

## Projectboek

# Project Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Mechatronica Hoofdfase 2 blok 2 (MeH2.2)

Cursusjaar: 2013-2014



Foto: Aeryon Scout Micro VTOL UAV with gyro stabilized camera payload  
(Bron: <http://en.wikipedia.org>)

Auteurs:	dr.ir. P.R. Fraanje ir. A. Noroozi drs. D. van Teylingen
Datum:	23/04/14
Versie:	2.0

## Inhoudsopgave

1 Inleiding.....	3
2 Case beschrijving.....	3
3 Leerdoelen en toetsing.....	5
3.1 Leerdoelen.....	5
3.2 Toetsing.....	7
4 Project organisatie en flankerend onderwijs.....	8
4.1 Project organisatie.....	8
4.2 Flankerend onderwijs.....	9

# 1 Inleiding

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) zijn, zoals de naam al zegt, vliegtuigen zonder bemanning. Omdat een UAV geen bemanning hoeft te vervoeren kan deze veel *kleiner* worden uitgevoerd dan andere vliegtuigen. Hierdoor is de UAV niet alleen relatief veel goedkoper in aanschaf en gebruik, maar ook veel minder opvallend dan gewone vliegtuigen. Een ander belangrijk voordeel is, dat hoe kleiner “aerial vehicles” worden, hoe *wendbaarder* ze zijn, zie bijv. het artikel van Prof. Vijay Kumar [1], of zijn lezing op TED [2] of zijn lezing tijdens de SolidWorks World 2013 [3].

Vanwege deze voordelen worden UAV's al geruime tijd gebruikt voor militaire toepassingen, vooral om informatie te verkrijgen maar soms ook om gevechtsacties uit te voeren, zie onder andere het artikel [4]. Zoals elke techniek, kunnen ook UAV's goed en fout worden gebruikt. Over de ethische aspecten ten aanzien van het gebruik van UAV's, voor o.a. in militaire toepassingen, is er momenteel veel gesprek en discussie. Zo organiseerde het Centrum voor Internationaal Conflict - Analyse & Management (CICAM) op 28 maart 2013 een conferentie met als titel 'Dodelijke robots' [5] waar gesproken werd over het gebruik en de dreiging van UAV's in geweldssituaties, zie ook de referenties [6,7].

UAV's worden steeds goedkoper, zo is de AR Drone 2.0 [8] welke in dit project gebruikt zal worden, al voor een bedrag van €300,- te verkrijgen. De daling in aanschafprijs en gebruik van UAV's opent mogelijkheden voor gebruik in veel meer toepassingen, waaronder surveillance van verkeer, het bezorgen van pakketjes, de monitoring van grote groepen mensen tijdens evenementen, inzet tijdens calamiteiten bijv. om schadelijke stoffen te detecteren of om de intensiteit van radioactieve straling te meten, om een aantal toepassingen te noemen, zie [9,10].

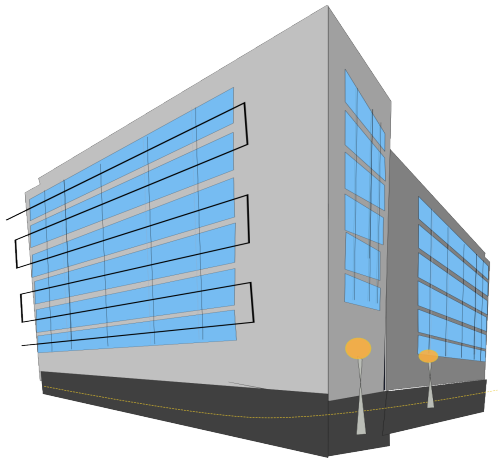
Het doel van dit project is, om met een drone de volledige gevel van een gebouw nauwkeurig in beeld te brengen, om defecten op te sporen, of om bijvoorbeeld warmteverliezen in kaart te brengen. In het laatste geval zal gebruik worden gemaakt van een warmte-detector of -camera. Hiervoor is het nodig de drone zo nauwkeurig mogelijk een bepaalde baan (ook wel trajectorie genoemd) af te laten leggen. Om dit te realiseren, zul je kennis van regeltechniek en positiebepaling moeten opdoen. Gedeeltelijk zul je deze kennis opdoen door zelfstudie of onderzoek, of door opdrachten in tutorials, en een deel zal worden behandeld in de colleges van de vakken regeltechniek en positiebepaling die dit blok worden gegeven.

Dit projectboek is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de casus. Hoofdstuk 3 geeft de leerdoelen en de toetsing van het project. Hoofdstuk 4 beschrijft de organisatie van het project en gaat in op de relatie met het overige onderwijs in dit blok.

## 2 Case en opdrachtbeschrijving

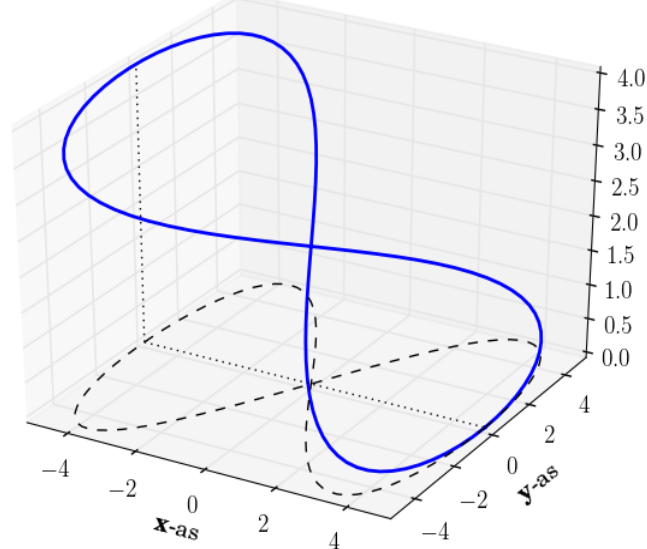
Een grote vastgoedbeheerder, JYT Real Estate, wil een drone gaan gebruiken voor de monitoring van zijn gebouwen. De drone moet zo snel en zo nauwkeurig mogelijk opnames van een gevel van een gebouw kunnen maken, waarbij de drone een van tevoren opgegeven baan aflegt, zie Figuur 1 voor een voorbeeld. De opnames moeten vervolgens samengevoegd worden tot één groot beeld van de gevel.

Als projectroep hebben jullie de taak om zo'n drone besturing te maken, waarmee de gevel gemonitord kan worden. De nadruk zal liggen op het bepalen van de positie, het stabiliseren van de drone en het laten volgen van een voorafopgegeven baan. Als jullie projectgroep ook beelden van de gevel kan opnemen en kan samenvoegen tot één volledig beeld van de gevel, zal dit uiteraard extra gewaardeerd worden.



*Figuur 1: Baan voor de monitoring van de ramen van een gebouw.*

**Trajectory:**  $(x, y, z) = (5 \cos(t), 5 \sin(2t), 2(1 - \cos(t))), \quad t \in [0, 2\pi]$



*Figuur 2: Baan van de drone die gedemonstreerd dient te worden.*

Tijdens de demonstratie in week 9 moet in ieder geval gedemonstreerd worden:

1. **stabilisatie** van de drone op één punt, verstoringen moeten tegegewerkt worden, en de drone moet na een verstoring zo goed mogelijk automatisch weer naar hetzelfde punt worden gebracht;
2. **regeling** van de drone langs de baan zoals aangegeven in Figuur 2, waarbij de drone op de verste positie, ofwel het punt  $(x,y,z)=(-5,0,4)$  m, een voorwerp moet laten vallen. Dit voorwerp dient zo dicht mogelijk bij het punt  $(-5,0,0)$  m moeten liggen. Bij niet te verwaarlozen windverstoringen zullen een aantal meting worden uitgevoerd en wordt er gekeken naar de grootte van de systematische en de random fout in de positie van het voorwerp.

Als randvoorwaarde geldt, dat er tijdens de ontwikkeling en bij de demonstratie gebruikt dient te worden gemaakt van de AR Drone 2.0, zie ook [8], die door de opleiding ter beschikking wordt gesteld. Het voordeel van het gebruik van de AR Drone is, dat deze gebaseerd is op open source technologie, en zodoende goed te analyseren (reverse engineering) en te gebruiken is, zo is er onder andere een software development kit (SDK) waarmee de AR Drone aangestuurd kan worden vanuit andere programmas [11].

De AR Drone is een quadcopter, ook wel quadrotor genoemd. Referentie [12] is een goed overzichtsartikel (survey) over quadcopters, waarin ingegaan wordt op de dynamische aspecten, de regeling, sensoren, vision systemen en navigatie van quadcopters, ook toepassingen komen aan de orde. Referenties [13-16] geven een aantal voorbeelden van de besturing van quadcopters en recent onderzoek hiernaar.

## **3 Leerdoelen en toetsing**

### **3.1 Leerdoelen**

De leerdoelen van deze cursus zijn opgedeeld in leerdoelen met betrekking tot een zestal domeinen:

- Projectmanagement
- Quadcopter UAV technologie
- Positiebepaling
- Regeltechniek
- Ethiek
- Algemene ingenieurs vaardigheden

Voor de domeinen Quadcopter UAV technologie, Positiebepaling en Regeltechniek staan de leerdoelen in volgorde van toenemend beheersingsniveau. De leerdoelen over Positiebepaling en Regeltechniek overlappen gedeeltelijk met de leerdoelen van de vakken Positiebepaling en Regeltechniek.

Van HBO ingenieurs wordt verwacht dat ze recente technologie (en wetenschappelijke resultaten) kennen en kunnen toepassen in verschillende situaties, en internationale ontwikkelingen op hun terrein kunnen volgen en op in kunnen spelen. Binnen de domeinen Quadcopter UAV technologie, Positiebepaling en Regeltechniek ga je werken met (recente) technologieën en zul je je ontwikkelen op de HBO competenties van brede professionalisering en wetenschappelijke toepassing.

Een andere HBO competentie waarin je je zult ontwikkelen, is het besef van maatschappelijke verantwoordelijkheid. Binnen de SLB opdrachten zul je werken aan begrip van en betrokkenheid bij ethische, normatieve en maatschappelijke vragen in de beroepspraktijk, waarbij de casus van het gebruik van UAV's het uitgangspunt zal zijn.

Verder zul je ook in dit project je verder ontwikkelen in de competentie van probleemgericht werken. Dit houdt in dat je onder begeleiding complexe probleemsituaties kan definiëren en analyseren (UAV monitoring van rivieren), en op basis van relevante kennis (Quadcopter UAV technologie, Positiebepaling en Regeltechniek) in staat bent het probleem op te lossen en de effectiviteit van de oplossing te beoordelen.

Deze competenties ga je (verder) ontwikkelen door te werken aan de onderstaande leerdoelen. Bij een eerste lezing zullen een heel aantal leerdoelen nog niet direct duidelijk zijn. Lees gewoon verder, maar herlees de leerdoelen geregeld tijdens het verloop van het project en ga na in welke mate je de doelen hebt behaald en waaruit dit blijkt.

Na succesvolle uitvoering van dit project kun je:

- **Projectmanagement:**
  - een projectplan kunnen schrijven met daarin een heldere omschrijving van het doel van het project en de afbakening van grenzen (wat wel, wat niet), en een logische en complete opdeling van taken/werkpakketten met een bijbehorende evenwichtige planning en milestones;
  - gestructureerd en planmatig kunnen werken, hier op kunnen reflecteren en zonodig tijdig voorstellen kunnen doen voor aanpassing van de planning, die in overleg met de begeleider kunnen worden doorgevoerd;
  - heldere verantwoording van het gerealiseerde product en evaluatie aan de hand van de ontwerpeisen;
- **Quadcopter UAV technologie:**
  - het dynamische gedrag van een quadcopter kunnen uitleggen, de betekenis van de termen pitch, roll, yaw en thrust uitleggen, en aangeven hoe deze soorten bewegingen gegenereerd worden;
  - een technische beschrijving geven van de AR Drone 2.0, aan de hand van een SysML Block Definition Diagram, met daarin specificaties van de diverse sensoren, actuatoren, besturingshardware en software;
  - ken je de AT commando's van de Application Program Interface (API) en kun je de werking hiervan uitleggen, vergelijk Hst. 6 in [11];
  - ken je de werking van *sockets*, en kun je vanuit Python (of C, of ...<sup>1</sup>) via sockets AT commando's sturen naar de AR Drone om navigatie data (positie, oriëntatie, video) op te vragen en de Drone aan te sturen (zie [11] en vergelijk ook [17,18]!);
- **Positiebepaling:**
  - kun je de werking van een Inertial Measurement Unit (IMU) uitleggen, en aangeven waaruit de IMU in de AR Drone 2.0 bestaat;
  - kun je de positie van de AR Drone 2.0 bepalen aan de hand van sensoren bevestigd aan de quadcopter;
  - ken je de beperkingen van een IMU voor het bepalen van de quadcopter positie;
  - kun je uitleggen hoe de positie van een AR Drone 2.0 op basis van GPS bepaald kan worden;
  - kun je uitleggen hoe een indoor positie systeem werkt;
  - kun je de trilateratie methode toepassen om de positie van een UAV te bepalen aan de hand van de afstand ten opzichte van ten minste 3 referentiepunten;
- **Regeltechniek:**
  - kun je de functies van de regelaar die geïmplementeerd is op de AR Drone 2.0 uitleggen, namelijk automatisch stabiliseren en vereenvoudigen van de besturing (besturing in termen van pitch, roll, yaw en thrust ipv. het toerental en de richting van de 4 DC motors);
  - kun je uitleggen hoe de quadcopter een baan kan volgen met behulp van een feedforward regelaar en met behulp van een feedback regelaar en wat de voor- en nadelen van beide benaderingen zijn;
  - ken je de betekenis van de regelparameters Kp (proportionele versterking), Ki (integrerende versterking) en Kd (differentiërende versterking);
  - kun je de regel parameters van de quadcopter instellen met behulp van tuning regels;
  - kun je een regelaar ontwerpen, implementeren en testen, om de quadcopter zo nauwkeurig en zo snel mogelijk een bepaalde baan te laten afleggen;

---

<sup>1</sup> In principe kan elke programmeertaal die sockets kan aansturen hiervoor gebruikt worden. In dit project gaan jullie gebruik maken van Python.

- **Ethiek (onderdeel van studieloopbaanbegeleiding):**
  - kun je reflecteren op de ethische aspecten ten aanzien van het gebruik van UAV's in militaire en civiele toepassingen;
  - ben je op de hoogte van de regelgeving met betrekking tot het gebruik van UAV's;
  - kun je voorbeelden geven van de ontwikkeling van UAV's door bedrijven en de beoogde toepassing(en);
- **Netwerken (onderdeel van studieloopbaanbegeleiding):**
  - kun je je persoonlijke netwerk (online en offline) onderhouden, uitbreiden en effectief inzetten bij het behalen van je doelen;
  - jezelf presenteren in een elevator pitch;
- **Algemene ingenieurs vaardigheden:**
  - kun je zelfstandig relevante technische en wetenschappelijke literatuur vinden met behulp van zoekmachines zoals Google Scholar (<http://scholar.google.com>) en/of Research Gate (<http://www.researchgate.net>);
  - kun je deze literatuur kritisch beoordelen en op waarde schatten;
  - kun je basisoperaties uitvoeren in het besturingssysteem Linux (veel gebruikt in embedded regelsystemen, robotbesturingen, etc.), waaronder het werken in een terminal (de commando's: ls, cd, cp, mv, rm, mkdir, rmdir), het installeren van packages/apps en het werken met een editor (geany, vim of emacs) en de Python interpreter ipython of een geïntegreerde ontwikkelomgeving zoals spyder (zie evt. <http://wiki.python.org/moin/IntegratedDevelopmentEnvironments>);
  - kun je werken met een softwareversiebeheersysteem zoals git.

### 3.2 Toetsing

De toetsing is erop gericht om te bepalen in hoeverre je bovenstaande leerdoelen hebt behaald, en wordt bepaald door de volgende onderdelen:

Omschrijving	Code	Beoordelingsschaal
Project UAV	UAV-X1	cijfer 1-10 (bodempijfer: 5.5)
Tutorials (versiebeheer, positiebepaling, regeltechniek)	UAVTUT-X1	Voldoende/Onvoldoende (bodembepoordeling: V)
Studieloopbaanbegeleiding (ethiek en netwerken)	UAVSLB-X1	Voldoende/Onvoldoende (bodembepoordeling: V)

Het cijfer voor Project UAV (UAV-X1) wordt als volgt bepaald:

Cijfer presentatie	20%
Cijfer eindverslag	30%
Cijfer technische realisatie	50%

Mogelijke inhoudsopgave van het eindrapport, vergelijk dit met de leerdoelen:

1. **Inleiding**
2. **Probleemanalyse en programma van eisen**  
(gebruik hierbij een Requirements Diagram en eventueel een Use Case Diagram)
3. **Beschrijving en verantwoording van het productontwerp**
  - Globale systeem, en indeling in subsystemen met elk hun eigen functies (gebruik hierbij een Block Definition Diagram)
  - Beschrijving van het besturingsprogramma (gebruik hierbij een State-Machine)

- Diagram)
  - Functie van het positiebepalingssysteem en beschrijving van het ontwerp (type sensoren, en hoe hier positie informatie uit gehaald wordt, de nauwkeurigheid en de snelheid)
  - Functie van het regelsysteem/-systemen en beschrijving van het ontwerp (blokschemas, formules, evt. kun je gebruik maken van een Activity Diagram en/of Internal Block Diagram)
  - Functie van eventuele overige subsystemen
  - Beschrijving van de interactie tussen alle subsystemen
- 4. Beschrijving van het gerealiseerde product**  
Dit hoofdstuk beschrijft voor alle onderdelen uit Hst. 3 in welke vorm deze daadwerkelijk gerealiseerd zijn (dus alle subsystemen, en de integratie). De structuur van dit hoofdstuk kan dus vrijwel gelijk zijn aan die van Hst. 3. Geef duidelijk aan als er verschillen zijn tussen het ontwerp en de realisatie, en neem een discussie hierover op (waarom anders, wat voor eventuele consequenties heeft dit, etc.)
- 5. Beschrijving van de testresultaten en evaluatie op basis van programma van eisen**
- 6. Conclusie en aanbevelingen**

De tutorials bieden extra ondersteuning bij de uitvoering van het project, en zullen de volgende onderwerpen behandelen:

- versiebeheer (Git) (UAVVB)
- regeltechniek voor UAV's (UAVREG)
- positiebepaling van UAV's (UAVPB)

De inhoud en de opdrachten bij deze tutorials zullen bekend gemaakt worden tijdens de lessen.

## 4 Project organisatie en flankerend onderwijs

### 4.1 Project organisatie

Elke projectgroep komt minimaal wekelijks bijeen om de voortgang te bespreken, tijdens deze bijeenkomst zal in de regel ook de projectbegeleider aanwezig zijn. In week 1 zullen de tijdstippen en locatie van deze bijeenkomsten, in overleg met de begeleider, worden vastgesteld en in het samenwerkingscontract opgenomen. Op de agenda van deze wekelijkse begeleidingsmeetings zullen in ieder geval de volgende punten worden besproken (vgl. de scrum ontwikkelmethode):

- wat heeft het projectteam afgelopen week bereikt?
- wat zal het projectteam voor de volgende meeting gereed hebben?
- is er iets waardoor het projectteam vertraagd wordt?

Naast de wekelijkse begeleidingsbijeenkomsten zal de projectgroep regelmatig bijeenkomen om te overleggen en samen aan het project te werken, bij voorkeur allen op dezelfde locatie. Alle projectleden dienen aan het eind van elke week hun logboek en urenverantwoording bijgewerkt te hebben. Bij nalatigheid hierin zal eerst gewaarschuwd worden, maar kan daarna resulteren in ontslag uit de projectgroep.



Een aantal deelproducten zal in het verloop van het project opgeleverd moeten worden:

Week:	Deadline:	Beschrijving:	Inleveren bij:
1	Vrijdag 2/5	Samenwerkingsovereenkomst met daarin data en tijdstippen en locaties van de wekelijkse projectbijeenkomsten	Begeleider
1	Vrijdag 2/5	Plan van aanpak (+ globale planning + taken)	Begeleider
2	Vrijdag 9/5	Demo: positiebepaling AR Drone	Begeleider
3	Vrijdag 16/5	Gedetailleerde planning + taakverdeling + deadlines	Begeleider
4	Vrijdag 23/5	Demo: stabilisatie	Begeleider
5	Vrijdag 30/5	Concept inhoudsopgave + wie schrijft wat	Begeleider
6	Vrijdag 6/6	Demo: baanregeling	Begeleider
7	Vrijdag 13/6	Papieren en Digitale versie eindrapport	alle begeleiders Fraanje, Peski, Teylingen
8	Vrijdag 20/6	Verslag 360 graden feedback	Begeleider
9	Wordt nog meegedeeld	Eindpresentatie en demonstratie (voor: Fraanje, v. Peski en Teylingen)	

Indien de demonstraties niet volledig uitgevoerd kunnen worden, dient er wel een helder plan te zijn langs welke weg de demonstratie wel uitgevoerd kan worden, met daarin eventuele knelpunten in aangegeven.

## 4.2 Flankerend onderwijs

In de tutorials zul je aan de hand van opdrachten werken aan onderdelen die je kunt gebruiken in je project. De opdrachten worden echter apart beoordeeld.

Ook de stof van de colleges Regeltechniek en Plaatsbepaling zul je in dit project dienen te gebruiken. Daarnaast is het soms nodig, zelfstandig onderzoek te doen. Hierbij kunnen de docenten adviseren.

## Referenties

- [1] V. Kumar en N. Michael, Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles, Int. Journal of Robotics Research, vol. 31, no. 11, pp. 1279-1291, 2012. [Online] [http://www.isrr-2011.org/ISRR-2011/Program\\_files/Papers/kumar-ISRR-2011.pdf](http://www.isrr-2011.org/ISRR-2011/Program_files/Papers/kumar-ISRR-2011.pdf) (Apr. 24, 2013)
- [2] V. Kumar, Autonomous Agile Aerial Robots, TED Talks, Mar. 1, 2012 [Online] [http://www.youtube.com/watch?v=4ErEBkj\\_3PY](http://www.youtube.com/watch?v=4ErEBkj_3PY) (Apr. 25, 2013).
- [3] V. Kumar, SolidWorks World 2013 Day 2, <http://www.youtube.com/watch?v=26hcgH4eW5s> (Apr. 24, 2013)
- [4] R. Kumar, Tactical Reconnaissance: UAV's versus Manned Aircraft, Air command and staff college, 1997.
- [5] Terrorist kan eenvoudig drones inzetten, Reformatorisch Dagblad, 29 maart 2013 [Online] [http://www.refdag.nl/nieuws/binnenland/terrorist\\_kan\\_eenvoudig\\_drones\\_inzetten\\_1\\_726756](http://www.refdag.nl/nieuws/binnenland/terrorist_kan_eenvoudig_drones_inzetten_1_726756) (Apr. 24, 2013)
- [6] L. Royakkers, Militaire robot: geschikt of ongeschikt?, in: L. Royakkers, F. Damen, R. van Est, Overall Robots – Automatisering van de liefde tot de dood, Boom Lemma uitgevers, Den Haag , p. 169 , 2012.

- [7] M. Drent, K. Homan en D. Zandee, Gevechtsvliegtuigen en/of bewapende drones, Clingendael Policy Brief, Instituut Clingendael, Mar. 17, 2013. [Online]  
[http://www.clingendael.nl/publications/2013/20130300\\_policy\\_brief\\_17\\_gevechtsvliegtuigen\\_drone\\_s.pdf](http://www.clingendael.nl/publications/2013/20130300_policy_brief_17_gevechtsvliegtuigen_drone_s.pdf) (Apr. 24, 2013)
- [8] AR Drone 2.0, Parrot company, [Online] <http://ardrone2.parrot.com> (Apr. 25, 2013).
- [9] Z. Sarris, "Survey of UAV applications in civil markets", The 9th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'01), 2001.
- [10] A. Puri, "A survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance", Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida, 2005, [Online]  
<http://www.csee.usf.edu/~apuri/techreport.pdf> (Apr. 24, 2013)
- [11\*] AR Drone Developer Guide 2.0, [Online] <https://projects.ardrone.org> (Apr. 25, 2013).
- [12\*] S. Gupte, P.I.T. Mohandas, J.M. Conrad, "A survey of quadrotor Unmanned Aerial Vehicles", Proceedings of IEEE Southeastcon, page 1-6, 2012. [Online]  
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6196930> (Apr. 25, 2013)
- [13] S. Lupashin, A. Schollig, M. Hehn en R. D'Andrea, "The Flying Machine Arena as of 2010 ", Proceedings of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Shanghai, China, May 2011. [Online]  
<http://tiny.cc/fma2010> (Apr. 24, 2013).
- [14] M. Hehn en R. D'Andrea, "A flying inverted pendulum", Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference on, page 763 - 770, 2011.
- [15] Cooperative Quadcopter Ball Throwing and Catching - IDSC - ETH Zurich, [Online]  
<http://www.youtube.com/watch?v=hyGJBV1xnJI> (Apr. 24, 2013)
- [16] N. Michael, D. Mellinger, Q. Lindsey en V. Kumar, "The GRASP Multiple Micro UAV Testbed", IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 17, no. 3, pp. 56-65, 2010.
- [17\*] B. Venthur, Python-ardrone, [Online] <https://github.com/venthur/python-ardrone> (Apr. 25, 2013).
- [18\*] B. Venthur, Introducing Python-ardrone, [Online]  
<https://projects.ardrone.org/boards/1/topics/show/2952> (Apr. 25, 2013)
- [19] mplot3d module tutorial, [Online] [http://matplotlib.org/mpl\\_toolkits/mplot3d/tutorial.html](http://matplotlib.org/mpl_toolkits/mplot3d/tutorial.html) (Mei 8, 2013).
- [20] Python visual module, Reference manual, [Online]  
<http://www.vpython.org/webdoc/visual/index.html> (Mei 8, 2013)
- [21] Python Open Dynamics Engine, [Online] <http://pyode.sourceforge.net/> (Apr. 28, 2014)