



Zelfstabiliserend platform voor een camerasysteem

Auteur:
Henkjan Veldhoven
0975269
TINSTG04-1

Begeleidende docenten:
Nanne Verheij
Marco Stefanch

Stagebegeleider:
Geert Mosterdijk

27 juni 2022

Voorwoord

In het derde jaar van de studie Technische Informatica gaan alle studenten op stage. Het doel van stage is om studenten praktijkervaring op te laten doen bij een bedrijf.

In september ben ik begonnen met een stage bij een grote overheidsinstantie. Vanwege meerdere redenen was de plek waar ik zat geen goede match voor mij, waardoor ik in december voortijdig ben gestopt met stage. In het tweede semester zou ik dus opnieuw stage moeten lopen. Tijdens een gesprek met mevrouw Schavemaker-Piva van de opleiding heb ik een lijst gekregen van enkele bedrijven die wellicht goed bij mij zouden passen. Hierop stond ook het bedrijf Sens2sea, waar ik uiteindelijk stage heb gelopen.

Graag wil ik Geert Mosterdijk bedanken voor de prachtige stageplek die ik heb gekregen. Zijn persoonlijkheid en bereidheid om te helpen zou elke stagebegeleider moeten hebben. Ook wil ik Henk van Gijn bedanken voor zijn hulp en alle interessante informatie over projecten waar hij mee bezig is. Verder gaat mijn dank uit naar mijn medestagiair Marijn van Dongen, die mij ontzettend veel heeft geleerd over 3D-printen en werken met een CNC freesmachine.

Henkjan Veldhoven
Rotterdam, 24 juni 2022

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Stagebedrijf.....	4
Opdracht.....	5
Probleemstelling.....	5
Gerealiseerde producten.....	5
Opdracht.....	6
Fase 1: producten testen.....	7
Software.....	7
Hardware.....	7
Fase 2: verbeteren.....	9
Fase 3: ontwerpen.....	10
Verschillende 3D-ontwerpen.....	10
Definitieve ontwerp.....	11
Elektronica.....	14
Conclusie.....	15
Aanbevelingen.....	16
Referenties.....	17
Bijlagen.....	18

Stagebedrijf

Sens2sea is gespecialiseerd in het verwerken van radarsignalen. Dankzij een geavanceerd algoritme kan er zeer goed worden gefilterd op verschillende soorten objecten. Het is bijvoorbeeld mogelijk om olievlekken op zee te detecteren. Ook is het mogelijk om hele kleine objecten, zoals vogels, niet te tonen bij de resultaten. Verder kan de software ook objecten tussen grote golven detecteren, waarmee bijvoorbeeld kleine rubberbootjes die worden gebruikt voor drugssmokkel letterlijk in kaart kunnen worden gebracht. Al deze objecten kunnen getracked worden door de software. Ten slotte is het mogelijk om aan de hand van radarsignalen een dieptekaart van de bodem te maken en de stroming in het water te detecteren.

Het bedrijf heeft weinig werknemers. Dankzij de kleine setting heb je eenvoudig contact met andere werknemers, stagiairs en relaties van het bedrijf. De directeur van het bedrijf, Geert Mosterdijk, vindt het ontzettend leuk om met stagiairs te werken. Dat is ook te merken aan zijn enthousiastme en hart voor studenten.

In vergelijking met mijn vorige stage is dit een wereld van verschil. Ik heb bewust voor dit bedrijf gekozen, omdat ik niet een herhaling van de eerste stageperiode wilde. In onderstaande tabel heb ik de belangrijkste pluspunten van Sens2sea beschreven. Hieruit blijkt dat Sens2sea veel beter bij mij past.

Vorige stage	Sens2sea
Formeel	Informeel
Meer dan 100 km rijden	Op fietsafstand
Verplicht thuiswerken i.v.m. COVID-19	Elke dag naar kantoor, of vrijwillig thuiswerken
Geen klik met stagebegeleider	Heel goed contact met stagebegeleider
Opdracht was puur programmeren	Veelzijdige opdracht

Opdracht

Met de software van Sens2sea is het mogelijk om objecten te volgen. Via een websocket worden gegevens over een geselecteerd object verstuurd. De geografische locatie, geschatte snelheid en koers worden in de vorm van een string verstuurd in de vorm “latitude,longitude,snelheid,koers”.

Probleemstelling

Op 1 januari 2019 voer de MSC Zoe langs de waddeneilanden. Rond 23 uur woei het hard waardoor het schip 345 containers verloor, waarvan een deel giftige stoffen bevat [1]. Het gevolg was een grote milieuramp: naar schatting 24 miljoen plastic korrels, containers, microplastics en meer kwam in zee terecht. Voor het milieu is het belangrijk dat de containers zo snel mogelijk worden opgespoord en gebergd.

In de Rotterdamse haven kan het gebeuren dat iemand overboord slaat. Vanwege de onveilige wateren en de kou moet de tijd dat een persoon te water is geminimaliseerd worden. In water van 5 graden Celcius overleeft een gekleed persoon doorgaans 1 uur.

Bovenstaande situaties kunnen baat hebben bij een camerasysteem dat door radarsoftware wordt aangestuurd. Met alleen een radar kan men alleen detecteren dat er iet drijft, maar is er geen informatie over de exacte grootte object en het soort materiaal. Door een camera op dit object te richten kan een persoon zien of er actie nodig is om het object uit het water te halen. Een stuk wrakhout of een zoogdier in zee dat adem haalt is geen probleem. Losgeslagen containers of personen moeten echter zo snel mogelijk uit het water worden gehaald. Op kleine afstand is het prima met het blote oog te zien, maar op een kilometer afstand is dat bijna niet te doen. Een camerasysteem kan exact op het juiste punt worden gericht.

Gerealiseerde producten

Sens2sea ontwikkelt een camerasysteem dat op boten kan worden geplaatst, waarmee objecten op het water kunnen worden gevisualiseerd.

Een vorige stagiair heeft een softwarepakket ontwikkeld dat de coördinaten van een radar kan ontvangen en aan de hand van de huidige positie de richting van de camera kan bepalen. Dit betreft de hoek van de horizontale en verticale richting, waarbij de hoek is uitgedrukt in graden. Elke paar seconden ontvangt de software nieuwe coördinaten en berekent dan de nieuwe hoeken.

Ook heeft deze stagiair een bestaand 3D-ontwerp aangepast waarop een camera kan worden gemonteerd. Dit ontwerp kan de pan en tilt (horizontale en verticale richting) van de camera aansturen. Met zijn aanpassing kan de camera ook verticaal zeer nauwkeurig bewegen. Het oorspronkelijke ontwerp had een te lage resolutie om op de gewenste afstand nauwkeurig een object te kunnen volgen.

Een andere stagiair heeft een systeem ontwikkeld dat de beweging van een schip kan compenseren. Als een camera op een boot wordt geplaatst, dan schommelt het beeld mee met het schip. Dankzij dit systeem blijft het beeld stabiel, ongeacht de schommeling van het schip.

Opdracht

Door bovenstaande twee systemen samen te voegen kan een persoon een camerabeeld vanaf een schip zien waarmee objecten op het water stabiel in beeld kunnen worden gebracht.

Mijn opdracht is het integreren van deze twee systemen.

Fase 1: producten testen

De eerste fase begon met het kennismaken met de reeds gerealiseerde producten. Mijn opdracht bouwt voort op deze twee producten, dus het is belangrijk om deze twee producten goed te kennen.

Software

De software werkte verrassend goed. Uit de beschikbare documenten kon eenvoudig worden opgemaakt hoe het systeem in elkaar zat met de gescheiden controller en user interface. Na aanpassing van enkele waarden in een configuratiebestand werkte het zoals verwacht.

De controller draait op de achtergrond en handelt alle communicatie en berekeningen af. Geografische gegevens over een te volgen object komen hier binnen en aan de hand van die gegevens wordt een hoek berekend. De user interface kan op een ander apparaat worden gedraaid, maar het is voor testen eenvoudiger om dat op hetzelfde apparaat uit te voeren. Met de user interface kunnen offsets worden ingesteld. Met een offset stel je het verschil in tussen de richting van het platform en de richting van het te volgen object. Als het platform 10 graden teveel naar rechts is gedraaid, dan stel je de offset in op -10 waardoor de camera goed wordt gericht.

Ook het platform werkt zoals verwacht. De hoek in graden wordt via een seriële verbinding ontvangen waarna de camera naar dit punt beweegt.

Hardware

Het stabiliserende platform werkte minder goed dan verwacht. Tijdens het testen kwamen er meerdere punten aan de orde die fundamenteel niet goed zijn ontworpen.

Allereerst zat er significante speling in het 3D-geprinte platform. Met de hand is duidelijk te voelen dat het centrale platform kan bewegen. Na inspectie blijkt dat de gebruikte servomotoren zodanig veel speling hebben dat de hefboom op het tandwiel kan bewegen.

Een ander groot probleem is dat het stabiliserende platform zichzelf niet stabiliseert. Indien de onderkant die aan een schip wordt bevestigd vlak is, dan is het platform ook vlak. Bij een kleine hoek lijkt het ook nog goed te gaan. Als de onderkant onder een hoek van 15 graden staat, dan staat het platform ook onder een significante hoek. Dit komt door incorrecte wiskunde in de software. De servomotor kan van -90 graden (onderaan) tot +90 graden (bovenaan) bewegen. Het platform beweegt dan ongeveer tussen -20 en +20 graden. Als de servomotor rond de 0 graden beweegt, dan klopt het aardig met de beweging van het platform. Het probleem is dat dit lineair wordt berekend in de software, terwijl dit niet lineair is. Bij een draaiing op de servomotor tussen 80 en 90 graden beweegt het platform niet veel, omdat de verticale afstand nihil is. De as op de servomotor is 2 cm lang, dus dat is $2 \times (\sin(90) - \sin(80)) = 0.03$ cm. Bij een draaiing tussen de 0 en 10 graden is het $2 \times (\sin(10) - \sin(0)) = 0.35$ cm. Voor deze non-lineairiteit is niet gecorrigeerd.

Verder is het aangrijppunt van de servomotoren niet hetzelfde. De afstand van het centrale beweegpunt naar de koppeling met de servomotor verschilt. De ene kant zit aan de buitenkant van de buitenste ring, en de ander zit halverwege het binnenste platform. Ook hier is niet voor gecorrigeerd, er wordt vanuitgegaan dat de nodige compensatie in beide richtingen hetzelfde is.

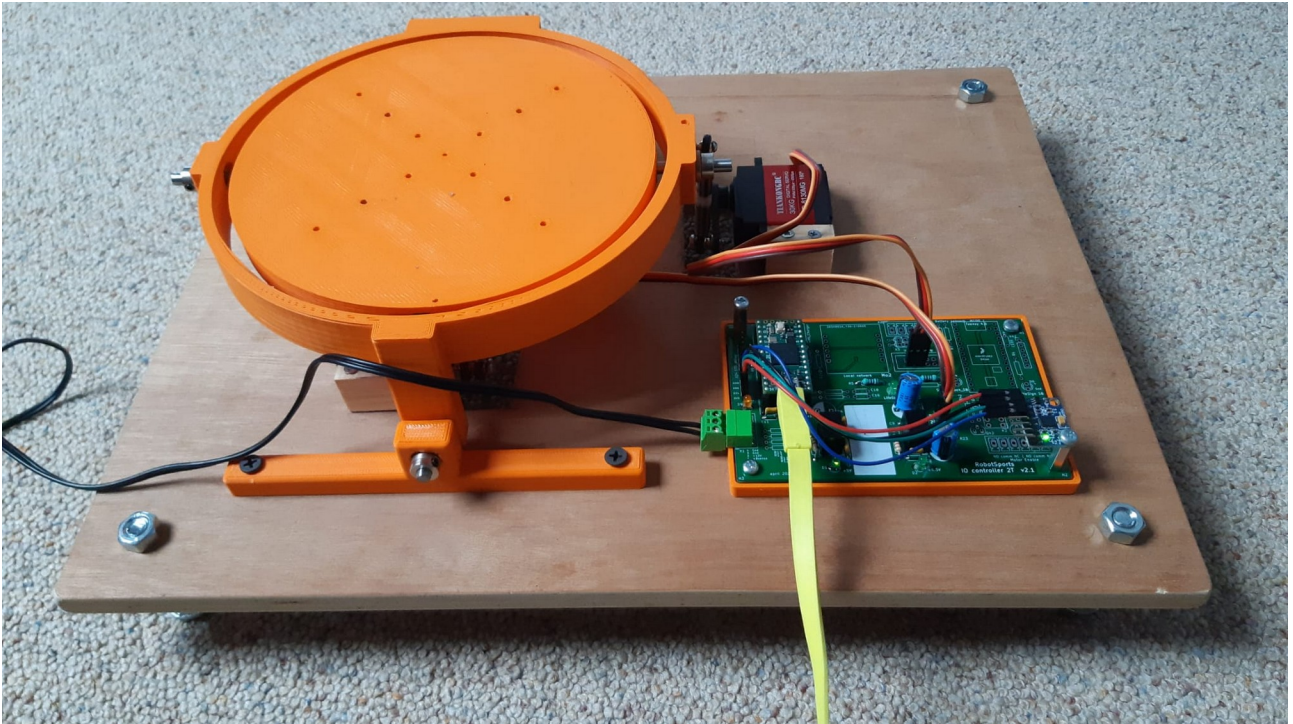


Figure 1: Product van vorige stagiair: stabiliserend platform

Ook past het 3D-geprinte camerasysteem voor de pan/tilt beweging er niet op. De ring van het stabiliserende platform komt tijdens het bewegen tegen onderdelen van het camerasysteem.

Kortom, het stabiliserende platform is niet heel goed uitgevoerd. Na overleg met de stagebegeleider zijn we tot de conclusie gekomen dat ik eerst hiermee aan de slag moet voordat ik de twee systemen kan integreren.

Fase 2: verbeteren

Het verbeteren begon met de aansturing van de servomotoren. In de software werden integers gebruikt voor de hoek in graden. Daardoor is de aansturing minder nauwkeurig dan wanneer kommagetallen worden gebruikt. Nadat een library hiervoor is aangepast kunnen de servomotoren veel nauwkeuriger worden aangestuurd.

Daarna is het algoritme om de juiste waarde voor de servomotoren te berekenen helemaal gewijzigd. De accelerometer heb ik op het stabiliserende platform gemonteerd, waardoor ik de daadwerkelijke positie van het platform kan meten. Voorheen zat de sensor op de onderkant. Het voordeel van deze montage is dat de microcontroller terugkoppeling krijgt van de aangestuurde bewegingen. Uiteindelijk heb ik een PID-regelaar geprogrammeerd en afgesteld die de fout tussen de gewenste waarde en gemeten waarde naar 0 probeert te regelen. Na uitvoerig testen is het gelukt om het platform correct te laten stabiliseren. Alle regelfouten komen terug in de terugkoppeling, en worden automatisch verholpen. Dit is getest door een telefoon op het platform te leggen met een app die toont of de telefoon waterpas ligt. Het platform werd consistent naar 0 graden afwijking bewogen.

Ook is het platform opnieuw gebouwd, ditmaal met behulp van een PVC pijp en houten platen. Door de grotere plaat aan de bovenkant was de speling in het systeem minder. Na het opnieuw afstellen van de PID parameters en het setpoint van de regelaar werkte ook dit platform stabiel. In een demonstratievideo is te zien dat het PVC-pijp-platform goed functioneert.

Fase 3: ontwerpen

De aansturing met de sensor op het bewegende platform en een PID regelaar werkt goed, maar heeft een groot nadeel: het systeem reageert altijd achteraf. Het schip draait om een van de bewegingsassen, de sensor meet het en daarna wordt de beweging pas gecompenseerd. Het camerabeeld zal dus nooit op exact de juiste plaats blijven. Dat is op te lossen door de aansturing zo te maken dat de beweging wordt geëxtrapoleerd, waardoor het platform al naar de nieuwe positie kan bewegen. Door de periode van extrapolatie gelijk te stellen aan de reactietijd van het bewegen kan het platform altijd op de juiste plek zijn. De scheepsbewegingen zijn goed te voorspellen dankzij de herhalende karakteristiek van schommelingen, en dat maakt dat het extrapoleren relatief eenvoudig.

Hiervoor zijn twee sensoren nodig met een accelerometer en gyroscoop. Een sensor is geplaatst op de onderkant en is bedoeld om de positie van het schip te meten. Aan de hand van de hoek kan het platform worden bewogen. De tweede sensor is geplaatst op het bewegende platform en dient als feedback voor de microcontroller. Bij correcte instelling is de zwaartekracht van de tweede sensor altijd naar beneden gericht (gemiddelde waarde van de accelerometer) en is de waarde van de gyroscoop (draaiing rond x, y en z-as) altijd 0 graden per seconde. Mocht de tweede sensor een andere waarde geven, dan kan daarvoor worden gecorrigeerd.

Ook is een nieuw ontwerp nodig voor de hardware. Het huidige product is absoluut geen goede basis om mee verder te werken. Halverwege de stage ben ik dus begonnen met het leren ontwerpen in FreeCAD, een open source programma om 3D-ontwerpen mee te maken. Ik had nog geen enkele ervaring met CAD programma's, dus het heeft even geduurd voordat ik hier vloeiend mee overweg kon.

Verschillende 3D-ontwerpen

Het voordeel van zelf een ontwerp maken is dat alle limitaties van het vorige ontwerp verholpen kunnen worden. Een limitatie van het -werkende-camerasysteem is dat het horizontaal niet compleet rond kan draaien. Ook kies ik voor de stabilisatie van het platform voor stappenmotoren in plaats van servomotoren, omdat stappenmotoren veel nauwkeuriger zijn en geen speling hebben.

Bij het opstarten weet het camerasysteem zijn positie niet, dus dan draait het platform naar links, net zolang tot er een schakelaar wordt ingedrukt. Daardoor weet die zijn positie, namelijk uiterst links. Het platform kan niet een compleet rondje draaien omdat de schakelaar in de weg zit. Dit heb ik verholpen met een ingenieus systeem

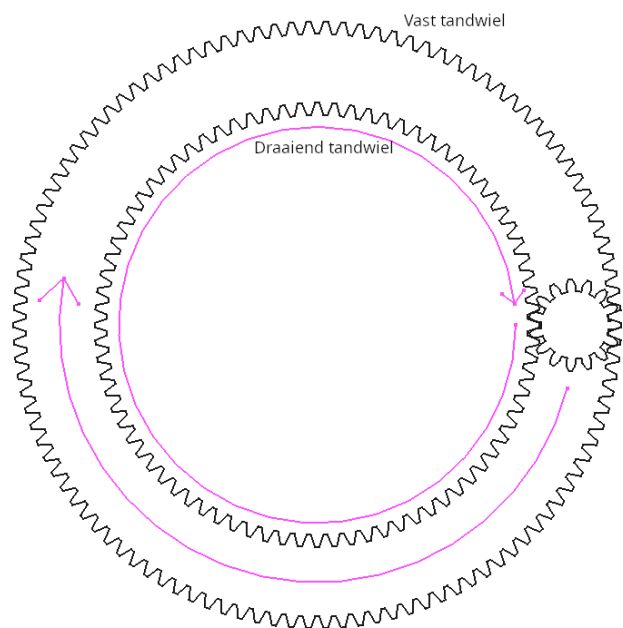


Figure 2: Tandwielen

gebaseerd op een planeetwielmechanisme. Voor de pan-beweging (horizontaal) kunnen twee objecten worden gebruikt die allebei een tandwiel hebben. De een heeft een tandwiel met de tanden naar binnen gericht, en de ander een tandwiel met de tanden naar buiten gericht. Tussen die twee tandwielen zit een klein tandwiel dat niet vast zit. Het wordt enkel op zijn plek gehouden tussen de tandwielen. Het effect van dit systeem is dat het draaiende gedeelte een complete omwenteling kan doen, en het kleine tandwiel slechts de helft.

Een eerste schets van een mogelijk ontwerp is hieronder geplaatst. Het zwarte deel zit vast, het grijze deel is het draaiende deel en het oranje blokje stelt het tandwiel voor. Het tandwiel kan worden vastgehouden door een geleiderails eromheen te printen zodat het tandwiel niet in de verticale richting kan schuiven.



Figure 3: Eerste schets

Een andere methode om een platform te bewegen is met behulp van assen met een groef erin, ook wel trapezium-spindels genoemd. Dit is een speciaal soort draadeind gemaakt voor 3D printers. Een TR8x2 spindel is 8mm breed en kan een object per omwenteling 2mm verplaatsen over de as. Het is lastig om dit te gebruiken in een ontwerp omdat het platform draait. Bij een draaiing beweegt een punt van het platform over de lijn van een cirkel, en niet een rechte lijn. Dit is te compenseren met veel wiskunde, maar dat maakt de code onnodig complex. Daarnaast is het niet eenvoudig om dit in een ontwerp te gebruiken. Andere hobbyisten op internet gebruiken deze methode ook niet.

Definitieve ontwerp

Op basis van de eerste schets en veel experimenteren met FreeCAD is het uiteindelijke ontwerp gemaakt.

De onderkant bestaat uit een platte ronde plaat met een gat in het midden. In het oorspronkelijke camerasysteem zaten de kabels voor stroom, data en video aan de zijkant vast. Dat zit in de weg als het gaat draaien. In mijn ontwerp heb ik voor deze kabels een gat in het midden gemaakt, zodat de kabels netjes opkrullen. In het midden zijn vier gaatjes op een staander gemaakt, deze komen later in het ontwerp van pas. De groef halverwege is voor een zelfgemaakt lager tussen de onderkant en

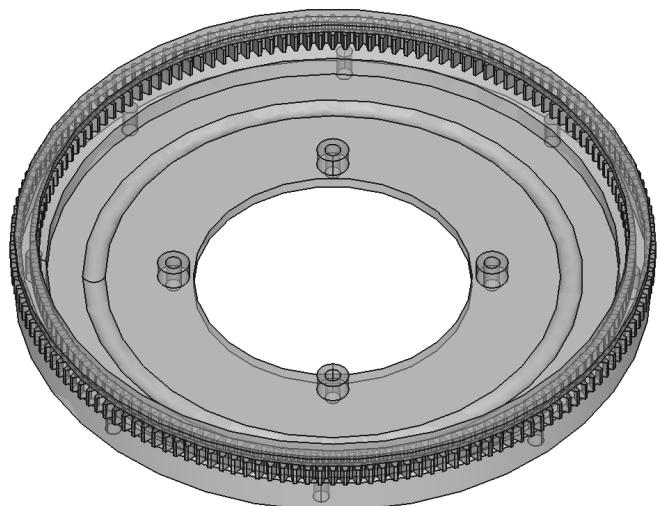


Figure 4: Onderkant

het draaiende deel. Vanwege de grote neerwaartse krachten is een soepele beweging essentieel, een lager is een goede methode om dat te bewerkstelligen. De opstaande rand bevat aan de binnenkant een groef met tanden van een tandwiel. Dit tandwiel is het buitenste tandwiel van het roller-mechanisme. Het tandwiel aan de zijkant wordt gebruikt om het draaiende deel mee te bewegen.

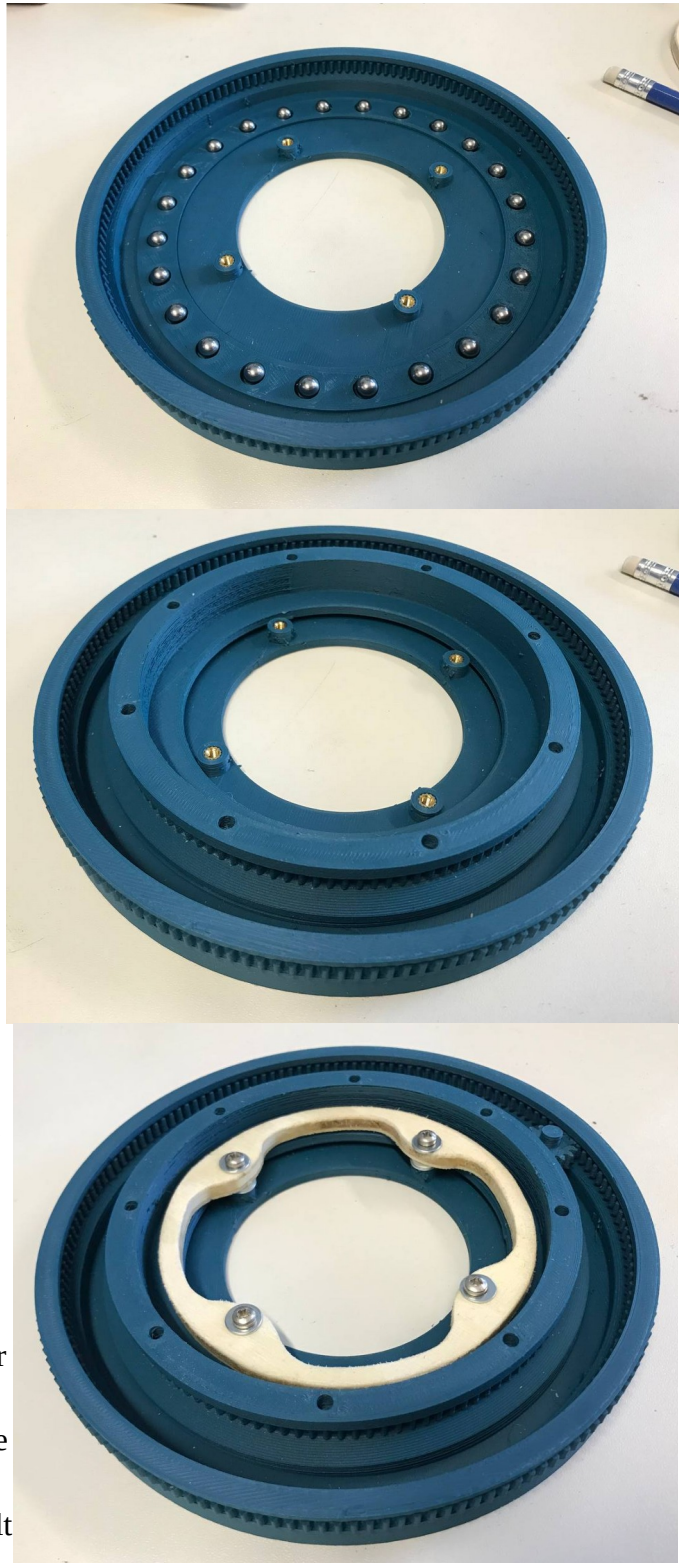
Om ervoor te zorgen dat het lager blijft werken moeten alle balletjes evenredig verdeeld blijven. Hiervoor is een ring ontworpen met een gat voor elk balletje. Voordat het geheel werd gemonteerd is het ingevet met siliconenspray. Deze spray is geschikt voor plastic onderdelen, in tegenstelling tot veel oliesoorten. Olie tast namelijk plastic aan.

In dit geheel is het draaiende platform gelegd. Het draaiende platform bevat aan de onderkant een groef voor het lager. De zijkant bevat net als de onderkant een groef met daarin een tandwiel voor het rollermechanisme. De bovenkant bevat montagegaten voor messing onderdelen met M3 schroefdraad aan de binnenkant. Op de foto zijn deze messing onderdelen al te zien in de vier staanders van de onderkant. De binnenkant van het draaiende deel bevat een ring ter hoogte van de vier staanders van de onderkant. De bovenkant van het draaiende deel steekt ongeveer 2 mm uit boven de onderkant.

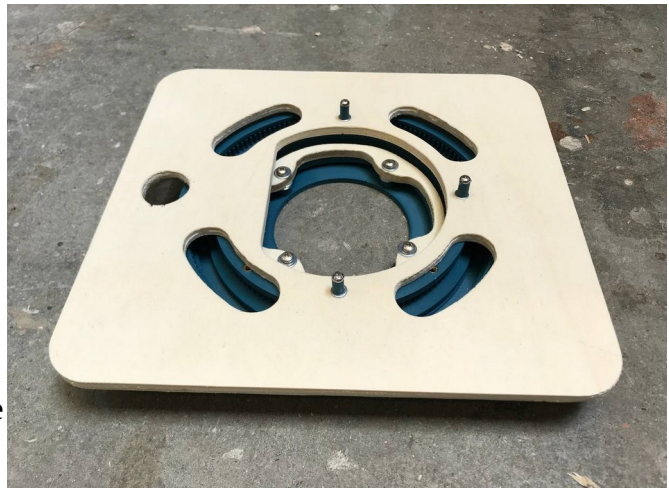
Het draaiende deel wordt vastgehouden door een ring die met schroeven vast zit aan de onderkant. Deze ring ligt boven de binnenste ring van het draaiende onderdeel. Daardoor kan het draaiende deel wel draaien, maar valt het niet uit de onderkant. Omdat dit

onderdeel geen gedetailleerde vormen bevat kon dit met een CNC freesmachine worden gemaakt. Met de Path-workbench in FreeCAD kan gcode worden gegenereerd om dit uit te frezen. Daarna moet het onderdeel alleen worden geschuurd en gaten worden geboord voor de schroeven.

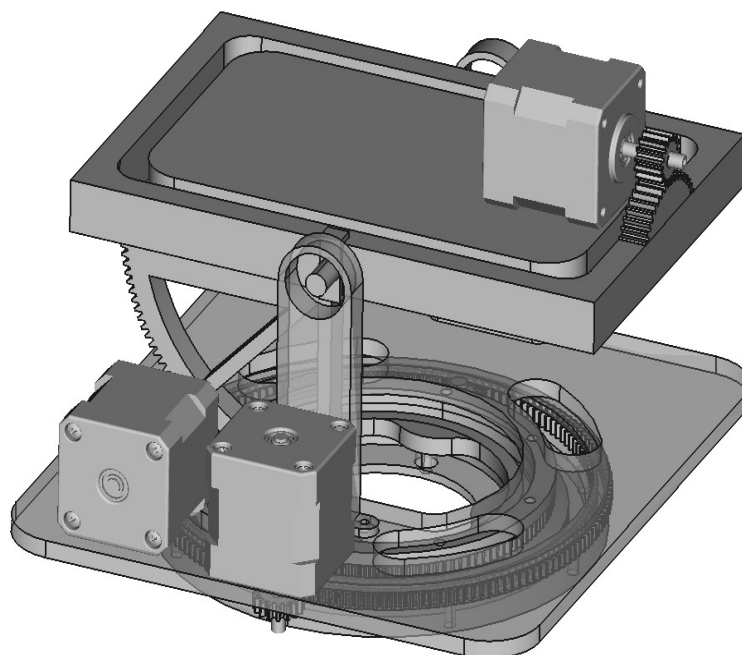
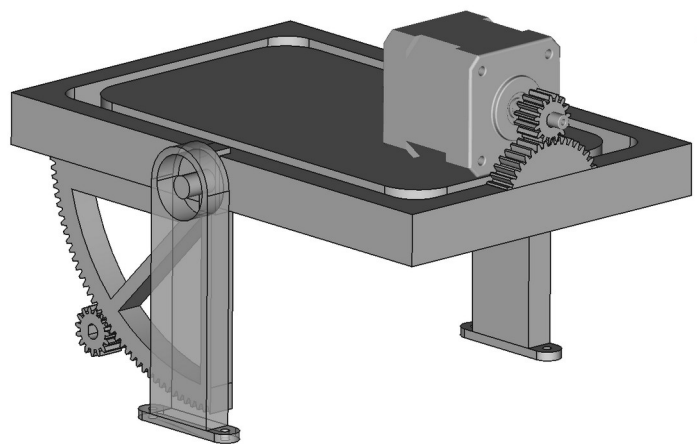
De roller is ook te zien op deze foto.



Op dit draaiende onderdeel wordt vervolgens een grote plaat gemonteerd. Hier is voor gekozen omdat hout goed te bewerken is, mocht een onderdeel uit het ontwerp niet helemaal passen. Zo is het gat voor de stappenmotor aan de linkerkant wat groter gemaakt met een afgeronde houtvijl en zijn enkele gaten geboord voor tiewraps.



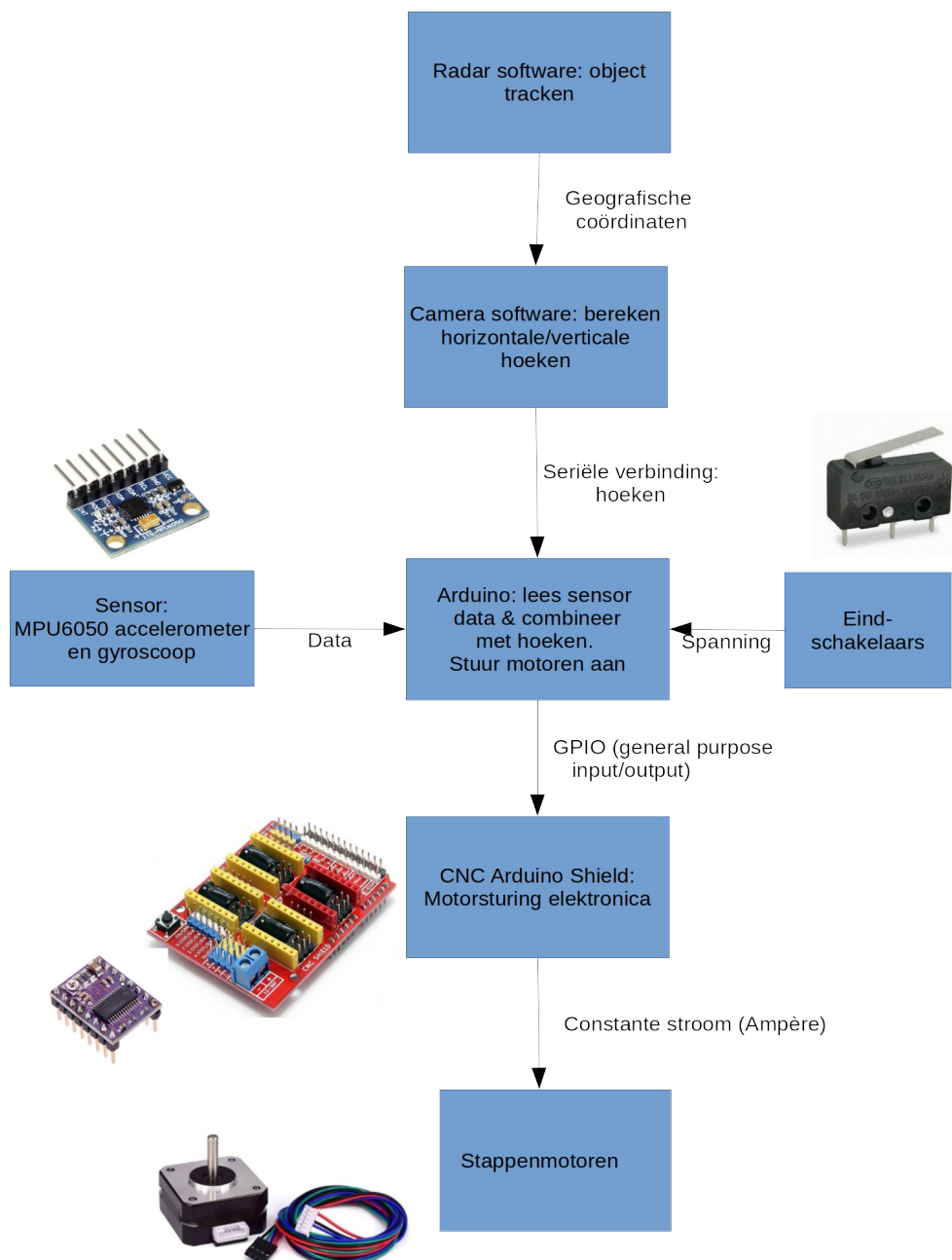
De bovenkant bestaat uit veel kleine onderdelen. Rechts is het mechanisme voor de stabilisatie van de camera getekend. Dit mechanisme is gemonteerd op de grote draaiende plaat. De camera is gericht in de lengterichting van het bovenste platform. Het beeld kan verticaal bewegen door het grote tandwiel onder aan te drijven met een stappenmotor. Dit gaat met dezelfde tandwielverhouding als voor de horizontale beweging. Om de horizon ook horizontaal te houden is bovenop nog een stappenmotor geplaatst waardoor het binnenste platform kan kantelen. Het geheel wordt op zijn plek gehouden door twee hoge staanders aan de zijkant.



Elektronica

In het verleden heb ik een tijd de studie elektrotechniek gevolgd. Hier leert men ook printplaten ontwerpen. Een printplaat zou heel mooi zijn, maar maakt het project lastiger te begrijpen voor een eventuele volgende stagiair. Daarom heb ik besloten om kant en klare printplaten te gebruiken die in elkaar gestoken kunnen worden. Voor het Arduino platform zijn deze printplaten goed verkrijgbaar en goedkoop. Daarnaast worden deze printplaten bij meer projecten binnen het bedrijf gebruikt. Mocht er iets stuk gaan, dan is het eenvoudig uitwisselbaar met andere projecten. Bovendien is het voor een werknemer/stagiair niet nodig om een nieuw platform te leren.

In onderstaand overzicht is te zien hoe het geheel werkt.



Conclusie

Het oorspronkelijke doel van het project was het integreren van het werk van twee vorige stagiaires. Het liep echter wat anders doordat een deel van het opgeleverde werk niet naar verwachting functioneerde. Na het verbeteren van de aansturing werkte het stabiliseren goed. Vanwege speling bij de servomotoren en de wens om proactief te reageren op scheepsbewegingen was het nodig om een nieuw platform te ontwerpen. Het leren omgaan met een CAD programma en het tekenen zelf kostte veel tijd, maar het resultaat is uiteindelijk heel mooi geworden.

Wat betreft het integreren is mijn opdracht niet helemaal gelukt. De software voor het camerasysteem is er, code om een platform te stabiliseren is er, en nu is er ook een bruikbaar 3D ontwerp bedacht, getekend en gebouwd. Voor het daadwerkelijk integreren was helaas geen tijd meer.

Aanbevelingen

Omdat het ontwerp zelf is gemaakt en gebouwd zijn de meeste verbeterpunten bekend. Per punt wordt beschreven wat er beter aan kan en hoe dat gerealiseerd kan worden.

Staanders voor bovenste platform

Vanwege de kleine onderkant van de staanders kunnen deze een beetje naar links en rechts bewegen. Deze moeten breder gemaakt worden voor een stabielere basis.

Montage voor eindschakelaars

In het ontwerp zitten momenteel geen montagepunten voor de eindschakelaars. Deze moeten worden ontworpen en kunnen op het platform worden gelijmd of geschroefd.

Voorspellen van scheepsbewegingen

De beweging van een schip volgt de lijn van een sinusoidale. Door de lijn te extrapoleren is het mogelijk om het platform naar de volgende berekende positie te bewegen. De vertraging in de regeling zorgt ervoor dat het platform in principe te laat reageert, tenzij het platform al op de juiste plek staat.

Data accelerometer/gyroscop combineren

Het dek van een schip deinst van links naar rechts en van voren naar achteren. Hoog op het schip is deze beweging nog veel sterker. De accelerometer zal dus uitschieters naar een zijkant hebben en geeft niet exact de richting van de zwaartekracht aan. Door het gemiddelde van een lange tijdsperiode, bijvoorbeeld 2 minuten, te gebruiken kan je wel de richting van de zwaartekracht bepalen. Dit gemiddelde wordt gebruikt om het platform gemiddeld horizontaal te houden. Om de scheepsbewegingen te corrigeren kan de data van de gyroscop worden gebruikt. De gyroscop geeft de draaiing om een as aan in graden per seconde.

Stappenmotoren

Tijdens het testen konden de motoren met enige kracht alsnog worden bewogen. Dat betekent dat de motoren niet sterk genoeg zijn, of dat de motor drivers niet goed zijn ingesteld. Mijn vermoeden is het laatste. Meet de stroomsterkte door een fase van de motor, en controleer of dit 0,4 A is. Als het te weinig is dan moet de driver op een hogere stroom worden ingesteld. Als het al minimaal 0,4 A is, dan is mijn advies om de motoren te vervangen door sterkere stappenmotoren.

Microstepping

De motor drivers staan nu ingesteld op hele stappen. Door microstepping in te stellen kan het platform veel nauwkeuriger bewegen. De microstepping is in te stellen met jumpers tussen de pin headers voor de motor drivers.

Referenties

[1] Nederlandse Omroep Stichting. 270 containers overboord geslagen bij Wadden, sommige met giftige stof. <https://nos.nl/artikel/2265891-270-containers-overboord-geslagen-bij-wadden-sommige-met-giftige-stof>. Geraadpleegd op 23 juni 2022.

[2] Willem Plet. Jaarlijks half miljoen liter olielozing in Noordzee <https://www.zeilen.nl/actueel/nieuws/half-miljoen-liter-olielozing-in-noordzee/>. Geraadpleegd op 23 juni 2022.

[3] Meerdere auteurs. FCGear Workbench. [https://wiki.freecadweb.org/FCGear Workbench](https://wiki.freecadweb.org/FCGear_Workbench). Geraadpleegd op 30 maart 2022.

Bijlagen

In de map “videos” in de opleverset is een video te vinden genaamd “demonstratie_eigen_platform”. Deze video toont het platform met dezelfde elektronische componenten als de vorige stagiair, maar dan met betere mechaniek en betere software. In het eerste deel wordt het stabiliseren getoond. Wat hier opvalt is dat het camerabeeld tijdens het omhoog bewegen iets te hoog is, en tijdens het naar beneden bewegen iets te laag. Dat komt dus doordat de extrapolatie van de positie hier niet is geïmplementeerd.

In het tweede deel van de video is te zien dat het camerasysteem om een object te volgen wel correct werkt. De eerste paar seconden worden de juiste offsets ingesteld en daarna wordt het object zonder problemen gevolgd.

Ook is in de map een video te vinden genaamd “demonstratie_ontwerp”. Hierin wordt aangetoond dat mijn ontwerp kan bewegen en de elektronica werkt.

De map “code” bevat een library en code die zijn gebruikt in dit project. “PWMServo_I” is een library voor een Teensy 4.0 microprocessor om servomotoren aan te sturen met een inverted pin.

“Stabilizer” is de code voor het verbeterde platform met een PID regelaar.

“mpu6050_to_cnc_shield” is een begin om het nieuw ontworpen platform aan te sturen. Op dit moment beweegt het alleen in de vorm van een sinus en cosinus.

Het bestand “3d_ontwerp.FCStd” bevat het nieuwe ontwerp. Met het open source programma FreeCAD kan dit bestand worden geopend.