

Real-time visuele simulatie met texturen

Ir J.M. de Baat
Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO
Oude Waalsdorperweg 63
2509 JG 's Gravenhage

Samenvatting

Een complex onderdeel van trainers en simulatoren is het zichtsysteem. Voor het genereren van 50 realistische beelden per seconde is echter nog al wat rekenkracht nodig. Onderzoek bij het FEL-TNO heeft aangetoond dat toepassen van parallel processing technieken de gewenste rekenkracht kan leveren. Een overzicht van de ontwikkelingen op dit gebied geeft aan dat een verschuiving is opgetreden van pijplijn parallelisatie in de lengte naar farming parallelisatie in de breedte. Het realisme van de gegenereerde beelden wordt verhoogd door gebruik van fotografisch materiaal, texturen genaamd. Deze texturen leveren een grotere mate van detail en realisme vergeleken met de gebruikelijke visualisatie met kleurveranderingen op basis van lineaire interpolaties (Gouraud).

Inleiding

Een van de speerpunten van onderzoek op het FEL-TNO is het gebied van trainers en simulatoren. De huidige ontwikkelingen in de defensietechnologie en de toenemende zorg voor het milieu leggen steeds grotere beperkingen op aan het oefenen in de praktijk. Een praktische oplossing voor dit probleem is de inzet van trainers en simulatoren. De voordelen zijn duidelijk:

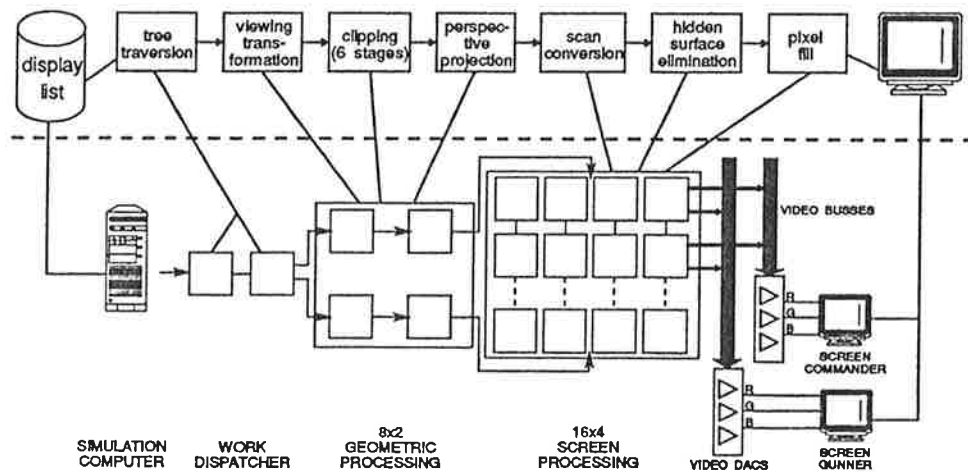
- Besparingen op onderhoud en gebruik van materieel.
- Minder schade aan het milieu.
- Oefenen van extreme omstandigheden zonder direct gevaar voor personeel en materieel.
- Herhalingen van oefeningen voor extra training of evaluatie.

Voor het nastreven van de leerdoelen is het van belang de verschillen tussen simulatie en praktijk klein te houden. Een van de uitdagingen waar het FEL-TNO zich op richt, is hierbij een zo realistisch mogelijk beeld van de buitenwereld aan de leerling te presenteren. De eisen die gesteld worden liggen extreem hoog. Voor een realistische weergave bij laagvliegsimulatie is bijvoorbeeld een minimale beeldfrequentie van 50 Hz noodzakelijk. Verder is een eenvoudige visualisatie van de wereldmodellen op basis van kleurinterpolatie niet realistisch genoeg. De toepassing van texturen is noodzakelijk om de perceptie van de buitenwereld op een dusdanig niveau te brengen dat de leerling zich volledig op het verwerven van de benodigde vaardigheden kan richten.

De gewenste hoge beeldkwaliteit stelt nogal wat eisen aan de reken capaciteit van het zichtsysteem dat de beelden moet genereren. Pas sinds het beschikbaar komen van de huidige generaties computers is het mogelijk om op commerciële basis dergelijke kwaliteit van beelden te leveren. In de volgende paragraaf wordt een kort overzicht geschetst van de ontwikkelingen op dit gebied. Daarna volgt een uiteenzetting over texture mapping.

Architectuur overzicht

De applicaties die gebouwd zijn (en worden), zijn alle gebaseerd op een grafische pijplijn die een functioneel overzicht geeft om van een wereldmodelbeschrijving tot een beeld te komen. In figuur 1 is deze pijplijn weergegeven. De aangegeven processen kunnen ruwweg in drie categorieën samen genomen worden. De eerste categorie neemt de modeldatabase en de bijbehorende bewerkingen samen in de eerste pre-processing stap waarbij alleen de te visualiseren modelprimitieven (polygonen) worden doorgegeven. De tweede categorie omvat de transformatie van de polygonen in wereldcoördinaten tot de representatie in schermcoördinaten. Het resultaat is een perspectivische beschrijving van alleen die elementen (of delen daarvan) die ook echt binnen het viewvolume vallen. De derde categorie transformeert de beeldelementen tot zichtbare pixelinformatie met voor elk beeldpunt een kleurwaarde. In deze derde stage wordt voor de uiteindelijke pixelkleur ook meegenomen wat de onderlinge prioriteit van de beeld elementen is (hidden surface elimination technieken).



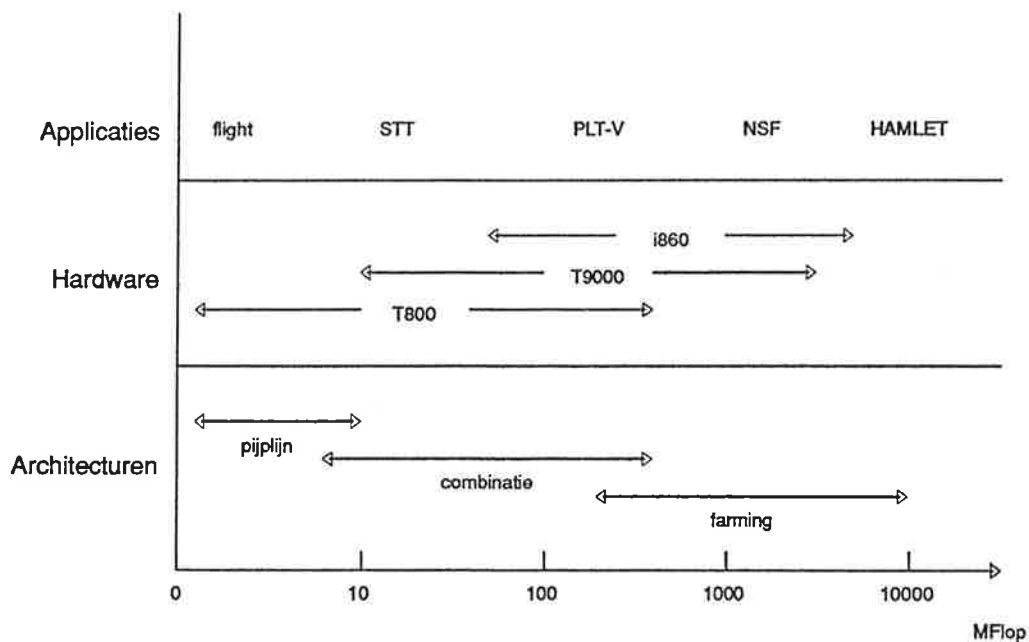
Figuur 1. Grafische pijplijn en onderliggende transputer hardware architectuur.

In dezelfde figuur 1 wordt ook een hardware architectuur gepresenteerd die gebruikt wordt om de gekozen algoritmen te ondersteunen. De blokjes stellen transputers voor, de lijnen tussen de blokjes zijn link verbindingen die gebruikt worden voor de data overdracht tussen de transputers onderling. Transputers zijn complete computers op een enkele chip, speciaal ontworpen voor parallel processing gebaseerd op de Communicating Sequential Processing (CSP) theorie van Hoare [Hoare]. Een scheduling mechanisme voor het switchen tussen parallel draaiende processen is in hardware geïmplementeerd, waardoor de processor zeer efficiënt geprogrammeerd kan worden. Een andere belangrijke eigenschap is de ingebouwde link driver die er voor zorgt dat ook de communicatie tussen processoren onderling efficiënt en direct verloopt. Door de vier beschikbare links van een transputer direct te verbinden met de links van andere transputers kan een compleet netwerk gebouwd worden volgens de specificaties die door de applicatie gewenst zijn.

De gepresenteerde architectuur groepeerde de eerder genoemde categorieën van de grafische pijplijn samen op logisch te onderscheiden deelnetwerken van het transputer systeem. Uit de verhouding van het aantal benodigde transputers in ieder deelnetwerk is de toenemende benodigde capaciteit van de software categorieën af te leiden. Binnen een deelnetwerk is de functionaliteit van de transputers gelijk, ze werken allemaal samen aan dezelfde taak. Dit is een voorbeeld van een combinatie van pijplijn en farming parallelisatie en vormt de tweede architectuur generatie.

De eerste generatie hardware architectuur was volledig geprogrammeerd als een pijplijn. Alle software modules volgden elkaar logisch op in het netwerk. De (huidige) derde architectuur generatie gaat volledig uit van het farming principe. In dit netwerk hebben alle processoren dezelfde functionaliteit vergelijkbaar met een deelnetwerk voor bijvoorbeeld de screen processing in figuur 1. Omdat alle processoren in principe hetzelfde werk doen, maar dan op andere data, kunnen ze zo geprogrammeerd worden dat er onderling werk uitgewisseld kan worden.

Het verband tussen de architecturen en de applicaties met betrekking tot de reken capaciteit wordt weergegeven in figuur 2. Met een simpele pijplijn kan niet veel reken capaciteit effectief gebruikt worden. Bij het toevoegen van meerdere processoren neemt de effectief te gebruiken rekenkracht niet veel meer toe. Bij de toepassing van een combinatie van pijplijn en farming technieken en van farming alleen, kan een steeds grotere range van reken capaciteiten bereikt worden.



Figuur 2. Implicaties van beschikbare rekenkracht voor applicaties en technieken met de gebruikte hardware.

Het feit dat er met bepaalde netwerken een range van rekenkracht beschikbaar is, is een indicatie voor de schaalbaarheid van parallel processing architecturen. Door het inzetten van meer processoren kan een grote rekencapaciteit benut worden. De processoren die hiervoor gebruikt worden zijn de transputer van Inmos (de T800 en de nieuwe generatie T9000), en de i860 van Intel. Omdat de i860 niet zonder meer geschikt is voor toepassing in parallelle architecturen, is in het kader van een nationaal technologie project (NTP) door het FEL-TNO een eigen hardware ontwikkeling opgezet. Dit heeft een processor module opgeleverd met eigenschappen die het mogelijk maken om ook deze processor efficiënt in te schakelen voor parallel processing.

De applicaties gebaseerd op deze technologie zijn ook in het schema van figuur 2 opgenomen. De eerste applicatie ("flight") is bedoeld om aan te geven waar de zeer simpele vluchtsimulators zich bevinden, zodat een referentiekader ontstaat. De STT applicatie staat voor STinger Trainer doelengenerator. Dit is een afgerond project dat een transputer netwerk met bijbehorende software opgeleverd heeft. De doelengenerator levert video signalen voor de aansturing van een projector waarmee de berekende doelsbeelden op een dome worden afgebeeld, over een projectie van een achtergrond. De dome wordt gebruikt om bedieners van Stinger-raketsystemen te trainen in het gebruik van het wapen.

Het tweede project PLT-V staat voor Pantser Luchtafweer Trainer - Verbeterde versie. De eerste versie is een trainer waarbij het zichtsysteem beelden genereert met draadmodellen voor de doelen. De verbeterde versie moet uitgerust worden met een zichtsysteem dat aan alle moderne eisen van realisme voldoet. Omdat het wapen (een tank) stilstaat in het terrein, kan de achtergrond van te voren gegenereerd worden met een zeer hoge mate van realisme. Hiervoor wordt textuur gebruikt, zoals dat in het volgende gedeelte behandeld wordt. De bewegende doelen worden uitgerekend met Gouraud-shading en in de achtergrond gemerged voor display.

Het NSF project moet een zichtsysteem opleveren voor de Nationale Simulatie Faciliteit (NSF) van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). Hiermee moet onderzoek gedaan worden naar het gebruik van trainers en simulators. Dit zichtsysteem moet laagvliegsimulatie door volledig getextureerde landschappen real-time kunnen verwerken. Het laatste project HAMLET is een Esprit-project waarmee verder onderzoek plaats vindt naar de ontwikkeling van zichtsysteemen, onder andere op het terrein van interactieve botsingdetectie en schaduwwerking.

Texture mapping

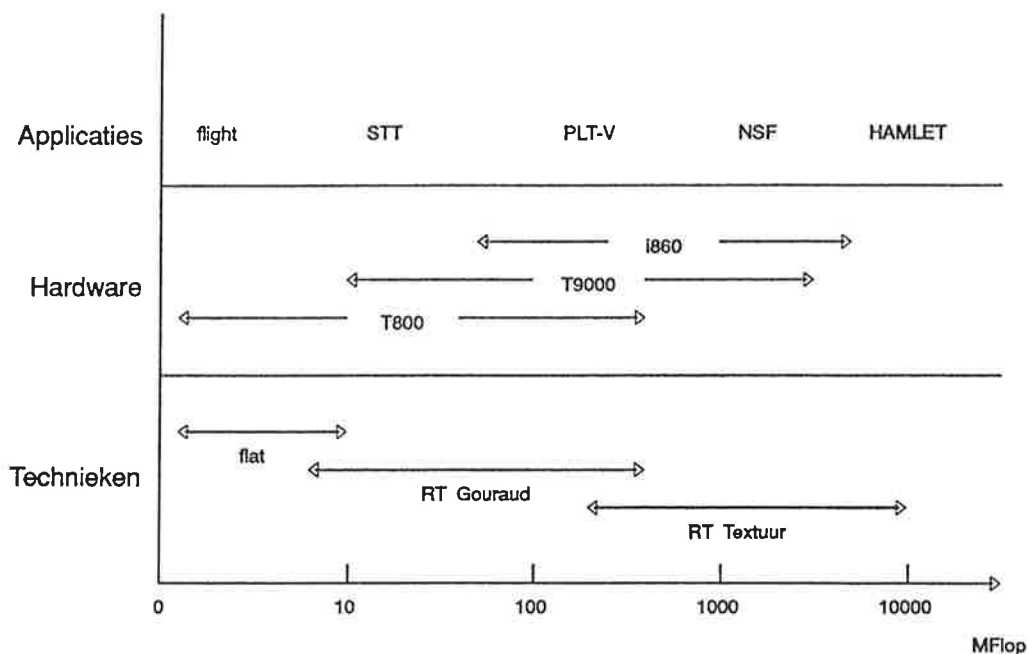
Voor het modelleren van een object zijn meerdere methoden beschikbaar. Een eerste methode is een eenvoudige objectgeometrie op basis van een verzameling polygonen. Een tweede methode, vaak toegepast in de CAD/CAM, modelleert een object met behulp van kwadratische primitieven (zoals bol, kegel en blok) en onderlinge binaire operaties (zoals vereniging, doorsnijding en verschil). Een derde methode gebruikt fractals of andere formules om de objecten mathematisch te beschrijven. De genoemde drie methoden zijn opgesomd in volgorde van oplopende complexiteit qua rekenkracht voor de visualisatie. Daarom worden de laatste twee methoden nog niet gebruikt voor real-time toepassingen.

Met het beschikbaar komen van nieuwe generaties hardware, en daardoor meer rekenkracht, worden voor de polygonale modeldatabases verschillende visualisatie technieken gebruikt. De meest simpele techniek is flat-shading. De kleur van een polygon op het scherm is dan egaal gelijk en alleen afhankelijk van het belichtingsmodel. Een vervelend effect is echter dat het object er erg hoekig uitziet. Dit kan verholpen worden door het toepassen van Gouraud-shading. Voor elk hoekpunt van elk polygon uit de modeldatabase wordt de kleur bepaald aan de hand van het belichtingsmodel. De tussenliggende kleurwaarden worden door lineaire interpolatie ingevuld.

Om een object met Gouraud-shading echter gedetailleerd te beschrijven, moeten veel polygonen gedefinieerd worden. Omdat elk polygon bijdraagt tot de benodigde rekenkracht is het - vanuit de visualisatie gezien - gewenst om het aantal polygonen zoveel mogelijk te beperken. Hier ontstaat dus een conflict tussen modellering en visualisering. Om met weinig vlakken toch een realistische visualisatie te verkrijgen is het textuur concept toegepast.

Een textuur is een gedigitaliseerde foto van een object. Als voorbeeld kan een boom genomen worden. Als elk blad van de boom door een polygon gemodelleerd werd, zou een groot aantal polygonen nodig zijn voor een enigszins realistische boom. Als echter een foto van een boom gebruikt wordt, is het effect veel realistischer. Het verschil is duidelijk te zien in de twee foto's aan het einde van dit verhaal. Foto 1 toont een eenvoudige visualisatie van een landschap met flat-shading, foto 2 toont hetzelfde landschap waarbij de objecten ingevuld zijn met texturen.

Het toepassen van texturen is echter een zeer rekenintensieve taak. Om weer te geven in welke orde dit gezien moet worden is in figuur 3 het toepassen van textuur in real-time applicaties ingevuld in hetzelfde schema als eerder gepresenteerd in figuur 2. De projecten uit figuur 2 die hier herhaald worden, gebruiken de techniek die in de zelfde orde van benodigde rekenkracht valt.



Figuur 3. Implicaties van beschikbare rekenkracht voor applicaties en visualisatie technieken met de gebruikte hardware.

Bij FEL-TNO zijn twee technieken beschikbaar om texturen te genereren. De meest simpele techniek is het digitaliseren van een foto met behulp van een kleuren scanner. De tweede techniek is het digitaliseren van video materiaal met behulp van een frame-grabber. Door het conversieproces van pixel frame buffer naar RGB signalen om te keren komen kleurwaarden voor texturen beschikbaar. Door het gebruik van tools kunnen deze verder bewerkt worden.

Voor de toepassing van texturen in visuele simulatie, moeten deze aan een aantal eisen voldoen. De belangrijkste eis is de juiste resolutie en mate van detail van de textuur in relatie tot de wereldafmetingen. Voor een bos op grote afstand kan volstaan worden met een bos-silhouet-textuur, voor kleinere afstanden moeten de bomen afzonderlijk gevisualiseerd kunnen worden. Een tweede eis is de transparantie van een textuur. Het realisme van een simulatie wordt drastisch vergroot als bijvoorbeeld door de bladeren van een boom heen andere objecten waargenomen kunnen worden. Een derde eis is de herhaalbaarheid van een textuur. Bij sommige texturen zoals bakstenen muren, kunnen de wereldafmetingen nogal verschillen. Om de voorkomen dat voor een grote muur een grote bakstenen textuur gedefinieerd moet worden, wordt een stukje baksteen textuur verschillende malen herhaald om op die manier de hele muur te bedekken. Om storende effecten op de scheidingen te voorkomen, is het noodzakelijk dat deze naadloos op elkaar aansluiten.

Een extra moeilijkheid bij de toepassing van texturen vormt de infrarood apparatuur in moderne wapensystemen. Een eerste moeilijkheid is het dynamische karakter van de te modelleren omgeving. Weersomstandigheden en stralingsbronnen zijn van grote invloed op het infrarood karakter van een object. Bij een koude nacht situatie zullen de ramen van een huis warmte van binnen uitstralen, in tegenstelling tot de situatie op een warme zomerse dag. Een andere moeilijkheid is de noodzakelijke modellering van extra geometrieën bij bijvoorbeeld werkende straalmotoren van vliegende objecten. De geproduceerde warme uitlaatgassen zullen in het infrarood spectrum in de vorm van een gaswolk zichtbaar zijn. In een normale daglicht simulatie is deze gaswolk niet zichtbaar.

Conclusie

Voor een realistische visuele simulatie is textuur een wezenlijk onderdeel van de modellering. Het is echter niet triviaal om een dergelijk hoog beeldrealisme in een real-time simulatie toe te passen. De huidige generaties van dedicated grafische hardware systemen leveren niet de gewenste capaciteit en flexibiliteit. Het toepassen van parallel processing levert wel de mogelijkheden. Juist de ontwikkeling in de richting van farming technieken geeft de schaalbaarheid van parallelle hardware alle mogelijkheden om aan de hoge eisen van realistische real-time visuele simulatie te voldoen.

Literatuur

- [Hoare] C.A.R. Hoare, *Communicating Sequential Processes*, Prentice Hall International, Hemel Hempstead, UK, 1985.
- [Inmos] INMOS Limited, *Transputer Reference Manual*, Prentice Hall International, Hemel Hempstead, UK, 1988.
- [Intel] N. Margulis, *i860 Microprocessor Architecture*, Osborne McGraw-Hill, Berkeley, USA, 1990.

Over de auteur

Ir J.M. de Baat is wetenschappelijk medewerker van de Parallel Processing groep van het Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO. Hij werkt mee aan toegepast onderzoek naar de mogelijkheden van parallel processing technieken. Een specialisatie van de groep is het real-time genereren van computer graphics imagery (CGI), met name voor het visuele deel van trainers en simulatoren.

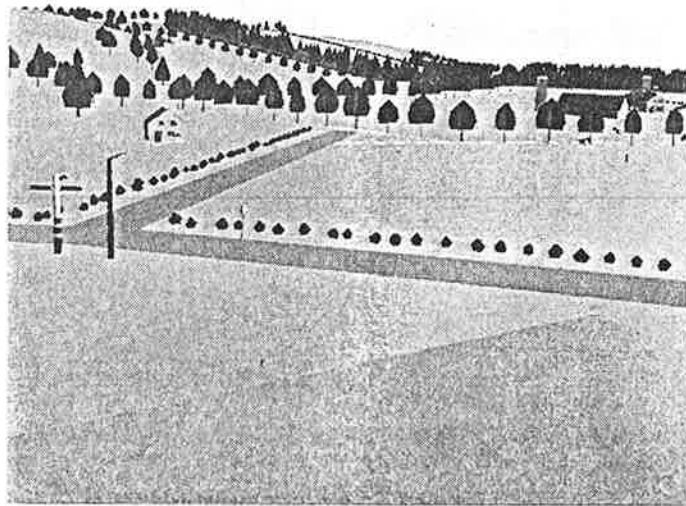


Foto 1 : Visualisatie met flat-shading

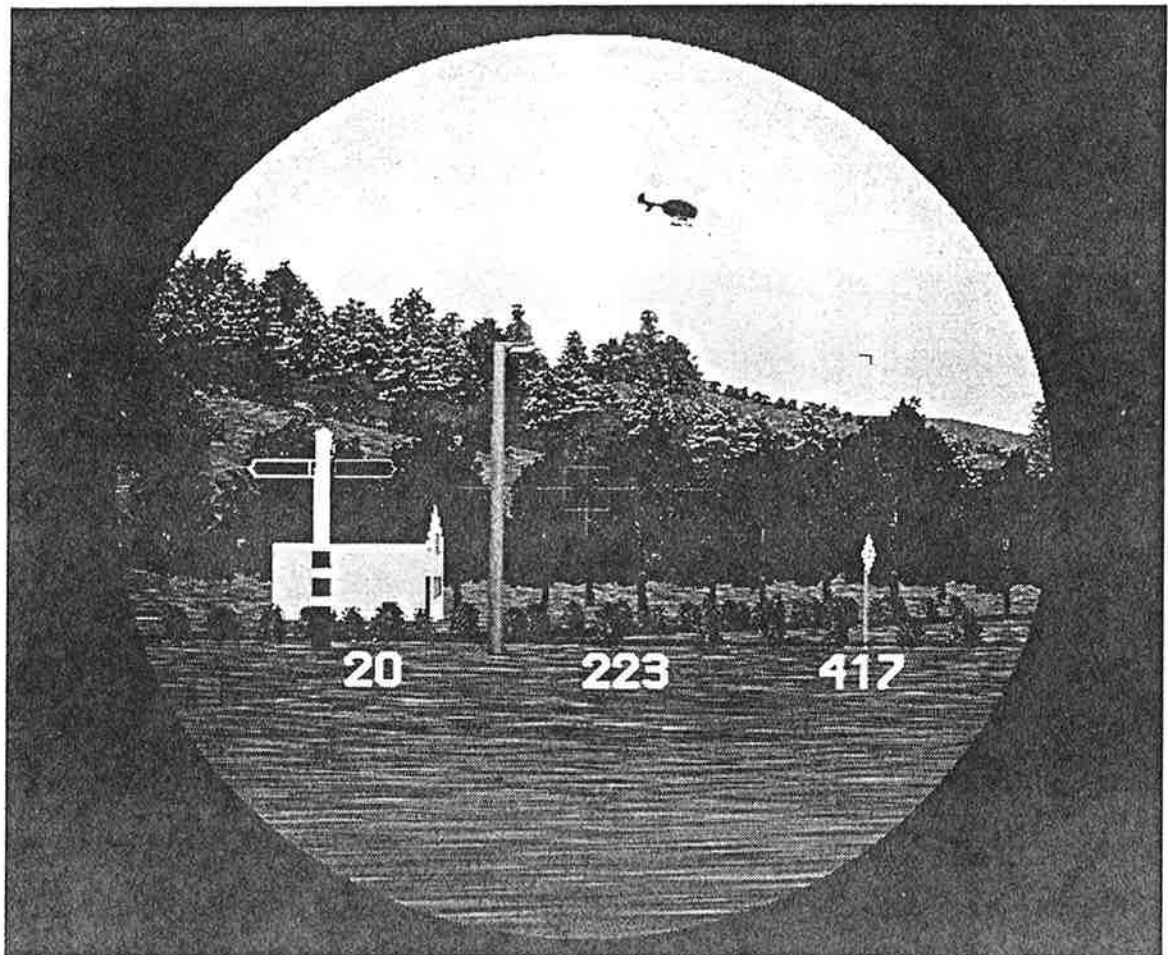


Foto 2 : Visualisatie met texturen

CONGRATATIONS

28 JANUARI 1992

15 JAAR CAD/CAM

Welkom op CongraTulations!

CongraTulations is het breed opgezette CAD/CAM-symposium georganiseerd ter gelegenheid van het 150-jarig bestaan van de TU Delft.

CAD/CAM is de nieuwe vorm van techniek bedrijven. Vrijwel alle industriële bedrijven gebruiken momenteel één of meerdere CAD/CAM-systemen. Met het beschikbaar komen van krachtige hardware en goede software wordt het ontwerpen en produceren met de computer een vast onderdeel van de ingenieursdiscipline. Reden voor de TU Delft om veel aandacht te besteden aan CAD/CAM in het onderwijs en onderzoek. Reden ook om CAD/CAM als belangrijk thema voor dit lustrum te nemen en een blik vooruit te werpen op de ontwikkelingen die komen.

Met dit symposium presenteren de TU faculteiten hun onderzoeksresultaten, met het accent op het onderzoek dat zij samen doen met onderzoeksinstituten en bedrijven. Daarnaast komt ook de praktijk ruim aan bod. Het symposium moet dan ook gelegenheid bieden tot uitwisseling van kennis en ervaring tussen TU en bedrijfsleven. Verder is er alle gelegenheid in de pauzes en na afloop van het officiële programma om collega's en jaargenoten te ontmoeten.

Op de volgende pagina's van deze congresmap vindt u informatie over de diverse activiteiten:

- * het lezingenprogramma in het auditorium en de collegezalen A, B en C
- * de demonstratie stands van de TU Delft en onderzoeksinstituten in de foyer op de 1e verdieping
- * de bedrijvenstands van HP en partners in de hal op de begane grond
- * locaties voor koffie, thee, lunch en receptie

Verder vindt u in deze map een korte beschrijving van de demonstraties, een samenvatting van de lezingen, en een deelnemerslijst.

Een evenement als dit komt niet tot stand zonder een enorme inspanning van sprekers, standbemanning en organisatiemedewerkers (zie volgende pagina). Ik wil hen hier allen hartelijk danken voor hun inzet. Dit geldt in het bijzonder voor het congresbureau ASD en de enthousiaste medewerkers van Hewlett-Packard, die voor een belangrijk deel verantwoordelijk zijn voor de vormgeving van dit evenement. Ten slotte wil ik de sponsors, Hewlett-Packard, Fokker en Tebodin bedanken voor hun financiële bijdragen.

Ik wens u een interessante en feestelijke dag!

Prof.dr.ir. F. W. Jansen

Voorzitter organisatiecomité

Postbus 40 2600 AA Delft
Telefoon 015 -12.02.34
Fax 015 -12.02.50