

Het praktisch gebruik van virtuele omgevingen voor ergonomische studies

Peter Werkhoven en Patrick Punte

Ook niet-realistische simulaties (vlieg- en vaarsimulaties) hebben al lang hun nut bewezen en VE is maar een klein stapje verder gegaan door de grote schermen te miniaturiseren en te verwerken in een VE helm of door grote schermen rondom te plaatsen (CAVE). Het beeld verandert daarbij ten gevolge van hoofdbewegingen zodanig dat het lijkt alsof de (virtuele) omgeving inert is. Dit biedt extra mogelijkheden, zoals het interactief vanuit een altijd juist perspectief bekijken van een omgeving, die volledig rondom gevisualiseerd wordt. Bij al deze ontwikkelingen moet één vraag altijd voorop staan: wat willen we met de simulatie en wat is daarvoor nodig? Er dient dus gereedeneerd te worden vanuit de functionaliteit in plaats van de technische mogelijkheden. Het is voldoende te streven naar een simulatie die de functionaliteit biedt om bepaalde processen te ondersteunen, zoals bijvoorbeeld het op ergonomische aspecten evalueren van een voor bepaalde taken ontworpen ruimte. Hier is realisme lang niet altijd van belang. Wel moet bijvoorbeeld voor de evaluatie van uitzicht de geometrie correct zijn en moeten voor de evaluatie van toegankelijkheid de bewegingen van de gebruiker ook in de virtuele omgeving begrensd zijn. Realisme van lichtniveau's, kleur, geluid en temperatuur en detaillering zijn hierbij niet van belang. Vanuit die gedachte zijn bij TNO Technische Menskunde (TM) studies gedaan naar het gebruik van virtuele omgevingen voor het evalueren van ontwerpen van scheepsruimtes, zoals commandocentrales en scheepsbruggen. Hiertoe zijn eerst uitgebreide validatiestudies gedaan om te verifiëren of een proef in een virtuele omgeving dezelfde resultaten oplevert als een proef in een werkelijke ruimte. Vervolgens zijn de ontwikkelde virtuele omgevingen in de praktijk gebruikt bij de evaluatie van scheepsruimtes van het Luchtverdedigings- en Commando Fregat (LCF) van de Koninklijke marine en van een sleepopperzuiger van Boskalis. Zo'n scheepsontwerpproces vormt een intrigerend samenspel tussen opdrachtgevers, ontwerpers, toeleveranciers, scheepswerven en – niet in de laatste plaats – ergonomen en toekomstige gebruikers. Het is gebleken dat VE in dit samenspel een krachtig communicatiemedium vormt tussen alle betrokkenen en tevens een bijzonder geschikt middel is om de functionaliteit van operationele ruimtes in een vroeg stadium te evalueren. In het ontwerp- en evaluatieproces wordt beschreven hoe VE hier een belangrijke rol in heeft gekregen en welke ontwikkelingen gaande zijn.

Inleiding

De term Virtual Reality is misleidend. Met name het woord Reality suggereert dat men door high-tech 3D visualisatietechnieken computer gegenereerde omgevingen als realistisch kan ervaren. Niets is minder waar. Allereerst kan de synthetische wereld alleen gezien en soms gehoord worden, maar wordt deze niet gevoeld (aanraking, wind, temperatuur) of geroken en ontbreken daarin de mensen en de communicatie daarmee. Ook geven bewegingen in de synthetische wereld ons lichaam niet de versnellingen die in werkelijkheid ervaren worden, zoals bij echt lopen, fietsen en rijden. Tegelijkertijd is het bij gebruik van head-mounted displays vaak goed zichtbaar dat we naar een korrelig beeld kijken door een klein venster op de synthetische wereld. Realisme is echter niet waarnaar in eerste instantie gestreefd hoeft te worden. Laten we daarom VR voortaan VE noemen (Virtual Environment): een virtuele omgeving die slechts bepaalde aspecten laat ervaren.

Inrichting van operationele ruimtes

Een opdracht tot het bouwen van een nieuw schip vloeit in het algemeen voort uit nieuwe eisen die aan missie of exploitatie (bijvoorbeeld minder bemanning) gesteld worden. Het ontwerp van de operationele ruimtes daarvoor (brug, machinekamer, commandocentrale, et cetera) kent een aantal fases. Allereerst wordt het doel van de werkzaamheden in de werkruimte vastgesteld, gevolgd door functieanalyses en taakallocatie-studies. Pas dan kan een ontwerp gemaakt worden van de inrichting van de werkplekken: het human factors engineering proces. De ruimtes moeten plaats bieden aan consolegroepen, instrumenten, apparaten, voorzieningen voor verlichting en klimaatbeheersing en natuurlijk de menselijke operators zelf. Het human factors engineering proces is een essentieel onderdeel van het ontwerpproces van het schip en omvat de volgende aspecten: inrichting en lay-out (veiligheid, toegankelijkheid, uitzicht vanaf brug), antropometrische aspecten van werkplekken (zitcomfort, bereikbaarheid van control panels, zichtbaarheid en afleesbaarheid van displays en control panels, onderhoud), werkomgeving (verlichting, visueel comfort, klimaat: temperatuur, vochtigheid, geluid, lawaai, trillingen) en mens-machine interfaces (functionali-

Dr. Peter Werkhoven en ir. P.A.J. Punte, TNO Technische Menskunde
Postbus 23, 3469 ZG Soesterberg.

teit, gebruiksvriendelijkheid, werkbelasting, werkwijze).

Bij de integratie van alle functionele eisen en randvoorwaarden moeten er door beperkingen in ruimte en techniek veelal concessies worden gedaan aan ergonomische richtlijnen rond comfort en functionaliteit en aan ontwerpregels voor optimale vormgeving van mens-machine interfaces. Het ontwerp kan dus niet in alle opzichten optimaal zijn en de concessies in het geïntegreerde ontwerp dienen daarom zorgvuldig geëvalueerd te worden tijdens beproevingen. Een traditionele manier om het ontwerp te evalueren is de toepassing van prototypes of mock-ups. Mock-ups zijn houten prototypes op ware grootte. Daarmee wordt de functionaliteit (bijvoorbeeld uitzicht, lay-out, antropometrische aspecten, et cetera) van het ontwerp met huidige en toekomstige gebruikers geëvalueerd. Tijdens de evaluatiefase worden in de mock-up volgens bepaalde scenario's taken verricht. De procedure voorziet in regelmatige discussies en evaluaties met ontwerpers en gebruikers, waarop aanpassingen van de mock-up kunnen volgen (een sterk iteratief proces). Het is duidelijk dat het werken met houten mock-ups zeer arbeidsintensief is, veel tijd vergt en daardoor weinig flexibel is wat betreft modificaties. Bij TM wordt daarom tegenwoordig ook gewerkt met gesimuleerde prototypes, ofwel VE.

Wat zijn virtuele omgevingen?

Elektronische mock-ups of VE bieden letterlijk en figuurlijk veel perspectief. Met een VE-bril (head-mounted display) op wordt iemand ondergedompeld in de virtuele wereld. De computer volgt zijn bewegingen en toont, aan de hand van een computermodel van de scheepsruimte, telkens het goede beeld via de helm. De brug van het schip wordt overal om hem heen zichtbaar. Naast de operationele ruimte zelf kan ook de toekomstige omgeving van het schip gevisualiseerd worden. Functionarissen kunnen zo het toekomstige schip betreden, rondlopen en de functionaliteit van de brug of brugvleugel beoordelen. Door de computer ook een dynamisch functioneel model mee te geven kunnen diverse procedures getest worden, zoals het laten zakken van reddingsbootjes, bevoorrading op zee, het oppikken van drenkelingen en af- en ontmeren. Op deze wijze is het mogelijk om tijdens een evaluatie een specifiek scenario af te draaien en daarbij het ontwerp op functionaliteit te evalueren.

De virtuele omgeving, ofwel virtual prototype, bestaat uit een product-model, een functie-model en een constructie-model.

Het product-model bevat de geometrie (vorm, afmeting), eigenschappen (materiaal, sterkte, gewicht) en visuele aspecten (kleur, glans et cetera). Huidige Computer Aided Design (CAD) systemen zijn in

staat om de definitie van een schip vast te leggen in digitale vorm en sluiten daarmee mooi aan op VE gebruik.

Het functiemodel bestaat uit beschrijvingen van de relatie tussen input en output van het model (respons op bediening, manoeuvres, et cetera) en is gebaseerd op kinematische en dynamische eigenschappen. Ook vallen hieronder zaken als bijvoorbeeld radar-cross berekeningen.

Het constructie-model, tenslotte, beschrijft de logistiek van assemblageprocessen en de bouwstrategie. Met deze drie modellen kan een virtueel prototype in een virtuele omgeving geplaatst worden en getest worden op de functionaliteit voor de operator en de haalbaarheid van het fabricageproces. Hiermee vindt het ontwerp van het schip vrijwel tegelijkertijd plaats met de ergonomische evaluatie, de planning van het fabricageproces en andere gerelateerde processen. Bij recente beproevingen van prototype operationele ruimtes door TM is een gedetailleerd product-model gebruikt, aangevuld met een eenvoudig functioneel model (bijvoorbeeld enkele vaar- en kraanbewegingen), maar is nog geen koppeling gemaakt met constructiemodellen.

In virtuele omgevingen kan men moeiteloos door wanden heen lopen. Dit leidt tot verkeerd gedrag tijdens de evaluatie. Daarom heeft TM een tussenvorm geïntroduceerd. De railing en wand van de geëvalueerde brugvleugel zijn in eenvoudige vorm uit hout opgebouwd en kloppen exact met het virtuele schip dat via de helm zichtbaar is. Zo is het mogelijk om over een echte brugrailing te leunen en tegelijkertijd het virtuele uitzicht langs het schip te beoordelen (zie Foto 1).



Foto 1

Gebruikte VE techniek

Om een virtuele omgeving te creëren moet het computersysteem weten hoe de omgeving eruit ziet (geometrisch model) en waar de gebruiker zich op elk moment virtueel bevindt (head-tracking). Pas dan kan het systeem de juiste beelden uitrekenen (beeldgeneratie), die gepresenteerd moeten worden aan de gebruiker via zeer kleine, voor de ogen geplaatste, TV-schermpjes, een Head Mounted Display (HMD).

Head-tracking

Voor head-tracking werd gebruikt gemaakt van een elektromagnetisch positiebepalingssysteem, de LongRanger, van de firma Polhemus. De LongRanger bestaat uit een bolvormige zender (40 cm doorsnee) en een ontvanger (2 cm). Deze zender genereerde laagfrequente elektromagnetische velden en was boven het hoofd aan het plafond bevestigd. De ontvanger was bevestigd aan het HMD. Zowel ontvanger als zender waren met kabels verbonden met een centrale processor die uit de in de ontvangers geïnduceerde stroompjes de positie ("x", "y", "z") en oriëntatie ("azimuth", "elevation" en "roll") van elk van de ontvangers berekende. Binnen een straal van 3 m van de zender werden de positiecoördinaten en oriëntatiehoeken van de ontvangers bepaald met voldoende nauwkeurigheid.

Beeldgeneratie

Geometrische modellen van schepen en scheepsruimtes en omgeving werden gemaakt op basis van (2D) bouwtekeningen/ontwerpen of op basis van reeds beschikbare CAD modellen (bijvoorbeeld STL formats uit CATIA). Het "real time" berekenen van hoe deze omgeving er met het juiste perspectief uitziet (projectie) vanuit een gegeven positie en kijkrichting werd gedaan door een Onyx beeldgenerator (van de firma Silicon Graphics). Er werd rekening gehouden met occlusie (welke voorwerpen voor andere liggen) en kleur en belichting als gevolg van de gekozen lichtbron.

De Onyx berekende voor elke nieuw ontvangen positie en oriëntatie van het hoofd voor elk oog de bijpassende beelden uit (stereo), zo'n 30 maal per seconde.

Head Mounted Display

De door de Onyx uitgerekende beelden werden gepresenteerd door middel van een "Eyegen 3" Head Mounted Display (HMD) van de firma Virtual Research. Het HMD bestaat uit twee Cathode Ray Tube (CRT) displays die elk voor een oog werden geplaatst en aan het hoofd bevestigd door middel van een hoofdbandconstructie (totaalgewicht van 690 g).

De Eyegen 3 biedt een volledig stereoscopisch kleurenbeeld dat bestaat uit 250 (verticaal) bij 493 (horizontaal) beeldelementen en bestrijkt een gezichtsveld van 40 graden diagonaal.

VE bewezen

Bij Technische Menskunde is inmiddels flink wat ervaring opgedaan met deze techniek. In opdracht van en in samenwerking met de Koninklijke Marine zijn verschillende nieuwe brugconcepten ("open" en "gesloten" brugvleugelvarianten) van het binnenkort te bouwen LCF geëvalueerd met VE technieken (Werkhoven, Post en Punte, 1997). Hiertoe beoor-

deelden diverse commandanten en navigatieofficieren, aan de hand van specialistische vragenlijsten, de functionaliteit van de verschillende varianten. Deze evaluaties vonden plaats aan de hand van scenario's waarbij een aantal kritieke werksituaties voorkomt. Voorbeelden hiervan zijn meren en ontmeren, bevoorradings op zee en een man-overboord procedure.

De bevindingen zijn uitermate positief.

Participatie: de belangstelling en samenwerking van ontwerpers, toekomstige gebruikers en opdrachtgevers was groot. Het visualiseren van het ontwerp in een vroeg stadium van het ontwerpproces leidt bij de verschillende deelnemers tot een grotere betrokkenheid bij het ontwerpproces en een beter begrip van elkaars standpunten met betrekking tot het ontwerp.

Risicoreductie: diverse, soms ernstige, uitzichtproblemen door stoorzenders, consoles en raamstijlen en geblokkeerd zicht op dekpersoneel kwamen snel naar voren. Deze waren uit (CAD)tekeningen nog niet gebleken.

Kwaliteit: virtuele omgevingen zijn flexibel en modificaties kunnen snel worden aangebracht. Hierdoor ontstaat een vrijer ontwerpproces met meer afwijkingen om tot een optimaal ontwerp te komen.

Kosten reductie: omdat het aantal nodige iteraties van het ontwerpproces omlaag gaat, resulteert virtual prototyping in snellere besluitvorming, lagere kosten en verminderde kans op fouten wat betreft de functionaliteit van het ontwerp. Een evaluatie van het LCF project heeft uitgewezen dat het in deze vroege ontwerpfase detecteren van de verkeerde plaatsing van een stoorzender heeft voorkomen dat de stoorzender in de uiteindelijke bouwfase verplaatst had moeten worden, met als extra kosten zo'n twee tot driehonderdduizend gulden per schip.

In het algemeen kan gezegd worden dat het iteratieve ontwerpproces wordt versneld en dat het optimale concept een betere kans krijgt.

Zeer positieve ervaringen zijn inmiddels ook opgedaan met toepassen van VE bij het ontwerpen van een sleepopperzuiger (de Fairway) van Boskalis en het ontwerp en evaluatie van een scheepsbrug voor een chemische tanker in het kader van het Europese ATOMOS II project. Daarbij zijn VE-technieken op vergelijkbare wijze ingezet.

Ontwikkelingen

Manipulatie in VE

VE is op dit moment een volwassen operationele techniek voor het evalueren van uitzicht en lay-out, waarbij het kunnen rondkijken en navigeren in de virtuele omgeving voldoende functioneel is. VE kent echter een veel breder scala van toepassingen op

gebieden als interactief ontwerpen, training en opleiding en teleoperaties in of via virtuele omgevingen. Daarom zijn methoden ontwikkeld en geëvalueerd die het mogelijk maken om ontwerpers/ergonomen/gebruikers in virtuele omgevingen via directe manipulaties met de hand virtuele voorwerpen te laten manipuleren en het ontwerp interactief aan te passen. Hiervoor wordt een speciale handschoen met sensors (DataGlove) gebruikt waarmee in VE een virtuele hand gekoppeld wordt aan de echte hand en virtuele voorwerpen gepakt en verplaatst kunnen worden. Experimenten naar het gebruik van virtuele handen in VE (Werkhoven en Groen, 1998; Groen en Werkhoven, 1998) hebben laten zien dat manipulaties van voorwerpen in VE met een virtuele hand veel sneller en nauwkeuriger zijn dan wanneer hiervoor een traditionele mouse-cursor besturing gebruikt wordt.

Koppeling aan logistieke processen

In samenwerking met TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium is in opdracht van de Koninklijke Marine gewerkt aan een prototype systeem waarin de mogelijkheden van VE verder worden uitgebuit. Door een deel van het ontwerp aan te wijzen kan eenvoudig om specifieke informatie van het ontwerp worden gevraagd. Gegevens over materialen, sterkteberekeningen, logistieke planning en bouwstrategieën komen daarmee direct voorhanden.

In het algemeen zijn voor het ontwikkelen en produceren van nieuwe operationele platformen diverse expertises nodig vanuit de opdrachtgevers, de werven, rederijen en de industrie. De 'lessons learned' van operaties en logistiek brengen telkens weer nieuwe operationele eisen naar voren leidend tot een cyclisch proces van engineering, constructie, testen, trainen, waarbij de operatie zelf de loop weer sluit. Dit proces wordt vaak gefrustreerd door het feit dat er geen geïntegreerde infrastructuur beschikbaar is om ideeën uit te wisselen, problemen en deelproducten te bespreken en om de voortgang van verschillende deelnemende teams in de gaten te houden. Het is duidelijk dat een ideale oplossing zou zijn een geïntegreerde omgeving waarin alle aspecten van het ontwikkelingsproces van een platform 'zichtbaar' worden. Een dergelijke infrastructuur heeft de potentie om de kosten van de volledige life cycle van een platform te reduceren. De ontwikkeling daarvan vraagt om een grote betrokkenheid en samenwerking van deelnemende industrieën en kennisinstellingen.

Onderzoeksactiviteiten wereldwijd (Henry, 1997; Martin, 1997; Yoshimura et al., 1997; Gomez, 1997) zijn momenteel gericht op het verbeteren van de technologie van het virtuele schip tot op een niveau dat integratie toelaat van verschillende simulatie-technieken en systemen die de verschillende compo-

nenten van het volledige schip vertegenwoordigen. Een dergelijke integratie maakt het mogelijk dat verschillende gebruikers virtueel door het schip kunnen lopen en kunnen interacteren met on-board systemen en andere platformen. Het virtuele schip wordt daarmee een omgeving om concepten te evalueren, eisen te verifiëren, ontwerpen, systemen en constructies te testen en om toekomstige operators te trainen.

Zo nemen de gebruiksmogelijkheden van het virtuele prototype snel toe. Deze mogelijkheden worden grondig gevalideerd, want de resultaten moeten natuurlijk wel kloppen met de praktijk. Het lijkt echter onontkoombaar dat het virtuele prototype het scheepsontwerpproces wezenlijk vernieuwt.

Computer ondersteund ergonomisch ontwerpen

VE is op dit moment slechts één van de technieken die toegepast worden in het computer ondersteund ergonomisch ontwerpproces. Naast de functionele analyses die worden uitgevoerd met VE, worden operationele ruimten bij TM eveneens op fysieke aspecten geëvalueerd met behulp van geavanceerde elektronische mensmodel-pakketten, zoals het Boeing McDonnell Douglas Human Modelling System (BMD HMS). Met behulp van een goede interface tussen het CAD pakket ProEngineer en BMD HMS, kunnen gemaakte ontwerpen zeer snel op antropometrische aspecten worden geëvalueerd. Om deze ergonomische aspecten, zoals bereikbaarheid en zichtbaarheid van instrumenten, te beoordelen wordt gebruik gemaakt van drie-dimensionale mensmodellen, de zogenaamde manikins. Deze manikins kunnen worden gemodelleerd met behulp van BMD-HMS op basis van diverse gemiddelde en individuele antropometrische gegevens van de gebruikerspopulatie (zie Foto 2). Mensmodel-pakketten hebben de volgende voordelen:

- Net als bij VE ondersteunt de visualisatie van de werkplek met behulp van een mensmodellenpakket de communicatie tussen verschillende deelnemers aan het ontwerpproces;
- Een manikin kan in een uiterst oncomfortabele houding worden gepositioneerd zonder dat hij begint te klagen of een andere houding aanneemt;
- Een manikin zit onbeweeglijk, tot het moment waarop hem gevraagd wordt te bewegen. Hierdoor kunnen betere en betrouwbare metingen worden gedaan dan met echte proefpersonen.
- Een manikin is gemakkelijker te bekijken;
- Het is mogelijk geëxtrapoleerde populaties te bekijken, bijvoorbeeld die in 2015, wanneer veel operationele ruimtes naar alle waarschijnlijkheid nog operationeel zijn;
- Met digitale technieken kunnen antropometrische extrema opgenomen worden. In de praktijk zijn deze extrema veelal moeilijk te vinden.

- Een ontwerp kan in korte tijd geëvalueerd worden aan de hand van duizenden manikins uit digitale data-bases die met computers in het digitale ontwerp geplaatst worden. Dergelijke proefnemingen met echte proefpersonen zijn vaak te kostbaar of tijdrovend.

Naast de toepassing van mensmodelsystemen, werkt TM ook aan de validatie van deze systemen. Met andere woorden: met welke nauwkeurigheid kan een ontwerp worden geëvalueerd. Momenteel wordt gewerkt aan een internationale standaard waarmee verschillende mensmodel-pakketten kunnen worden getoetst.

Een parallelle ontwikkeling is de integratie van mensmodellen met VE. Het doel hierbij is om in VE je eigen, maar ook andermans lichaam aan te sturen. Zo kan een gebruiker beoordelen hoe bijvoorbeeld het bereik is van een zeer kleine of zeer grote persoon.

Referenties

Gomez, P.

1997 *Telematics: A challenge to concurrent engineering*. Proceedings of the 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Yokohama, Volume 2, p. 411-425.

Groen, J. en Werkhoven, P.

1998 *Visuo-motor adaptation to virtual hand position in interactive virtual environments*. Presence, Vol. 7, Nr. 5, p. 429-446.

Henry, G.

1997 *The use of simulation in the design and procurement of naval systems*. Proceedings of the 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Yokohama, Volume 2, p. 137-148.

Martin, J.

1997 *Virtual Reality techniques for ship and submarine design*. Proceedings of the 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Yokohama, Vol. 2, p. 149-162.

Werkhoven, P., Post, W.M. en Punte, P.A.J.

1997 *Validation of ADCF bridge concepts using Virtual Environment techniques*. In the proceedings of the Eleventh Ship Control Systems Symposium (Ed: P.A. Wilson), Computational mechanics Publications, Southampton, 339 - 352.

Werkhoven, P. en Groen, J.

1998 *Manipulation performance in interactive virtual environments*. Human Factors, In print.

Yoshimura, T., Oshiba, T., Yano, H., Iida, A. en Nakagawa, T.

1997 *Overview of the CIM for shipbuilding at Mitsubishi Heavy Industries*. Proceedings of the 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, Yokohama, Volume 1, p. 53-67.

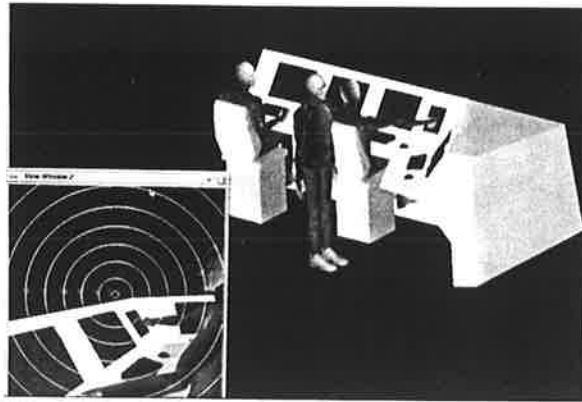



Foto 2



ergonomische meubelen

Vakkundig advies aanwezig


STOKKE
BALANSTOELN

FAUTONS OP
MASSE

RELAX- EN
ONTSPANNINGS-
FAUTONS

SLEPEN OP
COMFORT-
HOOGTE

WERKSTEL-
MEUBEL &
PROJECT-
MEUBELN



Gaertner Ergonomische Meubelen V.O.F.
Heijendaalseweg 165 - 6525 SE Nijmegen
Telefoon: (024) 356 83 90 - Telefax: (024) 356 13 92
Ruime parkeerplaats, * maandags gesloten, geen koopavond