

*AS-0.3200 Automaatio- ja systeemitekniikan projektityöt*

*Syksy 2008*

# Kehityssuunnitelma AUTT-1 –robotille

*Juho Cederström*

*Riikka Liedes*

## Sisällysluettelo

Sisällysluettelo .....	2
Johdanto .....	4
Rauta ja sähköt .....	5
AUTT-1:n rauta .....	5
Raudan mahdolliset parannukset.....	5
Sähköjärjestelmän nykyinen rakenne ja virrankulutukset .....	7
Akkujen toimivuuden parannus .....	7
Uusi virranjakoyksikkö .....	8
Moottorit .....	10
Moottoreiden ja raudan tulevaisuudennäkymiä.....	11
PC/104 ja tiedonsiirto.....	12
PC/104:n nykyinen laitteisto .....	12
PC/104:n mahdolliset parannukset .....	13
AUTT-1:lle toteutetut sovellukset .....	13
Yleisdiagnostiikkaohjelmisto .....	15
AUTT-1:n verkko .....	15
QNXmaken asentaminen PC/104:ään .....	17
Verkon kehittäminen tulevaisuudessa .....	17
Navigointi.....	18
AUTT-1:n nykyinen anturointi .....	18
Kamerakuvan kaappaaminen ja hyödyntäminen .....	19
Nykyinen navigointi ja autonomisuus .....	20
Kehitysprojekti: Laitteisto merkityn kulkureitin seuraamiseen.....	21
Kehitysprojekti: Ohjelmisto itsenäiseen tehtävien suorittamiseen .....	22
AUTT-1:n navigointi tulevaisuudessa .....	22
PC/104:n käyttöjärjestelmä.....	23

Nykyinen käyttöjärjestelmä.....	23
Linux reaaliaikakäyttöjärjestelmänä.....	23
Linuxin eri reaaliaikalaajennukset .....	23
Kehitysprojektit: Reaaliaika-Linuxin käyttöönotto PC/104:ssä ja sen ohjelmointi .....	25
Vaihe 1: Reaaliaika-Linuxin asennus ja eri reaaliaikalaajennusten evaluointi sekä erilaiset ohjelmointimahdollisuudet .....	25
Vaihe 2: Reaaliaika-Linuxin asennus toiseen PC/104:ään ja ajureiden asentaminen .....	25
Vaihe 3: Reaaliaika-Linuxin asennus AUTT-1:n käyttöjärjestelmäksi .....	26
Yhteenveto .....	26
Liite: Kehitysehdotukset .....	27
Liite: Luettelo muista AUTT-1:tä koskevista dokumenteista.....	29
Liite: Työssä viitattujen AUTT-1:lle kehitettyjen ohjelmien lähdekooditiedostot.....	29

## Johdanto

AUTT-1 on Automaation tietotekniikan harjoitustöissä käytettävä pienikokoinen robotti, jota hyödynnetään esimerkiksi kurssilla AS-116.2120 Automaation tietotekniset järjestelmät. Kyseisen kurssin harjoitustyössä mallinnetaan Rhapsody-työkalulla pienimuotoinen ohjelmisto, jota ajetaan robotin QNX-pohjaisessa PC/104-tietokoneessa.

Koska AUTT-1 on syntynyt useiden projektitöiden ja kesätyöntekijöiden työn tuloksena ja sen tekemiseen on käytetty paljon muusta käytöstä poistettuja laitteita, robotti ei ole kaikilta osa-alueiltaan yhtenäinen kokonaisuus. Lisäksi robotin voi ajatella olevan keskeneräinen, sillä se ei nykyisessä muodossaan kykene lainkaan autonomiseen toimintaan.

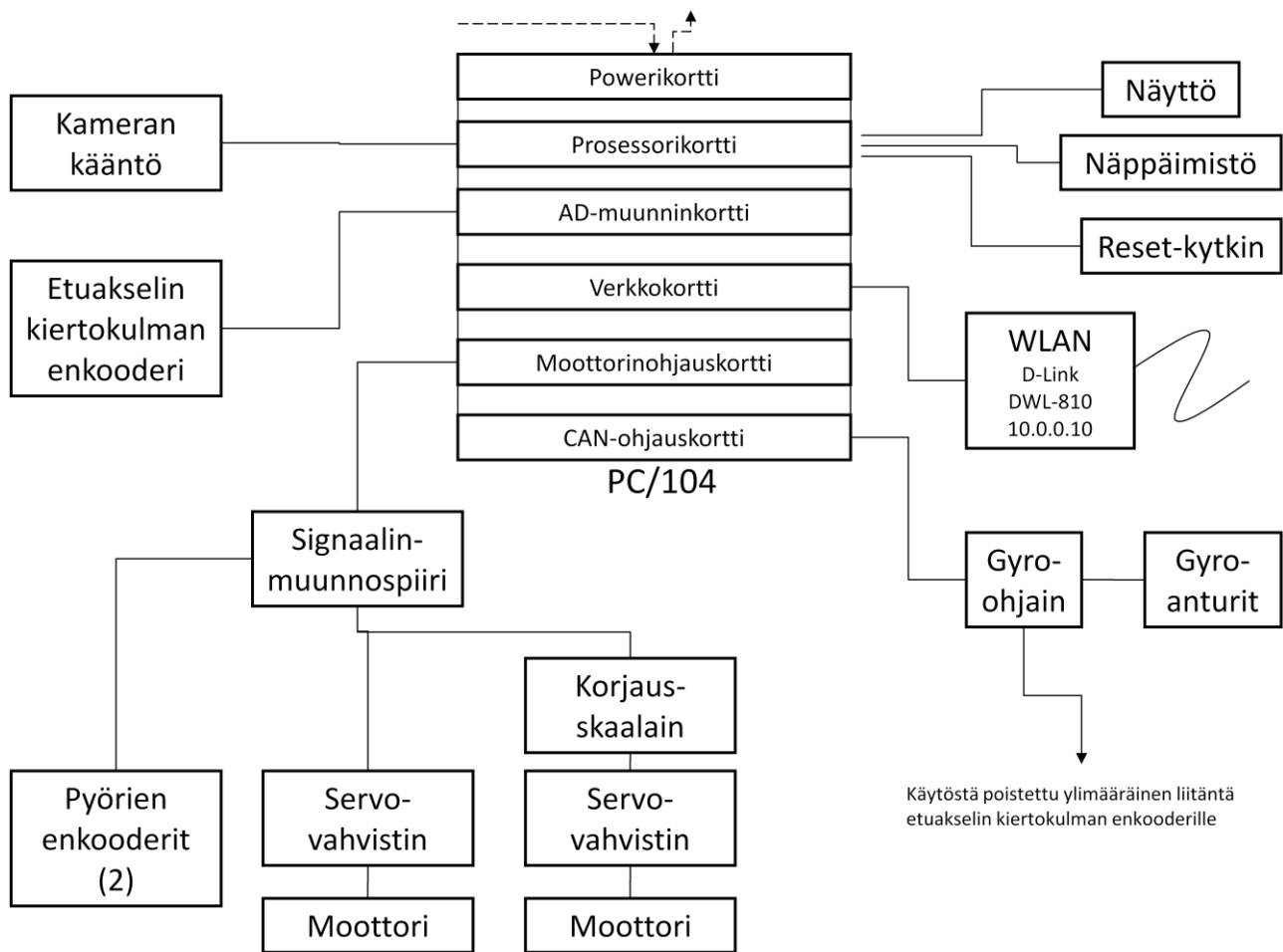
Tämän työn tarkoituksena on ollut kartoittaa robotin nykyinen tila ja suunnitella, millaisin parannuksin robotista voisi kehittää tulevaisuudessa toimivan, järkevän kokonaisuuden. Projektityössä punnittiin erilaisia vaihtoehtoja seuraavien osa-alueiden kehittämiseksi:

- Rauta ja sähköt
- PC/104:n laitteisto ja tiedonsiirto
- Navigointi: anturit, kamerakuva ja ohjelmistot
- PC/104:n käyttöjärjestelmä

Näistä osa-alueista on kuvattu robotin nykyinen tilanne, ongelmat ja kehitysideoita.



Kuva 1. AUTT-1 -robotti



Kuva 2. Kaavio robotin nykyisistä osajärjestelmistä ja niiden välisistä kytkennöistä

## Rauta ja sähköt

### *AUTT-1:n rauta*

Raudan käsittelyä vaikeuttaa suuresti sen sekavuus. Anturit ja toimilaitteet ovat irrallisia, merkkeamattomia johtoja kulkee paikasta toiseen ja osajärjestelmiä ei välttämättä ole suojattu kovinkaan hyvin. Robotti kuitenkin toimii nätisti, joten tämä on ongelmana vain laitteistoa tuntemattomissa käsissä ja ongelmatilanteissa.

Nykyisen raudan suurin ongelma on etupyörien jousitus. Sen rakenne tekee robotista kömpelön ja tarkasta navigoinnista mahdotonta vaihtuvan raidevälin takia. Koko jousitusrakenteen raskaus kuluttaa ajossa akkuja turhaan. Parannettavaa löytyy myös pyörien pidosta. Vaikka vääntöä riittäisi, on pientenkin kynnysten ylittäminen joissakin tilanteissa mahdotonta kitkan puutteen takia.

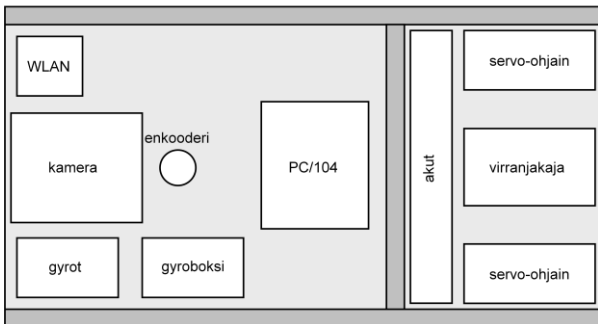
### *Raudan mahdolliset parannukset*

Raudan kokonaisvaltainen sekavuus selvenee huomattavasti hyvällä dokumentoinnilla. Siihen parannuksena toimii tämä kyseinen projekti sekä järjestelmällisyys itse rungossa. Koppaan olisikin hyvä

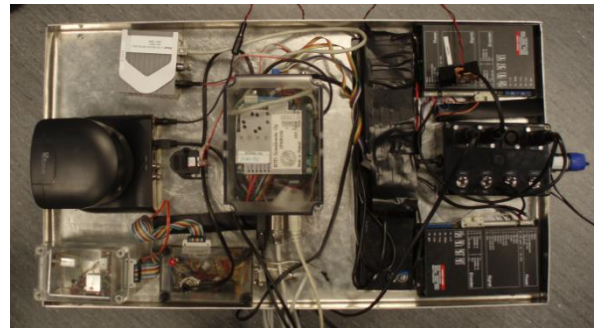
asentaa johtokourut ja johdotukset sekä liittimet tulisi merkata huolellisesti etiketein, jotka on helppo tulostaa vaikkapa dymolla. Koko robotin suojaaminen kuvulla olisi järkevää, jotta se kestäisi paremmin ympäröivän maailman olosuhteita.

Irtonaisista antureista ei saada oikeanlaista ja pätevää dataa, joten ne tulisi kiinnittää robotin runkoon. Antureiden kiinnittäminen kiinteästi ei kuitenkaan ole järkevintä ottaen huomioon robotin opetusikäytön ja laitteiston päivitystarpeet. Siispä ratkaisuksi voidaan yksinkertaisesti harkita tarranauhakiinnitystä, niin että kopan pohja peitettäisiin pehmeällä tarramatolla ja antureiden pohjiin liimattaisiin tarranauhaa. Lisäksi antureiden paikat olisi hyvä piirtää mattoon, jotta voidaan myöhemminkin muistaa minkä sijainnin mukaan anturit on kalibroitu. Insinöörin mieltä lämmittää myös ajatus lego-kiinnityksestä.

johtokouru  
pehmeä tarramatto

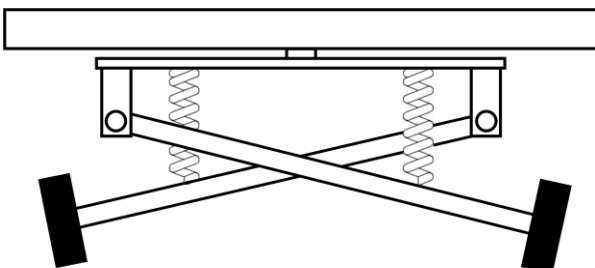


Kuva 3. Kaavio laitteiden asettelusta ja ehdotetuista johdokouruista

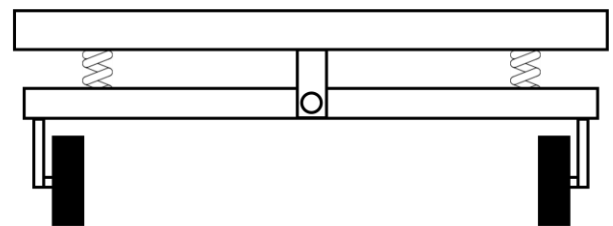


Kuva 4. Robotin nykyiset laitteet

Etuakselin jousitus kevenisi huomattavasti, jos se toteutettaisiin samalla tavalla kuin taka-akselin. Toki kääntyminen tulee ottaa uudellakin jousituksella huomioon ja sen toteuttaminen takaosan jousituksen periaatteeseen ei olekaan vaikeaa. Tällä jousitustavalla päästäisiin myös vaihtuvat raidevälin ongelmasta. Pyörien pitoa voidaan parantaa puhdistamalla vanhat renkaat ja pinnoittamalla ne uudestaan. Myös renkaiden vaihtaminen uusiin pintakuvioiduille parempiin ja pehmeämpiin, esimerkiksi ilmatäytteisiin, on vaihtoehtoja kitkan lisäämiseksi.



etujousitus

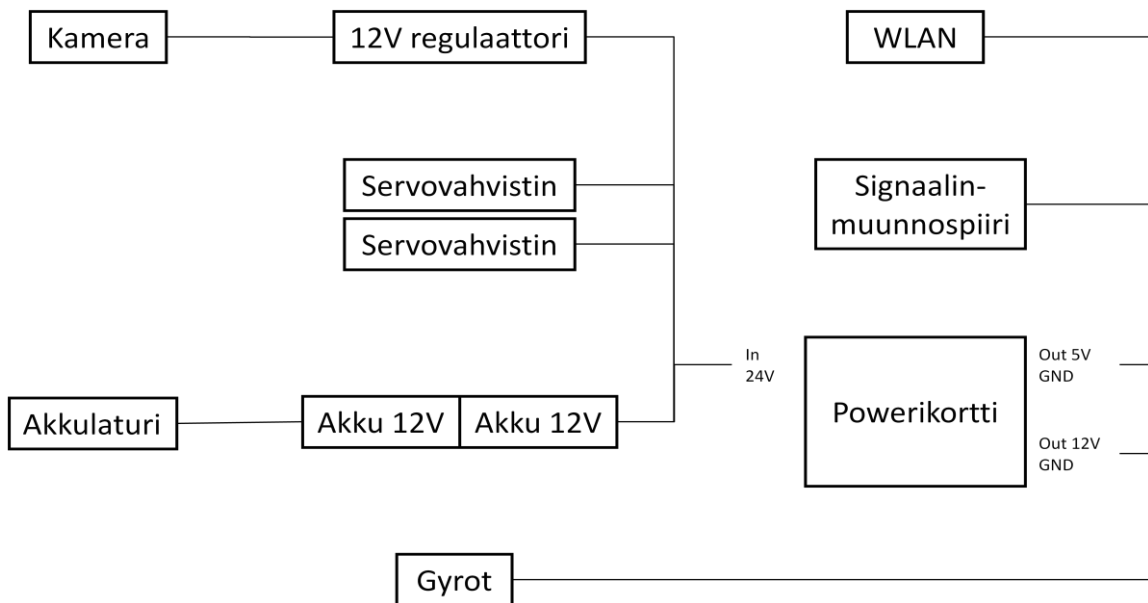


takajousitus

Kuva 5. Robotin etu- ja takapyörien nykyiset jousitusmekanismit

## Sähköjärjestelmän nykyinen rakenne ja virrankulutukset

Tällä hetkellä AUTT-1:n virransyöttö on oheisen kuvan kaltainen. Robotissa on sarjaan kytkettynä kaksi 12V lyijyakkua (Hitachi VRLA HV17-12W, 17Ah), joita lataa 24V 1A akkulaturi. Akuista syötetään 24V suoraan servovahvistimille ja PC/104:lle ja 12V regulaattorin kautta kameralle. Lisäksi gyro-anturiyksikkö on kytketty PC/104:n virtalähdekortin 12V lähtöön ja WLAN-yksikkö sekä enkooderien signaalinmuunnospiiri 5V lähtöön. Koska osa laitteista saa virtansa PC/104:n kautta, laitteen sähkönsyöttö ei ole yksinkertainen ja helposti hahmotettava.



Kuva 6. Kaavio robotin järjestelmien nykyisestä sähkönsyötöstä

Mittasimme robotin eri osajärjestelmien virrankulutukset, ja saimme seuraavat tulokset:

- |  |                                     |                       |
|--|-------------------------------------|-----------------------|
| • WLAN                                       | 0,15A – 0,35A @ 5V, ilmoitettu 2,5A | vastaa n. 0,5A @ 24V  |
| • Kamera                                     | 0,35A – 0,75A @ 12V, ilmoitettu 11W | vastaa n. 0,5A @ 24V  |
| • Gyro-anturi                                | 0,1A @ 12V                          | vastaa n. 0,05A @ 24V |
| • PC/104                                     |                                     | 0,7A @ 24V            |
| • Moottorit levossa                          |                                     | 0,7A @ 24V            |
| • Moottorit ilman massaa                     |                                     | 1,0A @ 24V            |
| • Moottorit massalla                         |                                     | 1,2A @ 24V            |
| • Kaikki osajärjestelmät yhteensä levossa    |                                     | 1,8A @ 24V            |
| • Kaikki osajärjestelmät ajossa ilman massaa |                                     | 2,0A @ 24V            |
| • Kaikki osajärjestelmät ajossa massalla     |                                     | 2,2A @ 24V            |

## Akkujen toimivuuden parannus

Sähköissä selkeästi tärkein parannuskohde ovat akut ja niiden laturi. Ajoimme akkuja tyhjäksi renkaat ilmassa ja totesimme niiden olevan vielä suhteellisen hyvässä kunnossa. Akkujen loppuminen on kuitenkin nykyisin suuri ongelma, koska robotin laitteet vaativat n. 2A virran ja akkulaturin teho on vain 1A. Tehoton

akkulaturi ei kykene samaan aikaan syöttämään riittävästi virtaa robotin laitteille ja lataamaan akkua, joten robottia voidaan siis käyttää ainoastaan akkujen ollessa täysiä. Akkujen tyhjennyttyä edes kehitystyö ei ole mahdollista, koska robotin tietokonetta ei voida käyttää.

Olisi siis erittäin tärkeää hankkia uusi laturi, jonka virransyöttö olisi riittävä sekä ajamaan robottia, että lataamaan akkuja samanaikaisesti. Akkulaturi voidaan hankkia esimerkiksi Partcolta:

24V 5A 3-STEP MANSON SBC-2205 (INSMAT 513-8045)  
Koodi: LATURI LY 2B (ei hyllyssä, vain tilauksesta)  
Hinta: 108,80e ALV0  
Url: <http://www.manson.com.hk/productdetail.php?ProductID=71>

Lisäksi voidaan hankkia vaihtopaketti akuille, mikäli robottia pitää ajaa ilman latausta pidempiä aikoja esimerkiksi useiden peräkkäisten opiskelijaryhmien demotilaisuuksissa. Uudet ja vanhat akut voitaisiin varustaa pikaliittimillä, jolloin akkujen vaihtaminen robottiin on nopeaa ja toisaalta varalla oleva akkupaketti voitaisiin kytkeä helposti laturiin sillä aikaa kun robottia käytetään toisilla akuilla. Akuiksi voidaan hankkia esimerkiksi Partcolta 2 kpl seuraavantyyppisiä:

12V lyijyhyytelöakku, valmistaja CT Leader (CT)  
Koodi: CT 17-12  
Koko: 17,0Ah  
Mitat: 167 x 181 x 77 mm  
Paino: 5,7 kg  
Hinta: 45,90e ALV0  
Url: [http://www.partco.fi/luettelot/osat/PARTCO2007\\_OSA5.PDF](http://www.partco.fi/luettelot/osat/PARTCO2007_OSA5.PDF) (luettelo)

## ***Uusi virranjakoyksikkö***

Sähköjä olisi myös hyvä järkeistää niin, että jako haarautuisi yhdestä pisteestä koko järjestelmään, eikä kulkisi osajärjestelmien kuten PC/104:n kautta toisille. Nykyään AUTT-1:ssä on virranjakorasias, jossa on neljä kappaletta 24 voltin lähtöjä audiokäytössä suosituilla XLR-liittimillä, muttei lähtöjä muille tarvittaville jännitteille. Tämän vuoksi olisi hyvä rakentaa uusi virranjakorasias, jossa olisi paremmat sähkönsyöttöön tarkoitetut liittimet ja mahdollisuus antaa ulos muitakin tarvittavia jännitteitä. Tätä tarkoitusta varten tulisi hankkia 5V ja 12V hakkurimuuntajat.



Kuva 7. Nykyinen 24 voltin virranjakoyksikkö neljällä kytkimellä ja XLR-liittimillä

### 12V muuntajaksi sopisi esimerkiksi:

Alfatronix PV6S 24/12VD 6A

Ei galvaanista erotinta

Sisäänmenojännite: 17-32 VDC

Ulostulojännite: 13,6 VDC, reguloitu

Liitännät: 6.3 mm lattaliitin, uros

Hinta: 40.54 e

Url: <http://www.yeint.fi/index.php?main=64&productCat=1429&productID=8604>

### 5V muuntajaksi sopisi esimerkiksi:

Emerson AEE03A18-L 9-36V/+5V 3A

Sisäänmenojännite: 9...36 VDC

Ulostulojännite: 5 VDC

Ulostulovirta: 3 A

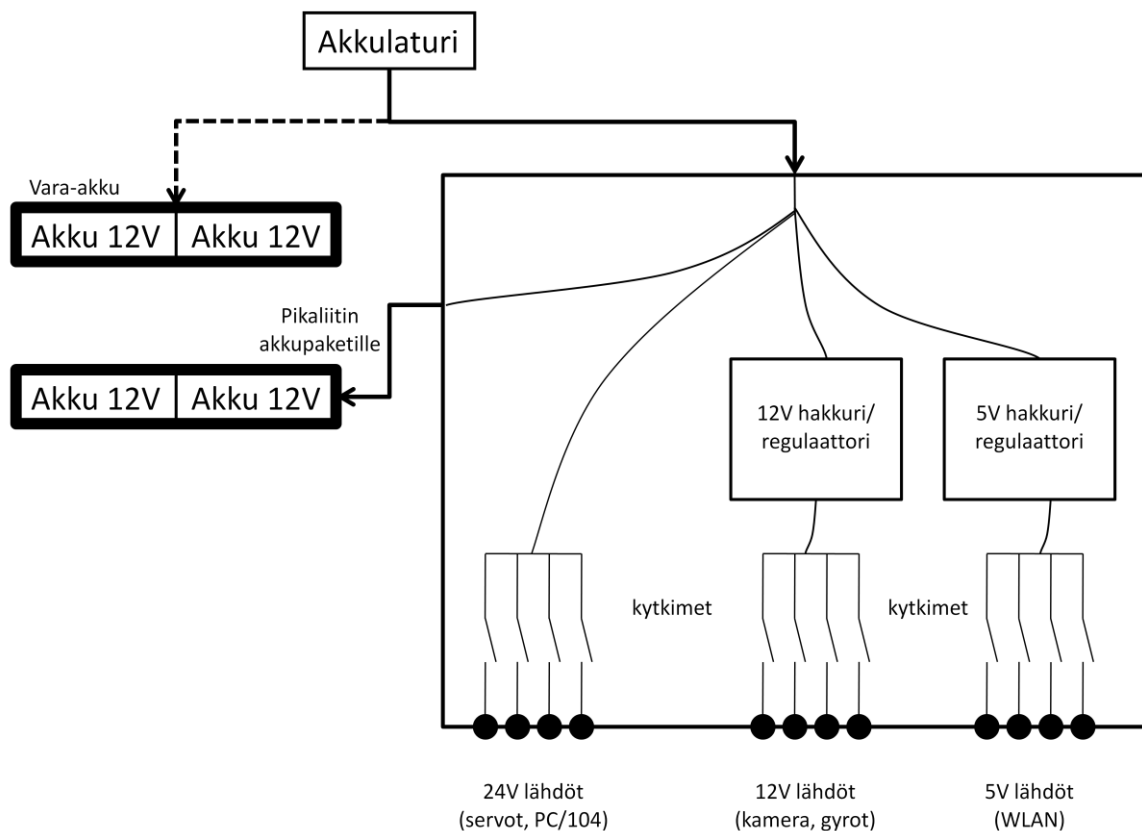
Mitat: 2 x 1 x 0.44 tuumaa

Liitynnät: Piirilevyasennettava

Hinta: vain 12 kpl erissä, 40.88 kpl

Url: <http://www.yeint.fi/index.php?main=64&productCat=1429&productID=16930>

Virranjakoyksikön muuntajista, kytkimistä ja liittimistä voisi rakentaa uuteen koteloon seuraavan kaavion mukaisesti.

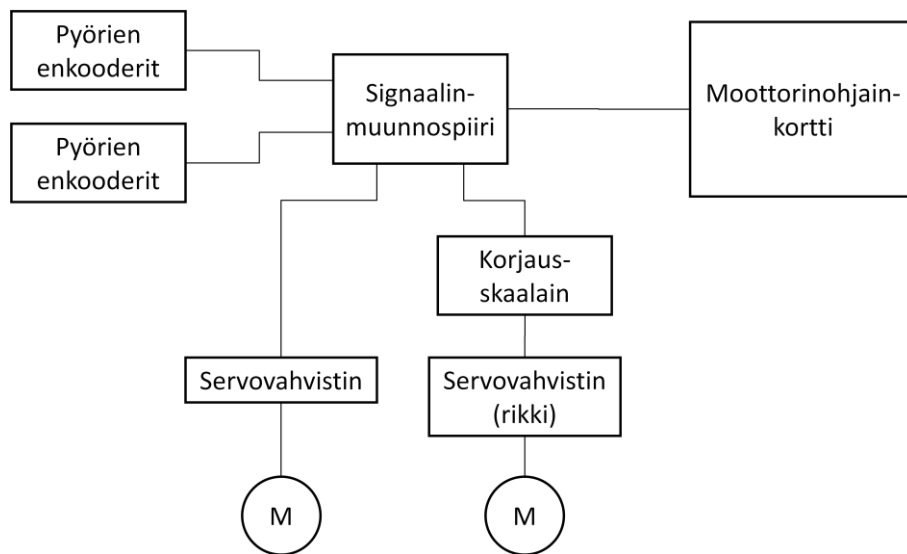


Kuva 8. Kaavio uudesta sähkönjakoyksiköstä

Virranjakoyksikköön voi lisätä myös muita toimintoja, kuten todellisista teollisuuslaitteista tutun hätä-seis-painikkeen, jolla myös robottia tuntematon henkilö osaa vakavassa vikatilanteessa katkaista sähköt liittimistä jotka syöttävät virtaa toimilaitteille, erityisesti moottoreille.

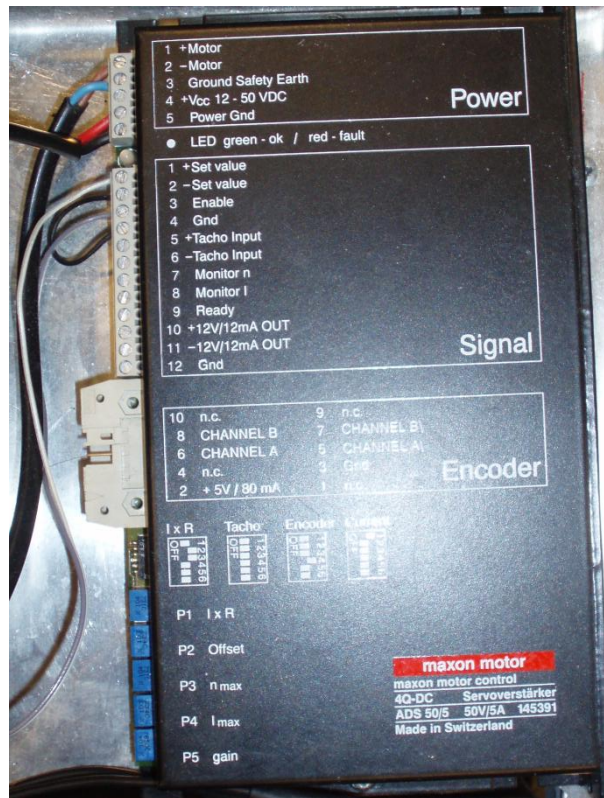
## ***Moottorit***

Moottoreita ohjaa PC/104:n moottorinohjauskortti pyörien optisten enkoodereiden ja servovahvistimien avulla. Robotti on etuvetoinen, joten moottorit ja enkooderit sijaitsevat etupyörissä. Moottorit itsessään toimivat oikein hyvin, tosin Jouko Virran ja Antti Jokelan vuonna 2005 robotin liikkumisen toteuttaneen projektin dokumentissa todetaan, että vaihteiston välityksen vaihtaminen pienempään parantaisi tarkkuutta ja auttaisi saavuttamaan suurempia nopeuksia.



Kuva 9. Moottoreiden nykyinen kytkentä

Moottoreiden ohjaus taas ei ole aivan ongelmaton. Ohjauksen äly on PC/104:n moottorinohjauskortilla (Mesa Electronics 4I27A, piirisarja LM628) ja näin ollen moottoreiden erilliset servo-ohjaimet (Maxon Motor ADS 50/5) toimivat vain tyhminä servovahvistimina, jolloin niiden älykkyys jätetään hyödyntämättä. Lisäksi toinen näistä servo-ohjaimista on viallinen. Viallisen ohjaimen ulostulo moottoreille on normaali, mutta ohjausjänniteskaalana toimii väli -3V - +3V, vaikka sen tulisi olla -10V - +10V. Tämä on korjattu Virran ja Jokelan projektityön osana potentiometrillä, joka skaalaa moottorinohjauskortilta tulevan ohjaussignaalin oikeanlaiseksi rikkinäiselle ohjaimelle tiputtamalla jännitehuiput kymmenestä kolmeen.



Kuva 10. Maxon Motor ADS 50/5 -servo-ohjain

Moottorinohjainkortti vaatii takaisinkytkentää varten pyörien enkoodereilta RS-422-differentiaalisignaalia, eikä niiden vakiona lähettämää TTL-signaalia. Tätä varten Virran ja Jokelan projektityön osana on myös toteutettu signaalinmuunnospiiri, joka on sijoitettu PC/104:n kotelon sisälle. Signaali muutetaan valmiilla muunnospiirillä (National Semiconductor DS 26LS31), joka pystyy samanaikaisesti muuntamaan neljä TTL-signaalia RS-422-signaaleiksi.

Moottorit ja moottorien ohjaus toimii kokonaisvaltaisesti oikein hyvin muutamista hieman arveluttavista virityksistä huolimatta. Siksi robotin tämän osajärjestelmän muutoksia ei kannata pitää kovin korkealla prioriteettilistassa. Paranneltavaa silti löytyy nimenomaan servo-ohjaimista. Niissä on turha pitää älykkyyttä, mikäli sitä ei hyödynnetä ja myöskään toisen ollessa viallinen ei tarkinta lopputulosta saada. Ne tulisi korvata ehjillä tyhmillä vahvistimilla. Vaihtoehtoja tutkittaessa todettiin kuitenkin, että servo-ohjaimia on hankala löytää ilman älyä, joten fiksuinta saattaisi olla jopa rakentaa servovahvistimet itse.

### ***Moottoreiden ja raudan tulevaisuudennäkymiä***

Mikäli sekä rautaan että moottoreihin halutaan alkaa tehdä suurempia parannuksia, ei ehkä ole järkevää kehittää nykyistä laitteistoa pidemmälle, vaan siirtyä kokonaan valmiina toimitettuun pakettiin. Samantyyppisissä sovelluksissa, esimerkiksi syksyn aikana näkemissämme Melbournen lähistöllä olevan Monash IRR:n roboteissa, on käytetty uudenaikaisten pyörätuolien laitteistoja. Tuoleista on melko helppoa riisua kaikki ihmisen istumakäyttöön tarkoitettu ja hyödyntää vain alustaa, jossa on valmiina toteutettu laadukkaasti runko ja moottorointi, ja ehkä lisäominaisuutena esimerkiksi kauko-ohjaus. Tällaisen päälle on mukava alkaa rakentaa muita harjoitustyöalustalle ominaisia laitteita.

Toki valmiin ja markkinoille tuotetun koneiston hankkiminen on budjetillisesti haasteellista, mutta toisaalta se voi olla perusteltua raudan laajennusten ja parannusten määrän räjähtäessä. Tällä hetkellä pyörätuolien hinnat tuntuvat pyörivän hieman yli tuhannessa dollarissa (esim. <http://www.drivemedicaldesign.com/index.htm>).



Kuva 11. Monash IRRC:ssä kehitetty robotti, joka käyttää alustanaan sähköpyörätuolia

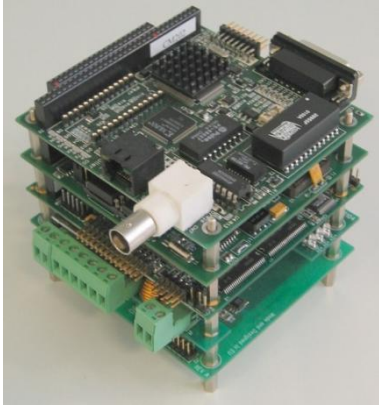
## PC/104 ja tiedonsiirto

### *PC/104:n nykyinen laitteisto*

Robotissa oleva PC/104 on luotettava, vaihtelevia ympäristöolosuhteita kestävä (jopa -40 °C), sulautetuissa järjestelmissä käytettävä PC/104-korttisarjan tietokone. Se koostuu nykyisellään kuudesta kortista, jotka kytkeytyvät keskenään väylään. Järjestyksessä ylhäältä päin lähtien kortit ovat:

1. Virtalähdekortti EPWR104. Saa akustolta 24V syöttöjännitteen ja muuntaa sen muille korteille sopivaksi. Lisäksi virtalähdekortti tarjoaa 12V ja 5V jännitelähdöt gyroyksikölle ja WLAN-moduulille.
2. Prosessorikortti CMM6686GX233. Sisältää 686-tasoisin 233 MHz prosessorin, 32 Mt RAM-muistia ja 32 Mt flash-massamuistia. Flash-muisti on toteutettu yhdellä DiskOnChip+ 2000 M-Systems MD2200-D32 –piirillä. Lisäksi prosessorikortilla on LSI L2A0788 Cyrix CX5520 –piirisarja, jolla on mm. näytönohjain.
3. AD-muunninkortti Diamond Systems DMM-16, jolla luetaan etuakselin kiertokulman analogista enkooderia.
4. Verkkokortti CM202 Ethernet –liitännällä.
5. Mesa Electronics 4127A -moottorinohjauskortti LM628-piirisarjalla.

6. CAN-väyläkortti ECAN1000 gyro-yksikön kanssa kommunikointia varten.



Kuva 12. PC/104 (Huom! Kortit eri järjestyksessä kuin nykyään)

Powerikortti
Prosesorikortti
AD-muunninkortti
Verkkokortti
Moottorinohjauk kortti
CAN-ohjauk kortti

Kuva 13. PC/104:n nykyiset kortit järjestyksessä

## ***PC/104:n mahdolliset parannukset***

Suorituskyvyltään robotin PC/104 on käyttötarkoitukseen riittävä, sillä tehovaatimukset eivät ole kovin suuret ja esimerkiksi 32 Mt flash-massamuistista on käytössä vain n. 2 Mt. Suurin PC/104:n laitteiston puute onkin käytön helppous. Nykyisellään robotin käyttämiseksi tarvitaan suurikokoinen ja hankalan lyhyellä johdolla varustettu monitori sekä näppäimistö. Robotin liikkuvuutta ja käytettävyyttä parantaisi huomattavasti, mikäli sen kyytiin hankittaisiin ja asennettaisiin pieni LCD-näyttö ja pienempi näppäimistö.

Näytöksi PC/104:ään voitaisiin asentaa esimerkiksi pienikokoinen 12-24V jännitteellä toimiva Niceview 7" TFT VGA, jota myydään n. 220 euron hintaan

([http://www.ipcmax.com/product\\_info.php?products\\_id=962](http://www.ipcmax.com/product_info.php?products_id=962)). Näppäimistöksi voitaisiin hankkia esimerkiksi n. 20 euron hintainen Deltan mininäppäimistö

(<http://www.verkkokauppa.com/popup/prodinfo.php?id=18461>). Näppäimistön liittämiseksi tarvittaisiin lisäksi PS/2-DIN-näppäimistösovitin, jolla pienellä liittimellä varustetun uuden näppäimistön saa kytkettyä PC/104:n vanhaan suurempaan liittimeen. Tällaisia adaptereita myy esimerkiksi Partco (AD PS2 N / DIN5 U J, 2 euroa, <http://www.partco.fi/luettelot/sivut/135.pdf>)

Näyttö ja näppäimistö voitaisiin asentaa robotin takaosaan esimerkiksi rakentamalla robottiin irrotettava näppäimistöaso, jonka alla nykyinen virranjakoyksikkö on.

Käytettävyyttä voidaan toisaalta parantaa myös asentamalla robottiin SSH-palvelinohjelmisto, jolloin robottia voidaan etäkäyttää toiselta tietokoneelta langattomasti ja paikallista näppäimistöä ja näyttöä tarvitaan harvemmin.

## ***AUTT-1:lle toteutetut sovellukset***

Robotille on kirjoitettu melko vähän ohjelmia. Tämä on rajoittanut laitteiston käyttöä, ja mikäli sitä halutaan hyödyntää laajemmin, olisi hyvä olla enemmän valmiiksi tuotettuja ohjelmia, jotka madaltaisivat kynnystä keksiä ja toteuttaa harjoitustyö- ja projektiaiheita.

Tällä hetkellä valmiina löytyvät ohjelmat manuaaliajoon robotin näppäimistöltä tai verkon yli. Lisäksi kameran kääntelyyn gyrotietojen mukaan on teetetty useita versioita opiskelijoilla ja kesätyönä on toteutettu ohjelma CAN-väylällä kulkevien viestien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Näiden tueksi on kirjoitettu useita rajapintoina toimivia C++-luokkia ja muutamia testausohjelmia.

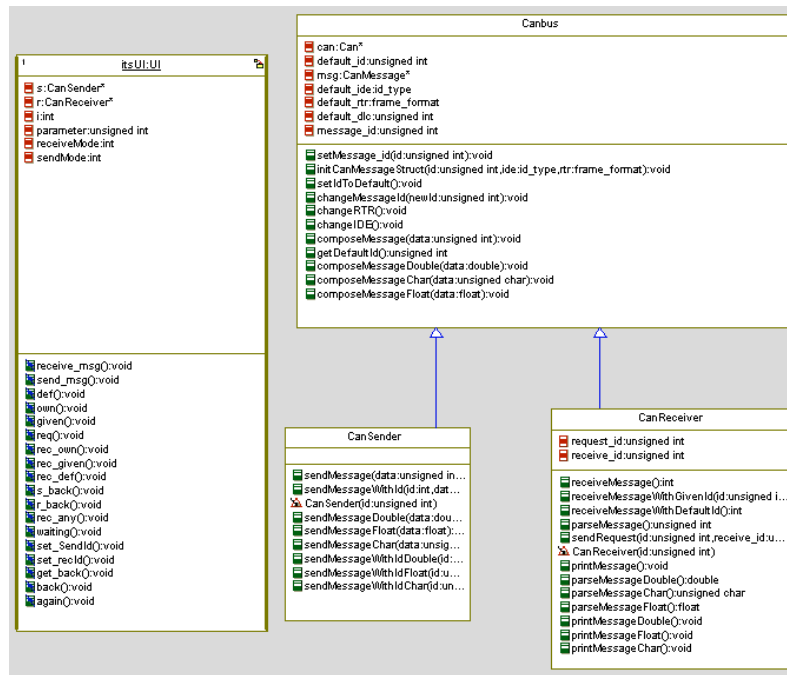
Robotin manuaaliseen ajoon on kirjoitettu yksinkertainen C++-ohjelma, jolla näppäimistön numeronäppäimillä voidaan kasvattaa ja vähentää robotin pyörien nopeuksia. Ohjelman nimi on ajo. Se hyödyntää C++-luokkaa Motor, jolla luodaan oliot molempia moottoreita varten. Motor-luokka toimii ohjelmointirajapintana C++-funktioiden ja matalamman tason moottorinohjauksikäskyjen välillä. Ajo-ohjelmalla annetaan olioille nopeudet enkooderiarvoina -14000:sta +14000:een, jotka vastaavat noin nopeuksia  $-0,23 \text{ m/s} - +0.23 \text{ m/s}$ . On empiirisesti tutkittu ohjauksen muuttuvan epäluotettavaksi suuremmilla nopeuksilla.

Manuaalista ajoa voidaan käyttää myös verkon yli netajo -nimisellä ohjelmalla, jonka toiminnallisuus on sama kuin suoraan robotin näppäimistöllä käytetyllä ajo-ohjelmalla. Netajo on toteutettu socketien avulla ja myös se hyödyntää Motor-luokkaa rajapintana moottorinohjaukselle. Netajoon on myös lisätty ylimääräisenä ominaisuutena etuakselin kulman suuruuden tulostus näytölle pyörien nopeuksien lisäksi. Kulma saadaan enkooderilta, jonka kanssa kommunikointiin on kirjoitettu rajapintaluokka Angle.

AUTT-1 on toiminut harjoitustyöalustana kurssille Automaation tietotekniset järjestelmät ja kurssin puitteissa on opiskelijoilla teetetty paritöinä UML-malli kameran kääntöpään liikuttamiseen. UML-malleista on Rhapsody-ohjelmiston avulla generoitu C++-koodia, josta käännettynä on saatu toimivia ohjelmia kameran kääntymisen käsittelyyn.

Ohjelmassa on toteutettu kameran kääntöpään ohjaus joko suoraan CAN-väylältä luettujen gyron antamien suuntakulmien tai tiedostosta luettujen koordinaattien mukaan. Apuna mallille toimivat luokat Camera ja Can, jotka tarjoavat C++-rajapinnat kommunikointiin kameran ja CAN-väylällä sijaitsevan gyroboxin kanssa. Tällä hetkellä EMU:lta löytyvä ohjelma on nimeltään Robotti. CAN-väylän ja gyrojen testaukseen on kirjoitettu ohjelma canreader, jolla voidaan tehdä alustus ja väylältä koordinaattien luku suoraan näytölle.

Matti Antila teki kesätyöprojektissään yleiskäyttöiseen CAN-väylän yli käytävään kommunikointiin UML:lla mallin, josta on generoitu Rhapsodylla C++-koodia. Ohjelma mahdollistaa CAN-väylän näkymättömyyden käyttäjälle ja helpottaa viestien lähettämistä ja vastaanottamista väylältä. Malliin on toteutettu myös käyttöliittymä, jotta ohjelmaa ja väylää voitaisiin testata. Kommunikaatio-ohjelman tarkoituksena on piilottaa spesifit väyläkomennot ja toimia rajapintana. Toteutuksessa on hyödynnetty Can-luokkaa ja sen funktioita.



Kuva 14. CAN-kommunikaatio-ohjelman luokat

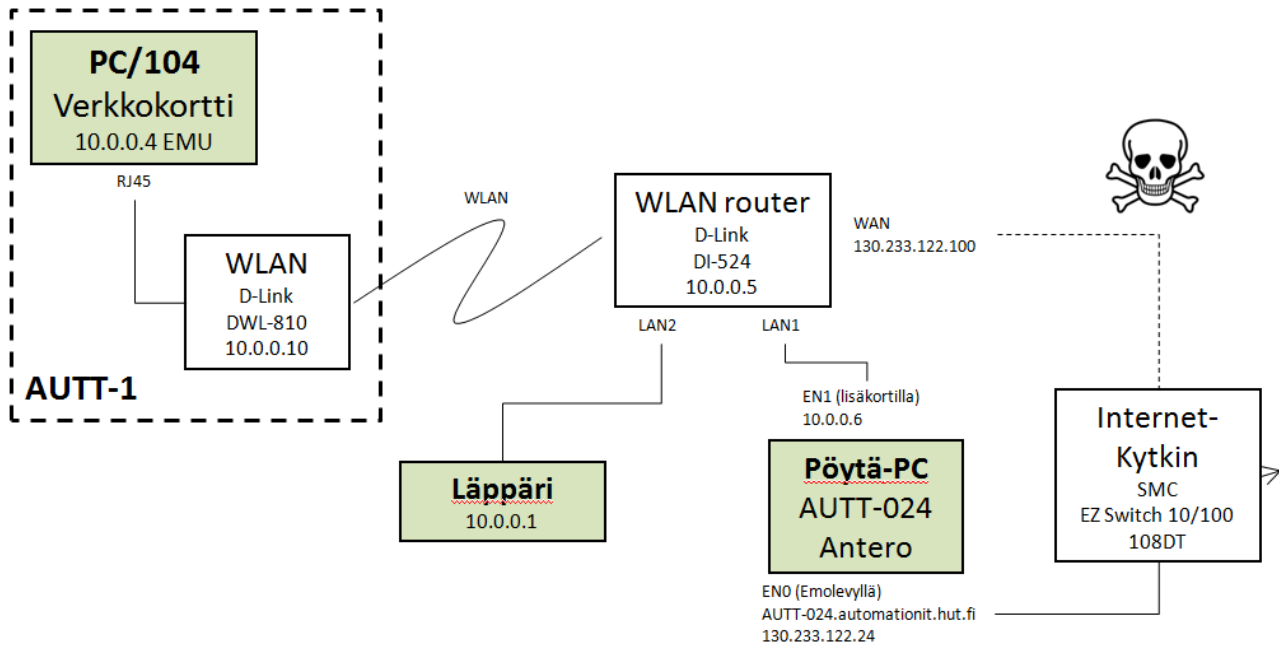
## Yleisdiagnostiikkaohjelmisto

Olemassa olevien ohjelmien lisäksi olisi hyödyllistä tulevaisuuden projekteja silmällä pitäen kirjoittaa robotille diagnostiikkaohjelma, jonka avulla olisi helppo arvioida laitteiston kunto. Ohjelma kävisi järjestelmällisesti läpi laitteiston eri osa-alueet ja mahdollisuuksien mukaan joko kokeilisi niiden saavutettavuutta tai tutkisi kaikkien anturitietojensa puitteissa yksittäisen anturin tai toimilaitteen tilan oikeellisuutta. Suoritus olisi hyvä aloittaa kaikilla mahdollisilla request-reply -viesteillä eri osa-alueisiin. Näiden toimittua ohjelma voisi käskä laitteistoa suorittamaan jonkin toiminnon, kuten lyhyen matkan ajon. Tiedossa tulisi olla, kuinka paljon tiettyjen antureiden arvojen tulisi muuttua tämän toiminnon aikana ja näin ollen mittauksia ja tiedettyjä arvoja vertailemalla voitaisiin päätellä eri osa-alueiden kunto. Ohjelman toteutusta helpottaa suuresti se, että kaikille nykyisille antureille on toteutettu jo ohjelmistorajapinnat C++:lla.

## AUTT-1:n verkko

AUTT-1:n käyttämistä varten on varattu kolme PC-tietokonetta. Näistä ensimmäinen (EMU) on robotin oma PC/104-tietokone. Koska kyseiseen tietokoneeseen ei ole nykyisellään asennettu QNX-kääntäjää, harjoitustyöohjelmat käännetään erillisellä pöytämallisella PC:llä (Antero). Lisäksi robottiin on toteutettu verkon kautta toimiva kauko-ohjaus, jonka käyttämistä varten verkkoon on kytketty Linux-käyttöjärjestelmällä varustettu kannettava tietokone.

Harjoitustyön aloitusvaiheessa koneet oli verkotettu epäselvästi ja vaikeasti ymmärrettävästi, joten suunnittelimme verkolle uuden, loogisen rakenteen, kytkimme verkon uudelleen oheisen kuvan mukaiseksi ja tulostimme kuvan verkon kytkinten viereen, jotta kokoonpanoa on helpompi ylläpitää tulevaisuudessa ilman että sen rakenne muuttuu.



Kuva 15. AUTT-1:n verkkoympäristö

Kolmen tietokoneen lisäksi AUTT-1:n ympäristössä on kaksi erillistä verkkoa. Ensinnäkin kaikki tietokoneet on kytketty vain AUTT-1:n harjoitusympäristön käyttöön tarkoitettuun privaattiin IP-verkkoon, jonka osoitteet ovat muodoltaan 10.0.0.\*. Fyysisesti tämän verkon ydin on D-Link DI-524 WLAN Router, joka tarjoaa verkon sekä langallisena että langattomana Ethernetinä. Langallisesti WLAN Routeriin on kytketty Antero ja kannettava tietokone, kun taas EMU on kytketty WLAN Routeriin langattomasti oman D-Link DWL-810 –WLAN-laitteensa avulla. Langaton verkko on salattu, ja siinä käytetään 128-bittistä WEP-salausta.

Taulukko 1: Privaattiverkon asetukset

IP-osoitteet:	10.0.0.*
Aliverkon peite:	255.255.255.0
Oletusreititin (default gw):	10.0.0.5 (WLAN Router)
Nimipalvelin (DNS):	10.0.0.5 (WLAN Router)

Taulukko 2: Privaattiverkon IP-osoitteet

10.0.0.1	Linux-pohjainen kannettava tietokone
10.0.0.4	EMU:n verkkokortin osoite
10.0.0.5	WLAN Router (D-Link DI-524)
10.0.0.6	Antero (Ethernet-lisäkortti, EN1)
10.0.0.10	Robotin WLAN-siltalaite (D-Link DWL-810)

Privaatin harjoitustyöympäristön verkon lisäksi Antero on kytketty harjoitustyöohjelmien siirtämisen helpottamiseksi myös TUAS-talon julkiseen verkkoon ja sen kautta Internetiin. Harjoitustyötilaan tuleva verkkoyhteys on kytketty SMC EZ Switch 10/100 108DT –kytkimeen, johon Antero on liitetty käyttäen sen emolevylle integroitua verkkokorttia, EN0:aa.

Mikäli robotin PC/104-tietokoneeseen tai kannettavaan tietokoneeseen halutaan kytkeä Internet-yhteys, voidaan TUAS-talon yleinen verkko kytkeä myös WLAN Routerin WAN-porttiin. Tällöin PC/104:llä ja kannettavalla tietokoneella on käytössään yhteys Internetiin WLAN Routerin läpi. WLAN Routerin WAN-portissa on palomuurisuojaus, joka estää pääsyn TUAS-talon verkosta PC/104:ään ja kannettavaan tietokoneeseen, mutta sallii liikenteen näistä Internetiin.

Koska TKK:n ATK-keskus ei välttämättä hyväksy laitosten ja laboratorioden omien WLAN-tukiasemien liittämistä TKK:n yleiseen verkkoon tietoturvasyistä, jätimme kuvassa 15 pääkallosymbolilla merkityn reitittimen WAN-portin ja yleisen verkon välisen kaapelin kytkemättä. Suosittelemme, että sitä käytetään vain silloin kun sen kytkeminen on täysin välttämätöntä.

**Taulukko 3: TUAS-talon yleisen verkon asetukset**

IP-osoitteet:	130.233.122.*
Aliverkon peite:	255.255.255.0
Oletusreititin (default gw):	130.233.122.254
Nimipalvelimet (DNS):	130.233.224.1 ja 130.233.224.13

**Taulukko 4: TUAS-talon yleisen verkon osoitteet**

130.233.122.24	Antero (Emolevyn verkkokortti, EN0)
130.233.122.100	WLAN Router (WAN-portti), mikäli kytketty

## ***QNXmaken asentaminen PC/104:ään***

Kokonaan erillisen, QNX-käyttöjärjestelmällä varustetun pöytätietokoneen tarve robotissa suoritettavien ohjelmistojen kääntämiseen on kahdella tavalla ongelmallista. Ensinnäkin ohjelmistojen kääntäminen erillisessä tietokoneessa ja siirtäminen AUTT-1:een suoritettavaksi on harjoitustöissä sekavaa. Toiseksi ylimääräinen QNX-tietokone vaatii ylläpitoa ja sen rikkoutuminen voi aiheuttaa tarpeettomia ongelmia. Nämä ongelmat voitaisiin ratkaista asentamalla kääntämisessä tarvittava ohjelmisto, eli QNXmake ja C/C++-kääntäjä suoraan robotin PC/104-tietokoneeseen, mikäli näiden tarvitsema levytila ei ole liian suuri.

## ***Verkon kehittäminen tulevaisuudessa***

Suoran Internet-yhteyden puute robotissa on toisaalta hyvä asia, sillä se pienentää tarvittua tietoturvan määrää, mutta toisaalta se aiheuttaa ylimääräistä vaivaa joissakin tilanteissa. Mikäli PC/104:ään tai privaattiverkon kannettavaan tietokoneeseen halutaan asentaa päivityksiä, ne joudutaan noutamaan joko tietoturvan kannalta kyseenalaisen kytkennän avulla tai hankalasti lataamalla tiedostot ensin Anteroon ja

sieltä perille. Lisäksi robotin PC/104-tietokoneessa voi olla tulevaisuudessa mahdollisuus kääntää harjoitustyöohjelmia ilman erillisen pöytätietokoneen apua, tai mikäli PC/104:ään asennetaan Linux, harjoitustyöohjelmat voidaan kääntää myös ATK-keskuksen vakiotietokoneilla. Näissä tilanteissa harjoitustyöohjelmat olisi hyödyllistä pystyä noutamaan suoraan opiskelijan Unix-kotihakemistosta PC/104:ään, jolloin PC/104:llä tulisi olla jopa jatkuva yhteys yleiseen verkkoon. Tämän toteuttaminen saattaa vaatia ATK-keskukselta luvan oman WLAN-tuella varustetun verkon liittämiseksi TUAS-talon yleiseen verkkoon.

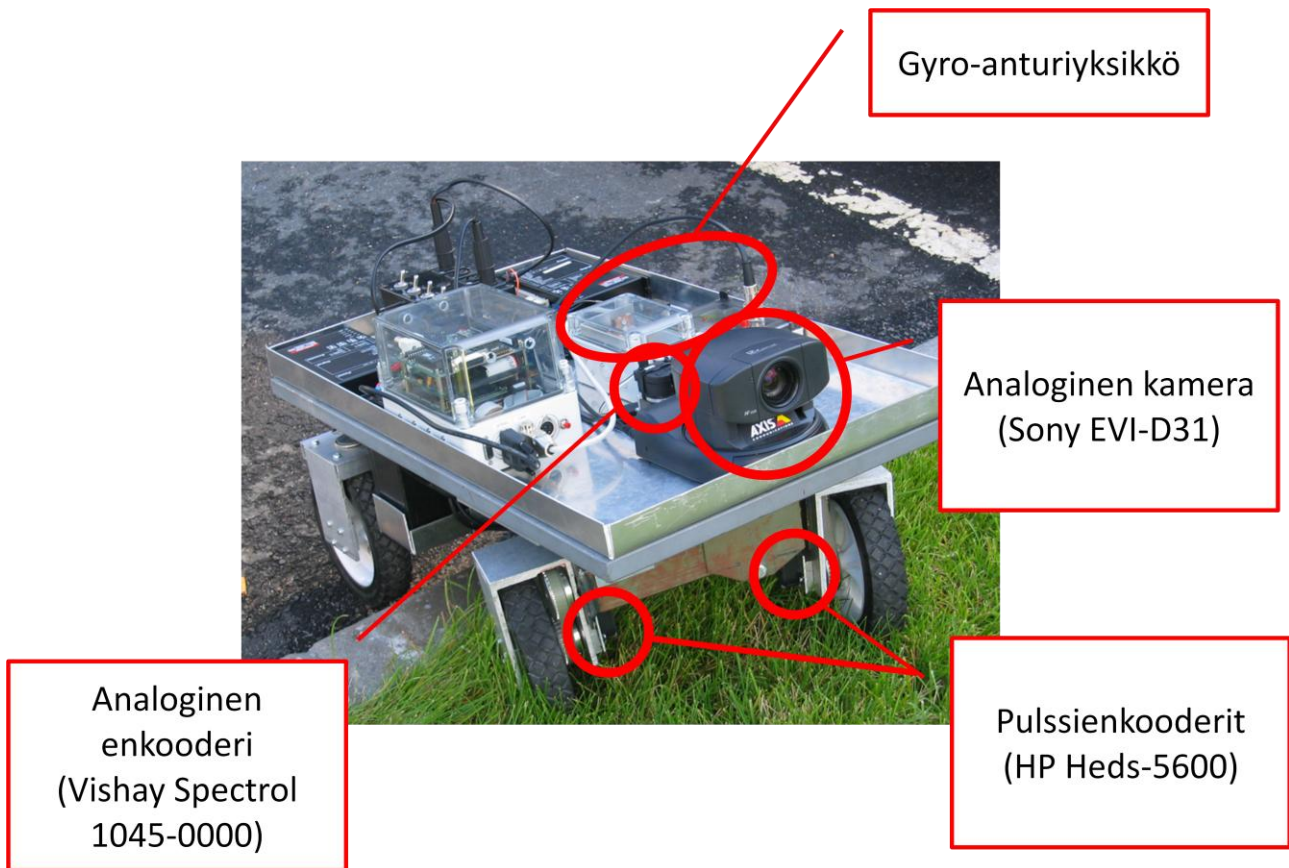
Toinen mahdollinen tulevaisuuden ongelma on se, että jokin tulevaisuudessa kehitettävä erillisessä tietokoneessa toimiva ohjelma saattaa vaatia yhteyden TUAS-talon yleisestä verkosta PC/104:ään. Tämä voi tulla kysymykseen esimerkiksi silloin, kun mahdollisesti AUTT-1:een integroitava korkeamman tason järjestelmä yrittää noutaa robotista informaatiota visualisointia, tiedonkeruuta tai päätöksentekoa varten. Vaihtoehtoisia ratkaisuita on kolme. Ensinnäkin kyseisen järjestelmän tietokone voidaan liittää AUTT-1:n privaattiverkkoon, mikäli tietokone voidaan fyysisesti siirtää harjoitustyöhuoneeseen. Toiseksi WLAN Router voidaan liittää TUAS-talon yleiseen verkkoon ja siihen voidaan konfiguroida jonkin portin uudelleenohjaus WAN-portista AUTT-1:n PC/104:ään. Tällöin yleisessä verkossa oleva tietokone ottaa yhteyttä WLAN Routerin yleisen verkon osoitteeseen ja WLAN Router ohjaa yhteyden privaattisessa verkossa AUTT-1:n PC/104:än osoitteeseen. Kolmas vaihtoehto on toteuttaa liikenteen uudelleenohjaus Anterossa joko käyttöjärjestelmätasolla tai toteuttamalla Anteroon eräänlainen välityspalvelinohjelmisto, joka vastaanottaa viestejä, kommunikoi itse PC/104:n kanssa ja vastaa alkuperäiseen kysymykseen tämän pohjalta.

## Navigointi

### *AUTT-1:n nykyinen anturointi*

Nykyisellään robotissa on kolmenlaisia antureita: enkoodereita, gyroja ja kamera. Robotin etupyörissä on pulssienkooderit, joita luetaan suoraan PC/104:n moottorinohjauskortilla. Kyseisiä enkoodereita käytetään moottorisäätöön ja kuljetun matkan mittaamiseen. Lisäksi etupyörien akselissa on pyörien kääntökulmaa mittaava analoginen kääntymisenkooderi, jota luetaan PC/104:n AD-muunninkortilla. Gyro-antureina on harjoitustyönä tehty erillinen yksikkö, jonka kolmen anturin tiedot välitetään PC/104:ään CAN-väylää pitkin.

Alun perin myös kääntökulman analoginen enkooderi oli kytketty gyro-anturiyksikköön, koska PC/104:ssä ei vielä tällöin ollut erillistä AD-muunninkorttia. Gyro-anturiyksikön AD-tulokanavan rajoitetun tarkkuuden vuoksi järjestely kuitenkin muutettiin nykyiseksi, minkä seurauksena gyro-anturiyksikön yhteyteen on jäänyt ylimääräinen, merkitsemätön johdonpää kääntökulman anturia varten.



Kuva 16. Robotin anturit

Antureista tämän projektityön kannalta kiinnostavin oli kamera, koska muiden totesimme soveltuvan sellaisenaan oikein hyvin alustaan. Nykyisen kameran, Sony EVI-D31:n dataa ei hyödynnetä mihinkään, koska sen analogista signaalia ei laitteistossa voida käsitellä. Kamerassa on itsessään auto tracking -toiminto, mikä mahdollistaisi valitun kohteen seuraamisen, mutta toiminnon toimintavarmuus osoittautui niin heikoksi, ettei sitä voida käytännössä hyödyntää. Kamera soveltuikin lähinnä kasvojen seuraamiseen yksiväristä taustaa vasten esimerkiksi videoneuvottelutilanteessa, mutta jo kahvihuoneessa se sekoitti kasvot lehtihyllyyn tai katon putkistoihin.

### ***Kamerakuvan kaappaaminen ja hyödyntäminen***

Mikäli nykyisen kameran kuvaa haluttaisiin käsitellä ohjelmallisesti itse tai siirtää etätietokoneelle, tulisi PC/104:ään hankkia videokaappauskortti sitä varten. Videokaappauskortiksi voitaisiin ostaa esimerkiksi Sensoray Model 516 (MPEG-2 video encoder, PAL, S-video/komposiitti, QNX-ajurit, <http://www.sensoray.com/products/516data.htm>) hintaan \$450. Kuvan kaappaaminen PC/104:lle suoraan herättää kuitenkin kysymyksen PC/104:n suorituskyvystä, joka ei välttämättä ole muun toiminnan ohessa riittävä reaaliaikaiseen kuvankäsittelyyn.

Kamerakuvan käyttötarkoitus määrää kameralle asetetut vaatimukset. Konenäön käyttö pääasiallisena navigointikeinona on erittäin vaativaa ja epävarmaa, joten AUTT-1:n kamerakuvalla mielekkäämpi käyttötarkoitus on sen välittäminen robotin ihmisoperaattorin etä-PC:lle valvontakamerakuvaksi. Tällaista käyttöä varten on rahallisesti ja laadullisesti järkevämpää hankkia kokonaan uusi verkkoliitännäinen kamera,

jonka data tuotaisiin digitaalisena etätietokoneelle WLAN:n kautta tai hyödynnettäisiin PC/104:ssä Ethernetin kautta.

Esimerkiksi n. 800 euron hintainen Panasonic BB-HCM580 –web-kamera tarjoaa erittäin hyvän kuvanlaadun ja liikuteltavan kääntöpään. ([http://www.jt-net.fi/product\\_details.php?p=999](http://www.jt-net.fi/product_details.php?p=999) ja <http://panasonic.co.jp/pcc/products/en/netwcam/lineup/bb-hcm581-580/index.html>). Halvempana vaihtoehtona Panasonicilla on mm. BL-C111 –web-kamera n. 210 euron hintaan. Tämän kuvanlaatu on vaatimattomampi, mutta riittää ainakin ihmisoperaattorille näytettäväksi valvontakamerakuvaksi mainiosti.

Mikäli kameran kuvaa kuitenkin halutaan käyttää etävalvontakuvan lisäksi myös nopealla syklillä toimivaan konenäkönavigointiin, joudutaan todennäköisesti ostamaan kokonaan uusi, nopeampi PC/104-laitteisto jossa on nopea FireWire-liitäntä digitaaliselle videokameralle. Tällaista järjestelmää näimme käytettävän käydessämme vierailulla Sydneyn yliopistolla ja tutustuessamme siellä kehitettyihin autonomisiin pienoislentokoneisiin, jotka kuvaavat maanpintaa ja etsivät maamerkkejä kuvasta. Tällainen laitteisto on kuitenkin AUTT-1:n tapauksessa liian kallis saavutettaviin hyötyihin nähden.

### ***Nykyinen navigointi ja autonomisuus***

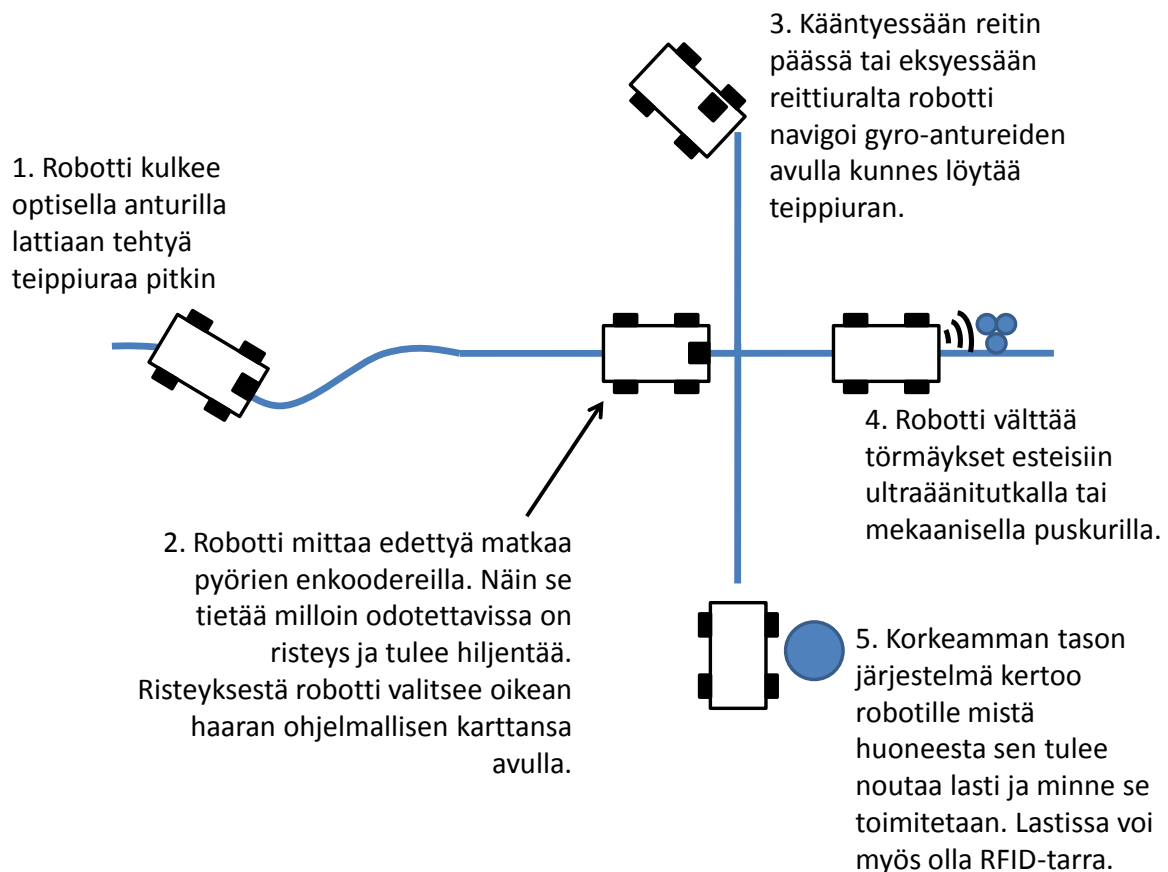
Nykyisessä muodossaan AUTT-1 ei sisällä lainkaan autonomista navigointitoiminnallisuutta, vaan robottia liikutetaan aina manuaalisesti. Mahdollisuus navigoida autonomisesti on kuitenkin merkittävä kyky, joka erottaa robotin kauko-ohjattavasta ajoneuvosta. Tämän vuoksi AUTT-1 olisi harjoitustyöalustana mielenkiintoisempi, mikäli se kykenisi liikkumaan ilman ihmisen välitöntä vuorovaikutusta.

Monet AS-laitoksen autonomisesti liikkuvat robotit käyttävät navigointiin esimerkiksi SICK-merkkistä laserskanneria, jonka mittausten perusteella ympäristöstä tehdään kartta. Laserskannerit maksavat kuitenkin verrattain paljon, jopa noin 3000 euroa, ja kartan laatiminen niiden avulla monimutkaista. Lisäksi tällainen kartoitus ei ole välttämättä kaikkein eniten nimenomaan automaation tietotekniikan alaan liittyvä toimenpide.

Monet oikean maailman autonomisesti ohjatut ajoneuvot (automated guided vehicle, AGV), esimerkiksi Roclan automaattitrukit, navigoivat seuraamalla lattiaan upotettua johtoa tai värillistä teippiuraa. Näistä värillinen teipillä tehty rata on myös pienessä mittakaavassa yksinkertainen toteuttaa, ja sitä käytetäänkin monissa harrastelija- ja oppilastyöprojekteissa. (Esimerkkejä: <http://www.youtube.com/watch?v=V9CFqYi6nw> ja <http://www.youtube.com/watch?v=dcWNKLBBdrU>)

Yksinkertaisuudestaan huolimatta tällainen kulkutapa voitaisiin yhdistää haarautuvaa reittiverkkoa kuvaavaan karttaan, jolloin AUTT-1 kykenisi navigoimaan esimerkiksi usean eri huoneen välillä käyttäen tällaista kustannustehokasta laitteistoa. Harjoitustyöalustana laitteisto olisi mielekäs, koska se vastaa esimerkiksi todellisen maailman autonomisesti liikkuvia ja tehtäviä suorittavia robottitrukkeja.

Laajimmillaan teippiuran seuraamisen ympärille voitaisiin yhdistää kaikki seuraavassa kuvassa 17 esitetyt navigointitoiminnot, jotka esitellään seuraavissa luvuissa.



Kuva 17. Ehdotus robotin navigoinnin toiminnoiksi

## ***Kehitysprojekti: Laitteisto merkityn kulkureitin seuraamiseen***

Lattiaan tehty teippiura voidaan tunnistaa esimerkiksi valaisemalla lattiaa ja mittaamalla kolmella LDR-valovastuksella anturin keskikohtaa sekä vasenta ja oikeaa reunaa. Mikäli viiva on jommassakummassa laidassa, suoritetaan ohjaustoimenpide tähän suuntaan.

Yksinkertaisimmillaan anturi voitaisiin toteuttaa kytkemällä valovastukset suoraan esimerkiksi gyro-antureiden ohjausyksikön tai PC/104:n AD-muunninkortin analogiatuloon ja lukemalla niiden arvoja. Toinen vaihtoehto on rakentaa anturia varten oma mikrokontrolleriohjain, joka tulee gyroanturin rinnalle CAN-väylään. Vaikka tämä lähestymistapa vaatii monimutkaisempaa elektroniikkasuunnittelua ja ohjelmointityötä, lopputuloksena saadaan AUTT-1:n CAN-väylään liitettyä useampi kuin yksi anturi, jolloin väylän merkitys automaatiolaitteissa tulee paremmin ilmi.

Yksinkertaisimmillaan kulkureittiä seuraava ohjelma vain lukee antureita ja tekee korjaavia ohjaustoimenpiteitä niin että robotti ei poistu radalta. Mikäli navigointia tahdotaan kuitenkin kehittää käyttökelpoisemmaksi, siihen voidaan lisätä useita toimintoja. Rata-anturin lisäksi voidaan käyttää gyro-anturia siten, että radan kadotessa anturin alta tiedetään, mihin suuntaan edellisestä havaitsemiskerrasta on liikuttu, jotta rata voidaan etsiä uudelleen. Lisäksi voidaan toteuttaa palaamistoiminto, joka kääntää radan loppuessa robotin 180 astetta ympäri gyroja käyttäen ja etsii radan uudelleen takaisinpäin lähtemistä varten.

Gyrojen lisäksi navigointi voi hyödyntää myös erillistä ohjelmallista karttaa ja renkaiden pyörimää matkaa mittaavia enkoodereita. Näin robotti voi tietää, että kuljettuaan esimerkiksi n. 5 metriä sen täytyy hiljentää vauhtia koska edessä on risteys, josta täytyy kääntyä oikeanpuoleiseen haaraan, jotta päästään haluttuun kohteeseen.

### ***Kehitysprojekti: Ohjelmisto itsenäiseen tehtävien suorittamiseen***

Useat reaali maailman robotit, kuten autonomiset trukit, kommunikoivat jonkin ylemmän tason järjestelmän kanssa. Tämä järjestelmä voi olla esimerkiksi tuotannon ohjaus- tai suunnittelujärjestelmä, joka jakaa alemman tason toimeenpanevälle järjestelmälle yksittäisiä tehtäviä siinä järjestyksessä kuin ne tulee suorittaa.

Koska AUTT-1 on automaation tietotekniikan harjoitustyörobotti ja tällaisten monitasoisten IT-järjestelmien tutkiminen kuuluu automaation tietotekniikan aihealueeseen, olisi mielekästä kehittää AUTT-1:lle jokin reaali maailman sovellusten toimintaa jäljittelevä korkeamman tason tehtävähallinta- ja ohjausjärjestelmä tai integroida AUTT-1 esimerkiksi jollakin kurssilla käytettävään teollisuusprosesseja hallitsevaan ohjelmistoon.

Käytännössä ylemmän tason järjestelmän voi integroida robottiin vasta, kun autonominen navigointi merkittävä kulkureittiä pitkin on toteutettu. Kehitysprojektin voisi toteuttaa laatimalla edellisessä projektissa toteutetun reittinavigointiohjelmiston päälle esimerkiksi Web services –tekniikkaa hyödyntävän kerroksen, joka osaa kommunikoida etätietokoneessa olevan järjestelmän kanssa, saada siltä tehtävänantoja, välittää tehtävänannot reittinavigointiohjelmistolle ja kuitata tehtävät ylemmän tason järjestelmälle suoritetuksi. Suoritettavat tehtävät voivat olla tyyppiltään autonomisesti liikkuvalla AUTT-1:lle sopivia, kuten ”nouda lasti huoneesta A ja vie se huoneeseen B.”

### ***AUTT-1:n navigointi tulevaisuudessa***

Optinen radan seuraaminen tarjoaa hyvän lähtökohdan autonomiselle navigoinnille, mutta se jättää paljon myös tilaa tulevaisuuden laajennuksille. Tulevaisuudessa robottiin voitaisiin esimerkiksi integroida RFID-lukija, joka kykenee lukemaan kyytiin lastatuista objekteista minne ne ovat menossa ja ohjaamaan robotin liikkumista sen mukaan. Vastaavasti RFID-tarroja voitaisiin hyödyntää myös navigoinnissa, mikäli robotti ei pysy kartalla tarkasti renkaiden enkoodereiden ja gyrojen avulla. Tällöin teippiuran risteyskohtiin voitaisiin liittää RFID-tarrat, joista robotti voi päätellä sijaintinsa.

Jotta itsenäinen robotti voi liikkua turvallisesti, sen tulee voida välttää törmäykset. AUTT-1:een voidaan asentaa n. 350 euron hintaisia ultraäänitutkia (esimerkiksi Sick UM30-12113 60..600 mm, analoginen lähtö 4..20mA / 0-10V), jolla se tietää milloin tulee hidastaa tai pysähtyä kokonaan muun liikenteen tai esteiden vuoksi. Lisäksi robottiin voidaan asentaa mikrokytkimillä varustetut mekaaniset puskurit, jotka tunnistavat etureunaan tai etukulmiin osuvat objektit ja pysäyttävät liikkeen. Varsinaista esteen kiertämistä ei kuitenkaan välttämättä voida toteuttaa, koska tärkeimpänä navigointikeinona käytettävästä teippiurasta ei saa ajaa liian kauas tai sitä ei välttämättä löydetä uudelleen edes gyroantureilla.

## PC/104:n käyttöjärjestelmä

### *Nykyinen käyttöjärjestelmä*

Tällä hetkellä AUTT-1 –robotin PC/104-tietokoneen käyttöjärjestelmänä on QNX Neutrino (<http://www.qnx.com>). QNX on teollisuussovelluksissa yleisesti käytetty kaupallinen UNIX-pohjainen reaaliaikakäyttöjärjestelmä, jonka valinta AUTT-1 –robottiin on ollut perusteltua erityisesti reaaliaikaisuuden vuoksi. Automaatiojärjestelmässä ohjaustehtävät on suoritettava tarkkuuden takaamiseksi tiettyjen aikarajojen sisällä, joten reaaliaikaisuus on robotin käyttöjärjestelmälle tärkeä ominaisuus. Lisäksi QNX on hyvin skaalautuva, eli se on mahdollista asentaa pöytäkoneiden ja palvelimien lisäksi myös pienellä massamuistilla varustettuun mobiiliin PC-laitteistoon. QNX on tunnettu myös vakaudestaan.

QNX:n käyttöön harjoitustyöalustana toimivassa robotissa liittyy kuitenkin useita ongelmia. QNX on ympäristönä vieras lähes kaikille opiskelijoille ja kurssiassistentteille, joten sen sujuva käyttö on usein hankalaa. Lisäksi QNX-järjestelmässä ajettavia ohjelmia ei voida nykyisellään kääntää ATK-keskuksen Windows- tai Linux-tietokoneissa, joten kääntämistä varten on oltava erillinen QNX-pöytä tietokone. Tämä tekee harjoitustyöympäristöstä monimutkaisen ja harjoitustyöohjelmien ajamisesta hankalasti ymmärrettävän prosessin.

### *Linux reaaliaikakäyttöjärjestelmänä*

Koska ATK-keskuksen tarjoamat luokkatietokoneet ovat Windows- ja Linux-pohjaisia, Linux olisi myös robotin käyttöjärjestelmänä opiskelijoille huomattavan paljon tutumpi ja kynnys sen käyttöön matalampi. Linux ei kuitenkaan ole sinällään reaaliaikakäyttöjärjestelmä, joten se ei välttämättä sovellu kaikenlaisten säätö- ja ohjausohjelmien ajoympäristöksi.

Linuxille on kuitenkin saatavissa useita erilaisia reaaliaikalaajennuksia, jotka mahdollistavat myös tiukkojen aikarajoitteiden käyttämisen ohjelmissa. Tällaisen laajennuksen asentaminen ja käyttöönotto eivät kuitenkaan todennäköisesti ole yhtä suoraviivaista kuin työpöytäkäyttöön tarkoitettun Linux-jakelun asentaminen, eikä käyttöjärjestelmän asentaminen PC/104-tietokoneeseen ole yksinkertaista. Siksi reaaliaika-Linuxin asentaminen ja siihen tutustuminen olisi yksistäänkin riittävä aihepiiri opiskelijoiden projektityölle tai kesätyöntekijälle.

### *Linuxin eri reaaliaikalaajennukset*

Koska Linuxin reaaliaikalaajennuksia on useita, niistä täytyy valita kuhunkin käyttötarkoitukseen sopivin. Nopean tutkimuksen perusteella yleisimmät Linuxin reaaliaikalaajennukset ovat RTAI, Xenomai ja RTLinux (<http://www.rtai.org>, <http://www.xenomai.org> ja <http://www.rtlinuxfree.com>). Näistä RTAI ja Xenomai ovat GPL-lisensioituja avoimen lähdekoodin laajennuksia, kun taas RTLinux on kaupallinen tuote, josta on olemassa tutkimus- ja opetuskäyttöön ilmainen RTLinux Free –versio. Näiden kolmen lisäksi on olemassa huomattava joukko muitakin reaaliaikalaajennuksia, kuten KURT ja RED-Linux, mutta ne vaikuttavat kotisivujensa perusteella huomattavasti vähemmän aktiivisilta sekä huonosti tuetuilta ja ylläpidetyiltä.

Mielenkiintoisena lisänä RTAI-projektiin kuuluu myös RTAI-Lab –ohjelmisto, jonka luvataan mahdollistavan esimerkiksi Simulinkillä kehitettyjen lohkodeigrammien porttaamisen ja kääntämisen RTAI-alustalla

suoritettavaksi. Toimiessaan tämä tarjoaisi erinomaisia mahdollisuuksia konkreettisille systeemitekniikan harjoitustöille, joten RTAI-Labin kokeilu voisi olla mielenkiintoinen ja hyödyllinen projekti.

Internet-tutkimus eri laajennuksien eroista ei löytänyt hyvää yhteenvetoa. Alla on kuitenkin lueteltu huomioita:

## **RTAI**

+ Avoin, GPL-lisensoitu.

+ RTAI-Lab erittäin mielenkiintoinen työkalu. RTAI-Labin evaluoinnin mielenkiintoisuus puoltaa RTAI:ta.

+ Monet Internetissä dokumentoidut projektit perustuvat RTAI-alustaan. ([www.rtai.org](http://www.rtai.org) > Links > Application Links, mm. Enhanced Machine Control –CNC-ohjelmisto)

+ On olemassa valmis RTAI-LiveCD jolla voi testata laitteiston reaaliaikaominaisuuksia.

- Eräässä vuonna 2006 kirjoitetussa sähköpostilistaviestissä University of Hannoverin Jan Kiszka kritisoi, että Xenomaihin verrattuna RTAI-projekti keskittyy liikaa kehittäjiensä omiin tarpeisiin ja muut kärsivät tästä. (<https://mail.gna.org/public/xenomai-help/2006-08/msg00115.html>) Tämän seurauksena University of Hannover siirtyi käyttämään Xenomaita palveluroboteissaan ([http://www.rts.uni-hannover.de/images/b/b3/ELROB\\_TechnicalPaper\\_RTS\\_University\\_of\\_Hannover.pdf](http://www.rts.uni-hannover.de/images/b/b3/ELROB_TechnicalPaper_RTS_University_of_Hannover.pdf))

## **Xenomai**

+ Avoin, GPL-lisensoitu.

+ Tuki myös muille kuin x86-arkkitehtuurille.

+ Vaikuttaa roadmapissaan (<http://www.xenomai.org/index.php/Xenomai:Roadmap>) ja sähköpostilistaviesteissä enemmän yleispäteväksi tähtäävältä kuin RTAI.

+ Saatavilla valmis Live CD ja jakelupaketti, sekä työkaluja esimerkiksi Simulink-koodin ajamiseksi (<http://www.linux-real-time.com/>). Näistä osa on kuitenkin kaupallisia, erityisesti ulkoista IO:ta tarvittaessa.

## **RTLlinux**

+ Kaupallisen tuotteen saatavuus tarkoittanee, että tuote on kypsä ja hiottu.

+ Kaupallisesti on saatavilla kokonainen Linux-jakelupaketti, Wind River Linux.

- Free-versiossa on mahdollisesti vaikeat lisenssiehdot vaikka kyse onkin opetuskäytöstä. Kaikki sovellukset on julkaistava Internetissä GPL-lisensioituna.
- Kaupallisen tuotteen ympärille kehittynyt yhteisö ei ole yhtä vahva kuin GPL-lisensoiduilla tuotteilla.

Nopean analyysin perusteella tutustuisimme itse aluksi RTAI-laajennukseen, koska se on avoin ja tarjoaa mielenkiintoisen RTAI-Lab –ohjelmiston. RTAI:n osoittautuessa huonosti soveltuvaksi tai RTAI-Labin ollessa huonosti viimeistelty ja toiminnoiltaan vajaa myös muiden laajennuksien tutkiminen kannattaa.

### ***Kehitysprojektit: Reaaliaika-Linuxin käyttöönotto PC/104:ssä ja sen ohjelmointi***

Koska reaaliaika-Linuxin käyttöönottoon liittyy paljon epäselviä asioita ja monimutkaisia työvaiheita, sen asentaminen suoraan AUTT-1:n käyttöjärjestelmäksi ei ole järkevää. Mikäli asennus yritettäisiin tehdä suoraan ja se syystä tai toisesta epäonnistuisi, nykyisen toimivan järjestelmän palauttaminen voisi viedä paljon aikaa ja haitata nykyisten harjoitustöiden suorittamista. Tämän vuoksi reaaliaika-Linuxien tutkiminen ja käyttöönotto kannattaa suorittaa vaiheittain siten että AUTT-1 toimii nykyisellä QNX-järjestelmällä mahdollisimman pitkään, kunnes on varmuus siitä että siirtyminen on mahdollista ja kannattavaa.

Alla on esitelty eräät mahdolliset vaiheet reaaliaika-Linuxiin tutustumiseksi ja sen käyttöönottamiseksi AUTT-1-robotissa. Ajallisesti vaiheisiin menee luultavasti niin kauan aikaa, ettei niitä voi välttämättä tehdä yksittäisen projektityön puitteissa työn paisumatta liian isoksi ja epäonnistumisriskin kasvamatta.

#### **Vaihe 1: Reaaliaika-Linuxin asennus ja eri reaaliaikalaajennusten evaluointi sekä erilaiset ohjelmointimahdollisuudet**

Jotta eri reaaliaikalaajennuksista saisi hyvää tietoa, niitä täytyy kokeilla itse. Kokeilu on järkevintä suorittaa helppouden vuoksi pöytä tietokoneessa hyödyntäen asentamatta toimivia Live CD:itä ja tarvittaessa asentamalla koko käyttöjärjestelmä tietokoneen levyille.

Aluksi kannattaa asentaa 1-3 eri reaaliaikalaajennusta käyttävää järjestelmää ja tutkia, miten niille laaditaan C-kielisiä ohjelmia, joissa on reaaliaikavaatimuksia. Arvioinnissa kannattaa huomioida asennuksen helppous, laajennuksen tarjoamien mahdollisuuksien monipuolisuus ja helppo ohjelmitavuus.

C-kielisten ohjelmien lisäksi kannattaa kokeilla myös muita mielenkiintoisia ohjelmointimahdollisuuksia, kuten RTAI-Labia ja Simulink-mallien suorittamista esimerkiksi Xenomaita käyttävällä Scale RT:llä (<http://www.linux-real-time.com>), koska nämä tarjoaisivat toimiessaan hyviä mahdollisuuksia uusille säätö- ja ohjauspiirejä demonstroiville harjoitustöille. Näiden lisäksi kannattaa tutustua myös Rhapsodylla generoidun koodin suorittamiseen, koska Rhapsodya tarvitaan nykyisissä harjoitustöissä.

#### **Vaihe 2: Reaaliaika-Linuxin asennus toiseen PC/104:ään ja ajureiden asentaminen**

Jouko Virran vuosina 2005–2006 kirjoittamasta QNX Neutrino 6.3-asennusraportista (Automaation tietotekniikan verkkolevyllä, qnx.2.txt) saa käsityksen, että QNX:n asentaminen PC/104:ään on

monimutkainen prosessi jossa koko käyttöjärjestelmä täytyy koota tarvittavista osista. Todennäköisesti Linuxin asentaminen resursseiltaan rajoitettuun PC/104-tietokoneeseen on myös monimutkainen toimenpide.

Tämän vuoksi reaaliaika-Linux kannattaa asentaa aluksi ylimääräisistä osista kasattuun rinnakkaiseen PC/104-laitteistoon siten että alkuperäinen QNX-laitteisto säilyy koskemattomana. Tämän onnistuessa kokemusta voidaan käyttää hyödyksi ja Linux asentaa myös AUTT-1 –robottiin.

Ennen kuin AUTT-1 toimii reaaliaika-Linuxilla, kaikki tarvittavat ajurit kuten DiskOnChip-massamuistin ajurit, CAN-väyläkortin ajurit, moottorinohjaimen ajurit ja muut tarvittavat ohjelmistot täytyy löytää ja asentaa tai pahimmassa tapauksessa portata Linuxille. Jos tämä onnistuu, QNX-käyttöjärjestelmä voidaan korvata kokonaan reaaliaika-Linuxilla.

### **Vaihe 3: Reaaliaika-Linuxin asennus AUTT-1:n käyttöjärjestelmäksi**

Kun kaikkien ajureiden toiminnasta on varmistuttu, Linux voidaan asentaa AUTT-1:n PC/104-tietokoneeseen. Viimeistään tässä vaiheessa myös kaikki AUTT-1 –robotin käyttämiseen liittyvät ohjelmat täytyy portata Linuxille.

### **Yhteenveto**

Työssä tutkittiin automaation tietotekniikan AUTT-1-robotin nykyistä tilaa sekä ideoitiin mahdollisia kehityskohteita jotta robotti täyttäisi tulevaisuudessa tehtävänsä paremmin ja toimisi mielekkäänä harjoitustyöalustana.

Robotin raudasta todettiin, että etupyörien jousitus on rakenteeltaan erittäin raskas ja renkaiden pito on liian vähäinen. Rautaa voidaan kehittää tulevaisuudessa koteloimalla robotti ja kiinnittämällä eri laitteet robotin runkoon tarrateipillä. Robotin alustan voi myös korvata tulevaisuudessa jollakin kaupallisella tuotteella, kuten sähköpyörätuolin rungolla.

Työssä mitattiin eri laitteiden virrankulutukset ja todettiin, että sähköjärjestelmien heikoin lenkki on robotin akkulaturi. Akkujen todettiin olevan kohtuullisessa kunnossa, mutta toisen akkupaketin hankkiminen tekisi pitkään jatkuvasta käytöstä helpompaa. Robottiin tarvitaan tulevaisuudessa 24 voltin jännitteen lisäksi myös erillisillä hakkuriteholähteillä alennetut 12 voltin ja 5 voltin jännitteet, sekä yhtenäisillä liittimillä toteutettu virranjakoyksikkö. Lisäksi robotin johdot tulisi merkitä etiketeillä ja niputtaa johtokouruihin.

Robotin anturoinnissa on parantamisen varaa, sillä robotti ei kykene nykyisellään toimimaan autonomisesti antureidensa varassa. Työssä päädyttiin ehdottamaan, että robottiin toteutetaan lattiaan merkittyä teippiuraa seuraava anturi ja ohjelmisto. Tätä voidaan täydentää käyttämällä lyhyiden matkojen navigointiin nykyisiä gyro-antureita ja enkoodereita, sekä liittämällä robotti johonkin korkeamman tason järjestelmään. Autonomisesti navigoivaan robottiin tulee lisätä ultraäänitutka tai kytkimillä varustettu puskuri, jotta törmäykset voidaan välttää. Lisäksi robotin analoginen kamera tulisi korvata esimerkiksi digitaalisella Ethernet-kameralla, koska nykyisen analogisen kameran kuvaa ei voida hyödyntää.

Robotin PC/104-tietokoneen todettiin työssä olevan teholtaan riittävä, mutta käytettävyydeltään heikko. Käytettävyyden parantamiseksi päädyttiin ehdottamaan pienen näytön ja näppäimistön asentamista

robottiin, ssh-palvelimen ja ohjelmointityökalujen asentamista sekä vaikean QNX-käyttöjärjestelmän korvaamista reaaliaikalaajenuksella varustetulla Linux-käyttöjärjestelmällä. Lisäksi AUTT-1:n verkkoympäristö järjesteltiin työssä uudelleen ja dokumentoitiin kaaviokuvalla.

Työssä kartoitettiin myös AUTT-1:lle kehitetyt ohjelmat: manuaalisen näppäimistöllä ajon mahdollistava ajo-ohjelma, manuaalisen verkon yli tapahtuvan ohjauksen mahdollistava netajo, CAN-kommunikointiohjelma ja eri harjoitustyöohjelmat. Tulevaisuudessa toteutettaviksi ohjelmistoiksi kaavailtiin eri laitteiden toiminnallisuutta testaava yleisdiagnoosiikkaohjelma sekä autonominen navigointiohjelmisto, joka koostuu matalan tason liikkumishjelmasta, kartastosta ja korkean tason tehtävähallinnasta.

Tulevina lukukausina sekä kesinä tullaan todennäköisesti tekemään uusia projektitöitä sekä kesätyöprojekteja, joissa toteutetaan tässä työssä suunniteltuja parannuksia. Näiden töiden tuloksena saadaan toivottavasti autonomiseen toimintaan kykenevä robotti, jonka laajentaminen pienillä harjoitustyöillä on vaivatonta ja antaa opiskelijoille kosketuksen realistiseen automaatio-ohjelmistojen suoritussympäristöön.

## **Liite: Kehitysehdotukset**

Ehdotuksien perässä on kerrottu dokumenttiin viittaava sivunumero, jolla enemmän tietoa asiasta. Monet ehdotuksista saattavat olla vaihtoehtoisia toisilleen, osaltaan päällekkäisiä tai sisältyä toisiinsa.

1. Johtokourut ja etiketit johdotukselle (s. 6), keskitärkeä
2. Kupu rungon päälle (s. 6), ei kovin tärkeä
3. Antureiden ja toimilaitteiden kiinnitys runkoon (s. 6), keskitärkeä
4. Etuakselin jousituksen keventäminen (s. 6), keskitärkeä
5. Renkaiden puhdistus ja pinnoitus tai vaihto uusiin (s. 6), keskitärkeä
6. Uusi akkulaturi (s. 8), välttämätön
7. Vaihtopaketti akuille (s. 8), keskitärkeä
8. Uusi virranjakoyksikkö, jossa 5V ja 12V hakkurimuuntajat (s. 8), tärkeä
9. Moottorien vaihteiston välityksen vaihtaminen pienempään (s. 10), ei kovin tärkeä
10. Servo-ohjaimien korvaus servovahvistimilla (s. 11), tärkeä
11. Siirtyminen raudan ja moottoreiden suhteen valmiina toimitettuun pakettiin (s. 11), ei kovin tärkeä

12. Robotin mukaan pieni LCD-näyttö ja näppäimistö (s. 13), sekä näppäintason lisääminen rungon ylle, tärkeä
13. SSH-palvelinohjelmisto (s. 13), tärkeä
14. Yleisdiagnoosiikkaohjelmisto (s. 15), tärkeä
15. QNXmaken asennus PC/104:ään (s. 17), keskitärkeä
16. PC/104:n jatkuva yhteys yleiseen verkkoon (s. 18), ei kovin tärkeä
17. Videokappauskortti PC/104:ään (s. 19), ei kovin tärkeä
18. Uusi verkkoliitäntäinen digitaalinen kamera (s. 19), tärkeä
19. FireWire-liitäntä digitaaliselle kameralle (s. 20), ei kovin tärkeä
20. Laitteisto merkityn kulkureitin seuraamiseen (s. 21), välttämätön
21. Ohjelmisto itsenäiseen tehtävien suorittamiseen (s. 22), välttämätön
22. Korkeamman tason tehtävienhallintaohjelmisto etätietokoneeseen (s. 22), tärkeä
23. RFID-lukija (s. 22), keskitärkeä
24. Ultraäänitutka tai mekaaniset puskuri (s. 22), tärkeä
25. Reaaliaika-Linuxin tutkinta ja asennus (s. 23 – 26), tärkeä

## Liite: Luettelo muista AUTT-1:tä koskevista dokumenteista

- Lauri Mäki: CAN-väylään liitettävä gyroskooppisolmu. AS-116.130 Automaation tietotekniikan projektityöt. 2004.
- Teemu Vehviläinen: CAN-väyläharjoitustyöympäristö. 2001.
- Teemu Vehviläinen: DiskOnChipin asennus PC/104:ään QNX-käyttöjärjestelmäympäristöön. 2001.
- Jouko Virta, Antti Jokela: Robotti AUTT-1 "Moving Robot". AS-116.130 Automaation tietotekniikan projektityöt. 2005.
- Teemu Vehviläinen: Navi-pöytäkoneen, Navi-PC/104:n ja Emun järjestelmäasetukset sekä lisenssit. 2001.
- Tuntematon: ECAN1000-ajurien käyttö.
- Sony EVI-D30/D31 Command List.
- Sony EVI-D30/D31 Color Video Camera Operating Instructions.
- MESA 4127A Motor Controller data sheet.
- MESA 4127A Motor Controller User's manual.
- Vishay Spectrol 601-1045 Full 360 Smart Position Sensor data sheet.
- National Semiconductor DS26LS31C/DS26LS31M Quad High Speed Differential Line Driver data sheet.
- Hewlett Packard Quick Assembly Two and Three Channel Optical Encoders Technical Data.
- National Semiconductor LM628/LM629 Precision Motion Controller Data Sheet.
- National Semiconductor LM628/LM629 Precision Motion Controller Programming Guide.
- Maxon 4-Q-DC Servoamplifier ADS in module housing data sheet.
- Jouko Virta: QNX Neutrino 6.3 asennus PC/104:ään. 2005-2006.

## Liite: Työssä viitattujen AUTT-1:lle kehitettyjen ohjelmien lähdekooditiedostot

- ajo.cpp
- angle.cpp
- angle.h
- angletest.cpp
- camera.cpp
- camera.h
- can.cpp
- can.h
- canreader.cpp
- motor.cpp
- motor.h
- net\_ajoc