

# Swagway

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

10. 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 . . . . .	8
<b>3 Control</b>	<b>8</b>
3.1 Filter . . . . .	8
3.2 Regulering . . . . .	8
<b>4 Output</b>	<b>9</b>
4.1 H-broens virkemåde . . . . .	9
4.2 PWM . . . . .	9
4.3 Overvejelser . . . . .	10
4.4 Motorcontroller . . . . .	10
<b>5 Auxiliary</b>	<b>14</b>
5.1 Mainboard . . . . .	14
<b>6 Mekanik</b>	<b>16</b>
<b>7 Konklusion</b>	<b>16</b>
<b>8 Perspektivering</b>	<b>16</b>
<b>Tabeller</b>	<b>17</b>
<b>Figurer</b>	<b>17</b>
<b>Litteratur</b>	<b>17</b>
<b>A Arbejdsdeling</b>	<b>18</b>
A.1 Udvikling . . . . .	18
A.2 Praktisk . . . . .	18
A.3 Skriftligt . . . . .	18
<b>B Kildekode</b>	<b>18</b>
B.1 swagway.ino . . . . .	18
B.2 ADXL345.h . . . . .	23
B.3 ADXL345.cpp . . . . .	24
<b>C Status log</b>	<b>27</b>
C.1 13. marts . . . . .	27

## 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.

Formålet med projektet er at bygge en motoriseret selvbalancrende 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 håndtaget 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.

## 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.

To sensorer, drift.

#### Sensor hardware

Pull-up, Bus capasistance, level shifter,

Gyroskoper og accelerometere har indtaget forbrugerens produkter, og kortlægger allerede nu deres bevægelser. De faldende priser og faldene energiforbrug har

## Swagway

gjort, at gyroskoper og accelerometere er langt mere tilgængelige for alle. Mobiltelefoner, 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, kompas sensorer, kameraer og GPS modtagere. Bevægelses behandling foretages oftest med en kombination af to sensorer, for at få optimal præcision. I dette projekt har vi arbejdet med gyroskoper og accelerometere, som vi også kender fra vores smart phones. Swagway-en 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. En normal

. Hvis denne vinkelhastighed integreres over tid finder man vinklen gyroskopet har flyttet sig. Problemet med at integrere gyroskopdata er, at pga. måleusikkerheder vil det målte nulpunkt drive væk fra det fysiske nulpunkt.

Gyroskopet er et ITG 3200. Det er et mikroelektromekanisk system, også kaldet MEMS. Det betyder, at det både er en mekanisk og elektrisk funktion i et system.

### 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, bremses eller kører 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 ved en ændring i kapacitansen,  $c$ , som skyldes en ændring i massens,  $m$ , position. Kapasitansen fører til en ændring i spændingen, som herefter digitaliseres kan derefter benyttes af en mikro-kontroller som Arduinoen. Dette gøres for de tre akser  $x$ ,  $y$  og  $z$ , og accelerationen kan nu måles i alle retninger.

### Sensor software

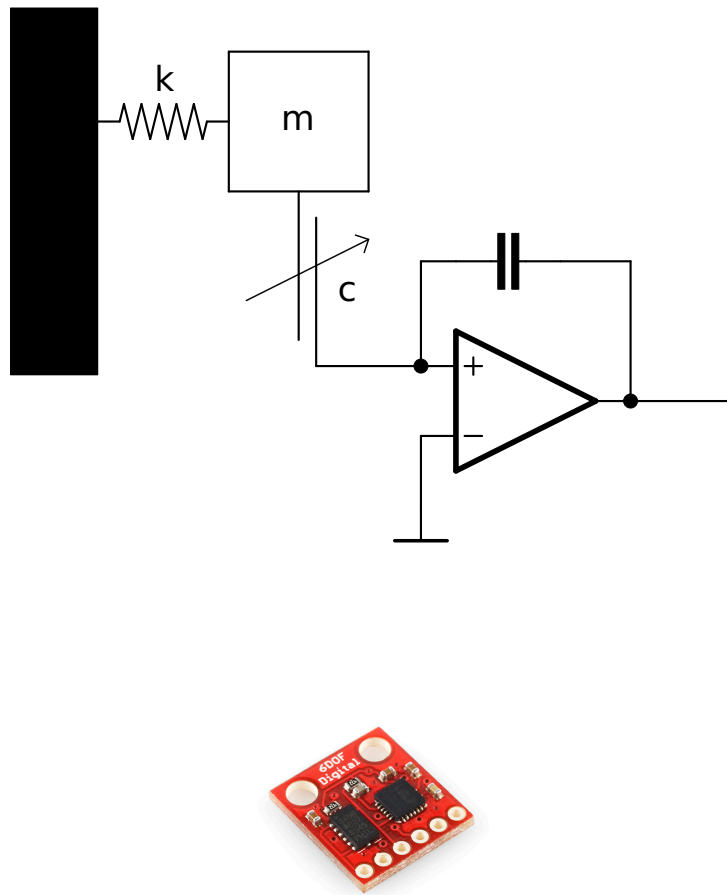
I<sup>2</sup>C, wire.h, libraries

Kommunikation med IMUen sker over en I<sup>2</sup>C-bus. På bussen er der normalt en master<sup>2</sup> og en eller flere slaves. I Swagwayen er Arduinoen master og accelerometeret 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 ned efter behov. De eksterne pull-up modstande trækker linjerne op igen. Se figur 2.

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

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

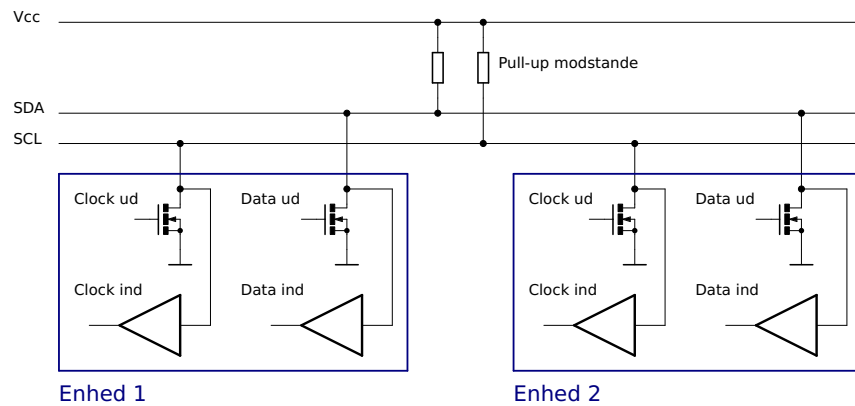
## Swagway



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

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 beholdes høj.

## Swagway



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

## 2.2 Styring

Mål: En længerevarende og holdbar løsning til at styre Swagwayens retning. Potentiometer, gaffelsensor, strain-gate

## 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

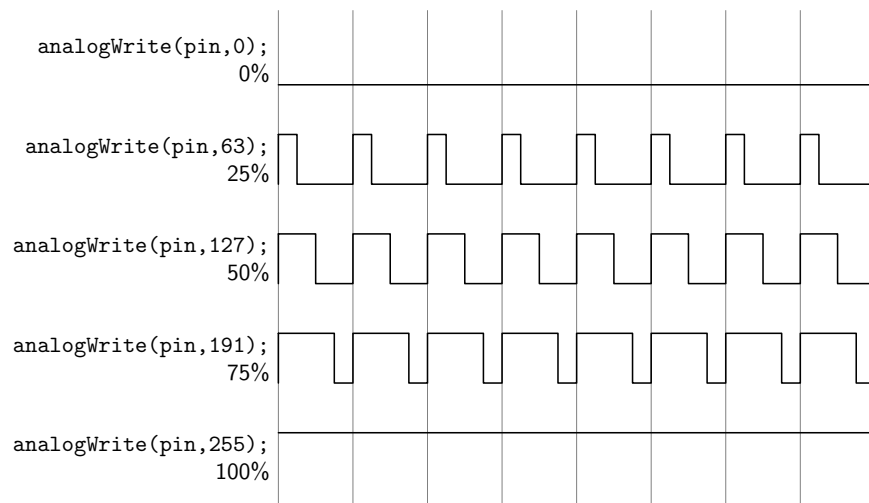
H-bro teori

### 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** 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. Dette blev rettet i v2.0.

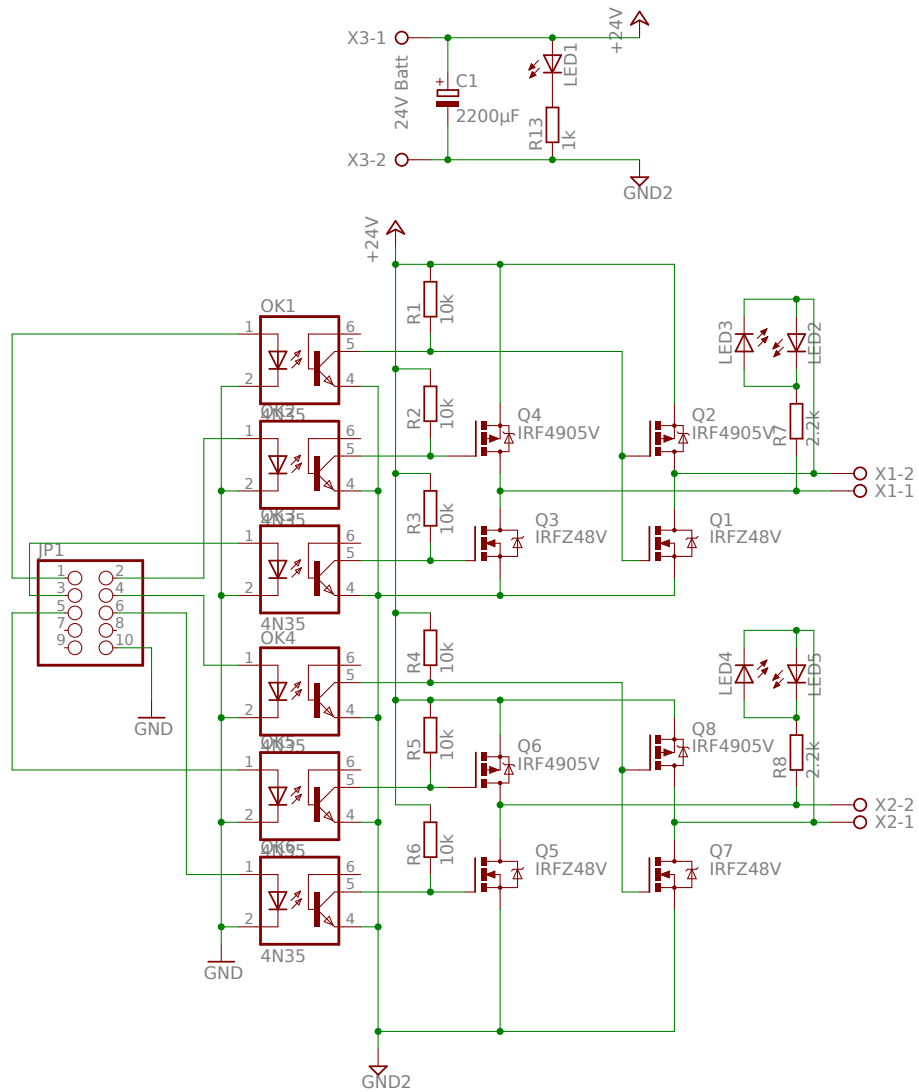
FiXme: Indsæt diagram over Motorcontroller v1.0  
FiXme: Indsæt figur over Motorcontroller v1.0

#### Motorcontroller v2.0

**8. marts 2012** 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

# Swagway



Figur 4: Diagram over Motorcontroller v2.1

## Motorcontroller v2.1

8 marts 2012

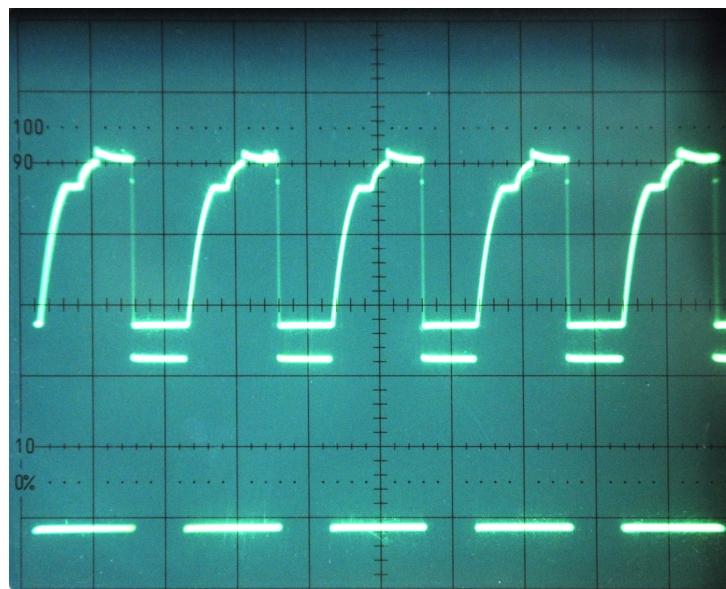
Boardet fungerede umiddelbart. Motoren kunne køre i begge retninger og farten kunne styres med PWM. Dog startede motoren på ca. 30% fart uintentionelt i den ene retning. Ved at måle på PWM signalet fra mainboardet og signalet til motoren via et oscilloskop, kunne problemet indskrænkes til at være på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

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: ref til fig:mosch2.1

FiXme: Indsæt diagram over forsøg med optocoupler og HEXFET



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

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-

## Swagway

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. Se figur

FiXme: ref:  
dia:v3.0

### Motorcontroller v3.0

27. marts 2012 Efter at der blev tilføjet en inverter på to af gatesne til P-kanal HEXFETerne er denne 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)

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

### Motorcontroller v4.0

12. april 2012 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

### Motorcontroller v4.1

13. april 2012 Der var en ledning der ikke var routed og der var noget mindre re-routing.

### Motorcontroller v4.2

17. april 2012 Dette board blev aldrig lavet færdigt. For-modstandene til optocouplerne blev flyttet fra mainboardet til motorcontrolleren.

### Motorcontroller v5.0

24. april 2012 Dette board blev aldrig lavet færdigt. Der blev tilføjet LEDer til optocouplerne, så man kan se, hvornår de er tændt, og for at lette debugging.

### Motorcontroller v5.1

24. april 2012 Dette board blev aldrig lavet færdigt. Nogle pins blev flyttet rundt i fladkablet for at lette logikken.

### Motorcontroller v5.2

24. april 2012

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.

FiXme: Board  
brænder af  
FiXme: ref til  
fig:mosch5.2

The diagram shows a 4-channel relay module circuit. At the top, a 24V battery (X3-1) is connected to a +24V rail. A 2200µF capacitor (C1) is connected between the +24V rail and ground (GND2). A 1k resistor (R13) is connected between the +24V rail and the anode of LED1. LED1 is connected to ground (GND2). The module consists of two relays, each with a coil and two contacts. The first relay has a coil (Q1, IRFZ48V) and two contacts (X1-2, X1-1). The second relay has a coil (Q2, IRFZ48V) and two contacts (X2-2, X2-1). The circuit is powered by a 24V battery (X3-1) and ground (GND2). The power supply section includes a 2200µF capacitor (C1) and a 1k resistor (R13). The control section includes two BC547 transistors (T1, T2) and two IRF4905V MOSFETs (Q4, Q8). The output section includes two IRFZ48V MOSFETs (Q1, Q2) and two LEDs (LED3, LED4). The module has four input channels (X1-1, X1-2, X2-1, X2-2) and two output channels (X1-2, X2-2).

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 dioder til at tage strømmen.

24. april 2012

## 5.1 Mainboard

24 jan 2012 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 Arduinoen, da shieldet dækkede over knappen.<sup>#2</sup> 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>

## Swagway

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.

### Mainboard v2.0

1 marts 2012 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, hvilket blev rettet i den nyeste version.<sup>#13</sup>

### Mainboard v3.0

26 marts 2012 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>

### Mainboard v3.1

29 marts 2012 For-modstandene til optocouplerne på mainboardet blev flyttet til motorboardet, for at samle komponenterne på en smartere måde.<sup>#37</sup> Derudover blev pinheaderen til IMUen lavet om fra 2×7 til 2×5, da dette var tilstrækkeligt og mere minimalistisk.

### Mainboard v4.0

24 april 2012 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

## Swagway

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

Opmytningen 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. Encode



## Tabeller

1	Motorcontroller v5.2 sandhedstabel . . . . .	10
2	Pin forbindelser på Arduino . . . . .	15

## Figurer

1	IMU breakoutboard fra Sparkfun . . . . .	7
2	Eksempel på I <sup>2</sup> C-netværk . . . . .	8
3	Eksempel på PWM med varierende dutycycle . . . . .	9
4	Diagram over Motorcontroller v2.1 . . . . .	11
5	Oscilloskop billede af stigetid på en P-kanal HEXFET gate . . . . .	12
6	Diagram over Motorcontroller v5.2 . . . . .	14

## Litteratur

- [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; // calcutalte 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
    __buff[]) {
125     Wire.beginTransaction(_dev_address); // start transmission
126         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
130     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.