KU Leuven
Departement Computerwetenschappen

P&O: Computerwetenschappen

Tussentijds verslag

Team:
Zilver

Bram Vandendriessche (Coördinator)
Arne Vlietinck (Secretaris)
Matthias Van der Heyden
Jef Versyck
Vincent Vliegen
Laura Vranken

Academiejaar 2016-2017

Samenvatting

Auteur: Laura Vranken
Dit verslag behandelt het ontwerp en de implementatie van een Autopilot en een Virtual Testbed voor een drone. In de simulator is voor de eerste mijlpaal een rode bol in een witte ruimte te zien. De drone wordt voorgesteld door een blauwe balk.Voor de tweede mijlpaal wordt deze wereld uitgebreid met een windkracht in een willekeurige richting.
De Autopilot zorgt voor een correcte aansturing van de drone. Hij bepaalt de vliegroute op basis van informatie, verkregen van twee camera's die zich op de drone bevinden. Hierbij is de relatieve plaatsbepaling van de bol ten opzichte van de drone van belang. De Autopilot leidt daaruit de beweging van de drone af en laat de simulator deze uitvoeren.
De simulator wordt interactief gemaakt door het gebruik van een *GUI*. Deze geeft de mogelijkheid het camerastandpunt te kiezen, ook de voltooiingsgraad, de snelheid en de positie van de drone worden weergegeven.

Inhoudsopgave

Inleiding

Auteur: Laura Vranken & Arne Vlietinck

Drones zijn de laatste jaren enorm in populariteit toegenomen en blijven hierdoor ook in positieve zin evolueren. Ze worden tegenwoordig gebruikt voor talloze toepassingen. De bekendste toepassing bevindt zich binnen Defensie, die drones gebruiken om informatie te verkrijgen over vijandelijk gebied zonder mensenlevens te moeten riskeren. Daarnaast hebben ook grote bedrijven (o.a. Amazon[1]) de weg naar deze technologie gevonden. De toekomst brengt echter nog veel meer voordelen. Enkele voorbeelden zijn veiligheidsinspectie van windturbines of elektriciteitslijnen, luchtsteun bij zoek- en reddingsoperaties, bewaking, luchtfotografie enzovoort. ([**?**])
Wanneer een drone autonoom functioneert, is een betrouwbare aansturing door de Autopilot van levensbelang. Hij moet namelijk bestand zijn tegen alle (eventueel extreme) weersomstandigheden.

In dit verslag gaan we verder in op hoe de autonome aansturing van een drone (en meer bepaald een quadcopter) gebeurt. Er wordt uitgegaan van een drone waarop twee camera's bevestigd zijn op een zekere afstand van elkaar. Beiden zijn ze voorwaarts gericht. Op basis van deze beelden moeten afstand en positie van het doel ingeschat worden en nieuwe bewegingsopdrachten voor de drone gegenereerd worden. Aangezien er geen hardware ter beschikking was, moet er een Virtual Testbed ontworpen worden. Dit is een softwaresysteem dat een fysieke opstelling van een drone en camera's simuleert. [**?**] De simulator genereert beelden van de drone in verschillende standpunten a.d.h.v. de verkregen bewegingsopdrachten van de Autopilot.

De Autopilot en Virtual Testbed moeten zo ontworpen worden dat de drone in staat is om zijn doel, een rode bol, te lokaliseren en er naar toe te vliegen. Dit eventueel onder lichte invloed van wind in willekeurige richtingen. Bovendien moet ook voor beiden een *GUI* ontworpen worden die ter beschikking staat van de gebruiker. De *GUI* toont de vooruitgang en laat de gebruiker toe allerlei informatie (snelheid, positie en verschillende camerastandpunten) op te vragen.

De tekst is als volgt opgebouwd. Eerst wordt het ontwerp van de Autopilot en Virtual Testbed verder uitgediept (sectie 1). Vervolgens wordt er ingegaan op de gebruikte algoritmen (sectie 2) en wordt de opbouw van onze software verduidelijkt (sectie 3). Ook wijden we uit over de toepassingen van de *GUI* (sectie 4). Tenslotte wordt er afgesloten met de uitgevoerde testen te bespreken (sectie 5) en een kort besluit (sectie 6).

1 Ontwerp

Auteurs: ; redactie: Arne Vlietinck

1.1 Drone Autopilot

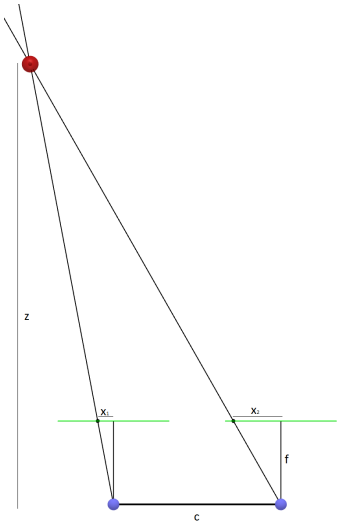
Auteur: Laura Vranken

De Drone Autopilot zorgt voor de besturing van de drone. Hij bepaalt zijn positie relatief ten opzichte van zijn doel a.d.h.v. twee beelden, gegeneerd door de dronecamera's. Bovendien kunnen ze opgevraagd worden vanuit de *GUI* van het Virtual Testbed. Vervolgens zorgt de Autopilot ervoor dat de drone juist georiënteerd staat en naar zijn doel toe vliegt. Wanneer de drone zijn doel (in deze eerste fase is dit een rode bol) bereikt, moet hij daarin blijven zweven. Tenslotte moet de Autopilot ook rekening houden met een mogelijke invloed van wind die de drone van zijn koers doet afwijken.

[1] Amazon Prime Air

Ten eerste moeten de beelden die de Autopilot van de Virtual Testbed binnenkrijgt, geanalyseerd worden. Dit gebeurt door iteratief de integer waarden van elke pixel te vergelijken met de waarde van de kleur rood. Alle rode pixels worden bijgehouden door hun positie ten opzichte van het beeld, uitgedrukt in rij en kolom, op te slaan. We baseren onze komende berekeningen op het midden van de bol. Dat midden kan bepaald worden door het zwaartepunt van de rode pixels te berekenen via het gemiddelde van de opgeslagen coördinaten.
Indien de Autopilot geen rode pixels detecteert, zal de drone 360 graden ronddraaien of m.a.w. een yaw beweging uitvoeren, totdat in beide beelden rode pixels verschijnen. Dan zal de Autopilot stoppen met draaien en zijn positie tegenover het doel berekenen.

Om zijn positie tegenover het doel te berekenen, bepalen we eerst de diepte. Dit kan met behulp van de formule van stereo vision [**?**] uitgewerkt worden. Zie figuur 1 voor een grafische weergave van de berekening.



Figuur 1: Diepteberekening tussen drone en doel. In formulevorm: $z = \frac{c*f}{x_1 - x_2}$.

Vervolgens bepalen we de hoek waaronder de drone een yaw beweging moet uitvoeren om recht naar het doel gericht te zijn. Deze formule wordt afgeleid via de goniometrische regels. Zie figuur 2 voor grafische ondersteuning.

Berekening brandpuntsafstand f:

$$\tan(\frac{\delta}{2}) = \frac{\frac{b}{2}}{f} \tag{1}$$

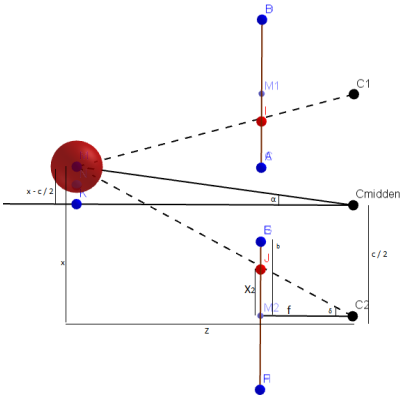
$$f = \frac{\frac{b}{2}}{\tan(\frac{\delta}{2})} \tag{2}$$

Berekening afstand x:

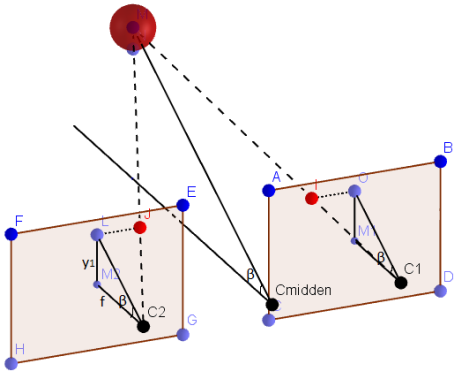
$$\frac{x_2}{f} = \frac{x}{z} \tag{3}$$

$$x = z * \frac{x_2}{f} \tag{4}$$

Om tenslotte naar het doel te kunnen vliegen, moet een evenwicht gevonden worden tussen pitch en thrust. De pitch hoek wordt gekozen zodat het zwaartepunt van het doel nog juist in beeld blijft. Die hoek is gelijk aan de helft van de verticale hoek die het beeld overspant min de verticale hoek waaronder de bol zich tegenover de drone bevindt, zie figuur 3.



Figuur 2: Relatieve horizontale hoek.



Figuur 3: Relatieve verticale hoek.

Links wordt de relatieve horizontale hoek tussen drone en doel weergegeven door $\tan(\alpha) = \frac{x - \frac{c}{2}}{z}$, voor de volledige uitwerking zie formule 1 tot 4.
Rechts wordt de relatieve verticale hoek weergegeven tussen drone en doel. De relatie wordt gegeven door volgende formule: $\tan(\beta) = \frac{y_1}{f}$.

Wanneer de pitch hoek vastligt, kan de hoeveelheid thrust berekend worden zodat de drone in rechte lijn naar het doel kan vliegen. Voor een gedetaileerde uitwerking zie 2.1.

Tenslotte moet dit proces herhaaldelijk worden uitgevoerd ten gevolge van de invloed van wind. De wind kan de drone namelijk uit koers brengen. Hierdoor zal de drone telkens zijn positie moeten herberekenen en zich opnieuw moeten heroriënteren. Ook kan de wind ervoor zorgen dat de drone een roll uitvoert. Deze moet eerst gecompenseerd worden, vooraleer we verder onze berekeningen kunnen uitvoeren.
De drone bereikt zijn doel wanneer de Autopilot niks anders dan rode pixels opvangt. De drone zal dan de opdracht krijgen om zijn pitch te compenseren en vervolgens enkel via thrust de zwaartekracht tegen te werken.
Het effectief laten vliegen van de drone gebeurt in de Virtual Testbed waar de motoren worden aangestuurd. De Autopilot zendt enkel de verhouding in graden per seconden door waaronder pitch, yaw en roll moeten worden uitgevoerd en thrust in Newton. Het is slechts door herhaaldelijk te controleren hoe ver nog gedraaid moet worden, dat kan besloten worden wanneer de beweging volledig uitgevoerd is en wanneer er gestopt mag worden.

1.2 Virtual Testbed

Auteur: Bram Vandendriessche

Voor de simulator is de belangrijkste keuze uiteraard welke library het meest geschikt is voor het bouwen, weergeven en aanpassen van 3D-werelden. Hiervoor werden Blender[2], JMonkeyEngine[3] en OpenGL[4] onder de loep genomen.
Blender is een erg uitgebreid programma met tal van mogelijkheden om 3D-objecten en -werelden te maken en manipuleren. Het maakt gebruik van Python, een programmeertaal met een vrij eenvoudige leercurve voor wie al programmeerervaring heeft. Aangezien we echter gepland hadden in Java te werken, moest gezocht worden naar een manier om Java en Python te verbinden. Bovendien zou Blender dan vanuit Java gestart moeten worden, wat een omslachtig proces bleek. Vooral omwille van de extra leertijd en deze laatste eigenschap werd niet voor Blender gekozen.
De tweede optie, JMonkeyEngine, leek erg gebruiksvriendelijk, had een goede tutorial en enkele handige ingebouwde functies, zoals het vastpinnen van een camera op een object. Helaas heeft deze

[2] `https://www.blender.org/`
[3] `http://jmonkeyengine.org/`
[4] `https://www.opengl.org/`

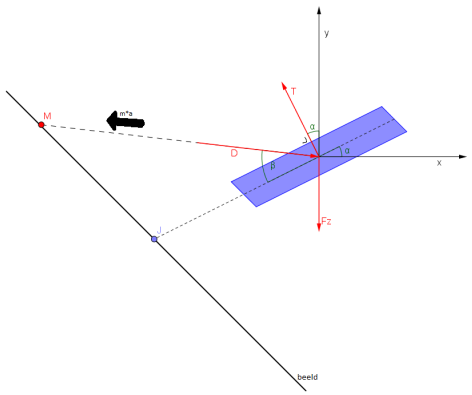
API een erg beperkte community waardoor problemen vaak zonder hulp van het internet moeten worden opgelost.
Ondanks de moeilijke beginfase bij het leren van OpenGL werd toch hiervoor gekozen. OpenGL kan rechtstreeks in Java worden gebruikt, heeft een tal van mogelijkheden, een brede community en er zijn heel wat tutorials beschikbaar.

2 Algoritmes

Auteurs: ; redactie: Arne Vlietinck

2.1 Drone Autopilot

Auteurs: Laura Vranken
De Autopilot gebruikt slechts één algoritme, namelijk om de hoeveelheid thrust te berekenen. De thrust wordt bepaald zodat de drone in een rechte lijn naar zijn doel vliegt. Zo vermijdt het onnodige bewegingen. Bovendien kan hierdoor ook de rode bol heel de tijd in beeld blijven. Een grafische voorstelling kan gevonden worden in figuur 4. Hierin is een drone onder een pitch hoek (α) voorgesteld, het zwaartepunt (M) van de rode bol staat relatief ten opzichte van de drone onder hoek β en zijn ook de drag (D), zwaartekracht (F_z) en thrust (T) voorgesteld.



Figuur 4: Grafische uitwerking van hoeveelheid thrust onder bepaalde pitch hoek.

$$\begin{cases} T * \sin(\alpha) - D * \cos(\beta - \alpha) = m * a * \cos(\beta - \alpha) \\ T * \cos(\alpha) - F_z - D * \sin(\beta - \alpha) = m * a * \sin(\beta - \alpha) \end{cases} \tag{5}$$

$$\frac{T * \sin(\alpha) - D * \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\beta - \alpha)} = \frac{T * \cos(\alpha) - F_z - D * \sin(\beta - \alpha)}{\sin(\beta - \alpha)} \tag{6}$$

$$T * \sin(\alpha) * \sin(\beta - \alpha) = T * \cos(\alpha) * \cos(\beta - \alpha) - F_z * \cos(\beta - \alpha) \tag{7}$$

Algemeen geldt er:

$$\cos(x + y) = \cos(x) * \cos(y) - \sin(x) * \sin(y) \tag{8}$$

Door 8 toe te passen op vergelijking 7 wordt volgende relatie afgeleid:

$$T = \frac{F_z * \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\beta)} \tag{9}$$

2.2 Virtual Testbed

Auteurs: Jef Versyck

Het relatief assenstelsel hangt vast aan het centrum van de drone, zodat de linkercamera zich op de negatieve X-as bevindt en de rechtercamera op de positieve. De positieve Y-as staat loodrecht op de drone naar boven en de negatieve Z-as ligt in de diepte van het computerscherm. Het assenstelsel ondergaat identiek dezelfde bewegingen als de drone.

De drone kan drie bewegingen uitvoeren: roll, pitch en yaw. Het voert eerst zijn yaw uit, dan zijn roll en ten slotte zijn pitch. De yaw roteert rond de Y-as, de roll rond de Z'-as[5] en de pitch rond de X"-as[6]. Merk op dat er een verschil bestaat tussen de roll en pitch die de drone op een gegeven ogenblik heeft en de yaw, roll en pitch die de drone moet uitvoeren om in zijn huidige positie te geraken. Daarnaast zijn door de oriëntatie van het assenstelsel zowel de roll, pitch als yaw negatieve waarden.

Door de volgorde van de drie rotaties onstaat er een specifieke transformatiematrix die, vermenigvuldigd met de coördinaten van een punt (bv. het startpunt van de linkercamera), de coördinaten van het punt na de drie rotaties bepaalt. De verandering van de yaw/roll/pitch is ook afhankelijk van deze transformatiematrix. De verandering van de pitch is immers afhankelijk van de roll: hoe groter de roll, hoe trager de pitch verandert.

De bekomen rotatiematrix:

$$R = \begin{bmatrix} \cos(Y)\cos(R) & -\cos(Y)\sin(R)\cos(P) + \sin(Y)\sin(P) & \cos(Y)\sin(R)\sin(P) + \sin(Y)\cos(P) \\ \sin(R) & \cos(R)\cos(P) & -\cos(R)\sin(P) \\ -\sin(Y)\cos(R) & \sin(Y)\sin(R)\cos(P) + \cos(Y)\sin(P) & -\sin(Y)\sin(R)\sin(P) + \cos(Y)\cos(P) \end{bmatrix}$$

De berekening van de veranderingen van yaw, roll en pitch steunt op het volgend principe:

$$R^{-1} * R * x = x$$

met R de transformatiematrix, R^{-1} de inverse van de transformatiematrix en x de algemene beweging. R * x is een relatieve beweging, zoals de verandering van de pitch. Deze relatieve beweging vermenigvuldigd met de inverse geeft de algemene beweging die de drone uitvoert voor die bepaalde verandering.

Elke drone heeft minstens twee krachten die erop uitgeoefend worden: de zwaartekracht en de thrust. De zwaartekracht is gelijk aan de massa maal de gravitatieconstante van de drone en zal altijd volgens de globale Y-as staan:

$$\vec{G} = \begin{Bmatrix} 0 \\ m * g \\ 0 \end{Bmatrix}.$$

De thrust (T) daarentegen is afhankelijk van de huidige pitch en roll van de drone. Daarom zal deze vermenigvuldigd moeten worden met de transformatiematrix, om de huidige thrust te bekomen. Het resultaat van deze vermenigvuldiging is:

$$\vec{T} = \begin{Bmatrix} T * (\sin(P) * \sin(Y) - \cos(P) * \cos(Y) * \sin(R)) \\ T * \cos(P) * \cos(R) \\ T * (\cos(Y) * \sin(P) + \cos(P) * \sin(R) * \sin(Y)) \end{Bmatrix}$$

De windkracht is een kracht die een voorafbepaalde grootte en richting heeft. Deze kracht is optioneel in de implementatie.

[5] Z-as van het relatieve assenstelsel na yaw beweging.
[6] X-as van het relatieve assenstelsel na alle vorige bewegingen.

$$\vec{W} = \begin{Bmatrix} W_x \\ W_y \\ W_z \end{Bmatrix}$$

De wrijvingskracht is een kracht die evenredig is met de snelheid (v) en een constante drag (d). Deze kracht werkt in tegen de snelheid, dus de constante is negatief.

$$\vec{F_d} = \begin{Bmatrix} v_x * d \\ v_y * d \\ v_z * d \end{Bmatrix}$$

Alle vectorkrachten die inwerken op een bepaalde drone worden vervolgens bij elkaar opgeteld. Deze vector, gedeeld door de massa van de drone, zal gelijk zijn aan de versnelling van de drone, volgens de formule:

$$\sum_{1}^{n} \vec{F_i} = m * \vec{a}$$

Ten slotte kunnen via de snelheids- en positievergelijkingen de huidige snelheid en positie berekend worden.

$$v = a * t + v_0$$
$$x = a * t^2/2 + v_0 * t + x_0$$

3 Software

Auteurs: Arne Vlietinck; Redactie: Arne Vlietinck
Tijdens het programmeren, is het belangrijk om een duidelijke structuur voor ogen te houden. Dit leidt immers tot goede leesbaarheid voor buitenstaanders en bewaart overzichtelijkheid bij lange code. Ook werd er geprogrammeerd met het doel om later gemakkelijk extra functionaliteiten te kunnen toevoegen.

3.1 Drone Autopilot

Auteurs: Laura Vranken
Om deze tekst beter te kunnen volgen, staat het klassendiagramma van dit deel in bijlage A.

Het deel van de Autopilot begint bij het creëren van een Autopilot in de *DroneAutopilotFactory* klasse, geïmplementeerd met de interface *AutopilotFactory*. Hierin wordt een Autopilot aangemaakt en worden de beginwaarden voor yaw, roll, pitch en thrust direct ingesteld. De *GUI* wordt hier ook aangemaakt.

De Autopilot wordt aangemaakt d.m.v. een nieuw object *DroneAutopilot*, geïmplementeerd met de interface *Autopilot*, aan te roepen. De *DroneAutopilot* klasse bestaat uit één functie, namelijk *timeHasPassed* die continu door de simulator wordt uitgevoerd. Vanuit deze methode wordt de klasse *MoveToTarget* aangeroepen met de uit te voeren opdracht.

De klasse *MoveToTarget* bepaalt de bewegingen en aansturing van de drone. Ook worden hier de verschillende rates doorgegeven aan de simulator. *MoveToTarget* steunt zowel op de informatie van de klasse *ImageCalculations* als van *PhysicsCalculations* om zijn bewegingen te bepalen. Bovendien wordt hierin ook telkens de *GUI* geüpdatet wanneer een nieuwe waarde voor de diepte bepaald is.
ImageCalculations is verantwoordelijk voor alles omtrent de beelden die de Autopilot binnen krijgt, m.a.w. de rode pixels zoeken en het zwaartepunt bepalen. In de klasse *PhysicsCalculations*, worden tensslotte alle fysische berekening van hoeken en afstanden uitgevoerd.

3.2 Virtual Testbed

Auteur: Bram Vandendriessche

De klasse *World* kan het hart van de structuur van de simulator genoemd worden. Ze is geïmplementeerd als een subklasse van GLCanvas en vormt zo de basis voor het visuele gedeelte van de 3D-wereld die opgebouwd wordt met openGL. *World* houdt bij welke objecten (Camera, Drone, Sphere) er in de wereld bestaan en zal zorgen dat al deze objecten getekend worden door openGL. Om te kunnen voldoen aan de specifieke opstelling voor elke mijlpaal wordt de setting telkens in een subklasse van *World* vastgelegd door implementatie van de openGL-functie *display()*. Zo is de 3D-opstelling voor de eerste twee milestones wel gelijk, maar is er in *World12* een extra *Force* die in een willekeurige richting op de drone werkt om zo wind te simuleren. Deze *Force* maakt deel uit van de fysische omstandigheden in de wereld (gedefinieerd in de klasse *Physics*) waaronder bijvoorbeeld ook de zwaartekracht valt.

Uiteraard moet de gebruiker van de simulator op een eenvoudige manier een beeld krijgen van de huidige opstelling en situatie. Daarom zorgen camera's vanuit verschillende standpunten voor beelden die eenvoudig opgevraagd kunnen worden in de grafische interface (*GUI*). De klasse *GeneralCamera* definieert de positie en de kijkrichting van de verschillende camera's en objecten van dit type. Zij geven een globaal beeld van de simulator. Een uitbreiding hiervan is de subklasse *DroneCamera* die twee beelden weergeeft vanuit het standpunt van de drone. Twee instanties worden immers aangemaakt bij initialisatie van elke *SimulationDrone*. De methodes van de interface *Camera* van de API voor de verbinding tussen Autopilot en simulator worden door *CameraDrone* geïmplementeerd. Hetzelfde gebeurt door de *SimulationDrone* voor de Drone-interface van de API.

4 GUI

Auteurs: Arne Vlietinck; redactie: Arne Vlietinck

Om de interactie en visualisatie gebruiksvriendelijk te maken, worden beide programma's voorzien van een *graphical user interface* (*GUI*). Er wordt gebruik gemaakt van Java's Abstract Window Toolkit (*java.awt*) om gemakkelijk de lay-out te programmeren. In de opgave van het project [**?**] staan er reeds richtlijnen waaraan beide *GUI's* moeten voldoen.

4.1 Drone Autopilot

Auteur: Matthias Van der Heyden

De *GUI* van de Autopilot heeft tot nu toe twee functies: de gebruiker de mogelijk geven een opdracht voor de drone te selecteren en de voortgang van de voltooiing van deze opdracht weergeven.

Voor het selecteren van een opdracht is er een dropdownmenu voorzien dat gebruik maakt van *JComboBox* uit de *Swing library*[7] van Java. Wanneer de gebruiker een optie aanduidt, verandert de boolean van deze optie naar true. Dit zorgt ervoor dat de juiste commando's voor deze opdracht uitgevoerd worden. Op dit moment is de enige optie in het menu de opdracht om naar de rode bol te vliegen, maar een uitbreiding van mogelijke opdrachten voor volgende milestones is relatief eenvoudig.

Een *JProgressBar* uit de *Swing library* van Java geeft in de *GUI* de voltooiing van de geselecteerde opdracht weer. Bij elke berekening van de afstand tot het doel wordt deze geüpdatet. Is de afstand groter dan de laatste grootste afstand tot het doel, dan stelt de progress bar deze nieuwe afstand in als het nieuwe maximum en is de voltooiingsgraad weer nul. Is de afstand kleiner, dan is

[7] *Swing library*: https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/javax/swing/package-summary.html

de nieuwe voltooiingsgraad gelijk aan 100 procent vermindert met de verhouding van de grootste afstand en de huidige afstand.

4.2 Virtual Testbed

Auteurs: Arne Vlietinck

Ook in het Virtual Testbed wordt een panel voorzien waarin de *GUI* vervat zit. In tegenstelling tot de Autopilot wordt hier gebruik gemaakt van een iets uitgebreidere lay-outvorm namelijk de *GridBagLayout*[8]. Dit zorgt voor een op maat gemaakte lay-out, die noodzakelijk was voor het uitlijnen van de verschillende functies.

De centrale functie van deze *GUI* is het selecteren van verschillende camerastandpunten. Dit kan door middel van de *JButtons* die voorzien zijn. Naargelang de hoeveelheid camerastandpunten zullen er extra buttons gegenereerd worden.
Daarnaast kunnen ook de dronecamera's apart geselecteerd worden. Zo kan de gebruiker van het programma gemakkelijk de bewegingen van de drone vanuit verschillende standpunten beleven.
Tot slot wordt ook de snelheid en de positie van de drone weergegeven. Deze wordt continu opnieuw opgevraagd en geüpdatet in de *GUI*.

5 Testen

Auteurs: Arne Vlietinck; redactie: Arne Vlietinck

Voor beide programma's worden er uitvoerig testklasses gegenereerd en uitgevoerd. Hiermee kan de correcte werking en de nauwkeurigheid van de gebruikte algoritmes gecontroleerd worden. Ook eventuele programmeerfouten komen aan het licht en kunnen op deze manier aangepast worden.
Naar gelang de milestones uitdagender worden, zullen de testklassen striktere en hogere eisen stellen aan de geïmplementeerde testen.

5.1 Drone Autopilot

Auteurs: Vincent Vliegen

De Autopilot is voorzien van enkele *JUnit* testklassen. Deze testen de verschillende gebruikte methodes op hun nauwkeurigheid en correctheid. Zo is het eenvoudiger de capaciteiten van de Autopilot aan te tonen en de beperkingen duidelijk af te bakenen.

De *ImageCalculationsTest* is uitgerust met testen voor elke methode in de *ImageCalculations* klasse. Er is gebruik gemaakt van een anonieme klasse die de *Camera* interface implementeert, zodat er afbeeldingen naar keuze gegenereerd kunnen worden. Deze afbeeldingen zijn omwille van hun grote hoeveelheid informatie beperkt tot een minimale grootte van 9x9 en 10x10 pixels, dit vereenvoudigt immers het testen. Desalniettemin zijn er ook twee .jpg bestanden ter beschikking met elk een representatief beeld van een rode bol. Dit geeft een voldoende nauwkeurig, cirkelvormige afbeelding van een rode bol voor de berekening van desbetreffend middelpunt (afbeeldingen te vinden in src/DroneAutopilot/tests/imagesToTest/*). De testen tonen aan dat
De *PhysicsCalculationsTest* verschaft testmethodes voor de *PhysicsCalculations* klasse. Ook hier zijn anonieme klassen geïmplementeerd, namelijk voor de *Camera* en *Drone* interfaces.

5.2 Virtual Testbed

Auteurs:

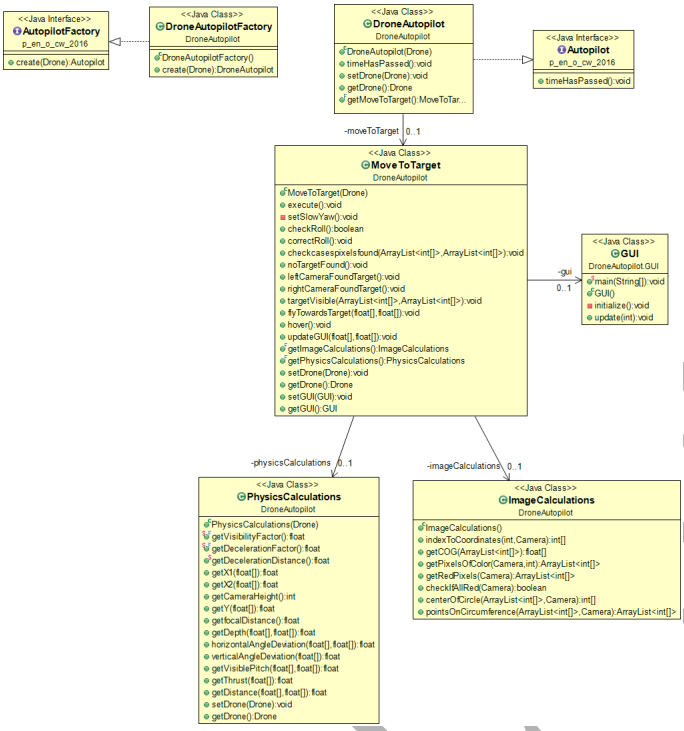
[8] *GridBagLayout*: https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/awt/GridBagLayout.html

6 Besluit

Auteurs: ; redactie: Arne Vlietinck

Referenties

A Klassendiagram Autopilot



B Klassendiagram Simulator