



KU Leuven
Departement Computerwetenschappen

P&O: COMPUTERWETENSCHAPPEN

Tussentijds verslag

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. Navigatie gebeurt op basis van een op voorhand gekend grondplan dat wordt ingeladen in de software. De positie van de zeppelin wordt bepaald door een algoritme gebaseerd op beeldherkenning. Via het rooster dient de zeppelin sneller dan een andere zeppelin naar een bepaalde positie te vliegen, en een andere, nog onbekende opdracht uit te voeren. Beide zeppelins wisselen informatie uit met elkaar en met hun sturende pc via een server gebaseerd op RabbitMQ. Een GUI dient de toestand van het speelveld en beide zeppelins te visualiseren. Al deze functionaliteiten worden geïmplementeerd in Java.

Inhoudsopgave

1 Inleiding	2
2 Beschrijving materiaal en bouw zeppelin	2
3 Testen	4
3.1 Afstandssensor	4
3.2 Camera en pattern recognition	4
3.3 Motoren	5
4 Algoritmes	5
4.1 Verticale bewegingen	5
4.2 Horizontale bewegingen	5
4.3 Pattern recognition	6
5 Software	7
6 Besluit	9
A Beschrijving van het proces	10
B Beschrijving van de werkverdeling	10
C Kritische analyse	10

1 Inleiding

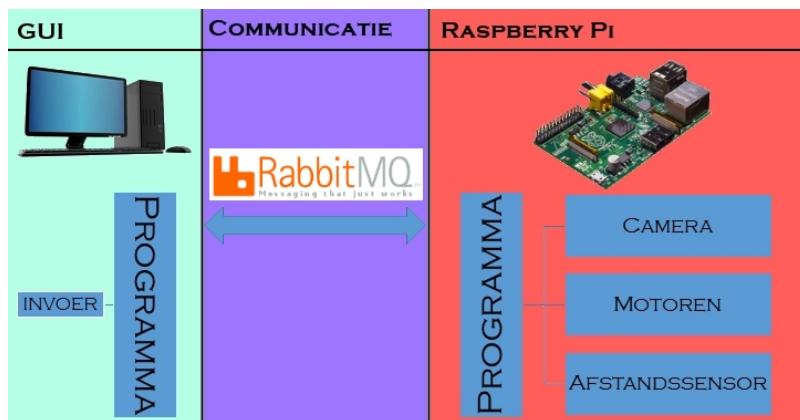
Dit tweede deel van de bachelorproef draait nog steeds rond het aansturen van een zeppelin op basis van een Raspberry Pi. De zeppelin moet nog steeds kunnen bewegen in de 3D-ruimte. Dit semester zal de zeppelin zich steeds boven een speelveld bevinden waarop figuren liggen. Er kan dus image processing worden gebruikt om de positie exact te bepalen. De eigen zeppelin speelt een race tegen een vijandige zeppelin van een andere team. Beiden proberen om als eerste een opgegeven bestemming te bereiken.

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 een Raspberry Pi die in het frame zit ingebed. Het geheel bevat drie propellers: twee voor horizontale bewegingen en één voor verticale bewegingen.

Software ontwerp

De meeste software draait inwendig op de Pi (uitlezen sensoren, aansturen motoren, image processing). Op de client-pc draai een GUI die de status van het speelveld weergeeft. Alle software is geschreven in Java. De communicatie tussen de zeppelin en de client gebeurt via een RabbitMQ server, waarlangs commando's moeten passeren die aan een vooraf afgesproken formaat voldoen. (Zie figuur 1).



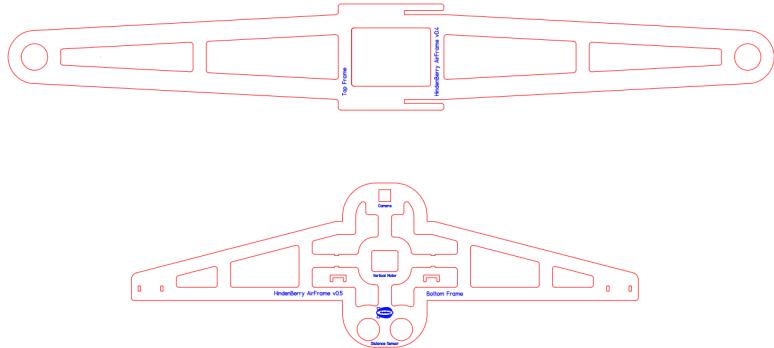
Figuur 1: Architectuur

2 Beschrijving materiaal en bouw zeppelin

De zeppelin bestaat uit een frame waaraan alle onderdelen zijn vastgemaakt. Hierop worden onder andere de 3 propellers bevestigd. Twee hiervan dienen om in het horizontale vlak te bewegen. Ze zijn met haakse draairichting op het frame(zie figuur 2) gemonteerd. Dit staat toe om een horizontale beweging te reduceren tot een beweging in x- en y-richting, zodat het niet nodig is om te draaien (tijdens het vorige semester werd al duidelijk dat dit voor sterke afwijkingen van de zeppelin zorgt). De derde propeller dient om de zeppelin te laten stijgen, en is naar beneden gericht. De propellers kunnen op volle kracht of door middel van pwm¹ worden aangestuurd (in 2 richtingen). Met deze techniek is het mogelijk om naast de richting ook de kracht van de motor in te stellen. De onderste propeller wordt aangestuurd door de hardware-pwm op het motorbordje,

¹en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation

terwijl voor de horizontaal gerichte propellers gebruik wordt gemaakt van SoftPWM².



Figuur 2: Blueprint van het frame

Buiten de plaatsing van de motoren (en enkele kleine verstevigingen van de pootjes en ballast) is het frame exact hetzelfde als vorig semester. Naar de volgende demo toe overwegen we wel om een nieuw frame laten uit te snijden, zodat het geheel beter gebalanceerd is en meer rekening houdt met het feit dat de zeppelin geen echte voorkant meer heeft.

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 besturingssysteem van de Raspberry Pi. Er is nog voldoende ruimte over om onze eigen programma's als jar-file op de Pi te zetten.

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. Deze wordt in deze opdracht vooral gebruikt voor het bepalen van de positie van de zeppelin. Hiervoor neemt hij foto's van de patronen op de grond die gematcht worden met het gekende grondplan. 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. De sensor heeft een bereik van 2-400 cm. Onze afstandssensor is vooral gebruikt voor het aansturen van het hoogteregelend PID-algoritme.

NEED FOR AN UPDATED FIGURE!!!

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

²<https://github.com/Pi4J/pi4j/blob/master/pi4j-core/src/main/java/com/pi4j/wiringpi/SoftPwm.java>

de motor geen kracht naar boven zet. Als gewicht gebruiken we zout, zodat het mogelijk is om nauwkeurig het gewicht te regelen. Tijdens het landen steunt het geheel op twee pootjes, gemaakt van piepschuimen bekertjes.

3 Testen

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

3.1 Afstandssensor

Voor gedetailleerde gegevens verwijzen we naar het verslag onze zeppelin van het eerste semester (versie 2). Hier hadden we gemerkt dat een enkele waarde van de sensor niet noodzakelijk de correcte afstand weergeeft. Daarom houdt de afstandssensor de laatste 10 gemeten waardes bij. De huidige hoogte wordt gegeven als het gemiddelde van deze waardes (rolling median techniek). Het interval tussen twee metingen hebben we kunnen terugbrengen tot 20 ms.

3.2 Camera en pattern recognition

De implementatie van de pattern recognition vereist nieuwe testen van de camera om deze functionaliteit op punt te brengen. De tests proberen de verschillende moeilijkheden van de real time uitvoering te simuleren. De factoren die de positiebepaling aan de hand van de pattern recognition beïnvloeden, betrekken zich grotendeels tot de lichtintensiteit, de hoogte en het nemen van foto's terwijl de zeppelin beweegt. De verschillende factoren en hun bijbehorende tests worden hieronder besproken.

We hebben nog niet alle testen die hieronder beschreven staan uitgebreid uitgevoerd.

Lichtintensiteit

De intensiteit van het licht beïnvloedt de detectie van de contouren en de kleuren. De belangrijkste fout bevindt zich bij de kleuren. Met behulp van een regelbare lichtbron en voldoende afschermeing van buitenaf neemt de camera foto's van een patroon. Hierbij wordt de minimale benodigde lichtintensiteit geregistreerd en dit wordt vergeleken met de lichtintensiteit aanwezig tijdens de uitvoering.

Hoogte

De hoogte van de zeppelin tijdens de fotoregistratie heeft gevolgen voor het aantal vormen die geregistreerd worden en de afstand tussen de vormen op de foto. Er is een minimaal aantal vormen nodig om de positie te bepalen (3 figuren). Indien er nog extra redundantie nodig is zodat indien een vorm de software een vorm niet herkent de plaatsbepaling toch succesvol is, zal er een minimale hoogte nodig zijn voor de zeppelin om foto's te nemen. Het aantal pixels tussen de verschillende contouren kan ook een negatief effect hebben op de differentiatie van de verschillende vormen. De camera neemt foto's van een patroon van vormen gepositioneerd onder de zeppelin waarbij de hoogte steeds varieert.

Tijdens de beweging

Als de zeppelin beweegt, kan dit effect hebben op de geregistreerde vormen. Een dilatie van de vormen kan plaatsvinden, waardoor bijvoorbeeld een rechthoek verandert in een ruit. Een ander mogelijk probleem constateert zich in het wazig worden van de foto's waardoor image recognition niet met goede nauwkeurigheid plaatsvindt. Dit is belangrijk omdat het bewegen van de zeppelin tijdens het nemen van de foto dit effect kan teweeg brengen. Deze proef test het effect van de beweging, alsook de snelheid van de zeppelin op de dilatie van de figuren en de wazigheid van de foto's.

3.3 Motoren

In het eerste semester hebben we uitgebreide testen gedaan over de testen en de mogelijkheden van pwm. Het werd duidelijk dat het nodig ging zijn om constant de hoogte te controleren en bij te sturen. Daarnaast bleek ook dat horizontale bewegingen moeilijk exact kunnen worden uitgevoerd, omdat de zeppelin zeer gevoelig is voor allerlei veranderingen van de windomstandigheden in de omgeving: een andere zeppelin die beweegt, de airco, ...

In het tweede semester hebben we enkele nieuwe testen moeten uitvoeren, voornamelijk gerelateerd aan het gebruik van SoftPWM. Er moet worden bepaald worden tussen welke percentages het vermogen groot genoeg was om de motor effectief te laten draaien, net zoals we in het eerste semester hebben moeten doen. Dit gebeurde door middel van trial-and-error.

4 Algoritmes

4.1 Verticale bewegingen

Om naar een bepaalde hoogte te stijgen, maken we gebruik van een PID-algoritme³. 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:

$$output = Kp * error + Ki * integral + Kd * derivative$$

Hierin zijn Kp, Ki en Kd constanten die we hebben moeten bepalen. Eerst hadden we enkel rekening gehouden met de huidige error ($Ki = Kd = 0$), 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 Kd te verhogen. Door deze groot te maken, gaat de zeppelin veel rustiger naar de opgegeven hoogte en gaat hij er niet voorbij. Bij de start van het tweede semester hebben we de waardes van deze constanten opnieuw getuned, aangezien er nieuwe volle ballonnen gegeven waren.

Er is een HeightController die dit PID-algoritme implementeert, en die er voor gaat zorgen dat de zeppelin zijn hoogte behoudt of naar een gevraagde hoogte gaat. Deze gaat om de 0.1 s de hoogte controleren en de pwm-waarde bijsturen.

4.2 Horizontale bewegingen

Voor bewegingen in het horizontale vlak maken we eveneens gebruik van een PID-gebaseerd algoritme. Hiervoor zijn er twee afzonderlijke algoritmes die tegelijk lopen (voor de x- en y-richting). Telkens wanneer een nieuwe foto genomen wordt, kunnen we hieruit de positie en de draaiing ten opzichte van het veld. Dan kunnen we de af te leggen afstand omzetten naar een beweging in het x- en y-frame. De zeppelin wordt in het middelpunt geplaatst van het nieuwe coördinatenstelsel. De coördinaten van de bestemming hierin, bepalen dus exact hoeveel we in x- en y-richting moeten bewegen. De omzetten gebeurt in 2 stappen, met eerst een verschuiving:

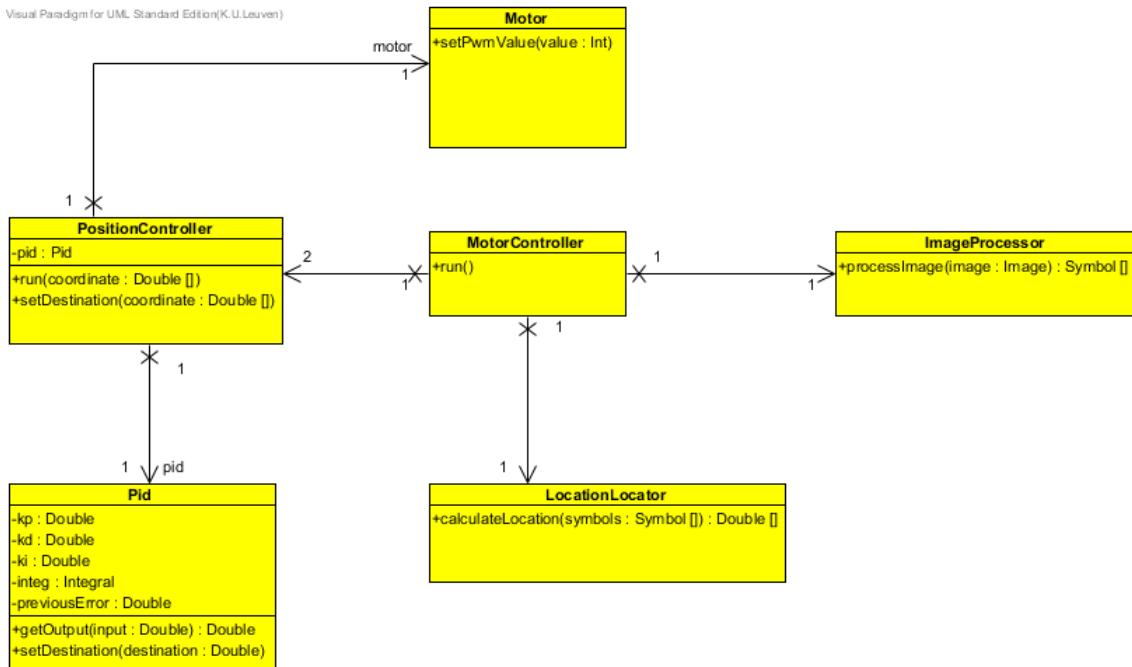
$$x_{shifted} = x_{destination} - x_{zeppelin}, y_{shifted} = y_{destination} - y_{zeppelin}$$

Vervolgens doen we een draaiing volgens de hoek alpha waarmee de zeppelin gedraaid staat ten opzichte van het frame:

$$\begin{aligned} x_{new} &= x_{shifted} * \cos(\alpha) + y_{shifted} * \sin(\alpha) \\ y_{new} &= -x_{shifted} * \sin(\alpha) + y_{shifted} * \cos(\alpha) \end{aligned}$$

³http://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html

Nu geven we deze nieuwe x- en y-waarden als bestemming door aan de bijbehorende PositionController, zodat via PID de juiste motor wordt bijgestuurd. Zie hieronder voor het UML-schema met de klassen die gebruikt worden voor horizontale navigatie.



Figuur 3: UML-schema horizontale bewegingen

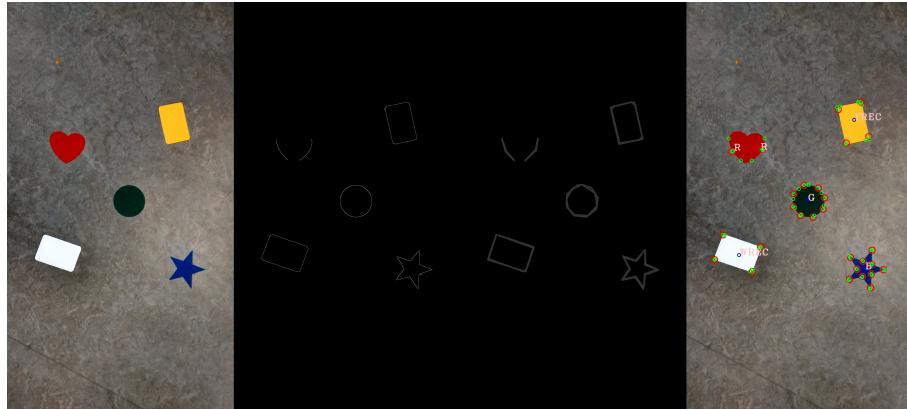
4.3 Pattern recognition

De camera neemt foto's van de patronen op het veld onder de zeppelin. De Raspberry Pi bewerkt deze foto's met behulp van zelfgeschreven software. Op elk geregistreerd beeld worden dezelfde sequentie van operaties uitgevoerd.

Als eerste herkent de software de simpele vormen. De functionaliteit van het programma beperkt zich tot de mogelijke vormen meegedeeld in de probleemstelling (cirkel, rechthoek, vijfpuntige ster, hart, ruit). Een omvorming naar zwart-wit vergemakkelijkt dit. De vormherkenning algoritmes (pattern recognition) registreren de contouren van de vormen en halen de nuttige contouren uit het waargenomen beeld. Operaties in het algoritme verwijderen contouren die geen betrekking hebben tot de vormen. Vervolgens benadert de software de overgebleven contouren door polygonen (veelhoeken). Op basis van de punten van deze benaderingen en kenmerken van de mogelijke vormen haalt het algoritme de corresponderende vorm(en) uit de foto. Bijvoorbeeld: De punten op een cirkel bevinden zich op een vaste afstand van het middelpunt, de lengte van een rechthoek is gelijk aan de gesommeerde afstand tussen de de vier hoekpunten,...

Eenmaal de vorm gespecificeerd is, dient de kleur nog bepaald te worden. Het programma converteert hiervoor de foto naar een HSV-digitale voorstelling. De minimale en maximale waarden voor respectievelijk H,S en V, die karakteristiek zijn voor de mogelijke kleuren, bepalen de aanwezige kleur binnen de contour van de gedetecteerde vorm.

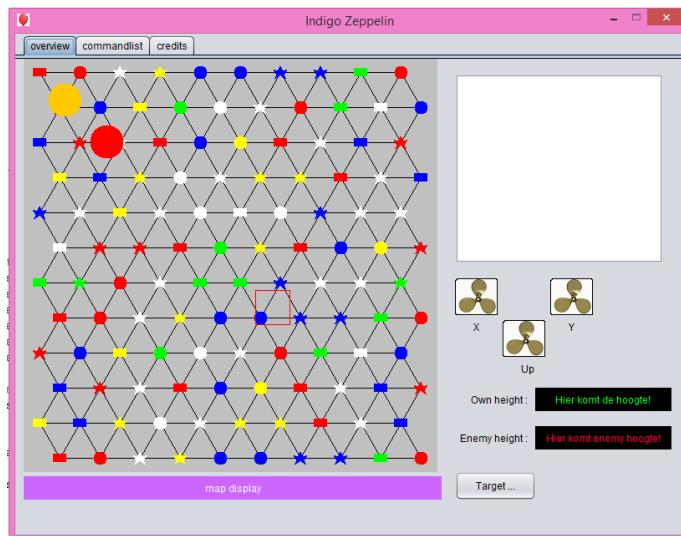
Hierbij dient wel vermeld te worden dat de pattern recognition niet volledig werkt. Het werken met OpenCV in Java bracht heel wat problemen met zich mee. Op het moment van het schrijven van dit verslag lukt het in de meeste afbeeldingen om figuren te herkennen (maar nog niet het hart en de ster). Verder hebben we ook nog niet veel getest met het herkennen van images die genomen zijn terwijl de zeppelin beweegt.



Figuur 4: Pattern Recognition

5 Software

Alle software voor dit project is in Java geschreven. Deze keuze is tijdens het eerste semester al gemaakt omdat dit voor het hele team de gebruikte programmeertaal was, en omdat er voldoende voorbeeldcode te vinden was om te programmeren op de Pi. We hebben in het eerste semester ook geen problemen gehad met het implementeren van functionaliteit in Java (aansturen motoren, QR-codes). Dit semester zijn we wel op veel moeilijkheden gestoten bij het implementeren van image recognition.



Figuur 5: GUI

GUI

De GUI stelt de gebruiker in staat om vanaf een client-pc verbinding te maken met de RabbitMQ-server die het speelveld en de zeppelins controleert. De GUI geeft dan informatie weer over het speelveld, de coördinaten van de zeppelins, en de bestemming.

De eerste tab ('overview') toont de hoogte van beide zeppelins, alsook de toestand van de eigen propellers. Een kaart geeft de locaties van de zeppelins weer. Voor het maken van deze kaart wordt gebruik gemaakt van een CSV-bestand (comma separated value). Hierin wordt elk roosterpunt

voorgesteld door twee letters: een voor de kleur en een voor de vorm van de figuur op dat punt. Naast de kaart wordt de opdracht van de zeppelins getoond en is er een overzicht van de laatste berichten die zijn uitgewisseld tussen de client-pc en de zeppelin.

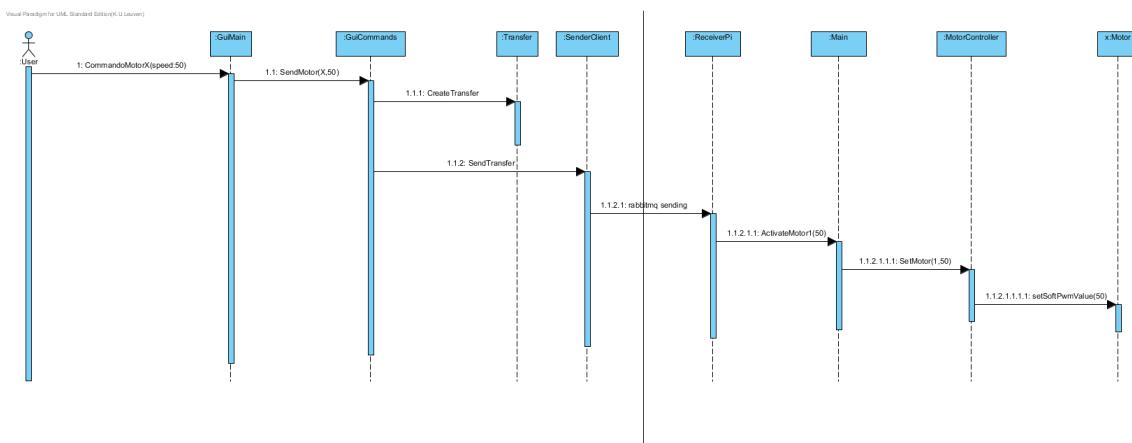
De tweede tab geeft een uitgebreider overzicht van alle informatie die wordt uitgewisseld tussen de GUI en zeppelin, met een indicatie van de tijd. Er is een mogelijkheid om berichten te filteren op type.

Pattern recognition

De eerder vermelde pattern recognition is gemaakt met behulp van de Java-library OpenCV⁴. Hiermee kan detectie van vormen en kleuren worden geïmplementeerd. Voor meer informatie over hoe dit precies werkt verwijzen we naar de sectie over algoritmes.

Connectie

De verbinding tussen Pi en laptop is volledig veranderd. Voordien werd informatie uitgewisseld door middel van sockets, op een virtueel netwerk gehost vanuit een laptop. Communicatie verliep via sockets over dit netwerk. De Pi werd toen de server genoemd omdat deze de sockets initialiseerde. Deze opdracht verplicht ons gebruik te maken van een RabbitMQ server⁵. Voor de eerste tussentijdse demo zal de server op een eigen laptop worden gestart, omdat er geen communicatie met een andere zeppelin nodig is. We hebben nu dus de server (de exchange) die losstaat van de rest van het programma, en twee clients: de zeppelin (Pi) en de GUI. Zowel GUI als Pi connetteren dan op een exchange genaamd ‘server’. Elke boodschap die wordt uitgewisseld krijgt een bepaalde sleutel toegewezen, die aangeeft wat de boodschap bevat en voor wie ze bestemd is. Een boodschap wordt dan naar de exchange verstuurd. De exchange weet dankzij de sleutel naar welke queue hij de boodschappen moet versturen. Zowel de GUI als de Pi abonneren zich op queues met een bepaalde sleutel, afhangende van welke gesleutelde boodschappen ze willen ontvangen. Om gebruik te maken van rabbitMQ in onze code moesten er enkele libraries⁶ toegevoegd worden. Het sequentiediagram (zie figuur 6) is te zien hoe een low-levelopdracht voor het aanschakelen van de motoren aan een bepaalde snelheid wordt doorgegeven vanaf een client naar de Pi. Vanuit de GUI wordt er steeds via de klasse GUICommands gegaan, die een abstractie geeft naar buiten toe. Klassen voor communicatie versturen en ontvangen de boodschap (met toevoeging van correcte sleutel) via RabbitMQ. De MotorController gaat uiteindelijk bepalen dat de x-motor aan een bepaalde SoftPwm-value moet draaien.



Figuur 6: Sequentiediagram van de communicatie

⁴<http://opencv.org/>

⁵www.rabbitmq.com

⁶<http://www.rabbitmq.com/java-client.html>

6 Besluit

De uitvoering van de toevoegingen aan soft- en hardware zijn vrij goed gelukt. We zijn tevreden over de kwaliteit van de code, die sterk opgekuist is ten opzichte van het vorige semester. Het implementeren van pattern recognition en de bijhorende navigatie brachten wel enkele moeilijkheden met zich mee. Het communiceren met een RabbitMQ-server hadden we vrij snel onder de knie en dit bracht slechts kleine aanpassingen met zich mee. Het probleem op dit moment is de navigatie en positieherkenning. De navigatie op zich zou kunnen werken, maar hiervoor is positieherkenning nodig en moet dus de image processing goed werken. Naar de demo toe gaan we nog zoveel mogelijk proberen te testen op het herkennen van images en op vliegen. Naar de volgende demo toe zal de software moeten uitgebreid moeten worden om volledig aan het afgesproken protocol voor communicatie te voldoen en om te zorgen dat de zeppelin. Ook moeten we de zeppelin in contact brengen met een andere zeppelin.

A Beschrijving van het proces

Dit onderdeel maakt geen deel uit van dit verslag.

B Beschrijving van de werkverdeling

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
09/02 - 15/02					
Totaal					

C Kritische analyse

Dit onderdeel maakt geen deel uit van dit verslag.