

Teknillinen korkeakoulu  
Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

# AS-0.3200 Automaatio- ja systemitekniikan projektityöt

CeilBot

2DoF camera actuator

Antti Riksmann 6

20.1.2011 - 23.5.2011

Ohjaaja: Tomi Ylikorpi

# Sisältö

<b>1</b>	<b>CeilBot</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Mekaaninen rakenne</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Suunnitteluspesifikaatiot</b>	<b>3</b>
3.1	Lohkokaavio . . . . .	3
3.2	Moottorit . . . . .	4
3.3	Ohjauspiiri . . . . .	4
3.4	Mittaus . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Piirilevyn suunnittelu</b>	<b>5</b>
4.1	Osasijoittelu . . . . .	5
4.2	Häiriösäteily . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Järjestelmän komponentit</b>	<b>5</b>
5.1	Mikrokontrolleri . . . . .	5
5.2	Askelmoottori & ohjain . . . . .	7
5.3	Servo . . . . .	8
5.4	Enkooderi . . . . .	8
5.5	Line receiver . . . . .	8
5.6	Regulaattori . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Kommunikointirajapinta</b>	<b>10</b>
6.1	Mikrokontrollerin koodin rakenne . . . . .	10
6.2	Sarjaporttiajuri . . . . .	10
<b>7</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>11</b>
7.1	Ajankäyttö . . . . .	11

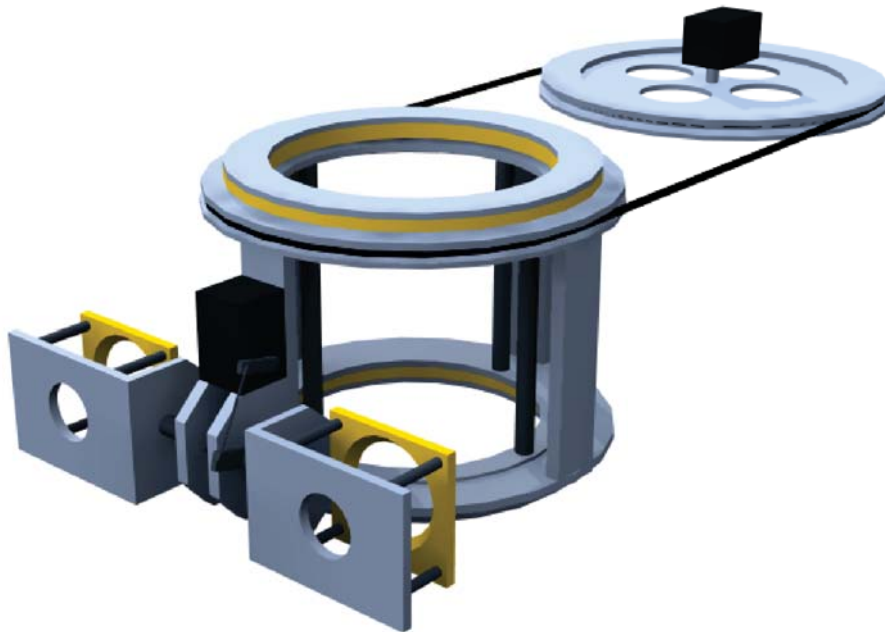
# 1 CeilBot

Ceilbot on TKK:n monivuotinen projekti, jossa opiskelijat kehittävät prototyyppi palvelurobottia. Erityispiirteensä tälle robotille on sen liikkuminen katossa, täten mahdollistetaan robotin toiminta hyvinkin ahtaissa tiloissa. Tällä hetkellä valmistellaan prototyyppiä, jonka on määrä kulkea kattoon asennettavia raiteita pitkin.

Robottijärjestelmä rakentuu raideverkostosta, rungosta, manipulaattorista ja ympäristön havainnointi antureista. Näihin lukeutuu mm. Microsoftin Kinect kamera, jota on tarkoitus ohjata tämän projektityön suunnittelun kohteena olevalla kahden vapausasteen mekaanisella toimilaitteella. Keskityn työssäni lähinnä ohjauselektronikkaan.

Seuraavissa kappaleissa kuvailen rakentamaani piirilevyä, sen komponentteja ja tulevaa kommunikaatio rajapintaa tietokoneen kanssa.

## 2 Mekaaninen rakenne



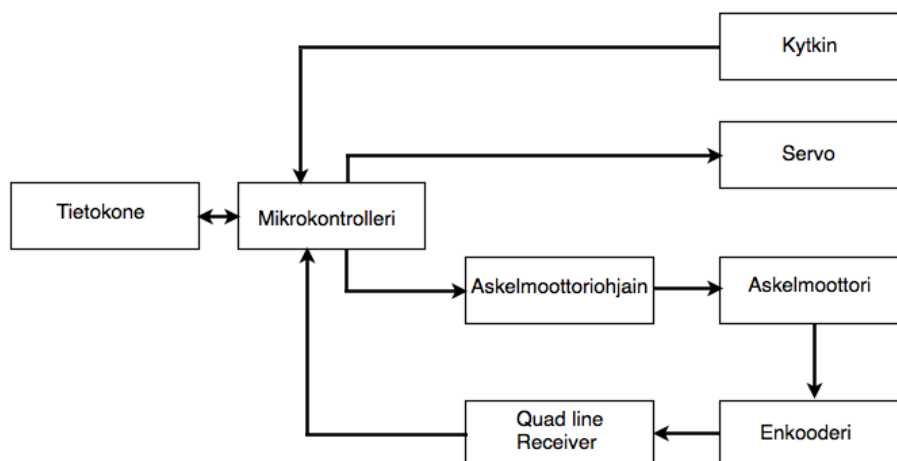
Kuva 1: Alusta suunniteltu mekaaninen rakenne. Ei mittakaavassa, kyseessä on lähinnä hahmotelma mahdollisesta rakenteesta.

Mekaanista rakennetta ei loppujenlopuksi rakennetty kevään aikana, tämä asetti omat haasteensa elektronikan ja tarvittavien moottorien valinnalle.

## 3 Suunnitteluspesifikaatiot

### 3.1 Lohkokaavio

Kuvassa 2 on esitetty lohkokaavion avulla toimintamalli laitteelle. Käyttäjän antamalla herätteellä annetaan askelmoottorin ohjauspiirille käskyt halutusta nopeudesta, kulmasta ja pyörimissuunnasta. Servon asento saadaan suoraan tietokoneelta, jolloin mikrokontrolleri kontrolloi käskyn mukaisesti servoa. Takaisinkytkentä mittaa askelmoottorin akselin asennon ja välittää tiedon ohjauspiirille linjavastaanottimen välityksellä.



Kuva 2: Elektroninen järjestelmä koostuu tietokoneen lisäksi kolmesta pääkomponentista; mikrokontrollerista, askelmoottoriohjaimesta ja linja vastaanottimesta. Mainittujen pääkomponenttien lisäksi järjestelmään kuuluu kaksi toimilaitetta, yksi mittalaite ja kaksi kytkintä. Askelmoottori ja servo ovat järjestelmän toimilaitteet, mittaustietoa tuottamiseen käytämme askelmoottorin akselille kiinnitettyä enkooderia. Kytkin puolestaan toimii rajakytkimen periaatteella ja havainnoivat laitteen sijaintia.

## 3.2 Moottorit

Pyörimisliike tuotetaan askelmoottorilla, jotta saadaan hyvä tarkkuus kameran asennolle. Testauksessa käytettiin askelmoottorina 200 askeleen per kierros omaavaa yksilöä. Lopullinen valinta kannattaa perustella tarvittavan väännön mukaan.

Kallistus kulmaa hallinnoidaan servolla, ohjain levyyn on myös mahdollista liittää useampi servo jos mekaniikka niin vaatii.

## 3.3 Ohjauspiiri

Ohjauspiirin ydin on mikrokontrolleri, jonka tehtävänä on vastaanottaa tietokoneelta käskyt halutusta pyörimisnopeudesta, kulmasta ja pyörimissuunnasta. Mikrokontrolleri välittää kyseiset käskyt eteenpäin askelmoottoriohjaimelle PWM-signaalilla [6]. Vastaavasti toimitaan servon tapauksessa, servolle kuitenkin riittää vain yksi suure, haluttu asento. Askelmoottoria käskytetään PWM:n lisäksi tarvittavilla logiikkasignaaleilla.

## 3.4 Mittaus

Pyörityslaitteen asento mitataan akseliin sijoitettavalla enkooderilla, joka syöttää asentotiedon muuntimen (engl. quad line receiver) kautta mikrokontrollerille. Muunninta on käytettävä koska enkooderin antama signaali on differentiaalimuotoista (A+, A-, B+, B-, I+, I-). Enkooderina voi toimia mikä tahansa riittävän tarkkuuden omaava laite. Signaali on syytä siirtää differentiaalisena<sup>1</sup>, jotta häiriönsietoisuus on maksimaalinen.

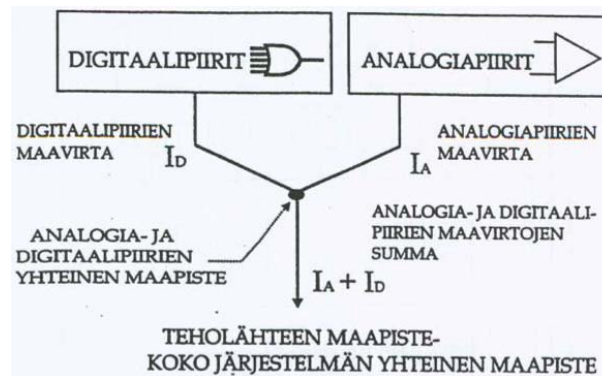
Kytkimet havainnoivat pyörityslaitteen paikkaa absoluuttisesti, näitä on järjestelmässä kaksi kappaletta ja ne sijaitsevat alustavan suunnitelman mukaan äärilaidoilla. Kun pyörityslaite alustuksessa pyöräytetään jompaan kumpaan äärilaitaan laukaisee se kytkimen. Kun kytkimen signaali vastaanotetaan tiedetään pyörityslaitteen absoluuttinen sijainti.

<sup>1</sup>Differentiaali signaaliointi on keino välittää informaatiota kahden, toistensa komplementti muotoisen signaalin avulla. Nämä signaalit välitetään erillisillä kaapeleilla jolloin saavutetaan parempi häiriönsietoisuus.

## 4 Piirilevyn suunnittelu

### 4.1 Osasijoittelu

Piirilevyn rakenne on havainnollistettu liitteen 1 kuvassa. Valmistuksessa hyödynnettiin fotolitografiaa, jonka avulla tuotettiin kaksipuoleinen piirilevy mihin on pyritty jättämään mahdollisimman suuret yhtenäiset maatasot hyödyntäen kaksipuoleisuutta. Askelmoottoriorhain SLA7062M ja sen liittimet on pyritty sijoittamaan mahdollisimman kauaksi heikkovirtaisista logiikka- ja kellot signaaleista häiriöiden välttämiseksi. Askelmoottorin signaalimaa on kytketty tähtikytkennällä ja virranohjausvastuksien RSA sekä RSB sijoittelussa on pyritty symmetriaan. Virranohjausvastukset on asetettu mahdollisimman lähelle askelmoottoriorhaimen signaalimaanastaa. Maatasojen suunnittelussa on pyritty noudattamaan kuvan 3 periaatteita.



Kuva 3: Piirilevyn maatasojen suunnittelun periaatteita. Rakennetussa piirilevyssä analogipiirejä ei ole, mutta askelmoottoriorhain voidaan mieltää sellaiseksi johtuen korkeammasta jännitetasosta. [12]

Yksityiskohtainen kytkentäkaavio löytyy liitteestä 2. Kytkentäkaavio on ladittu Eagle ohjelmiston avulla, myöskin aiemmin mainittu osasijoittelu piirilevyllä on toteutettu Eaglella.

### 4.2 Häiriösäteily

Askelmoottoriorhaimen lähettämäksi häiriösäteilyksi saatiin arvio kaavan 1 perusteella [12]. Kaavassa virtana  $I$  on käytetty askelmoottorin huippuvirtaa  $I = 3A$ , taajuutena askelmoottoriorhaimen maksimitaajuutta  $f = 250kHz$ . Säteilevän silmukan maksimipinta-alaksi on arvioitu  $16cm^2$ . Kentänvoimakkuutta tarkastellaan  $r = 10m$  etäisyydellä.

$$|E| \approx \frac{120\pi}{c^2} \cdot \frac{|I| f^2 A}{r} \approx \frac{120\pi}{c^2} \cdot \frac{3A \cdot (250000Hz)^2 \cdot (0,04m)^2}{10m} \approx 0,126 \frac{\mu V}{m} \quad (1)$$

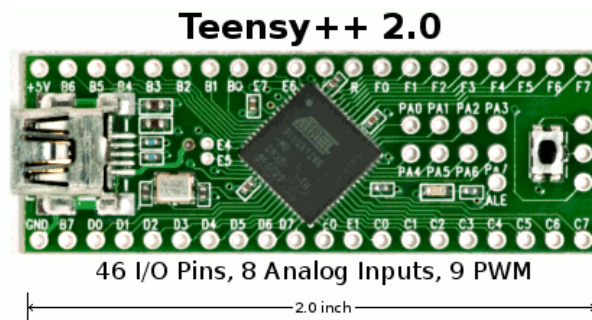
Kentänvoimakkuus jää selvästi alle standardin EN55022 määrittelemän maksimikentänvoimakkuuden  $31,6 \frac{\mu V}{m}$ . Kentänvoimakkuutta tästä vapaan tilan silmukan teoreettisesta arvosta laskee vielä piirilevyllä jätetty maataso. Voimme siis päätellä, että askelmoottoriorhain ei aiheuta voimakkaita häiriöitä laitteen ulkopuolelle.

## 5 Järjestelmän komponentit

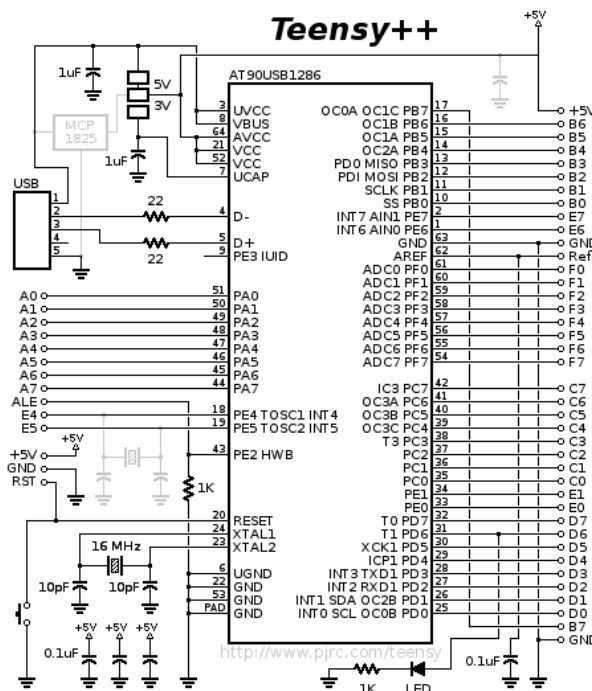
### 5.1 Mikrokontrolleri

Mikrokontrollerina toimii Teensy++ 2.0 kehitysalusta. Kehitysalusta on piirilevy, joka sisältää tarvittavan elektroniikan, jotta itse mikrokontrolleri piiri voidaan ohjelmoi-

da. Suuria etuja kyseiselle kehitysalustalle on yhteensopivuus C-koodin ja harraste-  
 lijoille suunnatun Arduino IDE:n kanssa [10]. Yhteensopivuus mahdollistaa nopean  
 prototyypin kasaamisen ja tarvittaessa C koodiin perustuvan toteutuksen loppuun  
 testaamisen samalla alustalla.



Kuva 4: Teensy++ 2.0 kehitysalusta. Piirilevyn vasemmassa laidassa on näkyvissä  
 mini-usb liitäntä. Alusta tukee sekä Arduino IDE, että perinteistä C-koodia. [1]



Kuva 5: Teensy++ 2.0 kehitysalustan piirikaavio. Harmaalla näkyvät komponentit  
 ovat optionaalisia lisäosia, jotka voi koltava kiinni kyseiseen alustaan niin halutessaan.  
 Häiriöneristys (engl. decoupling) kondensaattorin lisäämme piirilevylle.

Askelmoottorin ohjausfunktio sisältää loopin, jossa askeletaan moottoria funktiolle  
 annettavien parametrin mukaan. Funktion parametreihin kuuluu askelmäärä, suunta  
 ja nopeus. Aluksi funktio määrittää suunnan ja alkaa sen jälkeen suorittaa askellusta  
 loopilla. Loopin sisäinen toteutus muodostaa kellosignaalin askelmoottorihjaimelle.  
 Ensimmäiseksi annetaan ohjaimelle kellosignaalin nousevareuna, joka aloittaa askellus  
 syklin, tämän jälkeen viiveiden takia odotetaan kolme mikrosekuntia ja lasketaan  
 kellosignaali alas. Askelmoottorinohjain piirillä kuluu noin kaksi mikrosekuntia nostaa  
 signaali ylös [9]. Lopuksi loopissa odotetaan nopeuden säätimen määrittelemän ajan  
 verran. Odotusaika määrittelee askellusnopeuden. Seuraavassa lainauksessa esimerkki  
 koodi käytetylle askelmoottorihjaimelle SLA 7062M.

```

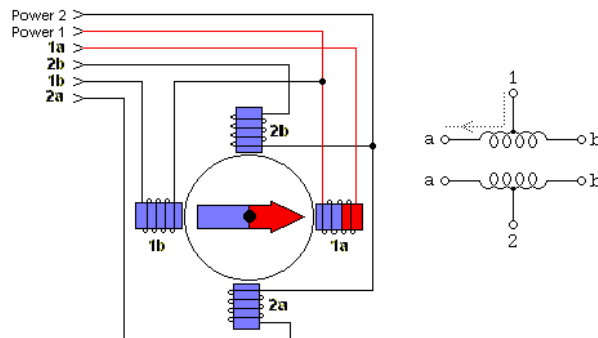
void motorstep(unsigned long steps ,int direc , int speed){
  if(direc==0){
    digitalWrite(dirPIN , HIGH);
  }
  if(direc==1){
    digitalWrite(dirPIN , LOW);
  }
  counter=0;
  // Askelleta kunnes liikuttu haluttu määrä
  while(counter<steps)
  {
    unsigned long temp = time;
    // nousevareuna SLA7062M
    digitalWrite(StepPIN , HIGH);
    // viive
    delayMicroseconds(3);
    // laskevareuna
    digitalWrite(StepPIN , LOW);
    // odotusaika, nopeuden säätely
    delayMicroseconds(speed);
    counter++;
  }
}

```

## 5.2 Askelmoottori & ohjain

Askelmoottorin tyypiksi on valittu unipolaarinen askelmoottori, lähinnä sen ohjauksen yksinkertaisuuden takia. Toinen vaihtoehto unipolaariselle on bipolaarinen askelmoottori. Unipolaarisuuden etuja on mm. yhden virtalähteen riittävyys, verrattuna bipolaarisen vaatimaan kahteen.

Unipolaarisissa moottoreissa on kaksi käämiä per vaihe, yksi kutakin magneettista suuntaa kohden. Käämien keskellä sijaitsee keskusjohdin johon virransyöttö tuodaan. Keskusjohtimet voidaan tuoda moottorista ulos erillisinä tai ne voidaan kytkeä yhteen moottorin sisällä ja tuoda yhtenä johtona ulos. [7]



Kuva 6: Unipolaarisen askelmoottorin käämitys. [8]

Askelmoottoriorhaimena toimii Allegro microsystems:n valmistama SLA 7062M unipolaarinen moottoriorhain. Ohjain pystyy antamaan 3A maksimi virtoja kun jäädytyksestä on huolehdittu oikein. Jäädytyksen määrittämistä varten datalehdessä löytyy graafit jäähdytystehon arviointia varten. [9]

Käytetyt virranrajoitusvastukset ovat luokkaa  $330 \times 10^{-3} \Omega$ . Jotta syötetty virta ei nouse liian suureksi, on se rajoitettu seuraavien kahden yhtälön mukaan.

$$I_{trip} = \frac{V_{ref}}{R_s} \quad (2)$$

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD}, \quad (3)$$

missä  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  ja  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . Sijoittamalla arvot kaavoihin ja ratkaisemalla saadaan  $I_{trip} = 1,38 \text{ A}$ .

### 5.3 Servo

Servo on perinteinen DC-moottori sisäänrakennetulla säädöllä. Piirilevy tukee kaikkia servoja joiden tehonkulutus on maksimissaan 1,2A ja ohjaussignaalina voidaan käyttää PWM signaalia.

### 5.4 Enkooderi

Encooderiksi on valittu Agilent AEDA-3300 inkrementti enkooderi, kuva 7. Kyseessä on inkrementti enkooderi, joka laskee siirtymää siitä hetkestä kun se käynnistetään. Käytetty resoluutio on 8000 pulssia per kierros.



Kuva 7: Agilent AEDA-3300 enkooderi.

Encooderi lähettää tulkitsemansa signaalit differentiaalisina, A+, A-, B+, B-, I+, I-. Kyseinen signaalin muoto sietää huomattavasti enemmän magneettisia häiriöitä. Kyseistä signaalia ei kuitenkaan voi suoraan syöttää mikrokontrollerille vaan se täytyy ensin purkaa. Tämän tehtävän suorittaa linja vastaanotin, josta lisää osiossa 5.5. Purettu signaali on A, B, I, muotoa. Se voidaan syöttää mikrokontrollerille, joka laskee pulssien perusteella liikutun matkan.

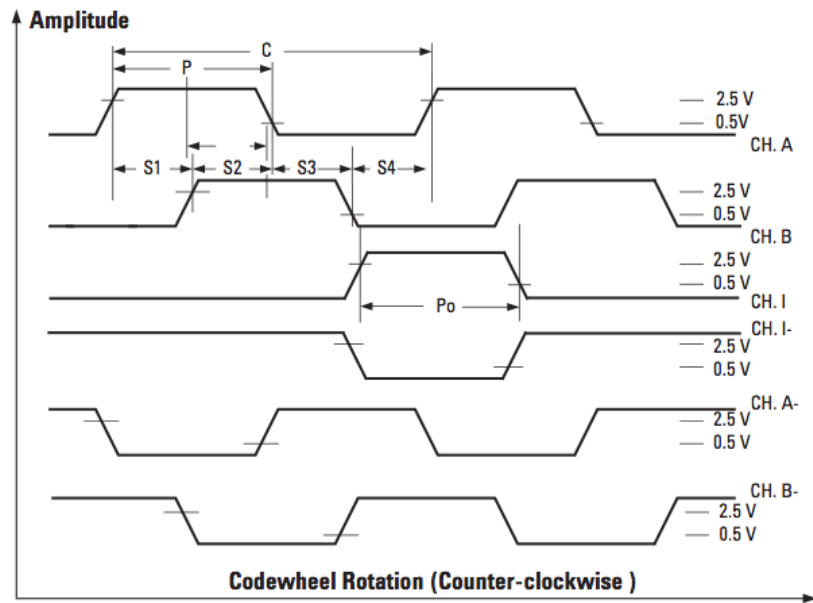
### 5.5 Line receiver

Differentiaalinen signaali välitetään johonkin kuvan 9 neljästä parillisesta otosta. Tämän jälkeen piiri vertailee signaaliparia ja jos molemmat signaalit ovat toistensa komplementteja, muodostuu näistä yksi lähtevä signaali samantaajuisena.

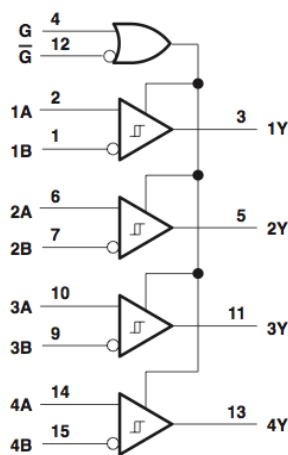
### 5.6 Regulaattori

Regulaattorin tarve riippuu ympäröivästä elektroniikasta. Tällä lisäyksellä olemme kuitenkin vähemmän riippuvaisia ulkopuolisen jännitelähteen vaihteluilta. Perinteisessä LM7805 regulaattorissa sisäännotettavan jännitteen täytyy olla vähintään 2V suurempi kuin lähdön. Jos halutaan suurempi jännitealue hyötykäyttöön täytyy ottaa käyttöön ns. low drop-out regulaattori. Jännitteenpudotus voi tällöin olla suuruudeltaan hyvinkin pieni. Eräs suositeltava low drop-out regulaattori, mallia MIC2940A [13].





Kuva 8: Enkooderin antamien signaalien aaltomuodot.



Kuva 9: Linjavastaanottimen logiikka kaavio. Laitteella on valmiudet purkaa neljä erillistä differentiaalisignaalia. [11]

## 6 Kommunikointirajapinta

Tietokoneen ja piirilevyn kommunikaatio tapahtuu sarjaportin avulla. Toteutuksena käytetään avuksi GIMnetin MaCI kirjastoa. Projektin puitteissa toteutettiin myös sarjaporttiajuri piirilevylle. Käytännössä kommunikaatio rajapinta koostuu kahdesta osapuolesta:

- Mikrokontrollerissa pyörivä koodi
- PC tietokoneen koodi

### 6.1 Mikrokontrollerin koodin rakenne

Seuraavassa havainnollistettu pseudokoodin avulla mikrokontrollerin sisältämän tilakoneen rakenne.

```
void loop(){
  while (Serial.available() > 0) {
    readMessageToTable();
  }

  if (msgEnd == true) {
    if (message[0] == 'msg start'){
      switch (message[1]){
        case 'Move stepper & encoder to PC':
        case 'Move Servo ':
        case 'Sleep ':
        case 'Wake up ':
        case 'Initialatization ':
        case default:
      }
    }
  }
}
```

Mikrokontrollerin toteutus on käytännössä tilakonemainen, tähän tuovat omat poikkeuksensa interrupt pinneihin liitetyt enkooderin annot. Myös optionaaliset rajakytkimet joiden avulla määritetään laitteen alkuasento on kytketty keskeytys pinneihin.

Käytännössä mikrokontrolleri kuuntelee aina sarjaportin viestintää ja kun se havaitsee viestin oikealla aloitusmerkillä tallentuu kyseinen viesti taulukkoon. Taulukkoon lukeminen lopetetaan siinä tapauksessa kun maksimi määrä tavuja on vastaanotettu tai viestin lopetusmerkki on havaittu.

Seuraavaksi toteutetaan viestin sisältämä komento. Näistä askelmoottorin ohjaus on monimutkaisin toteutukseltaan, askelmoottorin liikkuessa tapahtuu myös keskeytyksiä, jolloin mikrokontrolleri hyppää hetkellisesti lukemaan enkooderin lukemia. Nämä keskeytykset tapahtuvat kuitenkin niin nopeasti ettei se aiheuta häiriötä tilakoneeseen. Kaikki enkooderin lukemat välitetään aina keskeytyksen sattuessa PC:lle.

### 6.2 Sarjaporttiajuri

Sarjaporttiajurin luonnissa on käytetty hyväksi GIMnet sarjaporttiajuri pohjaa. Käytännössä luotu sarjaporttiajuri sisältää useita eri funktioita, joilla voidaan muodostaa oikeat sarjaportti komennot haluttujen toimintojen herätteeksi.

Tarvittavia funktioita ovat mm.

- bool SerialDriver2dof::moveStepperMotor(int angle,int direction,int speed,int M1,int M2)

- Nimensä mukaisesti lähettää askelmoottorille parametreissa luetellut arvot joiden perusteella mikrokontrolleri käskyttää aseklmoottoriohjainta.
- `bool SerialDriver2dof::moveServoMotor(int position)`
  - Funktio komentamaan servoa.
- `bool SerialDriver2dof::initLocation()`
  - Alustaa pyörityslaitteen asennon toiseen päätyyn kunnes vastaanottaa signaalin kytkimeltä.
- `bool SerialDriver2dof::encoderAngle(int &turns, int &decimal)`
  - palauttaa kuljettujen kierrosten lukumäärän ja sen hetkisen kierroksen kohdan.
- `bool SerialDriver2dof::stepperSleep()`
  - Asettaa askelmoottorinohjaimen unitilaan jossa sille ei turhaan syötetä virtaa.
- `bool SerialDriver2dof::stepperWakeUp()`
  - Herättää askelmoottoriohjaimen unitilasta.
- `bool SerialDriver2dof::msgReceived()`
  - Kuittausfunktio jonka vastaanotettua tietokone tietää mikrokontrollerin suorittaneen annetun tehtävän onnistuneesti.

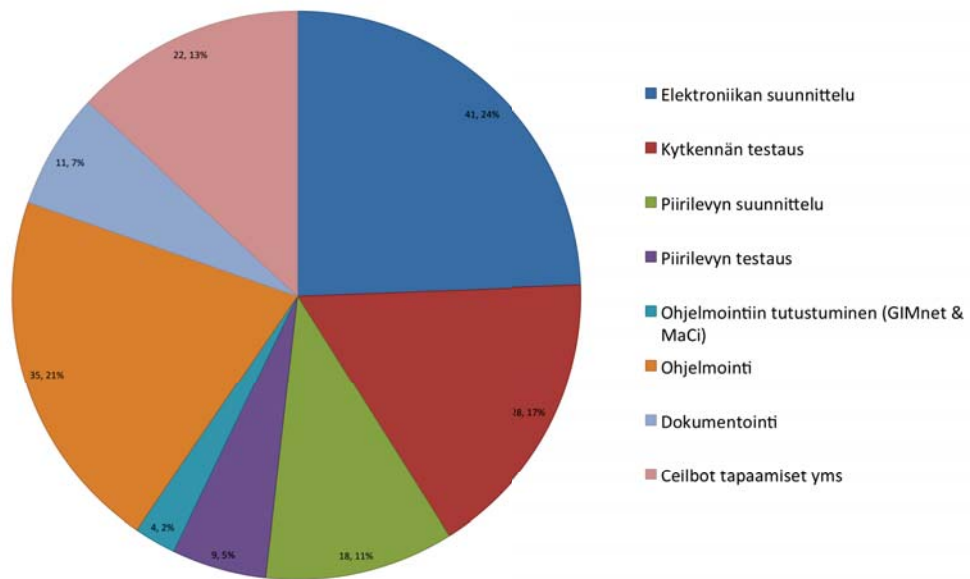
## 7 Yhteenveto

Projekti oli kaiken kaikkiaan erittäin opettavainen ottaen huomioon tietotaidon aihepiiristä. Kaikkein antoisinta oli saada ohjelman pätkä tekemään jotain käytännössä. Alussa suurimmat haasteet liittyivät spesifikaatioiden määrittelyyn. Nämä ovat edelleen hieman auki johtuen mekaniikan puutteesta.

Muita suuria ongelmia ei juurikaan ollut, lukuunottamatta muutamaa poltettua ic-piiriä ja näistä aiheutuneita päänsärkyjä. Lähinnä ongelmia tuotti fotolitografia menetelmän aiheuttamat vaihtelut piirilevyjen laadussa. Ehkä eniten aikaa kului piirilevyjen tekemiseen, ohjelmoinnin osalta. Ohjelmoinnin lopputulos ei myöskään ole täydellinen, senkin osalta harjoitus oli opettavainen ja mielenkiinto toteuttaa harrastepohjalta vastaavia projekteja kotonakin pääsi heräämään. Tulevaisuudessa varmasti tulee edettyä monimutkaisempien järjestelmien suunnitteluun, sen mukaan mihin rahkeet riittävät.

### 7.1 Ajankäyttö

Varsinainen projekti jatkuu edelleen omalta osalta noin viikon verran. Tähän tulee kuulumaan lopputuloksien hienosäätöä ja virheiden etsintää. Myös oman koodin lisääminen GIMnet svn-hakemistoon on tarkoituksena saattaa valmiiksi. Tämä vaatii tiettyjen dokumentointi ohjeistuksien noudattamista, mikä on vielä tekemättä.



Kuva 10: Ajankäyttö jakautui suurelta osin suunnitteluun, testaukseen ja ohjelmointiin. Myös ryhmätapaamiset veivät oman veronsa ajankäytöstä.

## Viitteet

- [1] Teensy USB Development Board. Saatavissa: <http://www.pjrc.com/teensy/>.
- [2] PWM-signaalin tutoriaali video. Saatavissa: [http://www.afrotechmods.com/groovy/PWM\\_tutorial/PWM\\_tutorial.htm](http://www.afrotechmods.com/groovy/PWM_tutorial/PWM_tutorial.htm).
- [3] Wikipedian artikkeli askelmootoreista. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper\\_motor#Unipolar\\_motors](http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor#Unipolar_motors).
- [4] Introduction to Stepper Motors. Saatavissa: [http://mechatronics.mech.northwestern.edu/design\\_ref/actuators/stepper\\_intro.html](http://mechatronics.mech.northwestern.edu/design_ref/actuators/stepper_intro.html).
- [5] Cads of yrityksen kotisivut - Eagle piirisuunnittelu ohjelmisto. Saatavissa: <http://www.cadsoftusa.com/>.
- [6] PWM-signaalin tutoriaali video. Saatavilla: [http://www.afrotechmods.com/groovy/PWM\\_tutorial/PWM\\_tutorial.htm](http://www.afrotechmods.com/groovy/PWM_tutorial/PWM_tutorial.htm).
- [7] Stepperworld internet sivun artikkeli askelmootoreista. Saatavilla: <http://www.stepperworld.com/Tutorials/pgUnipolarTutorial.htm>.
- [8] Introduction to Stepper Motors. Saatavilla: [http://mechatronics.mech.northwestern.edu/design\\_ref/actuators/stepper\\_intro.html](http://mechatronics.mech.northwestern.edu/design_ref/actuators/stepper_intro.html).
- [9] SLA 7062M askelmootorihjaimen datalehti. Saatavilla: <http://www.farnell.com/datasheets/64761.pdf>.
- [10] Arduino kehitysympäristön kotisivut. Saatavilla: <http://www.arduino.cc/>.
- [11] AM26C32 quadruple differential line receiver datalehti. Saatavilla: <http://www.farnell.com/datasheets/87712.pdf>.
- [12] Kurssin S-66.3204 Tuotesuunnittelu luentokalvot.
- [13] Regulaattorin datalehti. Saatavilla: <http://www.led-treiber.de/MIC2941A.pdf>