

Antti Suopuro

Festo Didactic: Robotino®

Mobiilirobotin toimintojen suunnittelu ja ohjelmointi

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Antti Suopuro

Työn nimi: Festo Didactic: Robotino® - Mobiilirobotin toimintojen suunnittelu ja ohjelmointi

Ohjaaja: Ismo Tupamäki

Vuosi: 2012 Sivumäärä: 54 Liitteiden lukumäärä: 3

Työssä suunniteltiin ja ohjelmointiin mobiilirobotille sovellus messu- ja markkinointitilaisuuksiin. Työssä perehdyttiin myös yleisesti teollisuus- ja palvelurobotteihin sekä selvitettiin, miten mobiilirobotiikka liittyy niiden sovelluksiin.

Työn soveltavassa osiossa käytettiin Festo Didacticin valmistamaa mobiilirobotia Robotino® ja sen symbolista ohjelmointityökalua Robotino® View 2:sta. Soveltava osuus aloitettiin selvittämällä mobiilirobotin odometrian tarkkuutta. Tarkkuuden selvittämiseksi robotille täytyi suunnitella ohjelma ja ohjelmoida robotti toimimaan suunnitelman mukaisesti. Ohjelman toteuttamiseksi täytyi perehtyä työssä käytetävän mobiilirobotin monisuuntaisen vetotavan kinematiikkaan.

Lisäksi soveltavassa osuudessa luotiin mobiilirobotille ohjelma, jonka avulla robotia kyettiin kauko-ohjaamaan peliohjaimella. Ohjelmasta luotiin neljä versiota, joista voidaan valita sopivin käyttötarkoituksen mukaan. Ensimmäisessä versiossa luotiin kauko-ohjaukselle vaadittavat perustoiminnot. Myöhemmissä versioissa kiinnitettiin huomiota myös turvallisuuteen ottamalla käyttöön infrapunasensoreita törmäysten välttämiseksi. Ohjelmaan lisättiin myös releiden ohjaus ja mahdollisuus kuvien ottamiseen robotin kameralla.

Avainsanat: robotti, robotiikka, ohjelmointi, mobiilirobotti, teollisuusrobotti, palvelurobotti, kauko-ohjaus, odometria

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Technology

Specialisation: Electric Automation

Author: Antti Suopuro

Title of thesis: Festo Didactic: Robotino® - Planning and programming the mobile robot's functions

Supervisor: Ismo Tupamäki

Year: 2012 Number of pages: 54 Number of appendices: 3

The purpose of this thesis was to plan and program an application for a mobile robot. The application had to be suitable for exhibition and marketing events. Furthermore, industrial and service robots were generally examined as well as how mobile robotics is related to their applications.

The mobile robot used was Robotino®, which is manufactured by Festo Didactic. A symbolic programming tool for programming the robot was Robotino® View 2. First, the performance of Robotino's odometry was inspected. In order to do this a test function needed to be planned and programmed. To create the test function it was essential to familiarize with the kinematics of the robot's omnidirectional drive.

Next, a program had to be created to allow remote controlling the robot by a gamepad. A total of four versions of the program were created for selecting the best suited version of the program for upcoming use. The basics of the remote controlling were created in the first version. In the next versions of the program, attention was also paid for the safe use of the robot by taking infrared sensors into use to avoid collisions. A possibility of controlling the relays and taking photos using the robot's camera were also added.

Keywords: robot, robotics, programming, mobile robot, industrial robot, service robot, remote control, odometry

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Tehtävien asettelu.....	9
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Käyttöluvut ja tavaramerkit.....	10
2 YLEISTÄ ROBOTEISTA	11
2.1 Teollisuusrobotit.....	11
2.1.1 Määritelmä	11
2.1.2 Historia ja yleistyminen	12
2.1.3 Työympäristö ja tyypilliset sovellukset.....	13
2.1.4 Tyypillisiä teollisuusrobotteja.....	14
2.2 Palvelurobotit	16
2.2.1 Määritelmä	16
2.2.2 Historia ja yleistyminen	17
2.2.3 Työympäristö ja tyypilliset sovellukset.....	18
2.2.4 Esimerkkejä sovelluksista	19
2.3 Mobiilirobotit.....	20
2.3.1 Yleistä	20
2.3.2 Työympäristö ja tyypilliset sovellukset.....	21
2.3.3 Navigointi ja ohjaus	22
2.3.4 Liikkumismekanismit	22
2.3.5 Esimerkkejä sovelluksista	23
2.4 Robotino.....	25
2.4.1 Festo Didactic lyhyesti	25
2.4.2 Yleistä	25

2.4.3 Käyttötarkoitus	25
2.4.4 Kokoonpano.....	26
2.4.5 Robotino View 2.....	32
3 ODOMETRIAN SUORITUSKYVYN SELVITTÄMINEN.....	34
3.1 Testaukseen johtaneet syyt ja suunnitelma.....	34
3.2 Vaadittavat laskutoimitukset.....	34
3.3 Ohjelman luonti tarkkuuden selvittämiseksi.....	37
3.4 Mittaustapahtuma.....	38
3.5 Tulokset.....	40
4 ROBOTINON KAUKO-OHJAUS PELIOHJAIMELLA	42
4.1 Ohjelmoitavan toiminnon valinta	42
4.2 Kauko-ohjain	42
4.3 Ensimmäinen versio.....	43
4.4 Toinen versio.....	44
4.5 Kolmas versio.....	45
4.6 Neljäs versio.....	46
4.7 Yhteenveto versioista 3 ja 4	47
5 POHDINTA.....	48
5.1 Haasteet.....	48
5.2 Tulokset.....	48
5.3 Työn onnistuminen.....	49
LÄHTEET.....	50
LIITTEET	54

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Portaalirobotti ja sen työalue (Portal Robot 2010).....	15
Kuvio 2. SCARA-robotti (SCARA ROBOT 2011).	15
Kuvio 3. 6-akselinen nivelvarsirobotti (Advances Expand the Use of Industrial Robotics in Manufacturing 2012).....	16
Kuvio 4. Barista-Pauli valmistaa espresson robottikäden käännteessä (Mänttari 2005).....	19
Kuvio 5. The da Vinci Surgical System (The da Vinci Surgical System 2012).	20
Kuvio 6. Automaattinen pölynimuri (iRobot Roomba 2012).....	24
Kuvio 7. Sojourner Marsissa (Demystifying Mars 2005).....	24
Kuvio 8. Robotinon runko, ajoyksiköt ja akut (Robotino Manual 2010, 62).	27
Kuvio 9. Robotinon komentosilta ja kamera (Robotino Manual 2010, 63).....	27
Kuvio 10. Robotinon kalvonäppäimistö ja näyttö (Robotino Manual 2010, 72).	28
Kuvio 11. Robotinon I/O-rajapinta. (Robotino Manual 2010, 74).....	29
Kuvio 12. Robotinon ajoyksikkö (Robotino Manual 2010, 64).....	30
Kuvio 13. Robotinon aistinjärjestelmän ja moottoreiden sijoitukset (Robotino Manual 2010, 71).....	32
Kuvio 14. Robotino View 2: Pääikkuna.	33
Kuvio 15. Robotino View 2: Askel 1.	33
Kuvio 16. Liikesuunnikas (motion parallelogram) (Instructor Volume 2007, C-46).....	35
Kuvio 17. Kuvakaappaus Testiajo-ohjelman pääikkunasta.	37
Kuvio 18. Testiajo-sekvenssin toinen vaihe ajossa Robotino View 2:n avulla.....	38
Kuvio 19. Robotino, millimetripaperi ja alusta.	39
Kuvio 20. Robotino yli mitta-asteikon.	39
Kuvio 21. Peliohjain	43
Kuvio 22. Ensimmäinen versio kauko-ohjauksesta.	44
Kuvio 23. Toinen versio kauko-ohjauksesta.....	45
Kuvio 24. Kolmas versio kauko-ohjauksesta.....	46

Taulukko 1. Suomeen asennetut teollisuusrobotit sovelluksittain vuosina 2000 - 2007 (Teollisuusrobottitilastot 2007).....	14
Taulukko 2. Robotinon moottoreiden tekniset tiedot (Robotino Manual 2010, 65).....	31
Taulukko 3. Robotinon hammaspyörästön tekniset tiedot (Robotino Manual 2010, 65).....	31
Taulukko 4. Testiajon tulokset.....	40

Käytetyt termit ja lyhenteet

Rajapinta	Mahdollistaa tiedonsiirron laitteiden, ohjelmien tai käyttäjän välillä.
Vapausaste	Kiertoliike tai suoraviivainen liike.
Robottiikka	Robottitekniikka
PID-säädin	Proportional-Integral-Derivative-säädin on eräs säätötekniikan yleisimmistä säätimistä. Proportional eli suhteellinen; Integral eli integroiva; Derivative eli derivoiva.
Sovellus	Esimerkiksi tiettyä tehtävää suorittamaan valmistettu laite tai tietokoneohjelma.
Odometria	Matkalaskenta tai merkintälasku.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikan yksiköllä oli tarve mielenkiintoa herättävälle laitteelle. Laitetta tullaan käyttämään messu- ja markkinointitilaisuuksissa. Laitteeksi on valittu Festo Didacticin valmistama Robotino®, joka on kolmen vapausasteen ohjelmoitava ja autonominen mobiilirobotti. Robotin hyödyntämiseksi sille täytyy ensin suunnitella ja ohjelmoida sovellus.

1.2 Tehtävien asettelu

Työn tavoitteena on tutkia ja kartoittaa, sekä suunnitella ja toteuttaa erityisesti messu- ja markkinointitilaisuuksiin soveltuva ohjelma tai esitys. Työn tuloksena syntynyt esitys tai ohjelmat luovutetaan Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön käyttöön. Työssä perehdytään myös yleisesti teollisuus- ja palvelurobotteihin, sekä selvitetään miten mobiilirobotiikka liittyy niiden sovelluksiin.

1.3 Työn rakenne

Tässä opinnäytetyössä perehdytään yleisesti teollisuus- palvelu- ja mobiilirobotteihin, joita käsittelee luku 2. Luvussa 3 perehdytään Robotinon monisuuntaisen vetotavan kinematiikkaan ja selvitetään odometrian tarkkuutta. Luvussa 4 kehitetään mobiilirobotille sovellus, jonka avulla mahdollistetaan robotin ohjaaminen kauko-ohjauksella. Sovellukseen lisätään myös toimintoja, joiden avulla;


- robotin törmäys esteisiin pyritään välttämään infrapuna-antureiden avulla.
- robotti hidastaa automaattisesti vauhtia esteiden lähellä.
- robotin releitä ohjataan kauko-ohjaimella.
- robotin kameran ja kauko-ohjaimen avulla otetaan kuvia ja tallennetaan niitä ohjaukseen käytettävän tietokoneen kiintolevyille.

1.4 Käyttöluvat ja tavaramerkit

Festo Robotino® Instructor volumen ja Robotino® manualin referointiin ja kuvien käyttöön luvan on myöntänyt Festo Oy:n Koulutuspäällikkö Hannu Hassinen. Lähdemateriaalien kaikki oikeudet omistaa Festo Didactic GmbH & Co. (Hassinen 2012a; Hassinen 2012b.)

Robotino® (jäljempänä "Robotino") on Festo Didactic GmbH & Co:n tavaramerkki. iRobot® (jäljempänä "iRobot") ja Roomba® (jäljempänä "Roomba") ovat iRobot Corporationin rekisteröityjä tavaramerkkejä.

The da Vinci® (jäljempänä "The da Vinci") on Intuitive Surgical, Inc:n tavaramerkki.

BIGBEN® ja ® ovat Bigben Interactive S.A.:n rekisteröityjä tavaramerkkejä.

2 YLEISTÄ ROBOTEISTA

Käsite robotti luo ihmisille erilaisia mielikuvia, joita ovat muokanneet usein tieteiskirjallisuus, elokuvat tai televisiosarjat. Teollisuusrobotteihin perehtyneelle vastavasti robotti-sana tuo herkästi mieleen väsymättömästi työskentelevän laitteen. Kummatkaan käsitteet eivät ole varsinaisesti väärin, sillä robotteja on valmistettu hyvinkin erilaisiin tehtäviin ja jopa tieteiskuvitelmat ovat käsitteen kannalta osittain totta. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 259.)

Robotin määritelmälle ei ole yleisesti hyväksyttyä kuvausta, vaan eri maanosien ja lähteiden välillä on eroja. Japanissa roboteiksi lasketaan myös manipulaattoreita ja jopa automaattisia ovia on kutsuttu ”robottioviksi”. (Malm ym. 2008, 1; Lehtinen 2008, 109.)

Ensimmäisen kerran robotti-sanaa käytettiin vuonna 1923 Karel Čapekin näytelmässä ”Rossum’s Universal Robots” (R.U.R.). Sanan taustalla oli hänen veljensä Josef Čapek, joka muokkasi sanan tšekinkielisestä verbistä ”robota”, joka tarkoittaa veroluonteisesti maanomistajalle tehtävää työtä. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 304; Lehtinen 2008, 109.)

2.1 Teollisuusrobotit

Seuraavissa alaotsikoissa käsitellään yleisesti teollisuusrobotteja ja esitellään niiden tyypillisiä rakenteita.

2.1.1 Määritelmä

Viimeisin suomenkielinen 22.6.2009 vahvistettu SFS-EN ISO 10218-1 -standardi on kumottu 5.9.2011. Se määritteli teollisuusrobotin seuraavasti:

Teollisuuden automaatio-sovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva (SFS-EN ISO 10218-1, 16).

Vahvistettu englanninkielinen standardi SFS-EN ISO 10218-1:en on asiasisällöltään yhtenevä kumottuun standardiin:

Automatically controlled, reprogrammable multipurpose manipulator, programmable in three or more axes, which can be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications (SFS-EN ISO 10218-1:en, 2).

Huomattavaa on, että teollisuuteen valmistettu robotti ei ole standardin mukainen teollisuusrobotti, mikäli se työskentelee teollisuuden ulkopuolella. Yleensä teollisuuden ulkopuolella työskenteleviä robotteja kutsutaan palveluroboteiksi, joista lisää luvussa 2.2.

2.1.2 Historia ja yleistyminen

Vuonna 1954 amerikkalainen George C. Devol haki patenttia ohjelmoitavalle manipulaattorille. Kyseisestä vuodesta voidaan katsoa alkaneen nykyaikaisten teollisuusrobottien historian. Ensimmäinen patentin kaltainen robotti myytiin vuonna 1959. (Schodt 1988, Dhillon 1991, Nof 1999, Malm ym. 2008, 1 mukaan.)

Vuonna 1960 Devol kehitti Joseph F. Engelbergerin kanssa Unimate-robotin, joka seuraavana vuonna toimitettiin General Motorsin tehtaalle avustamaan valukoneiden käsittelyä kuumissa olosuhteissa. Unimatesta voidaan katsoa alkaneen teollisuusrobottien vallankumouksen. (Schodt 1988, Dhillon 1991, Nof 1999, Malm ym. 2008, 1 mukaan; Lehtinen 2008, 109.)

Vuonna 1968 Japanissa alkoi räjähdysmäinen robottien kehittäminen, koska Unimation lisensoi tekniikkansa Kawasakille (Malone 2004, 12). Japani menikin robottien kehittämisen ja käyttöönoton nopeasti Amerikan ohi (Malm ym. 2008, 109).

1960-luvulta lähtien oli tavoitteena suunnitella yksi robottityyppi, joka kykenisi suorittamaan mahdollisimman paljon erilaisia tehtäviä. Tavoitteessa parhaiten menestyi Unimationin vuonna 1978 suunnittelema PUMA. Pian kuitenkin huomattiin, että robotti kannattaa suunnitella käyttötarkoituksen mukaan. Vuonna 1980 robottiteollisuus aloitti nopean kasvun, kun uusi robotti tai valmistaja tuli markkinoille joka

kuukausi. (Aalto ym. 1999, 13; Lehtinen 2008, 109; Robot Timeline [viitattu 1.3.2012].)

Tähän päivään mennessä teollisuusrobotteja on valmistanut jo ainakin viisisataa yritystä. Jokaisen yrityksen mallivalikoimassa on ollut useita malleja ja joillakin jopa kymmenkunta. Ottaen huomioon mallien keskimääräisen 4-vuotisen elinkaaren ja patenttien sekä sovellusten aiheuttamat rakenteelliset muutokset malleihin, voidaan arvioida, että teollisuusrobotteja on suunniteltu useita tuhansia. Maailmanlaajuisesti teollisuusrobotteja on myyty ennen vuotta 2011 jo 2 142 000 kappaletta, joista käytössä oli noin 1 035 000 - 1 300 000. (Aalto ym. 1999, 12; Robotiikka 2008, 5; Executive summary 2011, IX.)

2.1.3 Työympäristö ja tyypilliset sovellukset

Teollisuusrobotit työskentelevät nimensä ja määritelmänsä mukaisesti tehtaissa tuotantotehtävissä. Nykypäivisin on tavallista eristää teollisuusrobotin työalue turvallisuuden takaamiseksi. Usein kuitenkin ihminen-robotti-yhteistyöllä kyettäisiin tehokkaampaan ja mukautumiskykyisempään valmistusmuotoon (Malm ym. 2008, 2). Ihmisen ja robotin välisestä yhteistyöstä, sen kehittämisestä ja turvallisuustekijöistä voi lukea lisää Malmin ym. (2008) toimittamasta teoksesta.

Taulukossa 1 on esitettyä Suomen robotiikkayhdistys ry:n julkaisema tilasto, jonka mukaan Suomessa vuosina 2000 - 2007 asennettiin teollisuusrobotteja eniten hitsaukseen, kokoonpanoon ja koneistuksen kappaleenkäsittelyyn.

Taulukko 1. Suomeen asennetut teollisuusrobotit sovelluksittain vuosina 2000 - 2007 (Teollisuusrobottitilastot 2007).

SUOMEN ROBOTIIKKA YHDISTYS ry		Teollisuusrobottitilastot 2007								www.roboyhd.fi
SOVELLUS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	YHT*	
110 VALAMISEN KAPPALEENKÄSITTELY	10	20	4	3	10	0	0	0	64	
111 Muottivalu	10	20	4	3	10	0	0	0	59	
119 Muut valutatavat	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
130 RUISKUPURISTUKSEN KAPPALEENKÄS.	95	44	31	42	44	55	26	19	772	
140 LÄMPÖKÄSITTELYN KAPPALEENKÄS.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
150 MEISTON JA TAKOMISEN KAPPALEENKÄS.	1	1	1	2	0	0	0	0	11	
160 HITSAUS	22	31	37	81	61	77	57	55	1039	
161 Kaarihitsaus	21	27	32	38	38	68	57	55	882	
162 Pistehitsaus	1	1	5	43	21	6	0	0	133	
163 Kaasuhitsaus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
164 Laserihitsaus	0	2	0	0	2	1	0	0	6	
169 Muut	0	1	0	0	0	2	0	0	17	
170 PINTAKÄSITTELY	28	6	12	2	6	10	5	8	154	
171 Maalaus	6	5	3	0	4	9	4	6	73	
172 Tirvistys	16	0	5	1	0	0	0	2	33	
179 Muut	6	1	4	1	2	1	1	0	48	
180 KONEISTUKSEN KAPPALEENKÄSITTELY	53	66	66	64	79	62	85	86	917	
181 Koneen panostus	33	45	45	45	48	55	77	83	666	
182 Hionta, jäysteitys, kiillotus	20	20	13	15	23	6	7	3	171	
189 Muut	0	0	2	3	1	1	1	0	80	
190 LEIKKAAMINEN	12	9	11	8	15	6	10	12	117	
191 Laserileikkaus	0	1	1	1	0	0	1	0	5	
192 Vesisuihkuleikkaus	0	2	0	1	1	0	1	3	14	
199 Muut	12	5	9	5	3	6	8	9	79	
200 KOKOONPANO	133	144	87	94	57	74	8	9	960	
201 Mekaaninen kokoonpano	112	136	67	85	49	68	6	9	799	
202 Asemus	1	2	5	5	5	6	2	0	39	
203 Sidonta	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
204 luottaminen	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
205 Kokoonpanon kappaleenkäsittely	17	6	4	4	3	0	0	0	87	
209 Muut	2	0	0	0	0	0	0	0	22	
210 PALETOINTI & PAKKAUS	64	51	74	64	69	60	88	63	783	
220 MITTAUS, TARKASTUS & TESTAUS	45	3	2	2	5	1	2	0	116	
230 KAPPALEENKÄSITTELY **	19	30	40	17	44	94	24	10	681	
240 KOULUTUS & TUTKIMUS	9	2	7	8	9	29	6	1	166	
900 MUUT	1	0	0	0	0	1	1	6	26	
000 MÄÄRITTELEMÄTÖN	0	1	4	0	2	5	1	0	13	
UOTUIEN KASVU	492	408	376	387	401	474	313	269		
KUMULOITUMA	2701	3193	3601	3977	4364	4765	5239	5552	5821	

SUOMEN TEOLLISUUSROBOTTIEN JAKAUTUMA TEOLLISUUSTOIMIALOITTAIN JA SOVELLUKSITTAIN, VUOSINA 1972 - 2007
© Suomen Robotiikkayhdistys ry, 2008

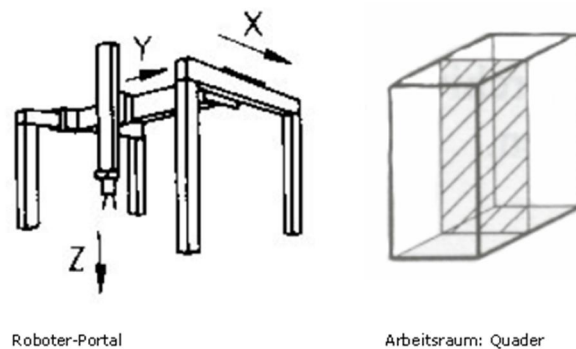
Yleensä teollisuusrobotit luokitellaan niiden rakenteensa ja liikekoordinaatiston mukaan. Termejä ovat suorakulmainen ja rinnakkaisrakenteinen robotti, sylinteri-, napakoordinaatisto-, SCARA-robotti ja kiertyvänivelinen robotti (Lehtinen 2008, 111).

2.1.4 Tyypillisiä teollisuusrobotteja

Suorakulmainen robotti. Kuviossa 1 esitetty suorakulmainen robotti, eli portaali-robotti Keinäsen ym. (2007, 259) mukaan:

- toimii kolmessa suorakulmaisessa koordinaatistossa liikkuvassa vapausasteessa.
- tarttuja voi olla nivelöity siten, että tarttuja pystyy kiertämään ja kääntämään.

- omaa yksinkertaisen rakenteen.
- kestää kuormitusta ja kuormituksen vaihteluita.



Kuvio 1. Portaalirobotti ja sen työalue (Portal Robot 2010).

SCARA-robotti. Kuvion 2 mukaisessa SCARA-robotissa Keinäsen ym. (2007, 259) mukaan huomioitavia asioita ovat

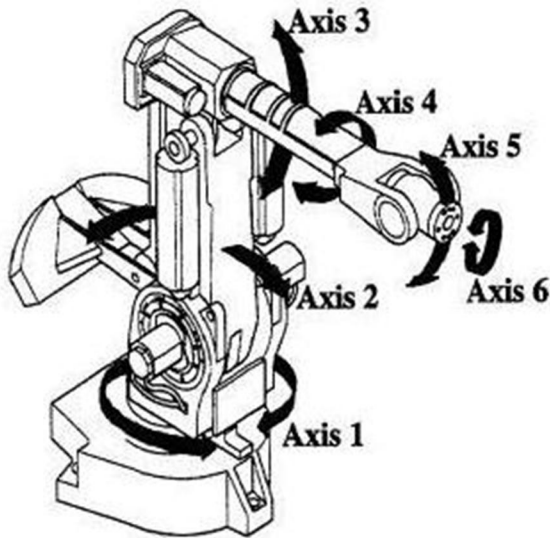
- suuret liikenopeudet.
- hyvä tarkkuus.
- huono käsittelykyky raskaille kappaleille.
- rakenne, jossa on 2 - 3 samassa tasossa kiertyvää niveltä ja 1 lineaariliike.
- kyky työskentelyyn vain kohtisuoraan XY-tasoa vastaan.



Kuvio 2. SCARA-robotti (SCARA ROBOT 2011).

Kiertyvänivelinen robotti. Teollisuuden yleisin robotti, eli kiertyvänivelinen- tai nivelvarsirobotti on esitettyä kuviossa 3. Nivelvarsirobotille tyypillisiä ominaisuuksia ovat Keinäsen ym. (2007, 259) mukaan

- 5- ja 6-akseliset ovat joustavia ja monikäyttöisiä.
- pallomainen työskentelyalue.
- 6-akselinen voidaan asemoida mihin asentoon tahansa.
- hyvä kuormituskyky.



Kuvio 3. 6-akselinen nivelvarsirobotti (Advances Expand the Use of Industrial Robotics in Manufacturing 2012).

2.2 Palvelurobotit

Seuraavissa alaotsikoissa käsitellään yleisesti palvelurobotteja ja esitellään kaksi esimerkkiä niiden sovelluksista.

2.2.1 Määritelmä

Provisional definitionin (viitattu 1.3.2012) mukaan palveluroboteille ei ole vielä maailmanlaajuisesti hyväksyttyä määritelmää ja Aalto ym. (1999, 140) mukaan käytössä on useitakin määritelmiä.

International Federation of Robotics, eli IFR on kuitenkin hyväksynyt seuraavan alustavan määritelmän:

A service robot is a robot which operates semi- or fully autonomously to perform services useful to the well-being of humans and equipment, excluding manufacturing operations (Provisional definition [viitattu 1.3.2012]).

Suomennos IFR:n hyväksymästä määritelmästä:

Robotti, joka toimii osin tai täysin autonomisesti tuottaen palveluja ihmisille tai laitteille, pois lukien tuotannolliset tehtävät (Aalto ym. 1999, 140).

IFR:n hyväksymä määritelmä on mielenkiintoinen, koska siinä käytetään sanaa ”robot” palvelurobotin määrittelemiseksi, vaikka ”robot”-sanalle ei ole yleisesti hyväksyttyä määritelmää (ks. luku 2). Määritelmä olisi selkeämpi, mikäli jälkimmäinen ”robot”-sanoista olisi esimerkiksi ”device”. Sana ”device” määritelmässä tosin tekisi mistä tahansa tuotantoon osallistumattomasta osin tai täysin autonomisesta laitteesta palvelurobotin.

Aallon ym. (1999, 140) mukaan yleisesti hyväksytyn määritelmän puuttuessa onkin siis vaikea vetää rajaa siihen, mikä robotti lasketaan palvelurobotiksi. IFR:n määritelmän mukaan esimerkiksi betonilattiaa **rakennustyömaalla** itsenäisesti tasoittava robotti olisi palveluroboti, mutta **elementtitehtaalla** työskentelevä ei olisi, koska se osallistuisi tuotantoon. ISO 8373 -standardin parissa työskentelee tällä hetkellä työryhmä, joka tulee pian antamaan ISO-standardin mukaisen määritelmän palveluroboteille (Provisional definition [viitattu 1.3.2012]).

2.2.2 Historia ja yleistyminen

Palvelurobotit ovat yleistymässä yhä enemmän palvelutehtävissä. Ne voivat olla rakenteeltaan liikkuvia tai paikallaan olevia (Aalto ym. 1999, 140). Ensimmäisiä palvelurobotteja olivat Belgiassa 1980-luvulla toteutetut lypsyrobottijärjestelmät, jotka ovat nyt alkaneet yleistyä Suomessakin (Lehtinen 2008, 114).

Vuonna 2010 julkaistun tutkimuksen mukaan palvelurobotteja oli myyty ammattilaiskäyttöön maailmanlaajuisesti 77 000 kappaletta (World Robotics 2010, Service Robots mukaan 2010). Kasvua vuosina 2011 - 2014 odotetaan ammattilaiskäyt-

töön tarkoitetuilta palveluroboteilta 87 500 kappaletta. Määrällisesti palvelurobotteja on huomattavasti enemmän henkilökohtaisessa käytössä ja kotikäytössä. Pelkästään vuonna 2010 henkilökohtaiseen käyttöön ja kotikäyttöön myytiin noin 2 200 000 palvelurobottia ja vuonna 2014 niitä odotetaan myytävän jopa 14 400 000 kappaletta. (Executive summary 2011, XIV-XVI.)

2.2.3 Työympäristö ja tyypilliset sovellukset

Aalto ym. (1999 140, 141) jakavat palvelurobottien työympäristön kolmeen osaan, jotka ovat

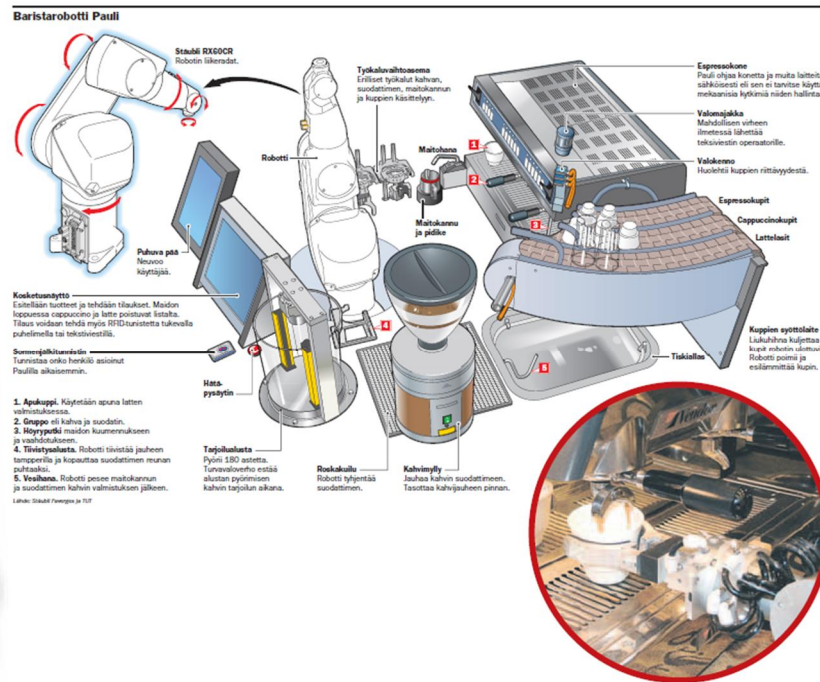
- Strukturoitu ympäristö, eli esimerkiksi kodit, toimistot ja julkiset rakennukset. Näissä tiloissa oleilee myös ihmisiä, joiden käyttäytymistä ei voida ennustaa.
- Rakennettu ympäristö, mille ei ole vakiintunutta termiä. Ympäristö sisältää esimerkiksi viemärit, rakennusten katot, ulkoseinät ja rakennustyömaat.
- Strukturoimaton ympäristö, mikä sisältää ainakin maaston, venedenalaiset alueet ja avaruuden.

Huomioon otettavaa on, että ympäristöjen erilaisuudesta huolimatta, palvelurobotteilla on silti yhdistävä tekijä. Palvelurobotin ohjelmoinnissa on osattava ottaa yleensä huomioon muuttuva ympäristö. Se asettaa haasteita palvelurobotin suunnittelulle enemmän, kuin esimerkiksi lähes eristettyinä toimivien teollisuusrobottien suunnittelulle (ks. luku 2.1.3).

Palvelurobottien yleisimpiä tehtäviä ovat vielä sellaiset, joissa ympäristöön ei vaikuteta. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi kuljetus, valvonta, tarkastus ja tutkimus. (Aalto 1999, 141.) Lueteltuja tehtäviä yhdistää usein robotilta vaadittava mobiilisuus. Mobiiliroboteista kerrotaan tarkemmin luvussa 2.3. Myös paikallaan pysyviä palvelurobotteja on käytössä, mikä myös vaikuttaa ympäristöönsä, kuten esimerkiksi lypsy-, tankkaus- ja leikkausrobottijärjestelmät (Aalto ym. 1999, 148-149; Lehtinen 2008, 113-114).

2.2.4 Esimerkkejä sovelluksista

Baristarobotti Pauli. Baristarobotti Pauli on teollisuusrobotista muunnettu palvelurobotti. Pauli on osa Suomen robotiikkayhdistyksen projektia nimeltä ”Teollisuusroboti kohtaa kuluttajan”. Kuviossa 4 esitetty Pauli osaa valmistaa erikoiskahveja tilauksen mukaan. (Korhonen 2005, 24.) Lisää Baristarobotista voi lukea esimerkiksi Korhosen (2005) ja Marstion (2006) diplomitöistä.



Kuvio 4. Barista-Pauli valmistaa espresson robottikäden käänneessä (Mänttari 2005).

The da Vinci Surgical System. The Da Vinci Surgical System on leikkausrobotti, mikä koostuu kirurgin ohjauksovelista ja robottiyksiköstä. Kuviossa 5 vasemmalla ja oikealla näkyvässä ohjauksovelissa operoiva kirurgi käyttää instrumentteja ja robottikädet toistavat liikkeitä erittäin tarkasti. Kirurgi näkee konsolissa 3D-kuvan leikkaustapahtumasta, minkä mukaan pystyy toimimaan. (Malm ym. 2008, E10.)

Verrattuna avoleikkaukseen robottileikkaus aiheuttaa vähemmän verenvuotoa, nopeuttaa toipumista ja lyhentää sairauslomaa. Operaatiosta jää myös pienempi kosmeettinen haitta ja se pienentää komplikaatioiden todennäköisyyttä. (Harju 2008.)



Kuvio 5. The da Vinci Surgical System (The da Vinci Surgical System 2012).

2.3 Mobiilirobotit

Seuraavissa alaotsikoissa käsitellään yleisesti mobiilirobotteja ja selvitetään miten mobiilirobotiikka liittyy teollisuus- ja palvelurobottien sovelluksiin. Lisäksi esitellään kaksi mobiilirobottia.

2.3.1 Yleistä

Vaikka kaikki mobiilirobotit, eli liikkuvat robotit eivät täytäkään standardin SFS-EN ISO 10218-1:en teollisuusrobotin kriteereitä, Lehtisen (2008, 109, 114) mukaan roboteiksi voidaan kuitenkin kutsua esimerkiksi liikkuvia, älykkäitä ja itsenäisesti toimivia koneita, jotka ovatkin yleistymässä.

Mobiiliroboteilla pyritään poistamaan tyypillisiä teollisuusrobotteja vaivaava haitta, eli kykenemättömyys liikkumiseen. Toisin, kuin kiinteästi asennettu teollisuusrobotti, mobiilirobotti pystyy esimerkiksi liikkumaan kaikkialla tuotantoalueella hyödyntäen kykyjään siellä, missä se on tehokkainta. (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 1, 2.)

Liikkuvat, älykkäät ja itsenäisesti toimivat koneet, jotka tuottavat palveluja ihmisille tai laitteille täyttävät tällä hetkellä luvussa 5.1 mainitun IFR:n hyväksymän määritelmän palveluroboteista. Voidaankin ajatella esimerkiksi niin, että mobiilirobotit ovat teollisuusrobotteja, mikäli ne täyttävät teollisuusrobotin määritelmän, mutta muussa tapauksessa ne ovat palvelurobotteja.

Tiettävästi ensimmäiset mobiilirobotit kehittivät saksalaiset 2. maailmansodan aikana ja ne olivat V1 sekä V2, eli ”lentävät pommit” (Demetriou [viitattu 12.3.2012]). Ensimmäinen kuvankäsittelykyvyllä varustettu mobiilirobotti valmistettiin vuonna

1968. Sen ohjausyksikkö oli kuitenkin huoneen kokoinen, joten sitä se ei kyennyt kantamaan (Lehtinen 2008, 109, 110).

Mobiilirobottien yleistymistä on hidastanut ehdottoman turvallisuuden vaatiminen. Lisäksi ympäristön hahmottaminen on vaikeaa ja kallista. (Lehtinen 2008, 114, 115.) Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana on kuitenkin nähty mullistus tietokoneteknologiassa, mikä on lisännyt huomattavasti mobiilirobottien tutkimus- ja kehityshankkeita. Mobiilirobotteihin keskittyvä teollisuus onkin kasvanut huomattavasti ja niitä tuotetaan jo mitä erilaisimpiin sovelluksiin. (Demetriou [viitattu 12.3.2012].)

2.3.2 Työympäristö ja tyypilliset sovellukset

Aallon ym. (1999, 140) mukaan tyypillisimmät palvelurobotit ovat pyörillä liikkuvia ja oman voimanlähteen omaavia laitteita, joissa voi olla käsivarsi. Tyypillinen mobiilirobotti on siis pyörillä liikkuva palvelurobotti. Eräs yleisesti käytetty mobiilirobotti on AGV, eli Automatically guided vehicle, joita Suomessa kutsutaan vihivaunuiksi (Aalto ym. 1999, 134). Lehtisen (2008, 114, 115) mukaan itsenäisten työkoneiden automatisoinnissa ensimmäisenä yleistyvät sovellukset, joissa on pulaa korkeatasoisista kuljettajista ja sellaiset vaativat kohteet, missä vaurioiden ja virheidän mahdollisuus on suuri.

Mobiilirobottien sovellusalueita ovat eri lähteiden, kuten Lehtisen (2008, 114) ja Fahimin (2009, 8, 9) mukaan esimerkiksi

- kuljetukset
- rakentaminen ja purkaminen
- palontorjunta- ja pelastustehtävät
- kaivokset ja satamat
- maa- ja metsätalous
- vedenalaiset tehtävät
- vartiointi ja opastus
- siivous
- satelliittien huoltotehtävät

- maanpuolustus.

2.3.3 Navigointi ja ohjaus

Lehtisen (2008, 116) mukaan autonomiseen liikkumiseen mobiilirobotti tarvitsee monipuolisen aistinjärjestelmän. Yleisimmät aistinjärjestelmät ovat

- odometria, jossa mitataan pyörien pyörimisnopeutta ja arvioidaan suuntaa pyörien nivelten asennosta.
- etäisyysanturit, joilla mitataan etäisyyttä esteisiin.
- liike- ja kulmanopeuden mittaussysteemi, eli inertia-anturijärjestelmä.
- näköjärjestelmät. (Lehtinen 2008, 116.)

Käyttämällä yhtä tai useampia luetelluista aistinjärjestelmistä luodaan robotille navigointijärjestelmä, jonka tehtävänä on tietää robotin paikka ja asento absoluuttisessa maailmakoordinaatistossa tai suhteellisessa tehtäväkoordinaatistossa. Näiden lisäksi voidaan käyttää keinotekoisia tai luonnollisia maamerkkejä tarkemman sijaintitiedon tueksi. Ulkotiloissa käytettävissä roboteissa voidaan käyttää myös GPS-paikannusta. Robotilla täytyy olla myös ohjausjärjestelmä, joka suunnittelee robotin reitin ja ohjaa robottia navigointijärjestelmän antamien ympäristöhavaintojen perusteella. Robotin täytyy myös selviytyä poikkeustilanteista, kuten reitille osuvien esteiden ohittamisesta. (Lehtinen 2008, 116.)

Tämän opinnäytetyön soveltavassa osiossa käytettävä Robotino käyttää luetelluista järjestelmistä odometriaa, etäisyysantureita ja näköjärjestelmää. Lisäksi Robotinon navigointiin voidaan käyttää myös muita menetelmiä.

2.3.4 Liikkumismekanismit

Robotti vaatii liikkuaakseen myös liikkumismekanismien, jonka valinta on tärkeä osa mobiilirobotin suunnittelua. Vaihtoehtoja liikkumismekanismiksi on monia, kuten käveleminen, hyppiminen, liukuminen, uiminen, lentäminen ja rullaaminen.

Useimmiten käytetty robotin liikkumistapa on kuitenkin käyttää pyöriä, joiden avulla saavutetaan korkea hyötysuhde tasaisella ja kovalla alustalla. Pehmeä alusta laskee pyörien hyötysuhdetta, jolloin parempi vaihtoehto on käyttää jalkoihin perustuvaa liikkumistapaa. Jalkoihin perustuvassa liikkumistavassa on pehmeällä alustalla parempi hyötysuhde, koska sillä on ainoastaan pistekontakteja alustaan. Jalkoja käyttävän robotin hyötysuhde riippuu enimmäkseen robotin jalkojen ja sen rungon painosta. (Siegwart & Nourbakhsh 2004, 13 - 16.)

Soveltavassa osiossa käytettävä Robotino liikkuu maalla ja käyttää liikkumiseen jousittamattomia pyöriä, joten se on suunniteltu toimimaan kovalla ja tasaisella alustalla. Lisää liikkumismekanismeista voi lukea englannin kielellä Siegwartin ja Nourbakhshin (2004) kirjasta.

2.3.5 Esimerkkejä sovelluksista

iRobot: Roomba. iRobot Roomba 780 on automaattinen pölynimuri. Sen voi esimerkiksi ajastaa imuroimaan tiettyinä kellonaikana öisin. Roombassa on antureita, joiden avulla se tunnistaa lian lattialta, joten se kykenee varmistamaan, että lattia on kokonaan puhdistettu. Roomba osaa myös palata takaisin telakkaan lataamaan akkunsaa ja se ilmoittaa, mikäli sen likasäiliö on täynnä. Kuviossa 6 on esitetty Roomba ja lisälaitte, minkä avulla sen työskentelyaluetta voidaan rajata ”näkyttömällä seinällä”. (iRobot Roomba [viitattu 12.3.2012].)



Kuvio 6. Automaattinen pölynimuri (iRobot Roomba 2012).

Nasa Sojourner. Sojourner on Nasa Jet Propulsion Laboratoryn suunnittelema ja valmistama mobiilirobotti, joka osallistui Nasan Pathfinder-avaruuslentoonsa Marsiin vuosina 1996 - 1997. Kuviossa 7 esitetty Sojourner suoritti Marsissa kemiallisia kokeita maaperästä, lähetti tietoa säätilasta ja otti kuvia. Maan ja Marsin välisen noin 11 minuutin siirtoviiveen takia Sojourneria täytyi ohjata lähettämällä sille koordinaatteja, joiden mukaan se navigoi autonomisesti annettuun paikkaan. Sojourner toimi 12-kertaisesti sen odotetun käyttöikänsä. (Aalto ym. 1999, 157, 158; Pathfinder and Sojourner 2008.)



Kuvio 7. Sojourner Marsissa (Demystifying Mars 2005).

2.4 Robotino

Seuraavissa alaotsikoissa esitellään lyhyesti Festo Didactic ja kerrotaan tässä oppinnäytetyössä käytetystä Robotinosta.

2.4.1 Festo Didactic lyhyesti

Festo Didactic on Feston koulutus- ja opetusvälinedivisioona. Se tarjoaa opetusjärjestelmiä automaatiotekniikan koulutukseen kaikille koulutustasoille, eli perusopetukseen, toisen asteen oppilaitoksille, aikuiskoulutukseen, ammattikorkeakouluille ja yliopistoille. Lisäksi Festo Didactic tarjoaa myös yleisiä ja räätälöityjä kursseja automaatiotekniikan alalla. Festo Didactic tukee partnerina kansallisia Taitajakisoi ja kansainvälisiä World Skills -kilpailuja. (Festo 2012; Festo Didactic [viitattu 13.4.2012].)

2.4.2 Yleistä

Robotino on Festo Didacticin valmistama mobiilirobotti, joka on varustettu vapaasti suomennettuna monisuuntaisella vetotavalla ("omnidirectional drive"). Robotino pystyy vetotapansa ansiosta liikkumaan eteen, taakse, sivulle ja myös pyörimään oman akselinsa ympäri, eli sillä on 3 vapausastetta. Robotinossa on myös käyttöjärjestelmä, kamera ja useita antureita, joiden avulla se kykenee toimimaan autonomisesti. (Robotino Manual 2010, 60.)

2.4.3 Käyttötarkoitus

Robotino on Festo Didacticin (viitattu 28.2.2012) mukaan:

Ohjelmoitava, konenäöllä ja GPS-paikannuksella varustettu, itsenäisesti liikkuva robotti sulautettujen järjestelmien ja autonomisten mobiililaitteiden opiskeluun.

Robotinon avulla voidaan opettaa Opetusaiheiden (viitattu 28.2.2012) mukaan useita aiheita, kuten

- automaatiota
- ohjausjärjestelmiä
- anturitekniikkaa
- moottorikäyttöjä
- keinonäköjärjestelmiä
- langatonta lähiverkkoa
- sulautettuja järjestelmiä
- symbolista- ja kielellistä ohjelmointia.

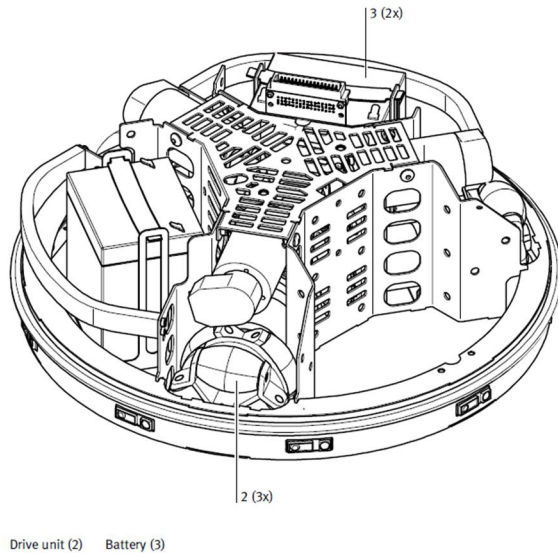
2.4.4 Kokoonpano

Robotino vaatii toimiakseen useita eri komponentteja. Seuraavissa kappaleotsikoissa on lueteltu oleelliset komponentit Robotinon toiminnan ymmärtämiseksi.

Runko. Runko koostuu Robotino Manualin (2010, 62) mukaan laserhitsatusta ruostumattomasta teräksestä valmistetusta alustasta. Kuviossa 8 on esitettyä Robotinon runko, akut, ajoyksiköt ja lisälaitteille varattu tila sekä lisälaitteiden mahdollisia kiinnityskohtia. Runkoon on kiinnitettyinä

- akut
- ajoyksiköt
- kamera
- Infrapuna-anturit
- törmäyksen esto –anturi.

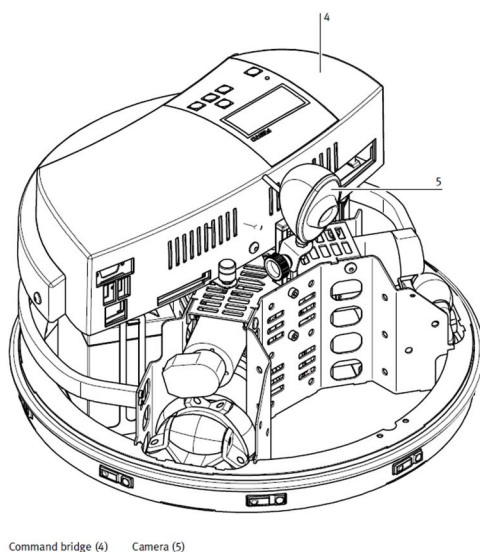
Akut. Robotinon käyttövoiman antaa kaksi 12 voltin akkua, joiden kummankin kapasiteetti on 4 Ah (Robotino Manual 2010, 68).



Kuvio 8. Robotinon runko, ajoyksiköt ja akut (Robotino Manual 2010, 62).

Komentosilta. Herkät laitteen osat, kuten ohjausyksikkö, I/O-moduuli ja -rajapinnat on sijoitettuna komentosiltaan. Komentosilta sijaitsee rungon päällä ja se on yhdistetty muihin Robotinon moduuleihin liittimellä. (Robotino Manual 2010, 63.) Komentosilta ja kamera liitettynä Robotinon runkoon on esitetty kuviossa 9.

Kamera. Robotino on varustettu kameralla, jonka korkeutta ja kallistusta voidaan säätää. Kameran avulla on mahdollista näyttää suoraa kuvaa Robotino view -ohjelmassa. Robotino view -ohjelmassa kuvaa voidaan myös prosessoida usealla tavalla. (Robotino Manual 2010, 66.)



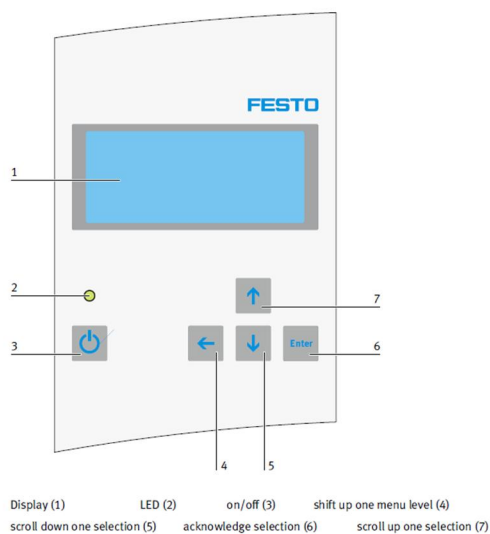
Kuvio 9. Robotinon komentosilta ja kamera (Robotino Manual 2010, 63).

Ohjausyksikkö. Ohjausyksikkö koostuu Robotino Manualin (2010, 67) mukaan kolmesta komponentista, jotka ovat

- PC 104 -proessori, MOPSIcdVE-yhteensopiva, kellotaajuus 300 MHz, Linux-käyttöjärjestelmä reaaliaikaisella kernelillä, SDRAM 128 MB
- CF-muistikortti C++-ohjelmointirajapinnalla Robotinon ohjaukseen
- WLAN-liityntäpiste

Ohjausyksikössä on liitännäportit kahdelle USB-liitännälle, Ethernetille ja VGA:lle. Portteja voidaan käyttää näppäimistön, hiiren ja näytön liittämiseksi. Käyttöjärjestelmää ja C++-kirjastoa voidaan käyttää ilman PC:tä, jos WLAN-yhteyttä ei haluta käyttää tai se ei ole mahdollista. (Robotino Manual 2010, 67.)

Kalvonäppäimistö ja näyttö. Kalvonäppäimistö ja näyttö sijaitsevat Robotinon komentosillan päällä. Niiden avulla voidaan tehdä erilaisia valintoja, näyttää tietoa ja käynnistää ohjelmia. (Robotino Manual 2010, 72.) Kalvonäppäimistö ja näyttö ovat esitettyinä kuviossa 10.



Kuvio 10. Robotinon kalvonäppäimistö ja näyttö (Robotino Manual 2010, 72).

WLAN-liityntäpiste. WLAN-yhteyspiste on komponentti, mikä mahdollistaa kommunikoinnin robotin kanssa verkko-osoitteen avulla. Liityntäpiste on yhteensopiva standardien IEEE 802.11g ja 802.11b kanssa. Yhteys robotin ja yhteyspisteen välillä on parhaimmassa tapauksessa 100 metriä rakennuksen sisällä. Suojaamaton

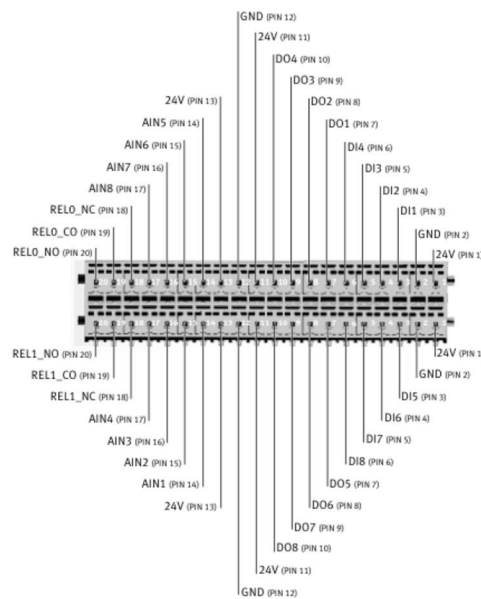
yhteys ja suojatut yhteydet WEP ja WPA-PSK ovat mahdollisia. (Robotino Manual 2010, 73.)

CompactFlash-kortti. Ohjausyksikössä on lukulaite CF-kortille. CF-kortti sisältää käyttöjärjestelmän, toimintokirjastot ja sisällytetyt ohjelmat (Robotino Manual 2010, 73).

I/O-piirikortti-moduuli. Moduuli mahdollistaa ohjainyksikön, antureiden, ajoyksiköiden ja I/O-rajapinnan välisen kommunikoinnin. Moduulissa suoritetaan myös moottoreiden PID-säätö. (Robotino Manual 2010, 67.)

I/O-rajapinta. I/O-rajapinta mahdollistaa Robotino Manualin (2010, 74) mukaan antureiden ja lisälaitteiden liittämisen erilaisten sovellusten luomiseksi. Kuviossa 11 esitetty I/O-rajapinta sisältää

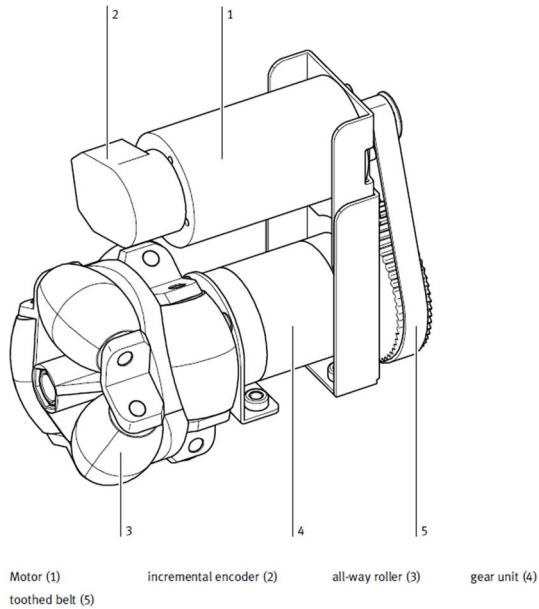
- kahdeksan analogista sisääntuloa (0 - 10V, AIN0 – AIN7).
- kahdeksan digitaalista sisääntuloa (DI0 – DI7).
- kahdeksan digitaalista ulostuloa (DO0 – DO7).
- 2 relettä toimilaitteille (REL0 ja REL1), jotka voidaan määrittää normaalisti auki (NO) tai normaalisti kiinni (NC) tyyppisesti.



I/O interface pin allocations

Kuvio 11. Robotinon I/O-rajapinta. (Robotino Manual 2010, 74).

Ajoyksikkö. Robotinon liikettä ohjataan kolmella itsenäisellä ajoyksiköllä. Yksiköt on suunnattu 120° kulmaan toisiinsa nähden. Jokainen yksikkö sisältää tasavirtamoottorin, hammaspyörästäön, All-way roller -pyörän, hammashihnan ja inkrementaalianturin. Ajoyksikkö on esitettyinä kuviossa 12. (Robotino Manual 2010, 64.)



Kuvio 12. Robotinon ajoyksikkö (Robotino Manual 2010, 64).

DC-moottori. Jokainen ajoyksikkö sisältää tasavirtamoottorin, jonka tekniset tiedot alla olevassa taulukossa 2. Yhteensä moottoreita on siis kolme kappaletta. (Robotino Manual 2010, 64.)

Taulukko 2. Robotin moottoreiden tekniset tiedot (Robotino Manual 2010, 65).

DC motor (GR 42x25)	Unit of measure	
Nominal voltage	V DC	24
Nominal speed	RPM	3600
Nominal torque	Ncm	3.8
Nominal current	A	0.9
Starting torque	Ncm	20
Starting current	A	4
No-load speed	RPM	4200
No-load current	A	0.17
Demagnetisation current	A	6.5
Mass moment of inertia	gcm ²	71
Motor weight	gr.	390

Hammaspyörästöt. Robotinossa on kolme kappaletta hammaspyörästöjä sijoitettuna ajoyksikköihin. Hammaspyörästöjen tekniset tiedot on esitetty taulukossa 3. Robotino käyttää välityssuhdetta 16:1. (Robotino Manual 2010, 64.)

Taulukko 3. Robotin hammaspyörästön tekniset tiedot (Robotino Manual 2010, 65).

Planetary gear unit (PLG 42 5)	
Single-stage, Nm:	3.5
Single-stage, i:	4 : 1 – 8 : 1
2-stage, Nm:	6
2-stage, i:	16 : 1 – 64 : 1
3-stage, Nm:	14
3-stage, i:	100 : 1 – 512 : 1

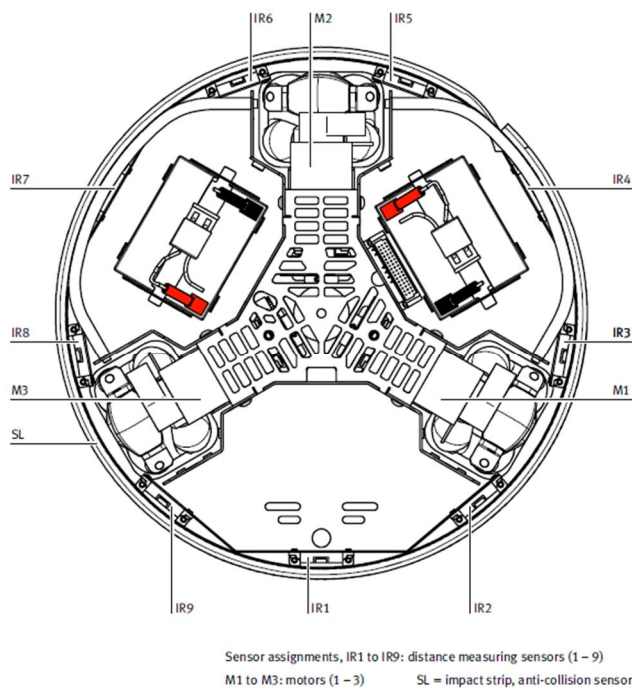
All-way roller. Robotin pyörät ovat kiinni vaihteistoissa ja ne ovat osa Robotinon ajoyksikköjä. Pyörää voidaan pyörittää vetoakselin määräämään suuntaan, mutta se kykenee myös rullaamaan passiivisesti mihin suuntaan tahansa kuuden tynnyrin muotoisen pyörän avulla. Pyörän halkaisija on 80 mm. (Robotino Manual 2010, 65, 66.)

Inkrementaalianturi. Robotinossa on kolme kappaletta inkrementaaliantureita sijoitettuna ajoyksikköihin. Antureiden avulla voidaan mitata moottoreiden todellista pyörimisnopeutta. Mikäli moottorin todellinen pyörimisnopeus poikkeaa tavoitel-

lusta pyörimisnopeudesta, voidaan nopeutta säätää PID-säätimellä I/O-piirilevyn kautta. (Robotino Manual 2010, 68.)

Törmäyksen esto -anturi. Törmäyksen esto -anturi on kiinnitetty rungon ympärille ja se sisältää kytkentäliuskan. Kytkentäliuskan sisällä on 2 sähköä johtavaa pintaa, jotka oikosulkeutuvat, mikäli liuskaan kohdistuu painetta. Puskurin antaman signaalin perusteella Robotinon suorittama toiminta voidaan esimerkiksi keskeyttää. (Robotino Manual 2010, 68.)

Infrapuna-anturi. Robotino on varustettu yhdeksällä infrapuna-anturilla, jotka ovat kuvion 13 mukaisesti kiinnitettyinä Robotinon runkoon 40° asteen välein. Antureiden avulla voidaan mitata etäisyyttä mahdollisiin esteisiin 4 - 30 cm:n välillä. (Robotino Manual 2010, 68.)

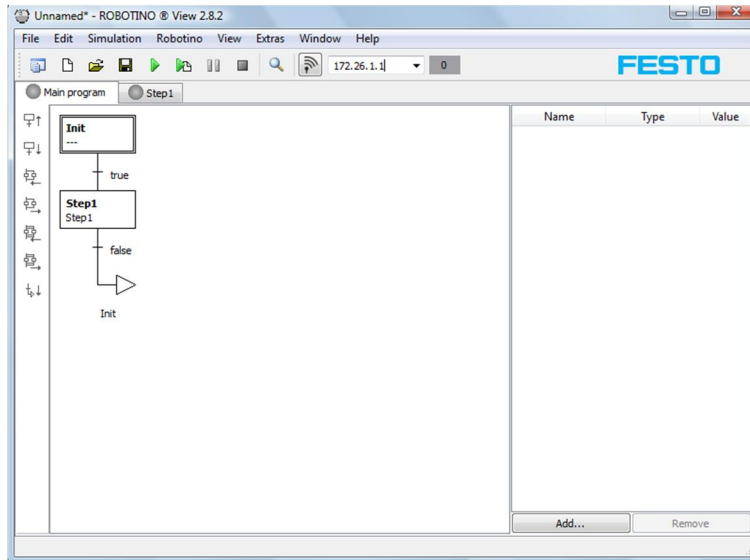


Kuvio 13. Robotinon aistinjärjestelmän ja moottoreiden sijoitukset (Robotino Manual 2010, 71).

2.4.5 Robotino View 2

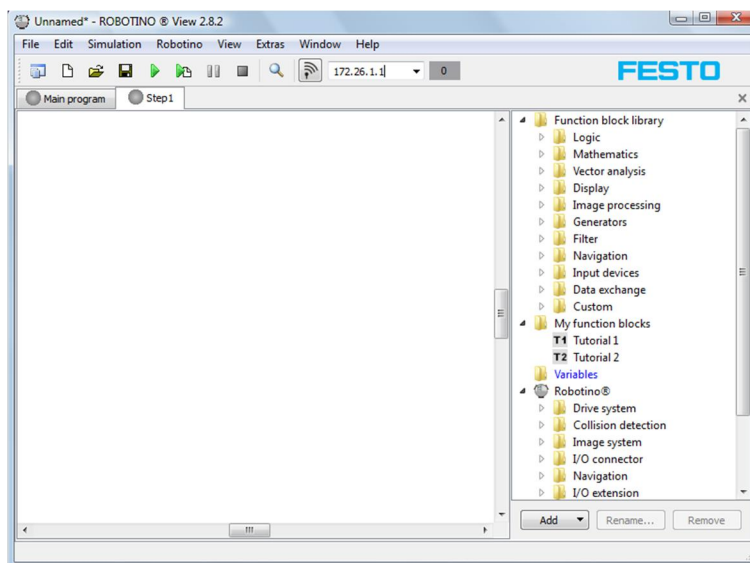
Robotino View 2 on Festo Didacticin luoma interaktiivinen ja symbolinen ohjelmointityökalu, sekä oppimisympäristö Robotinolle (Robotino View 2012). Robotino View 2:n pääikkunassa, joka näkyy kuviossa 14, voidaan

- määrittellä ehdot ohjelman etenemiselle.
- luoda muuttujia, joiden arvoon voidaan vaikuttaa ohjelman eri askeleissa.
- lisätä ohjelmaan askeleita.
- seurata ohjelman etenemistä ja muuttujien arvoja.



Kuvio 14. Robotino View 2: Pääikkuna.

Askel-ikkunoissa luodaan varsinaista ohjelmaa. Kuviossa 15 näkyvälle valkoiselle alueelle voidaan tuoda kuvion oikeassa reunassa näkyvästä toimintalohkokirjastosta tarvittavia toimintoja. Askeleita voidaan luoda useita ja ne suoritetaan pääikkunassa luotujen ehtojen mukaisesti.



Kuvio 15. Robotino View 2: Askel 1.

3 ODOMETRIAN SUORITUSKYVYN SELVITTÄMINEN

3.1 Testaukseen johtaneet syyt ja suunnitelma

Koska työn aloitusvaiheessa ei ollut selvillä Robotinon odometrian suorituskyky, haluttiin työ aloittaa sen selvittämiseksi. Tarkkuuden selvittämiseksi Robotinolle täytyi luoda ohjelma, jonka avulla tarkkuutta voitaisiin mitata. Robotinolla on mahdollista käyttää myös paikoitusta helpottavia toimintoja, mutta niitä ei haluttu testauksessa käyttää.

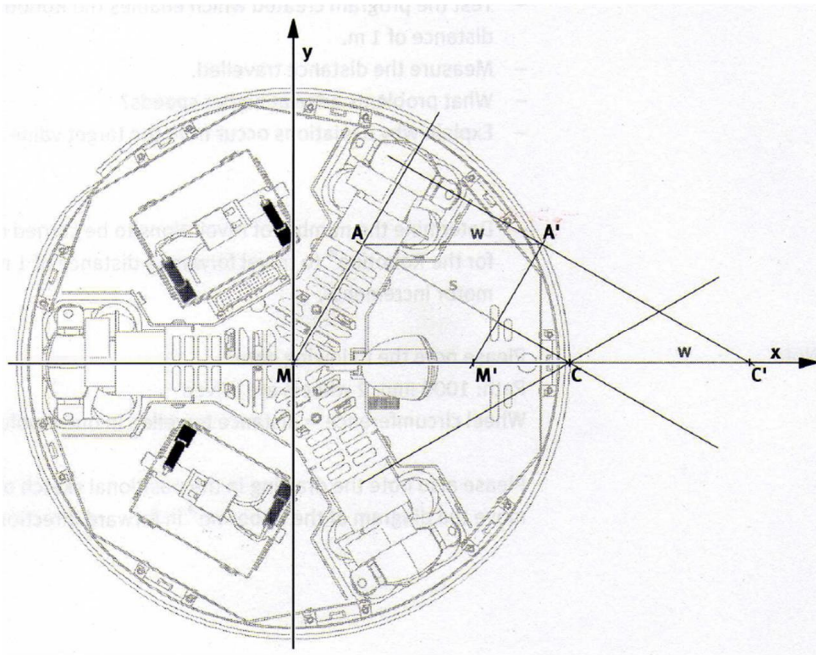
Koska Robotinoa tulitaisiin käyttämään yleensä vain pienessä tilassa, päädyttiin seuraavaan ohjelmaan:

- Robotino ajaa eteenpäin yhden metrin ja pysähtyy sekunniksi.
- Robotino ajaa oikealle yhden metrin ja pysähtyy sekunniksi.
- Robotino ajaa taaksepäin yhden metrin ja pysähtyy sekunniksi.
- Robotino ajaa vasemmalle yhden metrin ja sekvenssi loppuu.

Robotinon kulkemasta matkasta olisi pitänyt näin ollen muodostua neliön muotoinen alue ja teoriassa lähtö- ja loppupisteiden olisi pitänyt olla samat.

3.2 Vaadittavat laskutoimitukset

Metrin matkan etenemiseksi täytyi tehdä muutamia laskutoimituksia. Ensimmäiseksi täytyi ottaa huomioon, että Robotinon pyörät eivät olleet kohtisuorassa etenemisen suuntaan, vaan teknisen dokumentaation mukaan ne olivat 120° kulmassa toisiinsa nähden (ks. luku 2.4.4).



Kuvio 16. Liikesuunnikas (motion parallelogram) (Instructor Volume 2007, C-46).

Yllä olevan kuvion 16 ja Instructor Volumen (2007, C-46) kaavan perusteella saatiin renkaiden etenemä laskettua kaavalla

$$s = w * \sin(60^\circ) \quad (1)$$

jossa w on Robotinon tavoiteltu matka suoraviivaisesti eteenpäin

s on pyörillä liikuttu matka riippuen matkasta w

Pyörän ympärysmitta saatiin Instructor Volumen (2007, C-46) kaavasta

$$U = d * \pi \quad (2)$$

jossa d on pyörän halkaisija, eli tässä tapauksessa 80 mm (ks. luku 6.3)

U on pyörän ympärysmitta

Pyörien etenemän mukainen kierroslukujen määrä saatiin Instructor Volumen (2007, C-46) kaavasta

$$rev = \frac{s}{U} \quad (3)$$

Käyttämällä edellä mainittuja kaavoja ja sijoittamalla tarkoituksenmukaiset arvot, saatiin laskettua vaadittava pyörien pyörähdysten kierrosmäärä metrin etenemälle Instructor Volumen (2007, C-47) kaavalla

$$\text{kierrosmäärä} = \frac{1000 \cdot \sin(60^\circ)}{80 \cdot \pi} \quad (4)$$

Kierrosmääräksi saatiin 3.446.

Robotinon teknisen dokumentaation mukaan jokaisen moottorin ja pyörän välissä on vaihteisto, jonka välityssuhde on 16:1 (ks. luku 6.3) ja Instructor Volumen (2007, C-47) mukaan moottorin yksi pyörähdys vastaa 2 048 pulssia inkrementaalianturilta.

Sijoittamalla välityssuhde ja yhtä kierrosta vastaava pulssien määrä kaavaan, saatiin laskettua vaadittava pulssien lukumäärä metrin etenemälle Instructor Volumen (2007, C-47) kaavalla

$$\text{pulssimäärä} = \frac{2048 \cdot 16 \cdot 1000 \cdot \sin(60^\circ)}{80 \cdot \pi} \quad (5)$$

Vastaukseksi saatiin 112 912.16 pulssia. Tuloksesta nähtiin, että virhettä syntyi metrin etenemällä suoraan eteen- tai taaksepäin 0.16 pulssia, koska vajaita pulsseja ei voitu laskea. Pulssien lukumäärään ja etenemään suhteutettuna virhe voitiin kuitenkin jättää käytännössä huomioimatta.

Suoraan eteen- tai taaksepäin liikuttaessa pyöritettiin yhtä paljon pyöriä nro 1 ja nro 3, pyörän nro 2 rullatessa passiivisena mukana. Pyörän nro 2 pyörittäminen olisi aiheuttanut tässä tapauksessa Robotinon kiertymistä, koska se oli 90° kulmassa etenemään nähden. Pyörien järjestys näkyy luvun 2.4.4 kuviossa 13.

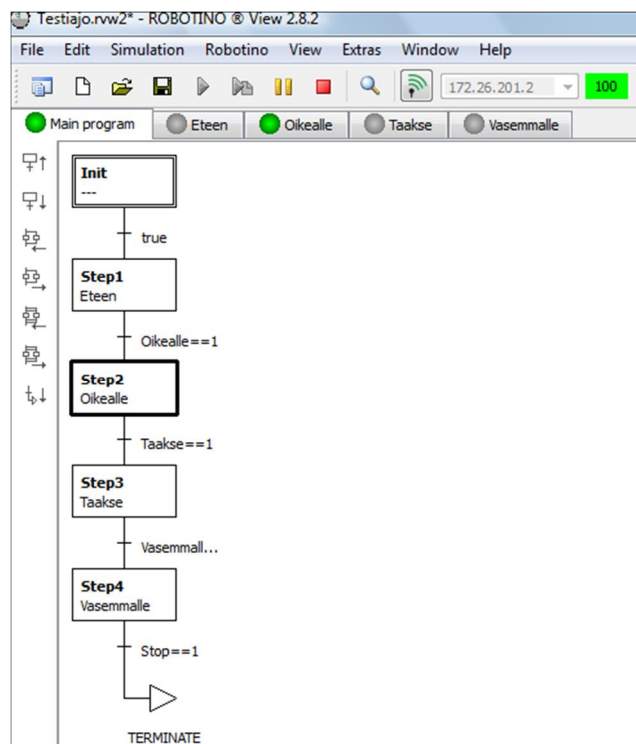
Sivuttain liikkumisessa oli otettava huomioon, että Robotinon pyörät ovat eri kulmassa etenemän suuntaan verrattuna, kuin eteen- tai taaksepäin liikuttaessa. Vaadittavat pyörien kierrosmäärät ja siten myös pulssien lukumäärät siis erosivat oikealle ja vasemmalle liikuttaessa ja kaikkia pyöriä oli pyöritettävä. Aiemmin esitetyiden kaavojen mukaan laskettuna pulssien määrät olivat 65 190 moottoreille nro 1 ja nro 3 ja 130 380 moottorille nro 2. Vastaavasti pyörimisnopeudet olivat nro 1- ja nro 3-moottoreille puolet nro 2-moottorin pyörimisnopeudesta.

3.3 Ohjelman luonti tarkkuuden selvittämiseksi

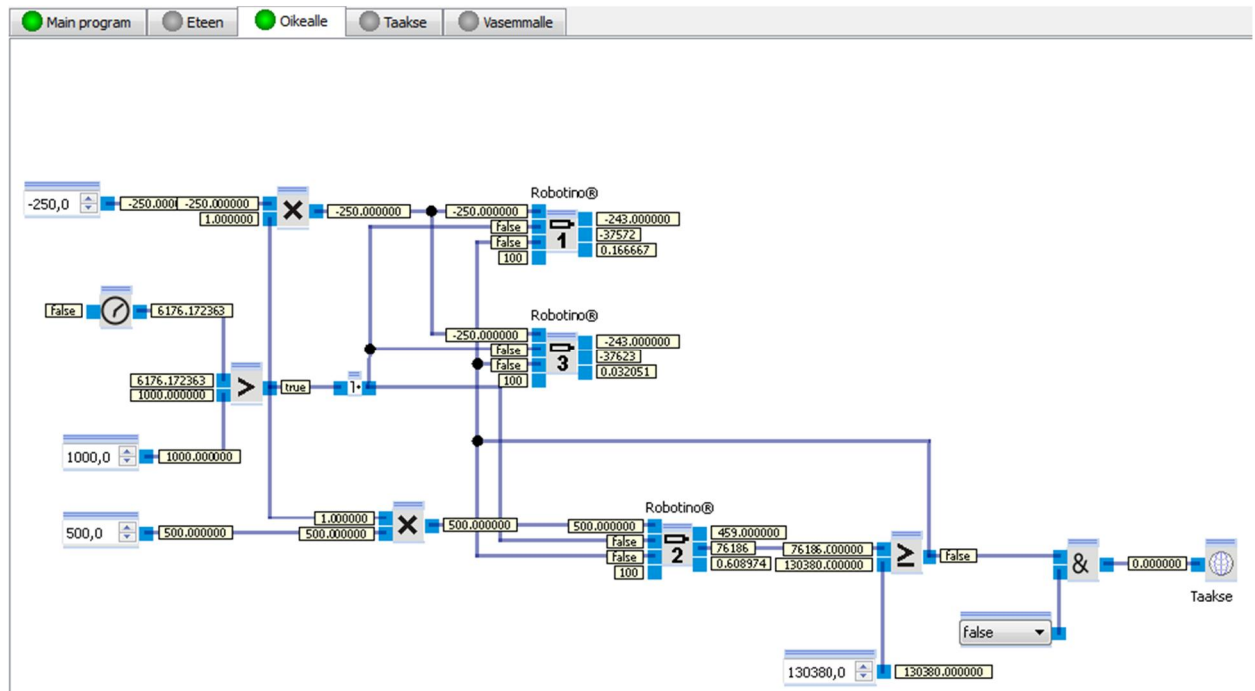
Seuraavaksi Robotinolle täytyi luoda ohjelma, jonka avulla Robotinoa kyettäisiin ajamaan luvussa 3.1 esitetyn suunnitelman mukaisesti. Ohjelmointiin käytettiin Robotino View 2 ja sen versiota 2.8.2. Sekvenssin eteneminen on esitettyä kuviossa 9 ja sekvenssin toinen vaihe, eli ajo oikealle on esitettyä kuviossa 10.

Kuvakaappaukset, eli kuvat 17 ja 18 ovat vaiheesta, jossa ohjelman toimivuutta testattiin WLAN-yhteydellä. Varsinaisesta ohjelmasta poistettiin ehto, jolla annettiin manuaalisesti lupa seuraavaan vaiheeseen siirtymiseen.

Eteen- ja taaksepäin liikuttamiseksi nro 1 ja nro 3 moottoreille annettiin nopeudeksi 500 kierrosta minuutissa. Oikealle ja vasemmalle ajamiseksi annettiin nro 1- ja nro 3-moottoreille nopeudeksi 250 kierrosta minuutissa ja nro 2-moottorille nopeus 500 kierrosta minuutissa. PID-säätimien arvot pidettiin tehdasasetuksissa.



Kuvio 17. Kuvakaappaus Testiajo-ohjelman pääikkunasta.



Kuvio 18. Testiajo-sekvenssin toinen vaihe ajossa Robotino View 2:n avulla.

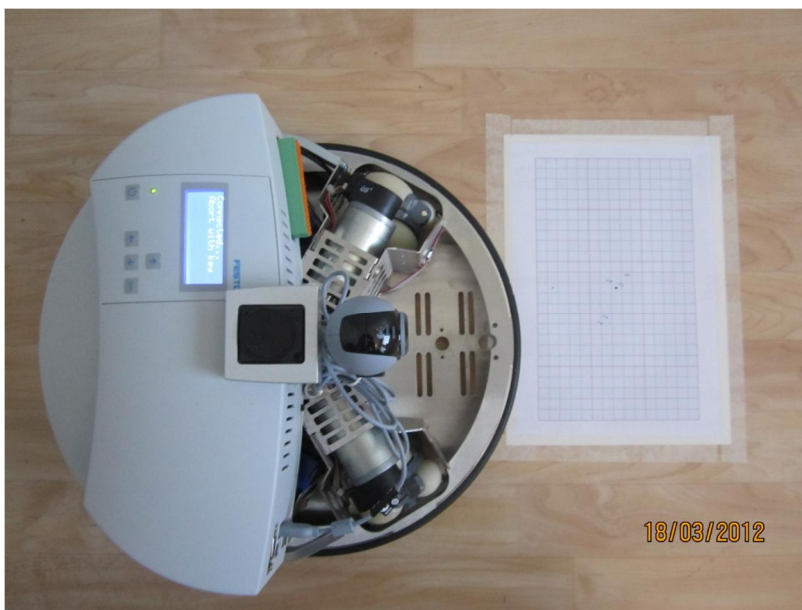
3.4 Mittaustapahtuma

Todellinen testaus ajettiin suoraan Robotinon CF-kortilta, WLAN-yhteyden viiveen poistamiseksi. Lisäksi Robotinon akut olivat varmuuden vuoksi ladattu täyteen. Kuviossa 19 näkyvään aloituspaikkaan piirrettiin millimetripaperille piste origoksi. Robotino kohdistettiin origoon, minkä jälkeen ohjelma suoritettiin. Sekvenssin päätyttyä myös lopetuspaikkaan piirrettiin mahdollisimman tarkasti merkki. Mittaustapahtuma päätettiin suorittaa 12 kertaa. Alustana toimi muovimatto, joka vastasi myös mahdollista alustaa todelliselle käytölle.



Kuvio 19. Robotino, millimetripaperi ja alusta.

Ensimmäisessä testausyrityksessä vastaan tuli kuviossa 20 näkyvä ongelma. Robotino ajautui ohi millimetripaperista niin, ettei tulosta voitu lukea. Aluksi korjausta yritettiin vaihtamalla origon paikkaa paperin keskeltä liittessä 1 esitettyyn numeroimattomaan kohtaan, mutta korjausyrityksestä ei ollut apua. Mittaustapahtumaa yritettiin jatkaa, kunnes 10 mittausta oli suoritettu ja neljä mittauksista oli mennyt yli mitta-asteikon. Tässä vaiheessa mittaustapahtuma päätettiin keskeyttää ja liittessä 1 näkyvät tulokset hylättiin.



Kuvio 20. Robotino yli mitta-asteikon.

Ratkaisuksi ensimmäisen testausyrityksen ongelmaan valittiin Robotinon kulke-
man matkan lyhentäminen 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m kokoiseksi. Laskutoimi-
tusten ja ohjelman muutosten jälkeen, mittaus suoritettiin suunnitellut 12 kertaa ja
kaikki mittaukset olivat onnistuneita.

3.5 Tulokset

Tulosten tarkastelun vuoksi, x- ja y-suuntien etäisyyksistä otettiin itseisarvot. Ori-
gon ja päätepisteen etäisyys voitiin laskea x- ja y-suuntien etäisyyksistä Pythago-
raan lauseen avulla (Henttonen, Peltomäki & Uusitalo 2003, 97). Tulokset ovat
esitettyinä taulukossa 4 ja testaukseen käytetty millimetripaperi on liitteenä 2. Ori-
gon ja loppupisteen etäisyyden keskiarvoksi saatiin $18,5 \pm 1,4$ mm. Keskihajontaa
voitiin pitää suurena sen ollessa $7,9 \pm 1,4$ mm.

Taulukko 4. Testiajon tulokset.

Mittaus #	Etäisyys origosta		
	x-suunnassa	y-suunnassa	$\sqrt{x^2 + y^2}$
1	9	3	9,5
2	9	2	9,2
3	13	20	23,9
4	9	13	15,8
5	5	5	7,1
6	9	11	14,2
7	13	7	14,8
8	17	19	25,5
9	17	10	19,7
10	6	31	31,6
11	2	25	25,1
12	4	26	26,3
Keskiarvo	9,4	14,3	18,5
Keskihajonta	4,8	9,7	7,9

Lehtisen (2008, 116, 117) mukaan mobiilirobottien navigoinnissa käytetään usei-
den aistinjärjestelmien yhdistelmiä, koska esimerkiksi odometriaan ei voida luottaa
liukkaalla alustalla. Tätä väitettä tukivat saadut mittaustulokset.

Suurimpia mittausvirheiden aiheuttajia olivat todennäköisesti:

- robotinon silmämääräinen kohdistus origoon.
- käsivarainen loppupisteen merkintä.
- mahdollinen ero paperin, teipin ja muovimaton kitkakertoimissa.
- alustan lievä epätasaisuus.

Testi ei ollut suoritustavaltaan ja olosuhteiltaan paras mahdollinen, eikä kulman mittausta edes suoritettu. Tavoitteena olikin saada suuntaa antava tulos odometrian suorituskyvystä. Kuljetun matkan ja mittaustulosten perusteella kyettiin tekemään johtopäätös, ettei pelkkään odometriaan perustuvaa **tarkkaa** paikoitusta voida ohjelmoinnissa käyttää, ainakaan pitkillä siirtymillä. Odometria on siitä huolimatta käyttökelpoinen tapa mobiilirobotin paikan ja orientaation muutoksille. Tarkempi paikoitus voidaan toteuttaa yhdistämällä odometrian tueksi muita navigointimenetelmiä (ks. luku 2.3.3). Festo Didactic tarjoaa odometrian tarkkuuden parantamiseksi gyroskooppi-anturia (Gyroscope sensor 2012).

4 ROBOTINON KAUKO-OHJAUS PELIOHJAIMELLA

4.1 Ohjelmoitavan toiminnon valinta

Toteutettavaksi toiminnoksi valittiin Robotinon kauko-ohjauksen mahdollistaminen peliohjaimella. Syitä valintaan olivat seuraavat:

- Peliohjaimella ohjaaminen helpottaisi Robotinon kauko-ohjausta huomattavasti.
- Pelikonsoleista tuttu ohjain tekisi robotista todennäköisesti helpommin lähestyttävän messu- ja markkinointitilaisuuksien vierailijoille.
- Peliohjaimella ohjaaminen mahdollistaisi messu- ja markkinointitilaisuuksissa useita erilaisia, esimerkiksi nopeuteen ja tarkkuuteen perustuvia kilpailuja. Muutoksia itse ohjelmaan ei mahdollisesti tarvittaisi lainkaan, vaan ainoastaan robotilla suoritettavaa tehtävää ja tehtäväaluetta voitaisiin muokata.
- Robotinon täysin autonomista toimintaa esitteleviä ohjelmia on jo toteutettuna ja saatavilla useita erilaisia.

Ohjelman kehittäminen tapahtui asteittain ja lisäksi ohjelmasta haluttiin tehdä useita versioita, joista voidaan myöhemmin valita käyttöön sopivin.

4.2 Kauko-ohjain

Ohjaimeksi valittiin kuvion 21 Bigben Interactiven valmistama PC-yhteensopiva langaton peliohjain. Ohjain valittiin, koska sillä oli hyvä saatavuus, edullinen hinta ja kahden vuoden takuu. Ohjelmaan voidaan myös liittää kohtuullisen pienellä vaivalla jokin toinen ohjain.

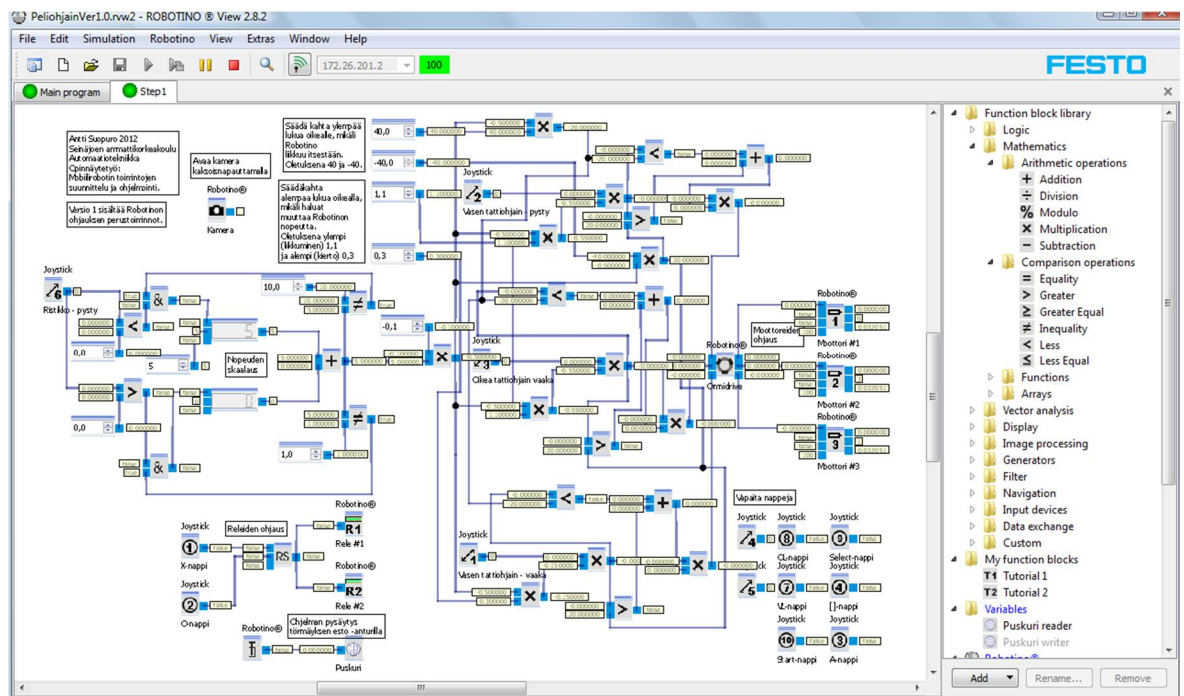


Kuvio 21. Peliohjain

4.3 Ensimmäinen versio

Ensimmäinen versio on esitettyä kuviossa 22. Siihen Robotino ohjelmoitiin toimimaan seuraavasti:

- Robotino liikkuu eteenpäin painamalla vasenta tattiohjainta ylöspäin.
- Robotino liikkuu taaksepäin painamalla vasenta tattiohjainta alaspäin.
- Robotino kiertyy vasemmalle painamalla vasenta tattiohjainta vasemmalle.
- Robotino kiertyy oikealle painamalla vasenta tattiohjainta oikealle.
- Robotino liikkuu vasemmalle, painamalla oikeaa tattiohjainta vasemmalle.
- Robotino liikkuu oikealle painamalla oikeaa tattiohjainta oikealle.
- Robotinon liikkumisnopeus on skaalattavissa välillä 10 - 100 %.
- Ristikko-ohjainta ylöspäin painamalla Robotinon liikkumisnopeus nousee kymmenen prosenttiyksikköä.
- Ristikko-ohjainta alaspäin painamalla Robotinon liikkumisnopeus laskee kymmenen prosenttiyksikköä.
- X- ja O-napeilla voidaan ohjata releitä REL0 ja REL1.
- Robotinon ohjelma pysähtyy, mikäli törmäyksen esto -anturi aktivoituu.
- Robotino ei ohjaudu itsestään ohjaimen tattien lievien epätarkkuuksien vuoksi.
- Robotinon kameran kuvaa voidaan katsoa tietokoneen näytöltä.



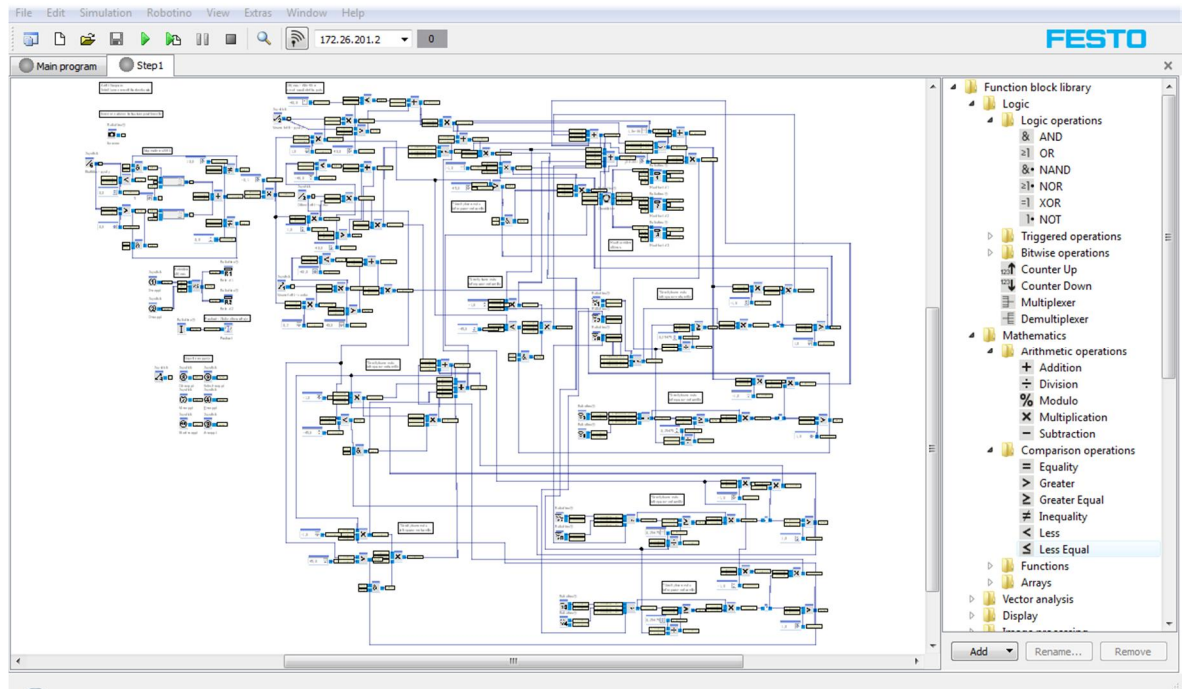
Kuvio 22. Ensimmäinen versio kauko-ohjauksesta.

4.4 Toinen versio

Ensimmäisessä versiossa Robotinon ainoana suojana törmäyksen varalta oli törmäyksen esto -anturi, joka toimi törmäystilanteessa vaimentavana puskurina ja jonka avulla myös pysäytettiin ohjelman suorittaminen. Ohjelman pysäyttäminen ei kuitenkaan kyennyt estämään törmäystä, eikä mahdollisia vaurioita. Tähän ongelmaan haluttiin toisessa versiossa puuttua infrapuna-antureiden antamien signaalien avulla. Toinen versio on esitettyä kuviossa 23.

Toisessa versiossa ohjaus toimi samoin, kuin ensimmäisessä versiossa, mutta siihen lisättiin seuraavat toiminnot:

- Robotinon törmäminen pyritään estämään infrapuna-antureilla.
- Robotino hidastaa automaattisesti vauhtia, mikäli infrapuna-antureilla havaitaan esteitä.
- Robotinon vauhdin hidastaminen esteen lähellä skaalautuu nopeuden mukaan.



Kuvio 23. Toinen versio kauko-ohjauksesta.

4.5 Kolmas versio

Työn tilaajan edustajan pyynnöstä Robotinolle pyrittiin kehittämään sovellus joka ottaisi esimerkiksi kuvia, kun Robotinon kameran edessä olisi kasvot (Tupamäki 2012). Pynnön mukaista sovellusta pyrittiin kehittämään, mutta tunnistusta ei onnistuttu toteuttamaan riittävän luotettavaksi, koska taustan ja valaistusolosuhteiden aiheuttamia häiriöitä ei onnistuttu sulkemaan pois. Ongelmien vuoksi päädyttiin vaihtoehtoiseen ratkaisuun. Robotinon kauko-ohjaus-sovellukseen lisättiin seuraava toiminto:

- Painamalla peliohjaimesta LB + RB, Robotino ottaa kuvan ja tallentaa sen ennalta määrättyyn kansioon.

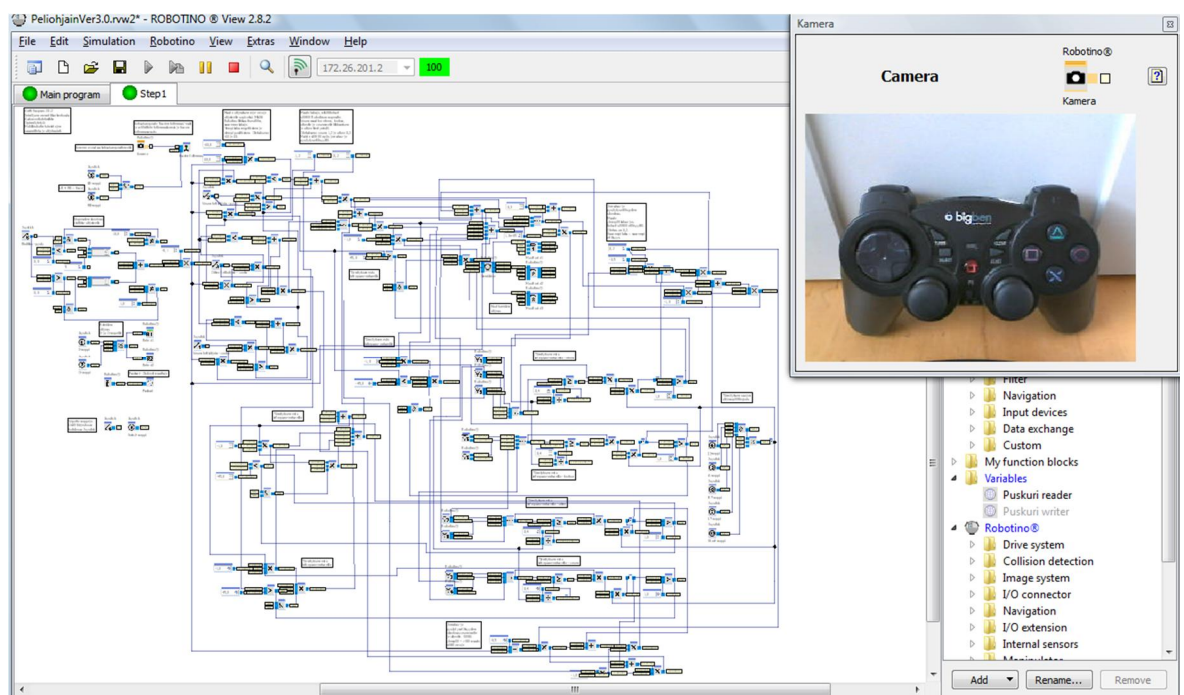
Toiminto päätettiin lisätä helpomman käytettävyyden vuoksi jo olemassa olevaan sovellukseen kauko-ohjauksesta. Ratkaisun ansiosta vältetään käytännössä turhilta ohjelmien vaihtamisilta.

Kolmanteen versioon lisättiin myös mahdollisuus kytkeä infrapuna-antureilla toteutettu törmäyksen esto pois käytöstä, koska jotkin sovellukset saattavat sitä mah-

dollisesti vaatia. Törmäyksen eston ohittaminen tehtiin tietoisesti hankalaksi, ettei suojaa kytkettäisi vahingossa pois päältä. Suojaus on ohjelman käynnistyessä aina päällä, mutta suojan voi ohittaa seuraavasti:

- Painamalla yhtä aikaa LT + RT + neliö (■) + kolmio (▲), poistuu infrapuna-antureilla toteutettu suojaus käytöstä.
- Painamalla START kytkeytyy infrapuna-antureilla toteutettu suojaus päälle, mikäli se on ohitettu.

Kehittynein ohjelma, eli versio 3 on esitettynä kuviossa 24.



Kuvio 24. Kolmas versio kauko-ohjauksesta.

4.6 Neljäs versio

Neljäs versio on variaatio kolmannesta versiosta. Neljänteen versioon haluttiin tehdä pieniä muutoksia Robotinon ohjaukseen. Neljäs versio toimi samoin, kuin kolmas versio, mutta ohjaukseen tehtiin seuraavat muutokset:

- Robotino kiertyy vasemmalle painamalla oikeaa tattiohjainta vasemmalle.
- Robotino kiertyy oikealle painamalla oikeaa tattiohjainta oikealle.

- Robotino liikkuu vasemmalle painamalla vasenta tattiohjainta vasemmalle.
- Robotino liikkuu oikealle painamalla vasenta tattiohjainta oikealle.

4.7 Yhteenveto versioista 3 ja 4

Kehittyneimpien versioiden toiminnot ovat seuraavat:

- Liikkuminen ja kiertyminen version mukaan.
- Robotinon liikkumisnopeus on skaalattavissa välillä 10 - 100 %.
- Ristikko-ohjainta ylöspäin painamalla Robotinon liikkumisnopeus nousee kymmenen prosenttiyksikköä.
- Ristikko-ohjainta alaspäin painamalla Robotinon liikkumisnopeus laskee kymmenen prosenttiyksikköä.
- Peliohjaimen X- ja O-napeilla voidaan ohjata releitä REL0 ja REL1.
- Robotinon ohjelma pysähtyy, mikäli törmäyksen esto -anturi aktivoituu.
- Robotino ei ohjaudu itsestään ohjaimen tattien lievien epätarkkuuksien vuoksi.
- Robotinon kameran kuvaa voidaan katsoa tietokoneen näytöltä.
- Robotinon törmäminen pyritään estämään infrapuna-antureilla.
- Robotino hidastaa automaattisesti vauhtia, mikäli infrapuna-antureilla havaitaan esteitä.
- Robotinon vauhdin hidastaminen esteen lähellä skaalautuu nopeuden mukaan.
- Painamalla peliohjaimesta LB + RB, Robotino ottaa kuvan ja tallentaa sen ennalta määrättyyn kansioon.
- Painamalla yhtä aikaa LT + RT + neliö (■) + kolmio (▲), poistuu infrapuna-antureilla toteutettu suojaus käytöstä.
- Painamalla START kytkeytyy infrapuna-antureilla toteutettu suojaus päälle, mikäli se on ohitettu.

5 POHDINTA

5.1 Haasteet

Työn tilaaja antoi kiitettävän vapaasti ideoida robotin toimintoja. Toimintojen ideointi oli kuitenkin eräs hankalimmista osioista työn aikana. Oli vaikeaa tai mahdollonta yrittää arvioida, mitkä ideoista olisivat toteuttamiskelpoisia, ja mikä toteuttamiskelpoisista ideoista tulisi toteutettuna olemaan mielenkiintoa herättävin. Kaikkia ideoituja toimintoja ei luonnollisesti voitu rajallisen aikataulun puitteissa toteuttaa.

Haasteellisinta soveltavassa osiossa oli infrapuna-antureiden avulla toteutetun törmäyssuojan ohjelmointi. Pelkkä suojaus robotin pysäytyksellä olisi ollut helppo toteuttaa, mutta suojasta haluttiin tehdä mahdollisimman hienovaraisesti toimiva. Tämä tarkoitti sitä, että suojan haluttiin jarruttavan vauhtia ennen varsinaista pysäytystä. Lisäksi robottia täytyi pystyä ajamaan pysäytyksen jälkeen muihin suuntiin, kuin estettä kohden.

Työn suorituksessa käytetty symbolinen ohjelmointityökalu koettiin helposti lähestyttäväksi, mutta hieman epäselväksi ohjelman monimutkaistuessa. Symbolisen ohjelmoinnin edut ja rajoitteet olivat tosin tuttuja työn tekijälle Seinäjoen ammatti-
korkeakoulun insinöörikoulutuksesta.

5.2 Tulokset

Soveltavassa osiossa toteutettu toiminto, eli robotin ohjaus peliohjaimella valittiin, koska se oli ideoiduista toiminnoista monipuolisin ja muuntautumiskykyisin. Tulevaa käyttöä ja mahdollista jatkokehitystä helpottamaan sovellukseen lisättiin useampia toimintoja ja sovelluksesta luotiin myös useita versioita. Yksi jatkokehityksen kannalta tärkeä toiminto oli robotin releiden ohjaus peliohjaimella. Robottiin voidaan myöhemmin lisätä toimilaitteita, eikä robotin ohjelmallista toimintaa tarvitse mahdollisesti muuttaa lainkaan. Toiminnon valintaan vaikutti myös työn tekijää kiehtova ajatus vapaasti kauko-ohjattavasta robotista, jonka ohjausjärjestelmä kuitenkin avustaisi operaattoria esteiden läheisyydessä ja valvoisi, ettei käyttäjän oh-

jausvirhe aiheuttaisi törmäystä. Sovelluksia ei varsinaisesti luotu useita, mutta toteutettuun sovellukseen ohjelmoitiin useita toimintoja ja siitä tehtiin neljä eri versiota. Neljästä versiosta kolme päätettiin luovuttaa SeAMK:n tekniikan yksikön käyttöön. Ensimmäisestä versiosta saattaa olla hyötyä jatkokehityksen kannalta ja kehittyneimmät versiot kolme ja neljä poistivat käyttötarpeen versiolta kaksi.

5.3 Työn onnistuminen

Täysin törmäykseltä suojattua robotista ei saatu johtuen infrapuna-antureiden sijoituksista. Sijoituksista johtuen kapeat maan tasolla sijaitsevat esteet saattavat jäädä tunnistamatta ja lisäksi korkeammalla kuin maan tasolla sijaitsevia esteitä ei voida tunnistaa lainkaan. Tämä on tärkeä asia huomioida tulevassa käytössä.

Mahdollisesti helpommin toteutettaviakin tapoja toimintojen ohjelmoimiseksi olisi ollut, mutta tärkeintä on, että käyttäjälle melko monimutkainen ohjelmarakenne ei näy. Mahdollisen jatkokehityksen kannalta on kuitenkin tärkeää liitteen kolme pikaohjeiden ja ohjelman kommenttien lisäksi perehdyttää työn tilaaja ohjelman toimintaan.

Teknisestä näkökulmasta tarkasteltuna työ onnistui hyvin ja asetetut tavoitteet saavutettiin. Työn tuloksena syntynyt sovellus vaikuttaa ainakin työn tekijän suorittamien testauksien perusteella varsin käyttökelpoiselta. Työn todellisesta onnistumisesta kertovat kuitenkin vasta kokemukset ja palaute sovelluksen käytöstä messu- ja markkinointitilaisuuksissa.

LÄHTEET

- Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Teoksessa: R. Kuivanen (toim.) Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/Metallitekniikka.
- Advances Expand the Use of Industrial Robotics in Manufacturing. 2012. [Verkkosivu]. Provision, Inc. [Viitattu 4.3.2012]. Saatavilla: <http://www.provinc.net/automation-systems/automation-robotics/advances-expand/#>
- Demetriou, G. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Frederick University. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavilla: http://cdn.intechopen.com/pdfs/22293/InTech-Mobile_robotics_in_education_and_research.pdf
- Demystifying Mars. 2005. [Verkkosivu]. NASA. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavana: http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/demystifying_mars_1.html
- Dhillon, B.S. 1991. Robot Reliability and Safety. New York: Springer-Verlag New York Inc.
- Executive summary. 2011. [Verkkojulkaisu]. IFR Statistical Department. [Viitattu 10.3.2012]. Saatavilla: http://www.worldrobotics.org/uploads/media/2011_Executive_Summary.pdf
- Festo. 2012. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.4.2012]. Saatavana: <http://www.festo-didactic.com/fi-fi/opetusvaelineet/opetusvaelineet/?fbid=ZmkuZmkuNTQ4LjIwLjEwLjMzMjkuMjE1OA>
- Festo Didactic. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Festo Didactic. [Viitattu 28.2.2012]. Saatavana: <http://www.festo.com/cms/fi-fi/15299.htm>
- Gyroscope sensor. 2012. [Verkkosivu]. Festo Didactic. [Viitattu 14.4.2012]. Saatavana: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/education-and-research-robots-robotino/gyroscope-sensor.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC44NTguNzMyOQ>
- Harju, J. 2008. [Verkkolehtiartikkeli]. Leikkausrobotti päihittää avoleikkaukset eturauhasen poistoissa. Helsingin Sanomat. [Viitattu 4.3.2012]. Saatavilla: <http://www.hs.fi/kotimaa/artikkeli/Leikkausrobotti+p%C3%A4ihitt%C3%A4%C3%A4+avoleikkaukset+eturauhasen+poistoissa/1135242113423>
- Hassinen, H. xxx.xxx@festo.com 2012a. Opinnäytetyö - referointi? [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Antti Suopuro. [Viitattu 16.3.2012].

- Hassinen, H. xxx.xxx@festo.com 2012b. Opinnäytetyö - referointi? [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Antti Suopuro. [Viitattu 5.5.2012].
- Henttonen, J., Peltomäki, J. & Uusitalo, S. 2003. TEKNIIKAN MATEMATIIKKA 1. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- iRobot Roomba. 2012. [Verkkosivu]. iRobot Corporation. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavilla:
<http://store.irobot.com/product/index.jsp?productId=11305111&cp=2501652&view=compare&s=A-ProductAge&parentPage=family#specifications>
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Koneautomaatio 2: Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: WSOY Konetekniikka.
- Korhonen, T. 2005. Teollisuusrobotista laajennettu palvelurobotti. Teknillinen korkeakoulu. Automaatio- ja systeemitekniikan osasto. Automaatiotekniikka. Diplomityö. Saatavana:
http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=73&Itemid=66
- Lehtinen, H. 2008. Automaatio – helppoa elämää ? Teoksessa: R. Heinonkoski, R. Asp, H. Hyppönen (toim.) Automaatio – helppoa elämää ? Helsinki: Opetushallitus.
- Marstio, I. 2006. Teollisuusrobotista laajennetun palvelurobotin luonnolliset käyttöliittymät. Teknillinen korkeakoulu. Automaatio- ja systeemitekniikan osasto. Automaatiotekniikka. Diplomityö. Saatavana:
http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=71&Itemid=66
- Malm, T., Viitaniemi, J., Marstio, I., Toivonen, S., Koskinen, J., Venho, O., Salmi, T., Laine, E. & Latokartano, J. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Teoksessa: T. Malm (toim.) Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.
- Malone, R. 2004. Robotit. Suomentaja Susanna Paarma. Jyväskylä: Atena kustannus
- Mänttari, H. 2005. Barista-Pauli valmistaa espresson robottikäden käännteessä. Aamulehti 11.12.2005, B18.
- Nof, S. 1999. Handbook of industrial robotics. 2. p. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Opetusaiheet. 2012. [Verkkosivu]. Festo Didactic. [Viitattu 28.2.2012]. Saatavana: <http://www.festo-didactic.com/fi-fi/learning-systems/perusopetus/robotino-autonominen,keinonaeollae-varustettu-ohjelmoitava-mobiilirobotti.htm>
- Pathfinder and Sojourner. 2008. [Verkkosivu]. NASA. [Viitattu 12.3.2012]. Saatavana: http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_861.html
- Portal Robot. 2010. [Verkkosivu]. Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. [Viitattu 4.3.2012]. Saatavana: <http://www.robotik-logistik.de/index.php?id=52&L=1>
- Provisional definition. 1998. [Verkkosivu]. International Federation of Robotics. [Viitattu 1.3.2012]. Saatavana: <http://www.ifr.org/service-robots>
- Robotiikka. 2008. [Verkkosivu]. Lahden ammattikorkeakoulu. [Viitattu 1.3.2012]. Saatavana: http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf
- Robotino Manual. 2010. [Verkkosivu]. Festo Didactic. [Viitattu 29.2.2012]. Saatavana: http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/544305_robotino_deen2.pdf
- Robotino View. 2012. [Verkkosivu]. Festo Didactic. [Viitattu 26.3.2012]. Saatavana: <http://www.festo-didactic.com/int-en/services/robotino/robotinoview2.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4zMi4xMTY4LjcwNDg>
- Robot Timeline. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. RobotWorx. [Viitattu 1.3.2012]. Saatavana: <http://www.used-robots.com/robot-education.php?page=robot+timeline>
- SCARA ROBOT. 2011. [Verkkosivu]. Robotmatrix.org. [Viitattu 4.3.2012] Saatavilla: <http://www.robotmatrix.org/SCARARobotic.htm>
- Schodt, F.L. 1988. Inside the Robot Kingdom – Japan, Mechatronics, and the Coming Robotopia. New York: Kodansha International Ltd.
- SFS-EN ISO 10218-1. Teollisuusrobotit. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Robotti Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 10218-1:en. Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part1: Robots. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Service Robots. 2010. [Verkkosivu]. European Engineering Industries Association. [Viitattu 10.3.2012]. Saatavana: http://www.eunited.net/robotics/upload/pdf/Press_release_14_09_2010_service.pdf

Siegwart, R. & Nourbakhsh, I. 2004. Introduction to Autonomous Mobile Robots. London: The MIT Press.

The da Vinci Surgical System. 2012. [Verkkosivu] Intuitive Surgical, Inc. [Viitattu 4.3.2012]. Saatavana: <http://www.intuitivesurgical.com/products>

Teollisuusrobottitilastot 2007. 2007. [Verkkójulkaisu]. Suomen Robotiikkayhdistys ry. [Viitattu 4.3.2012]. Saatavilla: http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=31&Itemid=66

Tupamäki, I. 2012. Diplomi-insinööri. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. Keskustelu 12.4.2012.

World Robotics. 2010. [Verkkójulkaisu]. IFR Statistical Department. Vaatii käyttöoikeuden.

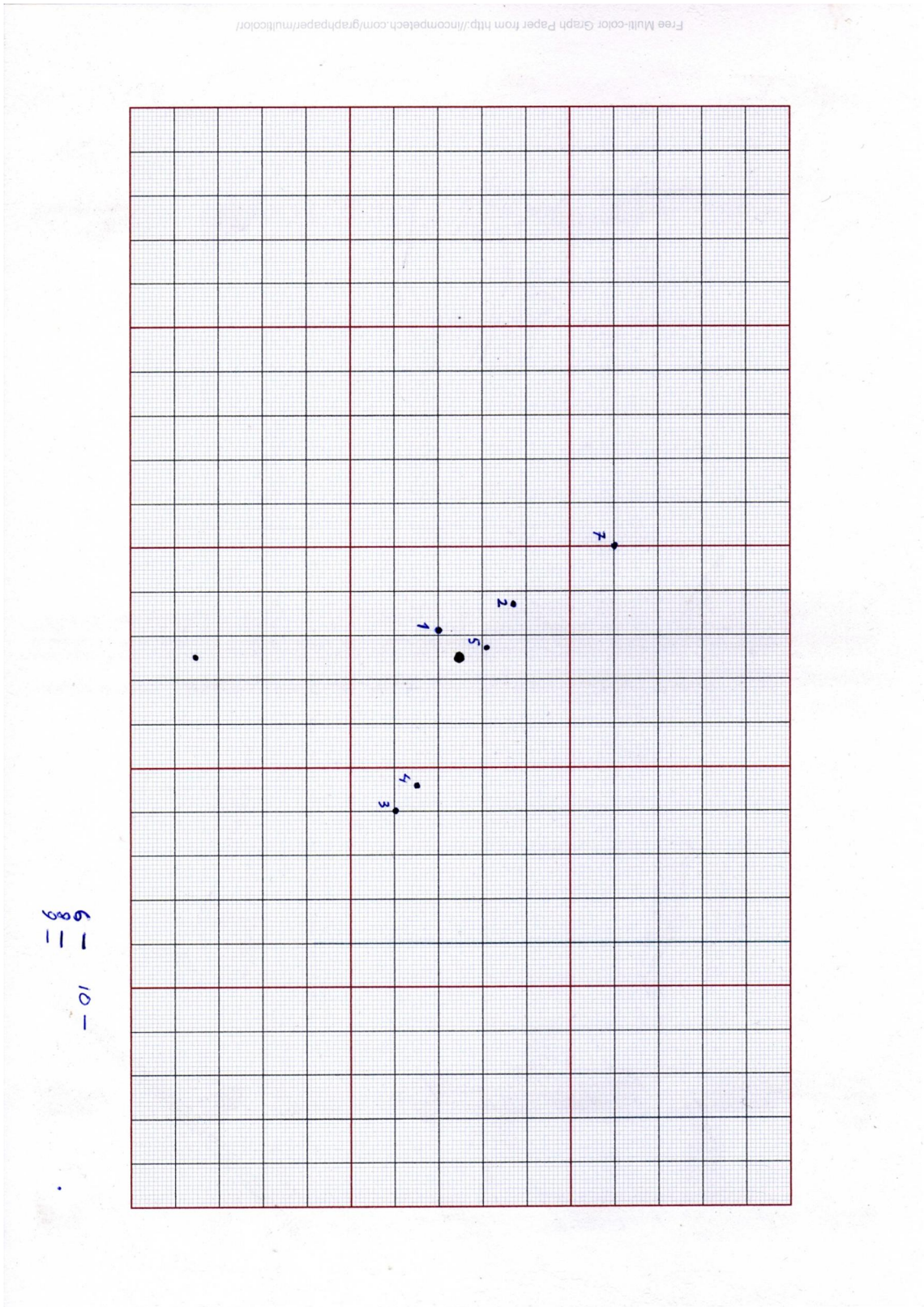
LIITTEET

LIITE 1. Ensimmäinen testi.

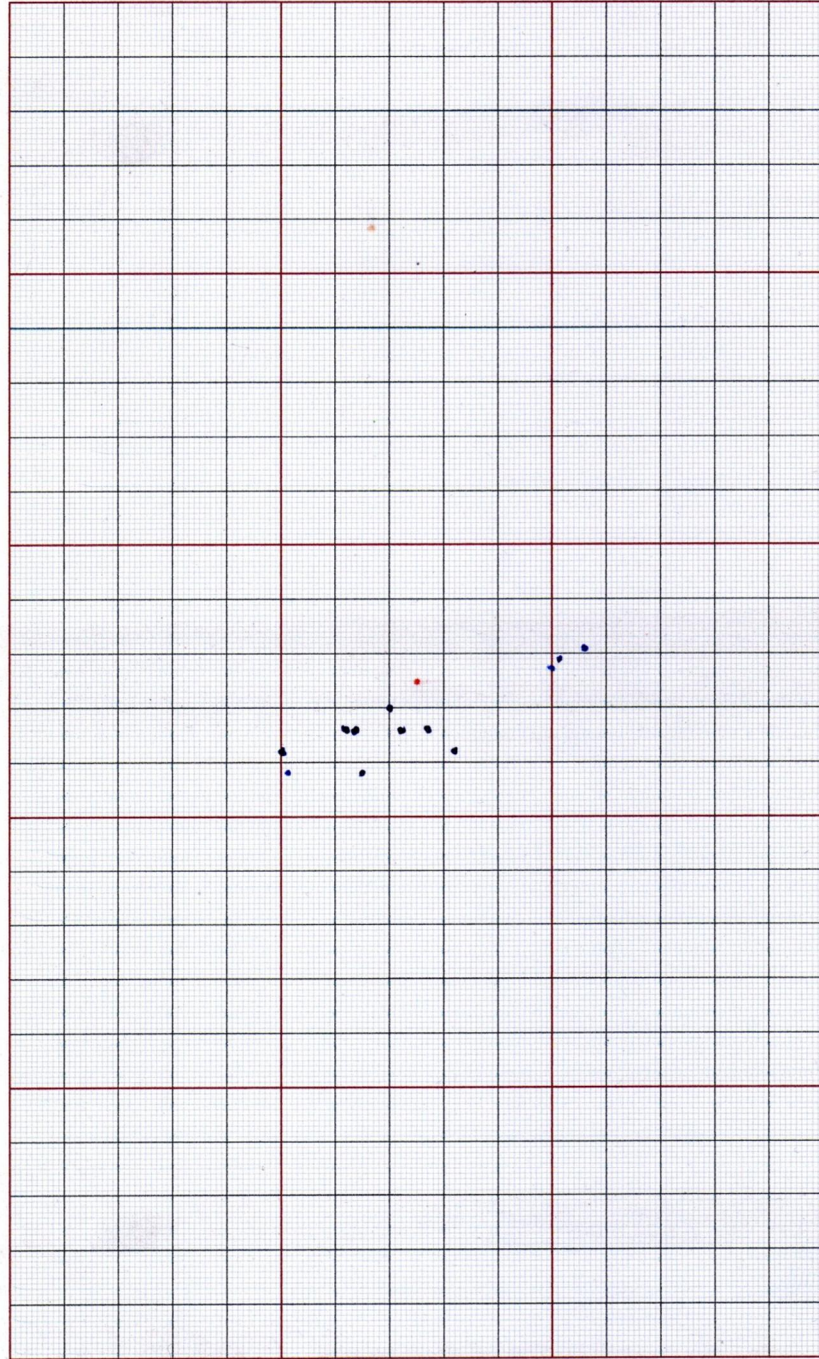
LIITE 2. Toinen testi.

LIITE 3. Kauko-ohjaus-sovelluksen pikaohjeet.

LIITE 1 Ensimmäisen testin tulokset



LIITE 2 Toisen testin tulokset



LIITE 3 Kauko-ohjaus-sovelluksen pikaohjeet

1(2)

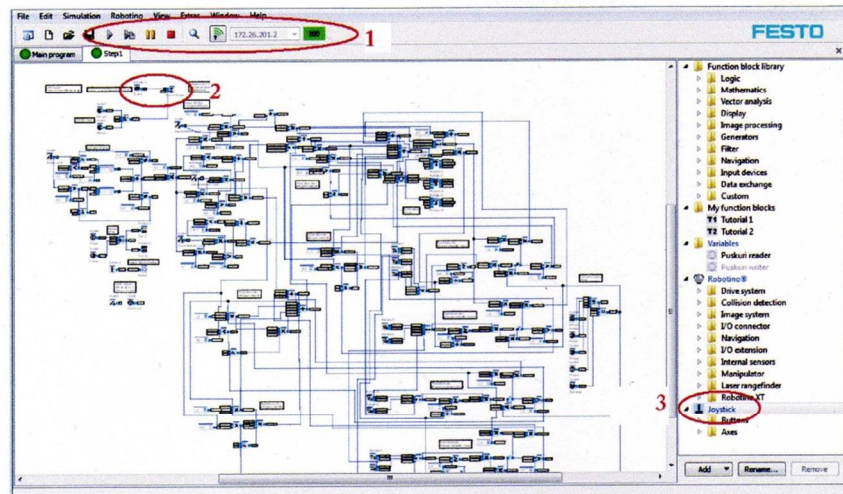
Kauko-ohjaus-sovelluksen pikaohjeet

1.1 Yleistä

Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikan yksiköllä on käytössä aiemmin projektiopintona luotu käyttöohje Robotinolle. Aiempi ohje on nimeltään "Festo Robotino projekti - Käyttöohje". Kirjoittajina Janne Rantala ja Juhana Raja-aho. Tämä pikaohje on tarkoitettu aiemmin luodun käyttöohjeen täydentämiseksi Festo Didactic: Robotino® - Mobiilirobotin toimintojen suunnittelu ja ohjelmointi - opinnäytetyössä ohjelmoidun sovelluksen käyttöönottoon. Ohje on luotu Robotino View 2:n versiolle 2.8.2.

1.2 Yhteyden tarkistus

Kuvion 1 ellipsin muotoinen alue 1 osoittaa Robotinon ja Robotino View 2:n välistä yhteyttä. Tarkista, että yhteys on luotu ja se on alueen 1 mukainen. Mikäli yhteyttä ei ole luotu, katso tarvittaessa apua Festo Robotino projektin käyttöohjeesta.



Kuvio 1. Yleinen näkymä Kauko-ohjaus-sovelluksen versiosta 3.

2(2)

1.3 Kameran käyttöönotto ja kuvien tallennus

Kun yhteys Robotinoon on luotu, voidaan kamera-ikkuna avata kaksoisnapauttamalla kuviossa 2 esitettyä "Kamera"-ikonia. Kuvien tallennuspaikka ja -muoto voidaan valita "Kuvien tallennus"-ikonista. "Kamera" ja "Kuvien tallennus" löytyvät kuvion 1 ellipsin muotoiselta alueelta 2.



Kuvio 2. Kamera ja kuvien tallennus.

1.4 Peliohjaimen käyttöönotto Robotino View 2:ssa

Varmista, että käytettävä ohjain on asennettu ja kalibroitu asianmukaisesti. Tarvittaessa apua löytyy mahdollisesti ohjaimen käyttöohjeesta tai käyttöjärjestelmän ohjeesta.

Kuvion 1 ellipsin muotoiselta alueelta 3 löytyy kuvion 3 mukainen Joystick-toiminto. Paina hiiren oikeaa näppäintä ja valitse "Properties...". Valitse Joystick-ikkunan alasvetovalikosta haluamasi ohjain. Pikaohjeen tapauksessa nimettynä "USB Gamepad".



Kuvio 3. Joystick.