikkuminen ulko-olosuhteissa perustuu tähän hybridijärjestelmään. Robotilla on kolme erilaista liikkumistapaa. Tasaisella maalla se voi edetä pyörien avulla. Vaikeakulkuisessa maastossa robotti voi liikkua kävelemällä ja voi näin ylittää esteitä. Kolmas liikkumistapa on kävelyn ja pyörien yhteiskäyttö (*rolking*). Maaston ollessa suhteellisen tasainen ja esteiden ollessa matalia, robotti voi liu'uttaa jalan esteen yli.

Robotin työskentelyn mahdollistaa manipulaattori, jossa on kaksi kättä. Käsien avulla robotti voi esimerkiksi tarttua esineisiin ja kuljettaa niitä paikasta toiseen. WorkPartner nimi tulee tavoitteesta tehdä robotista oppiva robotti, joka kykenee käyttämään erilaisia työkaluja ja työskentelemään interaktiivisesti ihmisen kanssa.

Käyttäjät tai operaattorit voi kommunikoida robotin kanssa puheella ja eleillä tai teleoperoida robottia kauempaa Internetin kautta. (Ylönen & Halme, 2002)

WorkPartner-robottia on kehitetty vuodesta 1998 alkaen. Tällä hetkellä menneillään on mm. robotin kognitiivisen käyttöliittymän kehitys. Projekti on tarkoitus saada päätökseen vuoden 2005 loppuun mennessä.

1.2 Tutkimuksen tausta

Tämä diplomityö on osa Teknillisen korkeakoulun Automaatiotekniikan laboratorioissa toteutettua SESULI-projektia (Liikkuvien koneiden SEuraavan SUpolven käyttöLiittymä). Tutkimusprojektin tavoitteen on tutkia, kehittää ja demonstroida uuden tyyppistä älykästä käyttöliittymää liikkuvalla työkoneelle. Käyttöliittymä rakentuu konseptille, jossa hyödynnetään ihmisen kykyä hahmottaa työtehtäviin liittyviä kokonaisuuksia ja suunnitella koneen tekemää työtä. Käyttöliittymäkonsepti hyödyntää perinteisten koneenohjaus- ja valvontatoimintojen sijasta toimintatilan käsitettä, jossa ohjaus ja valvonta tapahtuu työtehtävien havainnointiin ja suoritukseen sidottuna. Toimintatila muodostuu käyttäjän havainnoimasta fyysisestä toimintaympäristöstä ja siinä liikkuvasta koneesta sekä työkohteesta.

Projektin yksi osa-alue on tutkia viittojen soveltamista käyttöliittymän osana työtehtävien määrittämiseen. Viitat ovat opasteita, jotka antavat robotille tietoa sen ympäristöstä. Niitä voidaan arkielämässä verrata tieviittoihin, jotka määrittelevät autoilijoille missä he saavat ajaa, kuinka nopeasti ja mitkä ovat kiellettyjä alueita. Viittoja käyttämällä tavoite on saada palveluroboteista entistä joustavampia ja ympäristöriippumattomampia. Tavoite on että robotille ei tarvitsisi kädestä pitäen opettaa työtehtävään liittyviä paikkoja ja reittejä. Viittojen avulla voitaisiin robottia ikään kuin etäohjelmoida. Työpaikalla ihminen voisi esimerkiksi viittojen avulla käydä merkitsemässä alueen, jossa robotti myöhemmin suorittaa työtehtävän ja kulkureitin alueelle jotta robotti voitaisiin myöhemmin lähettää tekemään tehtävä itsenäisesti.

1.3 Diplomityö

Diplomityössä kartoitetaan passiivisten ja aktiivisten viittojen käyttötarvetta ja käyttömahdollisuuksia sekä tutkitaan viittojen toteutustekniikoita, fyysistä rakennetta ja niiden sisältämää informaatiota. Lisäksi etsitään vaihtoehtoja toteuttaa aktiivisten viittojen tiedonsiirtotekniikka ja pohditaan mahdollisia energiaratkaisuja.

Tutkimuksen pääpaino on passiivisten, koneen kamerakuvasta tunnistettavien viittojen suunnittelu ja toteutus.

Tutkimukseen sisältyy käytännön osana robotin työalueen määrittäminen passiivisia viittoja apuna käyttäen. Tutkimuksessa toteutetaan viittojen rakentaminen, viitan tunnistamisalgoritmi kamerakuvasta, kuvan antaman informaation tulkinta sekä viittojen integrointi osaksi WorkPartnerin kokonaisuohjausta.

1.4 Diplomityön tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tärkein tavoite on kehittää yksinkertaisia viittoja, joiden avulla robotti voi hahmottaa työtehtäviä ja -ympäristöä. Tavoite on että robotille ei enää tarvitse määrittää työskentelyaluetta koordinaattien avulla vaan robotti määrittää itse työalueensa etsimällä viitoilla rajatun alueen ympäristöstä. Lisäksi viittoja voidaan käyttää maamerkkeinä liikkuvan robotin paikannuksessa.

Tutkimuksessa toteutettavien viittojen on tarkoitus olla helposti liikuteltavia ja idea on että niiden paikka ei ole tunnettu, kuten maamerkkien yleensä vaan käyttäjä voi asetella ne itse haluamiinsa paikkoihin opastamaan robottia ja robotti paikantaa havaitsemansa viitat oman globaalien sijaintinsa perustella.

Tutkimus rajoittuu viittojen toteutuksessa passiivisiin viittoihin. Aktiivisten viittojen toteuttaminen tehdään erillisenä projektina myöhemmin. Tämä tutkimus sisältää kuitenkin esitutinnan aktiivisten viittojen toteuttamiseksi.

1.5 Diplomityön rakenne

Tutkimuksen alussa (Luku 2) esitellään merkkikielen käyttöä viestintävälineenä. Luku on pohja-aineistona myöhemmin esitellyille passiivisten viittojen toteutusratkaisuille. Luvussa 3 esitellään viittojen käyttöä ja tällä hetkellä toteutettuja viittojen kaltaisia sovelluksia robotiikassa. Seuraava luku (Luku 4) sisältää aktiivisiin viittoihin liittyvän esitutinnan viittojen toteutusmahdollisuuksista. Luvussa 5 esitellään diplomityössä käytetyn robotin sensoreita ja ympäristön havainnoimistekniikoita.

Seuraava luku eli luku 6 on tutkimuksen kannalta tärkeimpiä lukuja. Siinä selvitetään ja perustellaan passiivisten viittojen toteutusvaihtoehtoja edellä esitetyihin lukuihin pohjautuen. Luku 7 sisältää edellisessä luvussa esitellyn viittajärjestelmän mukaan

toteutetun suuntaviittajärjestelmän WorkPartner-palvelurobotille. Luku sisältää viitan rakenteen kuvauksen sekä käytettyjen kuvankäsittelymenetelmien esittelyyn.

Luvussa 8 esitellään tutkimustulokset. Luvun alussa on lyhyesti aktiivisten viittojen esitutkinnan tulokset ja loppupuolella esitellään ja raportoidaan suuntaviitan toteutuksessa saadut tutkimustulokset ja pohditaan valitun viittajärjestelmän toimivuutta. Viimeinen luku (Luku 9) sisältää yhteenvedon tutkimuksesta.

2 Merkkikielen käyttö viestintävälineenä

Merkkien käyttö ja tulkinta on elämän keskeisiä prosesseja. Elävien olentojen kyky havaita ja tulkita merkkejä mahdollistaa niiden olemassaolon jatkuvuuden. Ihminen havainnoi ympäristöönsä jatkuvasti merkkien kautta, niin kuin se on tehnyt läpi historian. Alkuasukas etsi ruokaansa luonnon merkkejä, saaliin jalanjälkiä seuraamalla, nykyihminen tunnistaa tarvitsemansa elintarvikkeet ruokakaupan nimikyltistä. Toiminnan perusta on molemmilla sama. Merkkejä tulkitaan ja niiden avulla tehdään erinäisiä johtopäätöksiä.

Ihmisen tapa tulkita ympäröivää maailmaa on hyvin automatisoitunut ja koska johtopäätöksemme arkisissa tilanteissa ovat usein oikeita, emme tiedosta maailman merkkiluonnetta. Vasta kun tapahtumien kulku poikkeaa odotetusta, joudumme tarkastamaan käsityksiämme ja pohtimaan olemmeko tulkinneet asioiden merkityksen oikein. (Veivo, 1999)

Robottien ympäristön havainnoissa merkkien tuntemus on vielä alkuvaiheessa. Merkkien käyttö ja tulkinta muistuttaa tasoa, joka oli alkukantaisella ihmisellä. Kameran avulla robotti pystyy tunnistamaan muotoja ja värejä ja seuraamaan niitä. Yhä enemmän kehittyvät myös erilaiset hahmontunnistusmenetelmät, jotka mahdollistavat merkkien laaja-alaisemman tulkitsemisen. Kirjaimista saadaan sanoja, joille on olemassa merkitys.

2.1 Merkkikielen kehittyminen

Ihminen on käyttänyt merkkikieltä visuaaliseen viestintään tuhansien vuosien ajan. Vanhin muoto tästä viestinnästä on eleet, joiden avulla ihmiset kommunikoivat toistensa kanssa. Kehityksen myötä merkistö on vakiintunut ja eleille ja äänneille on tullut tietty merkitys. Eri kulttuureissa ja uskonnoissa on kehittynyt omia kirjainmerkkejä ja lisäksi kulttuuriin liittyviä omia merkkejä ja symboleja.

Merkit ovat selvästi jaoteltavissa kahdentyyppisiin merkkeihin, luonnollisiin ja sovittuihin. Luonnolliset merkit ovat pääasiassa eläinten käyttämää viestintää toisilleen. Lisäksi siihen kuuluu kehon luonnollinen viestintä, kuten esim. hymy (viesti positiivinen).

Semiotiikka on merkkejä tutkiva tieteenala, joka tutkii sekä merkityksien muodostumista että merkkijärjestelmiä. Merkit voidaan semioottisen tulkinnan

mukaan jakaa eri tyyppeihin, riippuen siitä millä tavalla merkki kytkeytyy sen sisältämään kuvalliseen informaatioon.

Ikoni on merkki, joka viittaa tarkoitamaansa kohteeseen pelkästään sen omien ominaisuuksiensa ansiosta. Objektiin ja ikonin suhde perustuu samanlaisuuteen ts. merkki kuulostaa tai näyttää kohteeltaan (esim. valokuva).

Indeksi on merkki, joka viittaa tarkoitamaansa objektiin, koska kyseessä oleva objekti vaikuttaa siihen. Tällöin merkillä on suora yhteys kohteeseensa ja merkki ja kohde ovat kytkeytyneet toisiinsa. Esim. savu on tulen indeksi, punastuminen ujouden jne.

Symboli on merkki, joka viittaa tarkoitamaansa objektiin, koska se ymmärretään merkiksi. Suhde merkin ja objektiin välillä on tällöin etäisin eli pelkästään sopimuksenvarainen. Sanat ovat käytetyimpiä symboleja. Kuva 2 esittää kartoissa käytettyjä symboleja. (Veivo, 1999)



Kuva 2 Kartoissa käytettyjä symboleja

2.2 Merkkikielen sisältö

Merkki käsitteenä yhdistetään usein erilaisiin käsitteisiin kuten ele, jälki, kuva, symboli. Merkki mielletään ikään kuin korvikkeeksi, se on informaation esitystapa yhteisön välisessä kommunikoinnissa. Merkki kuuluu johonkin merkkijärjestelmään, joka ilmaisee käsityksiä todellisuudesta. Merkkijärjestelmä on sovittu tapa hahmottaa ympärillä olevia asioita pelkistetyllä ja yksinkertaisella tavalla.

Tässä tutkimuksessa tutustutaan merkkien käyttöön kommunikoitaessa robottien kanssa, tällöin olennaisena osana on merkkien toteutustapa. Koska viittojen sisältöä pyritään tulkitsemaan kamerakuvan avulla, on ilmeistä että tässä tutkimuksessa keskitytään graafisten merkkien käyttöön.

Merkeillä on olemassa mentaalinen käsitiesisältönsä eli merkitys. Merkkien toiminta ja käyttö perustuu tähän käsitiesisältöön. Yhteisön välinen kommunikaatio edellyttää, että sen osapuolet liittävät saman käsitiesisällön samoihin merkkeihin. (Veivo, 1999)

Merkkien ja symbolien ulkoasun peruskuviona on yleensä ympyrä, neliö, kolmio tai kirjain/numeromuodot. Merkkien suunnittelussa tärkeää on kiinnittää huomiota muotojen puhtauteen ja selkeyteen ja suosia modernia muotokäsitystä, joka on helposti tulkittavissa eikä sekaantumisen vaaraa ole. Yleensä värien valinnan lähtökohdaksi on mustavalkoinen kuva. Symbolin ja merkin on oltava selkeä ennen kaikkea mustavalkoisena. Ympäristöolosuhteissa käytettävillä merkeillä (liikennemerkkit) värien merkitys korostuu. Värien vaikutusta ihmissilmän havainnointiin on tutkittu mm. liikennemerkkien suunnittelun yhteydessä ja on havaittu että ihmissilmä havaitsee tietyt väriyhdistelmät herkemmin kuin toiset. Liikennemerkkit ovatkin suunniteltu niin että värien valinnalla korostetaan myös merkin tärkeyttä. Liikennemerkkit on pyritty jakamaan muodon ja värin perusteella loogisesti eri tarkoituksiin. Merkin havaitsija saa jo pelkän merkin muodon tai värin perusteella informaatiota merkin sanomasta, esimerkiksi onko kyseessä varoitus vai kielto. Merkeissä keskellä esiintyvä symboli tai sen puuttuminen täsmentää informaatiota. (Karttunen, 1982)

2.3 Merkkien tulkinta ja havaitseminen

Ihmisten välisessä kommunikaatiossa pitää kiinnittää erityistä huomioita merkkien tulkintaan. Ihmisten tapaan tulkita ja hahmottaa merkkien sisältöä vaikuttavat merkkijärjestelmän tuntemuksen lisäksi, heidän omat näkemyksensä ja asenteensa merkin antamaan informaatioon. Merkin asettajalla on oma näkemyksensä siitä mitä hän haluaa merkin kautta viestittää vastaanottajalle. Vastaanottajan käsitys merkin sisällöstä ei ole välttämättä täysin sama kuin asettajan. Esimerkkinä ovat erilaiset rajoitusmerkit. Liikenne rajoitusten asettaja haluaa nopeusrajoitusten avulla viestittää merkin tulkitsijalle suurimman sallitun nopeuden. Merkin havaitsijan käsityksistä riippuu, miten havaitsija toimii merkin tulkittuaan. Toiselle nopeuden rajoitusmerkki on ehdoton nopeuden yläraja, toiselle se on vain viesti, jonka avulla hän arvioi oman maksiminopeutensa.

Työkoneiden ja robottien kanssa näkökulma merkkien sisältöön on hieman erilainen. Vaikka robotti toimii merkkien havainnoijana ja tunnistajana, on ihminen silti

merkkien todellinen tulkitsija. Merkkijärjestelmän käyttäjä määrittelee robotille käytettävän merkkijärjestelmän ja merkkien absoluuttisen sisällön ohjelmoidessaan robottia. Robotin ja merkin välisessä kommunikaatiossa pysyy tällöin merkin viestintäsisältö samana sekä robotilla että käyttäjällä. Robotin merkintunnistamisjärjestelmästä riippuen merkkien tunnistamisessa ja tätä kautta niiden tulkinnassa voi kuitenkin tulla virhettä.

Merkkien havaitsemisessa eteen tulevia kysymyksiä ovat usean merkin samanaikainen havaitseminen ja niiden identifiointi. Informaatiota antavat merkit tulee asettaa ympäristöön siten, että samanaikaisesti robotin havaittavissa on mahdollisimman vähän merkkejä. Merkkien käsittelyjärjestys tulee olla selkeä, esim. ensin tulkitaan varoitusmerkit sitten opastusmerkit. Liikennemerkkien havainnoinnissa on erityisen tärkeää, että merkkien havainnointi tapahtuu tärkeysjärjestyksen mukaan, sillä esim. autojen kulkunopeudet ovat melko suuret ja reagointiaikaa on vähän. Liikkuvien robottien yhteydessä kulkunopeudet ovat huomattavasti pienemmät ja näin reagointiaikaa ympäristöön on paljon enemmän. Viittojen käyttöä ajatellen on niiden havainnointi- ja käsittelyjärjestys suhteellisen selkeä. Ensin havainnoidaan ympäristössä näkyvät viitat ja sen jälkeen tulkitaan viittojen sisältöä siinä järjestyksessä kuinka lähellä ne ovat robottia tai sen kulkusuuntaa. (Luoma, 1982)

2.4 Kehittyneet merkkikielet

2.4.1 Liikennemerkkit

Liikennemerkkit ovat tiellä liikkujille asetettuja määräyksiä, varoituksia ja opasteita, jotka auttavat tiellä liikkujia toimimaan yhteisten pelisääntöjen mukaan. Liikennemerkkit sisältävät välttämätöntä tietoa onnistuneelle ajamiselle, ne välittävät tietoa sen hetkisistä liikennejärjestelyistä, määrittelevät ajo-oikeuksia, sallivat ja kieltävät suuntia, varoittavat vaaroista jne. (Johansson, 2002)

Liikennemerkkit jaetaan erilaisiin luokkiin riippuen siitä kuinka tärkeää tietoa ne välittävät liikkujille. Liikennemerkkien avulla pyritään antamaan tiellä liikkujille mahdollisimman selkeää ja havainnollista tietoa huomioon otettavista asioista. Liikennemerkkit ovat jaoteltu varoitus-, kielto-, rajoitus-, määräys-, ohje- ja opastusmerkkeihin. Varoitusmerkit ovat muodoltaan kolmioita ja niiden väri on

huomiota herättävän punaisen, keltaisen ja mustan yhdistelmä. Kolmion muoto yhdistetään yleisesti varoitukseen. Kielto- ja rajoitusmerkeissä käytetään samaa väriyhdistelmää, mutta merkin muoto on pyöreä. Määräysmerkit ovat väriltään sinivalkoisia ja muodoltaan pyöreitä. Ohjemerkit ovat vastaavan värisiä mutta suorakulmaisia. Opastusmerkit ovat vaikeimmin havaittavia ja niiden havainnointi vaatii eniten käsittelyä. Opastusmerkit ovat suunnistus- tai etäisyystauluja ja paikannimiä. Opastusmerkit ovat osa liikennemerkkijärjestelmää ja niitä käytetään tiellä kulkevien opastamista ja suunnistamista varten. Niiden tehtävä on luonteeltaan ohjaava, eikä niiden noudattamiseen sisälly velvoitteita. Opastusmerkeillä ei myöskään tarkoiteta että kaikkien tarvitsisi havainnoida ne (esimerkiksi tieviitoituksen merkit ovat tärkeitä vain osalle tien käyttäjistä). (Luoma, 1982)

Liikennemerkkien suunnittelua voidaan lähestyä kahdesta näkökulmasta. Merkkijärjestelmän lähtökohta voi olla painottunut merkkien suunnitteluun ja käyttöön lähtökohtana ihminen tai toinen tapa on pyrkiä ensisijaisesti kouluttamaan ihmiset tietynlaisten merkkien käyttöön. Merkkien suunnittelun ongelmana on monesti myös ristiriitaiset vaatimukset, esimerkiksi hyvin erottuva, pelkistetty merkki ei useinkaan ole ihmiselle helposti muistettava. (Luoma, 1982)

Merkkien sisältämän informaation määrä on rajoitettu. Luoma (1982) tutkiessaan opastusmerkkien havaittavuutta, päätyi tulokseen, että jos merkeissä on liian paljon informaatiota sekä havaittujen että muistettujen merkkien osuus vähenee. Lisäksi informaation tulee olla esitetty järjestelmällisesti ja täsmällisesti, jotta niiden sisällön tulkinta olisi nopeaa ja ymmärrettävää.

Kuva 3 esittää liikennemerkkiä, joka koostuu kahdesta kuvallisesta elementistä, kolmiosta ja hirven kuvasta. Kummallakin elementillä on oma itsenäinen merkityksensä, kolmio on vaaran merkki ja hirvi kuvaa mistä vaarasta on kyse. Liikennemerkki rakentuu siis merkkien yhdistelylle. Kuva ja sen muoto ovat kuitenkin jakamaton kokonaisuus, jota ei voi käyttää muiden merkkien luomiseen. (Veivo, 1999)



Kuva 3 Hirvivaarasta kertova liikennemerkki

Merkkijärjestelmä voi olla myös toisentyypinen, se voi perustua merkityksettömien piirteiden yhdistämiseen. Tällainen on esimerkiksi asioiden kuten bussilinjojen numerointi. Numero 63 tarkoittaa tiettyä bussilinjaa, mutta numerot 6 ja 3 eivät kerro mitään oleellista merkistä. Tällainen merkkijärjestelmä perustuu pelkästään nimeämiseen, sen tehtävänä on tuottaa merkkejä, jotka viittaavat yksinkertaisesti ja järjestelmällisesti yksittäisiin asioihin, kuten bussireitteihin. (Veivo, 1999)

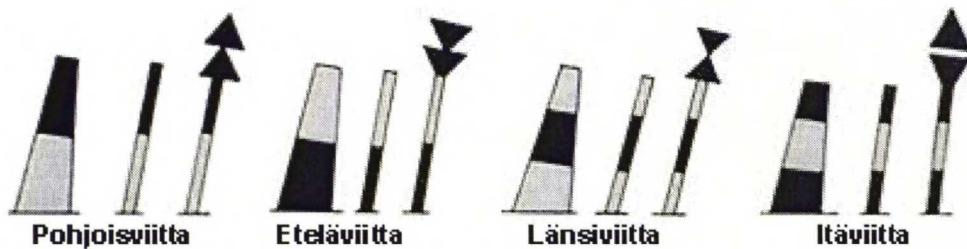
Jälkimmäisenä esitetty merkkijärjestelmätyyppi on selkeä ja looginen ja perustuu pelkästään sovittuihin merkityksiin. Asioiden jakamisen, luokittelu ja niiden esittäminen tietyllä koodilla on yksinkertainen tapa kommunikoida yhteisön sisällä. Menetelmä toimii hyvin niin kauan, kuin yhdelle ihmiselle tarpeellisten, muistettavien merkkien määrä pysyy hallittuna. Tarpeellisten merkkien määrän kasvaessa ihmisen käsittelykyvyn ulkopuolelle rajoittuu niiden käyttö oleellisesti. Myös palveluroboteille kehitettävien merkkien määrä on syytä pysyä hallittuna huolimatta siitä, että robotti pystyy hallitsemaan ja muistamaan suuriakin merkkijärjestelmiä, jotka sille on ohjelmoitu. Ongelmia tulee kuitenkin muiden käyttäjien eli ihmisten puolella. Merkkien tulee olla myös käyttäjän ja operaattorin helposti hallittavissa ja muistettavissa.

2.4.2 Merenkulun viitoitusjärjestelmä

Merenkulussa on jo pitkään ollut käytössä erilaisia väylien ja karikkojen merkitsemistapoja. Merenkulun historian alkuaikoina merimerkkeinä olivat erilaiset kummelit eli noin 1.5 metrin korkuiset valkoiseksi kalkitut kivirakennelmat rannoilla ja tunnusmajakat (pookit) eli puiset tai kiviset tornit, jotka osoittivat väylän alkua tai kulkua. Seuraavaksi tulivat valaistut majakat, jotka tehtiin varoittamaan matalikoista

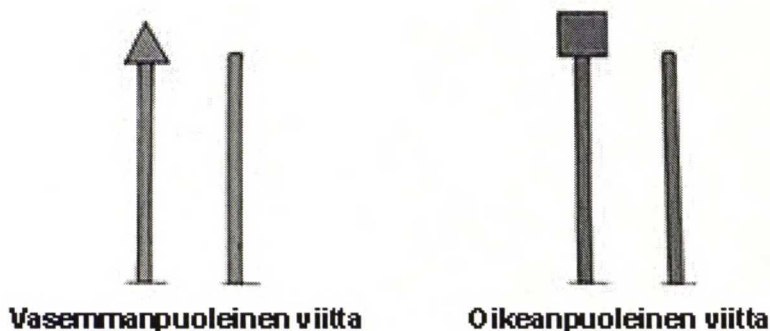
ja ohjaamaan tärkeille väylille. 1900-luvun alussa tuli automaattimajakat ja loistot, jotka olivat ikään kuin kevytrakenteisia majakoita. Nykyisin tärkeimpänä merenkulun apuvälineenä ovat edellä mainittujen lisäksi GPS-paikannusjärjestelmä ja merimerkkijärjestelmä. (HY/Kansantiede, 2001)

Merimerkit jaetaan kolmeen pääryhmään, kardinaali-, lateraali ja erikoismerkkeihin. Kardinaali- eli perusmerkit osoittavat millä puolella viittaa väylä kulkee (Kuva 4).



Kuva 4 Kardinaaliviitat

Lateraaliviitat eli reunaviitat (Kuva 5) osoittavat väylän reunat. Viitat ovat joko punaisia tai vihreitä. Sääntöjen mukaan punainen merkki jää vasemmalle ja vihreä oikealle, kun kuljetaan merikarttaan merkittyä väylän nimelliskulkusuuntaa.



Kuva 5 Lateraaliviitat

Erikoismerkkejä ovat mm. karimerkki ja turvavesimerkki, jotka ovat pystytolppia, joihin on väreillä merkitty niiden merkitys. Karimerkki on punamusta ja turvavesimerkki on punavalkoinen. (Merenkululaitos, 2003)

Vesiliikennemerkkien toteutustapa on erityisen mielenkiintoinen tämän tutkimuksen kannalta. Vesi ympäristönä ja veneilijät muistuttavat hyvin paljon palvelurobottien käyttäytymistä. Molemmissa tapauksissa viittojen suunnittelussa täytyy huomioida että viitan havaitsija voi lähestyä viittaa lähes aina mistä kulkusuunnasta tahansa ja näin viitan täytyy olla muodoltaan ja viestiltään sellainen että se voidaan havaita

useasta eri suunnasta. Merimerkkijärjestelmässä tämä on huomioitu sillä, että viitat ovat rakennettu pystytolpiksi, joissa informaatio on koodattu raidoitetuilla värikoodeilla tai pelkästään yhdellä värillä. Raidallinen pystytolppa on helppo havaita joka suunnasta ja sen avulla voidaan esittää helposti perusmerkkejä.

Väylää merkitessä käytetään lateraalimerkkejä. Lateraalimerkit asetetaan väylän varrelle nimelliskulkusuunnan mukaiselle puolelle. Merkit ovat aseteltu suhteellisen vapaasti ja ne jättävät väylällä liikkujalle melko paljon vapaata tilaa. Merkkien tehtävä on opastaa veneilijä kiertämään mm. karikkoja, saaria, matalikoita jne. Lateraalimerkit ovat aseteltu aina niin että peräkkäisten merkkien väli on turvallista kulkea. Toisin sanoen, jos veneilijä ei tiedä nimelliskulkusuuntaa se voi aina olla varma että reitti merkiltä seuraavalle on turvallista aluetta.

3 Viittojen käyttö ja sovellukset

Viittojen ja merkkien käyttö ihmisille suunnatussa viestinnässä on hyvin yleistä. Sovittujen merkkien avulla ihmiselle saadaan helposti viestitettyä tietoa ympäristöstä ja sen vaaroista. Ihmisen näköjärjestelmä on hyvin pitkälle kehittynyt ja valitsemalla sopivia värisävyjä ja kontrasteja ihmisen on yleensä helppo havaita viitat ympäristöstä.

Roboteissa ja muissa itsenäisesti liikkuvissa työkoneissa näköjärjestelmänä toimii kamera tai laserskanneri ja niihin kytketty kuvankäsittelyohjelmisto. Digitaalisen kuvankäsittelyn kehittyessä kameranäöstä saadaan yhä luotettavampaa ja toimintavarmempaa. Nykyisin viittoja käytetään palvelurobotiikassa ja työkoneissa lähinnä maamerkkeinä, tarkoituksena antaa robotille tai työkoneelle paikkatietoa.

Kamera- tai laserkuvasta tunnistettavien viittojen käytön haasteena on niiden tunnistaminen ja erottelu. Erilaisiin viittoihin sisältyy erilaista tietoa ja robotin täytyy kyetä nopeasti käsittelemään tämä tieto navigoinnin mahdollistamiseksi. Viittojen sisältämän informaation esittäminen värien avulla mahdollistaa monimutkaisen rakenteen tekemisen yksinkertaisesti ja näin robotin tiedon käsittelyn nopeammaksi. (Yang, 1995)

Kamerakuvasta tunnistettavat viitat voivat sisältää myös informaatiota, joka on mahdollista havaita kuvasta hahmontunnistuksen avulla. Hahmontunnistuksessa jaetaan muotoja erilaisiin luokkiin, joilla kullakin on oma sisältönsä robotille. Hahmontunnistus on rakenteeltaan monimutkaisempi toteuttaa kuin kohteen tunnistaminen värin avulla. (Yang, 1995)

Itsenäisen robotin liikkeessa ympäristössä viittojen opastamalla alueella on tärkeää, että robotti kykenee havaitsemaan viitat helposti ja muodostamaan niiden avulla kartan ympäristöstä, jossa se työskentelee. Viittojen tulee tällöin olla helposti havainnoitavia ja robotin tulee havainnoida niitä jossain järjestyksessä.

Viittojen käytön ajatuksena on, että palvelurobotin käyttäjä voi konfiguroida robotin työtehtäviä viittojen avulla. Viittojen käytössä korostuu viittojen antaman informaation tärkeys. Viitat tulee olla sijoitettu niin, että robotti voi kaiken aikaa havaita ja tunnistaa ne ympäristöstä sekä lukea ja tulkita viittojen sisältöä. (Yang, 1995)

3.1 Passiiviset viitat

Viittoja voidaan jakaa tyypiltään kahteen luokkaan, aktiivisiin ja passiivisiin viittoihin. Jako perustuu viitan kommunikointiin ympäristön kanssa, passiivinen viitta on stabiili ja ei kommunikoi käyttäjän kanssa kun taas aktiivinen viitta on yhteydessä ympäristöön. Passiiviset viitat ovat merkkejä tai helposti tunnistettavia kappaleita (tolpat, pallot), joilla on tietty väri tai muoto, jotta ne voidaan tunnistaa laser-skannerin tai kamerakuvan avulla. Viitta voi sisältää informaatiota myös sovittujen merkkien muodossa. Kun viitta havaitaan ja tunnistetaan, sen paikka voidaan määrittää laserskannerin, kamerakuvan tai erillisen etäisyysmittalaitteen (esim. laserosoitin) avulla. Passiiviset viitat antavat vain näköhavaintoa robotille. Passiivisella viitalla voidaan merkitä reitti, rajata alue, osoittaa suuntaa tai näyttää jokin kohde.

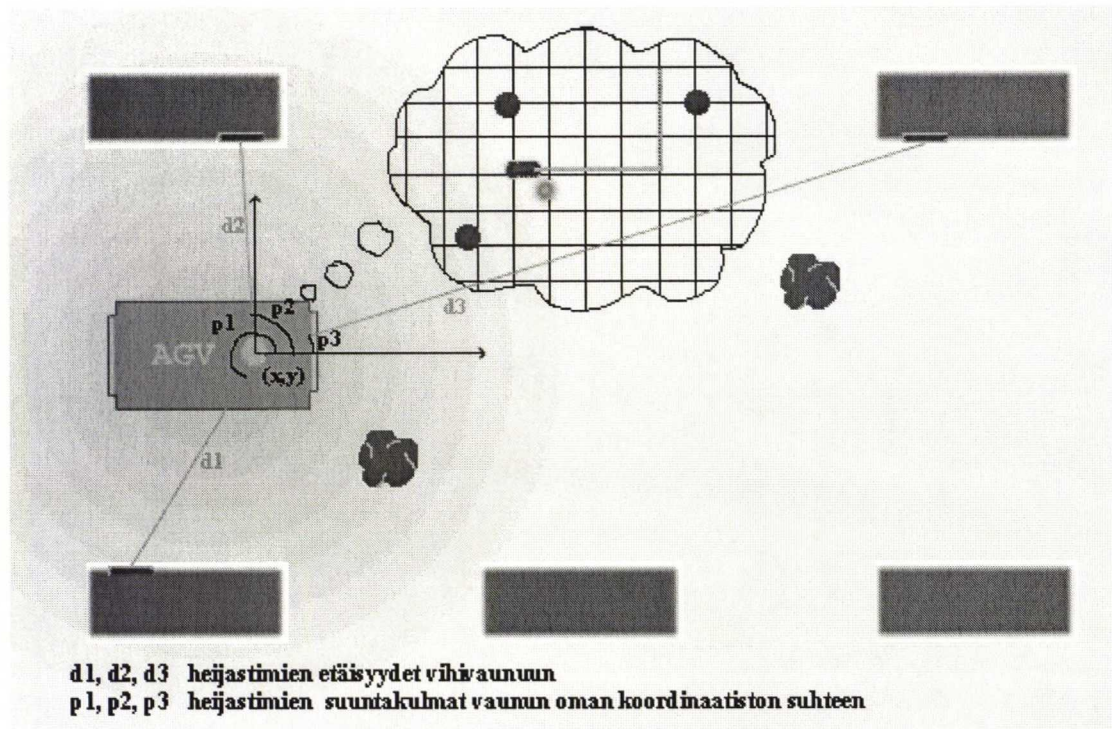
Passiivisten viittojen sovelluksia on käytetty paljon teollisuudessa mm. robottien navigoinnissa teollisuushalleissa. Tällä hetkellä käytetyt viittasovellukset perustuvat kaikki siihen, että viitan paikka on tunnettu ja se on muistissa robotin elektronisessa kartassa, joka sillä on ympäristöstä.

3.1.1 Vihivaunut

Vihivaunut eli automaattitrukit ovat itsenäisesti tehdashalleissa tai varastoissa liikkuvia trukkeja, jotka ajavat ympäristössä ennalta määrättyjä reittejä pitkin suorittaen samalla siirto-, nosto- tai kuljetustöitä.

Vihivaunujen navigointi perustui pitkään lattiaan upotettujen johtojen seuraamiseen. Lattiaan upotettu sähköjohto muodostaa ympärilleen magneettikentän, jonka vihivaunun pohjassa oleva sensori havaitsee. 1980-luvulla vihivaunuihin alettiin soveltamaan lasernavigointia, joka periaatteeltaan muistuttaa passiivisten viittojen käyttöajatusta. Vihivaunussa on lasertutka, joka etsii ympäristöstä esim. seiniin kiinnitetyjä heijastimia. Tutka havaitsee heijastimen ja saa kaiun lähettämälleen lasersäteelle (Kuva 6). Heijastuksesta (esim. säteen kulkuaika) lasketaan heijastimen etäisyys vihivaunuun. Lisäksi lasketaan heijastimen suuntakulma vaunun oman koordinaatiston suhteen. Heijastimia tulee olla reitin varrella näkyvissä koko ajan vähintään kolme kappaletta, jotta vaunu voi paikantaa itsensä kartalle, jossa näkyvät myös heijastimien paikat. Lasernavigoinnin etuna on heijastimien suhteellisen helppo

liikuteltavuus ja reittien muuttaminen vihivaunun elektronista karttaa päivittämällä.
(AGV Electronics, 2003)



Kuva 6 Vihivaunun lasernavigointi (heijastimien havainnointi)

3.1.2 Maamerkit

Maamerkkejä on käytetty liikkuvan robotin sijainnin määrittämisessä, kun maamerkkien paikka ympäristössä on tunnettu. Maamerkkejä on käytetty myös robotin omalla odometrialla lasketun paikkatiedon päivittämiseen. Yleisin menetelmä liikkuvan robotin sijainnin määrittämisessä on murtoviivasuunnistus, jossa robotin omien sisäisten sensorien avulla lasketaan kuljettua matkaa ja suuntaa ja sen avulla robotin omaa paikkaa ympäristössä. Menetelmän epätarkkuudesta johtuen robotin sijaintia pyritään kalibroimaan välillä ulkoisten maamerkkien avulla.

Maamerkit voivat olla keinotekoisesti asetettuja merkkejä tai luonnollisia maamerkkejä. Keinotekoiset maamerkit ovat ihmisen rakentamia, helposti havaittavia kohteita esimerkiksi pylväitä tai laatikoita, joille on tunnusomaista että ne on aseteltu tunnettuihin paikkoihin ympäristössä. Keinotekoisien maamerkkien etu on että ne voidaan suunnitella helposti havaittaviksi jopa vaikeissa ympäristöolosuhteissa. Keinotekoisissa maamerkeissä voi olla myös lisättyä informaatioita etäisyyden

mittausta varten. Maamerkki voi olla esimerkiksi tietyn muotoinen tai kokoinen. (Betke, 1997)

Luonnolliset maamerkit ovat selvästi erottuvia muotoja ja piirteitä ympäristössä. Ne ovat luonnossa tai ympäristössä sijaitsevia tunnettuja kohteita, kuten rakennusten seiniä, katuvaloja, puita jne. Luonnolliset maamerkit ovat ympäristössä jo valmiina eikä niitä tarvitse asettaa sinne erikseen. Oleellista on että robotilla on etukäteen tiedossa maamerkkien sijaintikoordinaatit ja näin maamerkin löydettyään se voi päivittää omaa paikkatietoaan. Luonnollisten maamerkkien havainnointi ja tunnistaminen on vaikeampaa kuin keinotekoisien ja näin myös menetelmän luotettavuus ei ole välttämättä yhtä hyvä. (Betke, 1997)

3.1.3 Pohdintaa

Kiinnostus palvelurobottien kehittämiseen on ollut viime vuosikymmenenä kovassa kasvussa. Tähän asti suuri osa tutkimuksesta on kuitenkin keskittynyt kehittämään vain sisäoloissa toimivia ja työskenteleviä robotteja. Tarpeiden myötä on kasvamassa kiinnostus myös haastavampien esim. ulko-olosuhteissa toimivien palvelurobottien kehittämiseen. Esimerkkinä tästä on Teknillisen Korkeakoulun Automaatiotekniikan laboratoriossa kehitetty WorkPartner-palvelurobotti, joka on kehitetty toimimaan yhteistyössä ihmisen kanssa nimenomaan ulko-olosuhteissa.

Tällä hetkellä palvelurobottien navigointi perustuu vielä pitkälle tunnettuihin paikkoihin asetettujen maamerkkien havaitsemiseen. Viittojen käyttö robotin työtehtävien osoituksessa on vielä suhteellisen uusi asia. Tutkimuskentällä robotiikan alueelta ei löydy vielä sovelluksia, jossa passiivisia viittoja olisi hyödynnetty tässä tutkimuksessa esitellyllä tavalla. Vihivaunujen lasernavigointi on tunnetussa ympäristössä toimimista ja robotti tarvitsee edelleen päivitetyn kartan ympäristöstään. Maamerkkien käytössä viittaa (maamerkkiä) käytetään myös sen globaalipaikka tuntien.

Tässä tutkimuksessa viittoja lähestytään kuitenkin toisesta näkökulmasta. Passiiviset viitat ovat viittoja, joiden paikkaa ei ole ennalta määrätty. Viittoja pyritään käyttämään samaan tapaan kuin ilmaistaessa ihmiselle tietoa niiden avulla. Olennaista ei ole että robotti tietää tarkalleen oman globaalin sijaintinsa vaan että se pystyy hahmottamaan viittojen avulla ympäristönsä ja toimimaan siinä viittojen antaman

informaation mukaan. Mikäli robotti määrittää myös viittojen globaalin paikan, viittoja voidaan käyttää myös robotin navigoinnin apuna maamerkkien tapaan.

Koordinaattipohjaisessa reitinmäärittämisessä palvelurobotin lisäksi myös robotin työskentely-ympäristössä toimiville ihmisille täytyy selvittää miten robotti toimii ja millä alueella. Passiivisilla viitoilla pyritään antamaan myös työskentely-ympäristössä liikkuville ihmisille tietoa robotin työskentelyalueesta, niin että nämä ihmiset havaitessaan viitat pystyvät hahmottamaan robotin työskentelyalueen ja kulkureitit.

Palvelurobotin työtehtävien määrittämiseksi robotille tulee yleensä määrittää paikka tai alue, jossa sen tulee suorittaa työtehtävä. Esimerkiksi piha-alueella nurmikon leikkuualue voidaan määrittää passiivisten viittojen avulla. Viittojen avulla voidaan myös rajata kiellettyjä alueita sekä osoittaa kulkureittejä. Tässä tutkimuksessa viittojen soveltamista tutkitaan nimenomaan ulko-olosuhteisiin sijoitettavien palvelurobottien työtehtävien konfiguroinnissa.

3.2 Aktiiviset viitat

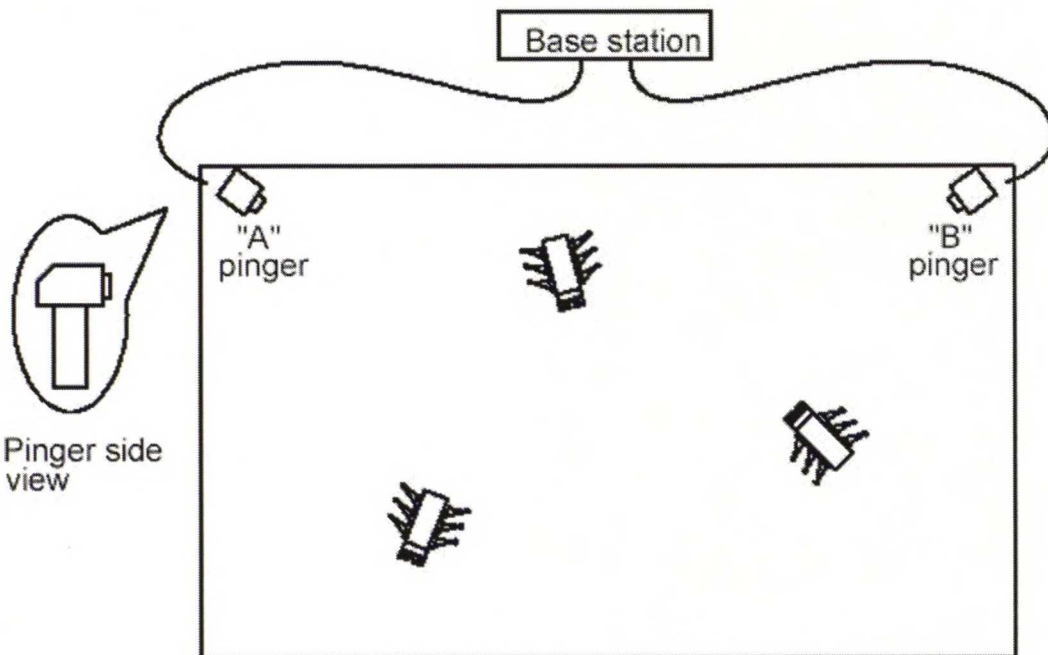
Aktiiviset viitat ovat haastavampia ja monimutkaisempaa älyä sisältäviä viittoja. Aktiivisen viitan nimi tulee sen kyvystä olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. Passiivisten viittojen sisältämän visuaalisen informaation lisäksi aktiivinen viitta voi sisältää tietoa robotin työtehtävän määrittämistä varten. Aktiivinen viitan olennainen osa on sen sisältämä muistipiiri, johon käyttäjällä on mahdollisuus ladata tietoa robottia varten. Aktiivisten viittojen toteutuksessa keskeisiä kysymyksiä ovat viitan tiedonsiirtotekniikka sekä vähäinen energian kulutus.

Aktiiviset viitat voivat olla lähietäisyydeltä tunnistettavia etätunnistimia eli RFID-saattomuisteja, joiden sisältämää tietoa voidaan lukea tai niihin voidaan kirjoittaa uutta tietoa. Tällaisia aktiivisia viittoja voidaan käyttää robotin työtehtävien konfiguroinnissa. Monirobottijärjestelmässä muistia sisältävät viitat voivat sisältää yhden robotin kirjoittamaa tärkeää tietoa toiselle robotille ja näin saadaan robottien toiminnasta tehokkaampaa ja vältetään esimerkiksi toistamista jo tehtyjä töitä tai virheitä. Pidemmän kantomatkan ratkaisussa aktiivisten viittojen tiedonsiirtotekniikan toteuttamiseen voidaan käyttää Bluetooth- tai GSM-tekniikkaa. Aktiivisia viittoja on tällä hetkellä toteutettu lähinnä kokeilu- ja tutkimusasteella.

3.2.1 Aktiiviset majakat

Aktiivisten viittojen ensimmäisenä sovelluksena voidaan pitää aktiivisia majakoita (*active beacons*), joita käytetään samaan tapaan kuin passiivisia maamerkkejä. Aktiiviset majakat ovat lähettimiä, jotka lähettävät valoa tai radiotaajuuksia, jotka robotissa oleva vastaanotin havaitsee. Robotti laskee etäisyytensä havaittuihin majakoihin vastaanotetun signaalin perusteella. Robotin oma paikkatieto voidaan laskea mittaamalla suuntakulma kolmeen tai etäisyys vähintään kahteen majakkaan. Kuten passiivistenkin majakoiden myös aktiivisten majakoiden paikkatieto tulee olla tiedossa robotilla etukäteen. Aktiiviset majakat ovat tarkka ja nopea menetelmä ennen kaikkea tehdas-, toimisto-, sairaala- ja muissa selkeissä ympäristöissä suunnistettaessa. (Kleeman, 1992)

Aktiivisia majakoita voidaan toteuttaa myös esimerkiksi ultraäänen avulla. Yksi tällainen sovellus on IS Robotics:n valmistama 2-D paikannusjärjestelmä (Kuva 7).



Kuva 7 IS Robotics:n ultraääniperusteinen paikannusjärjestelmä

Kuvan 7 järjestelmässä on kanta-asema ja kaksi ultraäänilähetintä (*pingers*). Roboteissa on UÄ-vastaanotin. Robotit kommunikoivat kanta-aseman kanssa RF-linkin kautta. Kanta-asema liipaisee ultraäänilähettimet lähettämään ultraäänipulsseja ja samalla se välittää radioteitse tiedon roboteille että pulssit ovat lähetetty. Radiopakettien saapumisesta ultraäänen havaitsemiseen kuluneesta ajasta robotti voi

laskea aktiivisten majakoiden etäisyyden ja sitä kautta oman paikkansa alueella. (Borenstein, 1996)

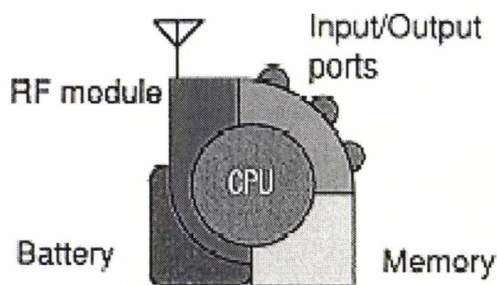
Nykyisin paljon käytetty tyypillinen aktiivinen majakka on GPS (Global Position System)-satelliitti. GPS-järjestelmää käytetään nykyään hyvin paljon navigointiapuna laivoissa, lentokoneissa ja myös erilaisissa maalla kulkevissa ajoneuvoissa. GPS-järjestelmän avulla saadaan selville absoluuttiset paikkakoordinaatit 5-15m tarkkuudella.

3.2.2 Monirobottijärjestelmät

Advanced Engineer Center Japanissa on kehittänyt monirobottijärjestelmän nimeltään DARS (Distributed Autonomous Robotic System), joka käyttää hyödykseen aktiivisia viittoja tiedonsiirrossa robottien ja ympäristön välillä.

Tutkimuksen tavoitteena on kasvattaa robottijärjestelmän joustavuutta ja muunneltavuutta vaihtelevissa työtehtävissä, jossa ympäristöolosuhteet muuttuvat. Tutkimuksessa on kehitetty kaikkialla läsnä oleva tietokoneen käyttömahdollisuus IDC (Intelligent Data Carrier). IDC mahdollistaa aktiivisen tietoyhteyden robottien ja sen ympäristön välillä. (Asama, 2001)

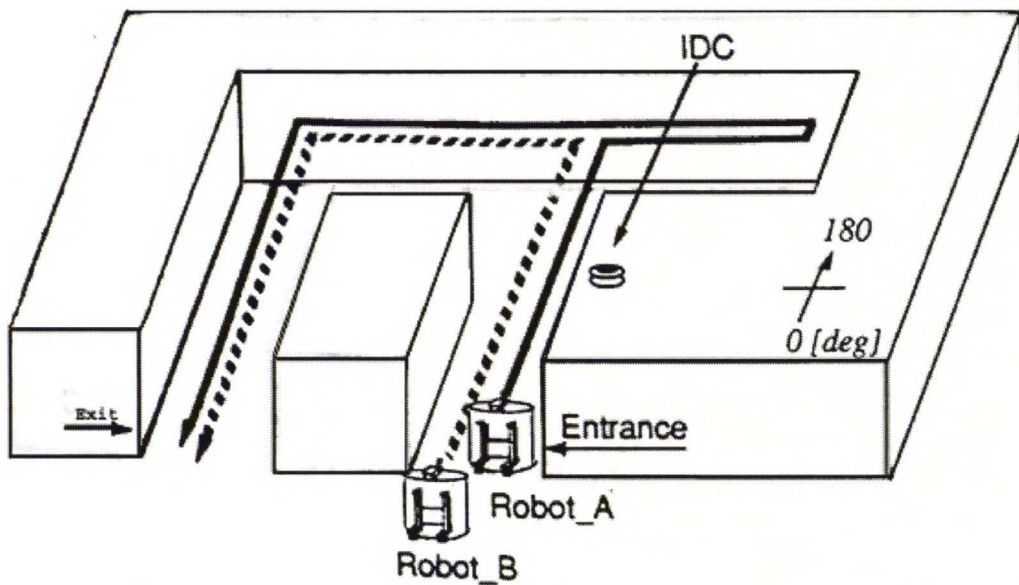
IDC on kannettava elektroninen tiedonkuljetin (Kuva 8), jossa on mahdollisuus tiedon talletukseen (uudelleenkirjoitettava pysyvä muisti), tiedon käsittelyyn (CPU), paikalliseen langattomaan datan siirtoon (RFID-yhteys), energian saantiin (akku - vaihtoehtoinen) ja ulkoiseen porttiliitäntään (I/O rajapinta).



Structure of IDC

Kuva 8 Elektronisen tiedon kuljettimen IDC:n rakenne

Robotit voivat kommunikoida IDC:n kanssa robotissa olevalla luku/kirjoituslaitteella, ne voivat myös lisätä tai päivittää IDC:ssä olevaa tietoa. IDC voi tiedottaa robotille tietoa navigointia tai työtehtäviä varten tai viestittää robotille muiden robottien siihen kirjoittamaa tietoa. Kuvassa 9 robotti A kulkee sokkelossa ja etsii tietä ulos. Robotti kulkee eteenpäin oikeanpuoleista seinää seuraten. Koska robotilla ei ole tiedossa reittiä se joutuu tarkastamaan myös umpikujan eli samalla se tekee ylimääräisen lenkin ympäristön hahmottaakseen. Kun robotti on tarkastanut umpikujan se kirjoittaa IDC:n tietoa reitistä ja näin seuraava robotti tullessaan paikalle saa tiedon umpikujasta, eikä sen tarvitse enää tehdä ylimääräistä lenkkiä.



Environment search using IDC's

Kuva 9 IDC:n käyttö monirobottijärjestelmissä

IDC-sovelluksia robotille voi olla esimerkiksi jaettu tehtävien hallinta esineiden kuljetuksessa. Esineiden tai tavaroiden siirto on yksi perustehtävä vihivaunujärjestelmissä. Tehtävänä on yleensä siirtää satunnaisina aikoina mielivaltaisiin kohteisiin ilmestyviä tavaroita vaihtuviin kohteisiin. Jatkuvasti muuttuva tilanne on vaikea hallita keskitetyllä tavalla. Tällaisissa tapauksissa voitaisiin soveltaa IDC:n käyttöä. Tehtävän määrittäminen (tavaroiden määränpää, käsittelyohjeet, tuoteseloste, kiireellisyys, tunnistus) voidaan tallettaa siirreltäviin tavaroihin kiinnitettyihin IDC-piireihin. Robotit, joiden tehtävä on kuljettaa tavaroita saavat tiedon saapuneista tavaroista kulkiessaan tavaroiden ohi. Ne lukevat

kuljetukseen liittyvät tiedot tavaran IDC-piiristä ja suorittavat kuljetustehtävän. (Asama, 2001)

3.2.3 Pohdintaa

Aktiivisten viittojen käyttö palvelurobotiikassa on vielä kovin vähäistä. Tässä tutkimuksessa etsitään ratkaisuja, joissa aktiivisen viitan avulla kyettäisiin välittämään robotille tehtäväkohtaista tietoa ja määrittäisi. Lisäksi tavoitteena on tutkia mahdollisuuksia havaita aktiivinen viitta kauempaa kuin ihan lähietäisyydeltä.

Tällä hetkellä vastaavia sovelluksia ei ole käytössä palvelurobotiikassa. Edellä esitelty monirobottijärjestelmä muistuttaa vähän tässä tutkimuksessa tavoiteltua käyttötarkoitusta. Siinä on kuitenkin rajoitteita saattomuistin käytössä, lähinnä kantomatkan suhteen. IDC-laitteiden tulee olla robotin kulkureitillä, jotta robotti voi havaita ne ja hyödyntää niihin kirjoitettua tietoa.

Tähän työhön liittyvän tutkimuksen tavoite aktiivisten viittojen käytössä on että niiden avulla käyttäjä voi asettaa viittoja robotin työympäristöön, tallettaa niihin tehtävätietoa ja myöhemmin viitan summittaisen sijainnin perusteella lähettää robotin paikalle suorittamaan tehtävä. Aktiivisen viitan käyttö mahdollistaa kaikenkaikkiaan viittojen laaja-alaisemman käytön ulko-olosuhteissa. Aktiivisia viittoja on tarkoitus käyttää yhdessä passiivisten viittojen kanssa tai ne voivat olla fyysisesti sisällytetty passiivisiin viittoihin.

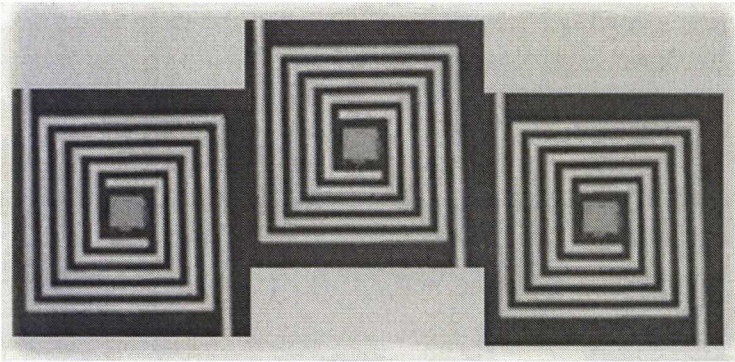
4 Aktiivisten viittojen toteutus

Aktiiviset viitat ovat älyä sisältäviä viittoja. Viitan sisältämä tieto ei ole koodattu visuaaliseen havainnointiin kuten passiivisissa viitoissa vaan robotti saa viitan sisältämän informaation viitan sisältämältä muistikortilta jotain tiedonsiirtotekniikkaa hyväksikäyttäen.

Aktiivisen viitan fyysinen rakenne sisältää viitan ulkokuoren, joka voi olla passiivisen viitan kaltainen ja lisäksi nk. aktiivisen osan eli muistipiirin, prosessorin, lähettimen ja virtalähteen. Tässä tutkimuksessa aktiivisen viitan toteutusratkaisuista tutustutaan RFID- ja Bluetooth–tekniikan käyttöön.

4.1 RFID

Radio Frequency Identification -teknologia on radiosignaalin lähettämiseen perustuva tunnistamistekniikka. RFID on viivakoodien ja älykorttien ohella kehitetty langaton tunnistamismenetelmä. Se muistuttaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon älykortteja. RFID-järjestelmässä on kaksi komponenttia lähetin ja vastaanotin. Lähetin sisältää muistipiirin, johon on mahdollista tallettaa tietoa (Kuva 10). Vastaanotin eli lukija voi olla joko lukulaite tai luku/kirjoituslaite. Lukija sisältää yleensä radiotaajuusmoduulin (lähetin ja vastaanotin), kontrolliyksikön ja kytkinelimen lähettimelle.



Kuva 10 RFID muistipiiri ja antenni

RFID-piirit eli etätunnistimet ovat kehitetty tavaroihin ja tuotteisiin liitettäväksi halvaksi muistipiiriksi, jota voidaan käyttää viivakoodin tavoin. Muistin sisältöä voidaan kuitenkin muuttaa ja sitä voidaan lukea esteiden läpi joten sen käyttöalue on huomattavasti viivakoodia laajempi.

RFID-järjestelmän etuna perinteisiin älykortteihin nähden on etäluku mahdollisuus. Sen sijaan että käytettäisiin kalvaanista yhteyttä RFID käyttää magneettista tai

sähkömagneettisia kenttiä hyväkseen. RFID-lähettimeä on erityyppisiä, lyhemmän ja pitemmän kantaman lähettimeä.

RFID-lähettimek, joissa ei ole omaa jännitelähdettä ovat passiivisia elementtejä aina kun ne ovat vastaanottimen (lukijalaite) kuulustelukantaman ulkopuolella. Etätunnistimet muodostuvat piipohjaisesta muistipiiristä ja antennista ja ne saavat energiansa tukiasemasta joko magneettikentän muodossa tai suurilla taajuuksilla sähkömagneettisesta kentästä. Lukijalaite saa tiedon saattomuistilta UHF- tai mikroaaltojen välityksellä. Lähettimek aktivoituvat kun ne saavat vastaanottimelta (lukijalaitteelta) tulevaa energiaa kytkentäkanavan läpi (yhteys magneettikentässä).

Lyhyen matkan järjestelmät kykenevät vain lyhyen matkan (0-1cm) kantamiin. Nämä järjestelmät voivat operoida lähes kaikilla taajuusasteikoilla, koska lähettimek toiminta ei ole riippuvainen sähkömagneettisten aaltojen säteilystä lyhyen kantaman vuoksi. Lyhyt kantama helpottaa myös mikroprosessorin käyttöä lähettimeissä, joissa ei ole omaa lisäjännitelähdettä. Lyhyen kantaman järjestelmiä käytetään paljon älykorteissa, joissa ei käytetä kalvaanista yhteyttä.

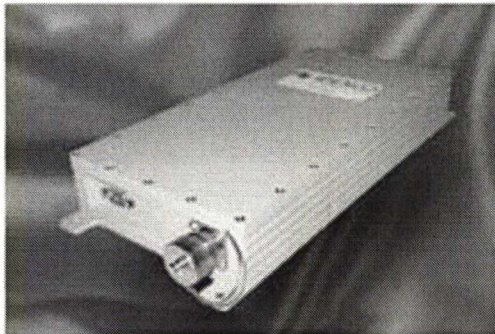
Etäkytkentä järjestelmät ovat RFID-järjestelmiä, jotka pystyvät lukemaan ja kirjoittamaan tietoa lähietäisyydeltä. Järjestelmät perustuvat induktiiviseen (magneettiseen) kytkeytymiseen vastaanottimen ja lähettimek välillä. Suurin osa käytössä olleista RFID-järjestelmistä on etäkytkentään perustuvia. Sopivia lähetystaajuuksia ovat alle 135kHz sekä taajuudet 6.75MHz, 13.56MHz ja 27.125MHz. Induktiivisen kytkennän läpi on mahdollista lähettää vain vähän tehoa ja tehon määrä on riippuvainen lähettimek ja vastaanottimen välisestä etäisyydestä. Vähäisen energian takia tällaiset järjestelmät ovat yleensä vain tunnistusjärjestelmiä ja lähettimekiin ei ole mahdollista kirjoittaa mitään.

Pitkän matkan järjestelmät toimivat tyypillisesti yhdestä kymmeneen metrin matkalla. Järjestelmät käyttävät hyväkseen sähkömagneettisia aaltoja mikroaaltojen kantamalla. Lähettimeissä on yleensä lisäksi mikroprosessori ja muistia tiedon käsittelyä ja talletusta varten. Vastaanotin (lukijalaite) ei kykene lähettämään tarpeeksi energiaa lähettimekelle mikroprosessorin käyttöä varten, joten lähettimek sisältävät aina oman jännitelähteen. Kommunikointi lähettimek ja vastaanottimen välillä tapahtuu vastaanottimelta tulevan korkeataajuisen energian avulla. (Finkenzeller, 1999)

4.1.1 Palomar-piirit

Tässä tutkimuksessa alkuperäinen ajatus oli kokeilla VTT:n kehittämiä Palomar-piirejä aktiivisissa viitoissa. VTT on kehittänyt Palomar-piirejä, joilla lukuetaisyydeksi saattomuisteille on saatu jopa 4 metriä. Järjestelmä toimii 869MHz vapaalla taajuusalueella, joka on yleisesti Euroopassa tarkoitettu lyhyen kantaman aalloille. Palomar-järjestelmässä (Kuva 11) lukukentässä voi olla samaan aikaan 100 etätunnistinta. Etätunnistimen mikropiirin kulutus on saatu niin pieneksi että 4 metrin lukuetaisyyden lisäksi sillä pystytään jopa 3 metrin kirjoitusetäisyyteen. (Varpula, 2003)

Palomar etätunnistin ja lukija



Kuva 11 Palomar-etätunnistin ja lukija

Palomar-piirien piti tulla kaupalliseksi vuoden 2003 aikana, mutta niiden tulo viivästyi ja tämän tutkimuksen ohessa niiden käyttöä ei voitu kokeilla. Tulevaisuudessa kuitenkin Palomar-piirit ovat varteenotettava vaihtoehto aktiivisten viittojen toteutuksessa. Suurin etu etätunnistimien käytössä on niiden halpa hinta, joka johtuu yksinkertaisesta rakenteesta. Muistit eivät sisällä mitään energialähdettä joten niiden soveltuvuus siltä osin viittoihin on ideaalinen.

4.1.2 RFID:n käyttö aktiivisissa viitoissa

RFID-lähettimien käyttöä aktiivisissa viitoissa rajoittaa niiden lyhyt kantomatka. Tällä hetkellä tarjolla olevat kaupalliset lähettimet pystyvät vain noin 1-4 metrin lukuetaisyyksiin. Tämä vaatisi aktiivisten viittojen havaitsemisen ensin kamerakuvan

perusteella ja vasta viitan lähelle päästyä robotti voisi lukea saattomuistissa olevaa informaatioita tai kirjoittaa muistiin tietoa. Tällainen järjestelmä olisi toimiva ympäristössä, jossa robotti suorittaisi tehtäviä tiettyjä käytössä olevia reittejä pitkin ja saattomuistit sijaitsisivat reitin varrella niin, että robotti havaitsee ne aina ohi kulkiessaan. Tällaista järjestelmää on kokeiltu edellä esiteltyssä monirobottijärjestelmässä.

4.2 Bluetooth

Bluetooth-tekniikan käyttö aktiivisessa viitassa on tutkimuksen yksi osa-alue. Aktiiviset viitat, jotka toteutetaan Bluetooth-tekniikkaa käyttäen, voivat olla erityyppisiä. Viitat, jotka sisältävät vain robotin työtehtävään liittyvää informaatiota eivätkä lainkaan viitan sijaintitietoa tulee paikantaa samalla tavalla kuin passiiviset viitat. Viitan havainnointi on kuitenkin mahdollista huomattavasti kauempaa kuin passiivisen viitan. Suuntaavaa antennia hyväksi käyttäen viitan sijaintisuunta voidaan havaita kymmenien metrien päästä ja suuntatiedon perusteella se voidaan löytää ja lopullinen paikannus voidaan tehdä kameran tai laserskannerin avulla.

Aktiiviset viitat voivat sisältää myös ohjelmoitua paikkatietoa tai GPS-vastaanottimen, jolla viitta paikallistaa itsensä globaalisti. Tällaisessa tapauksessa robotti voi paikantaa viitan suoraan viitan lähettämästä paikkatiedosta. Liittämällä viittaan kompassi voidaan myös esim. viitan suuntatieto lukea suoraan viitasta, jolloin kamerakuvan välityksellä tapahtuvaa viitan paikantamista ja suuntatiedon selvittämistä ei välttämättä enää tarvita.

4.2.1 Yleistä

Bluetooth on standardoitu, lyhyen kantaman radiotekniikka, joka mahdollistaa langattoman datan- ja puheensiirron Bluetooth-tekniikan omaavan laitteiden välillä. Tällä hetkellä Bluetooth-tekniikkaa on sovellettu pääasiassa pöytäkoneiden, kannettavien tietokoneiden, kämmenmikrojen, matkapuhelinten ja näiden erilaisten oheislaitteiden väliseen tiedonsiirtoon. Bluetooth kehitettiin korvaamaan eri laitteiden väliseen kommunikointiin käytetyt kaapelit langattomalla yhteydellä.

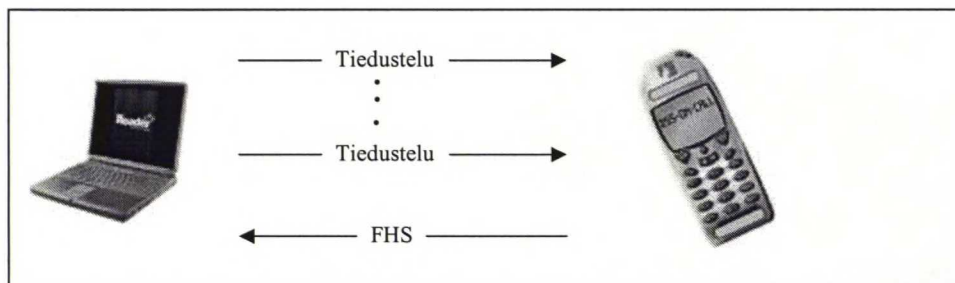
Bluetooth-toimilaitteet operoivat 2.4GHz radiotaajuudella. Taajuus on kansainvälisesti yleisesti vapaasti käytettävä taajuusalue, jonka käyttö ei ole luvanvaraista. Taajuusaluetta käytetään yleisesti mm. erilaisissa langattomissa

sovelluksissa kuten autotallin ovenavausjärjestelmissä sekä mikroaaltouunien ja langattomien puhelinten toiminnassa. Taajuuskaistan moninainen käyttö edellyttää Bluetooth-laitteelta hyvää robustisuutta. (Bray, 2002)

Kantaman sisällä olevat Bluetooth-laitteet muodostavat keskenään Piconet-verkon. Verkossa voi olla maksimissaan 8 laitetta, joista yksi (ensimmäisenä liikennöinyt) toimii isäntänä ja muut orjana. Laitteet saavat verkkoon kytkeytyessään Mac-osoitteen, joiden avulla ne tunnistavat toisensa. Piconet-verkossa orjat ovat yhteydessä vain isäntiinsä eikä orjien välillä keskenään ole yhteyttä. (Bray, 2002)

Ennen ensimmäistä yhteyden ottoaan laitteen ovat valmiustilassa ja kuuntelevat verkkoa 1.28 sekunnin välein. Yhteys muodostuu kun isäntä lähettää hakuviestin haluamalleen laitteelle, jos isäntä laite ei tiedä laitteen Mac-osoitetta isäntä lähettää kyselyviestin. Yhteydet Bluetooth-solmujen välillä voivat olla point-to-point ja point-to-multi-point -tyyppisiä. Solmujen välinen liikenne voi olla sekä synkronista että asynkronista. Synkronista yhteyttä käytetään lähinnä äänen siirtoon ja asynkronista yhteyttä muun datan siirtoon. (Bray, 2002)

Bluetooth laitteen toimivat edellä kuvatun periaatteen mukaisesti, tiedusteluihin vastataan FHS-paketilla ja tiedustelija saa listan vastanneista laitteista ja niiden ominaisuuksista (Kuva 12). (Bray, 2002)

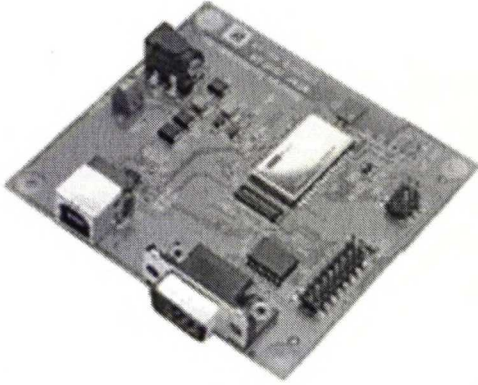


Kuva 12 Bluetooth laitteiden kartoittaminen

Bluetooth-laitteissa on kolme matalan teho tilaa: HOLD, SNIFF ja PARK. HOLD-tilassa ainoastaan laitteen sisäinen kello käy. SNIFF-tilassa laite kuuntelee Piconetin liikennettä harvennetulla tiheydellä. PARK-tilassa kone kuuntelee ja on synkronoitu Piconettiin, mutta sillä ei ole Mac-osoitetta eikä se osallistu liikennöintiin.

Bluetooth tarjoaa helpon ja edullisen standardoidun tavan korvaamaan johdot liikennöinnissä. Bluetooth-tekniikka mahdollistaa esimerkiksi kännyköiden käytön

monipuolisena kaukosäätimenä. Tulevaisuudessa Bluetooth-sovellusten lisääntyessä niiden käyttöaluetta voidaan laajentaa. Bluetooth-ominaisuuden lisääminen laitteisiin onnistuu esimerkiksi liittämällä valmis Bluetooth-moduuli (Kuva 13) sarjaportin kautta laitteeseen.



Kuva 13 Bluetooth-moduuli

4.2.2 Bluetooth robottisovelluksissa

Bluetooth-tekniikan käyttö robotiikassa on tällä hetkellä vielä melko vähäistä. Ihmisrobottien prototyyppien julkistamisen myötä kiinnostus niiden kehittämiseen on kuitenkin viimevuosina kasvanut. Robottien soveltaminen katastrofitilanteiden tutkimuksissa ja vaarallisten tehtävien suorittamisessa on kiinnittänyt huomiota myös robottien reaaliaikaiseen kommunikointiin ympäristön kanssa. Viime vuosiin asti robotit ovat olleet pääasiassa radio-ohjattavia, infrapunaohjattuja tai johdollisia robotteja. Verkottuminen ja langaton tiedonsiirto ovat kuitenkin kehittyneet viime vuosina voimakkaasti ja Bluetooth-sovellusten käyttö datan ja äänen lähettämiseen ja vastaanottamiseen kannettavien puhelinten ja tietokoneiden kanssa on innostanut myös ihmisrobottien tutkijoita soveltamaan Bluetooth-tekniikkaa robottien ohjaukseen ja kommunikointiin ympäristön kanssa.

Alla esitellään yksi sovellus, jossa Bluetooth-tekniikkaa on käytetty ihmisrobotin ohjauksessa ja kommunikoinnissa.

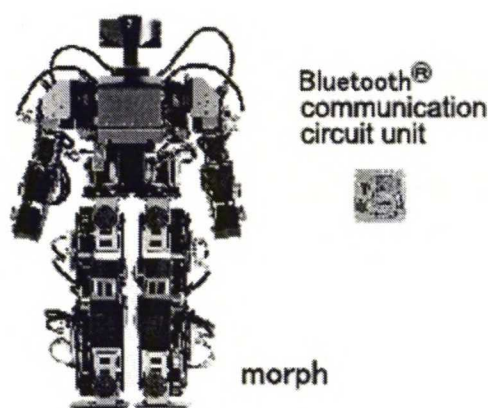
4.2.2.1 Morph-robotin ohjaus

Murata Manufacturing Co. on kehittänyt ihmisrobotin etäohjaukseen Bluetooth-sovelluksen nimeltään Bluetooth®. Sovelluksen toimivuutta on testattu Japanin tiede-

ja tutkimuskeskuksessa ERATO-projektissa, joka on keskittynyt ihmisrobottien tutkimukseen ja kehittämiseen.

Bluetooth® kommunikointi yksikkö sisältää HCI-moduulin, joka sisältää mm. RF-piirin, signaalinkäsittelypiirin, flash-muistia, keskusyksikön (CPU), Bluetooth-protokollapinin ja ohjelmiston.

ERATO-projektissa Muratan kehittämää Bluetooth sovellusta on käytetty mm. Morph-robotin kommunikointiin operaattorin kanssa. Morph-robotti on 34 cm korkea, noin 2 kg painava (Kuva 14). Robotti kykenee kävelemään kahdella jalalla, taivuttamaan vartaloaan ja käpertymään palloksi koukistamalla jalkoja, vyötäröä ja ylävartalon niveliä. (Murata, 2003)



Kuva 14 Morph-robotti

Nykyisin Bluetooth-tekniikkaa käytetään robotiikassa pääasiassa robotin ja operaattorin väliseen kommunikointiin robottia ohjattaessa. Tässä tutkimuksessa tutustutaan Bluetooth-tekniikan käyttöön uudella sovellusalueella. Tällä hetkellä ei ole saatavissa julkaistuja tutkimuksia Bluetooth-tekniikan käytöstä robotin ja ympäristössä olevien Bluetooth-laitteiden välillä. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus tutkia kuinka Bluetooth soveltuu aktiivisten viittojen toteuttamiseen.

4.2.3 Bluetooth aktiivisissa viitoissa

Bluetooth-tekniikka mahdollistaa nopean tiedonsiirron esim. aktiivisen viitan ja robotin välillä. Tiedonsiirtokanavan välityksellä on mahdollista lähettää robotille paikkatietoa tai tehtävnmääritystietoa. Bluetooth-signaalin kantomatka on huomattavasti suurempi kuin RFID-tekniikan. Aktiivinen viitta voidaan myös

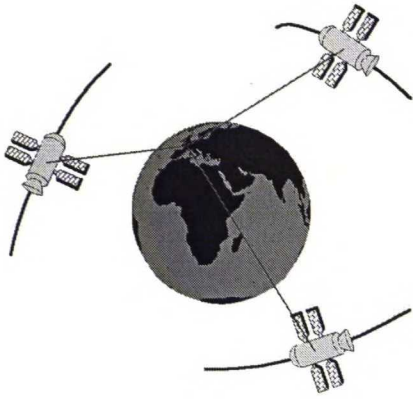
ohjelmoida käyttämällä tiedonsiirtoon Bluetooth-kanavaa. Samoin kuin viitta voidaan identifioida ja ID lähettää Bluetooth-kanavaa apuna käyttäen robotille.

Bluetooth-laitteiden etuna on vähäinen virran kulutus, sillä laite voi olla ”Standby” -tilassa niin kauan kunnes siihen otetaan yhteyttä. Viitan laite kuuntelee vain satunnaisin väliajoin onko muita Bluetooth-laitteita ympäristössä. Kaupallisissa versioissa Bluetooth-lähettimeä ja -vastaanottimia on tarjolla jopa 100 metrin kantomatalla (vapaassa tilassa). Aktiivisen viitan toteutuksessa tällainen kantomatka olisi riittävä. Robotti voisi tällöin hehtaarialueelta kuulla Bluetooth-lähettimeen signaalin.

Bluetooth-lähetintä aktiivisessa viitassa voidaan käyttää myös viitan etsimiseen. Viitalta tulevaa signaalia voidaan kuunnella suuntaavan antennin avulla ja signaalin tulosuunta saadaan selville antennin keilanleveyydestä riippuen parhaimmillaan 10 asteen tarkkuudella. Robotti voi löytää viitan signaalin tulosuunnan perusteella ja paikantaa sen esim. laserskanneria tai kameraa apuna käyttäen.

4.3 GPS

GPS (Global Positioning System) on satelliittipaikannusjärjestelmä, joka kehitettiin alunperin sotilaskäyttöön Yhdysvalloissa. GPS on kuitenkin levinnyt nopeasti maailmanlaajuisesti paikannus-, seuranta- ja ajastusjärjestelmäksi. GPS:n toiminta perustuu maata ympäröivään satelliittiverkkoon ja järjestelmän käyttäjällä olevaan vastaanottimeen. Paikan määrittäminen lasketaan satelliittien ja vastaanottimen etäisyyksien perusteella. Vastaanottimen tulee havaita yhtäaikaan vähintään 3 satelliittia, jotta sen paikka voidaan määrittää (Kuva 15). Käytännössä satelliitteja pitää olla näkyvissä 4, koska kolmella satelliitilla saadaan vastaanottimen paikkakoordinaatit ja neljännellä korjataan satelliittien ja vastaanottimen aika-asteikkojen ero



Kuva 15 GPS-paikannusperiaate

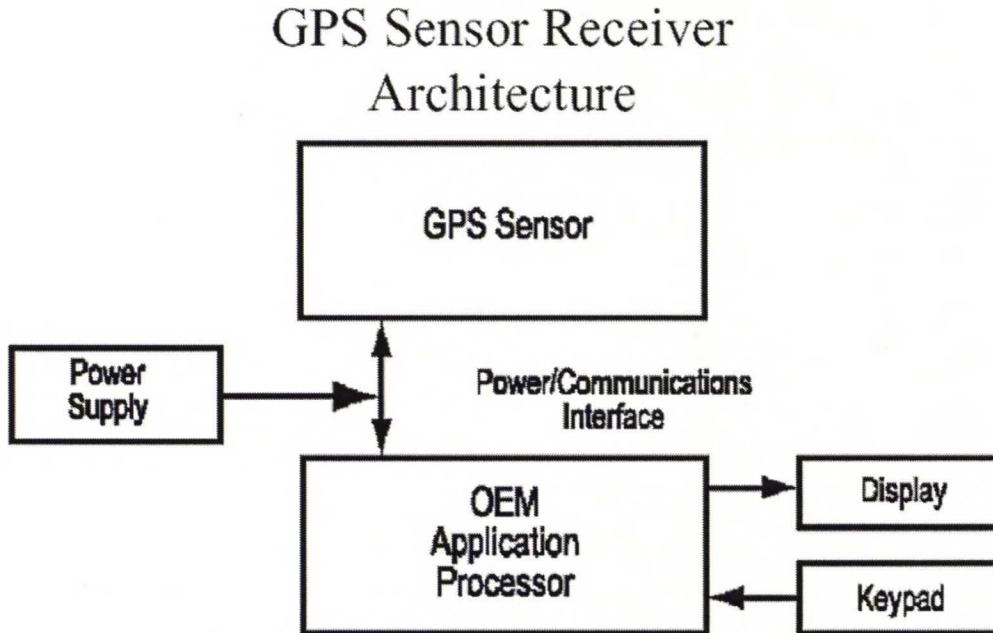
Tällä hetkellä GPS-vastaanottimen laitevalmistajien antama tarkkuus on alle 20 metriä. Keskihajonta on kuitenkin yleensä alle 5 metriä. GPS-paikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa mm. DGPS-tekniikalla (Differentiali GPS). Tällöin DGPS-laite vastaanottaa normaalin satelliittisignaalin lisäksi korjaussignaalia, joka lähetetään maassa olevalta tukiasemalta. Korjaussignaalin avulla GPS-signaalin virhettä voidaan pienentää. DGPS-verkko kattaa mm. koko Suomen, mutta se on maksullinen palvelu muualla paitsi merialueilla. DGPS:n tarkkuus on noin yksi metri.

4.3.1 GPS-tekniikka aktiivisessa viitassa

GPS:n käyttö on varteenotettava vaihtoehto aktiivisen viitan toteutuksessa. Tavallisen GPS:n paikannustarkkuus ei ole suoraan riittävä aktiivisen viitan paikantamiseen, sillä esim. lopullinen viitan paikannus kameran avulla voi tapahtua vain noin 10 metrin etäisyydeltä. Tarkkuutta pitäisi parantaa keskiarvoistamalla tai DGPS-tekniikalla. 1-2 metrin tarkkuus riittäisi hyvin paikantamaan viitan, niin että viitta voidaan löytää paikka koordinaattien ja kameran avulla helposti. GPS:n ja DGPS:n käytössä on kuitenkin ongelmia tiheässä ympäristössä liikuttaessa. Satelliittien näkyvyyttä voivat rajoittaa tiheät puustot ja korkeat rakennukset.

GPS-vastaanotin aktiivisessa viitassa mahdollistaa tarkkojen viitan paikkakoordinaattien lähettämisen robotille. Tiedonsiirto on mahdollista toteuttaa esim. Bluetooth-radiolähettimen avulla. Paikkakoordinaattien avulla robotti voi löytää aktiivisen viitan Bluetooth-kantaman päästä eli noin 100 metrin etäisyydeltä.

GPS-vastaanotin on mahdollista liittää muihin laitteisiin esim. sarjaportin tai I/O-porttien välityksellä. Kuvassa 16 on tyypillinen rakenne GPS-vastaanottimesta.



Kuva 16 GPS-vastaanottimen tyypillinen rakenne

DGSP-vastaanottimen hinta tällä hetkellä on vielä melko korkea ajatellen niiden käyttöä aktiivisessa viitassa. Laitteisiin sijoitettavia vähän virtaa kuluttavia vastaanotinmoduuleja valmistaa mm. Laipac. Virrankulutus on keskimäärin pienellä moduulilla noin 50mA ja käyttöjännite +3 VDC. Vastaanottimen hinta on noin 80€.

Paikkatieto robotille olisi mahdollista lähettää myös GSM-tekniikkaa käyttäen. Tällä tekniikalla on toteutettu mm. uusimmat kaupalliset villieläinten paikannuslaitteet. Paikannettavan kohteen yhteyteen on asennettu laite (panta), jossa on GPS-vastaanotin ja GSM-modeemi. GSM-verkon välityksellä paikkatietoa saadaan välitettyä SMS-viestinä vastaanottajalle lähes reaaliaikaisesti. GSM-tekniikan etuna on sen kantama, joka on rajoittamaton verkon kuuluvuusalueella. Tällaisia vähän virtaa kuluttavia laitteita on kehitetty myös Alzheimer-potilaille potilaan paikantamiseen.

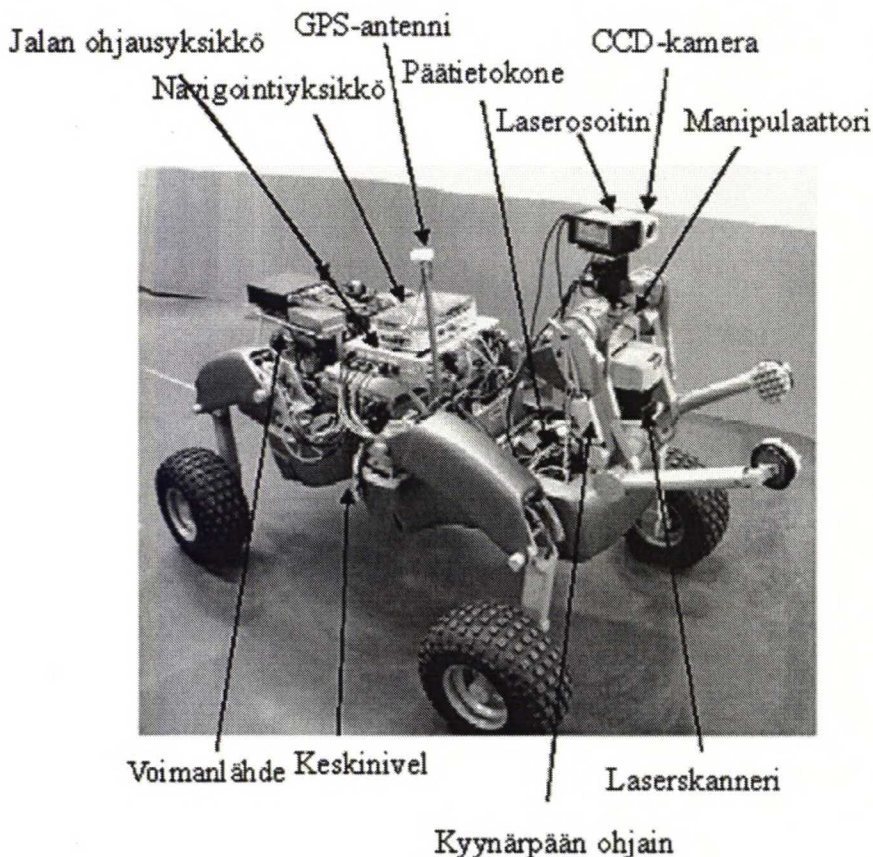
Aktiivisen viitan toteuttaminen tämän kaltaisella tekniikalla vaatisi GPS-vastaanottimen ja GSM-tekniikan sekä viittaa että robottiin. GSM-tekniikka on viimevuosina halventunut sen yleistyessä. Aktiivisen viitan toteuttaminen GSM-tekniikalla voi kuitenkin olla vielä melko kallis ratkaisu.

5 Passiivisten viittojen tunnistus- ja paikannustekniikat

Paikannus ja navigointi ulko-olosuhteissa on itsenäisesti liikkuvan robotin tärkeimpiä kykyjä. Robotin on tiedettävä oma sijaintinsa ja kulkusuuntaansa paikallisessa koordinaatistossa. Robotti voidaan viedä ulkona ympäristöön, josta robotilla ei ole saatavana karttaa. Tällöin robotti voi paikantaa oman sijaintinsa maailmankoordinaatistossa GPS-vastaanottimen avulla. Paikallisesta ympäristöstä robotti voi muodostaa kartan näkemänsä kamerakuvan tai laserskannerin avulla. Lisäksi apuna ovat muut suunta- ja matkatietoa antavat sensorit. (Selkänaho, 2002)

5.1 Sensorit

Viittojen tunnistaminen ympäristöstä on yksi passiivisten viittojen toteuttamisessa ratkaistava asia. Viitat voidaan tunnistaa yleensä kameran tai laserskannerin avulla. Tässä tutkimuksessa käytetään sovelluskohteena WorkPartner-robottia, jonka tärkeimmät sensorit on esitelty kuvassa 17.



Kuva 17 WorkPartner-palvelurobotin ulkoiset sensorit

5.1.1 Laser-skanneri

Robottiin on asennettu Sick LMS 291 2-dimensioinen laserskanneri. Laserskanneri sijaitsee robotin etuosassa, manipulaattorissa noin metrin korkeudella maasta. Skannerilla voidaan mitata etäisyyttä manipulaattorin edessä oleviin kohteisiin (180 asteen näkökenttä). Laser kykenee mittaamaan etäisyyttä noin puolesta metristä 80 metriin, jos kohteen heijastavuus on hyvä (70%).

5.1.2 Värikamera

Robotissa on Hitachi VK-C77E värivideokamera, joka sijaitsee robotin manipulaattorin päässä. Kameran resoluutio on 795x596 pikseliä. Värikameraa käytetään tällä hetkellä pääosin havaitun kohteen suunnan määrittämiseen. Robotti kykenee myös seuraamaan kamerakuvassa näkyvää tietyn väristä kohdetta. (Selkänaho, 2002).

5.1.3 Laserpointteri

Manipulaattorin päässä on myös Accurange 4000 laseretäisyysmittalaite, jonka avulla voidaan mitata kohteen etäisyys mittalaitteesta sekä pään kallistustoimilaitteiden antamaa suuntatietoa hyväksi käyttäen kohteen paikka suhteessa robottiin. Laitteella voidaan mitata etäisyyttä noin 15 metriin asti muutaman millin tarkkuudella.

5.1.4 GPS vastaanotin

GPS-vastaanotin on 12-kanavainen Astech:n valmistama GPS OEM. Vastaanotin laskee globaalin sijaintinsa WGS-84 koordinaateissa kun vähintään kolme satelliittia on näkyvillä. Nopeus ja suuntatieto saadaan hetkellisen Doppler-ilmiön avulla jos näkyvissä on vielä neljäs satelliitti. GPS-vastaanotin kommunikoi robotin kanssa RS-232 sarjaväylää pitkin. GPS on valmistettu vuonna 1992 ja sen 90% tarkkuus on 16 metriä. Keskihajonta on kuitenkin vain 3-5 metriä. (Selkänaho, 2002)

5.1.5 Gyro

Robotissa on suunnan mittauksessa käytössä Murata ENV-05D pietsosähköinen kulmagyro. Suunta saadaan integroimalla kulmanopeutta.

5.1.6 Inclinometrit eli kulma-anturit

Robotin pitch- ja roll-kulmista saadaan tietoa robotin kehon kallistumasta. Pitch- ja roll-kulmia mitataan WPI LSRP-30 inclinometreillä, jotka mittaavat kulmansa maan vetovoimasta. Asentotietojen avulla voidaan välttää robotin kaatuminen ja myös eliminoida laserskannerin kuvasta horisontaaliset maanpinnan heijasteet. Lisäksi asentotietoa tarvitaan kun siirretään robotin oma koordinaatisto maailman koordinaatistoon. (Selkänaho, 2002)

5.2 Tunnistus- ja paikannustekniikat

Robotti voi käyttää passiivisten viittojen tunnistamiseen ja paikantamiseen kahta eri menetelmää. Ensimmäinen on viittojen tunnistaminen laserskannerin avulla ja toinen on värivideokameran käyttö. Alla olevissa kappaleissa kerrotaan lyhyesti näiden menetelmien peruseräatteen.

5.2.1 Laserperusteinen paikannus

Lasernavigoinnissa robotti käyttää oman sijaintinsa määrittämisessä hyväkseen laserskanneria. Laserskannerin avulla robotti määrittää paikkansa mittaamalla etäisyyttä ja/tai suuntaa tunnettuihin kohteisiin. Laserskanneria käytetään pääasiassa etäisyysmittaukseen, mutta liikkuvat robotit käyttävät sitä myös esteiden havainnoimiseen. (Mäkelä, 2001)

Laserskannerit mittaavat kohteen etäisyyttä erilaisilla menetelmillä. Yleisimpiä menetelmiä ovat kolmiomittaus (*triangulation*), valon etenemään perustuva mittaus (*time of flight*) ja vaihe-ero mittaus (*phase shift*). Kolmiomittaus perustuu geometriaan. Ulosmenevän valonsäteen lähtöpaikka ja -suunta tunnetaan ja sisääntulevan valonsäteiden paikka sensoripinnalla mitataan, näiden suhteesta saadaan tietää kohteen etäisyys. Valon etenemää mitattaessa mitataan aikaa, joka lähetetyltä valonsäteilä kuluu kun se menee kohteeseen ja heijastuu takaisin. Valon nopeus tuntemalla saadaan suoraan laskettua matkan pituus. Tämä menetelmä on yleisin laserskannereissa käytetty mittausmenetelmä. Vaihe-eroon perustuva menetelmä mittaa vaihe-eroa lähetetyn ja saapuneen valoallon välillä. (Mäkelä, 2001)

Laserskannerilla saadaan mitattua suhteellisen pitkiä etäisyyksiä ja sillä voidaan havaita este tai viitta myös pimeässä. Laserskannerin käyttöä viittojen tunnistamisessa ja paikannuksessa rajoittaa viitan havaitseminen ympäristöstä. Laser-skannerilla ei

yleensä voida tunnistaa värejä. Tutkimuksessa käytetyn WorkPartner-robotin laserskanneri on asennettu noin metrin korkeudelle mikä vaatisi viitoilta suurta kokoa, jotta ne voitaisiin tunnistaa laserskannerin avulla.

5.2.2 Kameraperusteinen paikannus

Kameran käyttö luonnollisten ja keinotekoisien maamerkkien havainnoinnissa on melko luonnollinen valinta. Käytetyin kameratyyppe konenäössä on CCD-kamera (*Charge Coupled Device*). Samalla kun näköaisti on hyvin tehokas apuväline, siitä on myös melko vaikea saada täysivaltainen hyöty robottien käyttöön. Ennen kaikkea ulko-olosuhteissa navigoitaessa rajoittavia tekijöitä on paljon. Näkyvyyttä voi huonontaa vesisade, lumi tai sumu samoin kuin kirkas auringon valo ja sen aiheuttamat heijastukset. Kameran käyttöä rajoittaa myös valon määrä, joka tulee olla riittävä. Päiväsaikaan kamerankäyttö onnistuu hyvin, mutta hämärän tullen ja yöaikaan tarvitaan jo hyvää valaistusta kohteiden etsintään kameran avulla. (Mäkelä, 2001)

Kameran käyttö keinotekoisia maamerkkejä havainnoitaessa on hyvin yleistä ennen kaikkea sisäolosuhteissa navigoitaessa. Kameran avulla tällaisissa vakaissa olosuhteissa saadaan suhteellisen helposti suunta ja paikkatietoa maamerkeistä. Keinotekoiset maamerkit voidaan suunnitella niin, että ne ovat helposti erottuvia ympäristöstä sekä muodon että värien perusteella. (Mäkelä, 2001)

Kameran avulla voidaan kohteen etäisyystietoa saada stereonäköä hyväksi käyttäen eli kahden kameran avulla tai kuvayhtälöön perustuvalla menetelmällä, jolloin kohteen etäisyys saadaan selville kun tiedetään kohteen koko, kameran polttoväli ja kuvatasolle piirtyneen kohteen koko. Tässä tutkimuksessa käytetään jälkimmäistä menetelmää.

Tunnistettaessa kamerakuvasta kohteita ja etsittäessä maamerkkejä käytössä on useita eri menetelmiä, joilla se voidaan tehdä. Käytettävän menetelmän valintaan vaikuttaa oleellisesti menetelmän nopeus ja luotettavuus. Kohde pitäisi pystyä erottamaan hyvin luotettavasti kun se sijaitsee kohtalaisen välimatkan päässä kamerasta ja kohde ei ole minkään esineen tai puun takana. Kohde pitäisi myös pystyä havaitsemaan riippumatta siitä missä kulmassa se on kameraan nähden.

Histogrammiin perustuvassa menetelmässä tutkitaan reuna-alueiden histogrammiipikkejä ja niiden korkeudesta ja kapeudesta päätellään onko löydetty

reuna-alue kohteen reuna. Hyväksyttävien piikkien korkeus on suhteessa löydettyjen reunapisteiden määrään ja kohteen arvioituun kokoon. Histogrammimenetelmä soveltuu hyvin kokonaan kuvassa näkyville kohteille, osittain näkyvissä kohteissa tulee luotettavuusongelmia. Histogrammimuunnokset ovat melko nopeita. (Mäkelä, 2001)

Värien havainnointiin perustuva menetelmä on suosiossa ennen kaikkea konenäön tutkimuksessa ja kehityksessä. Värien avulla on mahdollista toteuttaa tehokkaasti esim. kohteiden erottelua, laadun tarkastusta, tasaista laskentaa tai lääketieteessä rakenteiden tutkimista. Yksi tapa etsiä värillisiä kohteita kuvasta on käyttää neuroverkkoja, jotka opetetaan havaitsemaan erilaisia värialueita kuvasta. Muita tapoja on tutkia Fourier-muunnoksia tai tiettyjä värisävyjä eri väriavaruuksissa. Erilaisia muunnoksia ja menetelmiä ääriviivojen rajaamiseen kuvasta on paljon. Tässä tutkimuksessa sovelletaan väriavaruuksiin perustuvaa menetelmää, joka on suhteellisen hyvä ja helposti toteutettavissa.

Konenäkösovellukset ovat tyypillisesti sisäolosuhteisiin soveltuvia, jolloin ympäristö on säännönmukainen eivätkä luonnonilmiöt aiheuta hankaluuksia. Konenäön toteutuksessa keskeinen osa on hahmontunnistuksella. Hahmontunnistuksen avulla kamerakuvasta erotetaan muotoja ja erilaisia kohteita. Kohteet luokitellaan erillisiin kategorioihin, joiden piirteitä verrataan tunnettuihin muotoihin ja näin etsitään kohteita, jotka täsmäisivät niihin. (Theodoridis, 1998)

Hahmontunnistusta käytetään myös merkkien kuten kirjainten ja numeroiden havaitsemiseen (*Optical Character Recognition*). Kirjainten ja numeroiden havaitsemismenetelmää voidaan hyödyntää myös tunnistettaessa kamerakuvasta esimerkiksi liikennemerkkejä. Palveluroboteille toteutettavassa viittajärjestelmässä viittoihin voitaisiin laittaa informaatioita esim. numeromuodossa (järjestysnumerot jne.), jotka tunnistettaisiin kamerakuvasta hahmontunnistusmenetelmillä. Tällainen menetelmä on vaikeampi toteuttaa kuin värikoodeihin perustuva, sillä piirteiden etsintä vaatii aina luokittelun ja luokkiin jakaminen on huomattavasti raskaampi operaatio.

6 Passiivisten viittojen merkkijärjestelmä

Tässä luvussa tutkitaan passiivisten viittojen toteutusmahdollisuuksia. Tavoite on tutkia ennen kaikkea viittoja, jotka havaitaan kameralla väreihin perustuvan tunnistuksen avulla.

Aluksi käydään läpi tapauksia, joissa viittojen käyttö ennen kaikkea ulko-olosuhteissa työskentelevälle palvelurobotille on tarpeellista. Seuraavaksi esitellään yksi tapa toteuttaa passiiviset viitat, pohditaan sen soveltuvuutta ja käytettävyyttä sekä lopuksi esitellään erilaisia tapauksia joissa passiivisiä viittoja käytetään.

6.1 WorkPartner-palvelurobotin tehtävän opastus

Tällä hetkellä robotin työskentelyalue määritellään opettamalla alueen nurkkapisteet robotille tai antamalla aluemäärytykset koordinaatteina ja tallentamalla paikat robotin omaan elektroniseen karttaan, joka sillä on ympäristöstä.

Paikkojen opettaminen robotille vaatii robotin kuljettamisen työskentelyalueelle, jossa robotti paikantaa globaalissa koordinaatistossa ensin itsensä ja sen jälkeen alueen rajat operaattorin ohjaamana. Työskentelyalueen suora määrittäminen koordinaattien avulla taas vaatii, että robotilla on elektroninen kartta ympäristöstä ja alue voidaan esim. näyttää käyttöliittymän kartalta robotille.

Ensimmäinen menetelmä on varsin aikaa vievää ja toisen menetelmän käyttöä rajoittaa käytettävä ympäristö, sillä robotilla tulee olla ympäristöstä etukäteen elektroninen kartta. Passiivisten viittojen sovelluksessa pyritään siihen, että robotille ei tarvitsisi opettaa ”kädestä pitäen” työskentelyalueen rajoja vaan robotti itse määrittäisi ne viittojen perusteella. Viittojen asettamisen työtehtävän määrittämisen mukaisiin paikkoihin robotin toimintaympäristössä suorittaa palvelurobotin operoinnista vastaava henkilö.

6.2 Viittojen käyttö

Ulko-olosuhteissa liikkuvalla palvelurobotille voidaan antaa opastusta viitoilla erilaisiin tilanteisiin. Yksi selkeä viittojen käyttötarkoitus on alueen rajaaminen. Tällöin viitat voivat olla yksinkertaisia merkintäviittoja, joissa ei välttämättä tarvitse olla muuta informaatiota kuin että ne ovat alueen rajat. Viittojen löytämisen

helpottamiseksi viitoissa voi olla myös suuntatietoa, jolloin robotin on helpompi löytää seuraava viitta.

Kulkureittiä viitoittaessa viittatyypinä voi olla suuntatiedon sisältävä viitta tai pelkkä reittiä osoittava viitta. Reittiä osoittavia viittoja käytettäessä voidaan hyödyntää veneväylien merkitsemistapaa eli väylä merkataan viitoilla niin että reitti kulkee viitalta viitalle tai niin että käytetään hyväksi kulkusuuntaa, jolloin viittoja asetetaan joko reitin oikealle tai vasemmalle puolelle riippuen mistä suunnasta oletetaan robotin ensimmäisen kerran saapuvan reitille.

Työtehtävään liittyvää kohdetta voidaan osoittaa suuntaviitan avulla. Suuntatieto tulee olla viitassa niin että se on luettavissa mahdollisimman selkeästi riippumatta siitä mistäpäin robotti lähestyy viittaa.

Vaarallisista alueista robottia voidaan varoittaa esimerkiksi nopeusrajoitteen sisältävien viittojen avulla. Työskentelyalueella voi olla paikkoja, joissa on syytä noudattaa varovaisuutta ja alentaa kulkunopeutta. Kulkunopeutta rajoittava viitta tulee olla sellainen, että se antaa informaatiota myös missä aluerajoitus on voimassa. Tämä voidaan toteuttaa esim. määrittelemällä robotille, että vaaramerkin osoittama nopeusrajoitusalue on merkin ympärillä oleva tietyn kokoinen ympyrä.

Robotilla on toimintaympäristössä myös alueita, jotka ovat nk. kiellettyjä alueita. Tällaiset alueet voidaan osoittaa viitalla, joka kertoo esimerkiksi jonkun kulkusuunnan olevan kielletty. Kielletty alue voidaan myös rajata samaan tapaan kuin työskentelyalue.

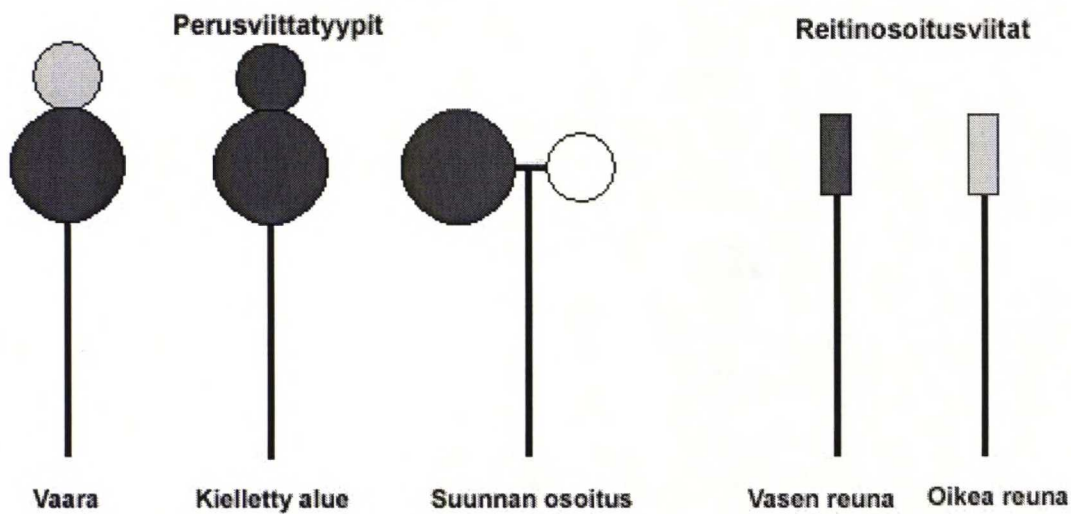
6.3 Viittojen rakenne, toteutustavat ja käyttö

Viittojen sisältämä informaatio voidaan ilmoittaa robotille erilaisilla menetelmillä. Tässä tutkimuksessa passiivisten viittojen toteutuksessa viesti ilmoitetaan kameralla tunnistettavassa muodossa eli tällöin viestin sisältö on visuaalista informaatiota, jota robotti tulkitsee sille annettujen ohjeiden mukaan.

Visuaalinen informaatio voidaan ilmaista merkkikielen avulla. Merkkien kehityksessä voidaan hyödyntää liikennemerkkeihin kohdistettuja tutkimuksia, joissa on tutkittu värien havaittavuutta ja niiden aiheuttamaa miellelyhtymää ihmiselle. Vaikka liikennemerkkien suunnittelun pohjana on ihmisen tapa havaita ja tulkita merkkejä, voidaan sitä käyttää pohjana myös palveluroboteille suunnattujen merkkien käytössä.

Ihmiselle suunnatut merkit ovat suunniteltu mahdollisimman yksinkertaiseksi ja pelkistetyksi mikä on myös robotin kuvantunnistuksen kannalta yksi tärkeä asia. Lisäksi koska palvelurobotit toimivat samassa ympäristössä kuin ihminen on tärkeää, että myös ihminen pystyy helposti ymmärtämään merkkien sisällön. Viittojen lukumäärä väriin perustuvassa tunnistamismenetyksessä on rajoitettu, sillä viittojen lukumäärää kasvatettaessa niiden erottelu tulee vaikeaksi.

Yksinkertainen merkkijärjestelmä voi olla esimerkiksi viitat, jotka antavat robotille erilaista informaatiota ympäristöstä tai kulkureiteistä (Kuva 18).



Kuva 18 Viittatyypit

Viitat kertovat liikkuvalla robotilla tärkeää tietoa ympäristöstä, jossa robotti työskentelee. Viittojen fyysistä rakennetta toteutettaessa tulee huomioida ennen kaikkea robotin katselusuunta viittaa. Liikennemerkinmäisten viittojen käyttö pihalla vaeltavan robotin viitoittamisessa ei ole mahdollista, jos ei tiedetä robotin tulosuuntaa viitalle. Kulkureittien ja teiden varsilla on mahdollista käyttää vain yhdestä tai kahdesta suunnasta havaittavaa viittaa.

Esitellyt viittatyypit rakentuvat kaikki perusviitan eli punaisen pallon pohjalle. Lisäämällä punaiseen palloon erilaisia muita komponentteja saadaan viitalle eri merkityksiä.

Vaaraa ja kiellettyä aluetta osoittavat merkit käsitetään yleensä kyseisen kiellon tai varoituksen aloituskohdaksi. Tällaisen merkin sisältävät viitat tulee toteuttaa myös niin että robotti saa informaation millä alueella viitan varoitus tai kieltä on voimassa. Edellä esitelty vaarasta osoittava viitta on punaisen ja keltaisen pallon yhdistelmä.

Väri keltainen on liikennemerkkijärjestelmässäkin vaaran merkki ja tällöin myös ihmisen on helppo päätellä että kyseinen merkki tarkoittaa vaaraa. Vaaramerkin viesti robotille on että sen tulee alentaa nopeutta liikuttaessa vaaramerkin ympäristössä (etukäteen määrätty tietyn säteinen ympyrä). Havaitessaan viitan, robotti paikantaa sen omaan koordinaatistoonsa ja merkitsee sen sisältämän informaation muistiin. Tullessaan vaara-alueelle robotti alentaa nopeutta ja liikkuu varovaisemmin. Viitta on toteutettu niin että se voidaan havaita mistä suunnasta tahansa.

Kielletyn alueen merkki on vastaava kuin vaaran merkki mutta kiellosta viestittää punainen pallo. Kielto-merkki on viesti että merkkiä ei tule ohittaa eikä sen lähelle tule mennä. Kielletyn alueen merkillä voidaan ilmoittaa robotille esimerkiksi kukkapenkin sijainti tai joku suunta johon ei saa kulkea. Viitta voi olla edellä esittelyn kaltainen ja sen viesti robotille on että viitan ympärillä tietyn kokoisella alueella ei saa liikkua. Usean viitan avulla voidaan rajata myös isompia kiellettyjä alueita. Kuvassa 18 esitellyn kielto-merkin kieltoväriksi valittiin punainen, koska voimakas punainen väri on ihmisenkin helppo mieltää kielloksi.

Suunnanosoitusviitta kertoo robotille suuntatietoa. Viitassa valkoinen pallo on suuntanuolen kärki. Valkoinen mielletään informaatiota antavaksi väriksi. Suuntatietoa antava viitta tulee olla rakenteeltaan sellainen että se voidaan havaita monesta eri suunnasta. Tällaisen viitan yksi toteutusvaihtoehto on tehdä suuntanuoli kahden pallon avulla. Pallojen paikkakoordinaatit tulee pystyä määrittämään kamerakuvasta, jotta suuntanuolen suuntainformaatio on mahdollista laskea. Suuntaviitta on mahdollista toteuttaa kuvan 18 kaltaisena. Tällöin, jos viitat asetetaan satunnaisesti ympäristöön, viitan rungon korkeus tulee olla mahdollisimman matala, jotta viitan antama suuntatieto eli valkoinen pallo olisi havaittavissa mahdollisimman monesta kulmasta eikä se jäisi punaisen pallon taakse. Nurmikkoalueilla viitassa ei tarvitse välttämättä olla runkoa ollenkaan, koska viitta erottuu hyvin ympäristöstä jos siellä ei ole korkeampia pensaita tai muita esteitä. Kulkureitin varrella, jolloin robotin tulosuunta voidaan päätellä, viitta voidaan toteuttaa myös rungon kanssa.

Reitinosoitusviitat perustuvat vesiliikenteessä käytettyyn menetelmään. Vasen reunamerkki on punainen sylinteri. Se viestittää että robotin tulee aina jättää merkki vasemmalle, eli ohittaa se oikealta puolelta. Vastaavasti oikea reuna merkki (keltainen sylinteri) tulee jättää oikealle. Jos robotin kulkusuunta ei ole tiedossa tai robotti kulkee reittiä molempiin suuntiin, tulee käyttää molempia viittoja, jolloin robotti voi

päätellä että viittojen välissä oleva alue on sallittu kulkualue. Reitinosoitusviitat ovat tarkoitettu kulkureitin osoitusta varten. Yleensä kulkureitti tarvitsee osoittaa robotille kun halutaan sen siirtyvän paikasta A paikkaan B. Jos tiedetään, että robotti on paikan A ympäristössä voidaan kulkureitti paikkaan B osoittaa pelkästään toista reunaviittatyyppejä käyttäen. Tällöin robotti seuraa viittoja viitasta riippuen jommallakummalla puolella viittaa tai se kulkee viitalta viitalle. Takaisin paluuta varten robotti voi tallentaa kulkemansa reitin karttaansa, jolloin sen ei välttämättä palatessa tarvitse käyttää viittoja. Robotti voi myös nimetä reitin muistiinsa niin, että lähestyessään reittiä toisesta suunnasta se osaa tulkita viittoja oikein (esim. pitää reunaviitat palatessa toisella puolella kuin mennessä).

Reunaviittojen avulla voidaan myös rajata jonkin alueen reunaa niin että robotti löytäessään viitan olettaa olevansa sillä hetkellä viitan sallitulla puolella ja viitan toinen puoli on poissuljettua aluetta.

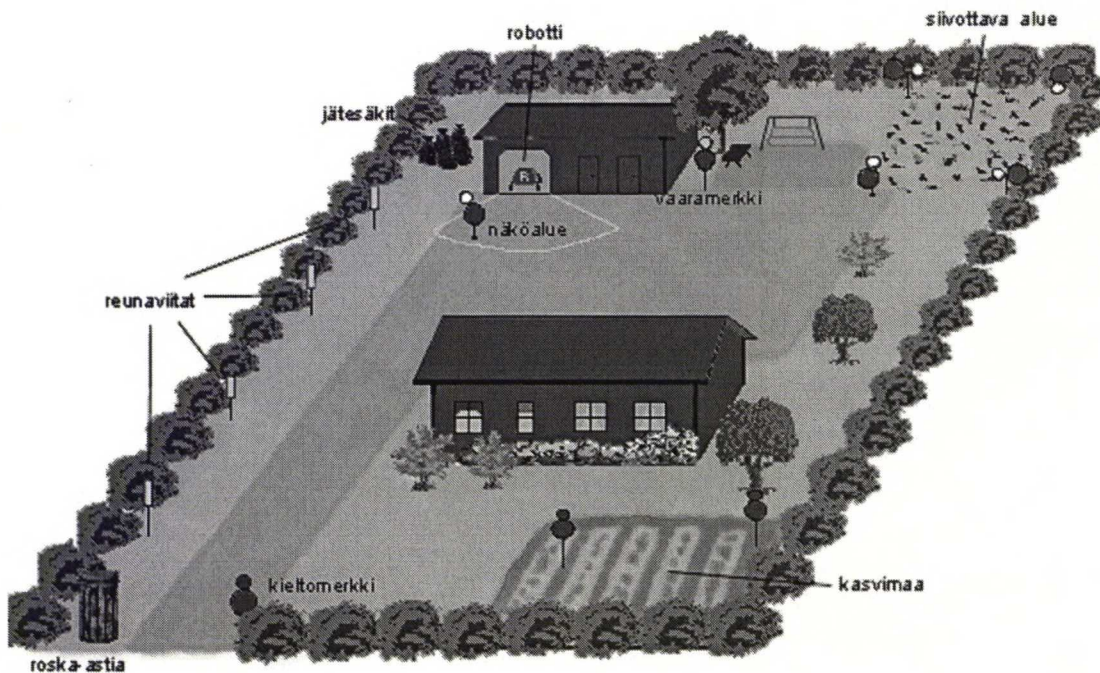
6.4 Viittojen käyttö eri sovelluskohteissa

Tässä kappaleessa esitellään viittojen käyttöä erityyppisissä sovelluskohteissa. Sovelluskohteita on erityyppisiä riippuen siitä onko kyseessä tuntematon vai tunnettu ympäristö ja ovatko robotin työtehtävät kertaluontoisia vai toistuvia. Ensimmäisessä kappaleessa esitellään sovellus robotin työskentelystä tuntemattomassa kotiympäristössä. Sovelluksessa käytetään hyväksi edellä esiteltyä viittajärjestelmää. Toisessa ja kolmannessa kappaleessa esitellään muun tyyppisiä sovellusratkaisuja ja niiden eroja ensimmäiseen tapaukseen.

6.4.1 Työskentely uudessa ympäristössä kertaluontoisissa tehtävissä

Työympäristönä on omakotitalon pihapiiri, joka on robotille tuntematon (Kuva 19). Kuvaan on merkitty viittojen lisäksi pihapiirin keskeisimmät rakennukset, kulkutiet, puut, oleskelualue ja kasvimaat. Lisäksi kuvaan on merkitty robotin näkyvyysalue, kun robotti on tallissa. Tehtävän kuvaus on alustava suunnitelma kuinka WorkPartner-robotin siivousoperaatio tullaan toteuttamaan viittojen avulla.

Palvelurobotin työtehtäväksi voidaan määrätä esim. jätesäkkien siirto autotallin nurkalta tienvieressä sijaitsevalle roska-astialle. Robotin (R) sijaintipaikka tehtävien aloitushetkellä on autotalli. Sieltä robotti lähtee suorittamaan työtehtäviään ja tehtävän suoritettuaan palaa takaisin. Alla esitellään tehtävän toteutus.



Kuva 19 Palvelurobotin työympäristö

Jättesäkkien siirto opastetaan robotille suuntaviitan ja reunaviittojen avulla. Operaattori antaa robotille esim. GSM:n välityksellä tai etukäteen ohjelmoimalla tehtävämääräyksen. Robotissa on olemassa objektitietokanta, joka sisältää robotin tehtävien suorituksen kannalta oleellisten objektien (viitat, jättesäkki, roska-astia jne.) tiedot sekä menetelmät uusien objektien paikkatiedon tallentamiseen tietokantaan. Objektitietokantaan on kirjattu kunkin viittaobjektin kohdalle mitä tyyppiä se on. Robotissa oleva Planner-ohjelma, joka koordinoi robotin toimintaa, osaa tulkita tämän tiedon annetun työtehtävän edellyttämällä tavalla. Planner purkaa operaattorilta tulevat tehtävätason komennot ja huolehtii että ne suoritetaan. Esimerkiksi tehtävätason komento "VIE_JÄTESÄKIT" on lyhenne komennosta "VIE_JÄTESÄKIT hehtaari paikka siirtymäreitti kohde". Planner huolehtii että standardiobjektien "hehtaari paikka" "siirtymäreitti" ja "kohde" paikat määritetään käyttäjän toimesta viittoja apuna käyttäen ennen tehtävän suoritusta.

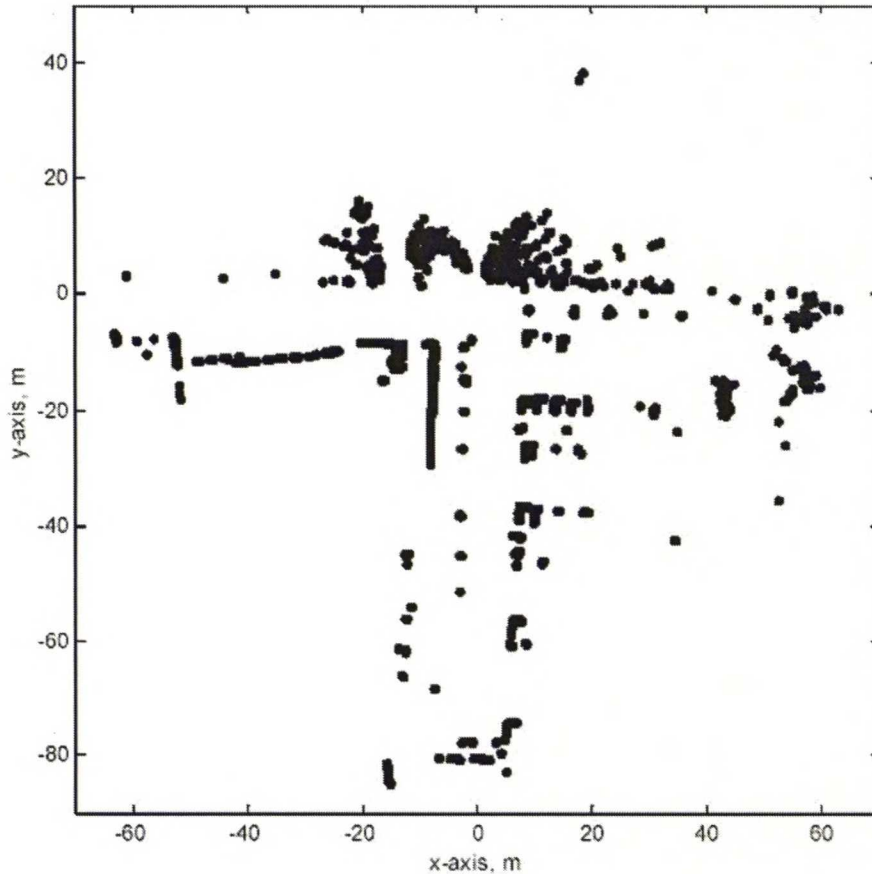
Kuvan 19 tapauksessa tehtävätason komento voi olla kokonaisuudessaan "VIE_JÄTESÄKIT SUUNTA VIITTA REITINOSOITUS 4 ROSKA-ASTIA". Jättesäkkien sijaintipaikka (hehtaari paikka) on robotin näkökentästä löytyvän suuntaviitan osoittamassa suunnassa. Siirtymäreitti on komennossa REITINOSOITUS 4, joka tarkoittaa tunnettua viittaobjektia nimeltään reitinosoitus. Reitinosoitukseen

käytettävien viittojen lukumäärä on 4, joka osoitetaan viitan nimen perässä olevalla numerolla. Lisäksi kohteen paikka, johon jättesäkit viedään, on tunnettu objekti ROSKA-ASTIA. Tehtävän suorituksessa robotti etsii jättesäkit niiden sijainnin osoittavan suuntanuolen perusteella. Seuraavaksi robotti etsii reitin kohteeseen hakemalla reitinosoitusviitat ympäristöstä ja lopuksi vielä paikantamalla kohteen eli roska-astian. Roska-astian sijainti voi olla tiedossa myös etukäteen. Tämän jälkeen robotti suorittaa työtehtävän ja tehtävän suoritettuaan robotti palaa talliinsa.

Yksi perusongelma, joka viittojen käytössä ilmenee, on nk. sisäpuoli-ulkopuoli ongelma. Robotille on hyvin vaikea ilmoittaa kumpi puoli viitasta on sallittua aluetta ja kumpi kiellettyä koska ei tiedetä mistä suunnasta robotti katsoo viittaa. Edellä esiteltyllä viittajärjestelmällä ongelma voidaan välttää tekemällä ”sääntö” että kieltoimerkeillä rajataan alueita, joiden sisäpuoli on kielletty. Vaikka robotti ei tunne käsitettä sisäpuoli, se tietää että kieltoviittaa se ei saa ohittaa, joten väistämättä sallittu alue on silloin se alue, jossa robotti sillä hetkellä on ja kielletty on kieltoimerkkien rajaama alue. Kun robotti havaitsee kieltoimerkin tai kieltoimerkkejä, se määrittelee niiden muodostaman kieltoalueen ja lähtee esim. kiertämään aluetta tai viittaa riippuen mitä tehtävää se on suorittamassa. Työskentelyaluetta määrätessä taas robotille pitää kertoa millä alueella robotin tulee suorittaa tehtävä. Tällöin robotti havainnoi aluetta rajaavat viitat ja muodostettuaan käsityksen millaisen alueen ne rajaavat robotti tulkitsee tämän muodostetun alueen sallituksi alueeksi.

6.4.2 Työskentely tuntemattomassa ympäristössä toistuvissa tehtävissä

Ennalta tuntemattomassa ympäristössä työskennellessään robotilla ei luonnollisesti ole ympäristöstä minkäänlaista karttaa. Tehdessään toistuvia tehtäviä tällaisessa ympäristöstä robotti havainnoi kokoajan ympäristöä ja paikantaa siellä näkyviä kohteita. Ympäristöä tutkimalla robotti muodostaa siitä karkean kartan. Karttaan robotti tallentaa esimerkiksi laserskannerilla havaitsemiaan rakennusten seiniä, puita ym. Kuva 20 on esimerkki laserskannerilla tehdyistä havainnoista ympäristöstä. Kuvassa näkyvät kohteet ovat mm. rakennuksen seiniä ja kulkuteitä.

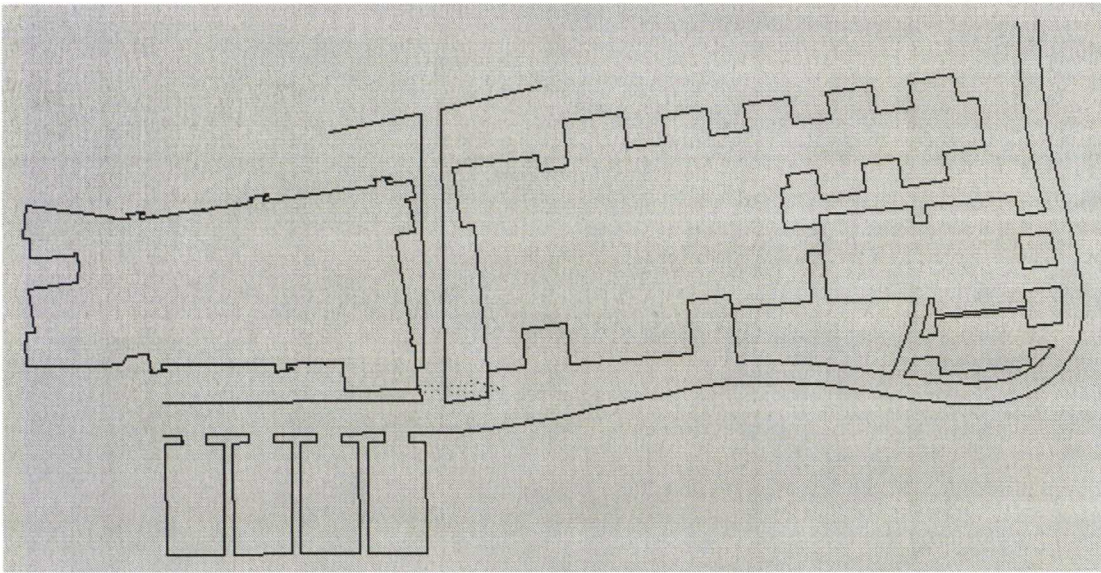


Kuva 20 Horisontaalisella laserskannauksella saatuja heijastuksia ympäristöstä (Selkäinaho, 2002)

Operaattori voi hyödyntää robotin muodostamaa karttaa ympäristöstä tehtävän määrittämisen yhteydessä. Kartta voidaan tuoda käyttöliittymään ja operaattori voi merkitä siihen esim. tehtävään liittyviä reittejä tai karkeita alueita. Kartan avulla voidaan esim. reitinosoitusviittojen käyttö joissain kohteissa jättää pois.

6.4.3 Työskentely tunnetussa ympäristössä

Robotin työskennellessä tunnetussa ympäristössä robotilla on ympäristöstä kartta. Kartta voi olla esim. rakennuksen pohjapiirros, jossa näkyvät kulkureitit ja muut stabiilit kohteet tai kartta voi olla asemapiirros ulkona olevasta työskentely-ympäristöstä. Kuva 21 on esimerkki käyttöliittymässä olevasta ympäristökartasta. Kartassa näkyvät mm. rakennukset ja kulkutiet.



Kuva 21 Käyttöliittymän kartta

Kartan avulla voidaan opastaa robottia tehtäviin liittyviin kohteisiin ja näyttää tehtävään liittyviä reittejä. Kartta ei kuitenkaan korvaa täysin viittoja, sillä ympäristössä voi olla vaihtuvia kohteita, esteitä, yms. tai reittimuutoksia, jotka tulee ilmoittaa viittojen avulla. Kertaluontoisissa tehtävissä robotin tehtävnmääritys tapahtuu käyttöliittymän kartan ja viittojen avulla. Toistuvissa tehtävissä robotti voi päivittää karttaa ajankohtaisemmaksi, tallentamalla sinne havaitsemiaan esteitä ja ympäristömuutoksia ja näin robotin ei tarvitse käyttää viittoja enää niin paljon, koska robotti oppii ympäristöä.

Käyttöliittymän karttaa voidaan hyödyntää mm. siirtymäreittien ja hehtaariipaikkojen määrittämisessä. Seuraavana on esimerkki kuvan 19 ympäristössä toteutetusta siivousoperaatiosta. Oletuksena on, että operaattorilla on käytettävissä karkea kartta ympäristöstä robotin työtehtävää määrittäessä.

Kuvassa 19 robotin toinen tehtävä on oksien ja roskien keruu tontin oikeasta yläkulmasta. Oksien ja roskien keruupaikka opastetaan robotille suuntaviittojen avulla. Tehtävän määrittäminen tapahtuu ensimmäisen esimerkin tapaan operaattorilta, joka määrittelee tehtävän sisällön. Tehtävätason komento on ”KERÄÄ_ROSKAT hehtaaripaikka siirtymäreitti SUUNTAVIITTA_alueenrajaus 4”. KERÄÄ_ROSKAT on komento, jonka suorittamiseksi robotin tarvitsee tietää alue, jolta roskat tulee kerätä. Alue määritellään suuntaviitoilla, joita on neljä kappaletta. Robotti löytää suuntaviitat hehtaaripaikka määrittämisellä. Tehtävää suorittaessa robotti määrittää ensin ”hehtaaripaikka” ja ”siirtymäreitti” objektit. Ne voidaan määrittää esimerkiksi

käyttöliittymälle visualisoitavalta kartalta. SUUNTAVIITTA_alueenrajaus 4 ei ole määrätty ennakkoon vaan robotti määrittelee alueen etsimällä viitat hehtaari paikan ympäristöstä. Viittojen löytämisen jälkeen robotti suunnittelee ja toteuttaa siivousoperaation alueelle.

Oleskelualueella olevaan vaarasta kertovaan viittaan robotti reagoi vaistonvaraisesti ohjausjärjestelmän alatasolla (pilot). Kasvimaalla olevat kieltoimerkit on merkitty kuvaan havainnollistamaan kiellettyjen alueiden rajausta viittojen avulla.

7 Passiivisen viitan toteutus WorkPartner-palvelurobotilla

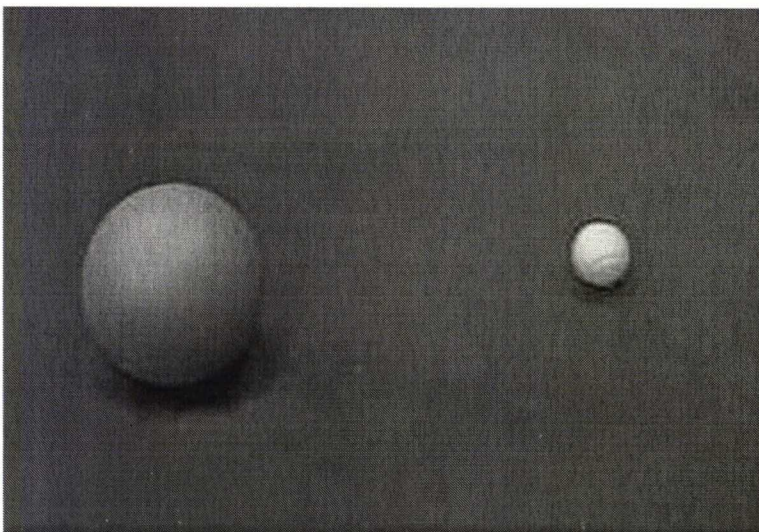
Diplomityön osana toteutetaan edellä esitellyn merkkijärjestelmän mukainen suuntaviitta ja pohditaan sen toimivuutta WorkPartner-palvelurobotille. Suuntaviitan rakenne pyritään toteuttamaan rakenteeltaan mahdollisimman yksinkertaisena ja helppokäyttöisenä, jotta sen sijoittaminen ympäristöön olisi vaivatonta. Lisäksi viitan havainnoinnissa ja paikannuksessa käytetään ensisijaisesti robotin videokameraa. Mikäli viitta asetetaan suhteellisen korkean jalustakappaleen päälle, voidaan sen paikantamiseen käyttää myös robotin laserskanneria.

Suuntaviitta antaa visuaalista informaatiota robotille, joka kamerakuvan avulla tulkitsee ja paikantaa viittoja. Kamerakuvasta robotti havaitsee viitan sijainnin lisäksi viitan osoittaman suunnan ja määrittää suuntavektorin sen omassa koordinaatistossaan.

7.1 Rakenne

Tutkimuksessa päätettiin käyttää passiivina suuntaviittoina palloja (Kuva 22). Palloja on kahdenkokoisia ja värisiä. Punaiset (halkaisija 22.5cm) pallot ovat viitan sijaintipalloja ja keltaiset pienemmät pallot (halkaisija 6.6cm) ovat suuntaa osoittavia palloja.

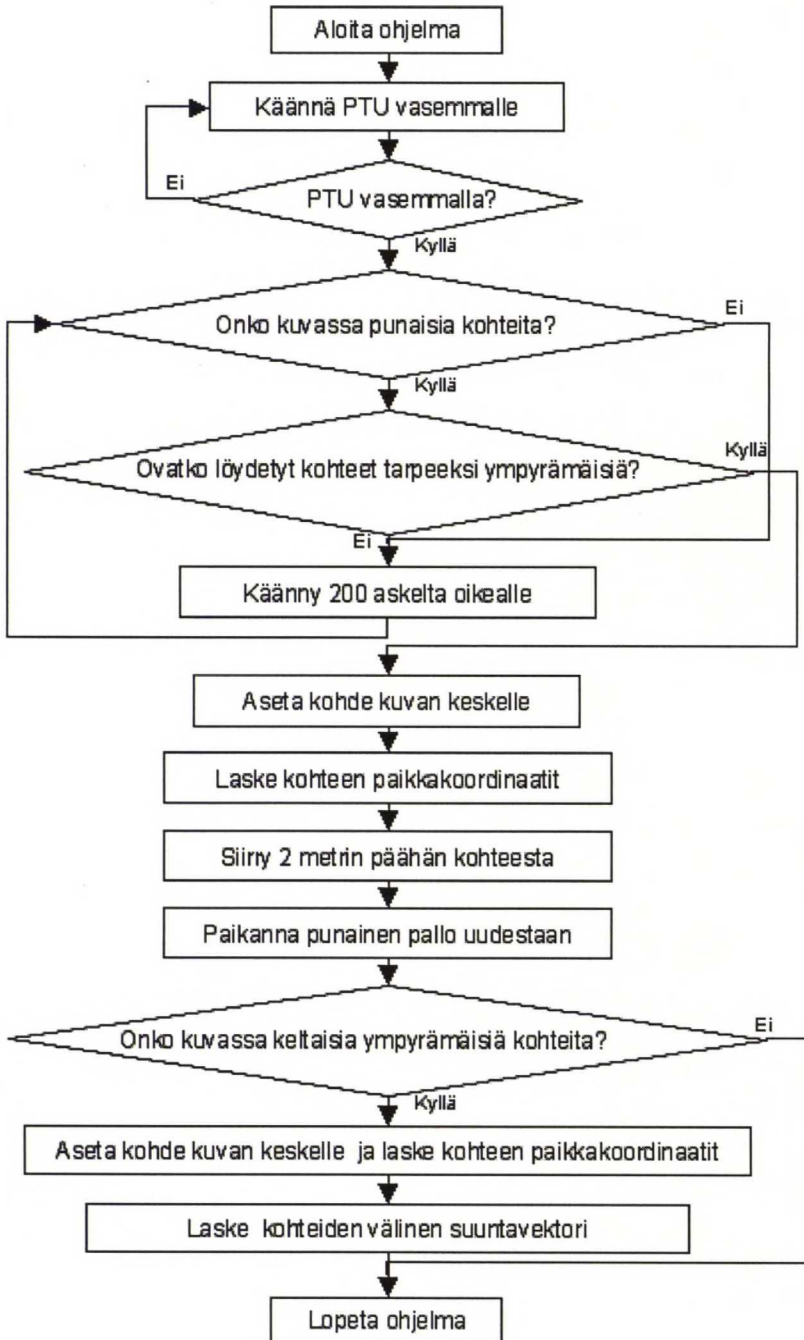
Yksi viitta sisältää sekä keltaisen että punaisen pallon. Punaisen pallon sijainti kertoo viitan sijainnin ja keltaisen pallon avulla ilmoitetaan viitan osoittama suunta. Keltainen pallo on suuntanuolen kärki. Suunta lasketaan pallojen koordinaateista.



Kuva 22 Suuntaviitan rakenne

7.2 Viitan etsiminen ja paikantaminen

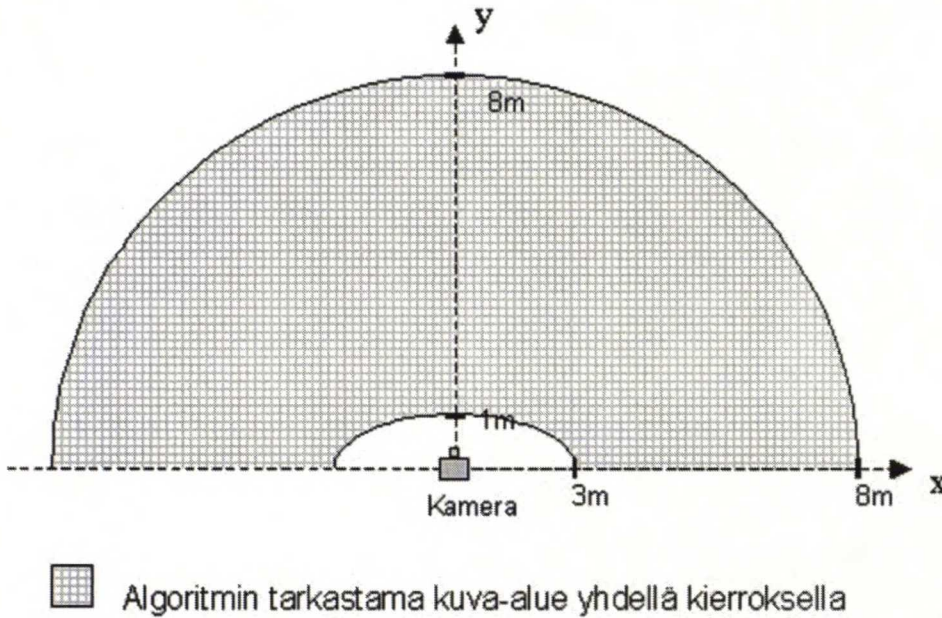
Viittojen havaitseminen tapahtuu erillisen kuvantunnistusohjelman avulla. Kuvantunnistusohjelma toteutettiin Borland C++ Builder ohjelmointialustalla. Ohjelman rakenne on alla olevan kuvan 23 mukainen.



Kuva 23 Viittojen paikannusalgoritmi

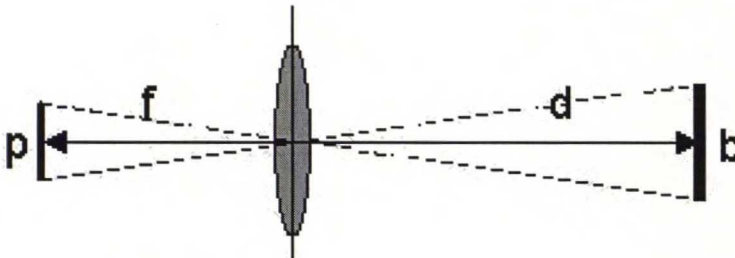
Algoritmi suoritetaan kun robotti on saapunut alueelle, jossa viittojen tulisi sijaita. Aluksi robotti kääntää kääntöpään vasemmalle sivulle ja aloittaa viittojen etsinnän. Tarkistetaan näkyykö punaista palloa kuvassa. Pallon havainnointi tapahtuu kuva-

analyysin avulla (tarkempi kuvaus seuraavassa kappaleessa). Jos kuvasta ei havaita viittaa käännytään 200 askelta oikealle ja tarkastetaan näkykö uudessa kuvassa viittaa. Kvantunnistusalgoritmi käy läpi ympäristöstä puoliympyrän muotoisen alueen, jonka säde on noin 8 metriä (Kuva 24).



Kuva 24 Kameran näköalue, jolla kohde voidaan paikantaa

Kun kuvasta havaitaan punainen pallo, kohdistetaan pallo kuvan keskelle ja lasketaan sen halkaisija kuvatasossa. Pallon todellinen halkaisija tunnetaan, samoin kääntöpään pan- ja tilt-kulmien arvot sillä hetkellä. Pallon etäisyys kamerasta saadaan laskettua kuvayhtälön avulla (Kuva 25), kun tunnetaan pallon koko b , polttoväli f ja pallon koko kuvatasossa p .

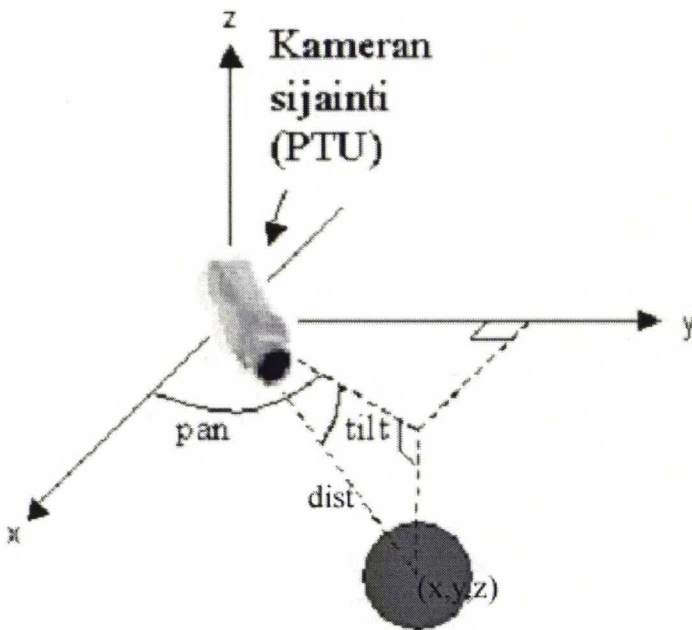


- p = kohteen koko kuvatasossa
- f = linssin polttoväli
- d = kohteen etäisyys linssistä
- b = kohteen todellinen koko

Kuva 25 Kuvayhtälön muodostuminen

Kuvayhtälö: $\frac{p}{f} = \frac{b}{d}$

Pallon koordinaatit voidaan laskea kun tunnetaan pallon etäisyys kääntöpäästä. Pallon paikkakoordinaatit robotin koordinaatistossa saadaan PTU:n (kääntöpään) pan- ja tilt-kulmien avulla. Kääntöpään pan- ja tilt-kulmat kertovat kuinka paljon kääntöpää on kääntynyt horisontaalisesti ja vertikaalisesti. Kuva 26 havainnollistaa pallon sijainnin laskemista kääntöpään suhteen.



Kuva 26 Pallon sijainnin määrittäminen robotin kääntöpään suhteen

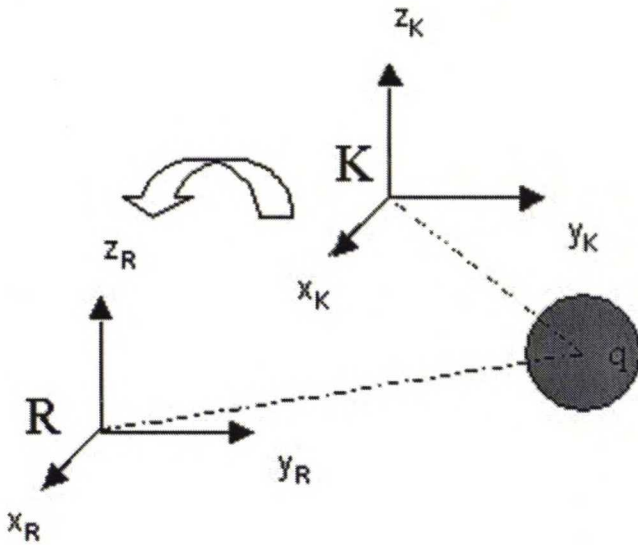
Kun tunnetaan kääntöpään kallistuskulmat, saadaan laskettua pallon keskipisteen koordinaatit kääntöpään suhteen.

$$x = \cos(\text{pan}) \cdot \cos(\text{tilt}) \cdot \text{dist}$$

$$y = \sin(\text{pan}) \cdot \cos(\text{tilt}) \cdot \text{dist}$$

$$z = \sin(\text{tilt}) \cdot \text{dist}$$

Pallon koordinaatit robotin omassa koordinaatistossa saadaan kun tiedetään koordinaatistomuunnosmatriisi ${}^K T_R$ kääntöpään koordinaatistosta robotin omaan koordinaatistoon. Kuva 27 havainnollistaa koordinaatiomuunnosta.



Kuva 27 Muunnos kameran koordinaatistosta robotin omaan koordinaatistoon

Muunnosmatriisi ${}^K T_R$ robotin tapauksessa on seuraava:

$${}^K T_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad , \text{ missä } \begin{matrix} p_x = 69 \\ p_y = 44 \\ p_z = 616 \end{matrix}$$

Pallon koordinaatit kameran suhteen ovat matriisissa ${}^K q$.

$${}^K q = \begin{bmatrix} x_K \\ y_K \\ z_K \\ 1 \end{bmatrix}$$

Pallon koordinaatit robotin koordinaatistossa R saadaan kertomalla muunnosmatriisi ${}^K T_R$ koordinaattimatriisilla ${}^K q$. Saadaan uudet koordinaatit ${}^R q$, jotka ovat pallon koordinaatit robotin omassa koordinaatistossa.

$${}^R q = {}^K T_R \cdot {}^K q = \begin{bmatrix} x + p_x \\ y + p_y \\ z + p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Kun punainen pallo on löydetty ja paikannettu liikutaan kahden metrin päähän löydetyistä palloista ja lasketaan viitan suuntatieto paikantamalla ensin punainen pallo uudestaan ja sen jälkeen etsitään ja paikannetaan kamerakuvasta keltainen suuntapallo. Keltaisen suuntapallon etsinnässä käytetään samaa algoritmia kuin punaisen pallon etsinnässä, mutta keltaiselle värille sopivilla kynnyksisarvoilla. Kun on saatu selville myös suuntapallon koordinaatit robotin omassa koordinaatistossa, saadaan geometrian avulla laskettua suuntavektori eli suunta, johon suuntanuoli osoittaa.

Viitan löydettyään robotti esimerkiksi kääntyy suuntanuolen osoittamaan suuntaan ja etsii sieltä suunnasta seuraavaa viittaa.

7.3 Kuvankäsittely

Pallojen etsinnässä käytetään WorkPartnerin kääntöpäässä sijaitsevan kameran lähettämää videokuvaa. Kameran kuva siirtyy analogisessa muodossa videoserverille, josta kuva ladataan kuvankäsittelyohjelmaa pyörittävälle tietokoneelle jpeg-muodossa. Kuvankäsittelyohjelmassa kuva ladataan ohjelmaan tiedostosta Intel Jpeg Library:n funktiolla ja muunnetaan Intel Image Processing Libraryn (IPL) vaatimaan formaattiin. Varsinainen kuva-analyysi suoritetaan yksittäisille IPL-kuville.

Kuva-analyysissä aluksi RGB-väriformaattissa oleva kuva muunnetaan kynnyksen helpottamiseksi HSV-muotoon (Hue, Saturation, Value). HSV-muoto muistuttaa tapaa, jolla ihminen näkee ympäristönsä. Hue-arvo ilmaisee värin sävyn (punainen, keltainen jne.). Jokaiselle värisävylle on tietty alue asteikossa, joka on 0-255. (esim. keltainen 30 - 60). Saturation-arvo kertoo värin kylläisyyden eli kuinka paljon harmaata värissä on. Value-arvo kertoo värin kirkkauden. (Kankaanpää 2000).

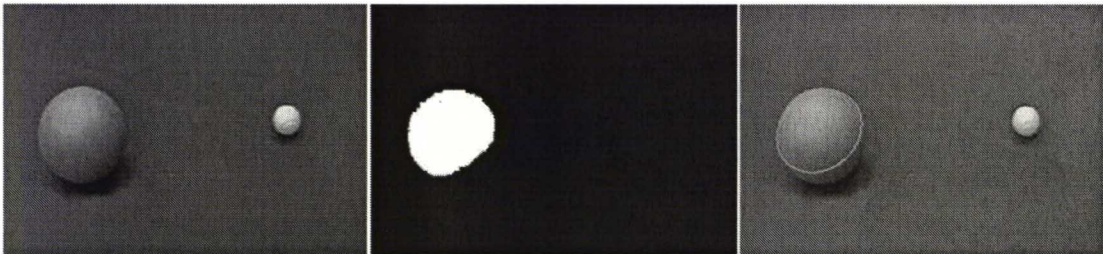
Pallojen HSV-arvot selvitetään käyttämällä IPL-kirjaston funktiota, joka palauttaa halutun kuvapikselin HSV-arvot. Sekä punaisen että keltaisen pallon HSV-arvot kartoitettiin erilaisissa valaistuksissa ja muodostettiin asteikko, jolle pallojen HSV-arvot sijoittuvat.

Kuvasta etsitään kohteet, joiden HSV-arvot vastaavat joko punaista tai keltaista riippuen kumpaa palloa ollaan etsimässä. Pallojen värit valittiin mahdollisimman helposti erottuviksi ja helpoiksi tunnistaa kamerakuvasta. Värien valinnassa huomioitiin niiden käyttö ulko-olosuhteissa. Kirkas keltainen ja punainen väri ja

pyöreä muoto ovat helposti erottuvia esimerkiksi ruskeaa maata tai vihreää nurmikkoa vasten.

Halutun väriset kohteet saadaan poimittua käsiteltävästä kuvasta kynnystämällä kuva vastaavalla HSV-arvoilla. Kuvasta poistetaan lisäksi vielä suhteellisen harmaat ja pimeät värit, alipäästösuodatetaan vähän ja lopuksi saadaan kuva, jossa ovat jäljellä vain haluttua väriä olevat kohteet.

Seuraavaksi tarkastellaan ovatko löydetyt kohteet pallon muotoisia. OpenCV-funktioita käyttämällä saadaan löydettyyn kohteeseen sovitettua ellipsi ja elliptisyyttä tutkimalla saadaan selville onko kyseessä ympyrämäinen kohde. Jos löydetty kohde on ympyrämäinen ja koko vastaa asetusrvoja (ympyrän halkaisija haluttujen rajojen sisällä), oletetaan, että on löydetty haettu pallo. Kuvassa 28 on alkuperäinen kamerakuva, punaisen kohteen etsimiseksi kynnystetty kuva ja löydetty kohde (ympärillä vihreä rengas).



Kuva 28 Alkuperäinen kuva, punaisen värin kynnystysarvoilla kynnystetty kuva ja löydetty punainen ympyrämäinen kohde

8 Tutkimustulokset

Tässä kappaleessa käsitellään tutkimustuloksia sekä aktiivisten että passiivisten viittojen toteutusratkaisuja pohtien. Alkuosassa käydään läpi aktiivisten viittojen toteutusvaihtoehtojen etuja ja haittoja, sekä pohditaan niiden tarpeellisuutta viittajärjestelmässä. Lopussa tarkastellaan passiivista viitoitusjärjestelmää ja pohditaan sen toteutusmahdollisuuksia edellä esiteltyä menetelmää käyttäen.

8.1 Aktiiviset viitat

Tutkimuksen yksi tavoite on tehdä kartoitus aktiivisten viittojen käyttöalueesta ja pohtia erilaisia toteutusratkaisuja ja niiden soveltuvuutta viittojen toteuttamiseksi. Aktiivisten viittojen toteutusratkaisuja esiteltiin luvussa 4.

Aktiivisten viittojen toteutustavoista tällä hetkellä hinnaltaan ja tekniikaltaan kilpailukykyisin on Bluetooth-tekniikan käyttö sekä suuntaavan antennin että GPS-vastaanottimen kanssa.

Suuntaavan antennin käyttö radiosignaalia tunnistettaessa mahdollistaa viitan löytymisen hehtaarialueelta (esim. parkkipaikka). Toisaalta suuntaavan antennin käyttö ja toteuttaminen vaatii melko monimutkaisen fyysisen toteutuksen ja voi olla kallis käytettäväksi tällaisissa ratkaisuisissa. Antenniksi sopivia ovat 2.4 GHz antennit, joita on tarjolla erilaisilla keilanleveyksillä. Tarkimmat (alle 10 asteen keila) antennit ovat melko kalliita (> 400€) ja suurikokoisia (paino yli 2kg). Halvempien 30 asteen keilanleveyteen yltävien antennien hinnat ovat 100 eurosta ylöspäin. Antenneihin ei ole saatavissa valmiita pyöritettäviä alustoja, jolla suuntakulmaa voidaan säätää. Suuntavan antennin suunnan kääntäminen tulisi todennäköisesti tehdä erikseen alustalla, jota esim. askelmoottori pyörittää. Tällaisen rakenteen tekeminen tekee järjestelmästä monimutkaisen ja laitteen toimintavarmuus pienenee. Toisaalta kevyen antennin tapauksessa antenni voitaisiin mahdollisesti kiinnittää robotin kääntöpäähän, jolloin sen ohjattavuus olisi huomattavasti varmempaa ja helpompaa. Suuntavan antennin käytössä tulee myös ongelmia viittojen identifioinnissa, sillä 10 asteen keilanleveydellä voi olla jossain tapauksessa monta aktiivista viittaa, jotka lähettävät signaalia. Signaaleista robotti saa viittojen ID:t, mutta se ei pysty määrittämään mikä niistä kuuluu millekin viitalle. Robotin pitäisi tehdä erottelu erikseen

kommunikoimalla viitan kanssa esim. pyytää viitta nro 1 sytyttämään led-valo, jolloin robotti tietäisi mikä on viitta 1.

Toinen vaihtoehto on Bluetooth-tekniikan ja GPS-vastaanottimen käyttö. Aktiiviseen viittaan, jossa on Bluetooth-vastaanotin, voidaan liittää GPS-paikannin ja pieni virtalähde. Hehtaarialueelle tultaessa robotti saa Bluetooth-signaalin välityksellä aktiivisen viitan globaalit koordinaatit ja suunnistaa kulkunsa koordinaattien perusteella viitan luokse. Viitan lopullinen tunnistaminen tapahtuu kamerakuvan perusteella. Mikäli viittaan on kytketty GPS:n lisäksi kompassi, voidaan myös viitan osoittama suuntatieto lukea suoraan viitalta. Tällöin passiivisesta suuntatiedon osoitusvälineistöstä voidaan luopua.

Aktiivisen viitan kustannukseksi tulee sekä lähetin että GPS-vastaanotin ja kompassi. Useampia viittoja toteuttaessa tällaisen rakenteen käyttö ei ole järkevää kovien kustannuksien vuoksi. Toisaalta viitta on monikäyttöinen ja uudelleen ohjelmoitavissa ja sitä voidaan käyttää myös tehtävätietojen välittämiseen. Viittojen yksilöinti ja tunnistaminen voidaan myös toteuttaa Bluetooth-sirulle tallennettavien tietojen avulla. GPS-paikannuksen hyödyntäminen aktiivisessa viitassa on tulevaisuuden käyttöä ajatellen järkevää. Tällä hetkellä GPS:n käyttö aktiivisen viitan paikannuksessa on vielä mahdollisesti kalliimpaa kuin suuntaavan antennin, mutta GPS-vastaanottimet ovat yleistymässä jokapäiväiseksi paikannusvälineeksi ja niiden hinnat tulevat kokoajan kilpailukykyisemmiksi perinteisten ratkaisujen rinnalle. GPS-vastaanottimien yleistymistä nopeuttaa Euroopan oma satelliittipaikannushanke Galileo, joka on tulossa käyttöön vuoteen 2008 mennessä. Galileo mahdollistaa vähintään 5 metrin paikannustarkkuuden ja järjestelmän käyttö on ilmaista. Hyödynnettäessä GPS-vastaanotinta viitassa on todennäköistä että viitta on jonkun aikaa samassa paikassa. Tällöin GPS:n tarkkuutta voidaan parantaa keskiarvoistamalla paikkatietoa esim. noin tunnin ajan. Tällöin GPS-tarkkuudeksi saadaan WorkPartner-robotin omalla GPS-järjestelmällä alle yksi metri.

Aktiivisen viitan käyttämisen etuna verrattuna pelkästään passiivisiin viittoihin on mahdollisuus ohjelmoida tehtävämääritystiedot viittaan, josta robotti saa ne luettua. Tämä etu mahdollistaa sen, että operaattori voi viittoja asettaessaan samalla ohjelmoida aktiiviseen viittaan työtehtävään liittyvät tiedot ja myöhemmin operaattori (voi olla myös eri henkilö kuin viittojen asettaja) vain lähettää robotin tehtäväalueelle karkealla komennolla (työtehtävä viitta_x, location viitta_x: parkkipaikka)

(WorkPartnerin demonstraatio suunnitelma). Passiivisten viittojen käyttöön verrattuna operaattorilta jää pois työvaihe, jossa osoitetaan robotille kartalta viittojen karkea löytymisalue tai viedään robotti työalueelle. Aktiivisen viitan etu on myös että viitalla voi olla ID, joka helpottaa tehtävämäärittystä. Esimerkiksi alue voidaan rajata neljällä viitalla 1,2,3 ja 4.

Työtehtävän määrittämisen kannalta ei ole merkittävää etua sillä, että tehtävämäärittämiset voidaan tehdä aktiiviseen viittaan ja sitä kautta välittää robotille. Tehtävämäärittämiset voitaisiin tehdä myös suoraan robotille esim. niin, että robotille kerrotaan, että viitan x yhteyteen kuuluu n-kappaletta viittoja, jotka muodostavat alueen, jolla robotti voi liikkua. Työtehtävän määrittäminen tulee tehdä aina ennen kuin robotti lähtee suorittamaan tehtävää.

Oleellinen etu aktiivisten viittojen käytössä on viittojen löytäminen. Passiiviset viitat voidaan löytää vain lähialueelta ja robotille tulee aina osoittaa noin 10x10 metrin alue, josta viitat sijaitsevat. Aktiivisella viitalla sen sijaan riittää hehtaarialueen määrittäminen (100m x100m).

Aktiivisten viittojen toteuttaminen on tekniikaltaan huomattavasti kalliimpaa kuin passiivisten. Lisäksi, jos laite toteutetaan kovin monimutkaisella järjestelmällä, sen toimintavarmuus kärsii.

Aktiivisten viittojen toteutuksessa yksi rajoittava tekijä on myös energian kulutus. Viitan laitteiden tulisi toimia esim. paristojen avulla ja niiden perustilan pitäisi olla todella vähän virtaa kuluttava. Nykyisin tehokkaita, pieniä virtalähteitä on tarjolla paljon, sillä niiden kysyntä mm. kämmenmikrojen ja kannettavien tietokoneiden yleistyessä on kasvanut merkittävästi. Ladattavat, tehokkaat, pitkäkestoiset akut ovat kuitenkin vielä melko kalliita komponentteja laittaa jokaiseen aktiiviseen viittaan.

8.2 Passiiviset viitat

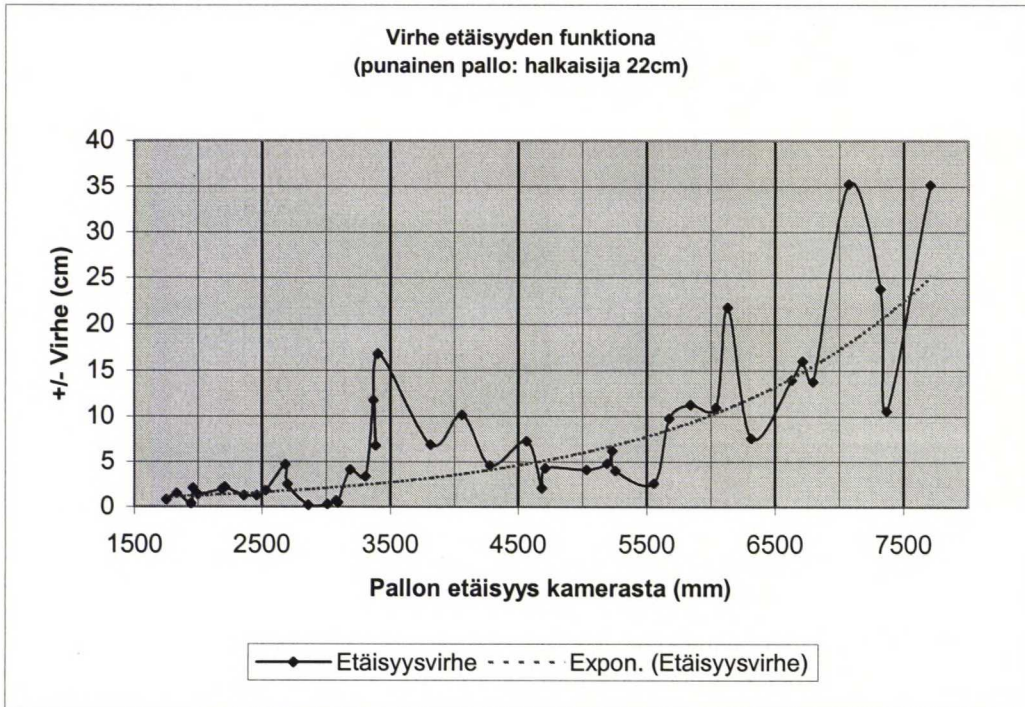
Luvussa 6 esiteltiin passiivisten viittojen yksi mahdollinen toteutustapa, joka pohjautuu merkkijärjestelmän käyttöön. Luvussa 7 esiteltiin diplomityön osana toteutettu suuntaviitan käyttö WorkPartner-palvelurobotilla. Seuraavaksi esitellään jälkimmäisen suuntaviittasovelluksen tuloksia viittajärjestelmän soveltuvuudesta WorkPartnerille ja järjestelmän käyttömahdollisuuksista.

8.2.1 Kalibrointi

Kuvantunnistusohjelmien testauksen alussa etäisyydenlaskenta kalibroitiin kameran, pallon ja lasermittalaitteen avulla. Kalibrointi suoritettiin ensin pallon ollessa 2 metrin etäisyydellä kamerasta. Kun kuvantunnistusohjelmaa testattiin kohteen ollessa muutaman metrin kauempana kuin kalibrointietäisyys havaittiin että virhettä alkoi kohteen etäisyyden määrittämisessä esiintyä liian paljon. Etäisyyden tarkkuutta saatiin parannettua muodostamalla kalibrointitaulukko eli mittaamalla pallon kokoa kuvatasolla muutamalla eri etäisyydellä (Liite 2: Kuvat 36 ja 37). Muutaman nk. kalibrointipisteen mittaaminen oli välttämätöntä sillä kuvista 36 ja 37 havaitaan, että pallon koko kuvatasolla suhteessa etäisyyteen ei ole lineaarinen, näin ollen etäisyyden laskennassa ei voida käyttää aina samaa vakioarvoa vaan vakio määräytyy kuvatasolta löydetyn pallon koon perusteella. Tällä menetelmällä etäisyyden mittauksista saatiin parannettua merkittävästi. Kalibroinnista huolimatta mittauksessa on kuitenkin vielä etäisyysvirhettä, joka aiheutuu mm. pallon reuna-alueiden väri vaihteluista erilaisissa ympäristöissä.

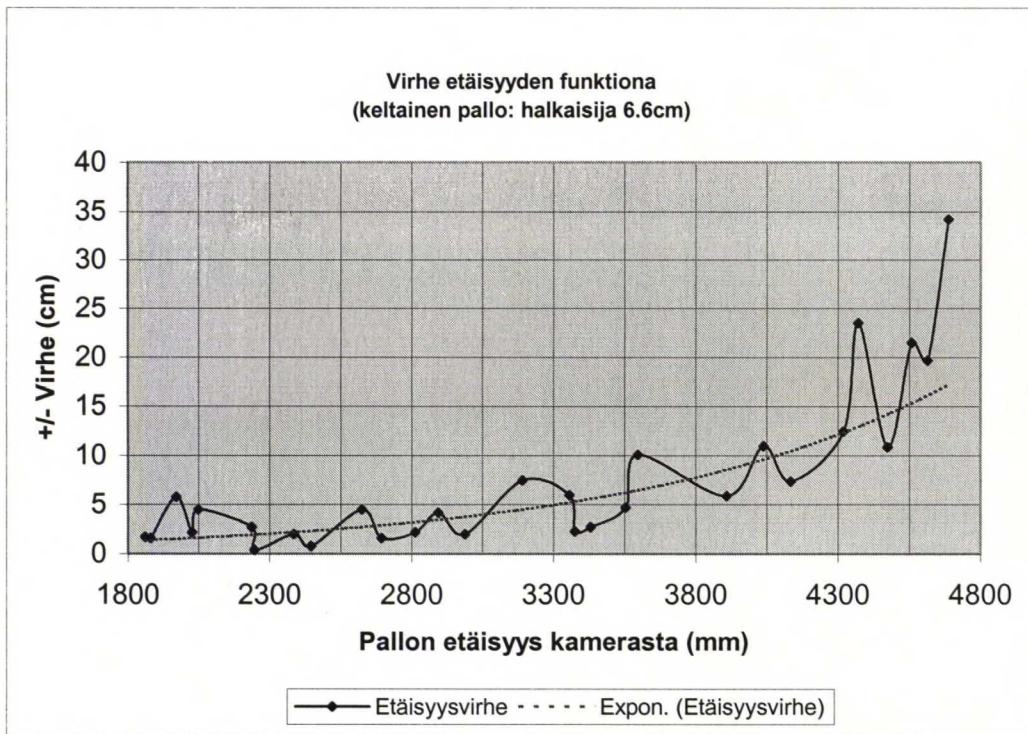
8.2.2 Etäisyyden mittaus

Mitatessa kamerakuvasta määritettyä kohteen etäisyyttä pidettiin referenssikohteena lasermittalaitteen antamaa tulosta. Lasermittalaitteen tarkkuus on kohtalaisen hyvä, muutaman millimetrin luokkaa. Kuvissa 29 ja 30 esitellään tuloksia, joita saatiin mitatessa asennushallissa kahden erikokoisen pallon etäisyyttä kamerasta kuvantunnistusohjelman ja laserin avulla.



Kuva 29 Punaisen pallon (halkaisija 22cm) etäisyyden mittausvirhe

Kuva 29 kuvaa punaisen pallon etäisyyden mittausta ja mittauksen virhettä verrattuna lasermittalaitteen antamaan tulokseen. Etäisyysvirhepisteet ja -käyrä ovat suoraan testidatasta saatuja arvoja. Testi tehtiin asennushallissa, jossa valaistus oli lähes vakio. Pallon etäisyyttä mitattiin noin 1.5 - 8 metrin etäisyydellä kamerasta. Katkoviiva käyrä on eksponentiaalisesti kasvavan käyrän sovitus testidataan. Käyrä kuvaa ehkä havainnollisemmin keskimääräistä virhettä etäisyyden mittauksessa. Kuvaajasta huomataan, että etäisyysvirhe pysyy melko hallittuna noin kuuteen metriin asti, jonka jälkeen se alkaa kasvaa jo melko paljon. Virhe kuvaajassa on virheen itseisarvo. Virhe ei ole systemaattista vaan se on satunnaisesti joko yli tai alle oikean arvon.

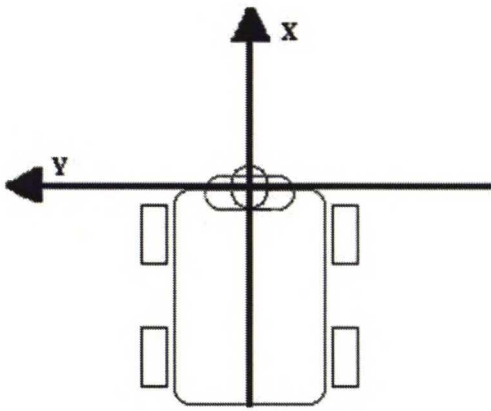


Kuva 30 Keltaisen pallon (halkaisija 6.6cm) etäisyyden mittausvirhe

Kuva 30 kuvaa keltaisen eli pienemmän pallon etäisyyden mittausta. Pallon pienestä koosta johtuen etäisyyden mittausalue kuvatunnistusmenetelmällä on noin puolet pienempi kuin edellisessä isomman pallon tapauksessa. Testauksessa pallon etäisyyttä mitattiin noin 1.5 - 4.5 metrin etäisyydellä kamerasta. Kuvaajasta nähdään että mittaustarkkuus on jonkin verran huonompi kuin isommalla pallolla. Suuntapallojen käyttötarkoitusta ajatellen riittävä etäisyyden mittatarkkuus on noin 10 cm luokkaa. Tällöin pallojen pitäisi sijaita 1.5 – 3 metrin päästä kamerasta.

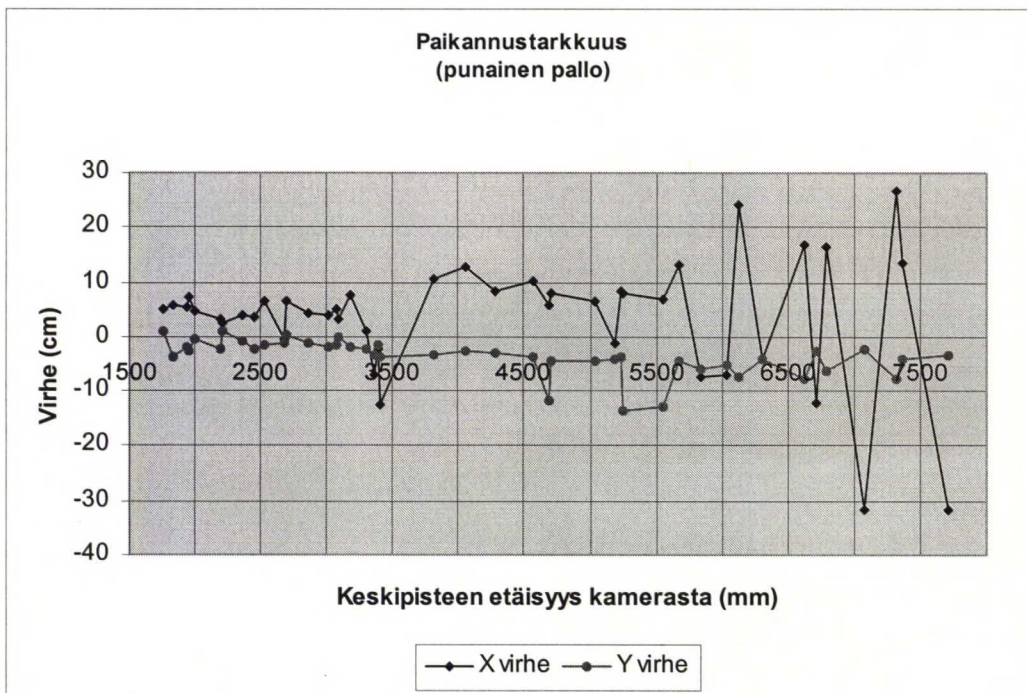
8.2.3 Viitan paikannus

Kohteen tunnistamisen ja etäisyyden mittauksen jälkeen kohde paikannetaan robotin suhteen. Paikannuksessa käytetään hyväksi laskettua etäisyyttä kohteeseen ja kääntöpään pan- ja tilt-kulmien arvoja. Myös paikannuksessa käytetään referenssinä lasermittalaitteen antamaa paikkatietoa kohteesta. Paikkakoordinaatit lasketaan suhteessa robotin kääntöpäähän. Koordinaatisto on alla olevan kuvan 31 mukainen.



Kuva 31 Koordinaatisto, jonka suhteen paikkakoordinaatit lasketaan

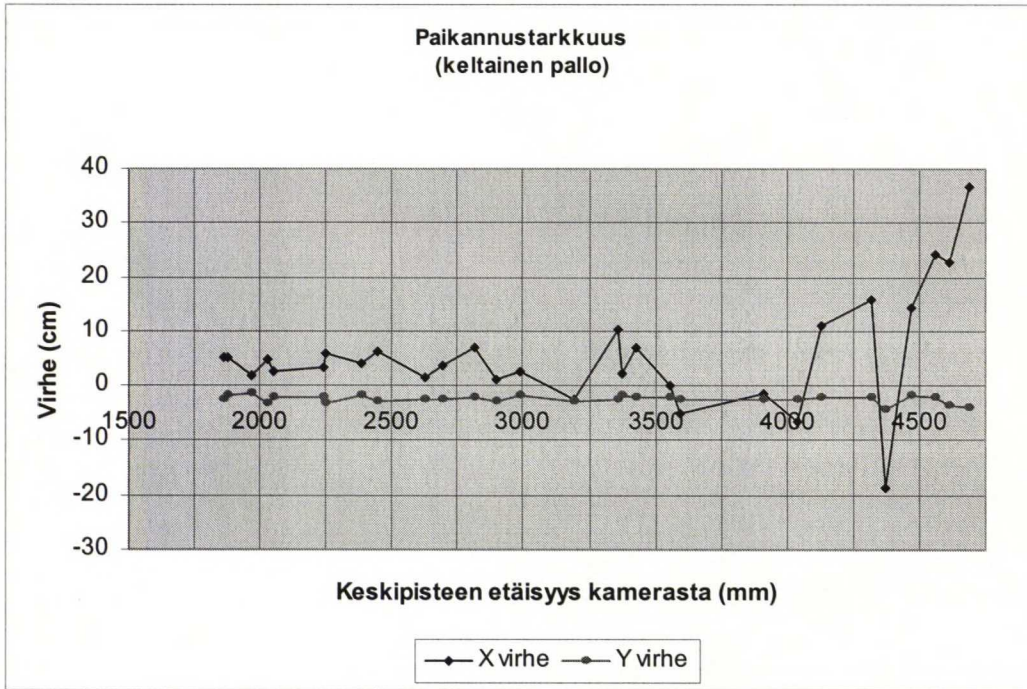
Kuvissa 32 ja 33 esitetään kamerakuvasta laskettujen kahden erikokoisen pallon koordinaattivirheet X- ja Y-suunnassa. Vertailupohjana ovat lasermittalaitteen antamat paikkakoordinaatit.



Kuva 32 Kvantunnistusohjelmalla mitattujen paikkakoordinaattien virhe punaisella pallolla (halkaisija 22cm)

Kuva 32 kuvaa isomman pallon paikkakoordinaattien tarkkuutta suhteessa lasermittalaitteen antamaan tulokseen. Kuvaajasta nähdään, että X-koordinaatin virhe on satunnaista ja kasvaa samaan tapaan kuin etäisyyden virhe. Tämä johtuu siitä että X-koordinaatti riippuu voimakkaasti pallon kohtisuorasta etäisyydestä silloin kun pallon on robotin edessä. Kuvaajasta nähdään myös että Y-suuntainen virhe eli

sivuttaispoikkeama on melko pientä. Tämä johtuu siitä että sivusuunnassa pallon sijaintia ei vaihdettu niin paljon kuin X- eli pituussuunnassa. Y-virhe on suhteessa lähes samaa kuin X-virhe.



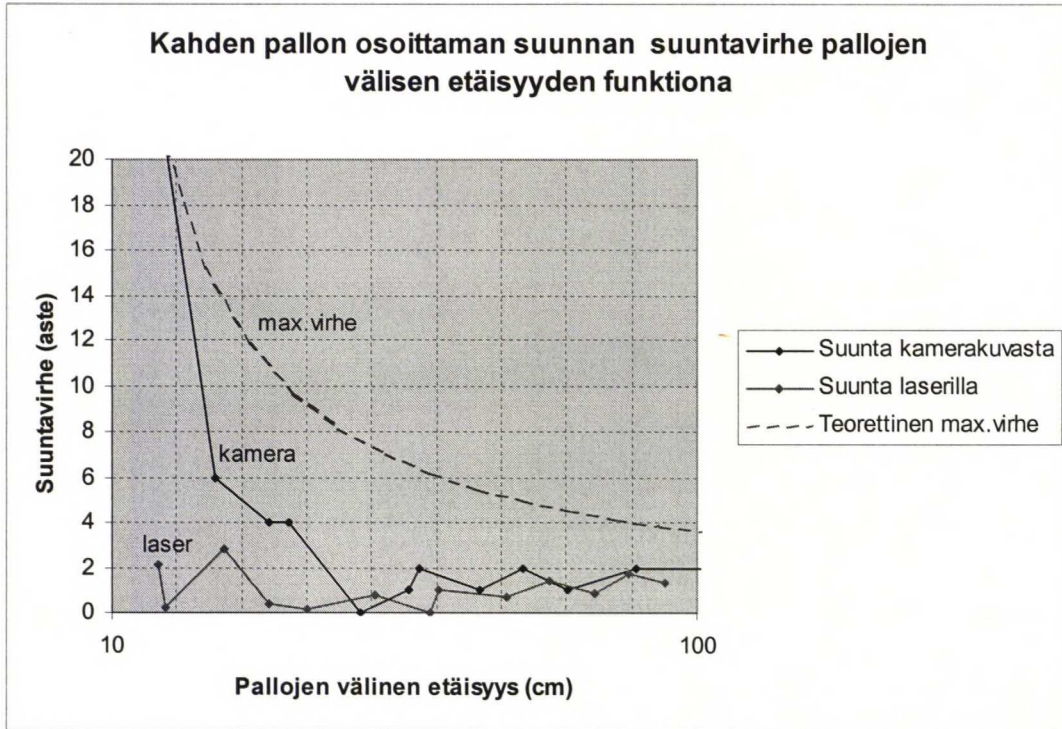
Kuva 33 Kuvantunnistusohjelmalla mitattujen paikkakoordinaattien virhe keltaisella pallolla (halkaisija 6.6cm)

Kuva 33 kuvaa pienemmän pallon paikkakoordinaattien tarkkuutta. Testauksissa pallo oli Y-akselin suhteen vielä pienemmällä alueella kuin edellisessä tapauksessa, joten Y-koordinaattien virheessä ei ole suurta eroa eri etäisyyksillä. Sen sijaan, samoin kuin edellä, X-koordinaattien virhe on riippuvainen etäisyydestä samoin kuin etäisyyden mittaustarkkuus.

Kuvaajista nähdään, että kamerakuvasta saadut kohteen koordinaatit ovat melko luotettavia. Poikkeama lasermittalaitteella saatuun paikkatietoon ei ole merkittävän suuri. Keskimääräinen mittausvirhe on noin 10 cm. Suuntaviittojen käyttöä ajatellen paikannusvirhe ei ole liian suuri. Esimerkiksi alueita määritettäessä riittää että viitan paikkakoordinaatit saadaan noin 10 - 15 cm tarkkuudella. Tehtäessä viitan paikannus kauempaa, jolloin mittaus virhe on suuri, virheen suuruudella ei ole kovin suurta merkitystä sillä viitta joka tapauksessa paikannetaan uudestaan sitä lähestyttäessä jolloin mittausvirhettä saadaan pienemmäksi.

8.2.4 Viitan suuntatarkkuus

Testauksessa suuntaviitan antama suunta laskettiin kahden pallon avulla. Pallojen koordinaatit selvitettiin ensin kamerakuvan avulla ja sen jälkeen laskettiin pallojen paikkakoordinaateista pallojen keskipisteiden välinen suuntavektori robotin koordinaatistossa (Kuva 34).



Kuva 34 Suuntavirhe pallojen välisen etäisyyden funktiona

Testauksessa suuntanuolena käytettyjen pallojen koordinaatit mitattiin sekä kuvantunnistusohjelman että lasermittalaitteen avulla. Pallojen paikkakoordinaateista laskettua viitan suuntatietoa verrattiin viitan “todelliseen” suuntaan robotin suhteen. Todellinen suunta määriteltiin astemitan ja silmähavainnon perusteella. Todellinen suunta ei ole absoluuttisen tarkka vaan summittainen referenssisuunta. Testauksessa suuntanuoli (kaksi palloa) asetettiin noin kahden metrin päähän robotista. Pallojen suunta robotin suhteen pysyi koko testauksen ajan samana, vain pallojen välistä etäisyyttä kasvatettiin.

Kuvaajaa tulee tarkastella suhteellisesti, suuntavirhe ei ole absoluuttinen suuntavirhe vaan erotus astemitalta saatuun suuntaan. Kuvaaja tulee tarkastella lähinnä kokonaisnäkökulmasta. Kuvaajasta nähdään että suuntavirhe pienenee voimakkaasti pallojen välistä etäisyyttä kasvatettaessa. Tämä on todettavissa myös teoreettista

suuntavirhettä laskettaessa. Teoreettista suuntavirhettä laskettaessa keskimääräiseksi paikannusvirheeksi x-suunnassa ajateltiin noin 7 cm ja y-suunnassa noin 3 cm. Näiden keskimääräisten virhearvojen avulla laskettiin teoreettinen suuntavirheen pallojen välistä etäisyyttä kasvatettaessa.

Pallojen ollessa lähellä toisiaan pallojen paikanmäärityksen virhe suhteessa pallojen väliseen etäisyyteen on niin suuri että suuntavirhe on huomattava. Suuntaviitan sovellettavuutta ja käytettävyyttä ajatellen pallojen välisen etäisyyden sopiva mitta on noin 50cm. Tällöin pallot ovat havaittavissa vielä samasta kuvasta, vaikka kuva keskitettäisiin toisen pallon suhteen (kuten testauksessa on tehty). Suuntatarkkuus tällä etäisyydellä on testauksen mukaan jo riittävä, eikä pallojen välistä etäisyyttä ole syytä enää kasvattaa. Paikannusvirheen ollessa noin ± 10 cm ja pallojen välisen etäisyyden ollessa 50cm suuntanuolen virhe on maksimissaan noin 20 astetta, mikä on riittävä tarkkuus ajatellen että suuntanuoli osoittaa vain karkeaa suuntaa mistä jokin kohde löytyy.

8.2.5 Menetelmän toimivuus ja luotettavuus

Kuva-analyysitarkastelu osoittaa että kameran käyttö ympäristön tunnettujen kohteiden havainnoinnissa on liikkuvilla roboteilla varteenotettava vaihtoehto. Kamerakuvan antamat tulokset ovat riittävän tarkkoja sovelluksessa, jossa paikannus- ja suuntamääritysten ei tarvitse olla senttimetrien tai asteiden luokkaa.

Testauksessa käytetty palvelurobotti on suunniteltu ulko-olosuhteissa ja piha-alueilla käytettäväksi. Esimerkiksi alueen määrittämisessä riittävää on että robotti pystyy määrittämään viitan osoittaman suunnan noin parin kymmenen asteen tarkkuudella. Suuntanuolen on tarkoitus osoittaa robotille, jotain työtehtävään liittyvää suuntaa, suuntaviitan käytön idea ei ole antaa absoluuttista suuntatietoa, koska robotin oma navigointi ja odometria aiheuttavat kuitenkin lisää virhettä ja suuntanuolen osoittama paikka tai kohde on joka tapauksessa tarkistettava vielä kamerakuvan tai jonkin sensorin avulla kun kohde on saavutettu.

8.2.6 Viittojen havainnoinnissa huomioitavaa

Kamerakuva antaa sopivissa olosuhteissa melko tarkan kuvan ympäristöstä. Koneäön soveltaminen ulko-olosuhteissa on kuitenkin vielä melko epävarmaa ja tuloksien luotettavuuteen vaikuttavat runsaasti erilaiset tekijät. Tutkimuksessa

havaittiin kuvantunnistusohjelmaa tehdessä että esimerkiksi aurinkoisella säällä otetuista kuvista oli erittäin vaikea havaita viittoja. Kirkas auringon valo vaalentaa värisävyt ja saa monet värit kamerakuvassa näyttämään lähes valkoisilta. Tällöin kuvantunnistus, joka perustuu värien etsimiseen, ei toimi vaan kuvasta suodattuu pois myös alueita, jotka pilvisellä säällä ovat normaalin värisiä.

Sisäolosuhteissa passiivisten viittojen havainnoinnissa oli myös vaikeuksia. Robotissa oleva videokamera vaatii hyvän valaistuksen, jotta kuva olisi riittävän hyvä. Tutkimuksessa käytetyissä kuvissa kuitenkin viittojen ulkoreunat olivat häilyväiset ja tummat, mikä johtui tummasta lattiasta, jolla viittapallot sijaitsivat. Kynnystämistä ei voitu enää laajentaa suuremmalle alueelle sillä viittojen ulkoreunat olivat yleensä lähes mustia. Viitan tunnistamisheikkoudesta aiheutui virhettä viitan etäisyyden määrittämisessä ja sitä kautta virhettä tuli myös suuntatietoon.

9 Yhteenveto

Tutkimuksessa perehdyttiin aluksi merkkien käyttöön ja merkkijärjestelmän soveltamiseen passiivisten viittojen toteutuksessa. Aktiivisten viittojen osalta tutkittiin niiden käyttötarvetta ja käyttömahdollisuuksia sekä erilaisia tapoja toteuttaa aktiivisten viittojen tiedonsiirto ja tunnistaminen. Pääpaino oli passiivisten, koneen kamerakuvasta tunnistettavien viittojen kehittäminen ja testaaminen. Passiivisten viittojen toteutusratkaisuksi esiteltiin viittajärjestelmä (Kappale 6.3, s. 46 - 49), jolle esiteltiin esimerkkikäyttötapauksia (Kappale 6.4, s. 49 - 54). Käytännön osuudessa toteutettiin esitellyn viittajärjestelmän mukainen suuntaviitta, jonka toimivuutta ja tarkkuutta testattiin WorkPartner-palvelurobotilla.

9.1 Tuloksien arviointi

Tutkimuksen yksi tavoite oli kokeilla pelkän kameran käyttöä viittojen tunnistamisessa ja paikannuksessa. Käytännössä tämä toteutettiin suuntaviitan avulla. Suuntaviitta koostui kahdesta pallosta. Kameran tarkkuutta tutkittiin testaamalla toteutettua kuvantunnistusalgoritmia viitan etäisyyden, paikkakoordinaattien ja suuntatiedon määrittämisessä. Kokeellisen osuuden tulokset ovat esitelty luvussa 8. Etäisyyden määrittämisessä huomattiin että 10 cm etäisyystarkkuus saatiin kohteen ollessa 1.5 – 3 metrin päässä kamerasta (Kappale 8.2.2). Kohteen paikkakoordinaatteja määrittäessä havaittiin että pelkän kameran avulla paikannus voidaan tehdä 10-15cm tarkkuudella 22cm halkaisijaltaan olevalle pallolle noin 5 metrin päästä, jonka jälkeen paikannusvirhe kasvaa hieman, mutta pysyy melko hallittuna aina kahdeksaan metriin asti (Kappale 8.2.3). Suuntatiedon määrittämisessä tutkittiin tapausta, jossa suuntaviitta oli asetettu noin kahden metrin päähän kamerasta (etäisyys, jolta suunnan määrittäminen on järkevää tehdä, jotta tulos olisi riittävän tarkka). Suuntaviitan toteutuksessa tutkittiin suuntaa osoittavien pallojen optimaalista etäisyyttä toisistaan. Tuloksena saatiin että paikannusvirheen ollessa $\pm 10\text{cm}$ ja suuntavirheen maksimi 20 astetta pallojen keskipisteiden välinen etäisyys on hyvä olla noin 50cm.

Tutkimustulokset kokonaisuudessaan osoittavat että viittajärjestelmän käyttö on mahdollista toteuttaa pelkkään kamerakuvasta saatavaan informaatioon perustuen. Tutkimuksessa toteutettu suuntaviitta ja sen antaman testitulokset kameran käytön tarkkuudesta ovat kuitenkin vain suuntaa antavia sillä testit tehtiin melko vakio-

olosuhteissa. Erilaiset sääolosuhteet vaikuttavat huomattavasti kamerakuvan käyttömahdollisuuksiin.

9.2 Tutkimuksen arviointi ja puutteet

Tutkimuksen päätavoite oli viittajärjestelmän käytön kartoittaminen palvelurobotin työtehtävien määrittämisessä. Tutkimusta tehdessä tuli eteen kuvantunnistuksen monia tyypillisiä ongelmia. Vaikka palvelurobottien anturoinnit ovat kehittyneet vuosikymmenien myötä paljon, on robottien suurin aistiheikkous edelleen näköjärjestelmän alkeellisuus. Robotti voidaan opettaa tunnistamaan tiettyjä esineitä ja kohteita tietyissä olosuhteissa, mutta vaihtelevan ympäristön hahmottaminen on edelleen äärimmäisen vaikeaa.

Tutkimuksessa esitelty viittajärjestelmä tehtiin mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta sen toteuttaminen pelkän kamerajärjestelmän avulla olisi mahdollista. Selkeästä värien ja muotojen valinnasta huolimatta viittojen tunnistaminen ei ollut helppoa. Erilaiset ympäristön heijasteet, varjot ja valaistusvaihtelut tuovat suurta epävarmuutta viittajärjestelmän käyttöön.

Tutkimuksessa viittojen tunnistamisessa sovellettiin vain värien tunnistamiseen perustuvaa menetelmää. Käytetyssä tunnistamismenetyksessä on hyviä puolia mm. että se käsittelee värejä ihmisen havainnoimalla tavalla. Heikkoutena ovat taas ongelmat, jotka tulevat varjoalueiden ja muuten heikossa valossa olevien värien kohdalla. Värien tunnistamismenetyksellä hämärissä olosuhteissa kohteiden tunnistaminen on vaikeaa tai jopa mahdotonta koska jo vähän valaistusta poikkeuttamalla kalibrointiolosuhteista kohteen tunnistamisessa tapahtuu suurta heittoa.

9.3 Tulevat haasteet

Viittajärjestelmän käyttö palvelurobottien yhteydessä on kehittämiskelpoinen idea. Viittojen ja merkkien avulla voidaan helpottaa palvelurobotin opastusta ja tehdä robotista vähemmän ympäristöriippuvainen. Viittajärjestelmän todellinen käyttö ja yleistäminen vaatisivat kuitenkin laajempaa tutkimusta ennen kaikkea ”viittakielen” kehittämisen ja viittojen tunnistamismenetyksien osalta. Tunnistamismenetyksiä ja viittojen käyttöä voitaisiin kehittää enemmän jos olisi olemassa yhteinen standardoitu viittajärjestelmä (viittakieli), jonka pohjalta ratkaisuja kehitettäisiin. Yhteinen

viittakieli, jolla käyttäjä viestittää tai ohjelmoi työtehtäviä voisi tuoda markkinoille paljon hyviä tunnistamismenetelmiä ja valmiita ratkaisuja, joita voitaisiin liittää erilaisiin palvelurobotteihin. Tällä hetkellä yhteisen standardin puute vähentää resursseja, joita kohdistetaan viittajärjestelmän käyttöön.

Viittakielen rakentamisessa olisi hyvä huomioida merkkikielen tutkimuksia. Esimerkiksi erilaiset ympäristössä olevat objektit voitaisiin kertoa robotille symbolin sisältävien merkkien avulla. Tällainen yhteisen viittajärjestelmän käyttö helpottaisi robotin työtehtävien ohjelmointia ja siitä tulisi vähemmän tapauskohtainen.

Tutkimuksen tarkoitus oli tehdä esikartoitus viittojen käyttöön. Projektissa tullaan myöhemmin toteuttamaan erilaisia passiivisia ja aktiivisia viittoja ja tutkimaan niiden käyttöä WorkPartner-robotilla. Jatkotutkimuksena voitaisiin perehtyä myös erilaisten kuvantunnistusmenetelmien soveltamiseen viittojen tunnistuksessa sekä soveltaa myös hahmontunnistuksen kaltaisia ratkaisuja. Kuvantunnistusmenetelmiä voitaisiin kehittää tutkimalla enemmän kohteiden tunnistettavuutta erilaisissa valaistusolosuhteissa. Tämän avulla tunnistettavuutta erilaisissa olosuhteissa voitaisiin parantaa esimerkiksi käyttämällä useisiin eri olosuhteisiin muodostettuja kalibrointitaulukoita kuvantunnistusalgoritmissa. Hyviä jatkotutkimusmahdollisuuksia on myös tutkimuksessa esitellyn viittajärjestelmän käytettävyyden kartoittaminen ja erilaisten tehtävien toteuttaminen viittajärjestelmällä. Laserskannerin käyttöä viittojen paikantamisessa olisi myös hyvä kokeilla. Tällöin viittojen korkeutta tulee kasvattaa niin että ne ovat havaittavissa WorkPartner-robotin metrin korkeudella olevalla laserskannerilla.

Viittajärjestelmän toteuttamisen suurin haaste on viittojen tunnistaminen vaihtelevassa ympäristössä. Digitaalikuvaustekniikan yleistyminen ja voimakas kasvu antavat kuitenkin toiveita että tulevaisuudessa tutkimuksia tullaan yhä enemmän kohdistamaan myös kuvatekniikan hyödyntämiseen palvelurobotiikassa.

Lähdeluettelo

AGV Electronics, 2003. Automatic guided vehicles and guidance controls for AGVS. [viitattu 2.9.2003]. Saatavissa: <http://www.agve.se/frameset.htm>

Asama H. 2001, Towards Emergence in Distributed Autonomous Robotic Systems – Intelligent Data Carrier for Cooperative Organization of Mobile Robots and Their Operating Environment, 3rd International Conference in Field and Service Robotics, Helsinki 2001.

Betke M. et al. 1997. Mobile Robot Localization Using Landmarks. IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 13. No. 2, 4/1997. s. 251-263

Borenstein J. et al. 1996. Where am I ? -Systems and Methods for Mobile Robot Positioning. University of Michigan. [viitattu 20.10.2003] Saatavissa: <http://www-personal.umich.edu/~johannb/shared/pos96rep.pdf>

Bray J. 2002. Bluetooth 1.1 Connect without cables. New Jersey: Prentice-Hall. 593s. ISBN: 0-13-066106-6

Finkenzeller K. 1999. RFID handbook. Chichester: John Wiley & Sons. 304s. ISBN: 0-471-98851-0

Forsman P. 2001. Three Dimensional Localization and Mapping of Static Environments by Means of Mobile Perception. Väitöskirja. Helsinki University of Technology, Automation Technology Laboratory, Series A: Research Reports no. 23, Espoo 2001. 145s. ISBN 951-22-5739-4, ISSN 0783-5477

HY/Kansantiede 2001, Väyliens varsilta: Suomen historialliset merimerkit ja luotsipaikat. [viitattu 16.9.2003] Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/hum/meh/merimerkit/index.htm>

Johansson B. 2002. Road Sign recognition from a Moving Vehicle, Seminars at CBA, Fall 2002, [viitattu 19.9.2003] Saatavissa: <http://citeseer.nj.nec.com/570294.html>

Karttunen R. & Häkkinen S. 1982. Liikennemerkkien havaittavuus näkökentän ääreisosissa. Liikenneturva. Helsinki 1982. 37s. ISBN: 951-9431-44-6, ISSN: 0357-9751

Kleeman L. 1992. Optimal Estimation of position and Heading for Mobile Robots Using Ultrasonic Beacons and Dead-reckoning. Intelligent Robotic Research Centre, Australia. [viitattu 10.9.2003]. Saatavissa: <http://citeseer.nj.nec.com/kleeman92optimal.html>

Luoma J. & Järvenpää, M. 1982. Opastusmerkkien ymmärrettävyydestä, havaittavuudesta ja käytöstä. Helsinki 1982 Tie- ja vesirakennushallitus. 61s. ISBN: 951-46-5489-7

McKerrow P. 1991. Introduction to Robotics. Malaysia: Addison-Wesley Publisher Ltd. 811s. ISBN: 0-201-18240-8

Muller N. 2000. Bluetooth demystified. New York: McGraw-Hill. 396s. ISBN: 0-07-136323-8

Murata, 2003. Murata Proposes the Bluetooth® Use for Remote Control of Robots. [viitattu 22.9.2003] Saatavissa: <http://www.murata.com/ninfo/nr0191e.html>

Mäkelä H. 2001. Outdoor navigation of mobile robots. Väitöskirja. Finnish Academies of Technology, Helsinki 2001. 64s. ISBN: 951-666-587-X

Röning J. 1992. Model-Based Visual Navigation of a Mobile Robot. Väitöskirja. University of Oulu, Department of Electrical Engineering, ACTA Series C: Technica 66, Oulu 1992. 66s. ISBN: 951-42-3422-7, ISSN: 0355-3213

Schalkoff R. 1989. Digital image processing and computer vision. Singapore: John Wiley & Sons, 489s. ISBN: 0-471-50536-6

Selkäinaho J. 2002. Adaptive Autonomous Navigation of Mobile Robots in Unknown Environments. Väitöskirja. Helsinki University of Technology, Automation Technology Laboratory, Series A: Research Reports no. 24, Espoo 2002. 88s. ISBN: 951-22-6230-4, ISSN: 0783-5477

Sievilä J. 2003. Palvelurobotin suorittama etsintä- ja tunnistustehtävä. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Automaatiotekniikan laboratorio. Espoo 2002

Theodoridis S. & Koutroumbas K. 1998, Pattern Recognition. San Diego: Academic Press. 625s. ISBN: 0-12-686140-4

Varpula T. 2003, UHF, etätunnistamisen uusi teknologia, esityskalvot messuilta: Mikrotekniikka 2003 RFID Espoo

Veivo H. & Huttunen T. 1999. Semiotiikka Merkeistä mieleen ja kulttuuriin. Helsinki: Edita. 195s. ISBN:951-37-2876-5

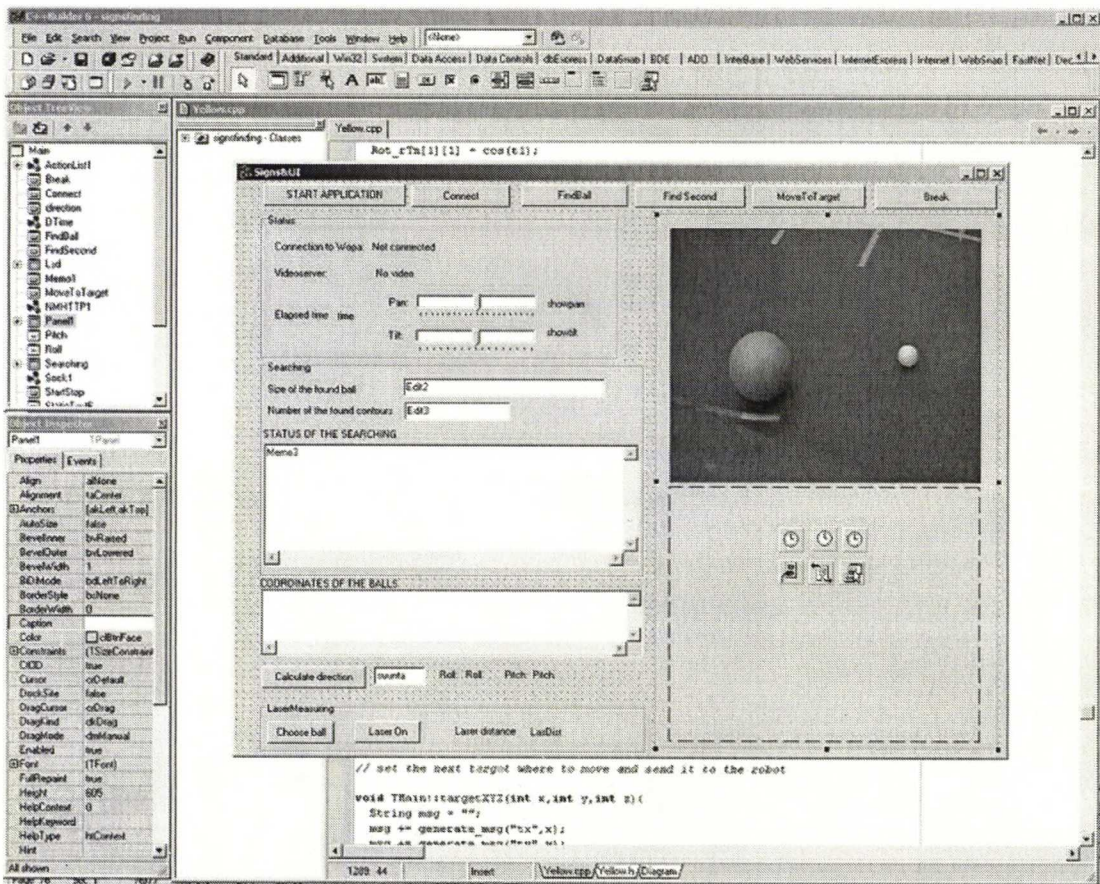
Yang H. 1995. Vision Methods for Outdoor Mobile Robot Navigation. Väitöskirja. Helsinki University of Technology, Automation Technology Laboratory, Series A: Research Reports no. 14, Espoo 1995. 66s. ISBN 951-22-2824-6, ISSN 0783-5477

Ylönen S. & Halme A. 2002. Mechatronics Structure of the Centaur Like Wheeled Service Robot. Berkeley, USA, 2002

Liite 1

Kuvantunnistusohjelma

Kuvantunnistusohjelma on toteutettu Borlandin C++ Builder 6 ohjelmointialustalla. Ohjelmointikielenä on siis C++. Ohjelma on tarkoitettu ennekaikkea graafisten käyttöliittymien tekemiseen. Käyttöliittymä tehdään graafisia työkaluja käyttäen, mutta toiminnallisuudet ohjelmoidaan perinteiseen tapaan. Kuva 35 on esimerkki Builder:n työpöydästä ja sillä tuotetusta käyttöliittymästä.

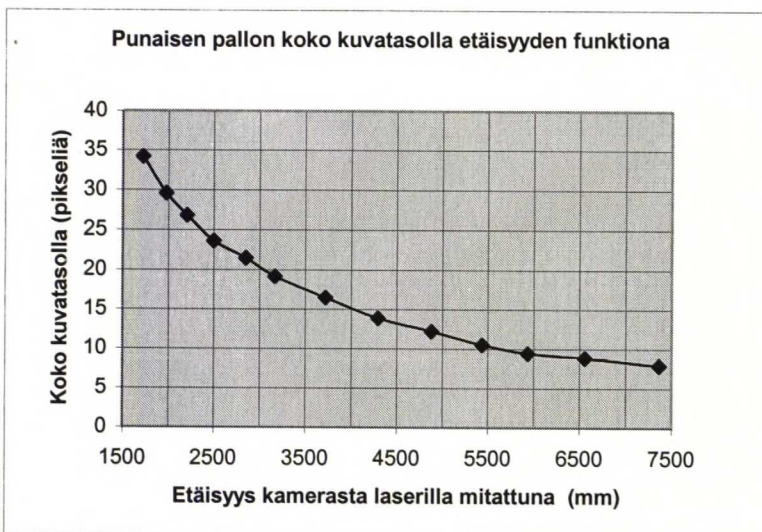


Kuva 35 Borland C++ Builder työpöytä

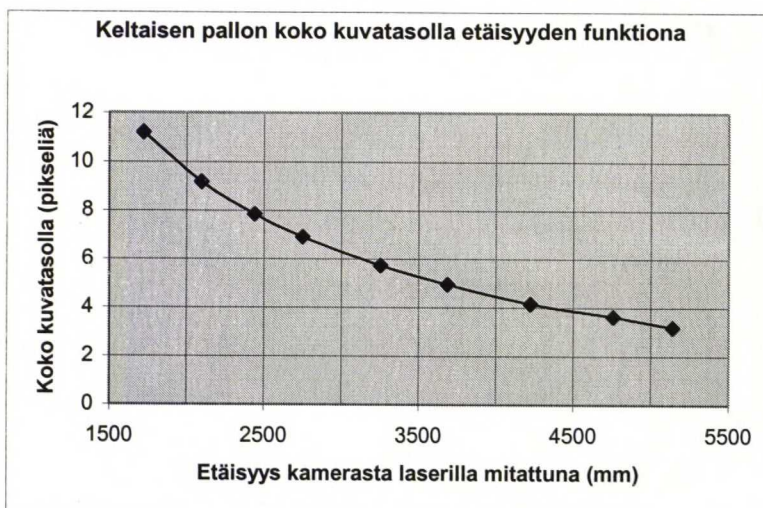
Liite 2

Kuvantunnistusohjelman etäisyyden mittauksen kalibrointitaulukot

Pallon etäisyysmittauksen tarkkuutta saatiin parannettua kalibroimalla kamera monella eri etäisyydellä. Riippuen siitä mikä on havaitun pallon koko kuvatasossa kuvantunnistusohjelmalla laskettuna, valitaan sitä vastaava kalibrointikertoimen arvo ja lasketaan pallon etäisyys tätä arvoa käyttäen. Menetelmän avulla saadaan kuvantunnistusohjelman epätarkkuutta pienennettyä ja etäisyyden mittaus paranee merkittävästi. Alla olevissa kuvaajissa (Kuva 36 ja 37) näkyvät pisteet millä etäisyydellä pallot ovat kalibroitu. Pallon etäisyys on mitattu laserosoittimen avulla.



Kuva 36 Punaisen pallon kalibrointitaulukko



Kuva 37 Keltaisen pallon kalibrointitaulukko

KITOKSET TYÖN OHJAUksesta!

Hanna Kusa

Kinastokappaleessa kuvat värillistää