



KU Leuven

Departement Computerwetenschappen

# P&O: COMPUTERWETENSCHAPPEN

## Eindverslag

*Team:*  
**Indigo**

WANDER BAVIN  
VINCE GOOSSENS  
DIMITRI JONCKERS  
SUNIL TANDAN  
WOUT VEKEMANS

Academiejaar 2013 – 2014

## Samenvatting

Dit rapport documenteert onze analyse en oplossing van het volgende probleem : de constructie en operatie van een zeppelin in wedstrijdverband. De zeppelin maakt gebruik van een gekend grondplan in roostervorm voor navigatie. De positie van de zeppelin wordt bepaald door een algoritme gebaseerd op beeldherkenning. Via het rooster moet hij sneller dan een andere zeppelin naar een bepaalde positie vliegen, en een andere, nog onbekende opdracht uitvoeren. Beide zeppelins dienen met een RabbitMQ-server te communiceren om informatie uit te wisselen met hun sturende laptop, en met elkaar. Een GUI dient de toestand van het speelveld met beide zeppelins te visualiseren. Al deze functionaliteiten worden geïmplementeerd in Java. Op dit moment staan alle delen van de software nog in de steigers, maar werkende functies zijn niet veraf.

Deze opdrachten, die via QR-codes worden meegegeven, moeten autonoom door de zeppelin worden uitgevoerd. Het uiteindelijke doel is om zo een traject af te leggen dat door de commando's wordt bepaald. Hiervoor hebben we Java-software ontwikkeld die op de Pi draait. Deze regelt de motoren en verwerkt de commando's. Ook kan de gebruiker via een GUI op de client-pc kiezen voor manuele of automatische besturing en de status van de zeppelin bekijken. Via een PID-regelaar controleren we op elk moment de hoogte van de zeppelin. Voor horizontale bewegingen maken we gebruik van gegevens voor enkele afstanden door deze te combineren om de gevraagde afstand af te leggen. Dit is echter nog niet volledig geïmplementeerd door veel problemen met de invloed van de wind. Wel kan de zeppelin uit foto's van QR-codes zijn fout in hoek en afstand bepalen, zodat aan de hand hiervan kan worden bijgestuurd.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Beschrijving materiaal en bouw zeppelin</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Testen</b>	<b>4</b>
3.1	Afstandssensor . . . . .	4
3.2	Camera en QR-code parser . . . . .	5
3.3	Motoren . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Algoritmes</b>	<b>7</b>
4.1	Bewegingen . . . . .	7
4.2	Verticale bewegingen . . . . .	7
4.3	Horizontale bewegingen . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Software</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>GUI</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Besluit</b>	<b>11</b>
<b>A</b>	<b>Beschrijving van het proces</b>	<b>12</b>
<b>B</b>	<b>Beschrijving van de werkverdeling</b>	<b>13</b>
<b>C</b>	<b>Kritische analyse</b>	<b>14</b>

# 1 Inleiding

Het doel van deze opdracht is een autonome zeppelin te ontwikkelen. De zeppelin wordt aangestuurd door een Raspberry Pi. Via QR-codes kunnen instructies gegeven worden, zoals “stijg 50 cm” of “draai 45 graden”. De gebruiker kan via een GUI op een client-pc zelf de pijltjestoetsen gebruiken om de zeppelin aan te sturen of gegevens bekijken over de toestand van de zeppelin (bijvoorbeeld de huidige hoogte).

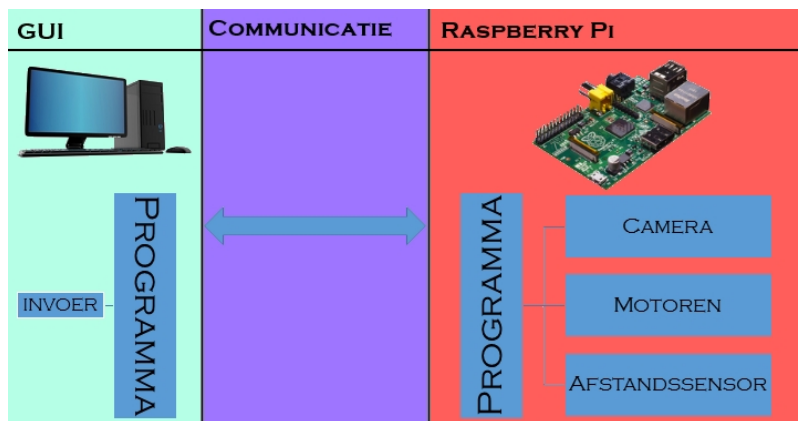
## Fysisch ontwerp

De zeppelin bestaat uit een houten frame waaraan 2 heliumballonnen ( $\varnothing 90$  cm) vastgemaakt zijn. Aan het frame zijn een camera en een afstandssensor vastgemaakt, die beiden naar beneden gericht zijn. Zowel de camera als de afstandssensor zijn verbonden met de Raspberry Pi die in het frame zit ingebed. Het geheel bevat drie propellers: twee voor horizontale bewegingen en één voor verticale bewegingen.

## Software ontwerp

Het grootste deel van de opdracht is het schrijven van de software in een taal naar keuze. Wij hebben gekozen voor Java. De software bestaat uit 3 grote delen: de GUI, de communicatie tussen GUI en Raspberry Pi en de interne programmatie op de Pi (Zie figuur 1).

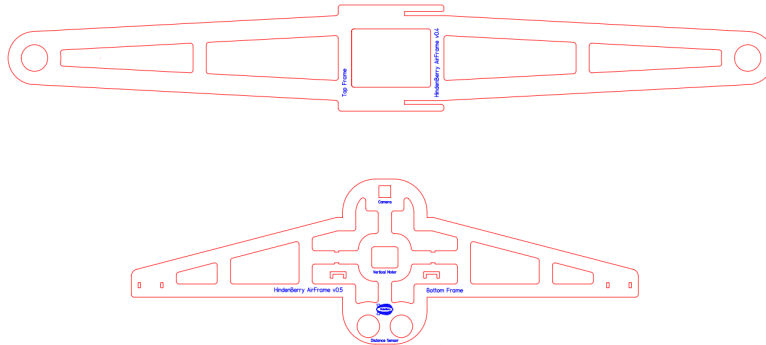
De communicatie tussen GUI en de Raspberry Pi gebeurt via sockets. Hierbij worden objecten uitgewisseld tussen de client en de server (de Pi), die commando's doorgeven aan de zeppelin of de status doorgeven aan de gebruiker. De interne programmatie op de Pi moet op basis van gegevens van zijn sensoren en instructies van QR-codes (en commando's van de gebruiker) de motoren aansturen.



Figuur 1: Architectuur

## 2 Beschrijving materiaal en bouw zeppelin

De zeppelin bestaat uit een frame waaraan alle onderdelen zijn vastgemaakt. Hierop worden onder andere 3 propellers bevestigd. Twee hiervan dienen om naar links en rechts te draaien. Om vooruit te bewegen worden deze samen geactiveerd met dezelfde kracht. Deze propellers bevinden zich aan de uiteindes van de vleugels. De derde propeller, om de zeppelin te laten stijgen, is naar beneden gericht. De propellers kunnen op volle kracht of door middel van pwm<sup>1</sup> worden aangestuurd (in 2 richtingen). Met deze techniek is het mogelijk om naast de richting ook de kracht van de motor in te stellen.



Figuur 2: Blueprint van het frame

Om het geheel in de lucht te houden, zitten er 2 heliumballonnen ( $\varnothing 90$  cm) vast aan de bovenkant van het frame. Deze hebben initieel een lift van 268 gr per stuk, maar dit vermindert wanneer de ballonnen doorheen de weken volume verliezen.

De zeppelin wordt aangestuurd door een Raspberry Pi model A. Deze heeft volgende specificaties:

- *Processor:* 700MHz ARM
- *Geheugen:* 256MB
- *Poorten:* 1 USB 2.0, HDMI, audio out, RCA video
- *Voeding:* Micro USB
- GPIO-pinnen om de hardware aan te sturen

In de Raspberry Pi zit een SD-kaart van 4 GB. Hierop staat Raspbian, het standaard besturings-systeem van de Raspberry Pi.

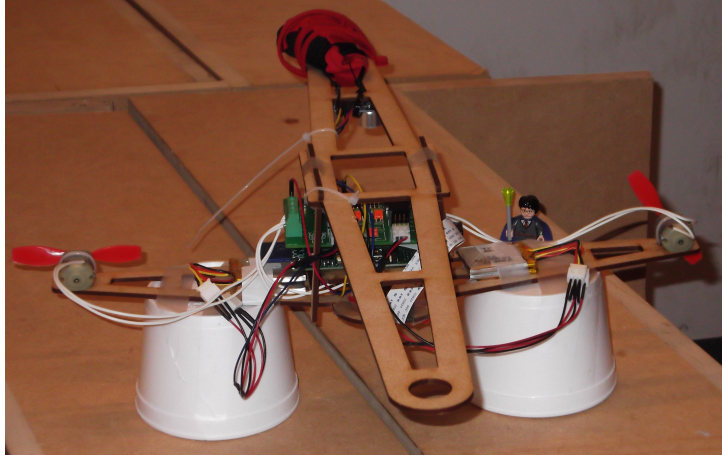
Verder zijn er nog 2 devices waarvan de zeppelin gebruik maakt:

- *De camera* laat toe foto's te nemen met een maximum resolutie van 5 MP. Hiermee kunnen we onder andere beelden maken van QR-codes. Daarnaast kan de camera video's maken met resoluties tot 1080p.
- *De afstandssensor* kan worden gebruikt om met ultrasone trillingen de afstand te meten tussen de zeppelin en de grond of muur. Het bereik gaat van 2-400 cm.

Om het geheel te monteren, hebben we gebruik gemaakt van plakband en zipties (bundelbandjes). We hebben bekertjes bevestigd om ballast te dragen, zodat het geheel lichtjes zakt wanneer de motor geen kracht naar boven zet. Als gewicht gebruiken we zout, zodat het mogelijk is om nauwkeurig het gewicht te regelen.

---

<sup>1</sup>[en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)



Figuur 3: Frame met gemonteerde onderdelen

### 3 Testen

Om er zeker van te kunnen zijn dat het aansturen van de zepplin correct gebeurt, is het nodig dat de componenten getest worden. In deze sectie volgt hierover meer informatie.

#### 3.1 Afstandssensor

In dit deel gaan we dieper in op de testen die we gedaan hebben naar de nauwkeurigheid en snelheid van de afstandssensor.

##### Opstelling

Benodigdheden:

- RaspberryPi met afstandssensor
- houten scherm
- meetlat

Deze componenten worden in deze opstelling geplaatst : zie figuur ??

##### Verloop

De test bestaat uit het meten van 11 verschillende afstanden (10, 20, 30, 60, 90, 100, 110, 120, 130, 140 en 150 cm). Deze zijn zo gekozen om informatie te hebben over voldoende punten binnen het vlieghoogtebereik. Deze afstanden worden elk 500 keer gemeten, om de 60 ms. Deze waarden zijn zo gekozen, om toch voldoende nauwkeurigheid te hebben, veronderstellende dat er uitschieters zouden zijn.

##### Gegevens en verwerking

We hebben d.m.v. rolling median de mediaan berekend van 10 en 20 opeenvolgende gegevens, uit de set van 500 waardes per hoogte. Minder dan 10 is niet nauwkeurig genoeg en voor meer dan 20 samples is de registratietijd te hoog. Uit deze gegevens hebben we om een aantal redenen besloten om een window van 10 samples te nemen. Ten eerste is er de nauwkeurigheid als de zepplin stijgt/daalt. Het hoogteverschil tussen sample 1 en 10 is immers kleiner dan dat tussen 1 en 20. Ten tweede is er de snelheid. Het spreekt voor zich dat het registreren van 10 samples minder lang duurt dan 20 samples. Tenslotte is er ook het minieme verschil tussen de gemiddelde mediaan bij 10 en 20 metingen. Minder metingen zorgen dus voor een quasi-gelijke nauwkeurigheid.

Een nadeel is wel dat de standaardafwijking van de medianen bij een breedte van 10 samples gemiddeld 0.2 cm groter is dan bij 20 samples. Dit weegt echter niet op tegen de winst aan snelheid

Afstand	10	20	30	60	90	100	110	120	130	140	150
$\mu$ (med.) (10)	10.8	20.5	30.8	58.0	88.3	98.7	108.5	117.3	127.74	137.0	147.10
$\mu$ (med.) (20)	10.8	20.7	30.7	58.0	88.3	98.7	108.5	117.3	127.7	137.0	147.1
$\sigma$ (med.) (10)	0.21	0.52	0.82	0.55	0.70	0.72	0.68	0.94	0.58	0.60	0.69
$\sigma$ (med.) (20)	0.09	0.33	0.71	0.41	0.59	0.56	0.47	0.54	0.43	0.37	0.49

Tabel 1: Gemiddelde en standaardafwijking van de rolling medians van 10 en 20, uit 500 meetwaarden

en nauwkeurigheid.

Voor de meetgegevens: zie Tabel 1.

Het uitvoeren van de testen nam per afstand gemiddeld 32 seconden in beslag. Omdat dit tijdens het opereren van de zeppelin veel te lang is, hebben we besloten om de tijd tussen de metingen te verkorten. Zo kunnen de metingen sneller gebeuren. Hiervoor hebben we een extra test uitgevoerd op een hoogte van 170cm en 200cm (kleiner interval zou voor interferentie kunnen zorgen op grote afstanden). Het blijkt dat we het interval tussen metingen kunnen terugbrengen naar 20 ms. Bij lagere waardes gaan de signalen door elkaar lopen en dit kan de meting verstoren.

### Conclusie

De afstandsmeter meet het meest nauwkeurig bij kleine afstanden, bij grotere afstanden (meer dan 60 cm) liggen de meetresultaten gemiddeld iets onder de werkelijke afstand. Relatief gezien blijft de fout nog klein en kunnen we deze afwijking in het vervolg incalculeren bij het bepalen van de meetwaarden. De afstandssensor geeft telkens de mediaan van 10 gegevens door volgens het principe van de 'rolling median'-techniek. Tien gegevens zorgen voor voldoende nauwkeurigheid, maar hebben ook het aspect dat de mediaanberekeningen snel genoeg gebeuren. Tevens is dit bij een hoogteverandering accurater. Deze methode boet wel in op de standaardafwijking. De gegevens wijken dus meer uit, maar dit weegt niet op tegen de voorgenoemde pluspunten. Om de afstandsregistratie nog sneller te laten verlopen, meet de afstandsmeter om de 20 ms.

## 3.2 Camera en QR-code parser

De camera moet in staat zijn om foto's te nemen en de QR-code te herkennen. De focus bij het testen lag op resolutie, responstijd van de camera, positie van de QR-code op de foto en invalshoek.

We hebben testen uitgevoerd waarin de QR-code lichtjes gedraaid was (invalshoek). Dit hebben we uitgevoerd tot hoeken van 20 graden, en er was geen probleem om ze te lezen.

Daarna hebben gezocht naar een geschikte resolutie waarbij de QR-code gelezen kan worden. Voor een afstand van 2 meter is een resolutie van 600 x 800 pixels nodig. Bij afstanden kleiner dan of gelijk aan 1.20 m kunnen we dit verlagen tot 400 x 600 pixels.

De responstijd (tijd tot herkennen QR-code) is getest door in verschillende omstandigheden een code te fotograferen. Een simpel printcommando in Java vertelt ons hoe lang het nemen van de foto en het verwerken duurt. Hiervoor wordt de interne klok van de computer gebruikt. Om een globaal beeld te krijgen van de responstijd wordt een gemiddelde berekend van deze gegevens. Een hogere resolutie zorgt voor een langere verwerkingstijd. Bij een resolutie van 600 x 800 duurt het lezen gemiddeld 6 seconden, met een maximum van 8 seconden. Bij een resolutie van 400 x 600 duurt het lezen gemiddeld 3.5 seconden.

De positie van de QR-code blijkt geen problemen op te leveren voor het lezen van de QR-code. Hiervoor hebben we de QR-code op verschillende plaatsen (weg van het midden) binnen het beeld gezet.

Het is wel duidelijk geworden dat meerdere QR-codes binnen een beeld (soms) een probleem opleveren. Wanneer ze dichter dan 10 cm bij elkaar staan, slaagt de parser er niet meer in ze te interpreteren. Indien dit zich voordoet, zullen we moeten zakken, een nieuwe foto nemen en terug naar de oorspronkelijke hoogte gaan.

### **Conclusie**

We kunnen stellen dat de camera en QR-parser in de meeste gevallen geen problemen opleveren. De resolutie passen we aan op basis van de hoogte: bij hoogtes lager dan 1.20 m nemen we 400 x 600, anders nemen we 600 x 800.

## **3.3 Motoren**

Eerste experimenten focusten op de kracht van de motoren en op het aan de praat krijgen van de pwm. De documentatie van onze library voor het aansturen van de pinnen was hierover niet heel duidelijk, maar we hebben gemerkt dat we pwm-waardes tussen 0 en 1024 kunnen opgeven. Een minimale pwm-waarde van ongeveer 740 is nodig om de propeller in beweging te krijgen.

Vervolgens zijn we begonnen met het testen voor verticale bewegingen (up-motor). Dit was nodig om de hoogte te regelen, hetgeen voor de eerste demonstratie in orde moest zijn. De horizontale bewegingen volgden later.

In wat volgt beschrijven we testen van de motoren zelf en gedeeltelijk van de algoritmes voor bewegingen, omdat dit hier sterk aan is gelinkt. In de volgende sectie is meer informatie te vinden over de uiteindelijke algoritmes.

### **Verticale bewegingen**

We gaan allereerst op zoek naar de juiste pwm-waarde waarbij de zeppelin op dezelfde hoogte blijft zweven ('zweef-pwm'). Dit gebeurt wanneer de stuwkracht gelijk is aan de gravitatiekracht. Dit is meestal bij een waarde tussen 800 en 850, maar is afhankelijk van de lift (dus het volume) van de ballonnen en het gewicht. Deze waarde speelde een belangrijke rol in de eerste versies van ons hoogte-algoritme (zie verder).

In de eerste versies van ons hoogte-algoritme schakelden we bij het bereiken van de gevraagde hoogte, over op zweef-pwm. We hebben gemerkt dat gewoon overschakelen naar zweef-pwm, altijd een invloed heeft op de verdere verticale beweging die de zeppelin maakt. Zweef-pwm zorgt er niet voor dat de zeppelin stil blijft hangen. De zeppelin zal nog steeds een lichte stuwing hebben in de richting waar hij naartoe ging.

Conclusie hieruit is dat we constant de hoogte gaan moeten controleren, om zo nauwkeuriger te werken en niet afhankelijk te zijn van de juistheid van de zweef-pwm waarde.

Een probleem dat verticale bewegingen met zich meebrengen, is dat er soms een horizontale afwijking optreedt.

### **Horizontale bewegingen**

Voor voorwaartse en achterwaartse bewegingen, gebruiken we de linker- en rechtermotor tegelijkertijd. Door de zeppelin simpelweg via de GUI aan te sturen en vooruit te laten vliegen, merken we dat de zeppelin niet mooi in een rechte lijn vliegt. De rechtse motor blijkt krachtiger te zijn dan de linkermotor. We hebben op verschillende manieren geprobeerd dit op te lossen (bijvoorbeeld de volgorde waarin we ze activeren vanuit de code, alhoewel dit maar een fractie van een seconde verschil maakt), maar dit bleek niet mogelijk. Wel hebben we gemerkt dat onze oorspronkelijke 'achteruit' betrouwbaarder was dan 'vooruit', zodat we de richting hebben omgewisseld.

Voor zijwaartse bewegingen zien we ook een probleem: de zeppelin draait nooit mooi boven één plaats, maar maakt een soort spiraalbeweging. Dit was al te verwachten omwille van het verschil

in kracht van de 2 motoren, waardoor de hoeveelheid wind die ze aanzuigen verschillend is.

In het algemeen is de zeppelin zeer gevoelig voor allerlei veranderingen van de windomstandigheden in de omgeving: een andere zeppelin die beweegt, de airco, ... Dit is te verklaren door het lichte gewicht, de oppervlakte van de ballonnen en de afstand van de ballonnen tot het massacentrum.

Voor het uitvoeren van voorwaartse bewegingen laten we de zeppelin bewegen boven een lintmeter. Het eerste plan was om een functie te vinden die een link legt tussen afstand en tijd dat de motoren moeten draaien. We zouden dan rekening moeten houden met de versnelling (te bepalen uit een aantal metingen) die de motoren geven indien ze op volle kracht draaien. Eventueel zou de opstartfase (tijd en afstand vooraleer de motor op volle kracht draait) apart moeten worden gemodelleerd. Het grote probleem hierbij is het modelleren van het uitbollen of tegensturen.

Er was een gelijkaardig plan om zijwaartse bewegingen te modelleren, waarbij we draaien boven een roos (cirkel waarop de graden staan aangeduid) en de gedraaide afstand aflezen uit een foto van de camera. Doordat de zeppelin niet mooi boven één punt draait is dit echter zeer moeilijk. We hebben de zijwaartse bewegingen echter nog niet even uitgebreid getest, om eerst te kunnen focussen op de voorwaartse bewegingen.

## 4 Algoritmes

### 4.1 Bewegingen

Voor het tweede deel was er een geheel nieuw bewegingsalgoritme nodig. Er moet gebruik gemaakt worden van de camera-input om de positie bij te sturen. Aan de hand van de figuren op de vloer kan er genavigeerd worden.

BLABLABLABLABLABLABLA HIER KOMT HET NIEUWE BEWEGINGSALGORITME

### 4.2 Verticale bewegingen

Om naar een bepaalde hoogte te stijgen, maken we gebruik van een PID-algoritme<sup>2</sup>. Hierbij gaan we op basis van de huidige fout in hoogte, bepalen of de zeppelin moet stijgen of dalen en met welke kracht. Daarnaast wordt rekening gehouden met de afgeleide, om toekomstige veranderingen te voorspellen. Tenslotte is er de integraal, die fouten uit het verleden voorstelt. Op basis hiervan wordt een pwm-waarde voor de motor gegeven. Het algoritme wordt aangepast aan het gewicht van onze zeppelin en de kracht van de gegeven motoren.

De output wordt berekend op basis van deze formule:

$$\text{output} = K_p \cdot \text{error} + K_i \cdot \text{integral} + K_d \cdot \text{derivative}$$

Hierin zijn  $K_p$ ,  $K_i$  en  $K_d$  constanten die we hebben moeten bepalen. Eerst hadden we enkel rekening gehouden met de huidige error ( $K_i = K_d = 0$ ), maar dit bleek er voor te zorgen dat de zeppelin veel te snel naar een bepaalde hoogte gaat en er dan ver boven of onder gaat. We hebben dit opgelost door  $K_d$  te verhogen. Door deze groot te maken, gaat de zeppelin veel rustiger naar de opgegeven hoogte en gaat hij er niet voorbij.

Er is een HeightController die dit algoritme implementeert, en die er voor gaat zorgen dat de zeppelin zijn hoogte behoudt of naar een gevraagde hoogte gaat.

### 4.3 Horizontale bewegingen

Voor voorwaartse/achterwaartse en zijwaartse bewegingen kunnen we geen gebruik maken van data van een sensor. Zoals reeds vermeld bij het gedeelte over de testen, was het oorspronkelijke plan om gebruik te maken van een functie om een verband te krijgen tussen afstand en tijd dat

---

<sup>2</sup>[http://www.csimn.com/CSI\\_pages/PIDforDummies.html](http://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html)



een motor moet aanstaan.

Gedeeltelijk uit tijdsgebrek zijn we overgeschakeld op een naïeve aanpak, waarbij we een aantal bewegingen (zoals 10 cm, 25 cm, 100 cm) modelleren en deze oproepen voor een willekeurige afstand. Deze bewegingen worden volledig uitgevoerd, zodat de zeppelin na elke deelbeweging terug stil staat en het tegendraaien gemakkelijker is. Zo is er dus minder invloed van de gevoeligheid van de zeppelin. Op dit moment zijn we nog bezig exacte data te verzamelen voor een aantal afstanden. Voor zijwaartse bewegingen doen we iets gelijkaardig, maar hiervoor hebben we nog niet veel data verzameld.

Wel was het duidelijk dat het exact uitvoeren bijna onmogelijk gaat zijn, dus hebben we een mechanisme bedacht om de fouten bij te sturen. Ten eerste kunnen we uit afbeeldingen van de camera waarop een QR-code te zien is, bepalen onder welke hoek de zeppelin gedraaid staat ten opzichte van de code. Zo kunnen we aan de hand van feedback van de camera, de hoek van de zeppelin bijsturen. Verder kunnen we de afstand tot een QR-code bepalen. Dit is iets moeilijker omdat we een link moeten leggen tussen het aantal pixels en de afstand in cm. Dit is afhankelijk van de hoogte door middel van een lineaire functie (bepaald door een aantal tests uit te voeren boven een meetlint vanaf verschillende hoogtes):

```
resolutie 600 x 800: 0.13 cm per pixel per cm hoogte x hoogte  
resolutie 400 x 600: 0.17 cm per pixel per cm hoogte x hoogte
```

## 5 Software

Voor het schrijven van de software was er keuze tussen Python en Java. Wij hebben gekozen voor Java, omdat alle groepsleden daar al meer ervaring mee hadden. Een klein nadeel is wel dat er minder Java-voorbeeldcode te vinden is voor de Raspberry Pi. Het leren van een extra taal zou waarschijnlijk wel meer tijd in beslag nemen dan het opzoeken van Java-functionaliteit voor een Raspberry Pi. Uiteindelijk hebben we de nodige Java-voorbeelden wel gevonden. De meeste van deze functionaliteit komt uit de Pi4J-library<sup>3</sup>.

Om de software te schrijven, maken we gebruik van de IDE's Netbeans en Eclipse. Netbeans is door zijn visuele interface veel gebruiksvriendelijker om een GUI te ontwerpen. Hierdoor moeten we geen tijd besteden aan het handmatig schrijven van alle code voor de lay-out.

Op een client-pc kan de GUI worden gestart. Deze geeft de gebruiker informatie over de toestand van de zeppelin en laat toe om commando's te geven met de pijltjestoetsen. Meer informatie hierover is terug te vinden in de volgende sectie.

De communicatie tussen de GUI (client) en de Raspberry Pi (server) gebeurt via sockets. Dit is een eenvoudige en universele manier om data over een netwerk te verzenden. Het is te vergelijken met een deur waarlangs objecten van klassen uitgewisseld worden. Deze stellen bijvoorbeeld commando's van de gebruiker voor of de status van de zeppelin die aan de GUI wordt doorgegeven. Concreet opent de server een socket op poort 6789 (de eerste 1024 poorten zijn gereserveerd voor services zoals http en ftp, we hebben een willekeurige andere poort gekozen), waarop de client zal verbinden. We hebben zelf een klasse geïmplementeerd die Transfers voorstelt die worden doorgestuurd. De coördinatie van de uitwisseling gebeurt via klassen voor communicatie op zowel client als server. Andere klassen maken hiervan gebruik om Transfers aan te maken met een bepaalde functie (bijvoorbeeld doorsturen van de status van een propeller) en deze te versturen.

Onze keuze voor sockets was gemaakt nadat we in de eerste sessie zonder veel moeite al een chat-programma konden opzetten tussen client en server. Naarmate de hoeveelheid Transfers sterk verhoogde, bleek dat de sockets problemen ervoeren met ongesynchroniseerde toegang. We hebben dit eerst proberen op te lossen door meerdere sockets te gebruiken. Later hebben we een meer

---

<sup>3</sup>[www.pi4j.com](http://www.pi4j.com)

elegante oplossing gevonden waarbij we gegevensstructuren gebruiken om het gelijktijdig sturen van Transfers te vermijden. Dit is dan nog veranderd door met synchronisatie van threads te werken, omdat de toegang tot de gegevensstructuren in bepaalde gevallen nog problemen gaf.

Voor de communicatie maken we gebruik van een virtueel netwerk dat wordt opgezet vanaf een laptop. Het bleek niet eenvoudig om gebruik te maken van Eduroam voor de verbinding, omdat dat een groot deel van het netwerkverkeer blokkeert. Als alternatief hadden we gebruik kunnen maken van een router om een netwerk op te zetten, maar dan zouden we ofwel zelf voor een router moeten zorgen, ofwel afhankelijk zijn van een andere groep in dezelfde klas die de router in hun bezit hebben.

Om meerdere taken tegelijk te kunnen uitvoeren, maken we gebruik van threads. Bepaalde functies die continu moeten gebeuren (met telkens een wachttijd tussen elke uitvoering) worden zo tegelijk uitgevoerd (technisch gezien niet tegelijk, maar er wordt gewisseld tussen deze threads). Threads worden onder andere gebruikt voor de HeightController (constant bijsturen om te zorgen dat de juiste hoogte bereikt wordt of behouden blijft) en de ReceivedHandler (die binnenkomende Transfers van de socket opvangt en verwerkt).

Behalve de GUI draait alle software op de Raspberry Pi, omdat de zeppelin autonoom moet kunnen werken. Hier worden beslissingen genomen op basis van QR-codes, die uit afbeeldingen komen die de camera op geregelde tijdstippen neemt. Het verwerken van de beelden gebeurt op de Raspberry Pi. We kunnen kiezen om de afbeeldingen volledig door te sturen naar de GUI, of enkel de geïnterpreteerde tekst. Logisch gezien is het weergeven van de status van de zeppelin geen taak van de Pi zelf. Daarom draait de GUI op de client. Daarnaast wordt door deze keuze de CPU van de Pi minder zwaar belast.

De hoogte wordt om de 20 ms opgemeten. Om een zo accuraat mogelijke waarde te krijgen, wordt de mediaan genomen van 10 opeenvolgende meetresultaten. De hoogte wordt elke seconde doorgestuurd naar de GUI.

Op de Raspberry Pi worden objecten aangemaakt die commando's voorstellen. Deze commando's zitten in de package 'command', en zijn allemaal subclasses van de klasse Command. De zeppelin heeft klassen die verantwoordelijk zijn voor de aanmaak van deze objecten op basis van QR-codes (QRParser) en het bijhouden van een rij van uit te voeren commando's (CommandController). De klasse CommandExecutioner zorgt voor de praktische implementatie van algoritmes van de commando's.

Om de afbeelding te doorzoeken op QR-codes, maken we gebruik van ZXing<sup>4</sup> (Zebra Crossing). Dit is een bekende library voor het inlezen van QR-codes die oorspronkelijk in Java geschreven is.

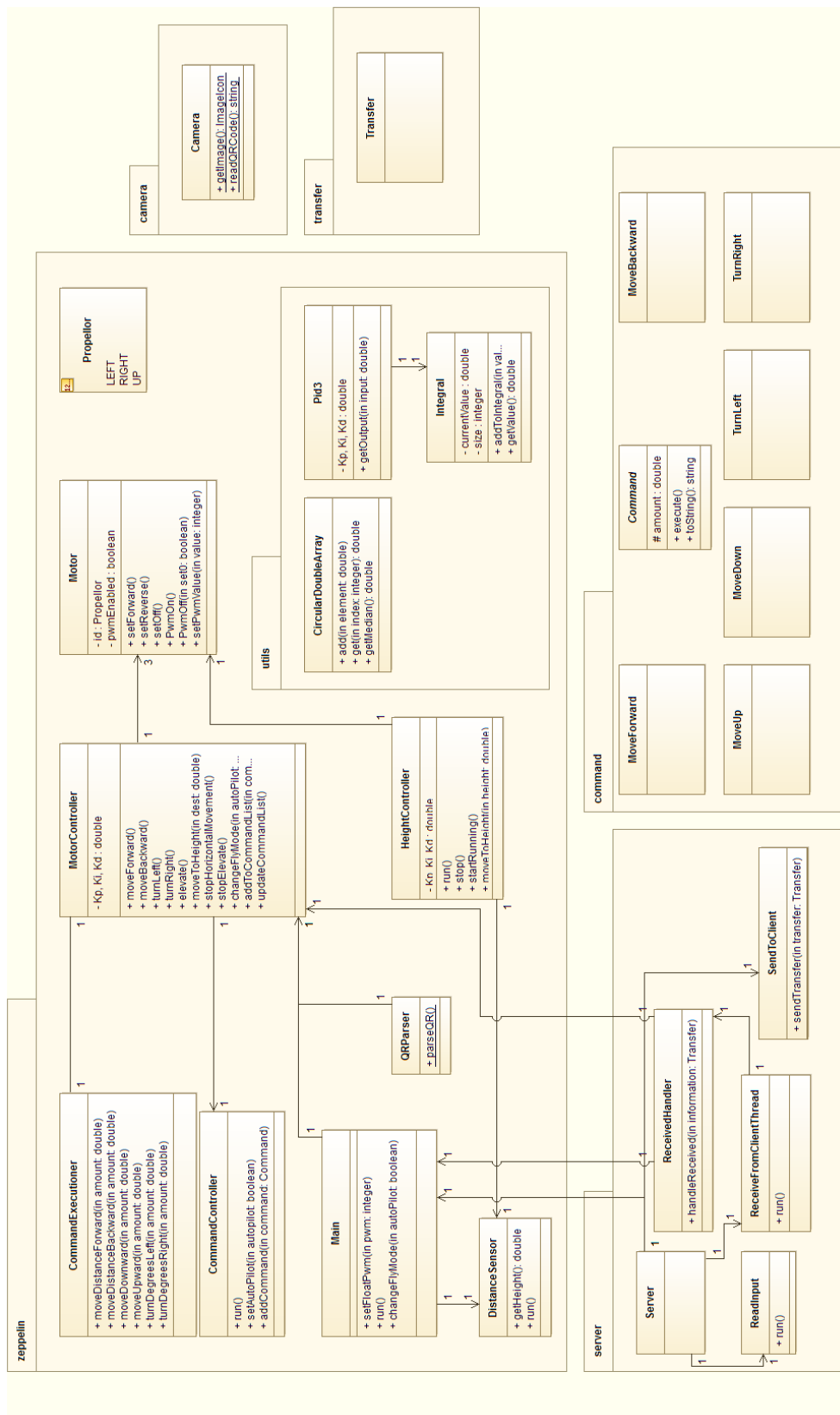
Voor het tweede deel van de opdracht was er een vorm van image recognition. Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van de Java-library OpenCV. Hiermee kan detectie van vormen en kleuren worden geïmplementeerd.

**Connectie** Ook de verbinding is helemaal veranderd in het tweede deel van de opdracht. De twee zeppelins moeten nu communiceren via een server. Die maakt gebruik van de RabbitMQ library.

Het klassediagram (zie figuur 4) toont de klassen van de interne programmatie en hun verbanden. Het package 'server' bevat een klasse Server, die de zeppelin initialiseert. Daarnaast zijn er nog een aantal klassen die verantwoordelijk zijn voor de communicatie.

---

<sup>4</sup><http://code.google.com/p/zxing/>

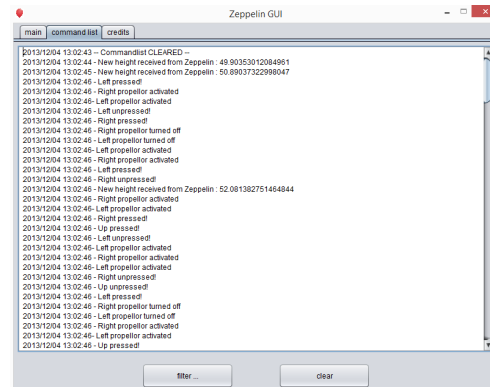


Figuur 4: Klassediagram van de interne programmatie

## 6 GUI

De User Interface stelt de gebruiker in staat om vanaf een client-pc verbinding te maken met de zeppelin. De GUI geeft informatie weer over de status, zoals de huidige hoogte en commando's die worden uitgevoerd. Daarnaast kan de gebruiker de zeppelin aansturen via de pijltjestoetsen.

De eerste tab ('main') toont de huidige hoogte en de toestand van de propellers. Er is ruimte voorzien om foto's (van de camera) te tonen en om de commando's weer te geven die in de wachtrij van de zeppelin zitten. Verder zijn hier toetsen om de motoren aan te sturen en om de zeppelin naar een bepaalde hoogte te laten stijgen.



Figuur 5: GUI

De tweede tab geeft een uitgebreider overzicht van de informatie die wordt uitgewisseld tussen de GUI en zeppelin, met een indicatie van de tijd.

De zeppelin (server) staat slechts toe dat er één client verbindt en dat er dus maar één GUI wordt getoond. Het zou mogelijk zijn meerdere clients toegang te geven, maar om conflicten (met pijltjestoetsen) te vermijden en om bandbreedte te besparen (bij het doorsturen van afbeeldingen), ondersteunt de server maar 1 client.

## 7 Besluit

We zijn er in geslaagd het fysiek ontwerp van de zeppelin te bouwen en Java-software te schrijven die de Raspberry Pi aanstuurt. Via sockets wisselt de zeppelin informatie uit met een client en kan de zeppelin via de pijltjestoetsen worden aanstuurd. Verder toont de zeppelin op de GUI zijn status en afbeeldingen aan de gebruiker.

De zeppelin kan QR-codes lezen en de opdrachten hieruit interpreteren. De HeightController regelt op elk moment de hoogte door middel van een PID-algoritme. Om andere commando's uit te voeren moeten we vertrouwen op gegevens die de tijd dat een motor actief is, linken aan de afstand of hoek. Deze functionaliteit is nog niet volledig geïmplementeerd, door problemen met de gevoeligheid van de zeppelin. Wel is het mogelijk om aan de hand van foto's van de camera de fout in afstand of draaihoek ten opzichte van een QR-code te bepalen, waardoor het in principe mogelijk is bij te sturen.

## A Beschrijving van het proces

- **Welke moeilijkheden heb je ondervonden tijdens de uitwerking?**

Kleine startproblemen bestonden uit het niet direct aanwezig zijn van alle hardware, waardoor we tijdens de beginfase veronderstellingen moesten maken over hoe deze in de praktijk zou werken. Hierdoor moesten we soms op enkele beslissingen terugkomen. De praktijk voldeed dus (zoals we wel hadden verwacht) niet volledig aan de theorie.

Een ander probleem dat we vooral in het begin hadden, was de communicatie tussen de zeppelin en de GUI. Dit is echter een probleem waarmee alle groepen te maken hadden. In feite waren we er vrij snel in geslaagd de communicatie te laten werken, maar in latere weken hebben we soms nog aanpassingen moeten maken omdat er problemen opdoken van zodra meer informatie werd verstuurd.

Een probleem waar we verschillende uren mee bezig zijn geweest, is de interferentie tussen de neerwaartse motor en de afstandssensor. Als de motor wordt ingeschakeld, vertoonden de meetwaarden van de afstandssensor deviant gedrag. Om dit op te lossen, gaan we het frame aanpassen.

Later hadden we een nieuw probleem waarbij de sensor een veel grotere hoogte gaf dan de werkelijke hoogte. Dit bleek veroorzaakt door de vele threads die op dat moment geïntroduceerd waren.

Misschien het belangrijkste probleem (omdat dit op het moment van indienen niet volledig opgelost is) is de gevoeligheid van de zeppelin, die het bijna onmogelijk maakt om horizontale bewegingen perfect uit te voeren.

- **Welke lessen heb je getrokken uit de manier waarop je het project hebt aangepakt?**

Dat veel testen in de praktijk noodzakelijk zijn. Dit is uiteraard te verwachten, maar is op bepaalde momenten overduidelijk. Goede voorbeelden hiervan zijn de problemen met de distancesensor (hierboven beschreven) en het regelen van de hoogte van de zeppelin. Aannames die je maakt zijn vaak niet waar (bijvoorbeeld naar boven vliegen brengt vaak een horizontale beweging met zich mee), en dit wordt pas duidelijk wanneer je de zeppelin echt aan het werk ziet met de code.

Op het gebied van groepswerking was het naar de tussentijdse demo toe duidelijk dat er een vrij groot verschil zat op het aantal gepresteerde uren. We beseffen nu dat we van in het begin een goede taakverdeling moeten voorzien, en dat het belangrijk is deze elke week op te volgen en desnoods bij te sturen.

We hebben in dit project ook goed leren werken met threads en synchronisatie, een thema dat we voordien bijna alleen theoretisch hadden gezien.

Wat nogmaals duidelijk werd is het belang van goede documentatie, zeker voor uitgebreide klassen zoals de GUI. Dit is iets waar we vanaf het begin rekening mee hebben gehouden.

Op het vlak van rapporteren hebben we vooral geleerd dat we veel moeten motiveren. We mogen ook niet verwachten dat de lezer even goed als wijzelf op de hoogte is van de details van het project.

- **Hoe verliep het werken in team? Op welke manier werd de teamcoördinatie en planning aangepakt?**

Naar de tussentijdse demo toe was het duidelijk dat onze taakverdeling niet perfect was, waardoor de gewerkte uren vrij sterk uit elkaar lagen. Sommige taken waren snel afgewerkt, en er was soms niet genoeg werk voor iedereen waardoor er af en toe met 2-3 personen aan 1 computer gewerkt moest worden.

De weken nadien hebben we ons best gedaan om ervoor te zorgen dat degenen die achter liepen in aantal uren, wat meer taken kregen.

Wanneer we met de volledige groep samenkomen, is het voordeel dat iedereen zijn mening kan geven en kan bijdragen aan het project. Het nadeel is echter dat we nooit alle vijf gedurende de hele sessie aan maximale productiviteit kunnen werken.

De communicatie tussen de verschillende groepsleden verliep vlot en bij problemen konden we terecht op de Facebook-groep die we voor dit project hebben aangemaakt.

De eerste les hebben we een teamcoördinator en secretaris gekozen, maar deze keuzes waren

eerder gemaakt omdat we toen nog geen idee hadden hoe het project ging verlopen. Uiteindelijk hebben we allemaal gedeeltelijk de rol van secretaris ingevuld: wie even geen taak had, kon aan de verslagen werken, die dan nadien door alle groepsleden nagelezen en aangepast werden.

Tijdens de eerste 2 lessen werd het al duidelijk welke grote delen er geprogrammeerd moesten worden. Hiervoor hebben we dan een aantal personen per deel gezet. Meer hierover is in het volgende deel terug te vinden.

## B Beschrijving van de werkverdeling

De eerste lessen hebben we besloten dat er 3 grote delen waren die moesten afgewerkt worden: de GUI, de communicatie tussen GUI en zeppelin en de zeppelin zelf. Ook waren er de tussentijdse verslagen en het testen van de onderdelen.

- Wander Bavin: Heeft meegewerkt aan het onderdeel GUI. Dit deel vroeg vooral in het begin wat werk. Nadat de GUI afgewerkt was heeft hij verslagen gemaakt/nagelezen en uiteindelijk meegewerkt aan het motor-gedeelte. Indien er extra informatie op de GUI moest verschijnen heeft hij hiervoor gezorgd. Vervulde de rol van coördinator.
- Dimitri Jonckers: Heeft meegewerkt aan het onderdeel GUI. Heeft net zoals Wander de verslagen gemaakt en nagelezen, alsook meegewerkt aan de interne programmatie van de Raspberry Pi. Ook hij heeft de GUI aangepast wanneer nodig, en het UML-diagram opgesteld. Heeft thuis veel opzoekwerk gedaan/geprogrammeerd. Heeft de meeste weekly progress reports geschreven.
- Sunil Tandan: Heeft gewerkt aan het deel communicatie tussen GUI en zeppelin. Dit was een groot en belangrijk deel dat hij op zichzelf heeft gemaakt. Dit deel vroeg redelijk wat werk en moest elke keer wel een beetje aangepast worden (bijvoorbeeld voor het versturen van images). Heeft elk verslag nagelezen en delen over de communicatie toegevoegd. Nadien heeft hij het werken met de camera op zich genomen.
- Wout Vekemans: Heeft meegewerkt aan het deel motoren/zeppelin. Tijdens de beginfase voornamelijk verslagen gemaakt/nagelezen. Heeft samen met Vince de afstandssensor getest/geprogrammeerd en is daarna aan de motoren beginnen werken. Hij vervulde de rol van secretaris en stuurde de verslagen dus telkens door.
- Vince Goossens: Heeft meegewerkt aan het deel motoren/zeppelin. Tijdens de beginfase voornamelijk verslagen nagelezen. Heeft samen met Wout de afstandssensor getest/geprogrammeerd en is daarna aan de motoren beginnen werken/programmeren.

Na de tussentijdse demo is iedereen gedeeltelijk bezig geweest met het testen van de camera en de motoren, en bezig geweest met het implementeren van de commando's.

Hieronder is een tabel te vinden met de gewerkte uren binnen en buiten de sessies:

Overzicht:	Dimitri Jonckers	Wander Bavin	Wout Vekemans	Sunil Tandan	Vince Goossens
30/09 - 06/10	5	5	5	7	5
07/10 - 13/10	15.5	12	6	11	5
14/10 - 20/10	11	10.5	6.75	9	6.25
21/10 - 27/10	9	5.5	6	9	5.5
28/11 - 03/11	12	5	5	5	5
04/11 - 10/11	15	16	10	16.5	10
11/11 - 17/11	17	14.5	8	18.5	10
18/11 - 24/11	9.5	15	9	9	9
15/11 - 01/12	11.5	5	11	13	11
02/12 - 04/12	21	14	18	20.5	18.5
09/12 - 10/12	7	7	7	7	7.5
Totaal	133.5	109.5	91.75	125.5	92.75

## C Kritische analyse

De groepssfeer was goed. De werkverdeling kon echter wel beter. In de periode voor de tussentijdse demo wou iedereen wel ergens aan werken, maar vaak was iemand anders hiermee al begonnen. We zouden beter (en vanaf het begin) moeten zorgen voor een goede taakverdeling en deze ook opvolgen en aanpassen aan de hand van eventuele problemen en van verschillen in werkuren.

Een tweede punt van kritiek is dat in de loop van het project een gedeelte van de code van de zeppelin sterk uitgebreid is. Hierdoor is de code niet altijd even duidelijk meer (bijvoorbeeld de introductie van een aantal boolean-variabelen om de flow te regelen). Dit betekent dat er extra aandacht nodig is bij het aanpassen van de code. In principe is het mogelijk deze code op te kuisen, maar we hebben ons in code laatste weken voor de demo vooral moeten bezighouden met het toevoegen van nieuwe functionaliteit.

Over de kwaliteit van de code zelf zijn we wel tevreden. Omwille van problemen met het aantal threads zijn we verplicht geweest deze een stuk efficiënter te maken. De meeste delen van de code zijn uitgebreid gedocumenteerd.

Verder is het fysiek ontwerp van onze zeppelin niet perfect. Idealiter hadden we een nieuw frame moeten laten maken, waarbij een deftige plaats voor de distancesensor voorzien is en dat gemaakt is uit een stevig materiaal zoals plexiglas. Omwille van het vele werk met de programmatie zijn we hier niet toe gekomen.

We zijn tevreden over onze keuze voor Java en hebben eigenlijk op geen enkel moment tijdens het project gedacht dat we beter af zouden zijn door Python te gebruiken. Alle functionaliteit die we moesten implementeren, was zonder problemen mogelijk in Java.

Het is jammer dat we niet alle functionaliteit voor het uitvoeren van de commando's hebben kunnen implementeren. Alleen al het getuned krijgen van het PID-algoritme voor de hoogte nam veel tijd in beslag. De andere bewegingen gaven veel extra problemen door afwijkingen in de beweging van de zeppelin.

We zijn tevreden over de demonstratie. Wat we veronderstelden dat de zeppelin moest kunnen, voerde hij ook uit op de demonstratie. De uitvoering van aparte commando's zoals de hoogte-regeling, draaien en vooruit bewegen, verliep accuraat en volgens de verwachtingen. Het traject vormde enkele problemen. De eerste en tweede QR-code verliepen vlot en nauwkeurig. Door een exception bij de derde QR-code weken de bewegingen van de zeppelin sterk af van de uit te voeren commando's. Het commando "roteer 45 graden", dat wegens een tijdstekort niet is geïmplementeerd, veroorzaakte de foutmelding. De afstandsmeter registreerde ook af en toe foute waarden als de andere motoren te intensief roteerden. Alleszins is het gehele team toch tevreden over de resultaten.