

# Grand challenges: de virtuele Titani

Jan Kraak j.kraak@rc.rug.nl

*De afbeelding van de Titanic in een golvende zee in de Virtual Reality (VR)-installatie van de Zernikeborg is een fraai voorbeeld van de visualisatie van het dynamisch gedrag van stromingen van vloeistoffen en gassen.*

Het begrijpen van dergelijke verschijnselen vormt de grote uitdaging voor Arthur Veldman en zijn onderzoeksgroep op het Instituut voor Wiskunde en Informatica van de Rijksuniversiteit Groningen. Deze VR-toepassing, gemaakt door Michael ten Caat als afstudeeronderwerp, is een eerste stap op een lange weg, nadat voor een eerdere poging onvoldoende grafische capaciteit beschikbaar was.

## Grand challenges

De honderden miljoenen computers op deze aarde werken voor het merendeel ver beneden hun capaciteit. Maar er zijn ook computers die constant op topcapaciteit werken, om de grote geheimen van de natuur te ontsluiten. Ik heb het nu over computers die ingezet worden voor projecten die de Amerikanen zo mooi *grand challenges* noemen. De hiervoor vereiste computersimulaties van de bestudeerde



processen produceren meestal enorme hoeveelheden gegevens. Vaak kunnen ze pas na visualisatie goed worden geïnterpreteerd. Voor dit soort onderzoek zijn steeds krachtiger computers nodig, met steeds meer geheugen en meer diskruimte. Verder moeten visualisatiesystemen steeds meer grafische performance krijgen. Dikwijls zijn onderzoekers hun hele wetenschappelijke leven bezig aan één en hetzelfde project. Aan het einde van hun carrière zeggen ze soms in bescheidenheid, dat ze een klein steentje hebben bijgedragen aan de oplossing.

## Navier-Stokes vergelijking

Aan een grand challenge-project ligt dikwijls één formule ten grondslag die een natuurlijk fenomeen beschrijft. Bovenstaande figuur toont de belangrijkste formules van zulke projecten, de

zogenaamde grand challenge equations. Links onderaan staat de Navier-Stokes vergelijking (NSV) die aan de basis staat van het onderzoek in de groep van Arthur Veldman, als hoogleeraar verbonden aan het Instituut voor Wiskunde en Informatica van de RUG. Veldman en zijn groep onderzoeken turbulenties in stromingen van vloeistoffen en gassen rond objecten zoals vliegtuigen, vaartuigen, schaatsers en golfballen.

In een eerder artikel [\(1\)](#) besteedde ik reeds aandacht aan de 'sommen' van Veldman en aan de NSV. Daarin legde ik uit dat de berekening van de stroming rond een golfbal om te begrijpen waarom het aanbrengen van kleine putjes in het oppervlak de snelheid doet toenemen, een maand in beslag neemt bij de Cray SV1E van de RUG. Toen ik Veldman het concept van dit verhaal liet lezen,

veranderde hij 'een maand' in 'meerdere maanden'.

In hetzelfde artikel vertelde ik verder dat ik bezig was om de stroming van water rond een schip, de Titanic genaamd, in de Reality Cube (CAVE) te visualiseren. De gegevens waren de resultaten van het promotieonderzoek van Theresa Helmholt.

In het artikel klinken aarzelingen door of het me zou gelukken om de onderzoekers tevreden te stellen. Ik kan nu wel vertellen waarom: ruim vijf jaar eerder deed ik een eerste poging om een stroming weer te geven met de eerste VR-installatie in Groningen. Toen die poging, waarin veel werk in was gestoken, in praktisch opzicht mislukte, bleef ik zitten met een wat 'ongelukkig gevoel'. Met het inzicht van tegenwoordig, weet ik dat ik toen betrokken was bij een, wat je zou kunnen noemen, grand challenge-project dat in feite nooit klaar is en waarbij alles wat je doet maar een heel klein stapje verder is naar een groot doel. Over die ervaring wil ik eerst wat vertellen.

#### Head mounted display

In 1996 schafte de Rijksuniversiteit Groningen haar eerste VR-installatie aan, waarmee ongeveer 600.000 polygonen per seconde konden worden afgebeeld. Deze, destijds hoge, *peak performance* werd echter zelden gehaald. De polygonen, ofwel veelvlakken, vormen de bouwstenen van

de virtuele wereld, die in stereo werd geprojecteerd op twee piepkleine beeldschermjes met een resolutie van 240\*230. Ze zaten gemonteerd op een soort bril, een zogenaamde *head mounted display* (HMD). De stereobeelden moeten minimaal tien maal per seconde (de zogenaamde *frame rate*) worden aangepast aan positie en kijkrichting, anders verdwijnt het 'virtuele' effect. Aan deze frame rate werd theoretisch voldaan als de grafische objecten minder dan 30.000 polygonen hadden. In de praktijk bleek die grens echter veel lager.

Op mijn vraag of hij een toepassing voor deze nieuwe VR-installatie had, stelde dr. Roel Verstappen van de onderzoeksgroep van Veldman voor om stromingen te visualiseren. Als voorbeeld noemde hij luchtstromingen gebruikt bij weersvoorspellingen. Uit de met behulp van de NSV berekende luchtvochtigheid zou je bijvoorbeeld de omtrekken van wolken kunnen berekenen en visualiseren als iso-oppervlakken waarop de luchtvochtigheid een constante waarde heeft. Dit doe je voor een groot aantal tijdstappen. Stel dat je het weer op een stormachtige herfst dag simuleert, dan zou je de wolken 'woest' langs de hemel kunnen zien vliegen.

#### Eerste poging

Ik ging aan de slag om een VR-animatie van iso-oppervlakken te maken, want daar komt de vi-

sualisatie van een bewegende wolkenlucht op neer. De wolkenoppervlakken maakte ik met het visualisatiesysteem AVS en voor de VR-animatie van de wolken schreef ik een speciaal C-programma [2].

Dit programma sloeg de voor een groot aantal tijdstippen uitgerkende wolken eerst in het geheugen op, en beeldde ze daarna in een tijdslus één voor één af. Hierbij bleek het geheugen de beperkende factor te zijn, waardoor de wolken maximaal slechts enkele duizenden polygonen mochten hebben. Daarom kon je geen wolkenlucht, of welke andere stromingsvisualisatie, maken die er ook maar enigszins waarheidsgetrouw uit zag.

Het was toen ook nog niet mogelijk om het aantal polygonen te verkleinen (decimeren) zonder zichtbaar effect op de wolken. Tegenwoordig heeft elk goed visualisatiepakket decimatiemethoden.

Na deze proef ben ik met de VR-animatie gestopt. Samen met dr. Andrea Hin, die ook bij VR was betrokken, toonde ik in die zelfde tijd de VR-installatie aan de scheidkundige professor Berendsen. Hij was geïnteresseerd in *molecular docking*, waarbij langs interactieve weg nieuwe chemische verbindingen worden gebouwd. Na een paar uur praten was het duidelijk dat de VR-installatie, maar ook de computers die nodig waren voor de real time simulaties, nog verre

> van toereikend waren. Het afstudeerproject van Ronald Pijnacker bij Andrea Hin en Jos Roerdink over interactie in een VR-omgeving heeft evenwel nuttige inzichten opgeleverd.

### **Tweede poging**

In 2002 nam de RUG haar huidige, tweede, VR-installatie in de Zernikeborg in gebruik met een SGI ONYX 3400. In plaats van op de twee piepkleine displays van een HMD, worden de stereobeelden nu met een resolutie van 1024\*1024 geprojecteerd op vier wanden van een halfopen kubus met een ribbe van 2,5 meter (Reality Cube), of op het gebogen scherm van een theater dat door drie projectoren wordt aangestuurd (Reality Theatre). *Shutter glasses* zijn nodig om de stereobeelden afwisselend te zien (3).

Hiermee deed ik een tweede poging, met de Titanic simulatiegegevens. De iso-oppervlakken maakte ik met de *Visualization Tool Kit* (VTK) en voor de VR-animatie schreef ik een C++-programma met Performer- en CAVELib-aanroepen.

Vergeleken met de eerste poging waren de eerste resultaten bemoedigend, al was het realiteitsgehalte nog betrekkelijk laag. Je kon over het dek van een - wat primitief vormgegeven - schip 'lopen' en de golven om je heen zien stromen. De omliggende zee en het wolkenzwerk waren evenwel niet afgebeeld. Verder zagen kritische ogen meteen dat de golven opgebouwd waren uit platte vlakjes. Maar de frame rate lag ruim boven de kritische grens van 10.

### **Afstudeeronderwerp**

Ik liet het prototype van de VR-animatie aan Arthur Veldman zien. Hij



*Visualisatie van de Titanic*

zag er gelukkig zóveel in, dat hij zijn student Michael ten Caat als afstudeeronderwerp de opdracht gaf het prototype uit te werken en geschikt te maken voor gebruik door onderzoekers die zich niet in de technische details van VR willen verdiepen. Jos Roerdink, de nieuwe hoogleraar Visualisatie, gaf ook leiding aan de opdracht.

Voor het volgende baseer ik me mede op de - ook voor buitenstaanders - interessante scriptie van Ten Caat (4).

Behalve aan techniek, besteedt hij ook aandacht aan psychologische en filosofische aspecten van virtual reality. In de paragraaf 'Vision on Vision' voert hij bijvoorbeeld de filosoof Plato op die 400 jaar voor Christus leefde.

### **COMFLO**

Michael ten Caat ging uit van numerieke gegevens geproduceerd door het programma COMFLO, waarmee stromingen in drie dimensies worden gesimuleerd. Toepassingen zijn onder meer:

(a) De hier beschreven stroming van een golf water over het dek van een schip. Deze stroming oefent, afhankelijk van de hoogte van de golven, druk uit op het stuurhuis van het schip. Als de dekplaten van het stuurhuis te dun zijn, of als de vorm ervan onjuist is, kan het bij sterke golfslag in elkaar worden gedrukt.

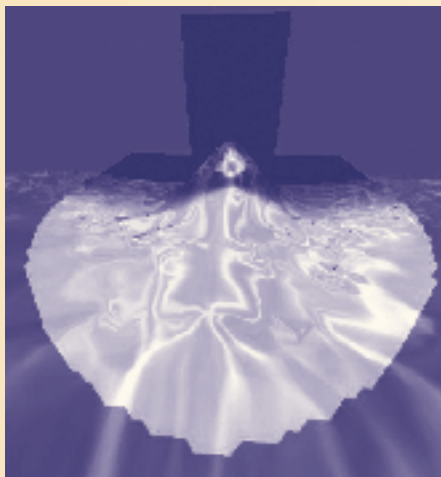
(b) Luchtgordijnen voor deuropeningen, waardoor klimaat-scheiding optreedt. Toe te passen bij winkels en vriesruimtes met geopende deuren.

(c) De afzetting van vaste stoffen op de wanden van bloedvaten, bekend als aderverkalking.

### **De virtuele Titanic**

Na een evaluatie van visualisatiepakketten koos Ten Caat voor VTK. Hij paste het uitvoerformaat van COMFLO aan op het invoerformaat van VTK, dat de iso-oppervlakken van de golven uitrekt en exporteert in VRML97-formaat. VRML staat voor *Virtual Reality Modelling Language*. Met VRML97 kan je interactie hebben met een virtuele wereld en animaties programmeren.

De golven in VRML97-formaat, alsmede de Titanic en haar omgeving, worden in de Cube en het Theatre afgebeeld door het programma VRMLVIEW. Een VRML97-file kan overigens ook bekeken worden met een moderne webbrowser. Van VRMLVIEW is ook een Linux-versie beschikbaar. Vervolgens ging Ten Caat de stromingsvisualisatie verfraaien en optimaliseren. Hij paste bijvoorbeeld *texture mapping* toe op de golven, waarbij op het wateroppervlak een weerspiegeling van een echt wateroppervlak werd



Vooraanzicht van de boeg met de druk gevisualiseerd

'geplakt'. De Titanic in de bewegende golven werd in een statisch model van een tot de horizon reikende golvende zee geplaatst. Tezamen met een statische afbeelding van fraaie wolkenpartijen boven de horizon, gaf dit de visualisatie een vrij realistisch aanzien.

Dat effect werd nog verhoogd door het geluid van beukende golven in combinatie met een gierende wind. Alleen het gekrijs van zeemeewen en albatrossen ontbreekt nog. Tenslotte werd de eerste versie van het schip vervangen door een model van de 'echte' Titanic.

#### Wetenschappelijk gebruik

Behalve deze realistische versie, die bestemd is voor presentatie- en PR-doeleinden, is er ook een versie voor wetenschappelijke doeleinden waarin de druk op het stuurhuis via kleuren is gevisualiseerd. Hier gaat het uiteindelijk om. Rood betekent een hoge druk en blauw een lage. Om de druk ook onder water te kunnen zien, is het wateroppervlak doorzichtig gemaakt.

#### Schip vol geld

Men kan concluderen dat Michael ten Caat, in samenwerking met medewerkers van het Centrum voor High Performance Computing and Visualisation (HPC&V), een interessante toepassing van de VR-installatie in de Zernikeborg heeft gemaakt.

Maar ondanks het mooie resultaat, blijven er - zoals gebruikelijk bij dit soort projecten - nog veel wensen over. Je wilt bijvoorbeeld de golven nauwkeuriger afbeelden en het schip laten meedeinen. Om de toepassing interactief te maken, moeten de golven in real time worden uitgerekend. En eigenlijk zou je de toestand van de atmosfeer (het weer), als veroorzaker van de golven, ook moeten simuleren.

Voor al dit soort wensen is 'een schip vol geld' nodig voor veel krachtiger computers en een hogere grafische performance dan we nu hebben. Er bestaan plannen om een cluster van snelle pc's met dito grafische kaarten in te zetten voor de generatie van stereobeelden.



#### Literatuur:

- (1) Kraak, J., De Cray SV1E voor grote sommen, Pictogram nr. 3, juni/juli 2002. [oldwww.rug.nl/rc/pictogram/2002-03/Cray%20SV%201e.htm](http://oldwww.rug.nl/rc/pictogram/2002-03/Cray%20SV%201e.htm)
- (2) Kraak, J. en Roerdink, J.B.T.M., A Virtual Reality Extension of the Visualization System AVS, HPCV-rapport 1, 1997.
- (3) De VR-installatie in de Zernikeborg staat beschreven op [www.rug.nl/rc/hpcv](http://www.rug.nl/rc/hpcv).
- (4) Ten Caat, M., CFD Visualization in Virtual Reality - The Titanic resurrected, 2003.