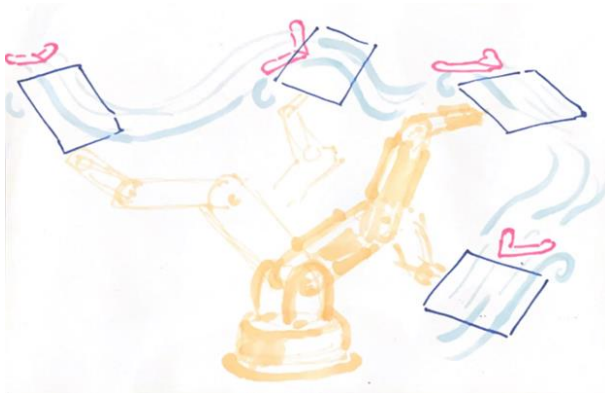


Surfen op een golf van lucht

Kunstenaar Zoro Feigl wil een robot leren spelen met papieren vliegtuigjes. Maar een robotarm zo programmeren dat die een dunne *glider* kan laten surfen op een luchtgolf blijkt nog flink lastig. Dankzij beeldherkenning en een modelsysteem komt Feigl's installatie een stap dichterbij.

Spooky action at a distance noemt hij het *Glider*-project op zijn website, met een knipoog naar Einstein's beroemde uitspraak over kwantummechanica. Kunstenaar Zoro Feigl wil een industriële robotarm leren om een kleine zweefvlieger te sturen - zonder aanraken, maar met een precieze luchtstroom voor een 'duwplaat'. Aan de deelnemers aan de Studiegroep Wiskunde met de Industrie de uitdaging om uit te vogelen hoe je een robot leert spelen met papieren vliegtuigjes.



Cartoon van het *Glider*-project. Bron: Zoro Feigl

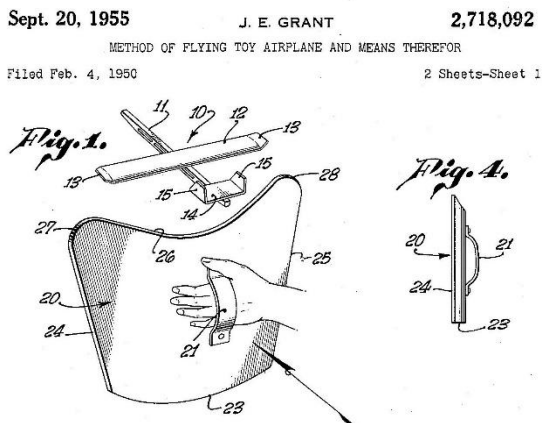
Feigl is als kunstenaar misschien een onverwachte gast tussen de bedrijven en onderzoeksprojecten waar de SWI meestal mee werkt, maar zijn vraagstuk is hier perfect thuis. Van een model voor de luchtstroming rond de duwplaat, tot beeldherkenning om het vliegtuigje te vinden op camerabeeld en een

controlealgoritme waarmee de robot het vliegtuigje zelfstandig kan sturen, alles aan *Glider* vraagt om wiskunde.

Jaren '50

Hoe kom je op zo'n idee? "Veel van mijn werk gaat over natuurlijke fenomenen uit hun context halen, op een sokkel zetten en uitvergroten", vertelt Feigl. "Vogels en vliegen vind ik fascinerend omdat lucht onzichtbaar is, maar toch kracht kan uitoefenen. Dat biedt een interessant podium om op te werken."

Feigl haalde de inspiratie voor zijn *Glider*-installatie uit 1955, toen zeilfanaat en uitvinder Joseph E. Grant een patent nam op een *Walkalong Glider*. Dat is een vederlicht vliegtuigje dat je vooruit kunt duwen en sturen met een houten duwplaat. Als je met Grant's plaat in je handen vooruit loopt, kun je met een beetje oefenen leren om een zweefvlieger te balanceren op de luchtstroom voor de duwplaat. In een filmpje laat Feigl zien hoe het werkt. Sluipend en rennend jaagt hij een flinterdun vliegtuigje door zijn atelier.



Illustratie uit het *Glider*-patent van Joseph E. Grant

"Als mens leer je dit balanceertrucje in nog geen uur", aldus de Amsterdamse kunstenaar. "Maar kunnen we het ook aan een robot leren?" Lastig is daarbij dat je als mens goed beschouwd niet weet wáár je op reageert, als je in een oogwenk besluit om je duwplaat naar links te bewegen zodat je vliegtuigje op tijd bijdraait naar rechts. Werd je getriggerd door de stand van de neus? De hoek van de vleugels? Of hoe snel het vliegtuigje weggleed uit een evenwichtspositie?

Feigl: "Ik heb een camera op de duwplaat gezet om de glider te filmen, maar het interpreteren van die beelden blijkt een hersenkraker. En zeker daarna besluiten hoe de robotarm moet bewegen om het vliegtuigje te sturen. Daarom zocht ik contact met allerlei onderzoekers, waaronder de SWI."

De kunstenaar zoekt zulke samenwerkingen vaker op: "Ik wil mijn fascinatie voor de schoonheid van de wereld delen. Je ontdekt zoveel speciaals als je maar goed kijkt. Mensen die zich enorm verdiepen in één aspect van de werkelijkheid zijn dan geweldige gidsen."

Feigl's visie blijkt te inspireren: acht wiskundigen storten zich gretig op de vraag waar je op moet letten om een glider onder controle te houden en hoe je die informatie aan een robotarm voert. Noodgedwongen virtueel, want door de corona-epidemie konden de deelnemers niet zelf in een grote hal experimenteren met papieren vliegtuigjes. Promovendus Lotte Weedage (Universiteit Twente) vertelt over hun aanpak.

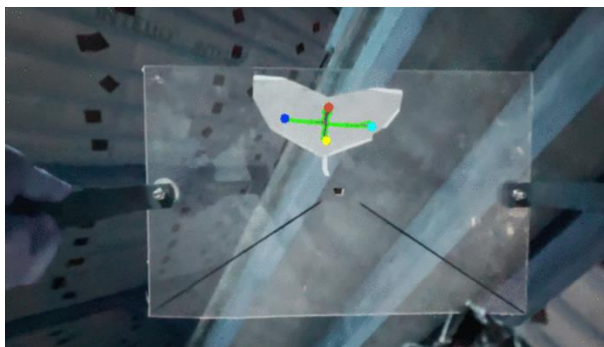
Filmpjes

Voor ze de details indoken, vroeg het team Feigl een middag lang het hemd van het lijf en brainstormden ze over wat ze in een week tijd voor elkaar zouden kunnen krijgen. Weedage, lachend: "Daar hoorde natuurlijk bij dat we gevoel moesten krijgen voor het soort gedrag dat we gingen onderzoeken. We hebben die filmpjes van Zoro wel duizend keer bekeken, ik heb nog nooit zoveel papieren vliegtuigjes gezien!"

Voor Feigl's robotarm ooit een vliegtuigje kan besturen, zal die eerst moeten weten waar en hoe het zweeft. Vervolgens vraagt aanpassing van de beweging om controletheorie, legt Weedage uit: "niet mijn eigen specialisme, maar als wiskundige heb je gelukkig een brede basis. Ik wilde juist eens over mijn grenzen heen kijken in dit project."

In een week tijd kon het team geen volledig controlealgoritme schrijven. Wel haalbaar was een combinatie van leren kijken en begrijpen. "We gingen in twee teams uiteen om meer vaart te kunnen maken", vertelt Weedage. Met acht mensen Zoomen schiet tenslotte niet op. "Ik dook met twee mede-promovendi meteen de praktijk van beeldherkenning in: kunnen we een algoritme leren om uit camerabeelden te voorspellen wanneer de glider van koers verandert? En waar moeten we dan precies op letten?"

Om te weten hoe dicht Glider's controlesysteem uiteindelijk op de bal moet zitten, dook een tweede team in de wiskunde van luchtstromingen. Bepalen hoe grillig de luchtstroom voor de duwplaat is, is namelijk waardevolle informatie voor de besturing. "Die aansturing zelf ontwerpen is nu nog een stap te ver", denkt Weedage: "ons doel was om te zorgen dat Zoro een stevige basis heeft waarop hij verder kan."

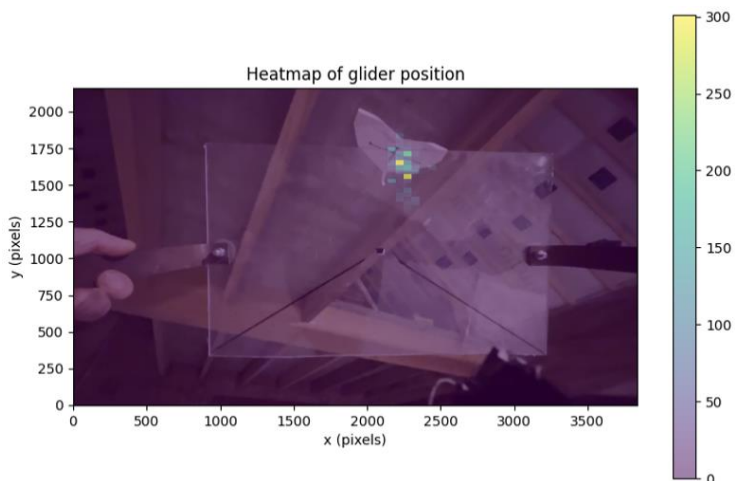


*Beeldherkenning om de stand van de Glider te bepalen.
Bron: Zoro Feigl / SWI*

Assenstelsel

Al snel ontdekt Team Beeldherkenning dat een papieren vliegtuigje volgen op camerabeeld nogal een puzzel is. Feigl heeft bovenop zijn duwplaat van doorzichtig plastic een cameraatje geplakt dat de glider in de gaten moet houden, maar een Python-programma dat Weedage's team van stal haalt, blijkt maar matig in staat om de glider te vinden op videobeelden. "Een aanpak met *deep learning* was veelbelovend, maar daar hadden we meer data voor nodig."

Nog lastiger blijkt het om uit de camerabeelden te voorspellen waar de glider naartoe zal vliegen. Weedage: "Daar moet je de stand van het vliegtuigje voor weten - waar wijst de neus heen, hoe staan de vleugels." Na een week in de papieren vliegtuig-industrie spreken de wiskundigen vloeiend vliegenierstaal voor zulke details: begrippen als *roll* (vleugelhoek), *pitch* (stijgen of dalen) en *yaw* (neus links of rechts) vliegen je om de oren.



Met beeldherkenning is de 'sweet spot' te vinden waar de Glider het liefst zweeft. Bron: SWI

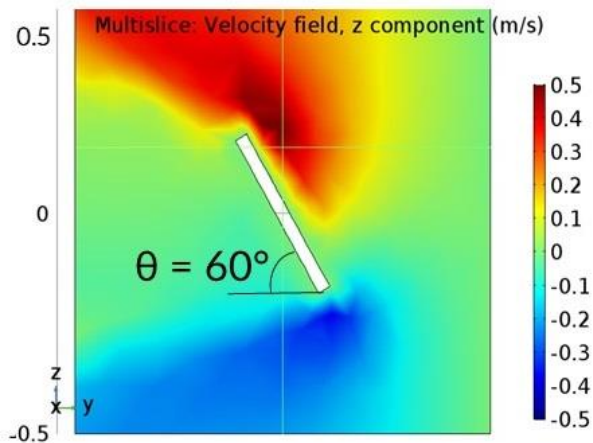
"Zoro heeft ons veel geholpen toen hij onderop zijn vliegtuigje een assenstelsel tekende en nieuwe filmpjes schoot", zegt Weedage. Door de uiteindes van die lijnen te zoeken, kreeg haar team veel beter grip op de zaak. "We konden nu de *yaw* van de glider achterhalen, dus of de neus naar links of naar rechts wijst. Daarmee blijkt prima te voorspellen of het vliegtuigje ook echt gaat draaien" Een eerste test nog maar: volgens Weedage zijn de data nog vrij ruizig, maar genoeg om op door te bouwen.

Luchtmodel

De beeldherkenningsgroep wist niet alleen te achterhalen waar de neus van hun glider heen wees, ze lieten ook zien dat het vliegtuigje liefst in een stabiele *sweet spot* boven het midden van de duwplaat hangt. Zo lang hij daar zit, gaat hij netjes vooruit. Dat blijkt ook uit de berekeningen van Team Luchtstroming.

"Ons doel was om te begrijpen en voorspellen met wat voor wind en krachten de glider te maken heeft", zegt Mark van den Bosch (Universiteit Leiden). "We hebben heel even overwogen om de Navier-Stokes-vergelijkingen uit de stromingsleer van stal te halen, maar die zijn ontzettend lastig om op te lossen. In dit geval geven ze maar weinig extra inzicht, dus hebben we een veel eenvoudiger model bedacht waar we snel mee aan de slag konden."

Team Stromingsleer begint zijn berekeningen met een ééndimensionaal vliegtuigje. Zo'n puntmassa zonder uitsteeksels wordt ook wel in papers van NASA gebruikt, maar blijkt weer te simpel om de *pitch*, *roll* en *yaw* van de glider door te rekenen. Dagelijks overleg met Team Beeldherkenning leidt ertoe dat het vliegtuigje verandert van één in twee puntmassa's: één per vleugel, wat genoeg informatie geeft om het draaien van de neus te modelleren.



Computermodel van de luchtstroming rond de duwplaat: hoe roder, hoe sneller. Bron: SWI

Wat de onderzoekers al dachten op basis van Feigl's filmpjes blijkt ook echt te kloppen: de links-rechts stand van de gliderneus is genoeg informatie om te zien of die gaat draaien. Omgekeerd is het al genoeg om de duwplaat naar links van het vliegtuig te bewegen als je een bocht naar rechts wil maken.

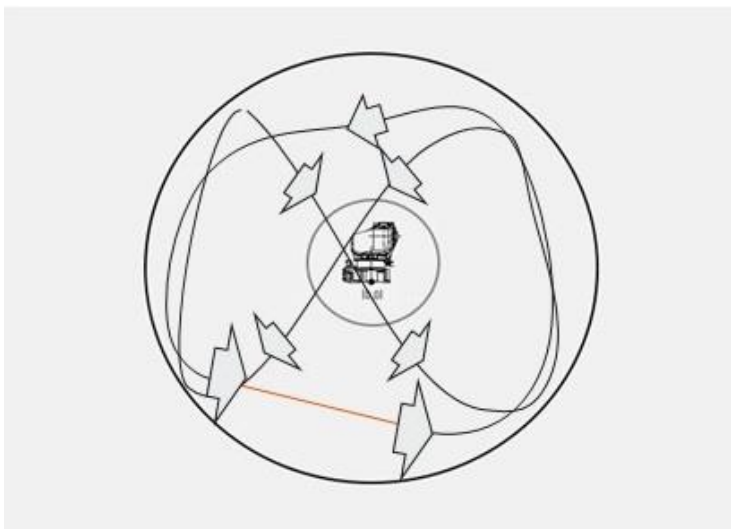
Weedage: "Uit de stromingsmodellen en uit de beeldherkenning bleek dat de glider stabiel zit in zijn sweet spot boven de duwplaat. Je kunt 'm dan best een paar seconden met rust laten. Alleen als je een bocht wil inzetten, duw je de glider bewust naar een instabiele positie, en daarna weer terug." Goed nieuws, want het betekent dat de robot niet paniekerig tientallen keren per seconde bij hoeft te sturen.

"Het hielp dat allebei de groepen zagen dat de links-rechts beweging van de neus cruciale informatie is, en dat je stuurt met de links-rechts beweging van de duwplaat", vat Weedage samen: "Dat gaf vertrouwen in onze aanpak."

Installatie

Feigl heeft aan het eind van de SWI-week geen compleet besturingssysteem in handen, maar is toch tevreden over de samenwerking. "Ik heb genoeg handvatten voor de volgende fase." Na de zomer wil de kunstenaar zijn installatie opbouwen bij kunstcentrum Tetem in Enschede. "Dan kunnen we gaan experimenteren en de boel echt inregelen. Ik hoop dan een groep techniekstudenten te vinden die me willen helpen als onderzoeksproject."

"Ik heb al zin om iedereen uit te nodigen als alles 'staat', de robotarm en het hele systeem dat camerabeeld omzet in instructies voor de robot. En dan terugkijken natuurlijk: wat hadden we met de wijsheid van nu anders gedaan, wat werkte wel en niet? Het is spannend om dat nog niet te weten, maar dit is geen puzzel die je in één keer oplost. Het is zoeken en proberen, dat maakt het interessant."



Mogelijke routes van Glider rond zijn robotarm. Bron: SWI