



VIDEOVALVONTAKAMERAN OBJEKTIVIN OHJAUS

Pasi Vähämartti

**Opinnäytetyö
Joulukuu 2008**

Informaatioteknologian instituutti



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**

Tekijä(t) VÄHÄMARTTI, Pasi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 103	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen saakka	
Työn nimi VIDEOVALVONTAKAMERAN OBJEKTIIVIN OHJAUS		
Koulutusohjelma Elektroniikka		
Työn ohjaaja(t) KOTKANSALO, Jouko		
Toimeksiantaja(t) VÄHÄMARTTI, Pasi		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin sulautetulla järjestelmällä valvontavideokameran objektiivin ohjauselektroniikka sekä perehdyttiin mekaniikan suunnitteluun ja toteutukseen. Suunnittelun yhteydessä tutustuttiin valvontajärjestelmissä käytettyyn tekniikkaan sekä kameravalvonnan laillisuusnäkökohtiin.</p> <p>Työn tavoitteena oli elektroniikan erikoistyössä suunniteltujen piirilevyjen loppuun asti kalustaminen, vikojen etsiminen ja korjaaminen, sähköinen ja ohjelmallinen testaaminen sekä dokumentoinnin päivittäminen. Laitteisto pyrittiin saamaan niin pitkälle valmiiksi, että sen jatkokehittäminen olisi mahdollista ilman vianetsintää, erikoistyökaluja tai kalliita mittalaitteita.</p> <p>Suunniteltu järjestelmä koostuu kahdesta osasta: tietokoneeseen liitettävästä hallintayksiköstä ja kameran päässä olevasta moottoreiden ohjausyksiköstä. Laitteistossa olleet suunnitteluviat saatiin lähes täysin korjattua sekä laitteiden toiminta varmistettua sähköisten ja ohjelmallisten testien avulla. Lopputulos oli hallintayksikön RS-232-väylän toimimattomuutta lukuun ottamatta tavoitteen mukainen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Mikro-ohjain, sulautettu järjestelmä, ohjauslaitteet, kameravalvonta		
Muut tiedot		

Author(s) VÄHÄMARTTI, Pasi	Type of Publication Bachelor's Thesis	
	Pages 103	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until	
Title CONTROLLING OBJECTINE OF VIDEO SURVEILLANCE CAMERA		
Degree Programme Information Technology		
Tutor(s) KOTKANSALO, Jouko		
Assigned by VÄHÄMARTTI, Pasi		
Abstract In this bachelor's thesis an embedded system was designed and built to control a video surveillance camera. During designing there was time to investigate the used techniques of surveillance systems and legality side of video surveillance more in detail The purpose of this study was to continue the development of a project for an unfinished course in electronics special work. To finish the project there were a few things to do: component assembly of the circuit boards, searching and repairing faults, electrical and programmatic system testing and documentation update. The intention was to make the future development possible without fault searching, special tools or expensive equipment. The designed system consists of two parts: a control box which can be connected to PC and controlling equipment on camera side to control motors. All design faults were found and almost all of them were repaired, and electrical and programmatic system tests were made to verify the proper operation of the system. The end result was almost like was planned; the only flaw was an unworkable RS-232-bus on the control box, everything else worked properly.		
Keywords Microcontroller, embedded system, controlling equipment, video surveillance		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	11
2 VALVONTAJÄRJESTELMÄT	12
2.1 Valvontakamerat	12
2.2 Tallennusratkaisut	13
2.3 Ohjaus	14
2.4 Sijoittaminen	15
3 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU	17
4 KOMPONENTTIVALINNAT	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Suunnittelu lohkoaviotasolla	20
4.3 Mikro-ohjain	22
4.4 Kameramoduuli	23
4.5 H-silta	27
4.6 Optoerotin	29
4.7 Askelmoottori	30
4.8 Vaihteisto	32
4.9 Askelmoottorihjain	34
4.10 Asennon mittaaminen	35
4.11 Lämpötilan mittaaminen	38
4.12 Tiedonsiirto	39
4.12.1 UART / USART	39
4.12.2 RS-232-väylä	41
4.12.3 USB-väylä	42

4.12.4 ZigBee	44
5 TOTEUTUS.....	46
5.1 Piirilevysuunnittelu	46
5.1.1 Suunnitteluohjelmat	46
5.1.2 Hallintayksikkö	47
5.1.2.1 Piirikaaviosuunnittelu	47
5.1.2.1.1 Mikro-ohjain.....	47
5.1.2.1.2 LCD-näyttö	47
5.1.2.1.3 Sarjaliikenneväylä RS-232	48
5.1.2.1.4 ZigBee.....	48
5.1.2.1.5 Liikennöintitavan valinta	49
5.1.2.1.6 SPI-ohjelmointiliittimet	50
5.1.2.1.7 USB ja tehonsyöttö.....	50
5.1.2.1.8 Painonapit	51
5.1.2.1.9 Vapaat I/O:t.....	52
5.1.2.2 Layout-suunnittelu	52
5.1.3 Ohjausyksikkö.....	54
5.1.3.1 Piirikaaviosuunnittelu	54
5.1.3.1.1 Mikro-ohjain.....	54
5.1.3.1.2 LCD-näyttö	54
5.1.3.1.3 Sarjaliikenneväylä RS-232	55
5.1.3.1.4 ZigBee.....	55
5.1.3.1.5 SPI-ohjelmointiliittimet	56
5.1.3.1.6 Tehonsyöttö	56
5.1.3.1.7 Kamera.....	57
5.1.3.1.8 Askelmoottori ohjaimet.....	58
5.1.3.1.9 H-sillat	59
5.1.3.1.10 DS18S20-lämpötila-anturi	60
5.1.3.1.11 AD-muuntimet	60
5.1.3.1.12 Painonapit	60
5.1.3.1.13 Rajakytkimet.....	61
5.1.3.1.14 Vapaat I/O:t.....	61
5.1.3.2 Layout-suunnittelu	62

5.2	Mekaniikkasuunnittelu.....	63
5.3	Toimintojen ohjelmallinen testaus	67
5.3.1	Ohjelmointityökalut.....	67
5.3.2	Ohjelman rakenne.....	67
5.3.3	Näytön ohjaaminen	69
5.3.4	Painonappien ja rajojen lukeminen	69
5.3.5	AD-muuntimen lukeminen.....	70
5.3.6	Lämpötilan lukeminen	70
5.3.7	Moottoriohjaimien ohjaaminen	70
5.3.8	Tiedonsiirto RS-232:lla, USB:llä ja ZigBeellä	71
6	POHDINTA	74
6.1	Työn monipuolisuus	74
6.2	Työn tuomat haasteet	74
6.3	Työn lopputulos	75
6.4	Loppusanat.....	76
	LÄHTEET	77
	LIITTEET	80
	Liite 1. Sarjaväylien ominaisuusvertailu	80
	Liite 2. PTZ-protokollia	81
	Liite 3. Hallintayksikön porttilista	82
	Liite 4. Ohjausyksikön porttilista	83
	Liite 5. Kameramoduulin kytkentäohje ja tekniset tiedot	84
	Liite 6. Transistoreiden perustyytit.....	85
	Liite 7. Vaihteistotyyppien hyötysuhteita.....	86
	Liite 8. Hallintayksikön osaluettelo.....	87
	Liite 9. Hallintayksikön yläpuolen syövytys- ja osasijoittelukuva	88
	Liite 10. Hallintayksikön alapuolen syövytys- ja osasijoittelukuva	89
	Liite 11. Ohjainyksikön osaluettelo	90

Liite 12. Ohjainyksikön yläpuolen syövytys- ja osasijoittelukuva	91
Liite 13. Ohjainyksikön alapuolen syövytys- ja osasijoittelukuva	92
Liite 14. Hallintayksikön reikien mitoitus	93
Liite 15. Hallintayksikön kokoonpanokuva	94
Liite 16. Mekaniikka osien osaluettelo	95
Liite 17. Kytkimien lukeminen	96
Liite 18. AD-muuntimien lukeminen	97
Liite 19. Lämpötilan lukeminen	98
Liite 20. Askelmoottorin ohjaus	99
Liite 21. Tiedonsiirto	100
Liite 22. ZigBee-moduulien konfigurointi AT-komennoilla	103

KUVIOT

KUVIO 1. Niceview NiceCAM420-valvontakamera	12
KUVIO 2. Luonnos järjestelmästä	18
KUVIO 3. Kustannusten syntyminen tuotannon eri vaiheissa	19
KUVIO 4. Tuotantomäärän vaikutus kustannusten jakautumiseen	19
KUVIO 5. Hallintayksikön toiminnot lohkokaaaviotasolla	21
KUVIO 6. Ohjainyksikön toiminnot lohkokaaaviotasolla	21
KUVIO 7. Tekniikoiden väliset rakenteelliset erot kuvakennotasolla	24
KUVIO 8. CCD- ja CMOS-kennojen rakenne lohkokaaavioesityksenä	24
KUVIO 9. Pimeänäkö infrapunavalon avustuksella	25
KUVIO 10. H-sillan toimintaperiaate ja totuustaulu	27
KUVIO 11. Optoerottimen rakenne	30
KUVIO 12. Bipolaarisen ja unipolaarisen moottorin ero	31
KUVIO 13. Etäisyyden vaikutus voimaan, kun vääntö on vakio	32
KUVIO 14. Kierukkavaihteen rakenne	33
KUVIO 15. Vaihteiston vaikutus vääntöön ja kierrosnopeuteen	33
KUVIO 16. Bipolaari ja unipolaari askelmoottorin ohjaussignaalien ero	35

KUVIO 17. Potentiometrin jännitteenjako.....	36
KUVIO 18. Yksi viidestä potentiometrissä mittaamassa asentoa	37
KUVIO 19. 1-Wire väylä ja siihen kytkettyjä erityyppisiä laitteita.....	39
KUVIO 20. Naaras ja uros D9-liittimet	41
KUVIO 21. RS-232 tasomuuntimen rakenne	42
KUVIO 22. Micro USB, mini USB, B-tyyppi, A-tyypin naaras, A-tyyppi	43
KUVIO 23. ZigBee-verkon topologia.....	45
KUVIO 24. Mikro-ohjaimen kytkennät	47
KUVIO 25. LCD-näytön kytkentä	48
KUVIO 26. Sarjaliikennemuuntimen kytkentä.....	48
KUVIO 27. ZigBee-moduulin kytkentä.....	49
KUVIO 28. Liikennöintitavan valinnan kytkentä	50
KUVIO 29. Ohjelmointiliittimien kytkennät	50
KUVIO 30. USB-piirin kytkentä	51
KUVIO 31. Jännitteensyötön tehohallinnan kytkentä.....	51
KUVIO 32. Painonappien kytkennät	52
KUVIO 33. Vapaiden I/O-porttien kytkentä.....	52
KUVIO 34. Hallintayksikön piirikortti ylhäältä.....	53
KUVIO 35. Mikro-ohjaimen kytkennät	54
KUVIO 36. LCD-näytön kytkentä	55
KUVIO 37. Sarjaliikennemuuntimen kytkentä.....	55
KUVIO 38. ZigBee-moduulin kytkentä.....	56
KUVIO 39. Ohjelmointiliittimien kytkennät	56
KUVIO 40. Tehonsyötön kytkentä	57
KUVIO 41. Kameran kuvaliitännän ja jännitteensyötön kytkentä	57
KUVIO 42. Askelmoottoriohjaimien kytkennät	58
KUVIO 43. H-siltojen kytkennät	59
KUVIO 44. DS18S20-lämpötila-anturin kytkentä 1-Wire-väylään.....	60
KUVIO 45. AD-muuntimen kanavien kytkentä	60
KUVIO 46. Painonappien kytkentä	61
KUVIO 47. Rajakytkintulojen kytkentä.....	61
KUVIO 48. Vapaiden porttien kytkentä	62
KUVIO 49. Ohjausyksikön piirikortti ylhäältä.....	63
KUVIO 50. 3D-malli hallintayksiköstä	64

KUVIO 51. Valmis hallintayksikkö.....	64
KUVIO 52. Catia mallinnus objektiivistä	65
KUVIO 53. Koteloimaton objektiivin tukirungossa	66
KUVIO 54. C-kielisen ohjelman rakenne	68
KUVIO 55. USB-piirin konfigurointi MProg:lla.....	72
KUVIO 56. Ilmoitus uudesta laitteesta	72
KUVIO 57. USART0:n asetukset ohjelmakoodin generointia varten	73

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Valaistuksen vaikutus valon määrään	26
TAULUKKO 2. Hammaspyörien mitoitus	38

SANASTO

1080i/p: Ilmaisee Full HD teräväpiirto-TV-lähetyksen pystysuuntaisen juovamäärän. Vaakasuunnan juovamäärä Full HD määrittämisessä on 1920, vaikka sitä ei erikseen mainita. Kuvan resoluutio on lähes 2,1 Mpix. Luvun perässä oleva i tarkoittaa lomitettua (interlaced) ja p lomittamatonta eli progressiivista (progressive) kuvan esitystapaa.

1-Wire: Dallas Semiconductorin / MAXIMin kehittämä yksijohtiminen tiedonsiirtoväylä, jonka nimi viittaa datan kuljettamiseen tarvittavien johtimien määrään. Signaalijohdin tarvitsee aina rinnalleen maajohtimen, eli kyse on oikeasti kaksijohtimisesta järjestelmästä.

AD: Analog/Digital eli analogi/digitaali-muunnos. Analogisen jännitetiedon muuttaminen binääriseen muotoon.

Analoginen: Signaali, jonka arvot voivat vaihdella mielivaltaisesti tietyllä välillä, esimeikiksi välillä 0-5V.

Assembler: Tietokoneohjelma, jolla konekielellä eli assembly-kielellä kirjoitettuja ohjelmia käännetään konekoodiksi.

Asynkroninen tiedonsiirto: Tahdistamaton tiedonsiirto, jossa jokainen merkki lähetetään yksi kerrallaan, epätasaisin väliajoin. Asynkronisessa siirrossa lähettävän ja vastaanottavan pään tiedonsiirtoasetusten tulee olla yhdenmukaiset.

AT: ATtention. Sarjaliikennelaitteiden ohjaamisessa käytetty komentokieli. Esimerkiksi vanhoja modeemeita ja matkapuhelimia voidaan ohjailta AT-komennoin. ZigBee-moduulin ohjelmointi tapahtuu niin ikään AT-komennoilla.

CCD: Charge-Coupled Device. Valoherkkä analoginen kuvasensori, joita käytetään muun muassa video- ja digitaalikameroissa. Tuottaa aina harmaasävykuvan, mutta erillisen värisuotimen ja mikropiirin avulla voidaan luoda värikuvia, joskin tehollinen resoluutio heikkenee.

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor. Valoherkkä digitaalinen kuvasensori, jotka valmistetaan samalla CMOS-tekniikalla kuin puolijohdekomponentit. Myös CMOS-kenno tarvitsee värisuotimen tuottaakseen värikuvia.

DA: Digital/Analog eli digitaali-/analogia-muunnos. Binäärisen tiedon muuttaminen analogiseksi jännitteeksi.

DC: Direct Current. Tasasähkö.

De facto: Ilman standardointia syntynyt yleinen käytäntö jonkin asian suhteen, jota kohdellaan kuin standardia.

Debugger: Tietokoneohjelma, jota käytetään ohjelmointivirheiden etsimiseen.

Digitaalinen: Signaali, jonka arvo voi olla 0 tai 1, vastaten esimerkiksi jännitetasoja 0 ja 5 V.

EEPROM: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory. Sähköisesti purettava ja uudelleen ohjelmoitavissa oleva lukumuisti, jossa tieto säilyy ilman sähköä. Käytetään tyypillisesti yksittäisen datatiedon tallentamiseen joka muuttuu harvoin, kuten esimerkiksi asetukset.

FET: Field-Effect Transistor. Yleisnimitys JFET- ja MOSFET-tyypin FETeille.

FFD: Full Function Device. ZigBee-laitteiden yhteydessä tarkoittaa täyden toiminnan laitetta, eli PAN-koordinaattoria tai reititintä.

Flash: Puolijohdemuistin tyyppi, jossa tieto säilyy ilman sähköä. Voidaan lukea ja kirjoittaa sähköisesti. Käytetään sulautetuissa järjestelmissä ohjelma-
muistina.

I/O: Input/Output. Ilmaisee esimerkiksi mikro-ohjaimen portin suunnan, joka voi olla tulo, lähtö tai molempia. Tulolla voidaan lukea portin tila ja lähdöllä voidaan ohjata jotakin laitetta.

IGBT: Insulated-Gate Bipolar Transistor. Eräänlainen biopolaaritransistorin ja MOSFETin yhdistelmä, jossa yhdistyy molempien komponenttityyppien hyviä puolia.

IGFET: Insulated-Gate Field-Effect Transistor. Eristekanavatransistori, joka tunnetaan paremmin nimellä MOSFET.

IP: Internet Protocol. Protokolla, jonka tehtävänä on huolehtia IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta perille pakettikytkentäisessä verkossa. IP-kameralla tarkoitetaan kameraa, jossa on lähiverkkoliitäntä ja joka on täten mahdollista kytkeä esimerkiksi Internetiin etäseurantaan varten.

ISM: Industrial, Scientific & Medical radio band. Maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa ja joka on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.

JFET: Junction gate Field-Effect Transistor. Liitoskanavatransistori, joka on rakenteeltaan kaikkein yksinkertaisin FET-tyyppi.

Layout: Kuvaa kuparijohtimien paikkoja piirilevyllä, jotka vuorostaan vastaavat piirikaavion sähköisiä kytkentöjä.

LCD: Liquid Crystal Display. Nestekidenäyttö.

MAC: Media Access Control. Verkkosovittimen yksilöivä osoite, joka koostuu heksadesimaaliluvuista. Osoitteen alkuosa yksilöi valmistajan, loppuosan ollessa juokseva numero. Kahta samaa MAC osoitetta ei ole eikä saa olla olemassa.

MESFET: METal Semiconductor Field Effect Transistor. Metallipuolijohdელიtos, toimii samoin kuin JFET.

MOSFET: Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor. Eristehilatransistori.

Mpix: Megapikseli. Kertoo pikselien määrän kuvakennossa.

Multiplexer: Elektroninen komponentti, jolla voidaan valita yksi useasta sisääntulevasta signaalista ja ohjata se ulostuloon. Signaalit voivat olla joko analogisia tai digitaalisia.

NPN: Bipolaari transistorin tyyppi

NTC: Negative Temperature Coefficient, negatiivisen lämpötilakertoimen omaava vastus lämpötila-anturi. Anturin resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa.

PAL: Phase Alternate Line. Euroopassa yleisesti käytetty analogisen videokuvan värijärjestelmä ja koodausmenetelmä.

PAN: Personal Area Network. Tiedonsiirtoverkko, jossa lyhyen kantaman laitteet keskustelevat keskenään, kuten esimerkiksi ZigBee-laitteet.

PNP: Bipolaari transistorin tyyppi

PS/2: IBM:n kehittämän PS/2-tietokoneessa ollut määrittäminen (väylä) näppäimistön ja hiiren liittämiseksi tietokoneeseen, joka levisi yleiseen käyttöön.

PTC: Positive Temperature Coefficient, positiivisen lämpötilakertoimen omaava vastus lämpötila-anturi. Anturin resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa.

PTZ: Pan, Tilt & Zoom. Videovalvontakameroiden ohjaamisessa käytetty ohjausprotokolla.

Putkitekniikka: Tyhjiöputkia käytettiin ennen puolijohdekeksimistä, joskin edelleen putkia käytetään High End-luokan vahvistimissa. Putkien toiminta vastaa transistorien toimintaa, toimiakseen ne vaativat suuria hehkujännitteitä. Fyysinen koko ja tehonkulutus ovat suuria transistoreihin verrattuna.

PWM: Pulse Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio, jolla voidaan pulssin leveyttä muuttamalla säätää tehoa.

RFD: Reduced Function Device, ZigBee-laitteiden yhteydessä tarkoittaa toimintoiltaan rajoitettua laitetta eli päätelaitetta.

RS-xxx: Recommended standard. Standardoitu sarjaliikenneprotokolla, jossa xxx kuvaa standardin numeroa.

SPI: Serial Peripheral Interface. Yksinkertainen synkroninen sarjaliityntä, jota käytetään muun muassa mikro-ohjaimen ohjelmointiin.

SRAM: Static Random Access Memory. Puolijohdetekniikalla valmistettu muistityyppi, joka menettää tietonsa käyttösähkön kadottua.

Synkroninen tiedonsiirto: Tahdistettu tiedonsiirto, jossa jokaista siirrettävää merkkiä ei lähetetä erikseen, vaan niiden siirto tahdistetaan kellosignaalin avulla.

TTL: Transistor-Transistor Logic. Mikropiirityyppi, jonka käyttöjännite on 5 V.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Sarjaliikenneohjainpiiri joka muuttaa rinnakkaismuotoisen tiedon sarjamuotoiseksi ja päinvastoin.

USART: Universal Synchronous/Asynchronous Receiver-Transmitter. Kehittyneempi versio UARTista.

USB: Universal Serial Bus. Nopea sarjaväylä oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.

WUSB: Wireless Universal Serial Bus. Kehitteillä oleva langaton versio USB-väylästä oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.

Y/C: Ammattilaisten käyttämä nimitys S-video liitännästä. Kirjaimet viittaavat johtimissa kulkeviin signaaleihin, Y tarkoittaa luminanssia eli kirkautta ja C krominanssia eli väritietoa.

ZigBee: Lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtotekniikka.

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Idea valvontavideokameran rakentamisesta on peräisin vuodelta 2002, jolloin sain käsiini rikkiäisen valvontavideokameran. Vuosien varrella hankin osia projektia varten, mutta vasta ammattikorkeakouluopintojen loppupuolella omasin riittävästi taitoja halutunlaisen järjestelmän rakentamiseksi. Koska muun muassa valokuvaus ja elektroniikka ovat olleet pitkään kiinnostukseni kohteita, oli opinnäytetyöaiheen valinta luonnollinen, joskaan ei itsestäänselvä. Työn suunnittelu ja tekeminen sai alkunsa elektroniikan erikoistyönä keväällä 2007, josta työ laajeni opinnäytetyöksi kesällä 2008. Samalla sain motivaatoruiskeen jatkaa jo aiemmin aloittamani projektin tekemistä.

Koska aihevalinta oli jo alun perin hyvin laaja-alainen ja suuritöinen, oli työssä alkuvalmisteluista huolimatta paljon tehtävää jäljellä. Elektroniikan erikoistyön yhteydessä olin saanut suunniteltua ja teetettyä piirilevyt sekä koottua suurimman osan levyjen osista. Elektroniikan erikoistyön osalta keskeneräiseksi oli jäänyt laitteiston:

- sähköisten vikojen etsiminen ja korjaaminen
- sähköinen ja ohjelmallinen testaaminen
- dokumentoinnin teko ja päivittäminen
- mekaniikkasuunnittelu ja toteutus
- ohjelmiston teko ja testaus.

Aloittaessani tekemään varsinaista opinnäytetyötä kesällä 2008 asetin tavoitteeksi toimivaksi testatun järjestelmärungon rakentamisen ilman täysin toimivaa ohjelmistoa ja mekaniikkaa. Täten laitteen tulevaisuuden ja jatkon kannalta tärkeimpinä pitämäni kohdat olivat edellisen luettelon kolme ensimmäistä kohtaa. Opinnäytetyö painottui pääasiassa näihin kolmeen kohtaan, joskaan mekaniikan suunnittelua, rakentelua ja ohjelmiston tekoa ei unohdettu laitteiston testauksen yhteydessä. Tavoitteena oli siis saada laite sellaiseen vaiheeseen, josta sen jatkokehittäminen olisi helppoa ilman erikoistyökalujen tai kalliiden mittalaitteiden tarvetta.

2 VALVONTAJÄRJESTELMÄT

2.1 Valvontakamerat

Valvontakameroita käytetään nimensä mukaisesti tilojen ja paikkojen valvontaan. Yleisin syy niiden käyttöön on turvallisuuden lisääminen esimerkiksi myymälöissä, maanteiden varsilla ja yleisillä paikoilla. Koska käyttökohteiden ja paikkojen vaatimukset ovat usein hyvin vaihtelevia, on kameratarjonta hyvin monipuolista.

Valvontakamerat voidaan jakaa kahteen ryhmään: sisä- ja ulkokäyttöön tarkoitettuihin. Molempia on saatavissa sekä väri- että mustavalkokameroina, joko CCD- tai CMOS-kuvakennolla varustettuna. Ulkokäyttöön tarkoitettut kamerat ovat säänkestäviä ja usein myös vandalismisuojattuja. Sisäkäyttöön tarkoitettuja kameroita on myös saatavissa vandalismisuojausella. Kuviossa 1 on Niceviewin säänkestävä ulkokäyttöön soveltuva NiceCAM420-värikamera, joka kykenee sisäänrakennetun infrapunavalolähteen avustuksella näkemään täysin pimeässä jopa 30 metrin päähän. Kamerassa ei ole etäkäytettäviä säätöjä, minkä takia hinta on kohtuullisen edullinen, noin 200 €. (iPCMAX 2008.)



KUVIO 1. Niceview NiceCAM420-valvontakamera (iPCMAX 2008)

Vuosien varrella kamerat ja tallennusratkaisut ovat kehittyneet huomattavasti. Ensimmäiset kamerat olivat täysin analogisia, kuten myös opinnäytetyössä käytetyn kameran alkuperäinen elektroniikka, jonka kuvakenno perustui putki-

tekniikkaan. Nykyaikaiset kamerat voivat toimia täysin digitaalisesti kuvaken-
nolta tallentimelle ja monitorille asti. Digitaalisuus on tuonut mukanaan kame-
roita, jotka on mahdollista liittää langallisen tai langattoman lähiverkon kautta
Internetiin. Tällaisia kameroita kutsutaan IP-kameroiksi. Lähiverkkopohjaisuus
mahdollistaa täysin digitaalisen ja tietokonepohjaisen älykkään valvontajärjes-
telmän toteuttamisen. Samalla se mahdollistaa ajasta ja paikasta riippumat-
toman etävalvonnan. (Halkosaari 2007, 15; Suomen turvakamera 2004.)

Lisäksi on olemassa megapikselikameroita, jotka ovat myös digitaalisia, mutta
joiden tuottaman kuvan resoluutio on moninkertainen tavalliseen valvontaka-
meran kuvaan verrattuna. Suuremman tarkkuuden videokuvan kuvanopeus
jää enemmän tai vähemmän alle normaalin 25 kuvaa/s nopeuden. Tämän
seurauksena videokuva ei ole sulavaliikkeistä, vaan nykivää. Esimerkiksi
SentryScope kamera tuottaa 21 Mpix kokoisen kuvan viivakameran ja peilin
avustuksella päivitysnopeuden ollessa kuva-alasta ja objektista riippuen ~1-2
kuvaa/s. (Suomen turvakamera 2004.)

Tavallisen valvontakameran ja megapikselikameran tuottamien kuvien välistä
laadullista eroa on vaikea kuvailla. Adjektiivit ällistyttävä, häikäisevä ja huikea
eivät sellaisenaan riitä kuvailemaan eroa. Jotain osviittaa antaa kuitenkin se,
että nykyaikaisen teräväpiirto-TV-lähetyksen (1080i/p) kuvakoko on noin 2
Mpix, joka on kymmenesosa megapikselivalvontakameran tarkkuudesta. Ta-
vallisen valvontakameran ja TV-kuvan tarkkuus on enintään PAL-standardin
mukainen noin 0.44 Mpix. Usein valvontakameroiden tarkkuus on kuitenkin
reilusti alle tämän, jolloin liikutaan noin 0.3 Mpix kuvakoossa, joka vuorostaan
on seitsemäskymmenesosa megapikselikameran tarjoamasta kuvakoosta.

2.2 Tallennusratkaisut

Vanhan valvontajärjestelmän toimintaa saa tehostettua hankkimalla vanhan
kasettinauhurin tilalle nykyaikaisen kovalevytallentimen analogisilla kuvatuloil-
la. Tarvittavasta kanavamäärästä riippuen hinnat alkavat noin 300 eurosta.
Hieman kalliimmista malleista löytyy myös lähiverkkoliitettä, jolloin saavutet-
tavat edut ja hyödyt ovat pitkälti samoja kuin uudempaa IP-järjestelmää käy-

tettäessä. Tällä tavoin uudistetussa järjestelmässä jää uupumaan oikeastaan vain kuvasignaalin digitaalinen siirto kameran ja tallentimen välillä. Toisaalta analogiset kamerat ovat yleisimpiä ja ovat useimmiten myös kustannustehokain tapa toteuttaa kameravalvonta. Käyttämällä analogisia kameroita ja digitaalista tallenninta saavutetaan useita etuja samalla säästäten tuhansia euroja. (iPCMAX 2008.)

Digitaalinen kovalevytallennin mahdollistaa monen kameran yhtäaikaista älykkään nauhoittamisen. Järjestelmää voidaan pitää älykkäänä, koska nauhoitus tapahtuu esimerkiksi vain silloin, kun kuva-alueella havaitaan liikettä. Kasetinvaihdot ovat myös historiaa, sillä toisin kuin nauhan loppuessa levytilan loputtua nauhuri alkaa tallentaa vanhimmasta päästä olevien tallenteiden päälle. Analoginen nauhuri nauhoittaa jatkuvasti, mikäli nauhuriin ei ole liitetty erillisiä liikkeentunnistimia kertomaan nauhoituksen tarpeellisuudesta. Tyhjän nauhoittaminen vuorostaan hidastaa valvontanauhan läpikäyntiä ja käsittelyä. Kasettinauhurin tallenteeseen tulee aina ylimääräistä kohinaa, väpätystä ynnä muita tunnistusta hankaloittavia tekijöitä. Kovalevytallentimissa näitä ongelmia ei ole, vaan kuva tallentuu juuri sellaisena, kuin se kameralta on saatu. Kovalevytallentimen pakkaustaso voi tosin kasvattaa kuvanlaadun kustannuksella, jolloin vastavuoroisesti käytettävissä oleva tallennusaika saadaan suuremmaksi. (Dasys 2008; Suomen turvakamera 2004.)

2.3 Ohjaus

Valvontakameroiden ohjaamisessa käytetään pääasiassa PTZ-protokollaa, joka käyttää RS-485-väylää. PTZ tulee sanoista Pan, Tilt ja Zoom, joskin itse protokolla mahdollistaa monen muunkin toiminnan välittämisen kameralle kuin nimen mukaiset sivuttais- ja pystysuuntaisen käännön sekä zoomauksen. Useimmiten PTZ sisältää myös kamerasta riippuen tarkennuksen ja aukon säätämismahdollisuuden. Lisäksi kameroissa voi olla useita muita ominaisuuksia, joita väylän kautta saadaan ohjattua. (Dasys 2008.)

PTZ-komennot välitetään RS-485-väylässä. Väylään kytketyt laitteet keskustelvat keskenään PTZ-ohjainprotokollaa käyttäen. RS-485 mahdollistaa enin-

tään 1,2 km:n yhteysetäisyyden ohjaimen ja kameran välille. RS-485 on RS-422:n kehittyneempi versio, jossa on mahdollista olla 32 lähetintä ja 32 vastaanotinta. Tämän takia nimenomaan RS-485 on yleistynyt kameravalvonnan väylänä. Liitteessä 1 on listattu RS-232, 422 ja 485 väylien välisiä eroja. (Dasy 2008; Mikä ihmeen RS-422/485 1998.)

PTZ on protokolla eli yhteyskäytäntö, joka määrittelee laitteiden välisen kommunikointikielen. Tosin sanoen on sovittu, että tietty merkkijono vastaa tiettyä toimintoa. Mikäli käytössä on väärä protokolla, eivät laitteet ymmärrä toisiaan. Tästä seuraa yleensä laitteiden täydellinen toimimattomuus. Joissain tapauksissa on mahdollista, että laitteet toimivat vajavaisesti tai toimivat miten sattuu. (Khason 2004.)

PTZ-ohjausprotokollia on olemassa muutamia kymmeniä, kuten Pelco-D, Pelco-P, HMC-250, CTNCOM, Panasonic, Sensormatic ja Philips. Pelco-D on käytössä olevista protokollista kaikkein yleisin (BernClare 2007). Lisää videovalvonnan ohjausprotokollia löytyy liitteestä 2. Huomioitavaa on, että lähes jokaisella kameravalmistajalla on oma PTZ-protokollansa. Jopa saman valmistajan eri mallisarjojen välillä saattaa olla käytössä protokollia, jotka eivät ole keskenään yhteensopivia. Käyttäjän onneksi ohjainlaitteet osaavat yleensä tukun yleisimpiä protokollia ja joissakin ohjainlaitteissa on lisäksi mahdollisuus ohjelmoida puuttuvat komennot käsin. (SpyShop2000 2008.)

2.4 Sijoittaminen

Ennen kameravalvonnan hankkimista on ensin syytä tutustua lainsäädäntöön, sillä videovalvontaa ei saa suorittaa mielivaltaisesti missä tahansa, vaan sitä rajoittaa tiukka lainsäädäntö. Lainsäädäntö ei varsinaisesti koske videovalvonnan suunnittelua tai asennusta, vaan varsinaista katselua ja kuuntelua. Mikäli kameravalvonta on suunniteltu huolimattomasti, voidaan tietämättä syyllistyä salakatseluun/kuunteluun. Rikoslain (RL 9.6.2000/531) 24 luvun 6§ mukaan salakatseluun syyllistyy henkilö:

Joka oikeudettomasti teknisellä laitteella katselee tai kuvaa

1) kotirauhan suojaamassa paikassa taikka käymälässä, pukeutumistilassa tai muussa vastaavassa paikassa oleskelevaa henkilöä taikka

2) yleisöltä suljetussa 3 §:ssä tarkoitettussa rakennuksessa, huoneistossa tai aidatulla piha-alueella oleskelevaa henkilöä tämän yksityisyyttä loukaten,

Kotirauhan määritelmä on rikoslain 24 luvun 11§ mukaan seuraava

Kotirauhan suojaamia paikkoja ovat asunnot, loma-asunnot ja muut asumiseen tarkoitetut tilat, kuten hotellihuoneet, teltat, asuntovaunut ja asuttavat alukset, sekä asuintalojen porraskäytävät ja asukkaiden yksityisaluetta olevat pihat niihin välittömästi liittyvine rakennuksineen.

Mikäli videovalvontajärjestelmästä tehdään tallentava, tulee rikoslain lisäksi ottaa huomioon henkilötietolaki. Järjestelmä on tallentava, kun videota ja/tai ääntä, tai mitä tahansa muita henkilötietoja kerätään tai käsitellään automaattisen järjestelmän avulla. Mikäli edelliset ehdot eivät toteudu, ei myöskään henkilötietolakia sovelleta. Pelkkää kameravalvontaa ei siis lasketa henkilötietojen käsittelyksi. (Tietosuojavaltuutettu 2008.)

Henkilötietolakia ja sen periaatteita sovelletaan henkilötietojen käsittelyyn siltä osin, joka suoritetaan tallentavan videovalvonnan avulla. Henkilötiedoilla tarkoitetaan tietoja, jotka voidaan yhdistää luonnolliseen henkilöön. Rikoslain ja henkilötietolain lisäksi työpaikoille sijoitettavia kameroita koskee laki yksityisyydensuojasta työelämässä. (Tietosuojavaltuutettu 2001.)

Vaikka kameroiden sijainnista huolimatta valvonta ei olisikaan salakatselua, tulee valvonnan täyttää myös henkilötietolain tai muun lainsäädännön vaatimukset. Kameroita ei voi ripotella rikoslain puitteissa minne tahansa, vaan henkilötietojen keräämiselle on oltava peruste, josta on tehtävä ilmoitus tietosuojavaltuutetulle rekisteriselosteella. On myös huomattava, että tietojen käsittely muulla tavoin kuin etukäteen rekisteriin määritellyssä tarkoituksessa on kielletty. (Halkosaari 2007, 15.)

Mitään yksiselitteistä ohjetta valvontakameroiden asentamiseen ei ole olemassa, vaan jokainen kamera-asennus tarkastellaan tapauskohtaisesti. Eräs tärkeimmistä periaatteista kameravalvonnan toteutuksessa on avoimuus, joka toimii muiden muassa mittarina valvonnan laillisuuteen. Käytännössä avoimuus tarkoittaa sitä, että valvonnan kohteena oleva henkilö tietää olevansa valvonnan alaisena. Esimerkiksi teiden varsilla olevista poliisin nopeusvalvontakameratolpista ilmoitetaan näkyvästi isoilla keltaisilla kylteillä. (Suomen turvaurakoitsijaliitto 2008; Tietosuojavaltuutettu 2008.)

3 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU

Järjestelmän rakenteen suunnittelu lähti liikkeelle ominaisuuksien kartoituksesta. Kameraa oli tarkoitus voida ohjata valinnan mukaan joko langallisesti tai langattomasti. Toisaalta laitetta piti pystyä ohjaamaan tietokoneella tai ilman. Käytännössä tämä tarkoitti kahden erillisen laitteen suunnittelua ja rakentamista. Toinen laitteista toimisi langattomana liityntänä tietokoneen ja kameran välissä ja toinen kameran päässä toimintoja toteuttamassa. Ensimmäinen laite nimettiin hallintayksiköksi ja jälkimmäinen ohjainyksiköksi.

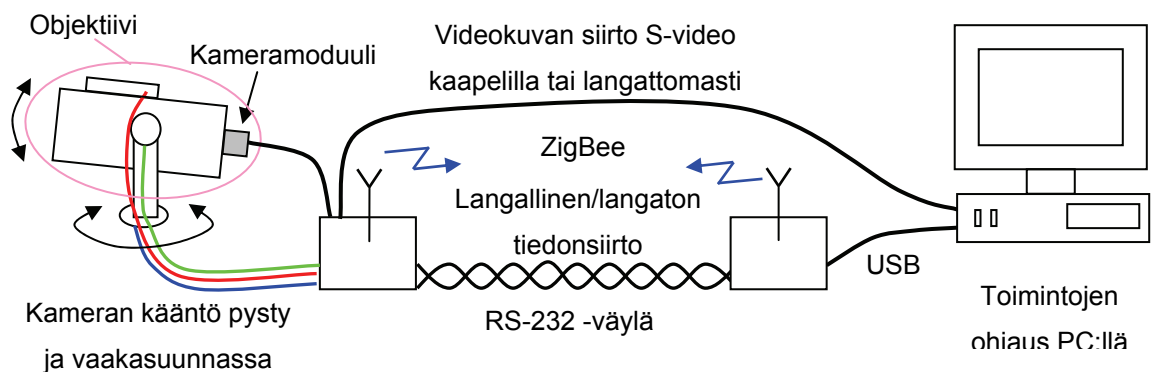
Hallintayksikön tehtävä on toimia mediamuuntimena tietokoneen ja kameran välillä, mutta myös itsenäisenä kameran ohjaimena ilman tietokonetta. Ominaisuuksikartoituksen tuloksena hallintayksikköön haluttiin seuraavanlaiset ominaisuudet:

- LCD-näyttö tilatietojen ja asetusten näyttämiseksi
- USB-väylä tiedonsiirtoon ja kortin tehonsyöttöön (USART0)
- RS-232-väylä tiedonsiirtoon ja lyhyen kantaman langaton ZigBee tiedonsiirtoon (USART1)
- SPI-ohjelmointiliitin
- 4 painonappia hallintayksikön ohjaamiseen
- vapaita portteja tulevaisuuden laajentamista varten
- kotelo
- erillinen, noin 20 napin näppäimistö (optio).

Ohjainyksikön tehtävänä on vastaanottaa käyttäjän antamat komennot hallintayksiköltä / tietokoneelta ja muuttaa ne fyysisiksi toiminnoiksi. Kortin tärkeimmät osat toimintojen toteuttamiseksi olivat mittaustiedon kerääminen ja tiedon hyödyntäminen moottoriohjaimien säätimissä. Ominaisuuskartoituksen kautta ohjainyksikölle haluttiin seuraavanlaiset ominaisuudet:

- LCD-näyttö järjestelmän testaukseen (optio)
- RS-232-väylä tiedonsiirtoon (USART0)
- lyhyen kantaman langaton ZigBee tiedonsiirtoon (USART1)
- SPI-ohjelmointiliitin
- 4 painonappia järjestelmän testaukseen
- vähintään 5 AD-muunninta asentotietojen mittaamiseen
- 2 kpl askelmoottoriohjaimia objektiivin kääntämiseen
- 3 kpl H-siltoja objektiivin säätöjen ohjaamiseen
- vähintään 4 kpl turvarajakytkintuloja
- vapaita portteja tulevaisuuden laajentamista varten
- kameramoduulin tehonsyöttö ja videoliitäntä
- videokuvan siirto langattomasti (optio)
- lämpötila-anturi (optio)
- pystysuuntainen kääntösektori 90°, kääntö ajassa 10 s
- vaakasuuntainen kääntösektori 360°, kääntö ajassa 30 s

Edellisten ominaisuusvaatimusten pohjalta hahmottui kuvion 2 mukainen yleisellä tasolla oleva esitys järjestelmän rakenteesta.

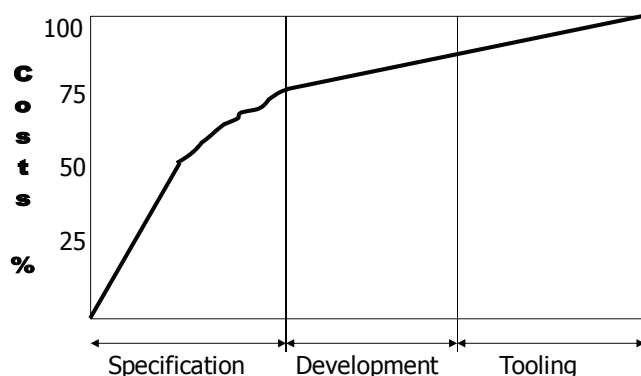


KUVIO 2. Luonnos järjestelmästä

4 KOMPONENTTIVALINNAT

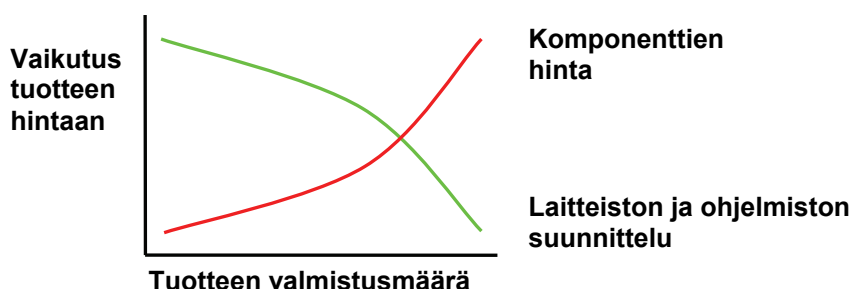
4.1 Yleistä

Komponenttivalintoihin vaikuttavat projektin alussa tehdyt spesifikaatiot eli ominaisuusvaatimukset. Sarjatuotantona valmistettavan tuotteen kustannuksista noin 75 % on lyöty lukkoon tässä vaiheessa (ks. kuvio 3). Tästä syystä tuotteen kustannuksiin ei voi juurikaan vaikuttaa suunnittelun ja tuotannon kautta. (Kotkansalo 2007.)



KUVIO 3. Kustannusten syntyminen tuotannon eri vaiheissa (Kotkansalo 2007)

Prototyypeillä ja pienillä valmistuserillä kustannusrakenne on päinvastainen. Komponenttien osuus kokonaiskustannuksista on murto-osa verrattuna tuotekehityskustannuksiin. Valmistusmäärän kasvaessa kehityskustannukset jakautuvat useamman laitteen kesken, jolloin komponenttien suhteellinen osuus kokonaiskustannuksista kasvaa (ks. kuvio 4).



KUVIO 4. Tuotantomäärän vaikutus kustannusten jakautumiseen

Volyymituotantoon tehtävän laitteen komponenttivalinnat on tehtävä huolellisesti, sillä osien saatavuus vuosien päästä ei ole itsestäänselvyys. Ensisijaisesti pyritään käyttämään oman tuotannon tai sopimusvalmistajan olemassa olevaa komponenttikirjastoa, koska näiden osien toimitukset on yleensä varmistettu useiksi vuosiksi eteenpäin. Puuttuvien komponenttien osalta tilanne on hankalampi. (Kastepohja 2006.)

Komponenttien saatavuus pitää pystyä takaamaan tuotteen koko valmistuslinkaaren ajan, koska muutoin osien loppumisen seurauksena tuotanto pysähtyy. Yleisimpiä komponentteja valmistavat usein kymmenet yritykset, mutta harvinaisempia huonoimmassa tapauksessa vain yksi yritys. Eräänlaisena nyrkkisääntönä voidaan pitää, että samoilla spesifikaatioilla olevilla komponenteilla pitää olla olemassa vähintään kolme eri valmistajaa. Valmistajalla ei tarkoiteta tässä tapauksessa toimittajaa, koska saman valmistajan komponentteja saa useilta eri toimittajilta. (Kastepohja 2006.)

Komponenttien saatavuuteen vaikuttaa luonnollisesti komponenttityypin yleisyys, mutta myös valmistajan ja suurkuluttajien näkemys tuotteen menekistä tulevaisuudessa. Saatavuuteen vaikuttaa myös toimittajan kyky toimittaa tilattu määrä osia sovitussa aikataulussa. Tähän luonnollisesti vaikuttavat toimittajan varastot Suomessa, Euroopassa ja heidän suhteensa osia toimittavaan tehtaaseen. (Kastepohja 2006.)

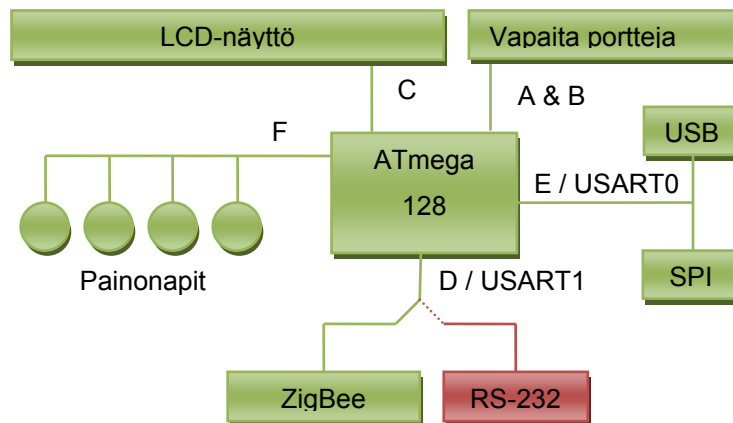
Koska työssä suunniteltavat laitteet eivät ole menossa sarjatuotantoon, ei valmistajien ja toimittajien valinnalla ollut merkitystä. Ainut kriteeri osahankinnoissa oli kustannusten pitäminen kohtuullisina, eli alle 500 €:ssa. Piirilevyjen teettämisestä aiheutuvia kustannuksia ei edellisessä ole otettu huomioon.

4.2 Suunnittelu lohkoakaaviotasolla

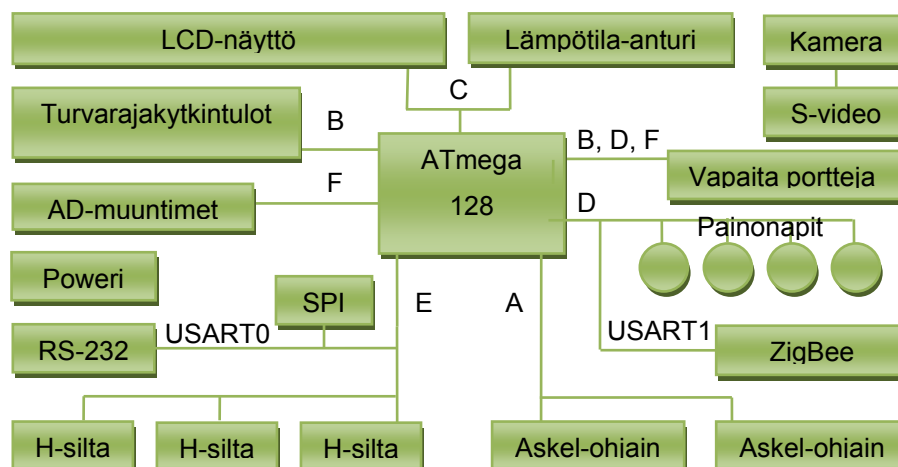
Annettujen ominaisuusvaatimusten pohjalta laitteiden toimintojen ja mikroohjaimen välisistä kytkennöistä tehtiin suunnitelma lohkoakaaviotasolla sekä selvitettiin toimintojen toteuttamiseksi tarvittava I/O-määrä sopivan mikroohjaimen löytämiseksi.

Selvityksen tuloksena todettiin, että hallintayksikössä haluttujen toimintojen toteuttamiseksi tarvitaan 17 I/O-liitäntää ja ohjainyksikössä 44 I/O-liitäntää. Pakollisten I/O-liitäntöjen lisäksi molemmissa laitteissa olisi hyvä olla tulevaisuuden laajennusvarana vapaita I/O-liitäntöjä mahdollisimman monta.

Kuviossa 5 ja 6 on esitettyä hallintayksikön ja ohjainyksikön sisältämät toiminnot lohkokaavioesityksenä. Lohkokaavioiden ensimmäiset versiot eivät sisältäneet tietoa mikro-ohjaimen tyypistä tai porteista, koska sopivan mikro-ohjaimen valinta tehtiin vasta lohkokaavioiden hahmottelun ja porttitarpeen selvittämisen jälkeen. Portti ja mikro-ohjaimen tyyppitiedot on lisätty lohkokaavioihin jälkikäteen havainnollistamaan järjestelmän rakennetta paremmin.



KUVIO 5. Hallintayksikön toiminnot lohkokaaviotasolla



KUVIO 6. Ohjainyksikön toiminnot lohkokaaviotasolla

4.3 Mikro-ohjain

Mikro-ohjaimet ovat edullisia, vähän tehoa kuluttavia ja monikäyttöisiä pieniä tietokoneita. Mikro-ohjaimien suosio on kasvanut viime vuosina huomasti erilaisissa sulautetuissa järjestelmissä, niin yritysten kuin harrastajien keskuudessa. Samoista syistä suunniteltavan laitteiston ytimeksi valittiin mikro-ohjain. Mikro-ohjaimia valmistaa kuitenkin monet yritykset, kuten Atmel, Intel, National Semiconductor, Texas Instruments, Motorola ja Microchip Technology. Atmelin AVR-tuoteperhe erottuu muista valmistajista monipuolisten ominaisuuksien ja helposti opittavan ohjelmointikielen takia. (Koskinen 1998, 147.)

Atmelilla on valikoimissaan useita kymmeniä eri mikro-ohjainmalleja, joiden koteloiden jalkamäärä vaihtelee 8 ja 100:n välillä. Pienimmissä mikro-ohjaimissa on vain 4 I/O-liitäntää suurimpien sisältäessä 86. Atmelilta löytyy lisäksi tehtäväkohtaisia mikro-ohjaimia, joissa erikoisominaisuuksina voi olla esimerkiksi USB-ohjain tai monipuolisempi PWM. Erikoisominaisuudet löytyvät vain ATmega-sarjan piireistä. (Atmel 2008.)

AVR-mikro-ohjaimet on jaettu kolmeen tuoteryhmään ominaisuuksien ja muistin määrän mukaan. Tuoteryhmät ovat kokojärjestyksessä pienimmistä suurimpaan ATtiny, AT90x (classic) ja ATmega (Vahtera 2003, 30). Sopivaa mikro-ohjainta etsittäessä kaksi ensimmäistä tuoteryhmää rajautuivat hyvin nopeasti pois, sillä niissä ei ollut mm. tarvittavaa määrää I/O-portteja ja kahta sarjaliikenneväylää. ATmega128 oli ensimmäinen, joka täytti asetetut vähimmäisvaatimukset, jonka takia se valittiin molempien laitteiden mikro-ohjaimeksi. ATmega128 sisältää muun muassa seuraavat ominaisuudet:

- 128 Kt Flash ohjelmamuistia
- 4 Kt haihtumatonta EEPROM käyttömuistia
- 4 Kt haihtuvaa SRAM luku- ja kirjoitusmuistia, eli käyttömuistia
- 8 kpl AD-muuntimia
- 2 kpl USART-väyliä (sarjaliikenne)
- 53 kpl tulo- ja lähtöliitäntää (I/O)
- Käyttöjännite 4,5 – 5,5 V
- 0 – 16 MHz

Mikro-ohjaimen valinnan jälkeen tehtiin porttivaraussuunnitelmat, joiden tehtävänä oli toimia dokumentaationa sekä vähentää ulkoa muistamisen määrää ja täten helpottaa piirikaavioiden suunnittelua. Porttivaraussuunnitelma pitää sisällään tiedon mikro-ohjaimen porteista ja kanavien numeroista (esim. PORTA.1), signaalin nimistä (esim. V_EN) ja signaalien tarkoituksista (esim. Vaakasuunnan ohjainpiiri päälle). Liitteessä 3 on listattu hallintayksikön ja liitteessä 4 ohjainyksikön portit, signaalin nimet ja niiden käyttötarkoitukset.

Toimiakseen mikro-ohjain tarvitsee jännitteensyötön, kiteen kondensaattoreineen sekä alipäästösuotimen AD-muuntimien jännitesyöttöön, mikäli AD-muuntimet ovat käytössä. Mikro-ohjaimen I/O-portit liitetään joko liitinrimoihin tai muihin mikropiireihin, kuten muisteihin ja ohjainpiireihin. Ohjelmistopäivityksen mahdollistava SPI-ohjelmointiliitin lisätään myös usein, joskaan se ei ole pakollinen. (ATmega128 datasheet 2006, 5 – 7, 39 & 238.)

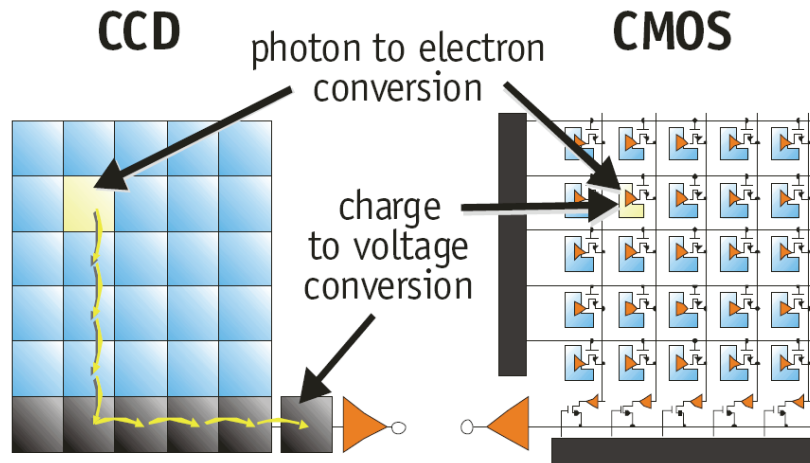
Mikro-ohjaimen laskentatehoon vaikuttaa käytettävä kellotaajuus, joka määritellään kiteen avulla. Kiteen taajuus voi olla mikä tahansa väliltä 0 – 16 MHz, mutta sarjaliikenteen nopeusvirheen minimoimiseksi valittiin 7.3728 MHz kide. Tällä kellotaajuudella toimivan mikro-ohjaimen sarjaliikenneväylän nopeusvirhe on 0.0 % kaikilla eri nopeusvaihtoehdoilla väliltä 2400 bps – 230,4 kbps. Muita soveltuvia kiteiden taajuuksia olisivat olleet 1.8432 MHz, 3.6864 MHz, 11.0592 MHz ja 14.7456 MHz. (ATmega128 datasheet 2006, 195 – 198.)

4.4 Kameramoduuli

Valvontakameroita, kuten kameramoduuleitakin on saatavissa sekä CCD- että CMOS-kennolla varustettuna. Lähes kaikki valvontakamerat ovat kuitenkin CCD-kennoisia, sillä hinta-ero CCD:n hyväksi on huomattava. Pohjimmiltaan tekniikat ovat samantyyppisiä, sillä molemmissa valon määrää mitataan valoherkän pinnan avulla. Kennojen erot liittyvät pääasiassa käytettyyn valmistus- ja puolijohdetekniikkaan sekä kennon kuvasignaalin käsittelyyn. (Rinne 2003.)

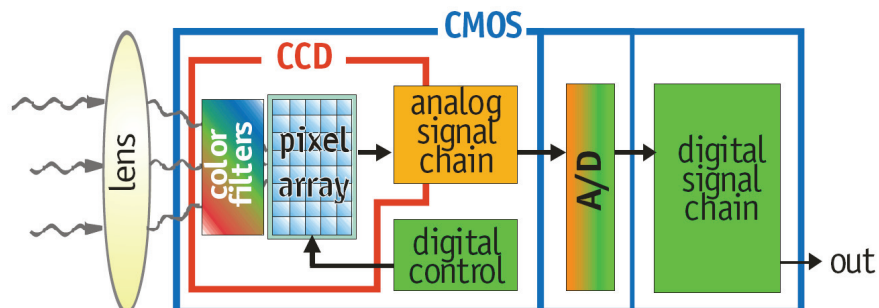
Kuviossa 7 on esitetty kennojen rakenteellisia sekä kuvasignaalin siirto- ja käsittelyketjun eroja. CCD-kennossa kuvapikselien varaukset siirretään pikseli

kerrallaan jonossa kennorakenteen läpi vahvistimelle ja edelleen ulkoiselle AD-muuntimelle, jossa varaustasoa vastaava jännite muutetaan binääriarvoksi. CMOS kennossa jokainen kuvapikseli itsessään tekee muunnoksen varauksesta jännitteeseen ja edelleen vahvistaa sen, minkä lisäksi kuvakennon laidalta löytyvät AD-muunnin ja ohjauspiirit. CMOS-kennon digitaalisuus mahdollistaa esimerkiksi vain haluttujen pikselien lukemisen. (Litwiller 2005.)



KUVIO 7. Tekniikoiden väliset rakenteelliset erot kuvakennotasolla (Litwiller 2005)

CMOS-kenno on periaatteessa sama kuin CCD-kennon, AD-muuntimen ja ohjainpiirin yhdistelmä, sillä molemmat tekniikat vaativat toimiakseen samat lohkot (ks. kuvio 8). CMOS-tekniikka mahdollistaa kaikkien näiden osien sijoittamisen piille, kun CCD-tekniikassa vastaavat osat sijaitsevat erillispiireinä kennon ulkopuolella. (Litwiller 2005.)



KUVIO 8. CCD- ja CMOS-kennojen rakenne lohkokaaavioesityksenä (Litwiller 2005)

CMOS-tekniikalla on halvemmat tuotantokustannukset kuin CCD:llä, sillä CMOS-kennoja voidaan valmistaa missä tahansa puolijohdteita valmistavassa tehtaassa. Toisin kuin CCD, CMOS-tekniikka mahdollistaa vastusten ja kondensaattoreiden valmistamisen piille (Aaltonen, Kousa & Stor-Pellinen 2004, 145). Osien integrointi yhdelle piilastulle säästää tilaa sekä pienentää tehonkulutusta. CMOS-kennojen huonoiksi puoliksi voidaan luetella kuvakohina sekä huonompi valoherkkyys, joka johtuu kuvapiksenlin pinta-alan vajaatäytöstä eli huonosta täyttökertoimesta (vrt. keskenään kuvion 7 CCD- ja CMOS-kennojen sinisellä värjättyjen valoherkkien pikseleiden kokoeroa). (Litwiller 2005; Rinne 2003.)

Kennon valoherkkyys tarkoittaa kykyä kerätä valoa. Mitä herkempi kenno, sitä pienemmällä valomäärällä se pystyy tuottamaan selkeää kuvaa. Kameran pimeänäkökykyä voidaan parantaa käyttämällä infrapunavalohkeitä (ks. kuvio 9). Infrapunavalo on ihmissilmälle näkymätöntä, mutta useimmat mustavalkovalvontakamerat voivat hyödyntää sitä näkyvän valon tavoin. (Suomen turvakamera 2004.)



KUVIO 9. Pimeänäkö infrapunavalon avustuksella

Kameran pimeänäköön vaikuttaa oleellisesti kennon valmistustekniikka ja valoherkkyys, mutta myös kennon edessä käytettävät suotimet. Yleisimmin käytettävät suotimet ovat väri- ja infrapunasuodin. Värisuodin muuttaa mustavalkokennon värilliseksi, samalla heikentäen kennon valovoimaa ja pudottaen sen tehollista resoluutiota. Useimmiten värisuodin toimii infrapunasuotimena, aivan kuten erillinen infrapunasuodinkin. Infrapunasuodin ei ole turha, mutta pimeänäön kannalta siitä on haittaa. Edellisistä syistä johtuen CCD-mustavalkokameroilla on parempi pimeänäkökyky sekä värikameroita suurempi erottelukyky. (Suomen turvakamera 2004.)

Kameroiden teknisissä tiedoissa mainitaan lähes poikkeuksetta minimivalon-tarve, joka kertoo kuinka paljon kamera tarvitsee valoa hyväksyttävän kuvan muodostamiseksi. Esimerkiksi Watec LCL-902H2/Ultimate-valvontakameran herkkyys on 0.0001 lx. Suuresta herkkyydestä johtuen kyseistä kameratyyppiä käytetään tilojen valvomisen lisäksi muun muassa tähtitaivaan tapahtumien seuraamiseen. Esimerkiksi tähtitaivasta kuvattaessa infrapunavalonlähteen käyttäminen on täysin turhaa, samaisesta syystä nimenomaan kameran valoherkkyys ratkaisee soveltuvuuden käyttökohteeseen. Taulukossa 1 on esimerkkejä valon määrästä erilaisissa ympäristöissä. (Yrjölä 2008.)

TAULUKKO 1. Valaistuksen vaikutus valon määrään (Suomen turvakamera 2004)

Valaistustaso	Luksia [lx]
Kirkas auringonpaiste	>100000
Normaali päivänvalo	10000
Täysin pilvinen päivänvalo	1000
Toimistovalaistus	400
Iltahämärä	100
Syvä iltahämärä	10
Täysikuu	0,1
Tähtitaivas	0,001

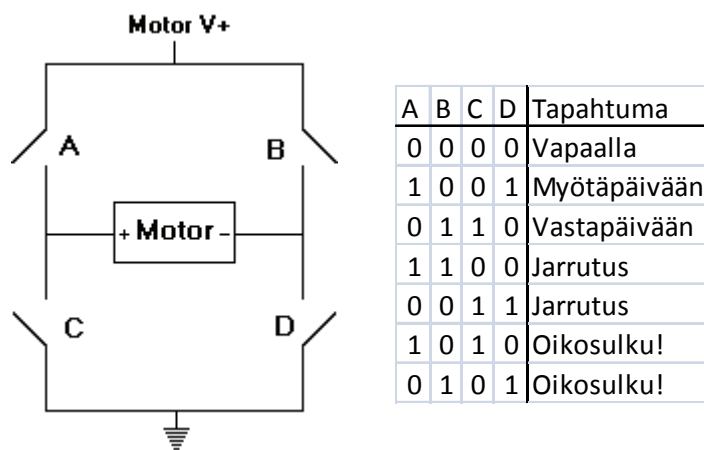
Kaksi tärkeää ja huomionarvoista ominaisuutta ovat kameran automaattinen iiris ja kirkkauden tason säätö, joiden tehtävänä on estää kuvan yli- ja alivalotuminen. Iiris voidaan toteuttaa kahdella tavalla: fyysisellä aukkosäädöllä tai sähköisesti kennon kuvasignaalia manipuloimalla. Ensimmäinen on huomattavasti

tavasti parempi vaihtoehto, sillä se vähentää oikeasti kennolle saapuvan valon määrää. Kustannus-, paino- ja kokorajoituksista johtuen kaikissa valvontakameroissa ei kuitenkaan ole oikeaa aukkosäätöä, vaan se on toteutettu sähköisesti. Automaattinen kirkkauden tason säätö vuorostaan vaikuttaa nimensä mukaisesti kuvan yleiseen näkymään, vaalentaen ja tummentaen kuvaa tarpeen mukaan parhaan näkymän aikaansaamiseksi.

Kameramoduulia valittaessa edullinen hinta ohitti muut ominaisuudet ja näin valituksi tuli Sharpin 1/4" PAL CCD-värikameramoduuli. Valitussa kameramoduulissa on mm. elektronisesti säätävä iiris (automaattivalotus) ja automaattinen kirkkauden tason säätö (ks. liite 5). Kameran videosignaalin siirrosta langattomana päätettiin luopua, sillä lähettimen ja vastaanottimen hankinta olisi nostanut kokonaiskustannuksia liikaa. Videosignaalin langaton siirto on kuitenkin mahdollista jälkikäteen asennettavan lähettimen avulla.

4.5 H-silta

Mikäli DC-moottoria on pystyttävä pyörittämään myötä- ja vastapäivään, sekä nopeutta säädettyä, on ratkaisuna H-silta. Nimensä silta saa kytkennän ulkonäöstä, joka muistuttaa H-kirjainta. Sillan tilasta riippuen moottori pyörii myötä- tai vastapäivään, jarruttaa tai pyörii vapaasti (ks. kuvio 10). H-sillan voi toteuttaa esimerkiksi releillä, transistoreilla tai FETeillä. Sillan perusrakenne pysyy käytetyistä komponenteista huolimatta aina samana. (Huhtama 2008.)



KUVIO 10. H-sillan toimintaperiaate ja totuustaulu

Rele on edellä esitetyistä vaihtoehtoista kaikkein huonoin, sillä sitä ei voida käyttää moottorin nopeuden säätämiseen PWM:lla eli pulssinleveysmodulaatiolla. Ongelmina ovat releen kytkentänopeuden hitaus, kärkien rajallinen kestävyys, kärkien kiinnipalaminen ja niiden hapettuminen toistuvia kytkentöjä tehtäessä.

Relettä parempi vaihtoehto on käyttää transistoreita. Transistorit mahdollistavat nopeuden säätämisen PWM:lla, mutta syntyvät jännite- ja tehohäviöt ovat usein ongelmana. Moottorin käydessä aina kaksi transistorista on johtavassa tilassa, jolloin niiden kynnyksjännitteiden aiheuttama jännitehäviö on yhteensä noin 1.4 V. Vaikka jännitehäviö ei kuulosta suurelta, on syntyvä tehohäviö huomattava pienillä käyttöjännitteillä. Esimerkiksi 12 voltin 50 watin moottorin teho putoaa jännitehäviön seurauksena noin 39 wattiin, lopun 11 watin muuttuessa lämmöksi transistoreissa. Syntyvä hukcateho on poistettava kunnollisella jäähdytyksellä, josta puolestaan syntyy ylimääräisiä kustannuksia ja painoa. (Huhtama 2008.)

Paras vaihtoehto on käyttää eristehilakanavatransistoreja eli FETtejä. Niiden etuna on nopeus ja hyvin pieni sisäinen resistanssi, joka on tyypillisesti alle 0.1Ω . Täten ne soveltuvat erittäin hyvin nopeaan kytkinkäyttöön ja suurien virtojen ohjaamiseen. Pienen sisäisen resistanssin takia lämpeneminen on vähäistä, toisaalta eniten lämpöä syntyy FETin avautuessa ja sulkeutuessa. Avautumisesta ja sulkeutumisesta syntyvän hukcatehon minimoimiseksi FETtien pitäisi olla mahdollisimman nopeita, eli avautumis- ja sulkeutumisaikojen pitäisi olla mahdollisimman lyhyet. (Huhtama 2008.)

FETit jaetaan valmistusprosessin mukaan liitoskanavatransistoreihin (JFET) ja eristehilakanavatransistoreihin (IGFET, eli MOSFET), jonka lisäksi MOSFETit jaetaan vielä sulku- ja avaustyyppisiksi. Edellä esitetyt FET-tyypit jaetaan N- ja P-kanavaisiksi, aivan kuten transistorit NPN ja PNP tyyppisiksi (ks. liite 7). Yleisimpiä FET -tyyppejä on siis kuusi erilaista, jonka lisäksi löytyy erilaisia muunnelmia, kuten MESFET ja IGBT. (Aaltonen ym. 2004, 145 – 154.)

Yksinkertaisin H-silta FETeillä syntyy käyttämällä sillan ylähaarassa, eli jänniteensyötön puolella P-kanavaisia ja alahaarassa, eli maan puolella N-

kanavaisia avaus-tyyppin MOSFETtejä. Kytkennän hyviä puolia ovat yksinkertainen toteutus, pienet tehohäviöt ja pienitehoisena siltana edullinen hinta. Huonoina puolina ovat P-tyyppin FETtien suurempi sisäinen resistanssi, huomattavasti pienempi virtakesto N-tyyppin FETeihin verrattuna, sekä suuritehoisena siltana kallis hinta. (Brown 1998.)

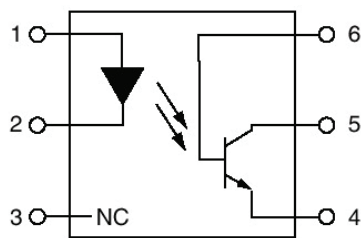
Tehonkestoltaan parempi, mutta kytkennältään monimutkaisempi silta syntyy käyttämällä pelkästään N-kanavaisia avaustyyppin MOSFETtejä. N-kanavaiset FETit tarvitsevat täysin avautuakseen vähintään 7 V sillan käyttöjännitettä suuremman ohjausjännitteen. Sillan alahaarassa tämä ei ole ongelma, sillä ohjausjännite on maata vasten mitattuna usein lähellä sillan käyttöjännitettä, eli reilusti yli vaaditun rajan. Ylähaara aiheuttaa kuitenkin ongelmia, sillä ohjausjännitteen pitää olla sillan käyttöjännitettä suurempi. Ratkaisuna ongelmaan on ohjainpiiri, joka nostaa ohjausjännitteen riittävän suureksi. Huonoina puolina ohjainpiiri lisää tarvittavien komponenttien määrää, samalla monimutkaisten kytkentää ja lisäten kustannuksia. Säästöä syntyy toisaalta edullisimmista N-kanavaisista FETeistä, sekä pienemmästä jäähdytyksen tarpeesta FETtien pienemmän sisäisen resistanssin seurauksena. (Brown 1998.)

Ohjattavien moottoreiden pienen tehon takia valittiin kytkennältään yksinkertaisempi P- ja N-kanavaisilla FETeillä toteutettu H-silta. Sillassa syntyvät tehohäviöt ovat olemattomat, sekä hintaero olematon virtakestoltaan noin ampeerin kestävillä N- ja P-tyyppin FETeillä.

4.6 Optoerotin

Usein ohjainpiirien ja tehokomponenttien virtojen ja käyttöjännitteiden erot ovat niin suuria, että vikatilanteessa koko laitteisto saattaa tuhoutua korjauskelvottomaksi. Laitteistoa voidaan suojata ja vahinkoja rajoittaa erottamalla ohjainpiirit ja tehokomponentit toisistaan galvaanisesti. Galvaaninen erotus tarkoittaa kahden virtapiirin eristämistä siten, etteivät ne ole sähköisesti yhteydessä toisiinsa. Yhtenä vaihtoehtona galvaaniseksi erottimeksi on rele, mutta huomattavasti parempi vaihtoehto on optoerotin muun muassa pienen tehonkulutuksen ja suuren kytkentänopeuden vuoksi.

Optoerotin on komponentti, joka muodostuu samaan koteloon sijoitetusta valodiodista ja fototransistorista (ks. kuvio 11). Optoerotin muuttaa ohjaussignaalin optiseksi signaaliksi (valoksi) ja edelleen takaisin sähköiseksi signaaliksi. Tällä tavoin ohjaussignaali kulkee piiriltä toiselle ilman, että ne ovat sähköisesti yhteydessä toisiinsa. Koska opton molemmat puolet ovat toisistaan erillään, niissä voi olla erisuuruiset jännitteet, kuten esimerkiksi 5 V ja 12 V. (Aaltonen ym. 2004, 77.)



KUVIO 11. Optoerotin rakenne (4N25-M datasheet 2005)

Koska ohjainpiirin ja tehokomponentin välillä ei ole galvaanista yhteyttä, jännitepiikkien ja muiden häiriöiden pääsy piiriltä toiselle estyy suojaten näin rikkoutumiselta (Aaltonen ym. 2004, 77). Vikatilanteessa tehokomponentti hajottaa usein opton, jonka ansiosta laitteen muun elektroniikka säilyy ehjänä. Jännitepiikin tulee olla todella suuri, jotta opton toisella puolella oleva ohjainpiiri hajoaisi. Optojen eristyskyky on vähintään tuhansia voltteja, esimerkiksi 4N25-M:n eristyskyky on 7500 V (4N25-M datasheet 2005).

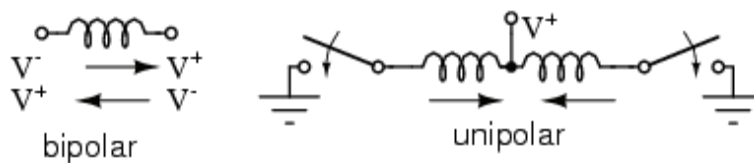
Vaikka ohjainyksikön H-silloissa ei normaalitilanteessa kulje suuria virtoja, on sillan 12 V käyttöjännite tuhoisa mikro-ohjaimelle. Mikro-ohjaimen suojelemiseksi valittiin 4N25-M optoerotin, joka on muun muassa riittävän nopea PWM signaalille.

4.7 Askelmoottori

Askelmoottorin toiminta eroaa DC-moottorista huomattavasti. Askelmoottori ei pyöri vapaasti, vaan nimensä mukaisesti askelittain. Moottorille on kerrottava, mihin suuntaan sen on pyörittävä ja kuinka paljon. Moottorin toimintatavasta

johtuen ohjaaminen vaatii erillisen ohjainpiirin. Ennen ohjainpiirin valintaa edessä oli kuitenkin tehtävään soveltuvan askelmoottorin etsintä ja valinta.

Askelmoottoreita on kahdentyyppisiä, bipolaarisia ja unipolaarisia. Unipolaariset ovat 5, 6 tai 8 johtimisia, bipolaariset 4 tai 8 johtimisia. Unipolaarisista moottoria pystyy käyttämään bipolaarisena, mikäli keskitapin V^+ jättää kytkemättä (ks. kuvio 12). Askelmoottorin tyyppi vaikuttaa ohjaimen ohjaussignaalien järjestykseen. (Crunkilton & Kuphaldt 2007.)

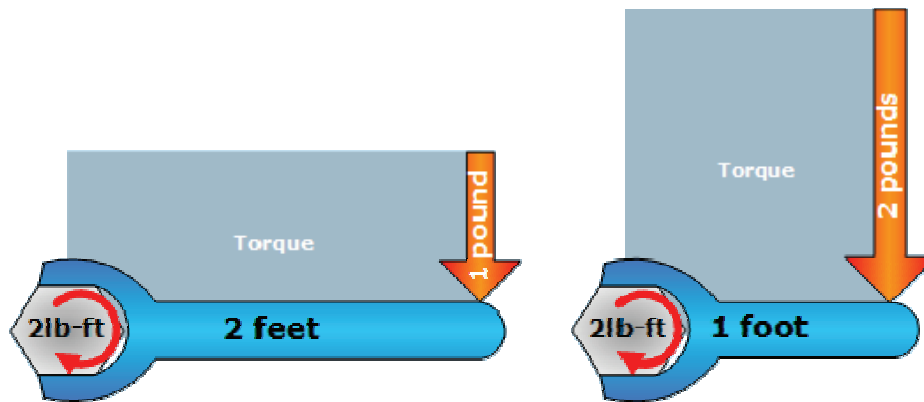


KUVIO 12. Bipolaarisen ja unipolaarisen moottorin ero (Crunkilton & Kuphaldt 2007)

Askelmoottorin valintaan vaikuttaa sen vääntö- ja jarruvoiman suuruus, jotka ilmoitetaan Newtonmetreinä, Nm. Voimien tulisi olla riittävän suuret, jotta kameran kääntäminen ja paikallaan pitäminen pysty- ja vaakasuunnassa olisi mahdollista. Momentin kasvaessa liian suureksi askelmoottori alkaa jättää askelia välistä. Tämän seurauksena askelmoottorihjain menettää asematietonsa, ellei erillistä takaisinkytkentää ole toteutettu, kuten yleensä ei ole. (Crunkilton & Kuphaldt 2007.)

Voimalla on veto- ja työntövaikutuksen lisäksi vääntövaikutus. Väännön suuruutta kuvaa voiman momentti, jonka useimmat tuntevat vääntömomenttina. Väännön yksikkönä on Newtonmetri, joka on SI-järjestelmän johdannaisyksikkö. Vääntömomentilla tarkoitetaan voimaa, joka syntyy vaakasuoraan vipuvarteen kohdistuvan kohtisuoran voiman seurauksena. Vääntömomentti saadaan lasketuksi kaavalla $\tau = F \cdot r$, jossa F on voima ja r vipuvarren pituus. Esimerkiksi metrin vipuvarren päähän sijoitettu 1.02 kg punnus aiheuttaa 10 Nm väännön tukipisteeseen. Asian voi ajatella myös toisinpäin: moottori, jonka akselin vääntömomentiksi on ilmoitettu 10 Nm, pystyy pitämään paikallaan 1.02 kg punnuksen metrinpituisen vipuvarren päässä. Toisaalta sama moottori

pystyy pitämään 2.04 kg punnusta paikallaan 50 cm pituisen vipuvarren päässä (ks. kuvio 13). (Craig 2008.)

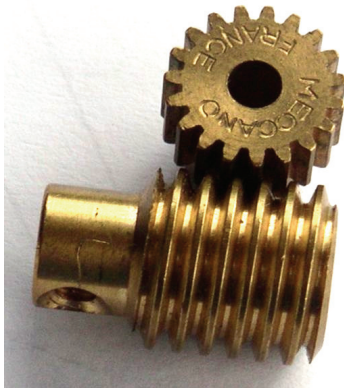


KUVIO 13. Etäisyyden vaikutus voimaan, kun vääntö on vakio (Craig 2008)

Halpojen, noin 10 euron hintaisten askelmoottoreiden ongelmana on huono vääntö- ja jarruvoima, tehokkaampien vuoroista satojen eurojen hinta. Moottoreiden valinta olikin tästä syystä hinnan ja voiman kompromissi. Askelmoottoreiksi valittiin kaksi kappalehinnaltaan noin 50 euron hintaista Nanotecin bipolaarista askelmoottoria, jotka olivat tyypiltään ST5709S1208-B. Moottorin teknisissä tiedoissa suurimmaksi vääntö- ja jarruvoimaksi ilmoitettiin 1.06 Nm, kun kierrosnopeus on alle 70 kierrosta/min (<467 askelta/s). Moottorin maksimi askellusnopeus on 1000 askelta/s (150 kierrosta/min), jolloin vääntö- ja jarruvoimat putoavat huomattavasti. Pienestä väännöstä ja suuresta kierrosnopeudesta johtuen vaihteiston käyttö on pakollista.

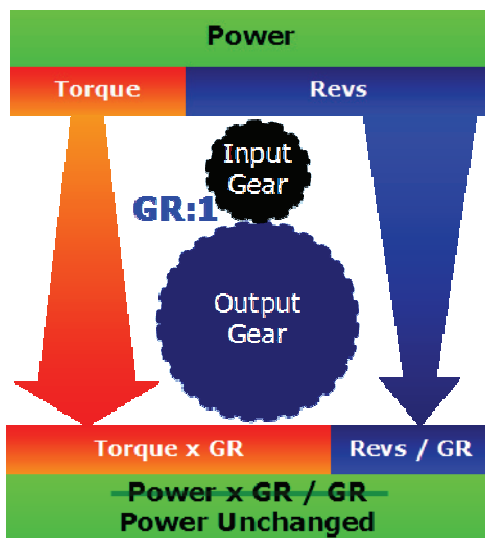
4.8 Vaihteisto

Yleisimmin käytettyjä vaihteistotyyppisiä ovat hammaspyörä-, kierukka-, kulma-, planeetta-, ketju- ja hihnavaihteistot. Kierukkavaihteisto on edellisistä vaihtetyypeistä mielenkiintoisin, sillä sen avulla saadaan aikaan suuri välityssuhde ja rakenteesta johtuen itsestään pyörimistä ei pääse tapahtumaan, jolloin erillistä jarrua ei tarvita (ks. kuvio 14). Itse jarruttavuuden takia akseli pysyy paikallaan ilman moottorin tuottamaa jatkuvaa jarruvoimaa. (Matilainen 2006).



KUVIO 14. Kierukkavaihteen rakenne

Vaihteiston avulla voimaa pystytään kasvattamaan nopeuden kustannuksella tai päinvastoin. Vaihteiston välityssuhde vaikuttaa suoraan verrannollisesti vääntöön ja kääntäen verrannollisesti nopeuteen. Välityssuhteella 10:1 vääntö kymmenkertaistuu ja pyörimisnopeus putoaa kymmenenteen osaan, tehon pysyessä ideaalitapauksessa samana (ks. kuvio 15). Todellisuudessa vaihteisto ei ole häviötön, vaan siihen hukkuu osa tehosta. Vaihteiston häviötä kuvataan hyötysuhde kertoimella η , joka vaihteiston tyypistä riippuen on useimmiten 0.90 - 0.99 (ks. liite 7). Muista vaihteistotyypeistä poiketen kierukkavaihteen hyötysuhde vaihtelee välillä 0.20 - 0.98, koska siihen vaikuttaa matopyörän ja kierukkapyörän hampaiden välinen kulma, materiaalit sekä kitakerroin. (Craig 2008.)



KUVIO 15. Vaihteiston vaikutus vääntöön ja kierrosnopeuteen (Craig 2008)

Vaihteistojen mitoitukset tehtiin ottaen huomioon kääntösektoreiden suuruudet ja annetut nopeusvaatimukset. Mitoituksessa käytettiin askelmoottorin akselin pyörimisnopeutena 50 kierrosta/min, joka mahdollistaa kääntymisnopeuden optimoinnin moottorin kierrosnopeutta muuttamalla maksimivääntöalueella (0 – 70 kierrosta/min). Vaihteistojen välityssuhteet (GR) laskettiin aika- ja sektori-tekijät huomioon ottaen kaavalla:

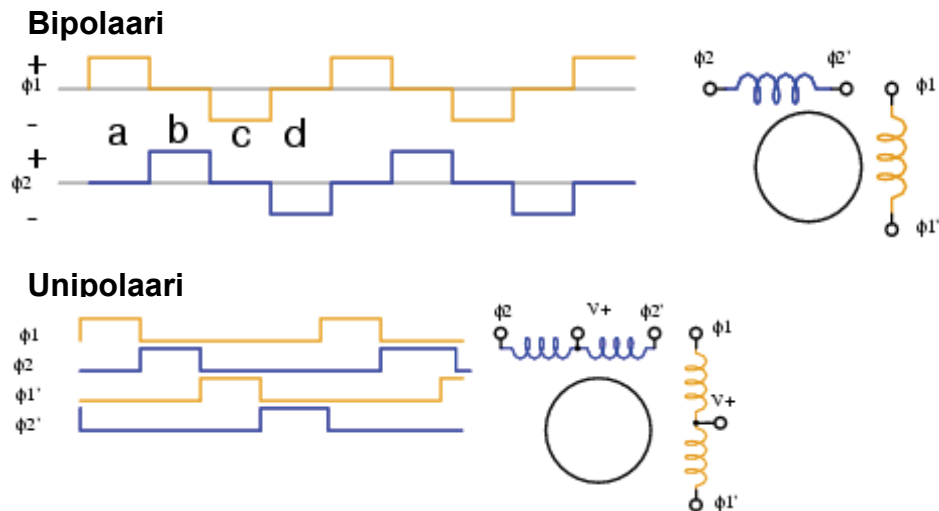
$$GR = \frac{R \text{ kierrosta/min}}{\frac{S}{360} \text{ kierrosta}} \cdot \frac{T}{60} \text{ min}$$

jossa R on moottorin kierrosnopeus minuutissa, S kääntösektorin suuruus asteina ja T sektorin laidasta laitaan kuluva kääntöaika sekunteina. Annetut spesifikaatiot toteutuvat pystysuunnan moottorin vaihteiston välityssuhteella 33:1 ja vaakasuunnan moottorin vaihteiston välityssuhteella 24:1. Vaihteistot toteutetaan kierukkavaihteella tai suorahampaisen ja kierukkavaihteen yhdistelmällä.

4.9 Askelmoottoriohjain

Askelmoottorin ohjaaminen on sen toimintatavasta johtuen DC-moottoria monimutkaisempaa. DC-moottoreiden tapaan ohjaaminen suoraan mikro-ohjaimen porteilla ei ole mahdollista, sillä porteista saatava 5 V jännite ja enintään 40 mA virta eivät riitä moottorin pyörittämiseen (ATmega128 datasheet 2006, 322). Helpoin ja yksinkertaisin ratkaisu askelmoottorin ohjaamiseksi on käyttää valmista ohjainpiiriä, jotka tarjoavat usein erilaisia lisäominaisuuksia, kuten ylivirranrajoittimen ja ylikuumenemissuojan.

Bipolaari askelmoottorin ohjaussignaalit ovat unipolaarisen ohjaussignaaleja hieman monimutkaisemman näköisiä (ks. kuvio 16). Ohjainpiirien käyttö helpottaa huomattavasti molempien askelmoottorityyppien signaalien muodostamista, sillä piirit tarvitsevat vain tiedon akselin halutusta pyörimissuunnasta, askellustavasta ja askellusnopeuden eli kellosignaalin, lopun hoituessa itsensä.



KUVIO 16. Bipolaari ja unipolaari askelmoottorin ohjaussignaalien ero

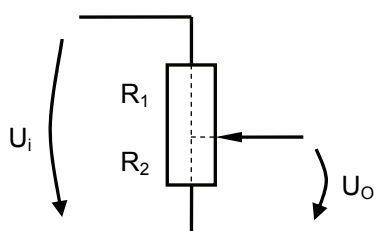
Askelmoottorihajaimiksi valittiin usean eri vaihtoehdon tutkimisen jälkeen STMicroelectronicsin L6228, joka soveltuu enintään 1.4 A ottavalle, 8 – 52 V jännitteellä toimivalle bipolaari askelmoottorille (L6228 datasheet 2003). Piirissä on sisäänrakennetut logiikkatulot signaaleille, jonka takia erillinen optoerotus ei ole pakollinen muun järjestelmän suojaamiseksi. Piiri mahdollistaa askelmoottorin ajamisen puoli- tai kokoaskelmoodissa, jonka lisäksi siitä löytyy ylivirranrajoitin ja ylikuumenemissuoja.

4.10 Asennon mittaaminen

Asennon mittausmenetelmät voidaan jakaa absoluuttiseen ja suhteelliseen mittaamiseen. Absoluuttinen asennonmittaus kertoo tarkalleen mitattavan kohteen asennon tai sijainnin tietyn referenssipisteen suhteen. Sovelluksesta riippuen referenssipisteenä voi toimia esimerkiksi maan pinta tai jokin muu ennalta määritelty piste, kuten kääntösektorin toinen äärilaita. Absoluuttianturi tietää kokoajan asemansa, eikä 0-pisteessä käynti ole tarpeen. Suhteellinen mittaus kertoo edellisestä poiketen vain liikkeen suunnan ja suuruuden kahden pisteen välillä. Mikäli suhteellisen mittauksen tulosta halutaan käyttää absoluuttisena, täytyy järjestelmä käyttää 0-pisteessä, esimerkiksi kääntösektorin toisessa äärilaidassa. (Honkanen 2003.)

Asennonmittaaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi potentiometrillä, valosähköisellä pulssianturilla, kiihtyvyyssanturilla, gyroskoopilla tai inkrementtianturilla. Potentiometri on edellisistä vaihtoehdoista yksinkertaisin ja toteutustavasta riippuen edullisin, joskaan ei tarkin tai käyttöikänsä pitkäikäisin. Hyvälaatuisella tarkkuuspottiometrillä pääsee alle 0.5° mittaustarkkuuteen, käyttöikänsä ollessa jopa miljoonasta sataan miljoonaan kierrokseen. Potentiometri soveltuu erittäin hyvin järjestelmiin, joissa tarvitaan absoluuttista asentotietoa, jossa asennon muutos ei ole jatkuvaa ja jonka mitta-alue on rajoitettu tietylle alueelle, esim. $0 - 360^\circ$. (Honkanen 2003.)

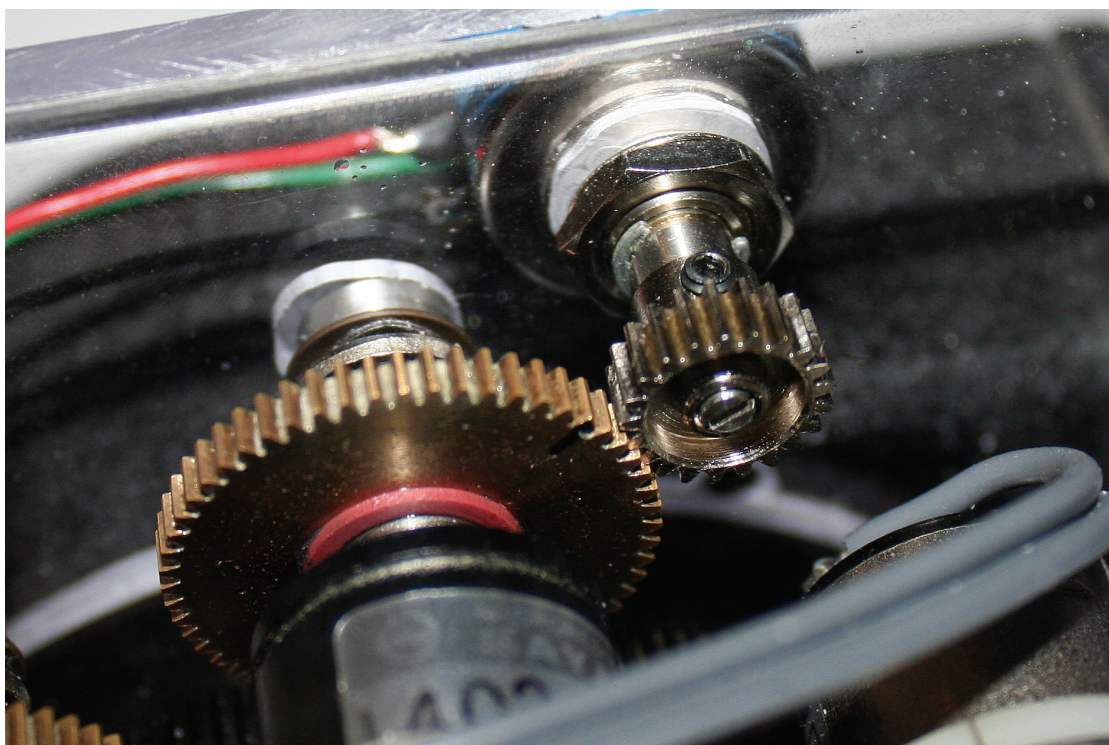
Asennonmittaaminen potentiometrillä perustuu resistanssin muutoksesta aiheutuvan jännitteen muutoksen mittaamiseen. Potentiometri voidaan ajatella kahdeksi sarjaan kytketyksi vastukseksi, joista muodostuu jännitteenjako kytkentä (ks. kuvio 17). Potentiometrissä ulostuleva U_o jännite noudattaa kuormittamattomana kaavaa $U_o = U_i \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, jossa potentiometrin kokonaisresistanssi on jakautunut R_1 ja R_2 :ksi samassa suhteessa potentiometrin asennon kanssa. Potentiometrin ääri-laidoilla jännite vastaa käyttö- ja 0 V jännitettä, ulostulon muuttuessa lineaarisesti näiden välillä. Jännite mitataan mikro-ohjaimen 10-bittisellä AD-muuntimella, jonka sisäinen tuloimpedanssi on niin suuri, ettei kytkentä kuormitu käytännössä lainkaan. (Aaltonen ym. 2004, 7.)



KUVIO 17. Potentiometrin jännitteenjako

Valvontakamera sisältää viisi moottoria, joista kolme on objektiivissa ja kaksi kääntöjalustassa. Asennonmittaukset toimivat takaisinkytkentätietona moottorien säätimille, mahdollistaen muun muassa kiinnostavien kohteiden sijainnin tallentamisen ja kameran aseman palauttamisen kiinnostavaan kohteeseen tallennettujen tietojen perusteella. Asennonmittausta varten valittiin laadukkaat

Vishayn 3-kierros potentiometrit, jotka yhdistettiin moottoreihin hammaspyörien välityksellä (ks. kuvio 18).



KUVIO 18. Yksi viidestä potentiometrissä mittaamassa asentoa

Mittauksen dynamiikan, eli herkkyden määrittää AD-muuntimen bittisyys. ATmega128:n AD-muuntimet ovat 10 bittisiä, eli ne pystyvät esittämään analogisen jännitteen 1024 eri jännitetasona. Mitattaessa esimerkiksi 0 - 5V jännitealuetta tämä tarkoittaa 4.9 mV resoluutiota, joita pienempiä jännitemuutoksia ei ole mahdollista havaita. AD-muuntimia päätettiin käyttää alennetulla 8-bitin tarkkuudella, jolloin käytössä on 256 eri jännitetasoa eli 19.5 mV resoluutio.

AD-muuntimen lisäksi mittaustarkkuuteen vaikuttaa potentiometrin liikeradan suuruus, eli potentiometrissä ulostulevan jännitteen vaihteluväli. AD-muuntimen dynamiikan pystyy hyödyntämään täydellisesti vain, mikäli potentiometrin ulostulo kattaa tasan 100 % AD-muuntimen mitta-alueesta. Mikäli jännite jää vajaaksi jommastakummasta tai molemmista päistä, ei AD-muuntimen kaikkia jännitetasoja saada käyttöön. Jännitetasojen menettäminen tarkoittaa tarkkuuden huononemista, jonka lisäksi usein tarvitaan ylimääräinen signaalin skaalaaminen.

Hammaspyörien mitoitusta varten selvitetiin jokaisen toiminnon liikeradan suuruus asteina ja mikäli oli mahdollista, myös liikkeen toteuttamiseksi tarvittava hammasmäärä. Esimerkiksi aukon potentiometrin hammaspyörään liittyvä mitoitus, sekä hammaspyörän valinnasta seuraava dynamiikan ja mittaus-tarkkuuden heikentyminen laskettiin seuraavasti: Hammaspyörän koko

$$\frac{61}{3} \approx 20.33 \Rightarrow 21, \text{ potentiometrin liikeradan suuruus } \frac{61}{21} \approx 2.91 \text{ ja dynamiikka}$$

$$\frac{2.91}{3} \approx 0.97 \Rightarrow 97.0\%, \text{ sekä mittaustarkkuus } \frac{73.2^\circ}{0.97 \cdot 256 \text{ askelta}} \approx 0.30^\circ/\text{askel.}$$

Taulukkoon 2 on laskettu edellisen esimerkin mukaisesti kunkin toiminnon tiedot liikeratojen suuruudesta hampaina ja asteina, valittujen hammaspyörien hammasmääristä, potentiometriin liikeratojen suuruudesta, dynamiikoista sekä mittaustarkkuuksista asteina. Vaaka- ja pystysuunnan potentiometriin hammaspyöriä ei mitoitettu keskeneräisen mekaniikan vuoksi. Näiden kahden osalta lasketut tarkkuudet toteutuvat vain dynamiikan ollessa 100 %.

TAULUKKO 2. Hammaspyörien mitoitus

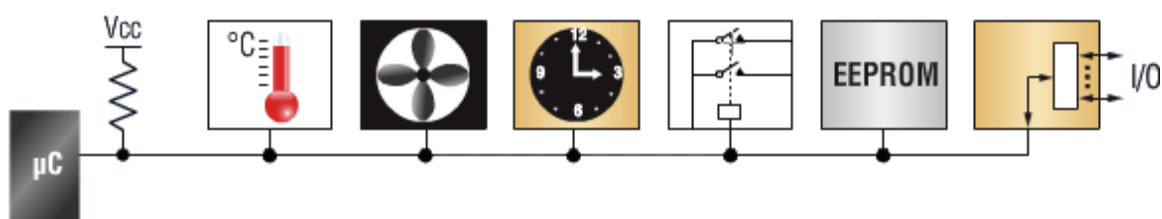
Moottori	Liikerata [hammasta / °]	Hammaspyörä [hammasta]	Potentiometrin liikerata	Dynamiikka [%]	Tarkkuus [°]
Zoom	59 / 70.8°	20	2.95 / 3	98.3 %	0.28°
Aukko	61 / 73.2°	21	2.91 / 3	97.0 %	0.30°
Tarkennus	66 / 79.2°	22	3.00 / 3	100.0 %	0.31°
Vaaka	/ 380°		/ 3		>1.48°
Pysty	/ 90°		/ 3		>0.35°

4.11 Lämpötilan mittaaminen

Lämpötilaa voidaan mitata usealla eri menetelmällä, kuten termoelementillä, NTC/PTC-vastuksella tai infrapuna-anturilla. Kaksi ensin mainittua vaihtoehtoa tarvitsevat toimiakseen vahvistimen ja signaalin sovitusta, infrapunamittauksen ollessa monimutkainen ja kallis tapa yhden pisteen lämpötilan mittaamiseen. Mittaamiseen voidaan käyttää myös puolijohde komponenttia, joka sisältää lämpötila-anturin lisäksi AD-muuntimen ja muun tarvittavan oheiselektronikan yhteen koteloon pakattuna. Tällaista digitaalista puolijohde lämpötila-

anturia valmistaa esimerkiksi MAXIM / Dallas Semiconductor. (Vahtera 2008, 382.)

Dallasin tunnetuin digitaalinen lämpötila-anturi on tyypiltään DS18S20, minkä mitta-alue on $-55\text{ °C} - +125\text{ °C}$ ja resoluutio 0.5 °C . Mittatarkkuus riippuu käytettävästä mitta-alueesta sen ollessa $\pm 0.5\text{ °C}$ välillä $-10\text{ °C} - +85\text{ °C}$ ja $\pm 2\text{ °C}$ koko alueella. Anturi käyttää tiedonsiirtoon Dallasin kehittämää 1-Wire-väylää, joka on kaksisuuntainen sarjamuotoinen tiedonsiirtoväylä. Nimestään huolimatta väylä ei ole aidosti yksijohtiminen, sillä maajohto on datajohdon rinnalla pakollinen. 1-Wire-väylä on monikäyttöinen, sillä siihen pystyy liittämään useita erityyppisiä laitteita samanaikaisesti, kuten muisteja, lämpötila-antureita, AD-muuntimia, reaaliaikakelloja ja ohjaimia, jonka lisäksi useimmat niistä voidaan kytkeä ottamaan tarvitsemansa käyttöjännitteen suoraan dataväylältä (ks. kuvio 19). (Koskinen 1998, 271; Maxim 2008.)



KUVIO 19. 1-Wire väylä ja siihen kytkettyjä erityyppisiä laitteita (Maxim 2008)

Lämpötila-anturiksi valittiin 1-Wire-väylää käyttävä Maxim / Dallas Semiconductorin DS18S20-lämpötila-anturi, koska sen tilantarve on pieni, mittaustarkkuus riittävä, hinta kohtuullinen ja jokainen Atmelin mikro-ohjain tukee 1-Wire-väylää valmiin ajurin kautta. Lämpötilanmittaus on varattu tulevaisuutta varten, mahdollista kotelon lämmitystä ja jäähdytystä silmälläpitäen.

4.12 Tiedonsiirto

4.12.1 UART / USART

Mikro-ohjaimet ja prosessorit käsittelevät ja siirtävät tietoa rinnakkaismuodossa oheislaitteiden kesken, koska se mahdollistaa suuret tiedonsiirtonopeudet. Rinnakkaismuotoinen tiedonsiirto ei kuitenkaan sovellu pitkiin siirtomatkoihin,

sillä TTL-tasoiset signaalit ovat liian häiriöherkkiä. Toisaalta tiedonsiirto on epäkäytännöllistä ja kallista johtuen monijohtimisista kaapeleista, jonka takia pitkillä etäisyyksillä käytetään sarjasiirtoa. (Perkkiö 2008.)

Sarjasiirtoa varten rinnakkaismuotoinen tieto pitää muuttaa lähettävässä päässä sarjamuotoiseksi ja vastaanottopäässä takaisin rinnakkaismuotoiseksi. Sarjamuotoinen tiedonsiirto voidaan toteuttaa synkronisesti tai asynkronisesti. Synkroninen tiedonsiirto tarvitsee datalinjan lisäksi erillisen kellolinjan, joka soveltuu täten vain lyhyille matkoille. Kellosignaali on mahdollista sisällyttää myös itse dataan esimerkiksi Manchester koodausta käyttämällä, jolloin yhteysetäisyydet voivat olla suurempia. Usein käytetään kuitenkin asynkronista tiedonsiirtotapaa, jolloin kommunikoiville laitteille pitää kertoa merkin alku ja loppu, databittien määrä, tiedonsiirtonopeus ja onko pariteettitarkistus käytössä. Asynkronista tiedonsiirtoa hoitaa sarjaliikennepiiri UART tai sen kehittyneempi versio USART. (Vahtera 2008, 338.)

Sarjaliikennepiiriä voidaan käyttää pollaamalla tai keskeytysohjattuna. Pollaus syö mikro-ohjaimen resursseja, sillä se käy joka ohjelmakerrolla kysymässä onko sarjaliikennepiirin vastaanottorekisteriin tullut dataa. Toisaalta dataa saatetaan menettää, mikäli mikro-ohjain on kriittisellä hetkellä tekemässä jotakin muuta tehtävää liian pitkä ajan. Tämän takia kriittisten toimintojen kohdalla on syytä käyttää keskeytyksiä, kuten sarjaliikenteessä. (Vahtera 2008, 343.)

Sarjaliikennepiiri voidaan konfiguroida siten, että se generoi mikro-ohjaimelle keskeytyksen aina, kun se on saanut lähetettyä tai vastaanotettua merkin. Keskeytyksen saatuaan mikro-ohjain keskeyttää nykyisen tehtävän suorittamisen, tallentaa tilanteen ja siirtyy palvelemaan keskeytyksen antanutta laitetta. Kun tehtävä on suoritettu, ladataan muistista vanha tilanne ja prosessori jatkaa siitä mihin se jäi keskeytyksen saapumishetkellä. (Vahtera 2008, 341 – 346.)

Sarjaliikennepiirin tuottamat signaalit ovat TTL-tasoisia, jonka takia piirin perään on liitettävä halutunlainen tasomuunnin. Työssä käytettiin kolmea erityyppistä muunninta: RS-232, USB ja ZigBee.

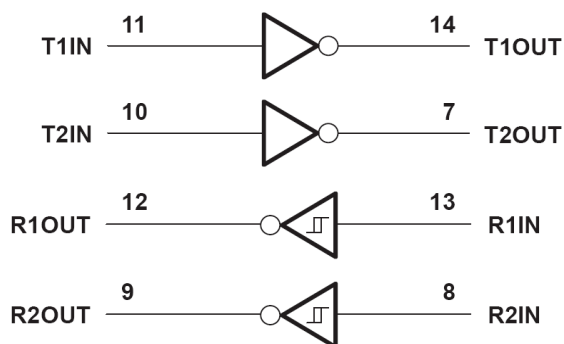
4.12.2 RS-232-väylä

RS-232-väylä on kolmesta käytetystä väylätyypistä vanhin. Standardi esiteltiin 60-luvun alussa, mutta siitä tuli julkinen vasta 60-luvun lopussa. Standardi määrittelee käytettävät jännitetasot, vähimmäisjohdinmäärän (RX, TX, GND), vuonvalvontaan liittyvät kättelylinjat sekä tiedonsiirron olevan mahdollista synkronisena ja asynkronisena. Standardi ei kuitenkaan määritä liittimen muotoa, ainoastaan nastojen numeroinnin. Se ei myöskään määritä kaapelin pituutta, mutta yleisesti ei suositella käytettävän yli 15 metrin pituisia kaapeleita. Liittimen de facto standardiksi on vakiintunut D9-liitin (ks. kuvio 20). (Vahtera 2008, 337.)



KUVIO 20. Naaras ja uros D9-liittimet

RS-232 on sarjaporttina tunnettu väylästandardi, jossa signaalitasot on määritetty siten että ne sietävä paremmin häiriöitä. Väylän signaalit ovat invertoituja, eli looginen 1-tila vastaa sarjaväylällä -15 – -3 V jännitetasoa ja 0-tila vastaa vasti 3 – 15 V jännitetasoa. Mikro-ohjaimen sarjaliikennepiiri UART antaa ja ottaa vastaan TTL-tasoisia signaaleita, jonka takia tarvitaan tasomuunnin. Tasomuuntimen tehtävänä on invertoida ja muuttaa TTL-tasoinen jännite RS-232:n standardia vastaavaksi ja päinvastoin. Kuviossa 21 on esitetty kaksikanavaisen tasomuuntimen rakenne. (Perkkiö 2008.)



KUVIO 21. RS-232 tasomuuntimen rakenne (Perkkiö 2008)

RS-232 on edelleen käyttökelpoinen tapa siirtää tietoa esimerkiksi mikro-ohjaimen ja sen oheislaitteiden välillä. Tietokoneiden osalta väylä on lähes täysin kuollut, uusissa tietokoneissa se on todellinen harvinaisuus. RS-232-väylän onkin korvannut moninkertaisesti nopeampi ja monikäyttöisempi USB-väylä. RS-232-väylä on mahdollista saada uuteenkin tietokoneeseen erillisen USB-sovittimen avulla.

RS-232-tasomuuntimia valmistaa useat eri yritykset. Jokaisen valmistajan piirit ovat ominaisuuksiltaan jotakuinkin identtiset, vain piirin sisältämien muuntimien määrät ja piirin kotelointi vaihtelevat. Tämän takia piirin valinnassa ei ollut mitään erityisempiä kriteereitä. Piiriksi valittiin Texas Instrumentsin MAX3221, joka sisältää yhden muuntimen.

RS-232-väylä valittiin kameran ohjaimen väyläksi lähinnä sen takia, ettei erillistä RS-232 ↔ RS-485 muunninta tarvitse hankkia tietokoneeseen, mikäli kameraa haluaisi ohjata ilman hallintayksikköä. RS-232-väylällä toteutettu yhteys hallintayksikön ja ohjainyksikön välillä on helppo muuttaa jälkikäteen RS-485-väyläiseksi erillisen muuntimen avulla. Tällöin kummassakin laitteessa täytyy olla oma muunnin.

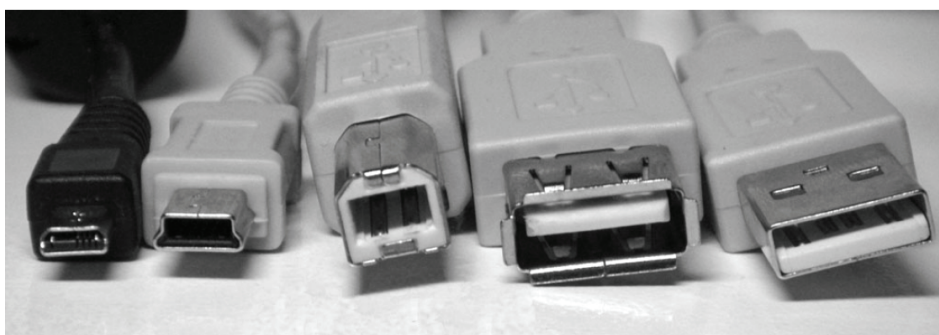
4.12.3 USB-väylä

USB-väylä on muun muassa Intelin, Microsoftin, NECin ja Compaqin yhteistyössä kehittämä sarjaväylä. Väylän tarkoituksena oli olla nopea yleiskäyttöinen liitäntäväylä tietokoneen oheislaitteille. Vuonna 1996 julkaistiin ensimmäi-

nen virallinen 1.0 määrittely USB-väylästä, jonka jälkeen USB:n voittokulku on ollut murskaavaa. 10 vuodessa USB on syrjäyttänyt lähes täysin hiiren ja näppäimistön PS/2-portit sekä sarja- ja rinnakkaisportit. Suuren suosion vuoksi standardia on päivitetty pääasiassa tiedonsiirtonopeuksien osalta vuosina 1998 (1.1), 2000 (2.0) ja 2007 (3.0). USB:stä on kehitteillä myös langaton versio, WUSB. (Ahola & Alapere 2008.)

USB-väylä koostuu kahdesta datajohtimesta ja kahdesta jännitteensyötön johtimesta. Väylä tarjoaa oheislaitteille 5 V käyttöjännitteen ja kykenee syöttämään enimmillään 500 mA virran, mahdollistaen useimpien lisälaitteiden käytön ilman erillistä virtalähdettä. Mikäli lisälaitteen tehontarve on suurempi, voidaan käyttää epästandardia tapaa lisätehon ottamiseen toisesta USB-väylästä toisen USB-liittimen avulla tai käyttää erillistä virtalähdettä laitteen sähköistämiseen. (Ahola & Alapere 2008.)

USB-liittimiä on neljää tyyppiä, joiden lisäksi löytyvät näiden vastakappaleet. USB-johdoissa käytetään viittä liitintyyppiä, jotka on esitelty kuviossa 22. Micro USB on uusin liitintyyppi, jota käytetään pääasiassa uusissa matkapuhelimissa. Mini USB on yleisesti käytössä vanhoissa matkapuhelimissa ja mediatoistimissa. A-typin liitintä käytetään laitteissa, joiden kaapeli on kiinteä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi hiiret ja näppäimistöt. B-typin liitintä käytetään vuorostaan laitteissa, joissa johto on irrotettava. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi skannerit ja tulostimet. A-typin naarasliitintä käytetään jatkojohdoissa. (Sarka 2008, 12 – 13.)



KUVIO 22. Micro USB, mini USB, B-tyyppi, A-typin naaras, A-tyyppi (Sarka 2008)

Hallintayksikköön valittiin B-tyyppin USB-liitin, sillä laitteen johdosta ei haluttu tehdä kiinteää. Hallintayksikkö ei sisällä USB-liittimen lisäksi toista tehonsyöttöliitintä, jonka takia hallintayksikön käyttö ilman tietokonetta on mahdollista vain erillisen USB-virtalähteen avulla.

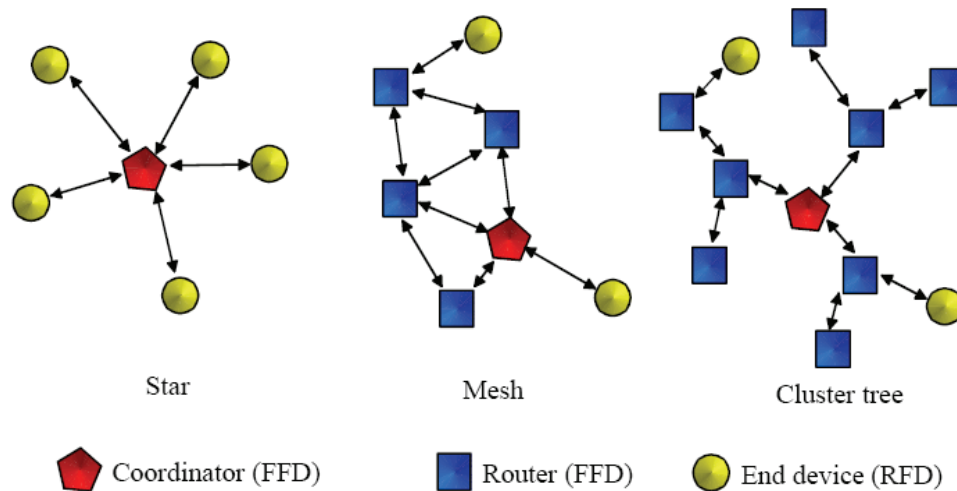
USB-ohjainpiiriksi valittiin FTDI:n FT232R. Piiri hoitaa USB-protokollan täysin itsenäisesti, jonka takia erillinen ohjelmistokehittäminen ei ole tarpeen. Piiri on sellaisenaan täysin käyttövalmis, ohjelmointi tai asetusten muuttaminen ei ole pakollista. Piirin käyttäminen ja valmistajan tarjoamat ohjelmistot ovat täysin lisenssivapaita. Piirin ominaisuuksiin kuuluu muun muassa 3.3 V jänniteregulaattori, joka kykenee antamaan enintään 50 mA virran. Tämä riittää esimerkiksi ZigBee-moduulille. (FT232R datasheet 2008.)

4.12.4 ZigBee

ZigBee on käytetyistä väylätyypeistä kaikkein uusin tekniikka. Standardi sai alkunsa Motorolan tavoitteesta kehittää zigbeeen tyylinen langaton tekniikka. ZigBee standardin 1.0 versio julkaistiin marraskuussa 2004. ZigBee kehitettiin edulliseksi, hitaaseen tiedonsiirtoon, pienitehoiseksi lyhyen kantaman langattomaksi tekniikaksi, jonka käyttökohteita ovat muun muassa kauko-ohjaukset ja anturiverkot. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2006.)

ZigBee-verkossa voi olla kolmenlaisia laitteita: PAN-koordinaattori, reitittämiä ja päätelaitteita, joista kaksi ensimmäistä ovat täyden toiminnan laitteita (FFD) ja viimeinen rajoitetun toiminnan laite (RFD). PAN-koordinaattoreita on ainoastaan yksi verkkoa kohden, jonka tehtävänä on olla selvillä verkon laitteista ja rakenteesta, sekä toimia yhdyskäytävänä. Reitittimen tehtävänä on välittää dataa laitteelta toiselle, jonka lisäksi se voi itse toimia tietoa keräävänä anturina. Päätelaite pystyy ainoastaan lähettämään ja vastaanottamaan dataa täyden toiminnan laitteen kanssa. Päätelaite on mahdollista ohjelmoida menemään virransäästötilaan jolloin se herään vain lähettääkseen dataa. Tällä tavoin laite voi toimia vuosia paristoja vaihtamatta. (Tutti 2006, 22.)

Eri laitetypit mahdollistavat kolmen erilaisen verkkotopologian käytön. Tuettu- ja verkkotyyppinä ovat tähti-, reitittävä- ja klusteripuuverkko. Verkon topologioiden väliset rakenteelliset erot on esitetty kuviossa 23.



KUVIO 23. ZigBee-verkon topologiat (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2006)

ZigBee-verkoille on määritelty kolme eri taajuuskaistaa, joista kaksi sijaitsee maailmanlaajuisella lisenssivapaalla ISM-taajuusalueella. ZigBee:n kanava 0 sijaitsee taajuudella 869 MHz, kanavat 1 – 10 ISM-taajuuksilla 902 – 928 MHz ja kanavat 11 – 26 ISM-taajuuksilla 2405 – 2480 MHz. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2006)

ZigBee piiriksi valittiin Radiocraftsin RC2200AT. Piirin käyttöjännite on 3.3 V, tehonkulutus vastaanotossa 27 mA, lähetyksessä 30 mA ja lepotilassa 1.3 μ A. Piiri tarjoaa 16 radiokanavaa 2.4 GHz taajuusalueelta ja piirin lähetysteho on säädettävissä välillä -25 – 0 dBm. Lisäksi piiristä löytyy 16 digitaalista tuloa ja lähtöä, sekä 8 analogista 10-bittistä AD/DA-muunninta. Piirin kantamaksi luvataan ulkokäytössä näköyhteydellä 110 metriä, sisätiloissa 10 – 30 metriä riippuen rakennusmateriaaleista, sekä 10 – 15 metriä kerrosten läpi mentäessä. Piirin konfigurointi tapahtuu AT-komennoilla. (RC2200AT datasheet 2006.)

Valitun piirin valmistus lopetettiin ennen työn valmistumista, joka on erittäin hyvä muistutus siitä miksi sarjatuotettavan laitteen komponenttien saatavuus on varmistettava todella hyvin.

5 TOTEUTUS

5.1 Piirilevysuunnittelu

5.1.1 Suunnitteluohjelmat

80-luvun alussa piirilevynsuunnitteluohjelmat olivat uusinta uutta. Tuolloin tarjonta oli vielä niukkaa, sekä ohjelmistojen ja tietokoneiden hinnat huomattavan korkeita. Tietokoneiden hitauden takia ohjelmien toiminta oli raskasta. Piirikaavio-ohjelmia ei vielä ollut olemassa, jonka takia komponenttien väliset johdot määriteltiin käsikäyttöisesti ohjelmaan. Puutteistaan huolimatta suunnitteluohjelmat nopeuttivat ja helpottivat piirilevyjen suunnittelua käsin piirtämiseen verrattuna. (Tikkanen 2004, 11 – 13.)

Nykyisin suunnitteluohjelmia on saatavilla useita kymmeniä, kuten esimerkiksi Eagle, PADS, ARES Lite, KiCAD ja FreePCB. Osa ohjelmistoista on maksullisia, osa ilmaisia tai vapaita. Maksullisten ohjelmien hintahaitari on suuri, halvimmat saa omakseen noin 50 eurolla, kalliimpien maksaessa tuhansia euroja. Edullisten ja ilmaisten ohjelmien toiminnot ovat usein rajoitettuja, mutta esimerkiksi KiCAD on vapaa open source-ohjelmisto, joka on täysiverinen piirilevyjen suunnittelutyökalu 3D-mallinnuksella höystettynä ilman rajoituksia. Suunnitteluohjelmien hinta, ominaisuudet, käytettävyys ja nopeus ovatkin vuosien varrella kokeneet suuria muutoksia.

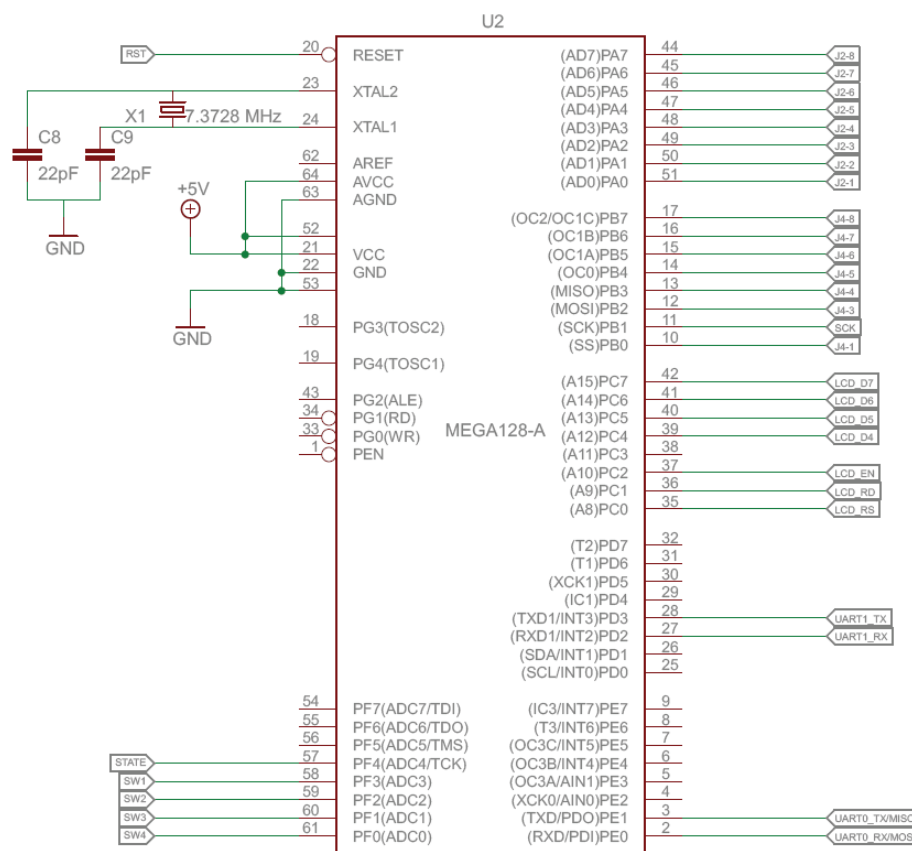
Piirilevyjen suunnittelutyökaluksi valittiin PADS, sillä se on elektroniikkateollisuudessa yleisesti käytetty ohjelma. PADS ei ole kaikkein käyttäjäystävällisin tai helppokäyttöisin vaihtoehto, mutta sen käytön oppii kuten minkä tahansa muunkin ohjelman käytön. Eaglea käytettiin lisäksi piirikaavioiden puhtaaksi piirrosta työn dokumentointia ja kuvitusta varten.

5.1.2 Hallintayksikkö

5.1.2.1 Piirikaaviosuunnittelu

5.1.2.1.1 Mikro-ohjain

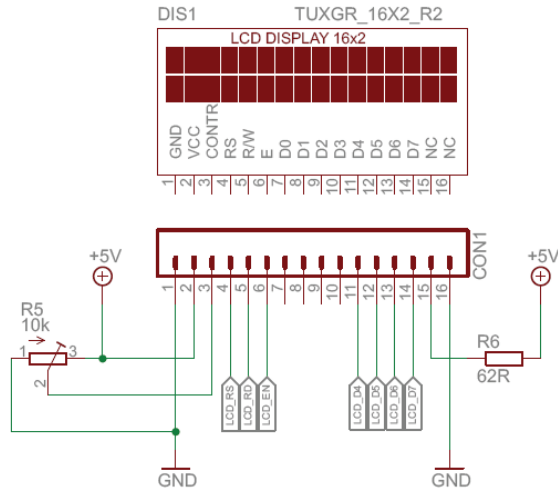
Hallintayksikön piirikaaviosuunnittelu aloitettiin mikro-ohjaimesta, sillä se oli järjestelmän ainut osa johon jokainen toiminnan toteuttava osa liitettiin. Mikro-ohjain itsessään ei tarvinnut kuin kolme osaa: kiteen ja kaksi kondensaattoria. Kuviossa 24 on esitettyä mikro-ohjaimen I/O:t sekä muut oheiskomponentit.



KUVIO 24. Mikro-ohjaimen kytkennät

5.1.2.1.2 LCD-näyttö

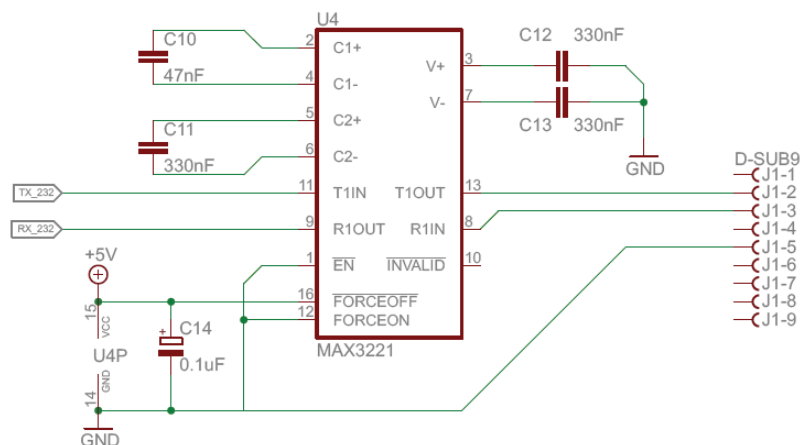
LCD-näytön kontrastin säätö tehtiin muutettavaksi trimmeripotentimetrin R5 avulla, kun taas taustavalo jätettiin palamaan jatkuvasti, jonka kirkkaus määriteltiin vastuksella R6. Näytön ohjaamiseen tarvittavat seitsemän I/O:ta otettiin mikro-ohjaimen C-portista. Kuviossa 25 on esitettyä LCD-näytön kytkentä.



KUVIO 25. LCD-näytön kytkentä

5.1.2.1.3 Sarjaliikenneväylä RS-232

RS-232-sarjaliikennemuuntimen kytkentä tehtiin komponentin datalahden mukaisesti. Muunnin kytkettiin mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjaimen USART1, joka on yhteiskäytössä ZigBee-moduulin kanssa. Laitteiden välinen väylän valinta tapahtuu oikosulkupalojen avulla, josta lisää kohdassa 5.1.2.1.5. Kuviossa 26 on esitetty sarjaliikennemuuntimen kytkentä oheiskomponentteineen.

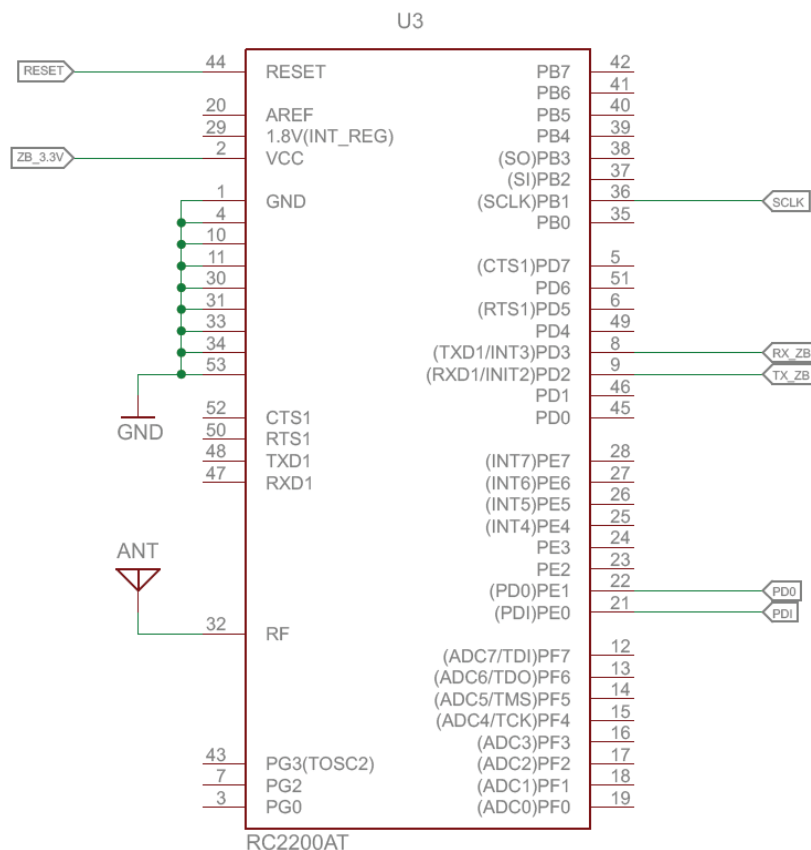


KUVIO 26. Sarjaliikennemuuntimen kytkentä

5.1.2.1.4 ZigBee

Radiocraftsin ZigBee-moduulin kytkentä oli hyvin yksinkertainen. Moduuli tarvitsee toimiakseen ainoastaan 3.3 voltin käyttöjännitteen, yhdeksän maapis-

teen kytkennän sekä yhteyden mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjaimen. Moduuli kytkettiin mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjain USART1:een, joka on yhteiskäytössä sarjaliikennemuuntimen kanssa. Laitteiden välinen väylän valinta tapahtuu oikosulkupalojen avulla, josta lisää kohdassa 5.1.2.1.5. Kuviossa 27 on esitettyä ZigBee-moduulin kytkentä.



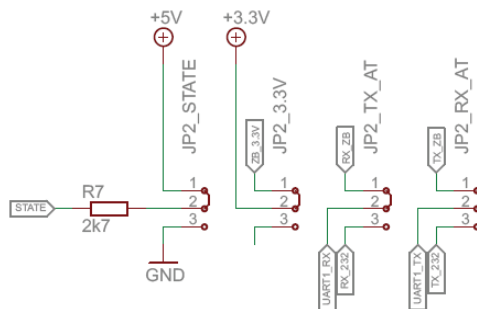
KUVIO 27. ZigBee-moduulin kytkentä

5.1.2.1.5 Liikennöintitavan valinta

ZigBee ja sarjaliikennemuunnin kytkettiin käyttämään mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjainta USART1, koska vain toinen liikennöintitavoista voi olla käytössä kerrallaan. Käytettävän piirin eli liikennöintitavan valinta toteutettiin neljää oikosulkupalaa eli jumpperia käyttämällä. ZigBee on käytössä jumppereiden ollessa yläasennossa ja sarjaliikenne jumppereiden ollessa ala-asennossa.

Piikkiriman JP2 vasemmanpuoleisen jumpperin asento kertoo mikro-ohjaimelle käytetyn liikennöintitavan. Seuraava jumpperi kytkee ZigBee-moduulin jännitteensyötön ja kaksi viimeistä jumpperia vaikuttaa kummalle

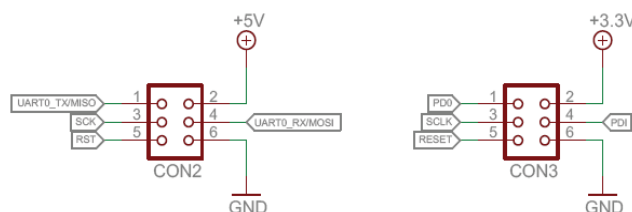
piirille sarjaliikenneohjaimen signaalit ohjataan. Kuviossa 28 on esitettyä liikennöintitavan valintapiikkiriman JP2 kytkentä.



KUVIO 28. Liikennöintitavan valinnan kytkentä

5.1.2.1.6 SPI-ohjelmointiliittimet

Mikro-ohjaimen ja ZigBee-piirin ohjelmistojen päivittämistä helpottamaan lisättiin standardit SPI-ohjelmointiliittännät. Kuvion 29 vasemmassa reunassa on esitettyä mikro-ohjaimen ohjelmointiliittimen CON2 kytkentä ja tämän oikealla puolella ZigBee-piirin ohjelmointiliittimen CON3 kytkentä.

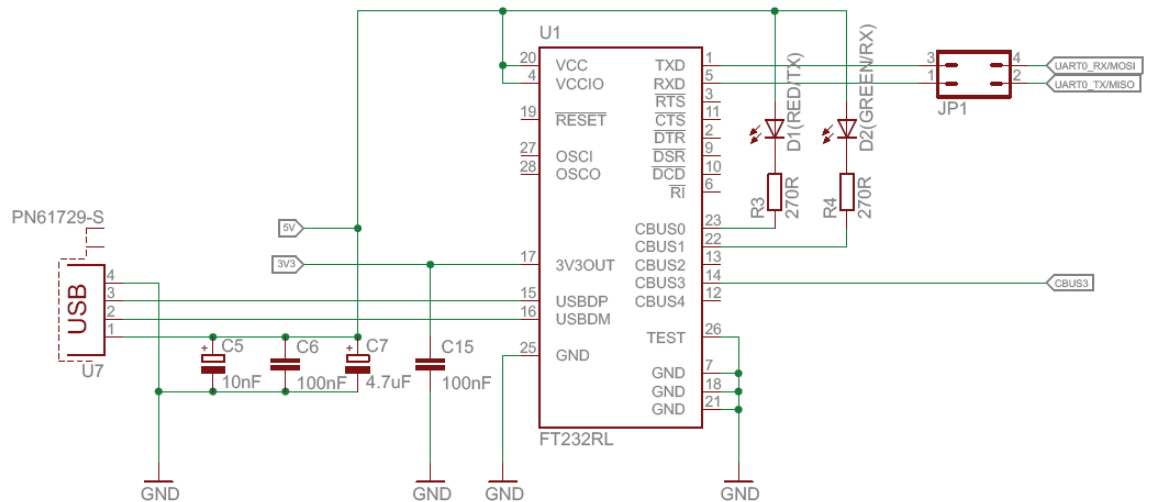


KUVIO 29. Ohjelmointiliittimien kytkennät

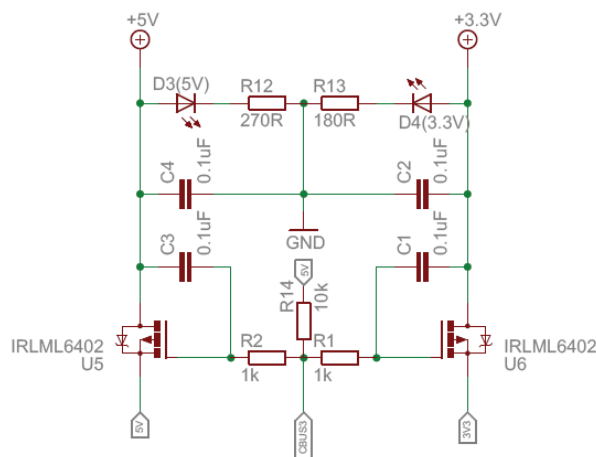
5.1.2.1.7 USB ja tehonsyöttö

USB piirin datalehti tarjosi muutamia eri kytkentätapoja laitteiston jännitteensyötön järjestämiseen. Vartenotettavimmat vaihtoehdot olivat USB-väylä, USB-väylä tehonhallintakytkennällä ja ulkoinen tehonlähde. Koska hallintayksikön virrankulutukseksi oli arvioitu reilusti alle 500 mA, valittiin jännitteensyötöksi USB-väylä tehonhallintakytkennällä. Tehonhallintakytkennän avulla hallintayksikkö on mahdollista sammuttaa etäkäyttöisesti tietokoneella, jolloin virrankulutus laskee noin 70 μ A:iin.

USB-piirin 3.3 voltin jännitteensyötön 50 mA virranantokyky riittää ZigBee-moduulille, jonka takia erillistä 3.3 voltin regulaattorikytkentää ei tarvittu. USB-piiri kytkettiin mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjain USART0:aan, jonka lisäksi piirin peruskytkentään lisättiin tulevan ja lähtevän datan merkkivalot D1 ja D2. Kuviossa 30 on esitettyä USB-piirin kytkentä merkkivaloineen ja kuviossa 31 5 V ja 3.3 V jännitteensyöttöjen tehonhallinnan kytkentä.



KUVIO 30. USB-piirin kytkentä

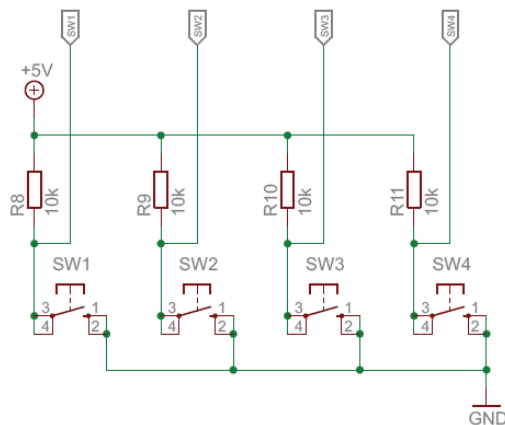


KUVIO 31. Jännitteensyötön tehonhallinnan kytkentä

5.1.2.1.8 Painonapit

Painonappien kytkennöissä käytettiin ylösvetovastuksia joilla varmistettiin, etteivät mikro-ohjaimen kytkintulot jää kellumaan vapaasti ja näin pääse aihe-

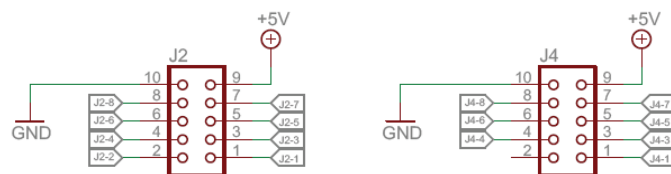
uttamaan virhetoimintoja (ks. kuvio 32). Ylösvetovastuksista seurasi kytkintietojen inverttoituminen, eli mikro-ohjain näkee normaalitilassa olevan kytkimen tilan ykkösenä ja alas painetun kytkimen tilan nollana. Tästä ei ole haittaa, mutta se tulee huomioida ohjelmakoodia kirjoitettaessa.



KUVIO 32. Painonappien kytkennät

5.1.2.1.9 Vapaat I/O:t

Vapaita I/O-liitäntöjä tuotiin kahdelle piikkirimalle tulevia laajennustarpeita varten. J2:lle tuotiin A-portin 8 kanavaa ja J4:lle B-portin 7 kanavaa (ks. kuvio 33).



KUVIO 33. Vapaiden I/O-porttien kytkentä

5.1.2.2 Layout-suunnittelu

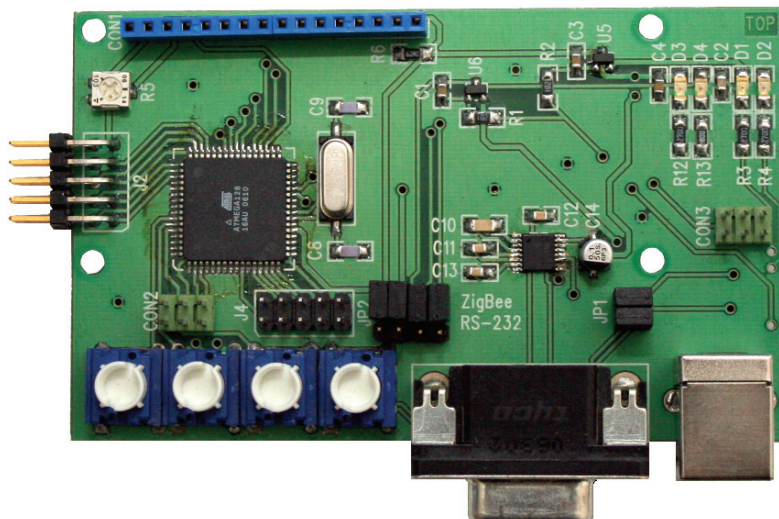
Hallintayksikön suunnittelussa otettiin huomioon valitun kotelon muotojen ja sisämittojen vaikutus suunniteltavaan piirilevyyn. Kotelo mallinnettiin ensin Catia 3D-ohjelmalla, jonka jälkeen mitoitettiin suurin mahdollinen koteloon mahtuva piirilevy sekä määritettiin LCD-näytön, painonappien ja liittimien sijainnit. Piirilevyn muoto, mitat ja edellä mainittujen osien tarvitsemien reikien

paikat siirrettiin Catiasta PADS Layout:iin, jonka jälkeen layout-suunnittelu aloitettiin.

Piirilevy pyrittiin suunnittelemaan siten, että se sietäisi mahdollisimman hyvin itsensä ja muiden laitteiden aiheuttamia häiriöitä. Käytettyjä menetelmiä häiriösiedon parantamiseksi olivat:

- komponenttien välisten johtimien pitäminen mahdollisimman lyhyinä
- maahan kytketyn täyttökuparoinnin käyttö levyn molemmilla puolilla
- toiminnalliseen kokonaisuuteen kuuluvat komponentit lähellä toisiaan
- mahdollisimman vähän läpivientejä
- ei samansuuntaisia päällekkäisiä johtimia levyn ylä- ja alapuolella (Ahola 2004).

Hallintayksikön piirikaavion ja layoutin tekemiseen kului aikaa yhteensä noin 25 tuntia. Piirilevyn kooksi muodostui 5.7 x 9.6 cm ja komponentteja sijoitettiin levyllä yhteensä 53 kappaletta. Liitteeseen 8 on lueteltuna kaikki hallintayksikön tekemiseen käytetyt komponentit sekä liitteisiin 9 ja 10 levyn ylä- ja alapuolen layout- ja osasijoittelukuvat. Kuviossa 34 on esitettyä hallintayksikön piirikortin yläpuoli ilman LCD-näyttöä.



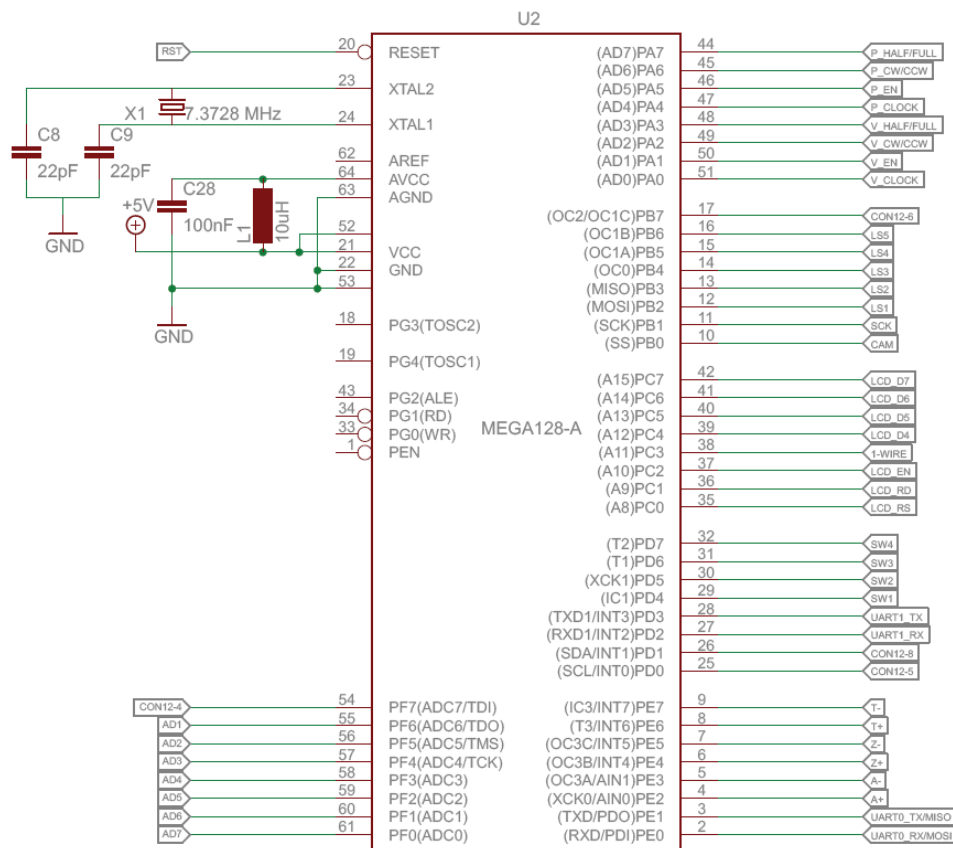
KUVIO 34. Hallintayksikön piirikortti yläpuolelta

5.1.3 Ohjauksyksikkö

5.1.3.1 Piirikaaviosuunnittelu

5.1.3.1.1 Mikro-ohjain

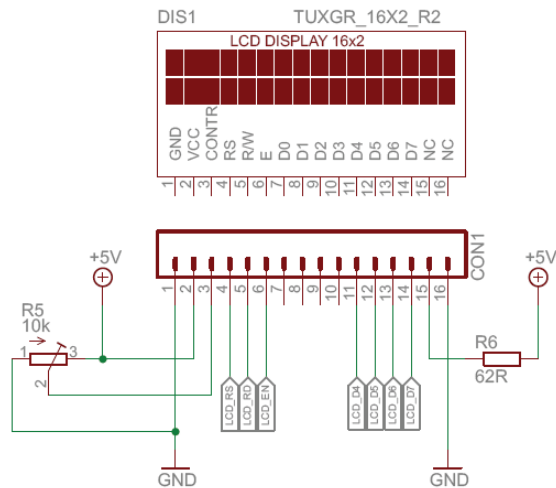
Hallintayksikön mikro-ohjaimen kytkentään verrattuna ohjainyksikön kytkennässä on lisänä AD-muuntimien alipäästösuodin, joka on pakollinen AD-muuntimia käytettäessä. Ohjainyksikön suuremmasta ominaisuusmäärästä johtuen kaikki portit ja kanavat G-portin kanavia lukuun ottamatta ovat käytössä. Kuviossa 35 on esitettynä mikro-ohjaimen I/O:t sekä muut oheiskomponentit.



KUVIO 35. Mikro-ohjaimen kytkennät

5.1.3.1.2 LCD-näyttö

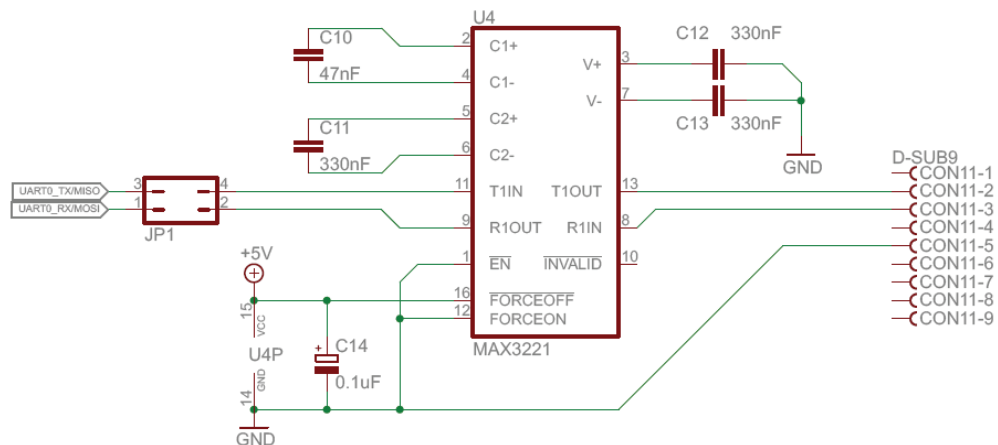
Ohjauksyksikön LCD-näytön kytkentä on täysin identtinen hallintayksikön näytön kytkennän kanssa käytettyjä mikro-ohjaimen portteja myöten (ks. kuvio 36).



KUVIO 36. LCD-näytön kytkentä

5.1.3.1.3 Sarjaliikenneväylä RS-232

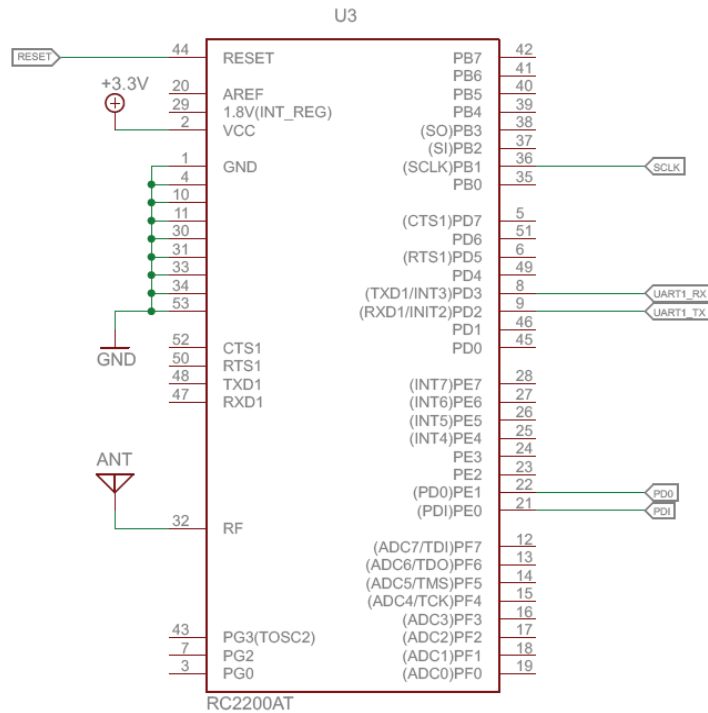
Sarjaliikennemuuntimen kytkentä on JP1 piikkirimaa lukuun ottamatta identtinen hallintayksikön sarjaliikennemuuntimen kanssa. Muunnin kytkettiin mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjaimen USART0 (ks. kuvio 37).



KUVIO 37. Sarjaliikennemuuntimen kytkentä

5.1.3.1.4 ZigBee

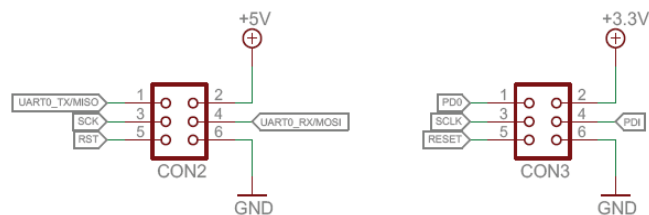
Ohjainyksikön ZigBee-moduuli selviää yhtä vähillä kytkennöillä kuin hallintayksikön ZigBee. ZigBee-moduuli kytkettiin mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjaimen USART1 (ks. kuvio 38).



KUVIO 38. ZigBee-moduulin kytkentä

5.1.3.1.5 SPI-ohjelmointiliittimet

Kuten hallintayksikössä, myös ohjainyksikköön lisättiin mikro-ohjaimen ja ZigBee-moduulin ohjelmointiliittimet. Kuvion 39 vasemmassa reunassa on esitettynä mikro-ohjaimen ohjelmointiliittimen CON2 kytkentä ja tämän oikealla puolella ZigBee-piirin ohjelmointiliittimen CON3 kytkentä.

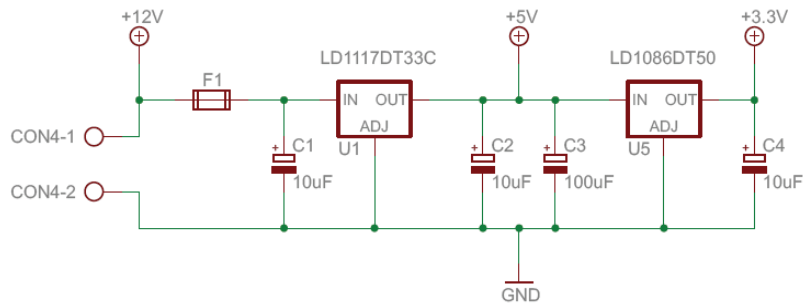


KUVIO 39. Ohjelmointiliittimien kytkennät

5.1.3.1.6 Tehonsyöttö

Ohjainyksikön piirikortille tuodaan 12 V jännite moottoreita varten. Mikro-ohjain ja muut oheiskomponentit toimivat kuitenkin 5 V tai 3.3 V käyttöjännitteellä, jonka takia suunniteltiin kahdesta regulaattorista koostuva jännit-

teenalennin. Ensimmäisessä vaiheessa regulaattori U1 alentaa jännitteen 5 V:ksi ja toisessa vaiheessa 3.3 V:ksi regulaattorin U5 avulla (ks. kuvio 40).

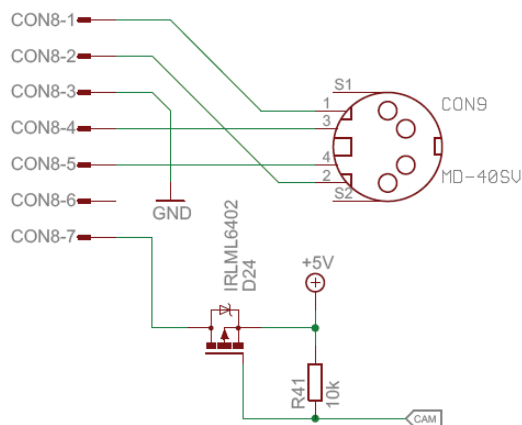


KUVIO 40. Tehonsyötön kytkentä

5.1.3.1.7 Kamera

Kameramoduulin liitin sisältää seitsemän piikkiä, joista kaksi on varattu jännitteensyötölle ja neljä videokuvalle. Moduuli tarvitsee toimiakseen 4.5 – 7.5 V käyttöjännitteen, joka otettiin ohjainyksikön 5 V jännitelinjasta. Kameran jännitteensyöttöön lisättiin tehonhallintaa varten MOSFET D24, joka mahdollisti kameran päälle ja pois kytkemisen mikro-ohjaimen avulla.

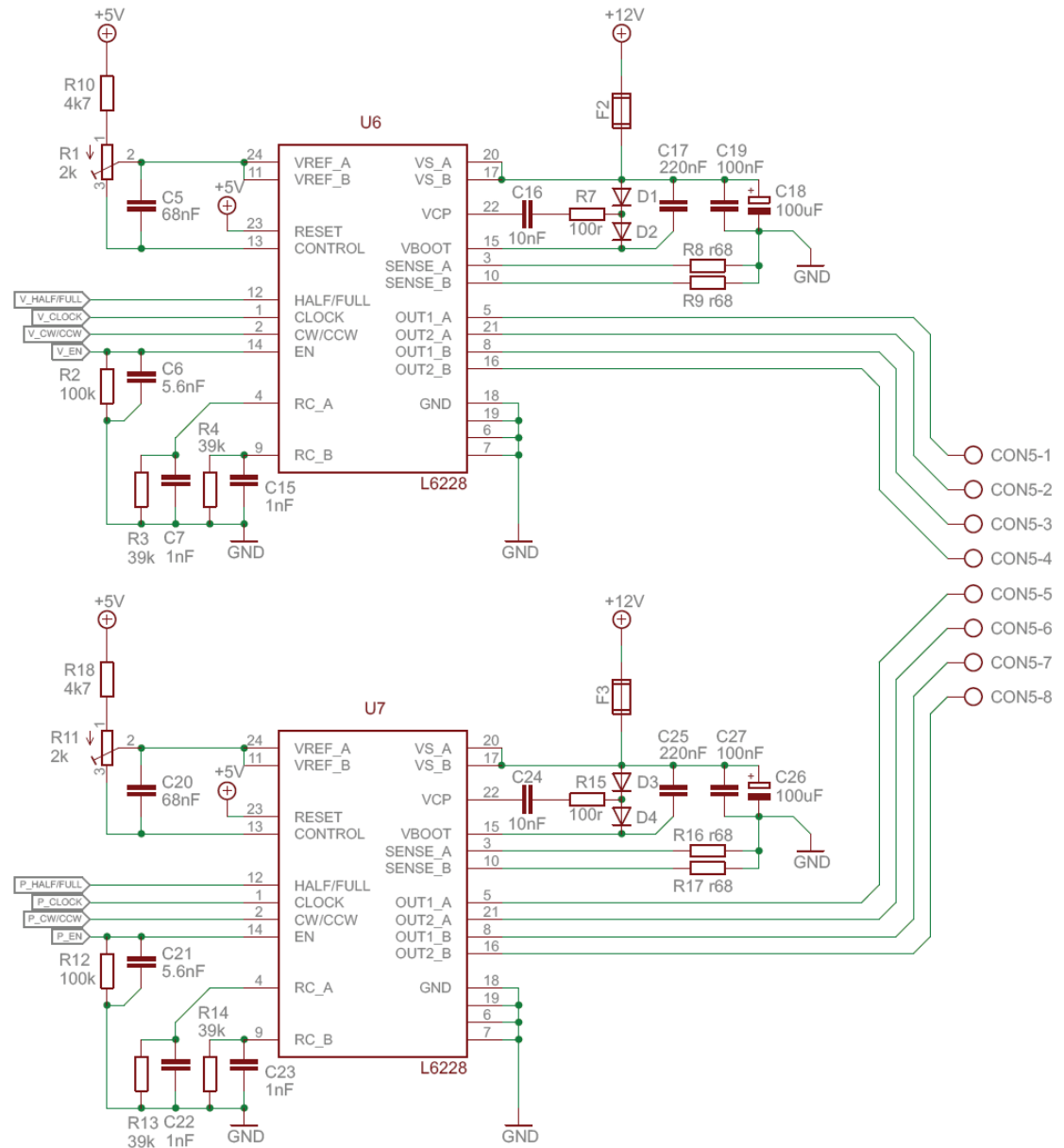
Kameramoduuli syöttää videokuvan standardina S-Videona (Y/C). Signaali olisi muutettavissa komposiittivideoksi, mutta kuvanlaatua heikentävän luonteen takia muunnosta ei tehty. Hallintayksikköön lisättiin S-video-liitin CON9 videokuvan jakelua varten. Kuviossa 41 on esitettynä kameran tehonsyötön ja S-video-liittimen kytkennät.



KUVIO 41. Kameran kuvaliitännän ja jännitteensyötön kytkentä

5.1.3.1.8 Askelmoottori ohjaimet

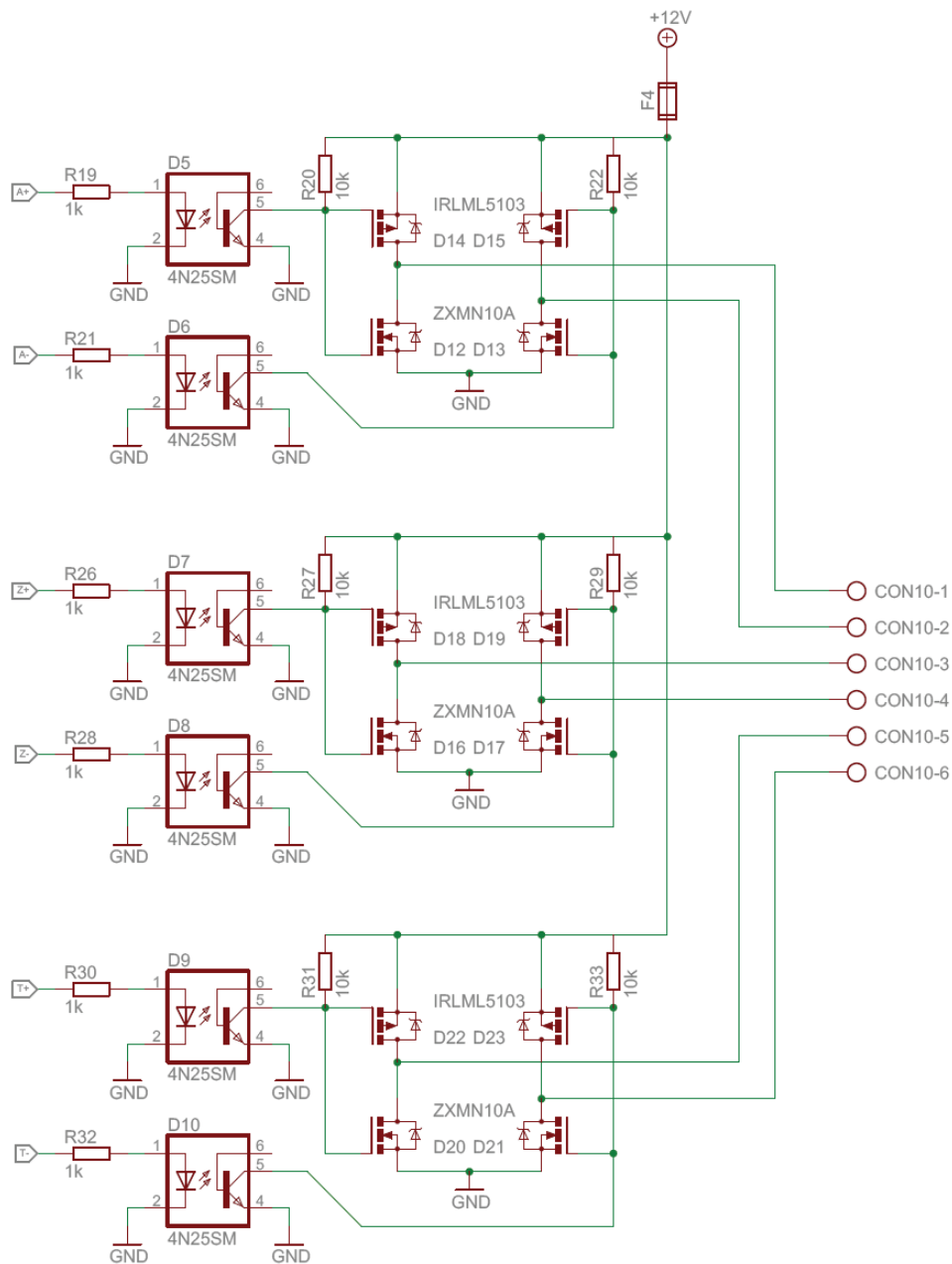
Ohjainyksikköön suunniteltiin kaksi kytkennältään identtistä askelmoottoriohjainta. Datalehden ohjeesta poiketen virranrajoituksista tehtiin säädettävät trimmeripotentiometrien R1 ja R11 avulla. Vastusten R10 ja R18 avulla rajoitetaan potentiometrien R1 ja R11 ulostulojännite välille 0 – 1 V. Kuviossa 42 on esitettyinä vaaka ja pystysuunnan askelmoottoreiden ohjaimien kytkennät.



KUVIO 42. Askelmoottoriohjaimien kytkennät

5.1.3.1.9 H-sillat

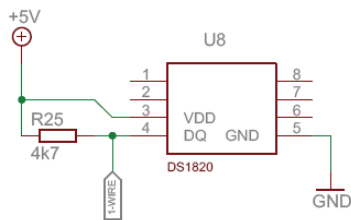
Ohjainyksikköön suunniteltiin kolme identtistä H-siltaa. Kukin silta erotettiin mikro-ohjaimen ohjaussignaaleista optoerottimien avulla. Sillan haarat toteutettiin P- ja N-tyypin MOSFETEillä, joita ohjataan pareittain. Parin ohjaaminen yhteisellä ohjaussignaalilla estää siltaa menemästä kiellettyyn tilaan missään tilanteessa. Esimerkiksi optoerottimella D5 ohjataan P/N-MOSFET-paria D14 ja D12. Kuviossa 43 on esitettyinä H-siltojen kytkennät.



KUVIO 43. H-siltojen kytkennät

5.1.3.1.10 DS18S20-lämpötila-anturi

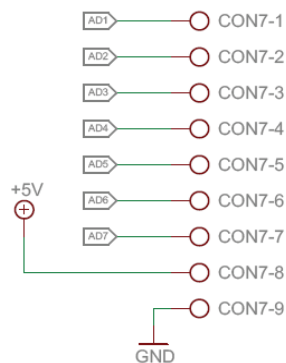
Lämpötila-anturi kytkettiin mikro-ohjaimen portin C kanavaan 3, joka ohjelmoitiin toimimaan 1-Wire-väylänä. Anturille tehtiin erillinen jännitteensyöttö, vaikka tarvittava teho olisi voitu ottaa suoraan 1-Wire-väylästä vastuksen R25 kautta. Kuviossa 44 on esitettyä lämpötila-anturin kytkentä.



KUVIO 44. DS18S20-lämpötila-anturin kytkentä 1-Wire-väylään

5.1.3.1.11 AD-muuntimet

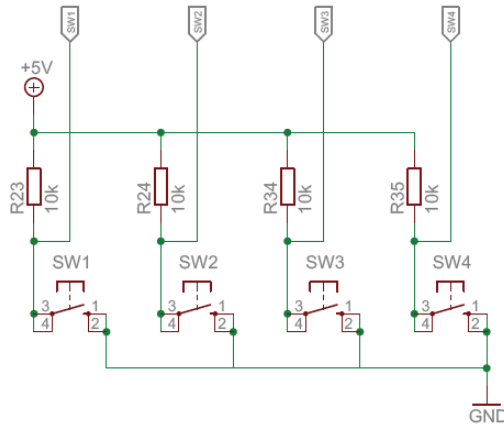
AD-muuntimet sijaitsevat mikro-ohjaimessa. Niiden käyttäminen vaatii ainoastaan alipäästösuotimen mikro-ohjaimen AVCC-porttiin, jonka kytkentä esiteltiin aiemmin kappaleessa 5.1.3.1.1 Mikro-ohjain. AD-muuntimien portit johdettiin lyhintä reittiä piirikortin reunalla sijaitsevalle ruuviliitinrimalle CON7 (ks. kuvio 45).



KUVIO 45. AD-muuntimen kanavien kytkentä

5.1.3.1.12 Painonapit

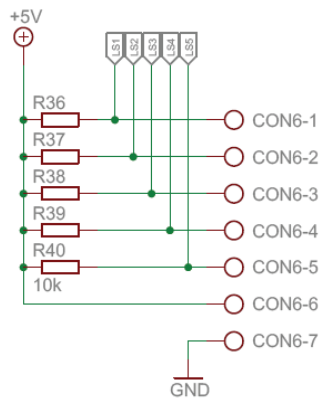
Ohjausyksikön painonappien kytkennöissä käytettiin ylösvetovastuksia hallintayksikön tapaan (ks. kuvio 46). Ylösvetovastusten käytön syitä ja vaikutuksia käsiteltiin aiemmin kappaleessa 5.1.2.1.8 Painonapit.



KUVIO 46. Painonappien kytkentä

5.1.3.1.13 Rajakytkimet

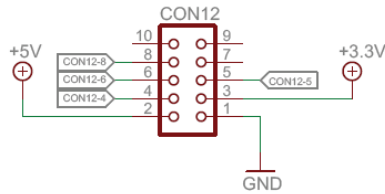
Rajakytkintulojen toiminta vastaa täysin painonappitulojen toimintaa, jonka takia kytkentä on ruuviliitinrimaa lukuun ottamatta samanlainen. Ruuviliitinrima CON6 mahdollistaa esimerkiksi ulkoisten turvarajakytkimien käytön (ks. kuvio 47).



KUVIO 47. Rajakytkintulojen kytkentä

5.1.3.1.14 Vapaat I/O:t

Kaikki käyttämättömät I/O-liitännät tuotiin piikkirimalle CON12 tulevia laajennustarpeita varten. Kanavia oli jäljellä vain neljä kappaletta, jonka lisäksi liittimille tuotiin maa, sekä 5 V ja 3.3 V käyttöjännitteet (ks. kuvio 48).



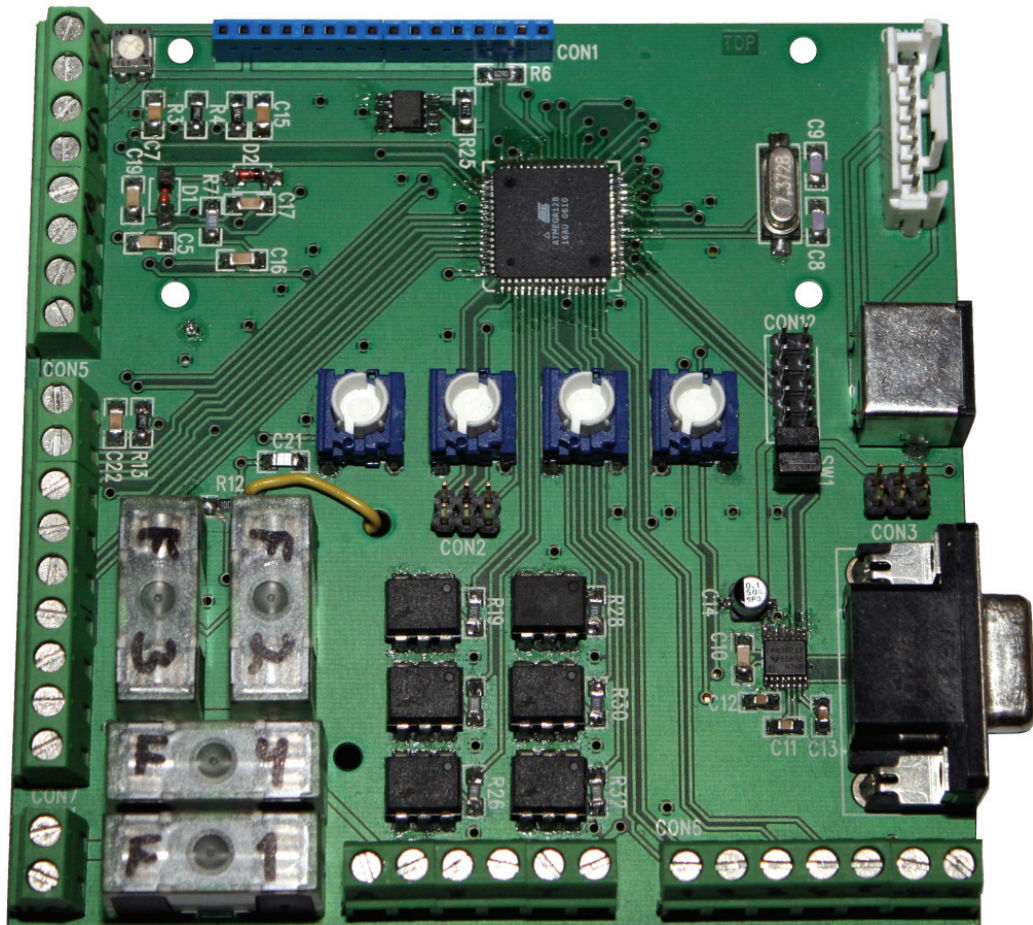
KUVIO 48. Vapaiden porttien kytkentä

5.1.3.2 Layout-suunnittelu

Ohjausyksikön suunnittelussa ei voitu huomioida kotelon vaikutusta suunniteltavan piirilevyn muotoon ja kokoon, sillä kotelo tehdään kameran tarvitseman tilan mukaan mittatyönä vasta mekaniikan valmistumisen jälkeen. Vaikka piirilevyn muodolla ja koolla ei juuri ollut väliä, se pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman pienikokoiseksi. Levyn minimikoko määräytyi käytettyjen liittimien määrän, koon ja niiden piirilevyn reunalle sijoittelun perusteella.

Ohjausyksikön piirilevyn suunnittelussa käytettiin samoja menetelmiä häiriösiedon parantamiseksi kuin hallintayksikön suunnittelussa. Käytetyistä menetelmistä kerrottiin aiemmin hallintayksikön suunnittelua käsittelevässä luvussa 5.1.2.2 layoutsuunnittelu. Ohjausyksikön layout-suunnittelu osoittautui huomattavasti hallintayksikön suunnittelua haastavammaksi. Ongelmia aiheuttivat suuri komponenttimäärä, liittimien paljous ja sijoittelu sekä risteilevien ohjaussignaalien suuri määrä.

Ohjausyksikön piirikaavion ja layoutin tekemiseen kului aikaa yhteensä noin 60 tuntia. Piirilevyn kooksi muodostui 11 x 11 cm ja komponentteja sijoitettiin levyille yhteensä 123 kappaletta. Liitteeseen 11 on lueteltuna kaikki ohjausyksikön tekemiseen käytetyt komponentit sekä liitteisiin 12 ja 13 levyn ylä- ja alapuolen layout- ja osasijoittelukuvat. Kuviossa 49 on esitettyä ohjausyksikön piirikortin yläpuoli ilman LCD-näyttöä.



KUVIO 49. Ohjausyksikön piirikortti ylhäältä

5.2 Mekaniikkasuunnittelu

CATIA on Dassault Systemsin kehittämä 3D-suunnittelussa käytettävä mallin-
nusohjelma. CATIA:n parhaita puolia on sen modulaarisuus, joka mahdollistaa
ominaisuuksiltaan räätälöidyt CATIA-suunnittelutyöasemat. Modulaarisuuden
takia se soveltuu niin pienten kuin isojenkin kappaleiden, kuten kännyköiden
ja lentokoneiden mallintamiseen. Kyse on siis hyvin monipuolisesta ja hyvin
eri käyttötarpeisiin skaalantuvasta ohjelmasta.

CATIA mahdollistaa 3D-suunnittelun lisäksi esimerkiksi 2D-kokoonpanokuvien
tekemisen ja liikeratojen simuloimisen. Kameran eri osien mallintamiseen käy-
tettiin pääasiassa CATIA:n part designeria ja assembly designeria. Kuviossa
50 on esitettyä CATIA:lla tehty 3D-malli hallintayksiköstä, sekä kuviossa 51

kuva valmiista laitteesta. Liitteessä 14 on hallintayksikön kotelon reikien mitoituskuvat sekä liitteessä 15 laitteen kokoonpanokuva.

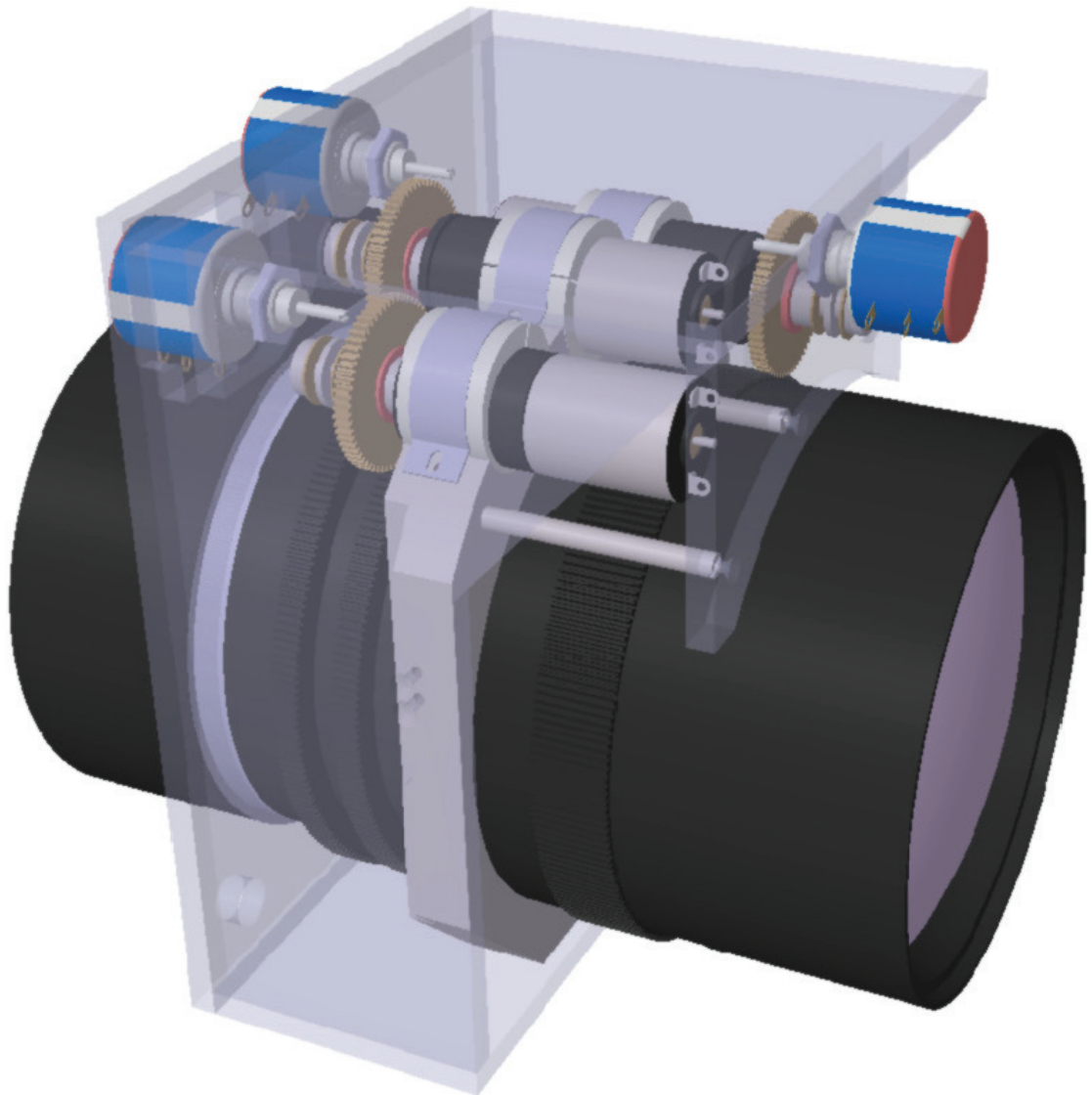


KUVIO 50. 3D-malli hallintayksiköstä

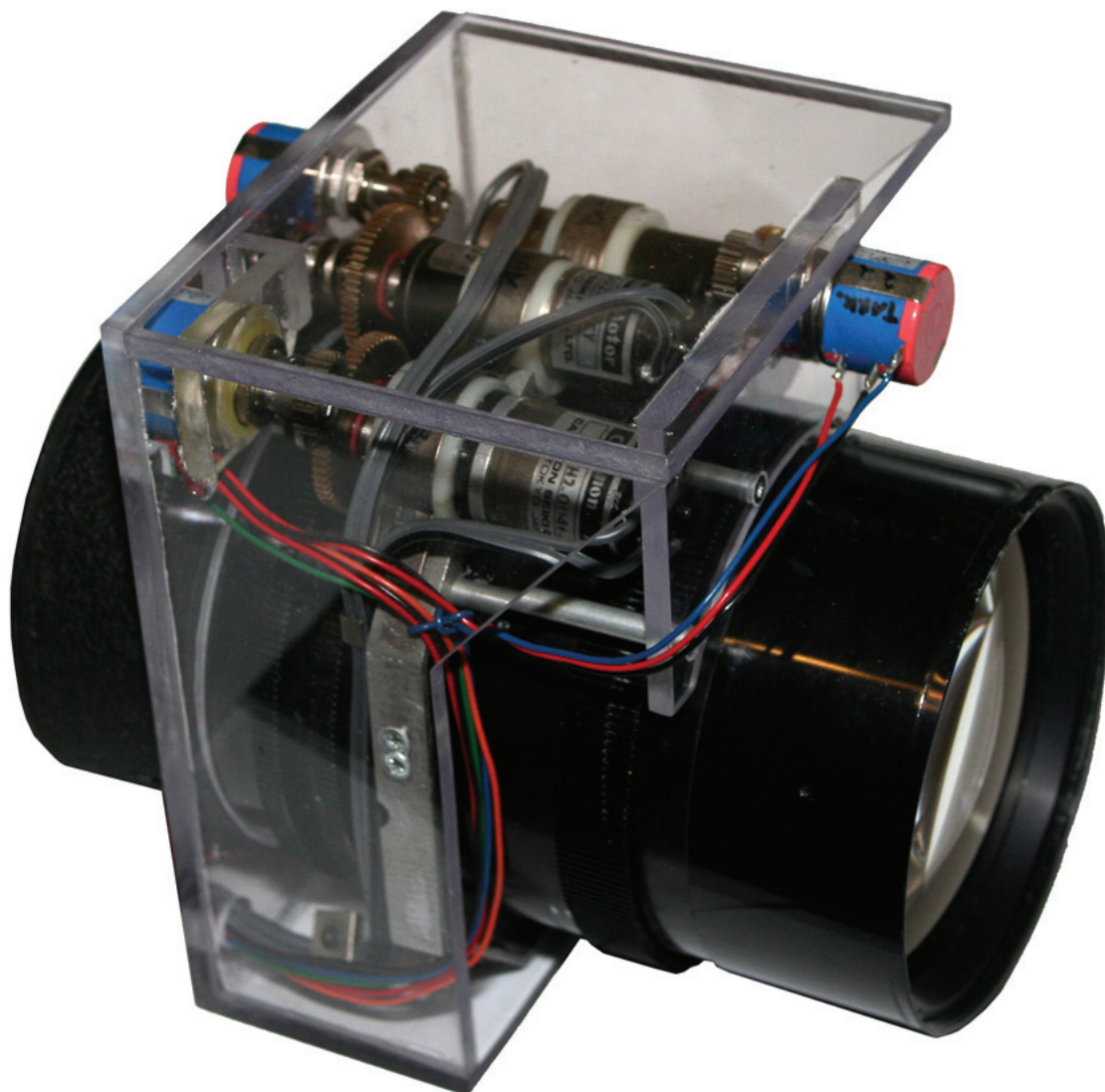


KUVIO 51. Valmis hallintayksikkö

Objektiivin mallintaminen oli hidasta ja työlästä, sillä sen mitoista tai ominaisuuksista ei ollut olemassa dokumentaatiota. Objektiivi mallinnettiin moottoreita, moottoreiden sovitin holkkeja ja kiinnitysrautaa myöten työntömitalla mitattujen mittojen avulla. Objektiivin mallintamisen jälkeen suunniteltiin tukirunko potentiometriä varten. Suunnitelmasta saatujen mittojen perusteella leikattiin oikeanmuotoiset ja kokoiset palat läpinäkyvästä akryylimuovista tukirungon rakennuspaloiksi. Akryylimuovipalojen reunat karhennettiin ja palat liimattiin toisiinsa epox-liimalla. Hammaspyörien huoltamista ja rasvaamista varten kansipalaa ei liimattu kiinni, vaan se kiinnitettiin kahdella ruuvilla. Kuviossa 52 on esitettyä CATIA:lla tehty 3D-malli objektiivista, sekä kuviossa 53 kuva valmiista laitteesta.



KUVIO 52. Catia mallinnus objektiivistä



KUVIO 53. Koteloimaton objektiivi tukirungossa

Edellä esitettyjen 3D-mallien lisäksi mallinnettiin kummankin yksikön piirilevyt komponentteineen. Mekaniikan osalta mallintamatta jäi säänkestävä kotelo ja kääntöjalusta, joiden mallintaminen jätettiin tämän työn ulkopuolelle. Mekaniikkaa mallinnettiin ja toteutettiin huomattavasti alkuperäistä suunnitelmaa enemmän. Liitteeseen 16 on lueteltuna mekaniikan toteuttamiseen käytettyjä osia.

5.3 Toimintojen ohjelmallinen testaus

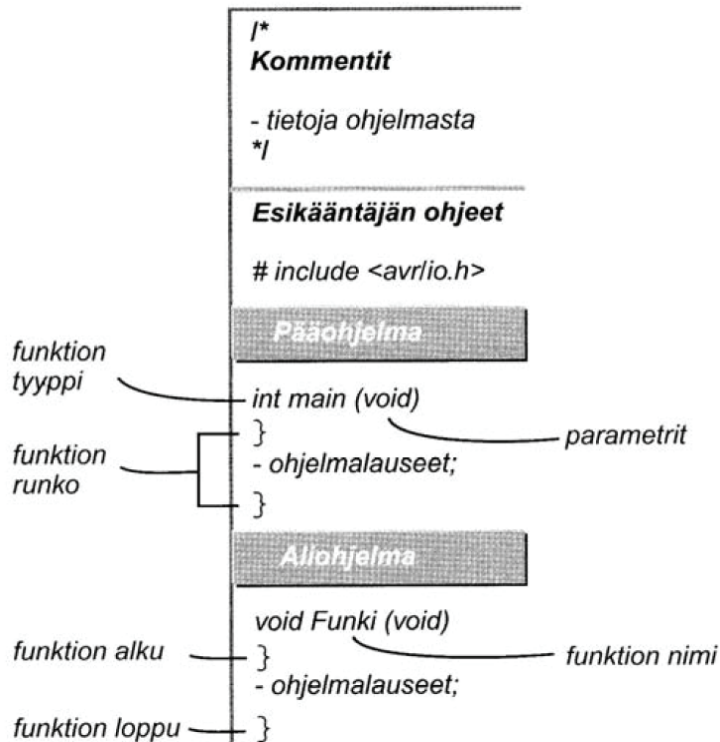
5.3.1 Ohjelmointityökalut

Mikro-ohjaimen valinta työn alussa sinetöi käytettävän ohjelmointikielen, joten siihen ei voinut enää tässä vaiheessa vaikuttaa. Ohjelmointiin käytettävien työkalujen eli ohjelmointiympäristön osalta oli enemmän valinnanvaraa. Käytettävän ohjelmointiympäristön valinta on makuasia, sillä ohjelmasta riippumatta lopputuloksena on konekielinen ohjelmakoodi joka ladataan mikro-ohjaimen muistiin. Ohjelmien välinen ero on pääasiassa käyttöliittymän ulkoasussa, työkalujen määrässä, asetusten tekemisen ja käytön helppoudessa ja ohjelmiston hinnassa.

Atmelin ilmainen AVR Studio 4 on ammattitason kehitysympäristö, joka sisältää editorin ja kääntäjän lisäksi myös debuggerin, assemblerin ja simulaattorin. Toinen vaihtoehto on esimerkiksi HP InfoTechin kaupallinen CodeVision AVR. CodeVision sisältää esimerkiksi CodeWizard toiminnon, joka luo käyttäjän antamien alkuarvojen perusteella valmiin ohjelmarungon valituilla ominaisuuksilla. Ohjelmointi on mahdollista myös tekstieditorin, kääntäjän ja lataajan yhdistelmällä, jollaiseksi sopii esimerkiksi WinAVR:n ja PonyProg:n yhdistelmä. Ohjelmointiympäristöksi valittiin CodeVision AVR muun muassa sen kätevästä CodeWizard toiminnon takia. (Vahtera 2003, 75 – 77.)

5.3.2 Ohjelman rakenne

C-kielisen ohjelman perusrakenne on samanlainen tehtävästä ohjelmakoodista riippumatta (ks. kuvio 54). Tavallisesti ohjelmakoodin alusta löytyy kommentteja ainakin ohjelman tarkoituksesta, versiosta, käytetystä laitteistosta ja tekijästä. Kommentointi on täysin vapaamuotoista ja niitä voidaan tehdä minne tahansa kohtaa ohjelmaa kasvattamatta käännetyn ohjelman kokoa. Yksiriviset kommentit kirjoitetaan // merkkien jälkeen tai useamman rivin kommentit /* ja */ merkkien välille.



KUVIO 54. C-kielisen ohjelman rakenne (Vahtera 2003)

Varsinainen ohjelma alkaa esikääntäjän ohjeilla. Ohjeet koostuvat kirjastoista, joilla määritellään muun muassa mikro-ohjaimen rekistereitä ja osoitteita. Esimerkiksi esikääntäjän ohje `#include <lcd.h>` määrittelee LCD-näytön ohjaamiseen tarvittavan ajurin, tiedosto `1wire.h` 1-Wire-väylän käyttöön tarvittavan protokollan ja `mega128.h` ATmega128 mikro-ohjaimen rekisterit.

Esikääntäjän määritysten jälkeen, ennen ensimmäisen pääohjelman / aliohjelman alkua määritellään globaalit muuttujat. Ne ovat kaikille ohjelmaosille yhteisesti näkyviä muuttujia. Globaalien muuttujien sijaan käytetään pääasiassa paikallisia muuttujia, jotka näkyvät vain yhden funktion sisällä. Paikalliset muuttujat määritellään funktioiden eli pääohjelman ja aliohjelmien alussa. Muuttujat ja niiden arvot ovat olemassa vain niin kauan, kun funktio jossa muuttujat on määritelty, on olemassa. (Vahtera 2003, 166 – 175).

Pääohjelma ja aliohjelmat sijaitsevat peräkkäin, esikääntäjän ohjeiden jälkeen. Nämä ohjelmat pitävät sisällään varsinaisen toiminnan toteuttavan ohjelmakoodin, esimerkiksi valon vilkuttelun. Kuviosta 54 poiketen `main`-funktio eli pääohjelma tulisi sijoittaa ohjelmakoodin viimeiseksi, aliohjelmien jälkeen.

5.3.3 Näytön ohjaaminen

Aivan ensimmäiseksi testattiin näytön toiminta, koska se helpotti huomattavasti muiden osien toiminnan testaamista myöhemmässä vaiheessa. Ohjelmakoodin runko generoitiin CodeVision ARV:n CodeWizardin avulla. Mikroohjaimen tyypiksi valittiin ATmega128, kellotaajuudeksi 7.3728 MHz ja LCD-näytön portiksi C. Koodin generoinnin jälkeen koodiin lisättiin komento `lcd_putsf("Testi");` joka tulosti onnistuneesti näytölle sanan Testi. Näytön testaaminen tapahtui seuraavalla koodilla:

```
#include <mega128.h>
#asm
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>

void main(void)
{
    lcd_init(16);
    lcd_putsf("Testi");
}
```

5.3.4 Painonappien ja rajojen lukeminen

Painonappien ja rajojen testaamisessa käytettiin apuna aiemmin testattua LCD-näyttöä, jossa näytettiin teksti sen mukaan mitä kytkintä oli painettu. Näytön asetuksiin verrattuna otettiin käyttöön lisäksi portit B ja D joihin kytkimet oli liitetty, sekä määriteltiin ne tuloiksi. Kytkinten tiloja tutkittiin ehtolauseella IF(portti) ja tulostettiin kytkintä vastaava tieto näyttöön komennolla `lcd_putsf("kytkimen nimi ja numero");`.

Testauksen yhteydessä ilmeni, että painonappien kytkentä oli mennyt kummankin laitteen piirikaaviota tehtäessä ristiin. Tästä seurasi että nappien tila ei vaihtunut ollenkaan, vaan ne tuntuivat olevan kokoajan pohjaan painettuna. Piirilevyjen modifioinnin jälkeen napit toimivat moitteettomasti. Testaus suoritettiin liitteen 17 mukaisella koodilla, jossa on esitettyä yhden painonapin ja yhden rajakytkimen tilan lukeminen.

5.3.5 AD-muuntimen lukeminen

AD-muuntimien testaamisessa käytettiin apuna LCD-näyttöä, jossa näytettiin muuntimien arvot sekä muita laskennallisia tietoja. Näytön asetuksiin verrattuna otettiin käyttöön lisäksi AD-muuntimet. AD-muuntimen asetuksista aktivoitiin keskeytykset, jännitereferenssiksi muutettiin AVCC pin, sekä alennettiin muuntimen tarkkuus 10-bitistä 8-bittiin. Esimerkiksi kanavan 0 AD-muuntimen arvo luettiin komennolla `itoa(adc_data[0], stradca);`, joka muutti samalla muuntimelta saadun kokonaisluvun merkkijonoksi ja talletti sen muuttujaan `stradca`. Testaus suoritettiin liitteen 18 koodilla, joka tiedon keräämisen ja näyttämisen lisäksi laski alueesta muuntimen osuuden prosentteina ja sitä vastaavan jännitteen esittäen lasketut tiedot näytöllä. Kaikkien kanavien todettiin toimivan moitteettomasti.

5.3.6 Lämpötilan lukeminen

Lämpötila-anturin testaamisessa käytettiin LCD-näyttöä lämpötilatiedon näyttämiseen. Näytön asetuksiin verrattuna otettiin käyttöön lisäksi 1-Wire-väylä. Asetuksista määriteltiin 1-Wire-väyläksi portin C kanava 3, sekä aktivoitiin tuki DS1820-lämpötila-anturille. Lämpötilan lukeminen tapahtui komennolla `temp = ds1820_temperature_10(0);`, joka tallensi anturin lämpötilatiedon muuttujaan `temp`. Anturilta saatu lämpötilatieto ei sisältänyt desimaaleja, jonka takia tietoa jouduttiin hieman käsittelemään laskennallisesti. Anturin toiminta testattiin liitteen 19 koodilla ja toiminta todettiin moitteettomaksi.

5.3.7 Moottoriohjaimien ohjaaminen

Askelmoottoriohjaimien sekä H-siltojen toiminta testattiin painonappeja käyttäen. Askelmoottoriohjaimia varten portti A ja H-siltoja varten portti E määriteltiin lähdeiksi, sekä painonappien portti D tuloksi. Askelmoottoriohjaimien vaatimat kellopulssit muodostettiin viiveiden avulla, kun muita ohjaimien tarvitsemia signaaleita ohjailtiin painonapeilla. Askelmoottoriohjaimien toiminta testattiin liitteen 20 koodilla, sekä H-siltojen toiminta vastaavanlaisella koodilla ilman kellopulssien muodostusta.

Askelmoottoriohjaimet toimivat kuten pitikin, mutta molempien ohjaimien osalta piirilevyllä tehtiin pieni muutos. Sillan sisäisen toimintatavan (`decay mode`)

valinnalla ei ollut toiminnan kannalta merkitystä, jonka takia tämän signaalin ohjaus mikro-ohjaimella oli turhaa. Ohjainpiirin päälle kytkennän mahdollistava Enable-pinni sitä vastoin havaittiin erittäin hyödylliseksi, jonka takia decay moden valinta poistettiin ja vapautunut signaali siirrettiin Enable-pinnin käyttöön.

H-siltojen kanssa oli huomattavasti enemmän ongelmia. Aluksi vikaa ei tuntunut löytyvän mistään, kunnes pitkällisen tutkiskelun jälkeen ilmeni että piirikaaviosuunnittelun yhteydessä kaikkien P-tyypin FETtien kytkentä oli tehty täysin väärin. FETtien kääntö ylösalaisin ja noin 135° kääntö myötäpäivään suhteessa alkuperäiseen asentoon ratkaisi lopulta ongelman. Tehtyjen muutosten jälkeen kaikki H-sillat toimivat kuten pitikin.

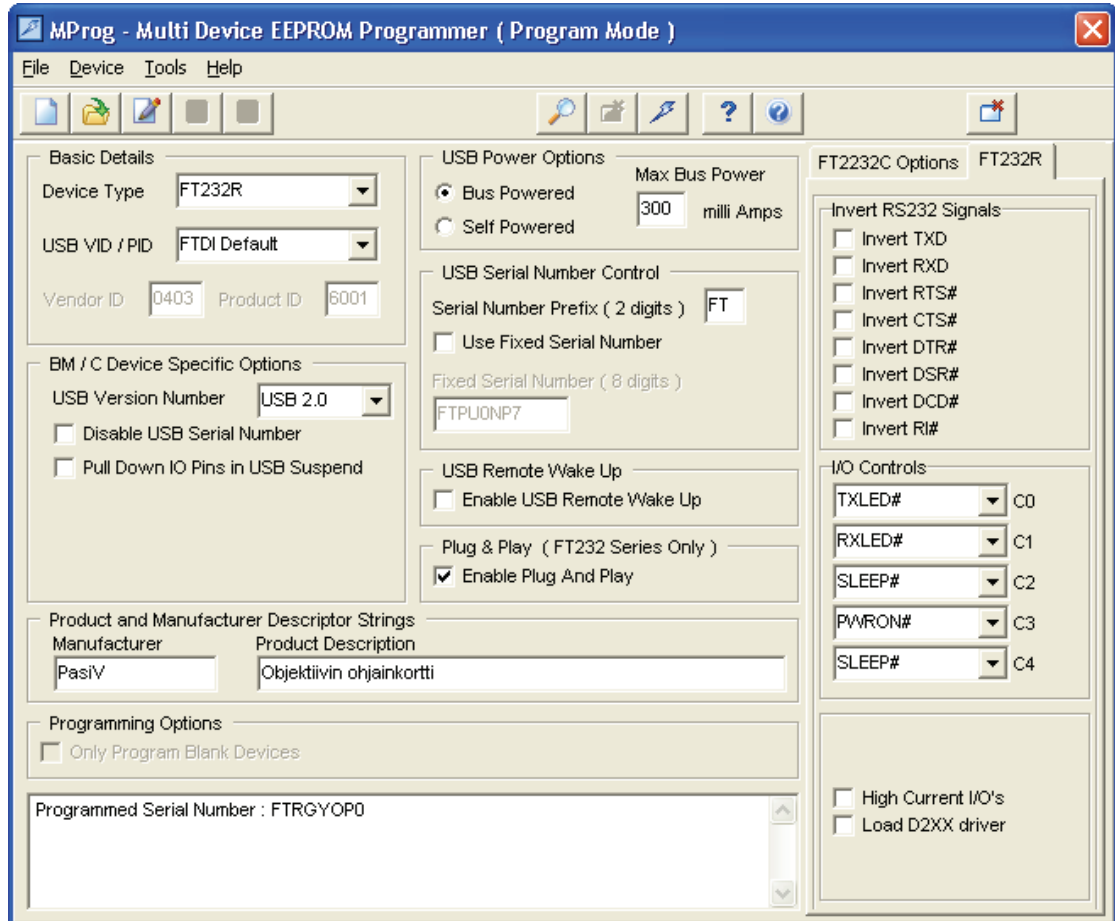
5.3.8 Tiedonsiirto RS-232:lla, USB:llä ja ZigBeellä

Tiedonsiirto mikro-ohjaimen sarjaliikenneohjainta USART:ia käyttämällä tapahtuu sen perään kytketystä väylätyypistä riippumatta aina samalla tavalla. Ei siis ole väliä onko sarjaliikenneohjaimen perään kytketty RS-232-väylä, USB-väylä tai langaton ZigBee. Eri väylätyyppien toiminnan testaaminen oli oletettua huomattavasti yksinkertaisempaa.

RS-232:n ja USB:n toiminnan testaaminen aloitettiin laitteistotason kaiutustestillä. Tämä tapahtui yhdistämällä sarjaliikenneväylän tuleva ja lähtevä datalinja toisiinsa piirilevyillä olevan jumpperin avulla. Tämän seurauksena vastaanotettu signaali kiertää saman tien takaisin lähetettäväksi. Väylän toiminta voitiin todeta kun Termite terminaaliohjelmalla lähetetty merkkijono vastaanotettiin muuttumattomana. Ohjausyksikön RS-232-väylä ja hallintayksikön USB-väylä toimivat ongelmitta, mutta hallintayksikön RS-232-väylää ei saatu toimimaan yrityksistä huolimatta. Toimimattomuuden syy jäi epäselväksi, mutta todennäköisin aiheuttaja oli USB:n kautta toteutettu jännitteensyöttö.

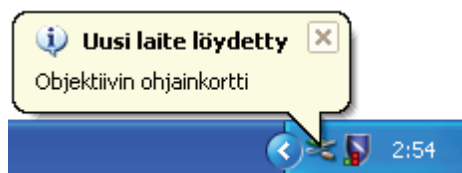
USB-piiri toimi ilman konfigurointia. Se ei kuitenkaan tarkoittanut sitä ettei piirin asetuksia olisi voinut muuttaa. Piirikaaviosuunnittelussa tulevalle ja lähtevälle datalle suunniteltiin merkkivalot, kuten myös tehonhallintakytkentä. Näiden ominaisuuksien käyttöönotto vaati piirin asetusten muuttamista. Asetusten muuttaminen tapahtui MProg nimistä ohjelmaa käyttäen. I/O-

porttien määrittelyn lisäksi ohjelma mahdollisti muun muassa tehonsyöttö-
van valinnan ja laitteen nimeämisen. Kuviossa 55 on esitettyä asetuksia joita
käytettiin hallintayksikön USB-piirin ohjelmoinnissa.



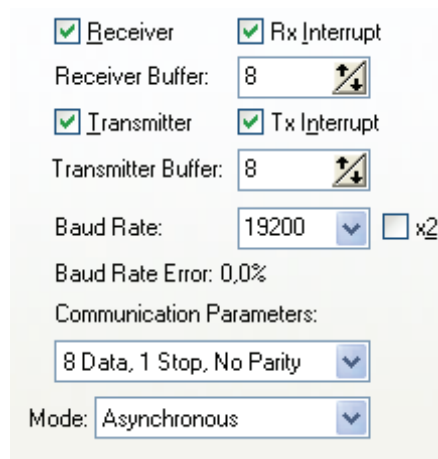
KUVIO 55. USB-piirin konfigurointi MProg:lla

USB-piirin ohjelmoinnin jälkeen hallintayksikön liittäminen tietokoneeseen sai
aikaan ilmoituksen uudesta laitteesta (ks. kuvio 56). Laitteen nimeksi ilmoitet-
tiin Objektiivin ohjainkortti, joka hetkeä aiemmin oli piirille ohjelmoitu.



KUVIO 56. Ilmoitus uudesta laitteesta

Sarjaliikenneväylien konfiguroinnin apuna käytettiin CodeVisionin CodeWizardia, jonka sarjaliikenneasetuksista aktivoitiin käyttöön sarjaliikenneohjaimet USART0 ja 1, sekä näiden lähetys- ja vastaanottoiminnot keskeytyksineen. Väylien nopeudeksi määriteltiin 19200 bps, muiden asetusten annettiin olla oletusasetuksissa. Kuviossa 57 on esitettyä USART0:n asetukset.



KUVIO 57. USART0:n asetukset ohjelmakoodin generointia varten

Liitteessä 21 on esitettyä generoinnin tuloksena syntynyt ohjelmakoodi, jota muokattiin siten että mikro-ohjain toimi siltana USART0:n ja USART1:n välillä (data=UDR0 → UDR1=UDR0 ja data=UDR1 → UDR0=UDR1). Muutoksen seurauksena mikro-ohjain toimii läpinäkyvänä siltana kahden sarjaliikenneväylän välillä, joka mahdollisti muun muassa ZigBee-moduulien konfiguroinnin USB- ja RS-232-väylän kautta. Liitteen 21 ohjelmakoodin avustuksella konfiguroitiin ZigBee-moduulit sekä testattiin eri väylien välinen toimivuus.

Ennen kuin ZigBee-moduulit suostuivat keskustelemaan keskenään, oli niiden asetuksia muutettava. Ohjausyksikkö määritettiin PAN-koordinaattoriksi ja hallintayksikkö reitittimeksi. Tämän lisäksi ZigBee-moduuleille oli määriteltävä toistensa MAC-osoitteet, muiden asetusten annettiin olla alkuperäisinä. Liitteessä 22 on esitettyä ZigBee-moduulien asetusten määrittely AT-komennoin. Langattoman tiedonsiirron toimivuus testattiin kytkemällä hallintayksikön USB ja ohjainyksikön RS-232-väylä tietokoneeseen, avaamalla kummallekin laitteelle oma terminaaliohjelma ja lähettämällä merkkijonoja laitteelta toisella. Langattoman yhteyden todettiin toimivan ongelmitta.

6 POHDINTA

6.1 Työn monipuolisuus

Projektin läpivienti oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava prosessi. Valitsemani aihe oli todella suuritöinen, ollen samalla erittäin opettavainen. Työ sisälsi paljon piirilevy- ja mekaniikkasuunnittelua, vianetsintää, sekä sähköistä ja ohjelmallista testausta. Työssä selvitettiin eri toimintojen toteuttamiseksi useita toteutusvaihtoehtoja, sekä käytiin läpi käytetyn tekniikan teoriaa ja valinnan perusteita.

Työ kattoi laajuudessaan lähes koko elektroniikkasuunnittelun ketjun alusta loppuun, sekä täydensi mielestäni parhaalla mahdollisella tavalla elektroniikan koulutusohjelman kursseilla opittuja asioita. Työn yhteydessä sain rutiininomaista kokemusta PADS-piirilevynsuunnittelu ohjelmiston ja Catia 3D-mekaniikkasuunnittelu ohjelmiston käytöstä. Lisäksi tutuiksi tulivat tiedonhankinta Internetistä, tiedon oikeellisuuden varmistaminen sekä komponenttien datalehdet ja dokumentoinnin tärkeys.

6.2 Työn tuomat haasteet

Jo alussa tiesin että työ tulisi olemaan erittäin haastava ja joka tulisi viemään valmistuakseen huomattavan määrän aikaa. Myös epäonnistumisen vaara tuntui ilmeiseltä, koska en aiemmin ollut suunnitellut mitään näin laajaa järjestelmää. Aiemmin olin tehnyt vain muutamia pieniä elektroniikka projekteja koulun kursseilla, joten siirtyminen suuremman järjestelmän suunnitteluun tuntui kiehtovalta. Haastavuutta toivat mukanaan lukuisat uudet asiat joista minulla ei ennestään ollut minkäänlaista kokemusta. Aivan uutta olivat muun muassa H-sillat, askelmoottoriohjaimet, USB-väylä ja ZigBee-verkot, mutta myös täysin alaan liittymättömät asiat kuten vaihteistot.

Suurin haaste oli projektin laajuus ja kokonaisuuden hallinta, sekä tietysti ajankäyttö. En pitänyt käytetystä ajasta minkäänlaista kirjaa, mutta arviolta työn speksien määrittämisestä työn nykytilaan saattamiseen aikaa kului reilus-

ti yli 1000 tuntia. Näin jälkikäteen ajateltuna työ olisi pitänyt rajata tiukasti vain elektroniikkasuunnitteluun, testaukseen ja ohjelmistokehitykseen. Toisaalta ohjelmistokehitystä olisi ollut vaikea tehdä ilman ohjattavaa laitetta, jolla toimivuuden olisi voinut todeta käytännössä. Valitulla ratkaisumallilla laitteisto saatiin rakennettua sellaiseksi josta sen jatkokehittely on helposti mahdollista, joka oli työn alkuperäinen tarkoitus.

6.3 Työn lopputulos

Laitteistossa olleet viat saatiin paikannettua ja korjattua hallintayksikön RS-232-väylää lukuun ottamatta. Tasomuuntimen mahdollinen vioittuminen testattiin vaihtamalla tilalle uusi piiri, joka ei kuitenkaan muuttanut tilannetta. Lisäksi piirikaaviota ja layoutista tarkistettiin useampaan kertaan että kytkennät olivat varmasti oikein. Vian aiheuttaja jäi osittain epäselväksi, mutta tehtyjen testien perusteella syy vaikutti olevan USB:n kautta toteutetussa jännitteensyötössä. Väylää ei tosin saatu toimimaan edes ulkoista tehonsyöttöä käytettäessä.

Ohjausyksikön suunnittelussa oli lisäksi muutamia pieniä puutteita, joista poiki parannusehdotuksia ja jatkokehitysideoita:

- 5 V regulaattori oli alimitoitettu ainakin jäähdytyksen osalta, jonka seurauksena se kävi huomattavan kuumana, kun kaikki piirikortin toiminnot olivat yhtä aikaa käytössä.
- Paremman kuvalaadun kannalta kennon fyysiset mitat olisivat saaneet olla suuremmat nykyiseen ¼" halkaisijaan verrattuna. Tällöin välttyttäisiin objektiivin välittämän kuvan leikkautumisesta. Kameran kennon ei olisi tarvinnut myöskään olla värillinen, vaan paremman herkkyyden ja kuvanlaadun kannalta se olisi saanut olla harmaasävyinen.
- Mikro-ohjaimen kanavia olisi voinut säästää muun muassa käyttämällä yhtä AD-muuntimen kanavaa multiplexerin välityksellä usean kohteen jännitteen mittaamiseen.

6.4 Loppusanat

Aihevalinta oli ehkä kaikkein paras mahdollinen oppimisen kannalta, vaikka ammatilliselta näkökulmalta katsottuna itselle tehty opinnäytetyö ei paras mahdollinen vaihtoehto ollutkaan. Opinnäytetyö täydensi ja palautti mieleeni koulussa opittuja asioita, jotka olin ehtinyt jo osittain unohtaa viimeisen vuoden aikana automaation opintoja suorittaessani.

Olen kaikin puolin tyytyväinen aihevalintaan ja saavutettuun lopputulokseen. Olisin toki halunnut saada työn vieläkin valmiimmaksi opinnäytetyön puitteissa, mutta työhön käytettävä aika oli rajallinen. Ellei työlle olisi pistetty loppua juuri nyt, olisi se todennäköisesti vielä ensikesänäkin työn alla ja tämä kirjanen olisi paisunut arviolta kaksinkertaiseksi. Työn haastavuudesta ja välillä suuristakin ongelmista huolimatta motivaatio työn tekemiseen pysyi korkeana aiheen kiinnostavuuden ja monipuolisuuden takia.

LÄHTEET

- 4N25-M datasheet. 2005. Viitattu 10.10.2008.
<http://www.fairchildsemi.com/ds/4N/4N25-M.pdf>.
- Aaltonen, J., Kousa, S. & Stor-Pellinen, J. 2004. Elektroniikan perusteet. 4 korj. p. Helsinki: Limes ry.
- Ahola, A. & Alapere, A. 2008. USB-väylä. Viitattu 22.11.2008.
<http://www.oamk.fi/~vejok/TL9101/Seminaarit/USB%2004.doc>.
- Ahola, K. 2004. Sähkömagneettinen yhteensopivuus, EMC. Viitattu 25.11.2008. <http://www.uwasa.fi/~h74822/TAU107/EMC/Emcluento.doc>.
- ATmega128 datasheet. 2006. Rev O. Viitattu 15.10.2008.
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf.
- Atmel. 2008. Mikro-ohjaimien valmistaja. Viitattu 24.10.2008.
<http://www.atmel.com>.
- BernClare. 2007. PTZ kameran kytkeminen tallentimeen. Viitattu 19.10.2008.
<http://www.ildvrusa.com/connectPTZ.pdf>.
- Brown, J. 1998. Teoriaa H-sillasta. Viitattu 1.11.2008.
<http://www.dprg.org/tutorials/1998-04a>.
- Craig. 2008. Kattava tietopaketti hevosvoimista ja vääntömomentista. Viitattu 5.11.2008. <http://craig.backfire.ca/pages/autos/horsepower>.
- Crunkilton, D. & Kuphaldt, T. 2007. Askelmoottoreiden tekniikkaa. Viitattu 9.11.2008. <http://www.electrojects.com/motors/stepper-motors-1.htm>.
- Dasys. 2008. Oppaita ja tietoa kameravalvonnasta. Viitattu 17.10.2008.
<http://www.dasys.fi>, tuki.
- FT232R datasheet. 2008. Viitattu 23.11.2008.
<http://www.ftdichip.com/Products/FT232R.htm>, FT232R Datasheet.
- Halkosaari, A. 2007. Kameravalvonta muutoksessa. Opinnäytetyö. Laurea-ammattikorkeakoulu, yhteiskuntatieteiden, liiketalouden ja hallinnon ala, turvallisuusalan koulutusohjelma. Viitattu 17.10.2008.
<https://publications.theseus.fi>, Laurea-ammattikorkeakoulu, turvallisuusalan koulutusohjelma, selaus nimikkeen mukaan.
- Honkanen, H. 2003. Perustietoa antureiden tyypeistä ja ominaisuuksista. Viitattu 11.11.2008. <http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma>, Automaatiotekniikka, Anturit.
- Huhtama, K. 2008. Laaja elektroniikan ongelmien ratkaisuun keskittynyt sivusto. Viitattu 29.10.2008. <http://koti.mbnet.fi/~huhtama/ele>, U.K.K, Elektroniikka.

- iPCMAX. 2008. Erikoistietokoneita, komponentteja ja elektroniikkaa myyvä yritys. Viitattu 18.8.2008. <http://www.ipcmax.com>, Videovalvonta, Valvontakamerat.
- Kastepohja, A. 2006. Komponentin perustiedot. Virtuaalinen kehitysympäristökurssin luentokalvot keväältä 2006. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Khason, T. 2004. Pelco P ja D protokollan rakenne ja ohjelmointi C#:lla. Viitattu 19.10.2008. <http://www.codeproject.com>, Languages, C#, C# Programming – General, Pelco P and D protocol implementation in C#.
- Koskinen, J. 1998. Mikrotietokonetekniikka: sulautetut järjestelmät. Helsinki: Otava.
- Kotkansalo, J. 2007. Boundary-Scan periaatteet. Testauksen suunnittelu-
kurssin luentokalvot keväältä 2007. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- L6228 datasheet. 2003. Viitattu 13.11.2008.
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/9454/l6228.pdf>.
- Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2006. ZigBee esitys. Viitattu 21.11.2008.
http://www.ee.lut.fi/courses/Sa2910400/esitykset_2006/esitys2006modattu.pdf
- Litwiller, D. 2005. CMOS vs. CCD: Maturing technologies, maturing markets. Viitattu 27.10.2008. <http://www.dalsa.com>, products, digital imaging, CCD vs. CMOS.
- Matilainen J. 2006. Voimansiirron perusteet. Machine elements-kurssin luentokalvot keväältä 2006. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Maxim. 2008. Puolijohde valmistaja. Viitattu 20.11.2008. <http://www.maxim-ic.com/products/1-wire>.
- Mikä ihmeen RS-422/485. 1998. Sarjaväylien vertailu. Viitattu 10.9.2008.
<http://www.pori.tut.fi/~turu/rs.htm>.
- Perkkiö, J. 2008. Sarjakommunikointiväylät. Viitattu 22.11.2008.
<http://users.jyu.fi/~japerkki/mcu>, Luennot 7 ja 8, Kommunikointiväylät.
- RC2200AT datasheet. 2006. Viitattu 23.11.2008.
http://www.radiocrafts.com/uploads/rc2200at-sppio_data_sheet_0_71.pdf.
- Rinne, O. 2003. Digikameroiden kennotyyppien eroja. Viitattu 26.10.2008
<http://www.pikseli.fi>, Digi-Info, DigiFAQ, Pidempiä artikkeleitani.
- RL 9.6.2000/531. Valtioneuvoston asetus salakatselusta. Valtion säädöstietopankki Finlex. Viitattu 17.10.2008. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.
- Sarka, T. 2008. USB-väylä. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma, tietotekniikka. Viitattu 23.11.2008.
<https://oa.doria.fi/>, Tampereen ammattikorkeakoulu, TATU, Tietotekniikka, Sarka, Tomi, USB-väylä.

SpyShop2000. 2008. PTZ protokolla esimerkki. Viitattu 3.10.2008.
<http://www.spyshop2000.com/1079-ptz-setup.pdf>.

Suomen turvakamera. 2004. Turvakamera videovalvontaopas 2004-2005.
Viitattu 10.9.2008. <http://www.turvakamera.fi>, tuotteet.

Suomen turvaurakoitsijaliitto. 2008. Tietoa kameravalvonnasta. Viitattu
12.10.2008. <http://www.lukkoliikkeet.fi>, alan palvelut, yrityksille, kameravalvon-
ta.

Tietosuojavaltuutettu. 2001. Yksityisyyden suoja kameravalvonnassa. Viitattu
10.9.2008. <http://www.tietosuoja.fi>, oppaat, asiaa tietosuojasta –sarja, yksityi-
syyden suoja kameravalvonnassa.

Tietosuojavaltuutettu. 2008. Kameravalvonnasta. Viitattu 10.9.2008.
<http://www.tietosuoja.fi>, kysyttyä, kameravalvonta.

Tikkanen, H. 2004. Piirilevynsuunnitteluopas. 2. p. Jyväskylä: DS-Design Sys-
tems.

Tutti, P. 2006. Lyhyen matkan RF-tekniikat. Tutkintotyö. Tampereen ammatti-
korkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma, tietoliikennetekniikka. Viitattu
23.11.2008. <https://oa.doria.fi>, Tampereen ammattikorkeakoulu, TATU, Tieto-
tekniikka, Tutti, Petri, Lyhyen matkan RF-tekniikat.

Vahtera, P. 2003. Mikro-ohjaimen ohjelmointi C-kielellä. 1. p. Helsinki: WSOY.

Vahtera, P. 2008. Mikro-ohjaimen ohjelmointi C-kielellä 2. Viitattu 29.9.2008.
<http://www.microsalo.com/Kirja>.

Yrjölä, I. 2008. Radioamatööri ja tähtitiede harrastuksista kertova sivusto. Vii-
tattu 29.10.2008. <http://www.kolumbus.fi/oh5iy>, CCD Meteor Video Camera
Project.

LIITTEET

Liite 1. Sarjaväylien ominaisuusvertailu

	RS232	RS422	RS485
Toimintatapa	single ended unbalanced	differential balanced	differential balanced
Laitteiden lukumäärä	1 lähetin 1 vastaanotin	1 lähetin 10 vastaanotinta	32 lähetintä 32 vastaanotinta
Tiedonsiirtotapa	full duplex	full duplex half duplex	half duplex
Max. Etäisyys	15m kun nopeus 19.2 kbps	1200m kun nopeus 100 kbps	1200m kun nopeus 100 kbps
Max. Tiedonsiirtonopeus	19.2 kbps kun matka 15m	10 Mpbs kun matka on 15m	10 Mpbs kun matka on 15m
Space (data 0)	5 V min. 15 V max.	2 V min. (A>B) 6 V max. (A>B)	1.5 V min. (A>B) 5 V max. (A>B)
Mark (data 1)	-5 V min. -15 V max.	2 V min. (B>A) 6 V max. (B>A)	1.5 V min. (B>A) 5 V max. (B>A)
Tulovastus (ohmia)	3k - 7k	4k	12k
Jännitetaso Min.	+/- 3 V	0.2 V difference	0.2 V difference
Protokolla	ei määritelty	ei määritelty	ei määritelty

Lähde: <http://www.pori.tut.fi/~tiru/rs.htm>

Liite 2. PTZ-protokollia

Pelco D / P (Spectra)

Panasonic (WV-CS850)

Philips

Samsung (Techwin SPD-2500, Electric SCC-643)

Honeywell Korea (ScanDome II, HSDN-251N)

Hitron (Fastrak II)

Kalatel ASCII (KTD-312)

Sungjin (SJ100, SJ1000)

Wonwoo Supremacy (DS series, WSJ series, DRX Protocol [same as D-max Protocol])

American Dynamics (AD RS-422)

Oriental Electronic (ORX-1000)

Dongwong (DV-SP360D, DV-255RXC - D-max)

Dynacolor (DYC)

Toshiba (SJ-1000)

Hitachi (SJ-100)

Kalatel DIGI

VCLTP

AD Sensornet

GE-Kalatel

Molynx

Alec

Vido-B01

Neon

HTSCAM

HD600

TOTA

Kalatel

VclDome

Redapple

Santachi450

Vicon

HUOM! Protokollalista ei ole täydellinen

Lähde: Kerätty eri valvontalaitteiden teknisistä tiedoista

Liite 3. Hallintayksikön porttilista

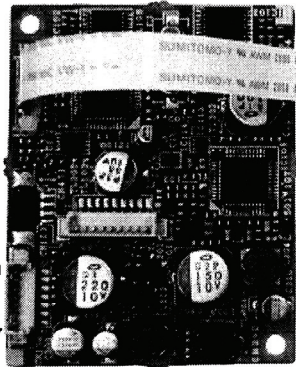
Portti	Signaali	Signaalin selite
PORTA	.0 J2-1	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 1, vapaa
	.1 J2-2	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 2, vapaa
	.2 J2-3	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 3, vapaa
	.3 J2-4	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 4, vapaa
	.4 J2-5	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 5, vapaa
	.5 J2-6	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 6, vapaa
	.6 J2-7	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 7, vapaa
	.7 J2-8	Vapaiden liitinrimalla 2, paikassa 8, vapaa
PORTB	.0 J4-1	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 1, vapaa
	.1 SCK	SPI kello
	.2 J4-3	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 3, vapaa
	.3 J4-4	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 4, vapaa
	.4 J4-5	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 5, vapaa
	.5 J4-6	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 6, vapaa
	.6 J4-7	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 7, vapaa
	.7 J4-8	Vapaiden liitinrimalla 4, paikassa 8, vapaa
PORTC	.0 LCD_RS	LCD-näyttö
	.1 LCD_RD	LCD-näyttö
	.2 LCD_EN	LCD-näyttö
	.3 NC	Kytkemättä
	.4 LCD_D4	LCD-näyttö
	.5 LCD_D5	LCD-näyttö
	.6 LCD_D6	LCD-näyttö
	.7 LCD_D7	LCD-näyttö
PORTD	.0 NC	Kytkemättä
	.1 NC	Kytkemättä
	.2 UART1_RX	ZigBee/RX / RS-232/RX
	.3 UART1_TX	ZigBee/TX / RS-232/TX
	.4 NC	Kytkemättä
	.5 NC	Kytkemättä
	.6 NC	Kytkemättä
	.7 NC	Kytkemättä
PORTE	.0 UART0_RX/MOSI	SPI/MOSI & USB/RX
	.1 UART0_TX/MISO	SPI/MISO & USB/TX
	.2 NC	Kytkemättä
	.3 NC	Kytkemättä
	.4 NC	Kytkemättä
	.5 NC	Kytkemättä
	.6 NC	Kytkemättä
	.7 NC	Kytkemättä
PORTF	.0 SW4	Painonappi 4
	.1 SW3	Painonappi 3
	.2 SW2	Painonappi 2
	.3 SW1	Painonappi 1
	.4 STATE	Tieto onko ZigBee vai RS-232 käytössä
	.5 NC	Kytkemättä
	.6 NC	Kytkemättä
	.7 NC	Kytkemättä
PORTG	.0 NC	Kytkemättä
	.1 NC	Kytkemättä
	.2 NC	Kytkemättä
	.3 NC	Kytkemättä
	.4 NC	Kytkemättä

Liite 4. Ohjausyksikön porttilista

Portti	Signaali	Signaalin selite
PORTA	.0 V_CLOCK .1 V_EN .2 V_CW/CCW .3 V_HALF/FULL .4 P_CLOCK .5 P_EN .6 P_CW/CCW .7 P_HALF/FULL	Vaakasuunnan moottorin askellusnopeus Vaakasuunnan ohjainpiiri päälle Vaakasuunnan suunnanvalinta Vaakasuunnan askellustapa "hidas/nopea" Pystysuunnan moottorin askellusnopeus Pystysuunnan ohjainpiiri päälle Pystysuunnan suunnanvalinta Pystysuunnan askellustapa "hidas/nopea"
PORTB	.0 CAM .1 SCK .2 LS1 .3 LS2 .4 LS3 .5 LS4 .6 LS5 .7 CON12-6	Kameramoduulin sähkönsyötön ohjaus SPI kello Turvarajakykin tulo 1, vaaka vasemmalla Turvarajakykin tulo 2, vaaka oikealla Turvarajakykin tulo 3, pysty alhaalla Turvarajakykin tulo 4, pysty ylhäällä Turvarajakykin tulo 5, vapaa Vapaiden liitintimalla 12, paikassa 6, vapaa
PORTC	.0 LCD_RS .1 LCD_RD .2 LCD_EN .3 1-WIRE .4 LCD_D4 .5 LCD_D5 .6 LCD_D6 .7 LCD_D7	LCD-näytön signaali LCD-näytön signaali LCD-näytön signaali 1-Wire väylä lämpötila-anturille LCD-näytön signaali LCD-näytön signaali LCD-näytön signaali LCD-näytön signaali
PORTD	.0 CON12-5 .1 CON12-8 .2 UART1_RX .3 UART1_TX .4 SW1 .5 SW2 .6 SW3 .7 SW4	Vapaiden liitintimalla 12, paikassa 5, vapaa Vapaiden liitintimalla 12, paikassa 8, vapaa ZigBee RX ZigBee TX Painonappi 1 Painonappi 2 Painonappi 3 Painonappi 4
PORTE	.0 UART0_RX/MOSI .1 UART0_TX/MISO .2 A+ .3 A- .4 Z+ .5 Z- .6 T+ .7 T-	SPI/MOSI & RS-232/RX SPI/MISO & RS-232/TX H-sillan ohjaussignaali, aukko auki H-sillan ohjaussignaali, aukko kiinni H-sillan ohjaussignaali, zoom tele H-sillan ohjaussignaali, zoom wide H-sillan ohjaussignaali, tarkennus + H-sillan ohjaussignaali, tarkennus -
PORTF	.0 AD7 .1 AD6 .2 AD5 .3 AD4 .4 AD3 .5 AD2 .6 AD1 .7 CON12-4	AD-muunnin, AD liitinrimalla, vapaa AD-muunnin, AD liitinrimalla, vapaa AD-muunnin, AD liitinrimalla, vapaa AD-muunnin, AD liitinrimalla, vapaa AD-muunnin, AD liitinrimalla, tarkennus AD-muunnin, AD liitinrimalla, zoom AD-muunnin, AD liitinrimalla, aukko Vapaiden liitintimalla 12, paikassa 4, vapaa
PORTG	.0 NC .1 NC .2 NC .3 NC .4 NC	Kytkemättä Kytkemättä Kytkemättä Kytkemättä Kytkemättä

Liite 5. Kameramoduulin kytkentäohje ja tekniset tiedot

SHARP Värrikamera 1/4" Moduulisarja



1/4" PAL CCD
 DC 4.5V ... 7V < 2W
 Käyttölämpötila -10°C ... +50°C
 S-Video-ominaisuudet, Y/C, Composite

Moduulisarjan tekniset tiedot

Kuvankäsittelykortti:

- 512H x 582V pikseliä
- Tarkkuus 310x350 juovaa
- Iiris: elektronisesti säätävä automaattivalotus
- AGC -Autom. kirkkauden taso - valittavissa
- Videoulostulo (S-Video, Y/C, Composite) 1V p-p. 75 ohm
- Mitat: 55x43x16mm

Linssiyksikkö:

- Putken läpimitta 14mm
- Optiikka: lasilinssi 6.1mm
- Aukko: F=2,4
- Fokus: käsisäätö 50mm:stä äärettömään
- Mitat: 20x20x38mm

Mukana tulevat kaapelit ja niiden kytkennät:

- Taipuisa lattakaapeli (pit.80mm) linssiyksikön ja kuvakortin liittämiseen:
 Nosta liuskaliittimen lukitus, aseta kaapeli ja paina lukitus takaisin.
 Kaapelin kontaktipinta tulee liittimen kapeammalle sivulle.

- Liitäntäkaapeli, musta 93cm:

Kuvakorttiin kiinnittyy pienempi liitin (Molex 51021-0700)

jossa neljä pinniä kytketty (pinnit: 4...7):

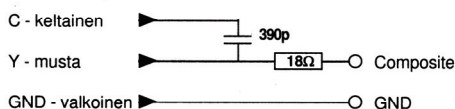
4 ==> Y-Luminanssi = mv (musta)

5 ==> C-Croma = väriosa (keltainen),

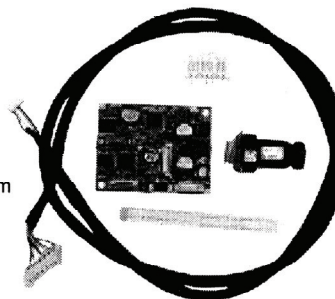
6 ==> maapotentiaali (valkoinen)

7 ==> +5VDC (sininen)

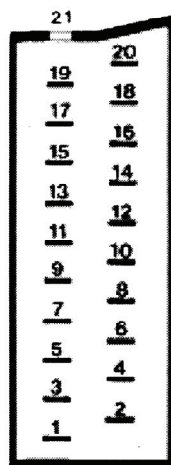
Composite videosignaalin muodostus



Vastaavat värit löytyvät kaapelin toisessa päässä olevasta isommasta liittimestä, pinneistä: 4, 3, 5 ja 1. Värivideo-ulos-tulo (composite) saadaan yhdistämällä värisignaali C 390p kondensaattorilla luminanssisignaaliin Y, josta ulosotto sarjavastuksen (18Ω) kautta.



SCART-LIITÄNTÄ Esim. pistoke SCART21U



- | | |
|----|-------------------------|
| 1 | Audio ulos R |
| 2 | Audio sisään R |
| 3 | Audio ulos L |
| 4 | Maa, audio |
| 5 | Maa, sin. sisään |
| 6 | Audio sisään L tai mono |
| 7 | Sininen sisään |
| 8 | Funktio sisään |
| 9 | Maa, vihreä |
| 10 | Datalinja 1 |
| 11 | Vihreä, sisään |
| 12 | Datalinja 2 |
| 13 | Maa, pun. sisään |
| 14 | Maa |
| 15 | Pun. sisään |
| 16 | "Fast blanking" |
| 17 | Maa, video |
| 18 | Maa, "fast blanking" |
| 19 | Video ulos |
| 20 | Video sisään |
| 21 | Suojamaa |

SVHS (Y/C) -LIITÄNTÄ Esim. minidin A-1467-4 tai käyttäen kaapeleita MD-102

Mini-DIN 4-napaa:

- | | |
|---|-------------------|
| 1 | Luminanssin maa |
| 2 | Värisignaalin maa |
| 3 | Luminanssi (Y) |
| 4 | Värisignaali (C) |



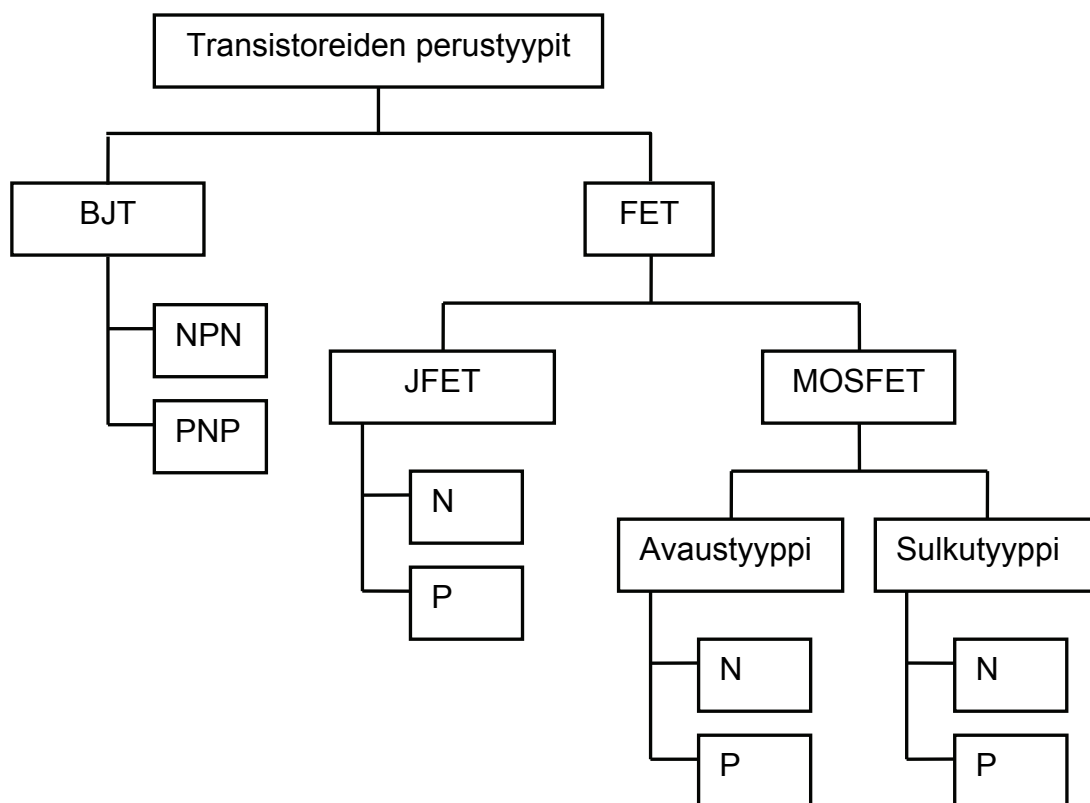
- PLUGI

<== Värisignaali maa

<== Värisignaali

<== Luminanssi/composite maa

<== Luminanssi/composite (Y+C)

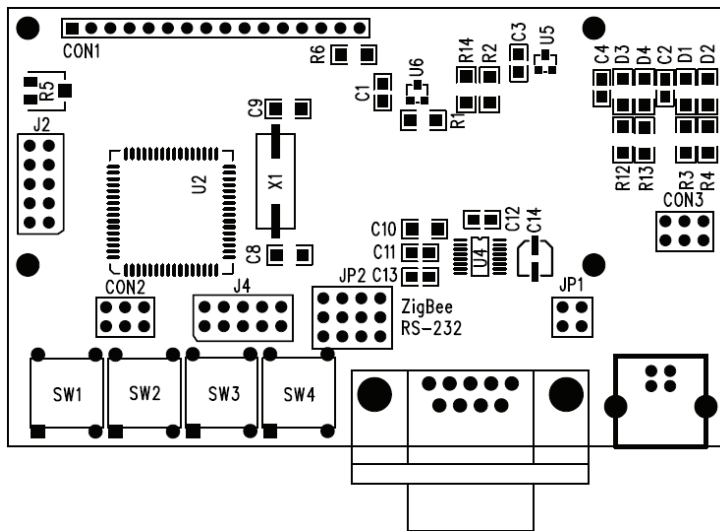
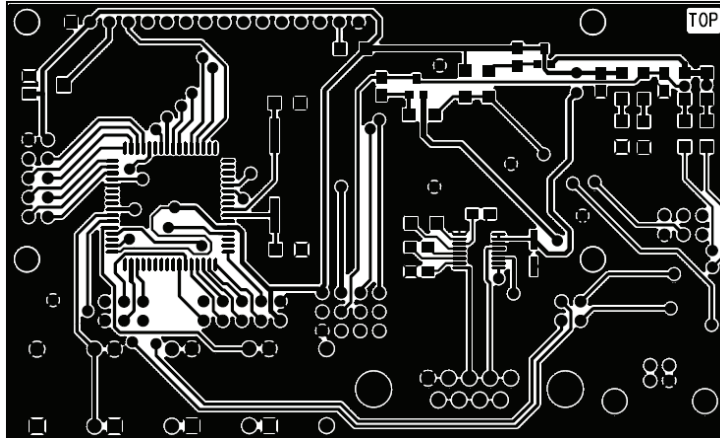
Liite 6. Transistoreiden perustyyppit

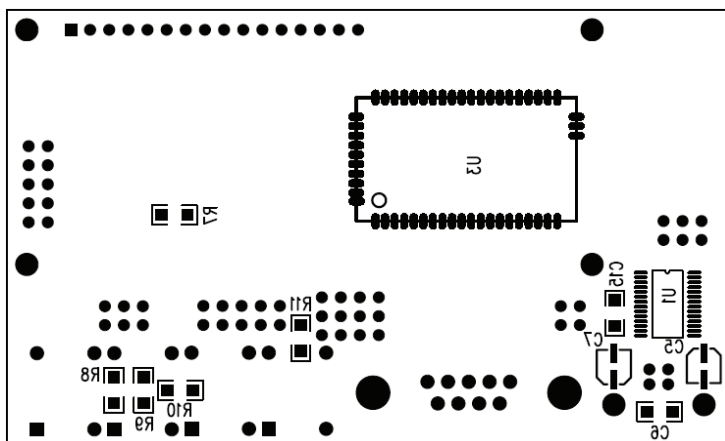
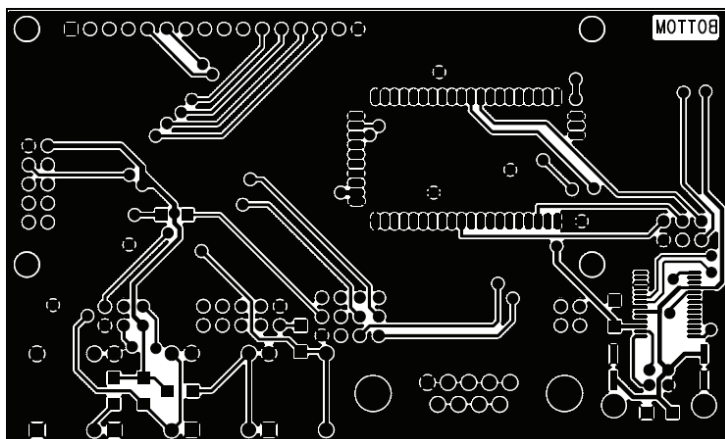
Liite 7. Vaihteistotyyppien hyötysuhteita

Alla oleva taulukko kertoo ainoastaan hammaskitkasta aiheutuvat häviöt yhden ratasparin tapauksessa. Useampaa ratasparia käytettäessä kunkin parin hyötysuhteet kerrotaan keskenään. Esimerkiksi kolmen suorahampaisen 98 % hyötysuhteen ratasparin yhdistelmän hyötysuhde on noin 94 %.

Tyyppi	Tyypillinen välityssuhde	Hammapyörän kehänopeus (m/s)	Hyötysuhde
Suorahampainen	1:1 - 6:1	25	98-99%
Vinohampainen	1:1 - 10:1	50	98-99%
Kaksoisvinohampainen	1:1 - 15:1	150	98-99%
Kartiohammas	1:1 - 4:1	20	98-99%
Kierukka	5:1 - 75:1	30	20-98%
Ruuvipyörä	1:1 - 6:1	30	70-98%

Lähde: http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Drive/Gear_Efficiency.html

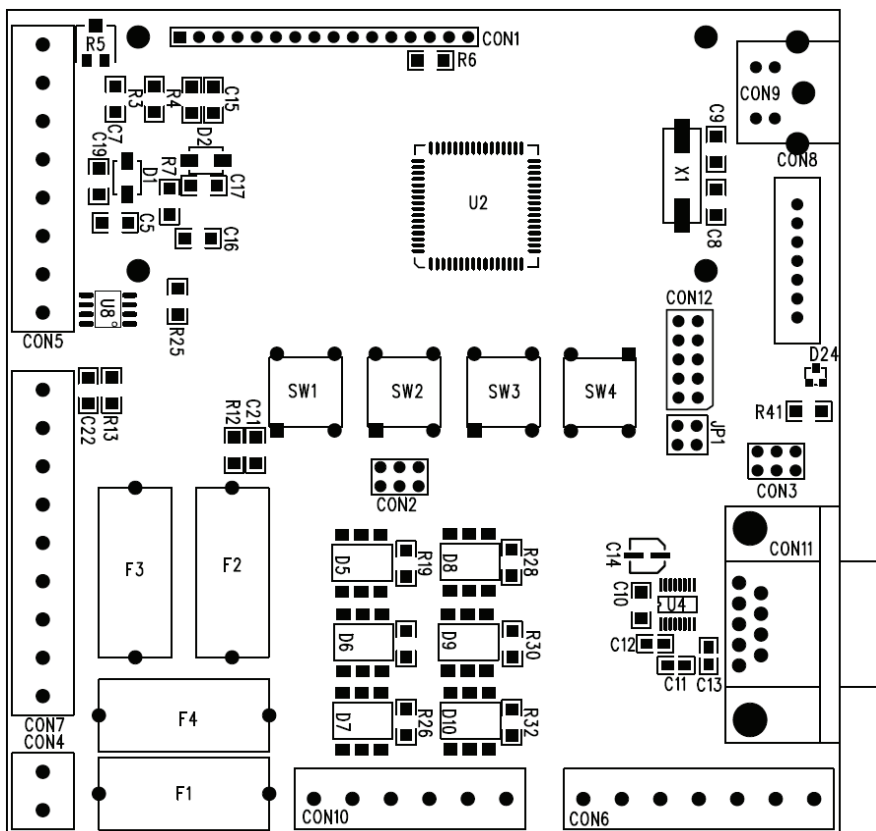
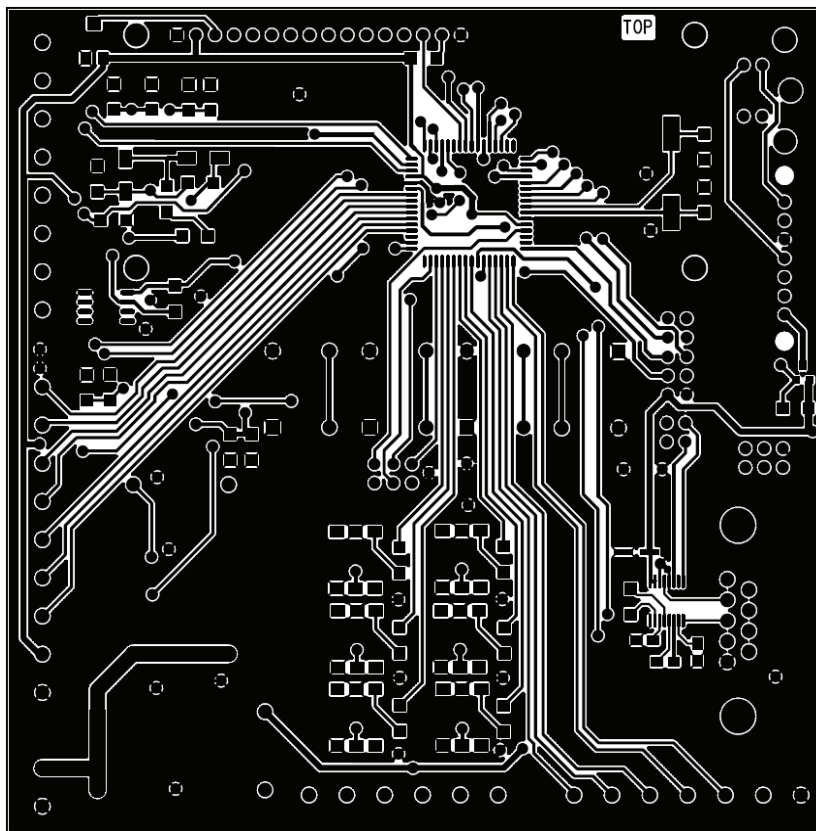
Liite 9. Hallintayksikön yläpuolen syövytyks- ja osasijoittelukuva

Liite 10. Hallintayksikön alapuolen syövytys- ja osasijoittelukuva

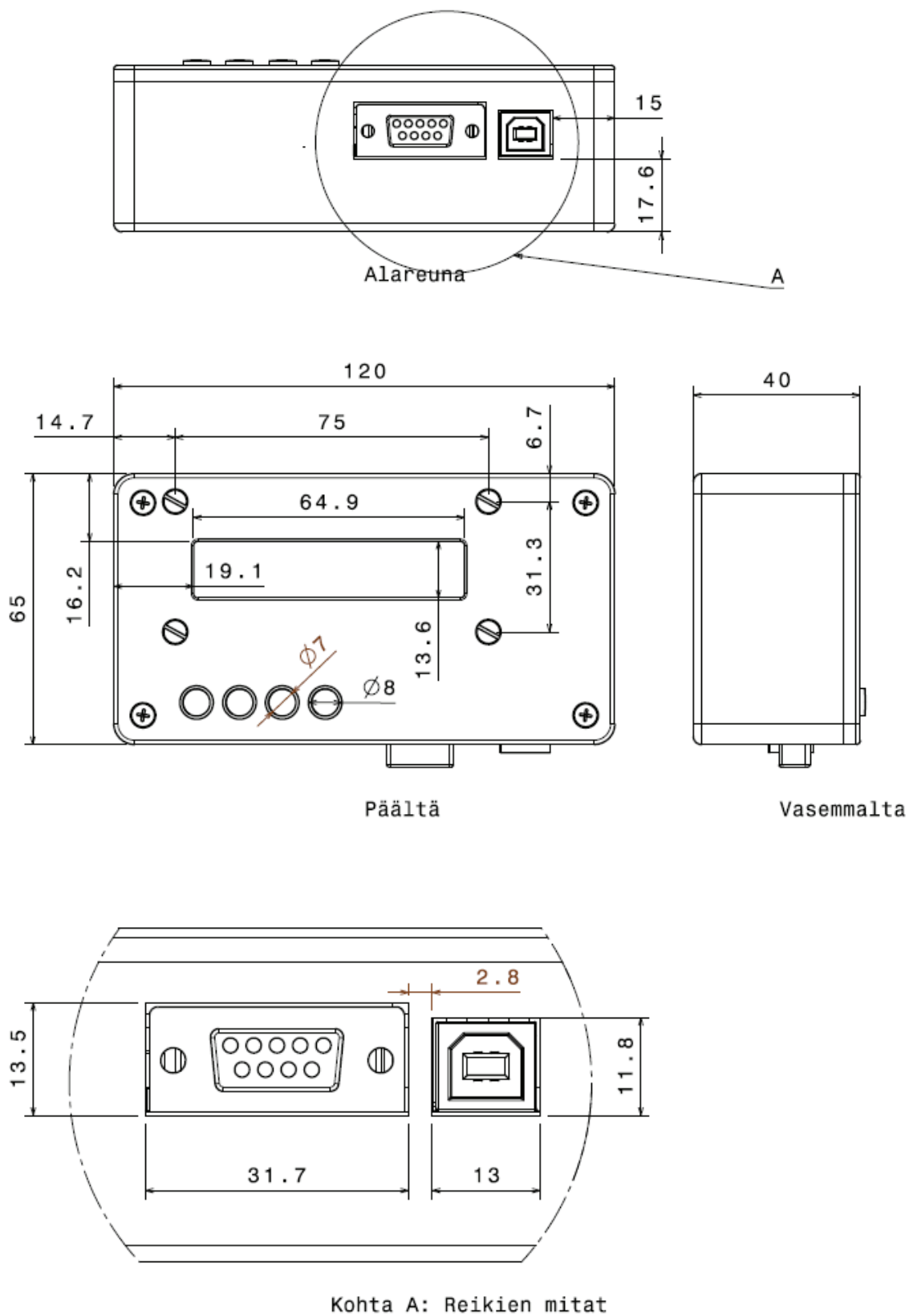
Liite 11. Ohjainyksikön osaluettelo

Tilauuskoodi	Määrä	Tunnus	Kuvaus	á hinta	Hinta yht.
9265686	3	C1, C2, C4	10 uF, elko	0,191	0,573
1281861	3	C3, C18, C26	100 uF, elko	1,04	3,12
718634	2	C5, C20	68 nF, 1206	0,143	0,286
1301904	2	C6, C21	5,6 nF, 1206	0,32	0,64
9753729	4	C7, C15, C22, C23	1 nF, 1206	0,089	0,356
1414717	2	C8, C9	22 pF, 1206	0,091	0,182
3606181	1	C10	47 nF, 1206	0,118	0,118
3188875	3	C11 - C13	330 nF, 0806	0,21	0,63
9697039	1	C14	0,1 uF, elko	0,22	0,22
9406549	2	C16, C24	10 nF, 1206	0,121	0,242
1362557	2	C17, C25	220 nF, 1206	0,125	0,25
1414715	3	C19, C27, C28	100 nF, 1206	0,072	0,216
1667522	1	CON1	1x16 naaras vastarima	2,2	2,2
1248132	2	CON2, CON3	2x3 piikkirima	0,32	0,64
3041440	2	CON4	2 paikkainen ruuviitin	0,85	1,7
3041517	1	CON5	8 paikkainen ruuviitin	2,32	2,32
3041505	2	CON6	7 paikkainen ruuviitin	2,55	5,1
	1	CON7	9 (7+2) paikkainen ruuviitin		
	1	CON8	kameran liitin		
125512	1	CON9	S-video liitin	2,2	2,2
3041499	1	CON10	6 paikkainen ruuviitin	2,15	2,15
8391289	1	CON11	D9 naaras, 90-kulma	2,31	2,31
1248135	1	CON12	2x5 liitinrima	0,54	0,54
3051365	4	D1 - D4	PMLL4148 diodi	0,097	0,388
1051150	6	D5 - D10	4N25-M	0,6	3,6
9525700	6	D12, D13, D16, D17, D20, D21	ZXMN10A	0,5	3
8660085	6	D14, D15, D18, D19, D22, D23	IRLML5103	0,71	4,26
9103503	1	D24	IRLML6402	1,44	1,44
1220424	1	DIS1	LCD näyttö	8,66	8,66
1162740	4	F1-F4	sulakepidin	0,36	1,44
1248158	1	JP1	2x2 piikkirima	0,27	0,27
1198595	1	L1	10 uH	2,09	2,09
1141472	2	R1, R11	2k trimmeri	2	4
912712	2	R2, R12	100k, 1206	0,041	0,082
9336486	4	R3, R4, R13, R14	39k, 1206	0,043	0,172
1141474	1	R5	10k trimmeri	2	2
9336753	1	R6	62R, 1206	0,043	0,043
9336990	2	R7, R15	100R, 1206	0,019	0,038
1174019	4	R8, R9, R16, R17	0,68ohm 1w, 2512	0,74	2,96
613782	3	R10, R18, R25	4k7, 1206	0,037	0,111
9337008	6	R19, R21, R26, R28, R30, R32	1k, 1206	0,039	0,234
9337016	16	R20, R22 - R24, R27, R29, R31, R33 - R41	10k, 1206	0,039	0,624
1132885	4	SW1 - SW4	Painonappi	1,47	5,88
1087157	1	U1	LD1086 5V regulaattori	1,83	1,83
9171126	1	U2	AtMega128	21,67	21,67
	1	U3	RC2200AT (valmistus lopetettu)	30	30
1053606	1	U4	MAX3221	1,39	1,39
1087170	1	U5	LD1117 3.3V regulaattori	0,79	0,79
1271000	2	U6, U7	L6228 askelmoottoriohjain	9,49	18,98
9724770	1	U8	DS18S20Z lämpötila-anturi	10,35	10,35
1457107	1	X1	7.3728 MHz SMD kide	0,54	0,54
1248124	1		1x16 piikkirima	1,66	1,66
1176774	4		sulakehattu	0,37	1,48

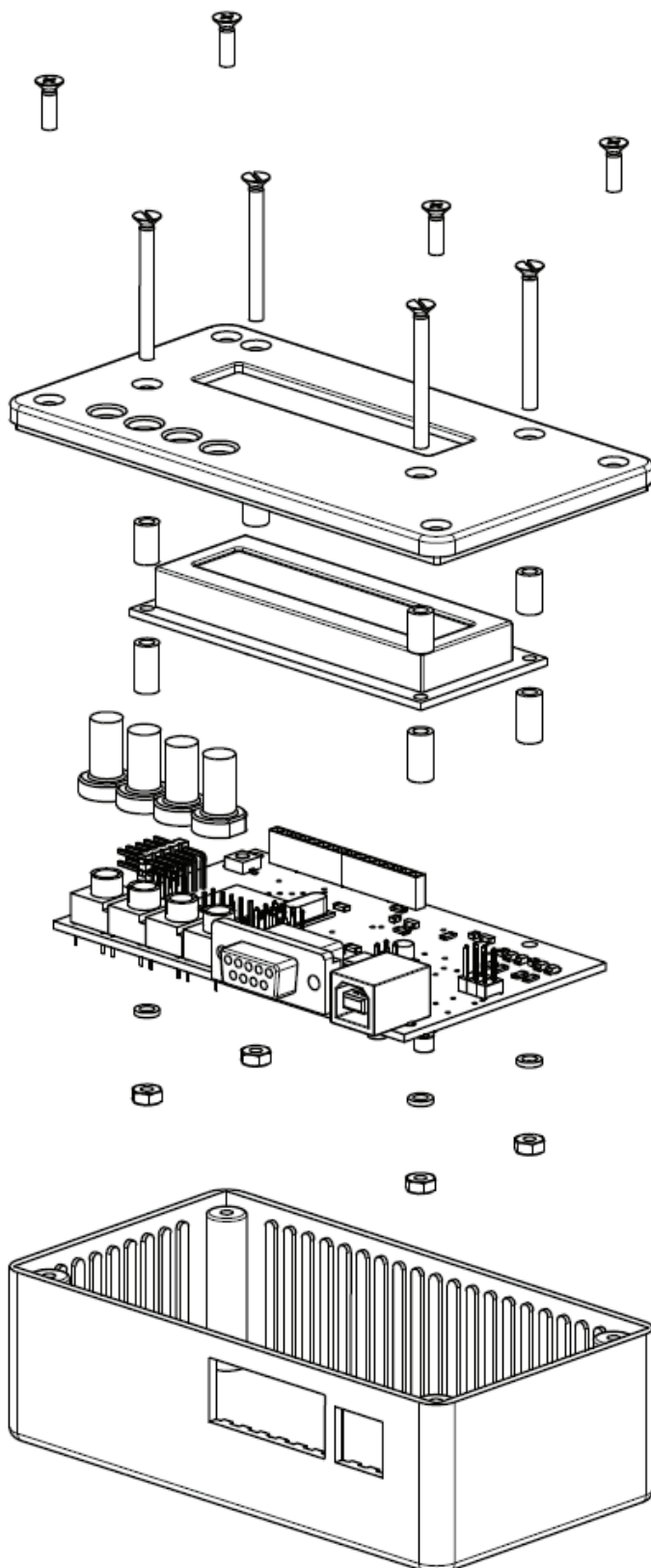
Liite 12. Ohjainyksikön yläpuolen syövytys- ja osasijoittelukuva



Liite 14. Hallintayksikön reikien mitoitus



Liite 15. Hallintayksikön kokoonpanokuva



Recapitulation of:
hallintayksikko
Different parts: 11
Total parts: 32

Quantity	Part Number
4	Ruuvi, M3x30
1	Kotelon kansi
4	Holkki, 9 mm
1	LCD-näyttö
4	Holkki, 10 mm
4	Kytkimen hattu
1	Hallintayksikön piirilevy
4	Holkki, 1 mm
4	Mutteri, M3
1	Kotelon pohja
4	Ruuvi, M3x10

Liite 16. Mekaniikka osien osaluettelo

Tilaukoodi	Määrä	Tunnus	Kuvaus	á hinta	Hinta yht.
1144776	5		1kohm potikka, 3 kierros	16,72	83,6
4743155	2		askelmoottori	47,33	94,66
8775625	4		mikrokytkin	0,74	2,96
4436891	1		120x65x40mm musta kotelo	5,22	5,22
	3		Pinjonit 20, 21, 22	5	15
	1		YH-8C12G videokameramoduuli	50	50
	16				251,44

Liite 17. Kytkimien lukeminen

```
#include <megal28.h>
#asm
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>
#include <stdio.h>

void main(void)
{
    PORTB=0x00;
    DDRB=0x00;

    PORTD=0x00;
    DDRD=0x00;

    lcd_init(16);

    while (1)
    {
        if(!PINB.2) //Ehtolause
        {
            lcd_gotoxy(0,0); //Näytön kursori kohtaan 0,0
            lcd_putsf("Raja 1 "); //Tulostaa tekstin Raja 1 näyttöön
        }
        else
        if(!PIND.4)
        {
            lcd_gotoxy(0,0);
            lcd_putsf("Painonappi 1 ");
        }
        else
        {
            lcd_gotoxy(0,0);
            lcd_putsf("Ei painettu ");
        }
    };
}
```

Liite 18. AD-muuntimien lukeminen

```

#include <megal28.h>
#asm
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>

#define FIRST_ADC_INPUT 0
#define LAST_ADC_INPUT 7
unsigned char adc_data[LAST_ADC_INPUT-FIRST_ADC_INPUT+1];
#define ADC_VREF_TYPE 0x60

interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
{
    register static unsigned char input_index=0;
    adc_data[input_index]=ADCH;
    if (++input_index > (LAST_ADC_INPUT-FIRST_ADC_INPUT))
        input_index=0;
    ADMUX=(FIRST_ADC_INPUT | (ADC_VREF_TYPE & 0xff))+input_index;
    delay_us(10);
    ADCSRA|=0x40;
}

void main(void)
{
    //Paikallisten muuttujien määrittely
    char stradca[20]={0};
    float a;
    float b;
    char c[20]={0};
    float d;
    char e[20]={0};

    ACSR=0x80;
    SFIOR=0x00;

    ADMUX=FIRST_ADC_INPUT | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    ADCSRA=0xCB;

    lcd_init(16);

    #asm("sei")

    while (1)
    {
        lcd_clear(); //Tyhjennetään näyttö

        itoa(adc_data[0], stradca); //Luetaan AD-muuntimen arvo

        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_puts(stradca);

        a = atof(stradca); //Muutetaan merkkijono liukuluvuksi
        b = a/255*100.0; //Lasketaan prosenttimäärä alueesta
        ftoa(b,2,c); //Muutetaan liukuluku merkkijonoksi

        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_puts(c);

        d = 5.0*a/255; //Lasketaan AD-muunt. arvoa vastaava jännite
        ftoa(d,2,e);

        lcd_gotoxy(10,1);
        lcd_puts(e);

        delay_ms(100); //100ms viive
    };
}

```


Liite 19. Lämpötilan lukeminen

```
#include <megal28.h>
#include <math.h>
#asm
    .equ __w1_port=0x15 ;PORTC
    .equ __w1_bit=3
#endasm
#include <1wire.h>
#include <stdlib.h>
#include <ds1820.h>
#asm
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>

void main(void)
{
    //Paikallisten muuttujien määrittely
    int temp;
    char a[20]={0};
    float b;
    float c;
    char lampo[20]={0};

    w1_init();

    lcd_init(16);

    while (1)
    {
        temp = ds1820_temperature_10(0);    //Luetaan lämpötila

        itoa(temp,a);
        b=atof(a);
        c=b/10.0;
        ftoa(c,1,lampo);

        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_puts(lampo);
    };
}
```

Liite 20. Askelmoottorin ohjaus

```
#include <mega128.h>
#include <delay.h>

void main(void)
{
    PORTA=0x00;
    DDRA=0xFF;

    PORTD=0x00;
    DDRD=0x00;

    while (1)
    {
        //Askelmoottorihajaimien kellopulssien muodostus
        PORTA.0 = 1;
        PORTA.4 = 1;
        delay_us(1000);
        PORTA.0 = 0;
        PORTA.4 = 0;
        delay_us(1000);

        //Enable
        PORTA.1 = !PIND.4;
        PORTA.5 = !PIND.4;

        //Suunnanvaihto
        PORTA.2 = !PIND.5;
        PORTA.6 = !PIND.5;

        //Askellustavan valinta
        PORTA.3 = !PIND.6;
        PORTA.7 = !PIND.6;
    };
}
```

Liite 21. Tiedonsiirto

```

#include <megal28.h>

#define RXB8 1
#define TXB8 0
#define UPE 2
#define OVR 3
#define FE 4
#define UDRE 5
#define RXC 7

#define FRAMING_ERROR (1<<FE)
#define PARITY_ERROR (1<<UPE)
#define DATA_OVERRUN (1<<OVR)
#define DATA_REGISTER_EMPTY (1<<UDRE)
#define RX_COMPLETE (1<<RXC)

#define RX_BUFFER_SIZE0 8
char rx_buffer0[RX_BUFFER_SIZE0];

#if RX_BUFFER_SIZE0<256
unsigned char rx_wr_index0,rx_rd_index0,rx_counter0;
#else
unsigned int rx_wr_index0,rx_rd_index0,rx_counter0;
#endif

bit rx_buffer_overflow0;

interrupt [USART0_RXC] void usart0_rx_isr(void)
{
    char status,data;
    status=UCSR0A;
    UDR1=UDR0; //data=UDR0;
    if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR | DATA_OVERRUN))==0)
    {
        rx_buffer0[rx_wr_index0]=data;
        if (++rx_wr_index0 == RX_BUFFER_SIZE0) rx_wr_index0=0;
        if (++rx_counter0 == RX_BUFFER_SIZE0)
        {
            rx_counter0=0;
            rx_buffer_overflow0=1;
        };
    };
}

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
#define _ALTERNATE_GETCHAR_
#pragma used+
char getchar(void)
{
    char data;
    while (rx_counter0==0);
    data=rx_buffer0[rx_rd_index0];
    if (++rx_rd_index0 == RX_BUFFER_SIZE0) rx_rd_index0=0;
    #asm("cli")
    --rx_counter0;
    #asm("sei")
    return data;
}
#pragma used-
#endif

#define TX_BUFFER_SIZE0 8
char tx_buffer0[TX_BUFFER_SIZE0];

#if TX_BUFFER_SIZE0<256
unsigned char tx_wr_index0,tx_rd_index0,tx_counter0;
#else
unsigned int tx_wr_index0,tx_rd_index0,tx_counter0;
#endif

interrupt [USART0_TXC] void usart0_tx_isr(void)
{
    if (tx_counter0)
    {

```

```

        --tx_counter0;
        UDR0=tx_buffer0[tx_rd_index0];
        if (++tx_rd_index0 == TX_BUFFER_SIZE0) tx_rd_index0=0;
    };
}

#ifndef _DEBUG_TERMINAL_IO_
#define _ALTERNATE_PUTCHAR_
#pragma used+
void putchar(char c)
{
    while (tx_counter0 == TX_BUFFER_SIZE0);
    #asm("cli")
    if (tx_counter0 || ((UCSR0A & DATA_REGISTER_EMPTY)==0))
    {
        tx_buffer0[tx_wr_index0]=c;
        if (++tx_wr_index0 == TX_BUFFER_SIZE0) tx_wr_index0=0;
        ++tx_counter0;
    }
    else
        UDR0=c;
    #asm("sei")
}
#pragma used-
#endif

#define RX_BUFFER_SIZE1 8
char rx_buffer1[RX_BUFFER_SIZE1];

#if RX_BUFFER_SIZE1<256
unsigned char rx_wr_index1,rx_rd_index1,rx_counter1;
#else
unsigned int rx_wr_index1,rx_rd_index1,rx_counter1;
#endif

bit rx_buffer_overflow1;

interrupt [USART1_RXC] void usart1_rx_isr(void)
{
    char status,data;
    status=UCSR1A;
    UDR0=UDR1; //data=UDR1;
    if ((status & (FRAMING_ERROR | PARITY_ERROR | DATA_OVERRUN))==0)
    {
        rx_buffer1[rx_wr_index1]=data;
        if (++rx_wr_index1 == RX_BUFFER_SIZE1) rx_wr_index1=0;
        if (++rx_counter1 == RX_BUFFER_SIZE1)
        {
            rx_counter1=0;
            rx_buffer_overflow1=1;
        };
    };
}

#pragma used+
char getchar1(void)
{
    char data;
    while (rx_counter1==0);
    data=rx_buffer1[rx_rd_index1];
    if (++rx_rd_index1 == RX_BUFFER_SIZE1) rx_rd_index1=0;
    #asm("cli")
    --rx_counter1;
    #asm("sei")
    return data;
}
#pragma used-
#define TX_BUFFER_SIZE1 8
char tx_buffer1[TX_BUFFER_SIZE1];

#if TX_BUFFER_SIZE1<256
unsigned char tx_wr_index1,tx_rd_index1,tx_counter1;
#else
unsigned int tx_wr_index1,tx_rd_index1,tx_counter1;
#endif

interrupt [USART1_TXC] void usart1_tx_isr(void)
{

```

```

    if (tx_counter1)
    {
        --tx_counter1;
        UDR1=tx_buffer1[tx_rd_index1];
        if (++tx_rd_index1 == TX_BUFFER_SIZE1) tx_rd_index1=0;
    };
}

#pragma used+
void putchar1(char c)
{
    while (tx_counter1 == TX_BUFFER_SIZE1);
    #asm("cli")
    if (tx_counter1 || ((UCSR1A & DATA_REGISTER_EMPTY)==0))
    {
        tx_buffer1[tx_wr_index1]=c;
        if (++tx_wr_index1 == TX_BUFFER_SIZE1) tx_wr_index1=0;
        ++tx_counter1;
    }
    else
        UDR1=c;
    #asm("sei")
}
#pragma used-

#include <stdio.h>

void main(void)
{
    UCSR0A=0x00;
    UCSR0B=0xD8;
    UCSR0C=0x06;
    UBRR0H=0x00;
    UBRR0L=0x17;

    UCSR1A=0x00;
    UCSR1B=0xD8;
    UCSR1C=0x06;
    UBRR1H=0x00;
    UBRR1L=0x17;

    #asm("sei")
}

```

Liite 22. ZigBee-moduulien konfigurointi AT-komennoilla

Käyttäjän antamat komennot ovat mustalla, moduulin vastaukset vihreällä.

Hallintayksikön asetukset:

+++

STATUS05

ATS?

18;5;0;2;00-15-20-00-00-00-01-56;00-15-20-00-00-00-00-00;0000;64;
25;0;0;25;ff;ff;ff;6;8;0;1;0;+;0;1;RC2200-SPPIO,1.00,1.34[00];5;3;7;0

ATS5=00-15-20-00-00-00-01-58

OK

ATS?

18;5;0;2;00-15-20-00-00-00-01-56;00-15-20-00-00-00-01-58;0000;64;
25;0;0;25;ff;ff;ff;6;8;0;1;0;+;1;1;RC2200-SPPIO,1.00,1.34[00];5;3;7;0

AT0

STATUS06

Uudelleenkäynnistys

Ohjausyksikön asetukset:

+++

STATUS05

ATS?

18;5;0;2;00-15-20-00-00-00-01-58;00-15-20-00-00-00-00-00;0000;64;
25;0;0;25;ff;ff;ff;6;8;0;1;0;+;0;1;RC2200-SPPIO,1.00,1.34[00];5;3;7;0

ATS3=1

OK

ATS5=00-15-20-00-00-00-01-56

OK

ATS?

18;5;0;1;00-15-20-00-00-00-01-58;00-15-20-00-00-00-01-56;0000;64;
25;0;0;25;ff;ff;ff;6;8;0;1;0;+;1;1;RC2200-SPPIO,1.00,1.34[00];5;3;7;0

AT0

STATUS06

Uudelleenkäynnistys, hallintayksikön ollessa pois päältä

STATUS03

STATUS02

Hallintayksikön käynnistäminen

STATUS07