

# Swagway

Carl-Emil Grøn Christensen & Mathias Dannesbo  
Teknikfag A: El

11. maj 2012

Teknikfag A eksamen:

# SWAGWAY

af  
Carl-Emil Grøn Christensen & Mathias Dannesbo

Resumé

FiXme: Skriv  
resume

## Forord

Gennem teksten vil der være angivet link til “Issues” på GitHub siden for projektet.<sup>1</sup> Disse Issues har været brugt som projektstyring samt bugtracker igennem projektforløbet. Links er angivet som i enden af denne sætning.<sup>#1</sup> Det er ikke nødvendigt for forståelsen af denne rapport at følge linksne.

Vi vil gerne takke Steffen Linnerup Christiansen for hjælp med mekanikken, samt Kristian Holm Nielsen for hjælp med forståelsen af PID.

---

<sup>1</sup><https://github.com/neic/Swagway>

## Indhold

<b>Indhold</b>	<b>4</b>
<b>1 Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2 Input</b>	<b>5</b>
2.1 Sensor . . . . .	5
2.2 Styling . . . . .	9
<b>3 Control</b>	<b>10</b>
3.1 Filter . . . . .	10
3.2 Regulering . . . . .	10
<b>4 Output</b>	<b>10</b>
4.1 H-broens virkemåde . . . . .	10
4.2 PWM . . . . .	11
4.3 Overvejelser . . . . .	11
4.4 Motorcontroller . . . . .	11
<b>5 Auxiliary</b>	<b>17</b>
5.1 Mainboard . . . . .	17
<b>6 Mekanik</b>	<b>20</b>
<b>7 Konklusion</b>	<b>20</b>
<b>8 Perspektivering</b>	<b>20</b>
<b>Tabeller</b>	<b>21</b>
<b>Figurer</b>	<b>21</b>
<b>Litteratur</b>	<b>21</b>
<b>A Arbejdsdeling</b>	<b>22</b>
A.1 Udvikling . . . . .	22
A.2 Praktisk . . . . .	22
A.3 Skriftligt . . . . .	22
<b>B Kildekode</b>	<b>22</b>
B.1 swagway.ino . . . . .	22
B.2 ADXL345.h . . . . .	27
B.3 ADXL345.cpp . . . . .	28
<b>C Status log</b>	<b>31</b>
C.1 13. marts . . . . .	31

## 1 Indledning

Transport enheder bliver mere og mere avancerede, og der skabes ofte nye enheder. Specielt mobilitet og anvendelighed har været i højsædet i mange nye produkter. Det handler om hurtigt at kunne komme fra punkt a til punkt b, uden at det kræver større besvær. Derudover er løsninger som er intuitive at bruge også fremskreden, og et produkt som opfylder alle disse punkter er Segwayen. Den er hurtig, kræver næsten ingen erfaring at køre på og er lille. Man kan hurtigt suse fra en afdeling til anden.

Fixme: indsæt pic af swagway

Formålet med projektet er at bygge en motoriseret selvbalancerende tohjulet transportenhed. Det er en klon af en Segway som er et kommercielt produkt, der benyttes af en lille skare af befolkningen nutildags. Kendetegnet ved Segwayen er, at de to hjul sidder på samme aksel, hvor elektronik og motorene sørger for at, selv med en fører, holde enheden i balance. Når en fører læner sig frem eller tilbage, kompenserer Segwayen ved køre i samme retning, for atter at balancere den. For at dreje enheden vipper føreren håntaget til den ene eller anden side, som man ønsker at dreje til. Segwayen kan købes for cirka halvfjerdstusinde kroner, hvis man ønsker at eje sådan en.

Projektoplæget lyder:

Formålet er at bygge en balance robot på to hjul, en Segway klon. Minimums målet er at få robotten til at balancere. Derefter få den til at køre og kunne styre den hvis tid og evner rækker til det.

Hovedudfordringen er at holde enheden lodret. For at gøre dette skal man kende enhedens vinkel i forhold til lodret og omsætte denne vinkel til et signal til motorene. Når vinklen stiger driver motorene hjulene som så flytter enheden og brugerens tygdepunkt ind over akslen igen. Det kan se som tre isolerede problemstillinger som passer ind i I-C-O-modellen:

Input Måle Swagwayens hældning i forhold til lodret

Control Omsætte vinklen til et signal til motorene.

Output Drive to motore baseret på signalet.

Arduino uno, åbenlyst at bruge denne da vi har modtaget undervisning i dette.

## 2 Input

### 2.1 Sensor

Efter nogen research af andre køretøjer og mindre robotter med der fungerer på sammen måde, var det klart at gyroskoper og accelerometere kunne måle vinklen så hurtigt og præcist som det var krævet.

#### Sensor hardware

Gyroskoper og accelerometere har indtaget forbrugerens produkter, og kortlægger allerede nu deres bevægelser. De faldende priser og faldene energiforbrug har gjort, at gyroskoper og accelerometere er langt mere tilgængelige for alle. Mobiltelefoner,

## Swagway

spilkonsoller og kameraer kan nu måle hvordan du bevæger dig, og flere og flere enheder importerer også disse bevægelses sensorer, for at adskille sig fra de andre.

Disse bevægelses sensorer er avancerede MEMS (mikroelektromekaniske systemer) teknologier, som inkoopererer gyroskoper, accelerometere og kompas sensorer. I dette projekt har vi arbejdet med gyroskoper og accelerometere, som vi også kender fra vores smartphones. Swagwayen skal, lige som en smartphone kan måle om den står eller ligger ned, måle i hvilken vinkel den står i.

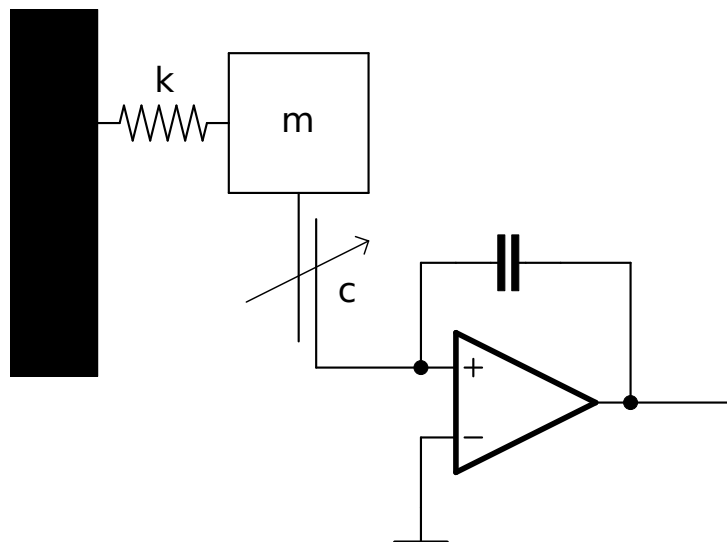
Fixme: Check om vi har forklaret at der er brug for begge komponenter

### Gyroskop

Et gyroskop måler vinkelhastigheder, hvor hurtigt noget drejer om en akse. Hvis den vinkelhastighed integreres over tid finder man vinklen som gyroskopet har flyttet sig. Problemet med at integrer gyroskopdata er, at pga. måleusikkerheder vil det målte nulpunkt drive væk fra det fysiske nulpunkt. Moderne gyroskoper er et mikroelektromekanisk system, også kaldet MEMS. Det betyder, at det både er en mekanisk og elektrisk funktion i et system. /fxnotehvordan fungerer MEMS i et gyroskop

### Accelerometer

Et accelerometer kan måle accelerationer. Man kan med hjælp fra tangens og data fra to akser udregne den vinkel accelerometeret står i forhold til jordens tyngdekraft. Problemet med dette er at accelerometer måler alle accelerationer, ikke kun jordens tyngdekraft. Når Swagwayen fx accelerer, bremser eller køre over en sten bliver den udregnet vinkel forkert. Et accelerometer måler en bevægelse, som enten er forårsaget af tyngdekraften eller en bevægelse. Som set på figur 2.1 måles accelerationen i et moderne MEMS accelerometer ved en ændring i kapacitansen,  $c$ , som skyldes en ændring i massens,  $m$ , position. Kapasitansen fører til en ændring i spændingen, som



get af tyngdekraften eller en bevægelse. Som set på figur 2.1 måles accelerationen i et moderne MEMS accelerometer ved en ændring i kapacitansen,  $c$ , som skyldes en ændring i massens,  $m$ , position. Kapasitansen fører til en ændring i spændingen, som

## Swagway

herefter digitaliseres via ADC og kan benyttes af en mikrokontroller som Arduinoen. Dette gøres for de tre akser x, y og z, og accelerationen kan nu måles i alle retninger.

### IMU

For at løse problemet med at gyroskopet driver og problemet med at accelerometret ikke er nøjagtig når det bliver påvirket af andre accelerationer end tygdekraften kan man bruge begge sensorer sammen. Man bruger begge sensorers data og samler dem i et filter. Se mere herom i sektion 3.1.

De fleste moderne accelerometere og gyroskoper kommer i små SMD pakker som er vanskelig håndlodde. Heldigvis er det forholdsvis let at få disse sensorer monteret på et breakoutboard. Efter at have kigget på andre Segway kloner og balanceroboter faldt valget på en IMU fra Sparkfun. Se figur 1. En inertial measurement unit, IMU, er en enhed som kombinerer flere sensorer. IMUen fra Sparkfun et ADXL345 accelero-



Figur 1: 6DOF IMU breakoutboard fra Sparkfun. (CC BY-NC-SA 3.0, Sparkfun)

meter og et ITG-3200 gyroskop. Accelerometret og gyroskopet er begge tre-akset. Det giver IMUen seks frihedsgrader (DOF). Swagwayen skal dog kun bruge tre frihedsgrader; to akser fra accelerometret og en fra gyroskopet, men IMUen med seks frihedsgrader var det mindste med digital interface.

FiXme: tre-akset?

### I<sup>2</sup>C

Kommunikation med IMUen sker digital over en I<sup>2</sup>C-bus. På bussen er der en master<sup>2</sup> og en eller flere slaves. I Swagwayen er Arduinoen master og accelerometret og gyroskopet er begge slaves. I<sup>2</sup>C bussen består af to fysiske forbindelser, en serial data linje (SDA) og en clock (SCL). Alle enheder på bussen forbinder til disse to forbindelser. Linjerne er open-drain med eksterne pull-up modstande. Det vil sige at i hver enhed sidder der MOSFET'er der trækker spændingen på linjen mod GND efter behov. De eksterne pull-up modstande trækker linjerne op igen. Se figur 2.

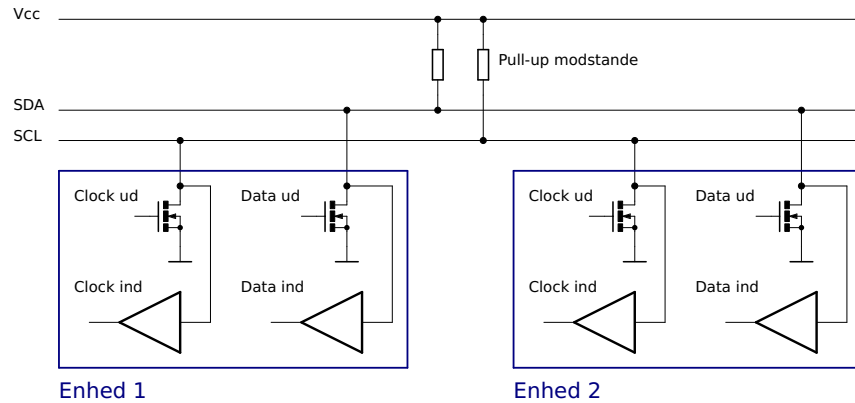
FiXme: I<sup>2</sup>C, wire.h, libraries

På Arduinoen er I<sup>2</sup>C SDA på A4 og SCL på pin A5 med indbygget pull-up modstande på 20 k $\Omega$ –50 k $\Omega$ . [ATMega, 2011, s. 317] De er aktiveret som standard når man bruger Wire biblioteket.<sup>3</sup>

Arduinoens spænding er 5 V og IMUens er 3.3 V. IMUen bliver forsynet med 3.3 V fra Arduinoen, men SDA og SCL er koblet direkte til Arduinoens pins som har 5 V som reference. Den korekte løsning ville være at lave en level-shifter imellem en 5 V-og en 3.3 V-del af I<sup>2</sup>C-bussen, men når pull-up modstandene er så høje som de er det

<sup>2</sup>Det er mulig at lave et multi-master opstilling hvis alle masterne understøtter det.

<sup>3</sup>For reference se linje 75 i `utility/twi.c` i Wire biblioteket.

Figur 2: Eksempel på I<sup>2</sup>C-netværk

stadig forsvarligt at kører IMU'en direkte med 5 V som  $V_{IO}$ -reference. Der er flere eksempler på det samme blandt andre på Internettet der bruger samme chips.

Den letteste måde at kommunikere over I<sup>2</sup>C fra en Arduino er at bruge Wire-biblioteket som kommer sammen med Arduino-softwaren: `#include <Wire.h>`. For at få Arduinoen til at tilslutte sig bussen som master kaldes `Wire.begin()`; uden parametre. Slaverne på I<sup>2</sup>C-bussen har alle en adresse som fremgår af deres respektive datablade.

ADXL345 og ITG-3200 indeholder begge flere registre med forskellige funktioner. Nogle registre indeholder opsætningen for chippen, andre indeholder data som chippen måler. Hvis man, fra Arduinoen, vil skrive til et af registrene kører man følgende kode:

```
1 Wire.beginTransmission(deviceAddress); // begynder en
  session med enheden med deviceAddress
2 Wire.write(regAddress); // sender adressen på den register
  man vil ændre
3 Wire.write(value); // sender værdien registeren skal indtage
4 Wire.endTransmission(); // afslutter sessionen
```

At læse et register er lidt mere omfattende:

```
1 Wire.beginTransmission(deviceAddress); // begynder en session
  med enheden med deviceAddress
2 Wire.write(regAddress); // sender adressen på den register man
  vil ændre
3 Wire.endTransmission(); // afslutter sessionen
4
5 Wire.beginTransmission(deviceAddress); // begynder en ny
  session
6 Wire.requestFrom(deviceAddress, numberOfBytes); // sender
  anmodning på at modtage numberOfBytes
7 int i = 0;
```



## Swagway

```
8  while (Wire.available()) { // så længe der er data tilgæ
    ngeligt
9      buffer[i] = Wire.read(); // modtag data og fyld det i buffer
10     i++;
11 }
12 Wire.endTransmission(); // afslutter sessionen
```

Masteren er den enhed som bestemmer Standard Clock Line, og slaverne er den enhed som lystrer til masteren. Hastigheden på forbindelsen kan være 100KHz, 400KHz eller 3400KHz. Masteren er den eneste som kan starte en forbindelse mellem enhederne, og det gør den ved at starte en sekvens på bussen, som ændrer SDA fra høj til lav. Start sekvensen indikerer i en bit, om masteren vil modtage data fra slaven, eller om den vil sende til slaven. Denne bit, også kaldet LSB eller Least Significant Bit placeres efter syv andre bits, som er slavens adresse. Herefter udsendes endnu en bit, som slaven skal besvare ved at trække SDA lav. Denne bit kaldes ACK som står for acknowledgement, som betyder anerkendelse. Herefter sendes der data via SDA synkront med clock linen, som afsluttes med endnu en ACK bit. Til slut skiftes SDA til høj igen, mens SCL beholds høj.

## 2.2 Styring

Styringen af Swagwayen skulle være en længerevarende og holdbar løsning. Det ønskes ikke, at enheden efter forholdsvis kort tid skulle udskiftes eller repareres. Vi overvejede fem forskellige løsninger: En lineær potentiometer, et drejepotentiometer, gaffelsensor, strain-gate og stepper motor.

### Lineær potentiometer

Et lineært potentiometer fungerer som et normalt potentiometer, dog trækkes "armen" i en sliske som set på HERPADERP NIGGER DICK BILLEDE. Potentiometret skal placeres i bunden af stangen, hvorefter potentiometrets arm trækkes med stangens bevægelse. Herefter vil man kunne ændre på PWM signalet til motorene, og på den måde dreje. Løsningen er simpel at udføre, og vil virke let i praksis.

FiXme: billede af  
lineært  
potentiometer

Ulempen ved denne løsning er dog, at potentiometret hurtigt slides op ved brug, og det er derfor ikke en holdbar løsning.

### Dreje potentiometer

Samme princip fra det lineære potentiometer gælder her. Derimod drejes dette potentiometer i stedet for om sin egen akse. Ideen med dette var, at man let kan implementere den i toppen af Swagwayens styr, og så styre PWM signalet til motorerne sådan.

Lige som det lineære potentiometer, slides denne løsning hurtigt, og er derfor ikke holdbar. Derudover er denne løsning ikke lige så intuitiv og føles klodset, hvilket ikke er det vi ønsker med produktet.

### Gaffelsensor

Gaffelsensorer benyttes i gamle kuglemuse, som vi alle nok kender. Gaffelsensorene måler hvor meget noget har flyttet sig ved at analysere bevægelsen i forhold til nogle

## Swagway

bånd buede bånd, i to kryssende retninger. Ud fra bevægelsen kan gaffelsensoren bestemme, hvordan kuglen har bevæget sig i dens socket. En lignende anordning kunne placeres i bunden af stangen lige som det lineære potentiometer, og en kugle kunne skubbes rundt lige som i en mus, for at bestemme stangens hældningen. Løsningen er meget præcis hvis den er lavet mekanisk godt.

Gaffelsensoren er derimod ekstremt upræcis hvis mekanikken ikke er rentskåret næsten perfekt. Yderligere bliver dens præcision påvirket af støv og skidt, hvilket hurtigt vil ophobe sig i bunden af vores Swagway.

### Strain-gate

En strain-gate løsning er en anordning, som placeres på siden af stangen. Strain-gaten kan mærke tryk i metallet, og kan ud fra dette tryk bestemme en værdi, som man kan bruge til at styre Swagwayen med. Denne løsning er ekstrem præcis, og benyttes ofte i store maskiner.

Problemet er dog, at den ikke virker på vores stang, da den er for stiv, og løsningen hverken er intuitiv eller responsiv for forbrugeren. Den er ikke lige til at finde ud af fra første øjekast, og den er sværere at lære.

### Stepper motor

Det sidste løsningsforslag: Stepper motor. Planen med denne var at foretage den modsatte funktion af hvad man normalt gør med en stepper motor: I stedet for at få motoren til at bevæge noget, skal styret bevæge motoren, hvorefter det måles hvilket step den er på i Arduinoen. Løsningen er ekstremt robust og præcis, som vi kender stepper motorer for. Derudover vil den ikke være modtagelig for omgivelsernes påvirkninger i form af støv eller andet snavs. Yderligere kan steppene geares, så den bliver endnu mere præcis hvis nødvendigt.

Det sværeste ved denne løsning er, at implementere den.

Hvis tiden havde rækket til det, havde vi derfor valgt denne som den umiddelbare løsning.

## 3 Control

### 3.1 Filter

Målet med filtret er at samle dataen fra gyroskopet, accelerometeret og ud fra disse beregne en vinkel, som vi kan benytte til at regulere PWM efter. Ud fra dette mål, udvalgte vi tre filtre, som har de egenskaber vi leder efter.

#### Komplementær filter

#### Kalman filter

#### Modificeret Kalman filter

### 3.2 Regulering

For at kontrollere hvorledes Swagwayens motorer bevæger sig i forhold til vinklen, skal vi bestemme et forhold mellem vinklens hældning og PWM.

Lineær

PID

Eksponentiel

## 4 Output

For at holde Swagwayen i balance, ønsker vi, ligesom Segwayen, at motorene skal kunne køre i begge retninger med en variabel hastighed.

### 4.1 H-broens virkemåde

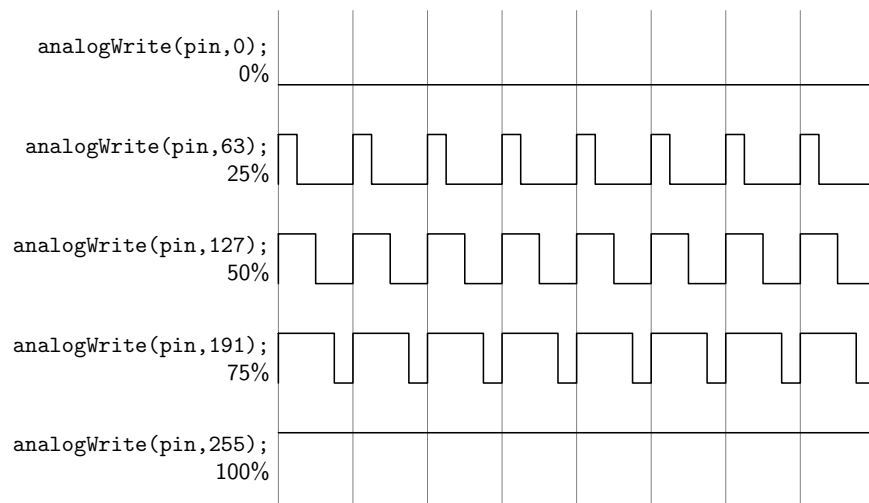
H-bro teori

### 4.2 PWM

Pulsbreddemodulation (Pulse-Width-Modulation): Er en metode til at kontrollere spændingen i elektriske apparater. Det er en metode til at levere spænding igennem en række impulser i stedet for der konstant er strøm igennem systemet. Ved at øge eller formindske bredden af impulsen kan man kontrollere en motor.

Man kan altså sige, at PWM er et on/off system hvor man styrer ved hurtigt, at slukke og tænde for spændingen. Tiden der går imellem at den er on/off er så kort, at en LED som sådan ikke mærker det. Så den vil ikke blinke, men derimod lyse mindre hvis man øger bredden imellem impulserne.

Måden vi styre dette på i en Arduino er via `analogWrite(pin,...)`; . Her har vi mulighed for at give en værdi fra 0--255. Dette betyder at `analogWrite(pin,255)`; er 100% og `analogWrite(pin,127)`; er 50%. Dette kan også ses på figur 3.



Fixme: Hele afsnittet skal omskrives

Figur 3: Eksempel på PWM med varierende dutycycle

### 4.3 Overvejelser

Vores valg: Dobbelt H-bro med mange chip eller bygge selv. Med eller uden PWM “i bunden”.

### 4.4 Motorcontroller

Tabel 1: Motorcontroller v5.2 sandhedstabel

Arduino pin			HEXFET spænding				HEXFET on/off				
P7	P6	P5	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
P8	P9	P10	Q5	Q6	Q7	Q8	Q5	Q6	Q7	Q8	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	Off (☹)
1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	Off (☹)
0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	☹
1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	Short
0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	Short
1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	☹
0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	Short
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	Short

Tabellen viser hvordan den seneste motorcontroller, v5.2, opføre sig hvis den får inputtet angivet under “Arduino Pin”

H-bro, PWM, PWM-kondensator, beskyttelses dioder, 4000 serie, optocoupler

#### Samlet board

Det var upraktisk at have alle funktioner på samme board. H-broerne og optocouplerne blev flyttet på sit eget board “Motorcontroller v1.0”.

#### Motorcontroller v1.0

24. januar 2012

#### Det var der galt

Boardet virkede ikke. Det opførte sig som det var kortsluttet. Det viste sig, at efter boardet var skilt helt af igen, at det plus tegn der skulle vise polariteten var sat ved den forkerte pol. Printet havde taget skade af at blive loddet på flere gange.

Der var desuden nogle af ledningene for tætsiddene og loddeøerne var lidt underdimensionerede. Der manglede også en mulighed for at se, hvilken vej strømmen løber i H-broerne.

#### Det blev der rettet

Plus tegnet blev flyttet over til den rigtige pol. Ledningerne blev flyttet længere væk fra hinanden, og loddeøernes størrelser forøget.

FiXme: lav board  
date til margin  
note

FiXme: Indsæt  
diagram over  
Motorcontroller  
v1.0

FiXme: Indsæt  
figur over  
Motorcontroller  
v1.0

## Motorcontroller v2.0

8. marts 2012

### Det var der galt

Dette board blev aldrig lavet færdigt; Ledningerne omkring pinheaderen var for tæt efter at loddeøeren blev forstørret. Diagram og figur over printet kan findes i bilag.

FiXme: ref

### Det blev der rettet

Loddeøerne blev gjort en smule mindre for at tillade ledningernes forbipasserend.

## Motorcontroller v2.1

8 marts 2012

### Det var der galt

Boardet fungerede umiddelbart. Motoren kunne køre i begge retninger og farten kunne styres med PWM. Dog startede motoren på ca. 30% fart uintentionelt i den ene retning. Ved at måle på PWM signalet fra mainboardet og signalet til motoren via et oscilloskop, kunne problemet indskrænkes til at være på Motorcontrolleren.

FiXme: ref til fig:mosch2.1

Det viste sig efter megen debugging, at spændingen på gaten på P-kanal HEXFET-erne (IRF4905) ikke gik HIGH lige så hurtigt som ventet. Der blev opstillet et forsøg på et breadboard med en P-kanal HEXFET, en optocoupler og en Arduino, for at gennemskue problemet.

Forsøget viste, at når optocoupleren sad mellem HEXFETen og Arduinoen var der en ubekendt kapacitet mellem HEXFETens gate og source. Figur 5 viser nederst PWM signalet fra Arduinoen og øverst signalet på P-kanal HTXFETens gate, hvor man tydeligt kan se, at det tager en ubetydelig tid før signalet på gaten stiger.

FiXme: Indsæt diagram over forsøg med optocoupler og HEXFET

Ved at sætte en mindre pull-up modstand på, kunne gaten aflades hurtigere, men det var ikke muligt at få den tilpas langt ned til at kunne styre motoren godt. Ved at fjerne optocoupleren og køre HEXFETens gate direkte fra Arduinoen eller ved fjerne HEXFETen og måle direkte på optocoupleren, var stigningstiden  $\approx 0$ . Det var kun i kombination mellem HEXFETen og transistoren i optocoupleren, at stigningstiden ikke var  $\approx 0$ .

Der blev forsøgt med en 4N25 optocoupler istedet for 4N35, og en BC547 istedet for optocoupleren; der var samme stigningstid.

Det har ikke været muligt, selv med hjælp fra vejleder, at forklare hvorfor denne kapacitet er der.

Problemet blev ikke løst, det blev bare gjort ubetydeligt: Istedet for at bruge en N- og en P-kanal HEXFET til at bestemme retning og køre PWM på de andre to N- og P-kanal HEXFETer, blev det lavet om til at begge P-kanal HEXFETer blev brugt til at bestemme retning og at N-kanal HEXFETerne bliver brugt at køre PWM. Det er ikke et problem at stigetiden på P-kanal HEXFETerne er langsom da de kun ændre sig når der skiftes retning og ikke med høj frekvens som ved PWM.

For ikke at tilføje flere optocouplere og bruge flere pins på Arduinoen blev der, på motorcontrolleren tilføjet to invertere.

# Swagway

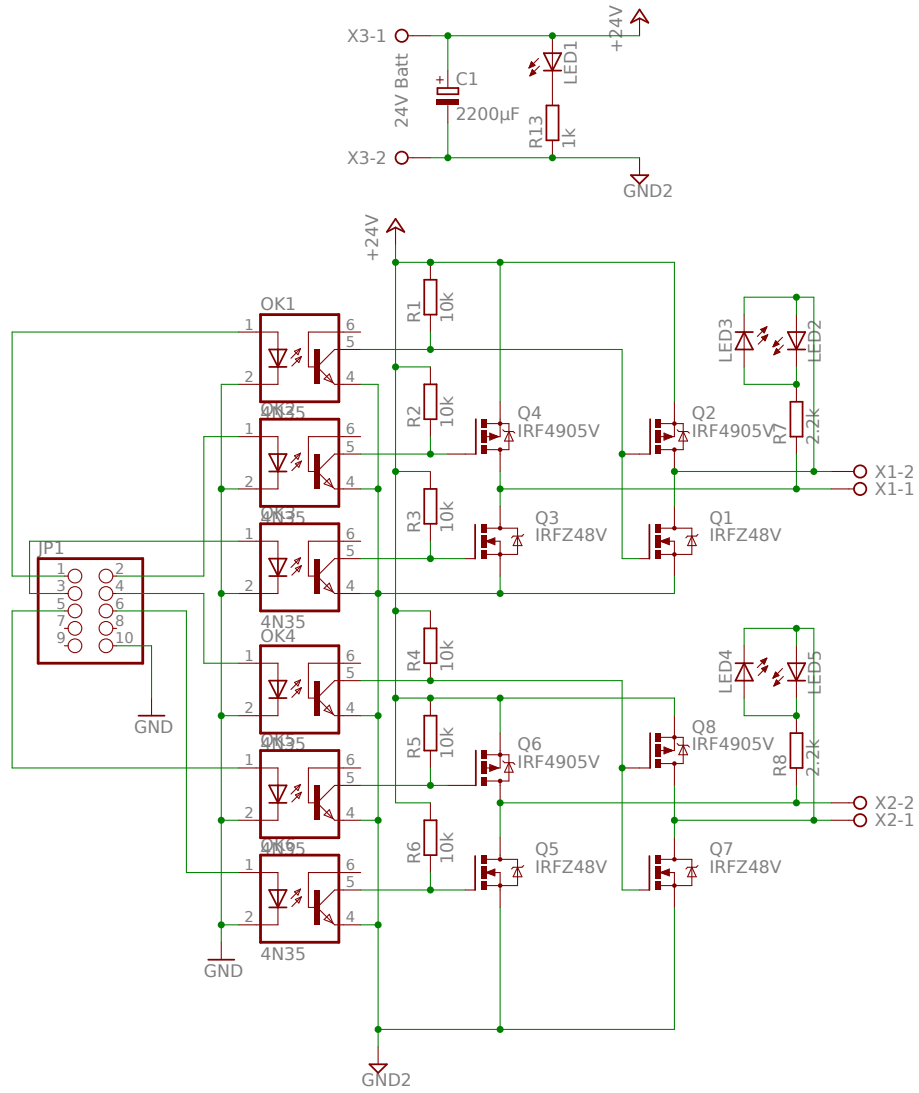
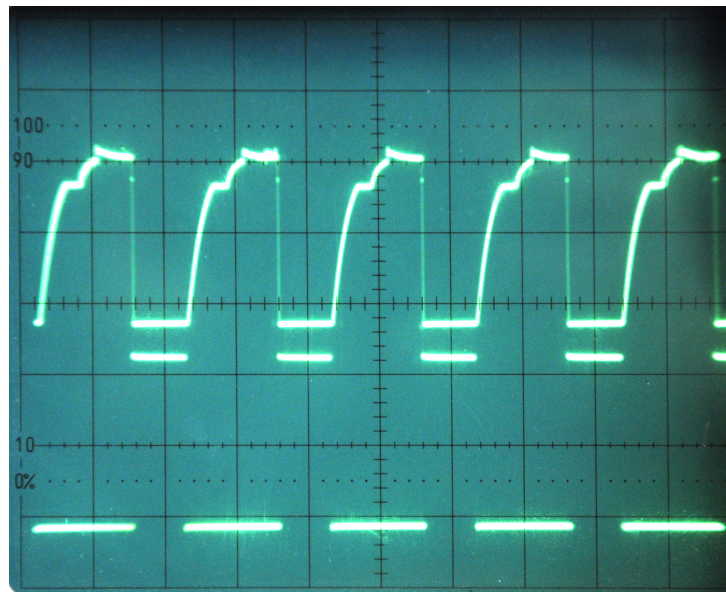


Figure 4: Diagram over Motorcontroller v2.1



Figur 5: Oscilloskop billede af stigetid på en P-kanal HEXFET gate. Nederst ses PWM-signalet fra Arduinoen, øverst ses signalet på HEXFETens gate.

#### Det blev der rettet

Vi byttede om på to P- og N-kanal HEXFETer, så der nu køres PWM på N-kanalen, og P-kanalen bestemmer retning. Derudover blev det tilføjet to invertere på motorcontrolleren. Se figur

FiXme: ref:  
dia:v3.0

#### Motorcontroller v3.0

27. marts 2012

#### Det var der galt

Efter at der blev tilføjet en inverter på to af gatesne til P-kanal HEXFETerne er der LOW når der ikke er spænding på optocouplerne (for eksempel når den ikke er koblet til mainboardet). Det tænder HEXFETen sammen med N-kanal HEXFETerne, som også er tændt uden spænding på optocouplerne, hvilket kortslutter H-broen. Motorcontroller v3.0 var fungerede, men det var upraktisk, at den var kortsluttet uden at være koblet sammen med mainboardet.

FiXme: Indsæt  
diagram over  
Motorcontroller  
v3.0 (Figur over  
printet kan findes i  
bilag)

#### Det blev der rettet

Pull-up modstandende blev derfor erstattet med pull-down modstande.

#### Motorcontroller v4.0

12. april 2012

## Swagway

### Det var der galt

Dette board blev aldrig lavet færdigt. En stor del af boardet blev re-routed da der var blevet rodet efter mange versioner. Diagram og Figur over printet kan findes i bilag.

Fixme: ref

### Det blev der rettet

Boardet blev rerouted pga. rod.

### Motorcontroller v4.1

13. april 2012

### Det var der galt

Der var en ledning der ikke var routed og der var noget mindre re-routing.

### Det blev der rettet

Rettet op på fejl i routing

### Motorcontroller v4.2

17. april 2012

### Det var der galt

Dette board blev aldrig lavet færdigt. For-modstandene til optocouplerne sad på mainboardet af en ukendt årsag. Det virkede mere logisk og praktisk at have disse på motorboardet.

### Det blev der rettet

For-modstandene til optocouplerne blev flyttet fra mainboardet til motorcontrolleren.

### Motorcontroller v5.0

24. april 2012

### Det var der galt

Dette board blev aldrig lavet færdigt. Det er svært at debugge motorcontrolleren når man ikke kan se hvad der sker. Optocouplerenes manglende tegn på hvad der sker skabte problemer.

### Det blev der rettet

Der blev tilføjet LEDer til optocouplerne.

### Motorcontroller v5.1

24. april 2012



## Swagway

### Det var der galt

Dette board blev aldrig lavet færdigt. Logikken blev ændret pga. en fejl.

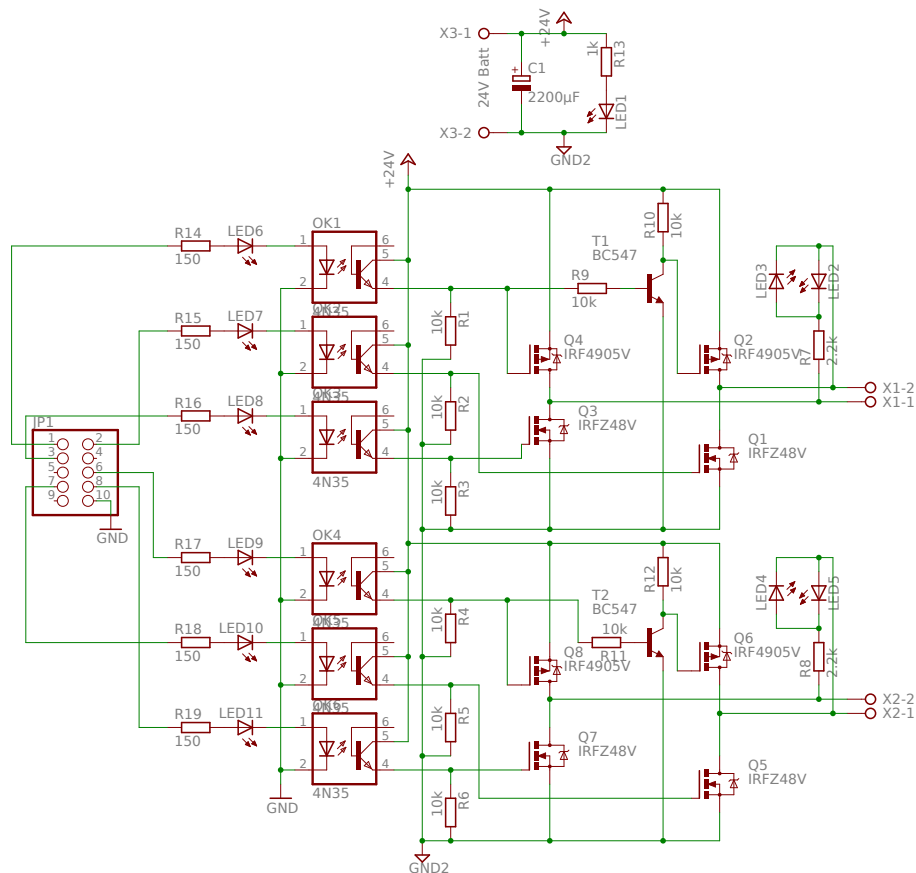
### Det blev der rettet

Nogle ledninger i fladkablet blev byttet om.

### Motorcontroller v5.2

24. april 2012

FiXme: Board  
brænder af



Figur 6: Diagram over Motorcontroller v5.2

FiXme: ref til  
fig:mosch5.2

### Det var der galt

Boardet v5.2 sidder i Swagway produktet og fungerer. Den nuværende version er en erstatning af et magen til, da dette brændte af under en længerevarende, ellers succesfuld, prøvekørsel.

Motorene danner strøm når de går i frigang, og hvis man derfor kører hurtigt fremad, og ændrer vinklen til et modsatgående fortegn, sendes strømmen tilbage igennem boardet. Der blev derfor tilføjet beskyttelses dioder for at tage strømmen.

**Det blev der rettet**

Der blev til v6.0 tilføjet beskyttelses dioder til kredsløbet, for at tage strømmen fra motorene.

**Motorcontroller v6.0**

24. april 2012

**5 Auxiliary**

Tabel 2: Pin forbindelser på Arduino

Pin	Forbindelse	Egenskaber
0	USB Rx	
1	USB Tx	
2	Radio Rx	Interrupt
3		Interrupt, PWM
4	Radio Tx	
5	Motorcontroller R2	PWM <sup>a</sup>
6	Motorcontroller L2	PWM <sup>a</sup>
7	Motorcontroller L1	
8	Motorcontroller R1	
9	Motorcontroller L3	PWM
10	Motorcontroller R3	PWM
11		PWM
12		
13		LED
A0		
A1		
A2	Steering	
A3	Steering	
A4	IMU I <sup>2</sup> C SDA	SDA
A5	IMU I <sup>2</sup> C SCL	SCL

<sup>a</sup> PWM outputtet fra disse er lidt højere end forventet. De drives af en anden timer.<sup>#42</sup> Se under Mainboard 4.0 i sektion 5.1.

**5.1 Mainboard****Mainboard v1.0**

24 jan 2012

**Det var der galt**

Mainboardets loddeøer var underdimensioneret<sup>#1</sup>, hvilket betyder, at lodninger blev besværlige. Yderligere var det ikke til at komme til at trykke på resetknappen på

## Swagway

Arduinoen, da shieldet dækkede over knappen.<sup>#2</sup>

### Det blev der rettet

Der blev tilføjet en reset knap på mainboardet, i den følgende version. Der blev også tilføjet et stik til datamodtagning fra styringen på mainboardet.<sup>#12</sup> Derudover blev loddeøerne udvidet.

### Mainboard v2.0

1 marts 2012

### Det var der galt

Logik kredsløbet blev kasseret. Efterfølgende blev der brugt tre Arduino pins per motor.<sup>#21</sup> Display-boardet blev ligeledes kasseret.<sup>#9</sup> Pinheaderne til 9V og IMUen var desuden for tæt sammen.<sup>#13</sup>

### Det blev der rettet

Pinheader til 9V batteri og IMU blev flttet længere væk fra hinanden. Nyt logik implementeret.

### Mainboard v3.0

26 marts 2012

### Det var der galt

Dette board blev aldrig lavet færdig. På boardet blev der dog tilføjet pins til en radio, hvis formål er at kunne ændre reguleringsværdierne trådløst.<sup>#29</sup>

### Det blev der rettet

### Mainboard v3.1

29 marts 2012

### Det var der galt

For-modstandene var placeret på mainboardet, hvilket var ulogisk.<sup>#37</sup> Pinheader til IMU passer med en 5×2 socket, men der er placeret en 7×2 på boardet.

### Det blev der rettet

For-modstandene blev flyttet fra mainboardet til motorcontrolleren. Pinheaderen til IMUen blev lavet om.

### Mainboard v4.0

24 april 2012

### Det var der galt

Swagwayen kører med dette board, men den ene motor kørte hurtigere end den anden.<sup>#42</sup> Det lignede umiddelbart en mekanisk fejl, men ved at bytte om på ledningerne til motorene viste det sig at den ene kanal på motorcontrolleren kørte langsommere end den anden. Problemet blev isoleret til, at Arduinoen ikke sendte PWM med samme frekvens til begge kanaler. I Arduino referencen for `AnalogWrite()` ser man også, at pin 5 og 6 PWM kører fra en anden timer end de andre PWM pins. Tilfældigvis kørte den ene motor på begge af disse pins.

### Det blev der rettet

Pin 5 og 9 blev byttet så Swagwayen kører lidt hurtigere forlæns end baglæns, men med samme forskel på begge hjul.

Ombytningen af de to pins blev gjort ved at bryde kobberbanerne på printet og lodde to ledninger på, der blev ikke lavet et nyt board.

## 6 Mekanik

Motorer, batterier,

## 7 Konklusion

Vores mål var at lave en balance robot, hvor vi havde tilvalgt at lave styring til begge sider, hvis tiden rækkede til det.

Swagwayen fungerer som den står idag, og kan balancere på egen hånd. Det viste sig, at lave styring så den kunne dreje var i overkanten af hvad vi kunne nå inden for den givne tidsramme, hvori vi dog opfyldte vores minimumskrav. Swagwayen kan også køre frem og tilbage med en fører.

## 8 Perspektivering

Som nævnt i projektbeskrivelsen, ville vi gerne med mere tid, have haft implementeret styring til Swagwayen.

Kraftigere motorer med mindre gearkasser. Encoder

## Tabeller

1	Motorcontroller v5.2 sandhedstabel . . . . .	12
2	Pin forbindelser på Arduino . . . . .	18

## Figurer

1	6DOF IMU breakoutboard fra Sparkfun . . . . .	7
2	Eksempel på I <sup>2</sup> C-netværk . . . . .	8
3	Eksempel på PWM med varierende dutycycle . . . . .	11
4	Diagram over Motorcontroller v2.1 . . . . .	13
5	Oscilloskop billede af stigetid på en P-kanal HEXFET gate . . . . .	14
6	Diagram over Motorcontroller v5.2 . . . . .	17

## Litteratur

- [ATMega, 2011] ATMega (2011). 8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash. Datablad. Tilgængelig på [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8271.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8271.pdf) Hentet 11. maj 2011.
- [Espensen, 1989] Espensen, P. S. (1989). *Grundlæggende reguleringsteknik*. Bogfondens forlag, 1. udgave. ISBN-10: 87-7463-192-6.
- [Fraklin et al., 1998] Fraklin, G. F., Powell, J. D. og Workman, M. (1998). *Digital control of dynamic systems*. Addison-Wesley, 3. udgave. ISBN-10: 0-201-33153-5.

## Swagway

### A Arbejdsdeling

#### A.1 Udvikling

Fixme: Tilføj  
arbejdsdeling

#### A.2 Praktisk

#### A.3 Skriftligt

### B Kildekode

#### B.1 swagway.ino

```
1  /*****/
2  /* swagway.ino -- Swagway onboard software */
3  /* */
4  /* Author: Mathias Dannesbo <neic@neic.dk> and */
5  /*      Carl-Emil Grøn Christensen */
6  /* Time-stamp: <2012-05-07 18:07:19 (neic)> */
7  /* Part of the Swagway project */
8  /* https://github.com/neic/Swagway */
9  /* */
10 /*****/
11
12 #include <Wire.h>
13 #include <math.h>
14 #include "ITG3200.h"
15 #include "ADXL345.h"
16
17 // IMU
18 ADXL345 acc = ADXL345();
19 float accSampleRate;
20 ITG3200 gyro = ITG3200();
21 float gyroSampleRate;
22
23 // General
24 int xa, ya, za;
25 float xg, yg, zg;
26
27 unsigned long sinceLastSend;
28
29 bool newAccData, newGyroData;
30
31 double accAngle, gyroAngle, estAngle;
32
33 // Kalman filter
34 const float Q_angle = 0.001; // Process noise covariance for
    the accelerometer - Sw
35 const float Q_gyro = 0.003; // Process noise covariance for the
    gyro - Sw
36 const float R_angle = 0.03; // Measurement noise covariance -
    Sv
```

## Swagway

```
37
38 double angle = 0; // It starts at 0 degrees
39 double bias = 0;
40 double P_00 = 0, P_01 = 0, P_10 = 0, P_11 = 0;
41 double dt, y, S;
42 double K_0, K_1;
43
44 // Motor
45
46 const int directionPinLeft = 7; //HIGH when forward
47 const int forwardPinLeft = 9;
48 const int backwardPinLeft = 6;
49
50 const int directionPinRight = 8; //HIGH when forward
51 const int forwardPinRight = 10;
52 const int backwardPinRight = 5;
53
54 // PID
55
56 const int targetAngle = 0;
57 const float Ex = 2.6; //Exponential value
58 const float Kp = 2; //Proportional value
59
60 void setup()
61 {
62     Serial.begin(115200);
63     Wire.begin();
64
65     //Init the acc
66     acc.init(ADXL345_ADDR_SDO_LOW);
67     acc.setFullRes(true);
68     acc.setRange(3);
69     acc.setVoltage(3.3);
70     acc.setOutputRate(10); //25Hz*2^(10-8)=100Hz. See table 7 in
        ADXL345 datasheet
71
72     //Calculate the accSampleRate
73     accSampleRate = 25*pow(2,(acc.getOutputRate()-8)); //See
        table 7 in ADXL345 datasheet
74
75     //Init the gyro
76     gyro.init(ITG3200_ADDR_ADO_LOW);
77     gyro.setSampleRateDiv(79); //Set the sample rate to 8000Hz
        /(79+1)=100Hz
78
79     //Calculate the gyroSampleRate
80     if (gyro.getFilterBW() == BW256_SR8)
81     {
82         gyroSampleRate = 8000 / (gyro.getSampleRateDiv()+1);
83     }
84     else
85     {
86         gyroSampleRate = 1000 / (gyro.getSampleRateDiv()+1);
87     }
```

## Swagway

```
88
89  pinMode(directionPinLeft, OUTPUT);
90  pinMode(forwardPinLeft, OUTPUT);
91  pinMode(backwardPinLeft, OUTPUT);
92  pinMode(directionPinRight, OUTPUT);
93  pinMode(forwardPinRight, OUTPUT);
94  pinMode(backwardPinRight, OUTPUT);
95  //Calibration
96  gyro.zeroCalibrate(250,2);
97
98  //Dump settings
99  dumpIMUsettings();
100 }
101
102 void loop()
103 {
104   if (acc.isRawDataReady())
105   {
106     acc.readAccRaw(&xa,&ya,&za);
107     accAngle = atan2(xa,ya)*180/3.1415; // calculalte the X-Y-
        angle
108     newAccData = true;
109   }
110
111   if (gyro.isRawDataReady())
112   {
113     gyro.readGyro(&xg,&yg,&zg);
114     gyroAngle += zg/gyroSampleRate;
115     newGyroData = true;
116   }
117
118   if (newAccData && newGyroData)
119   {
120     estAngle = kalman(accAngle, zg, micros()-sinceLastSend);
121     //      sendToGraph();
122     newAccData = newGyroData = false;
123     float pwm = pid(estAngle);
124     motorControl(pwm,pwm);
125     Serial.print(estAngle);
126     Serial.println(pwm);
127
128     sinceLastSend = micros();
129   }
130 }
131
132 double kalman(double newAngle, double newRate, double dtime)
133 {
134   // KasBot V2 - Kalman filter module - http://www.arduino.cc
135   //   /cgi-bin/yabb2/YaBB.pl?num=1284738418 - http://www.x-
136   //     firm.com/?page_id=145
137   // with slightly modifications by Kristian Lauszus
138   // See http://academic.csuohio.edu/simond/courses/eec644/
139   //   kalman.pdf and http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/
140   //   kalman_intro.pdf for more information
```



## Swagway

```

136         dt = dtime / 1000000; // Convert from microseconds to
           seconds
137
138         // Discrete Kalman filter time update equations - Time
           Update ("Predict")
139         // Update xhat - Project the state ahead
140         angle += dt * (newRate - bias);
141
142         // Update estimation error covariance - Project the error
           covariance ahead
143         P_00 += -dt * (P_10 + P_01) + Q_angle * dt;
144         P_01 += -dt * P_11;
145         P_10 += -dt * P_11;
146         P_11 += +Q_gyro * dt;
147
148         // Discrete Kalman filter measurement update equations -
           Measurement Update ("Correct")
149         // Calculate Kalman gain - Compute the Kalman gain
150         S = P_00 + R_angle;
151         K_0 = P_00 / S;
152         K_1 = P_10 / S;
153
154         // Calculate angle and resting rate - Update estimate with
           measurement zk
155         y = newAngle - angle;
156         angle += K_0 * y;
157         bias += K_1 * y;
158
159         // Calculate estimation error covariance - Update the error
           covariance
160         P_00 -= K_0 * P_00;
161         P_01 -= K_0 * P_01;
162         P_10 -= K_1 * P_00;
163         P_11 -= K_1 * P_01;
164
165         return angle;
166     }
167
168     float pid(float input)
169     {
170         float output;
171         if (input>0)
172         {
173             output = pow(input,Ex) + Kp*input;
174         }
175         else
176         {
177             output = -pow(-input,Ex) + Kp*input;
178         }
179         return constrain(output, -255, 255);
180     }
181
182     void motorControl(int left, int right)
183     {

```

## Swagway

```
184  if (left < 0)
185  {
186      digitalWrite(directionPinLeft, HIGH);
187      digitalWrite(backwardPinLeft, LOW);
188      analogWrite(forwardPinLeft, -left);
189  }
190  else
191  {
192      digitalWrite(directionPinLeft, LOW);
193      digitalWrite(forwardPinLeft, LOW);
194      analogWrite(backwardPinLeft, left);
195  }
196  if (right < 0)
197  {
198      digitalWrite(directionPinRight, HIGH);
199      digitalWrite(backwardPinRight, LOW);
200      analogWrite(forwardPinRight, -right);
201  }
202  else
203  {
204      digitalWrite(directionPinRight, LOW);
205      digitalWrite(forwardPinRight, LOW);
206      analogWrite(backwardPinRight, right);
207  }
208  }
209  /* Serial communication */
210
211  void sendToGraph()
212  {
213      Serial.print("<");
214      Serial.print(gyroAngle); //0
215      Serial.print(",");
216      Serial.print(accAngle); //1
217      Serial.print(",");
218      Serial.print(estAngle); //2
219      Serial.print(",");
220      Serial.print(micros()-sinceLastSend); //3
221      Serial.println(">");
222  }
223
224  void dumpIMUsettings()
225  {
226      Serial.println();
227      Serial.println("=====");
228      Serial.println("=====IMU Settings=====");
229      Serial.println();
230      Serial.println("          ---Gyro---          ");
231      Serial.print("Sample rate          (Hz) = ");
232      Serial.println(gyroSampleRate,0);
233      Serial.println();
234      Serial.println("          ---Acc---          ");
235      Serial.print("Sample rate          (Hz) = ");
236      Serial.println(accSampleRate,0);
237      Serial.print("Full resolution          = ");
```

## Swagway

```
238 Serial.println(acc.getFullRes());
239 Serial.print("Range                               (g) = ");
240 Serial.println(pow(2,(1+acc.getRange())),0);
241 Serial.print("Scale factor X                       (LBS/g) = ");
242 Serial.println(acc.scaleFactor[0],0);
243 Serial.print("Scale factor Y                       (LBS/g) = ");
244 Serial.println(acc.scaleFactor[1],0);
245 Serial.print("Scale factor Z                       (LBS/g) = ");
246 Serial.println(acc.scaleFactor[2],0);
247 Serial.println();
248 Serial.println("=====end IMU Settings=====");
249 Serial.println("=====");
250 Serial.println();
251 }
```

## B.2 ADXL345.h

```
1  /*****
2  /* ADXL345.h -- ADXL345/I2C library for Arduino */
3  /* */
4  /* Author: Mathias Dannesbo <neic@neic.dk> and */
5  /*          Carl-Emil Grøn Christensen */
6  /* Time-stamp: <2012-04-04 17:37:05 (neic)> */
7  /* Part of the Swagway project */
8  /* https://github.com/neic/Swagway */
9  /* */
10 /* Inspired by the ITG3200 Arduino library at */
11 /* http://code.google.com/p/itg-3200driver */
12 *****/
13
14 #ifndef ADXL345_h
15 #define ADXL345_h
16
17 #if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
18 #include "Arduino.h"
19 #else
20 #include "WProgram.h"
21 #endif
22
23 #define ADXL345_ADDR_SD0_HIGH 0x1D
24 #define ADXL345_ADDR_SD0_LOW 0x53
25
26 // Registers
27 #define BW_RATE 0x2C // RW SETUP: Output rate and low
    power mode
28 #define POWER_CTL 0x2D // RW SETUP: Power control
29 #define INT_SOURCE 0x30 // R INTERRUPT: Status
30 #define DATA_FORMAT 0x31 // RW SETUP: Self-test and data
    format
31 #define DATA_X0 0x32 // R SENSOR: Data
32
33 // Bitmaps
34 #define STANDBY_MODE 0x00 // 0000 0000
35 #define MEASURE_MODE 0x08 // 0000 1000
```

```

36
37 class ADXL345
38 {
39 public:
40     float scaleFactor[3];
41     float voltage;
42
43     ADXL345();
44
45     void init(unsigned int address);
46
47     // SETUP: Mode
48     void setStandbyMode();
49     void setMeasureMode();
50
51     // SETUP: Output Rate
52     byte getOutputRate();
53     void setOutputRate(byte _SampleRate);
54
55     // SETUP: Data format
56     bool getFullRes();
57     void setFullRes(bool fullRes);
58     int getRange();
59     void setRange(int range);
60
61     // INTERRUPT
62     bool isRawDataReady();
63
64     // SETUP: Data processing
65     void setVoltage(float _voltage);
66     void updateScaleFactor();
67
68     // SENSOR: Read
69     void readAccRaw(int *_AccX, int *_AccY, int *_AccZ);
70     void readAcc(float *_AccX, float *_AccY, float *_AccZ);
71
72     void writemem(uint8_t _addr, uint8_t _val);
73     void readmem(uint8_t _addr, uint8_t _nbytes, uint8_t __buff
74                 []);
75 private:
76     uint8_t _dev_address;
77     uint8_t _buff[6];
78 };
79
80 #endif /* ADXL345_h */

```

### B.3 ADXL345.cpp

```

1  /**
2  /* ADXL345.cpp -- ADXL345/I2C library for Arduino */
3  /*
4  /* Author: Mathias Dannesbo <neic@neic.dk> and
5  /*      Carl-Emil Grøn Christensen

```

## Swagway

```
6  /* Time-stamp: <2012-04-04 18:04:52 (neic)>      */
7  /* Part of the Swagway project                    */
8  /* https://github.com/neic/Swagway                */
9  /*                                                */
10 /* Inspired by the ITG3200 Arduino library at     */
11 /* http://code.google.com/p/itg-3200driver        */
12 /* *****/
13
14 #include "ADXL345.h"
15 #include <Wire.h>
16
17 ADXL345::ADXL345()
18 {
19 }
20
21 void ADXL345::init(unsigned int address)
22 {
23     _dev_address = address;
24     setStandbyMode();
25     setMeasureMode();
26 }
27
28
29 void ADXL345::setStandbyMode()
30 {
31     writemem(POWER_CTL, STANDBY_MODE);
32 }
33
34 void ADXL345::setMeasureMode()
35 {
36     writemem(POWER_CTL, MEASURE_MODE);
37 }
38
39 byte ADXL345::getOutputRate()
40 {
41     readmem(BW_RATE, 1, &_buff[0]);
42     return(_buff[0]);
43 }
44
45 void ADXL345::setOutputRate(byte _rate)
46 {
47     _rate %= 16; //Prevent overflow
48     writemem(BW_RATE, _rate);
49 }
50
51 bool ADXL345::getFullRes()
52 {
53     readmem(DATA_FORMAT, 1, &_buff[0]);
54     return(_buff[0] >> 3);
55 }
56
57 void ADXL345::setFullRes(bool _fullRes)
58 {
59     readmem(DATA_FORMAT, 1, &_buff[0]);
```

## Swagway

```
60     writemem(DATA_FORMAT, ((_buff[0] & ~(1 << 3)) | (_fullRes <<
        3)));
61 }
62
63 int ADXL345::getRange()
64 {
65     readmem(DATA_FORMAT, 1, &_buff[0]);
66     return(_buff[0] & B00000011);
67 }
68
69 void ADXL345::setRange(int range)
70 {
71     range %= 4; //Prevent overflow
72     readmem(DATA_FORMAT, 1, &_buff[0]);
73     writemem(DATA_FORMAT, ((_buff[0] & ~3) | range));
74 }
75
76
77 bool ADXL345::isRawDataReady()
78 {
79     readmem(INT_SOURCE, 1, &_buff[0]);
80     return(_buff[0] >> 7);
81 }
82 void ADXL345::setVoltage(float _voltage)
83 {
84     voltage = _voltage;
85     updateScaleFactor();
86 }
87
88 void ADXL345::updateScaleFactor()
89 {
90     int rangeScale=256;
91     if (!getFullRes())
92     {
93         rangeScale = pow(2,(8-getRange()));
94     }
95     scaleFactor[0] = rangeScale*0.89013671875+rangeScale
        *0.0439453125*voltage;
96     scaleFactor[1] = rangeScale*0.89013671875+rangeScale
        *0.0439453125*voltage;
97     scaleFactor[2] = rangeScale;
98 }
99
100 void ADXL345::readAccRaw(int *_AccX, int *_AccY, int *_AccZ)
101 {
102     readmem(DATA_X0, 6, &_buff[0]);
103     *_AccX = _buff[1] << 8 | _buff[0];
104     *_AccY = _buff[3] << 8 | _buff[2];
105     *_AccZ = _buff[5] << 8 | _buff[4];
106 }
107
108 void ADXL345::readAcc(float *_AccX, float *_AccY, float *_AccZ)
109 {
110     int x, y, z;
```

## Swagway

```
111     readAccRaw(&x,&y,&z);
112     *_AccX = x / scaleFactor[0];
113     *_AccY = y / scaleFactor[1];
114     *_AccZ = z / scaleFactor[2];
115 }
116
117 void ADXL345::writemem(uint8_t _addr, uint8_t _val) {
118     Wire.beginTransaction(_dev_address); // start transmission
119         to device
119     Wire.write(_addr); // send register address
120     Wire.write(_val); // send value to write
121     Wire.endTransmission(); // end transmission
122 }
123
124 void ADXL345::readmem(uint8_t _addr, uint8_t _nbytes, uint8_t
125     __buff[]) {
126     Wire.beginTransaction(_dev_address); // start transmission
127         to device
126     Wire.write(_addr); // sends register address to read from
127     Wire.endTransmission(); // end transmission
128
129     Wire.beginTransaction(_dev_address); // start transmission
130         to device
129     Wire.requestFrom(_dev_address, _nbytes); // send data n-bytes
131         read
131     uint8_t i = 0;
132     while (Wire.available()) {
133         __buff[i] = Wire.read(); // receive DATA
134         i++;
135     }
136     Wire.endTransmission(); // end transmission
137 }
```

## C Status log

### C.1 13. marts

Mainbord er fungerende. v2.0 af motorboardet er næsten færdig.

Kredsløbet uden om printne er næsten færdig.

Vi kan læse data fra IMUen og vi har et halvt implementert kalman-filter.

Efter kalmanfilteret fungere skal der implementeres PID med wrapper kode.