

Opdelen van 3D-ruimte

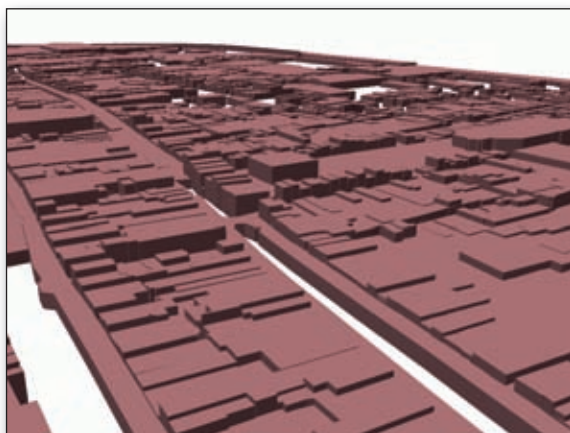
Méér dan alleen visualisatie

Door Edward Verbree

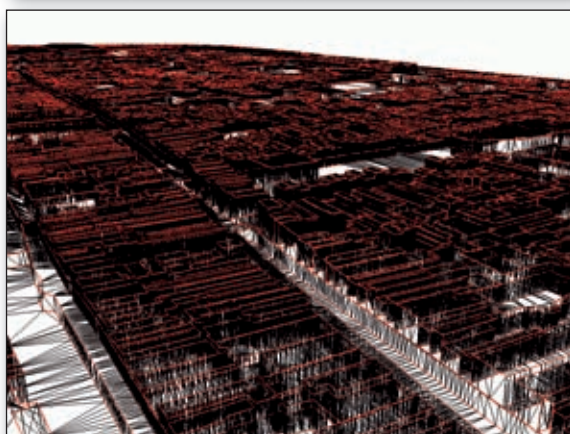
Al enige jaren staat '3D' centraal in het onderzoeksprogramma van de sectie GIS-technologie van het onderzoeksinstituut OTB van de TU Delft. Zoals blijkt uit promoties op het gebied van 3D-GIS for Urban Development en 3D Kadasters. In het kader van het Ruimte voor Geo-informatie (RGI) programma wordt momenteel onder meer promotieonderzoek verricht naar 3D-topografie. Hierbij ligt de nadruk op tetraëdergewijze datamodellering en opslag binnen een DBMS en het gebruik van het tetraëdernetwerk als basis voor objectreconstructie.

Het belang van deze thema's is wat moeilijker aan te geven dan de toepassing van driedimensionale modellen voor visualisatie. De impact van een nieuwe lijninfrastructuur, zoals de Hogesnelheidsspoorlijn Zuid of een Betuweroute, is voor een groot publiek goed inzichtelijk te maken met mooie, interactieve, 3D-visualisaties. Een 'virtual/visual reality' van de toekomstige woonomgeving, inclusief verdiept baanlichaam en geluidschermen biedt meer 'beleving' dan een in hun ogen abstracte 2D-kaart waarin de hartlijn van het spoor op 50 meter van thuis is ingetekend. Vanuit deze toepassing, het bieden van inzicht van geluidsoverlast, is het voldoende om alleen de aanzichten van de gebouwen en spoorlichaam te modelleren. Met de toevoeging van fototexturen is een realistisch ogende visualisatie snel gemaakt.

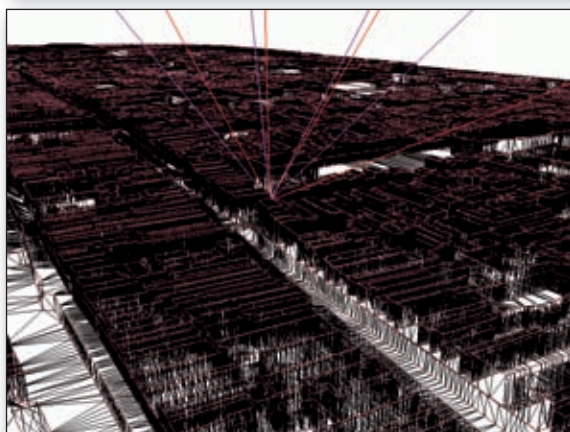
Voor de berekening van de exacte hoeveelheid decibel geluidbelasting is meer nodig. De wijze van berekening bepaalt wat er uit de (toekomstige) werkelijkheid van belang is, en hoe dat gemodelleerd moet worden. De toepassing, het te ondersteunen bedrijfsproces, of de beoogde vorm van visuele communicatie, bepaalt de dimensie en het 'level-of-detail' hiervan. Hoogte is dan zeker van belang: dus een continue terreinbeschrijving in 2.5D, waardoor een hoogtewaarde aan iedere locatie kan worden toegerekend, en daar waar het allemaal wat complexer wordt volledig in 3D. Dit is dan vooral van belang voor gebouwobjecten en civieltechnische kunstwerken. In het verleden heeft de sectie GIS-technologie uitgebreid onderzoek verricht naar deze 'Multi-view Virtual Reality interface voor 3D-GIS', resulterend in een systeem met de welluidende naam 'KarmavI'. De visualisatie, variërend van eenvoudige desktop-systemen tot volledig immersieve omgevingen als de 'CAVE', werd gevoed vanuit een multiple-representation geo-DBMS. Zie bijvoorbeeld de drie aanzichten



Globaal 2.5D model Delft.



Zichtlijnen naar GPS en Galileo.

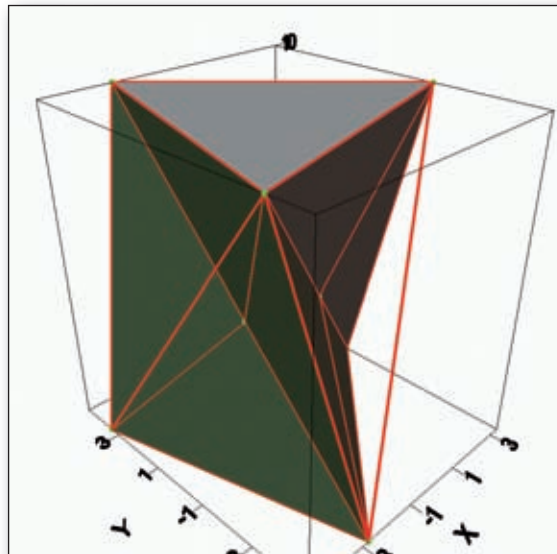


CCDT model van Delft.

van de campus van de TU Delft in de afbeeldingen. Dit concept is doorontwikkeld tot het systeem K2Vi (Key to virtual insight), met een functionaliteit en doordachtheid waar Google Earth nog een voorbeeld aan kan nemen.

Digitale vastlegging

Het onderscheid tussen landschapsmodellen die het terrein met alles wat daarin aan belangwekkends gebeurt beschrijven, en visualisatiemodellen die beschrijven wat zich op beeldscherm of papier voordoet, wordt ook onderwezen aan de alle eerstejaars van de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft in het college 'Inleiding geo-informatie'. Hierin staat de geo-informatieverzorging ter ondersteuning van civieltechnische bedrijfsprocessen centraal. Allerlei elementen van de geometrische- en geo-informatie-infrastructuur komen aan de orde. Één van de belangrijkste leer-



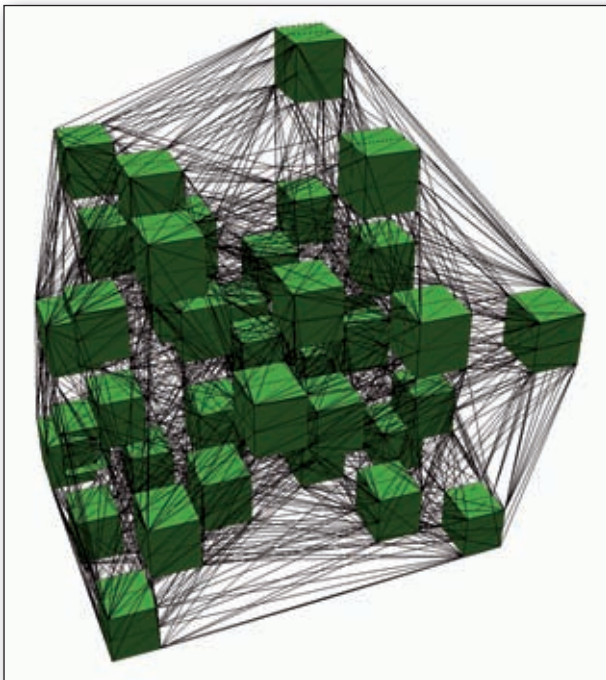
CCDT van Schönhart polyhedron.

menten daarbij is dat de digitale vastlegging van een deel van de wereld niet gelijk mag worden gesteld aan de werkelijkheid zelf.

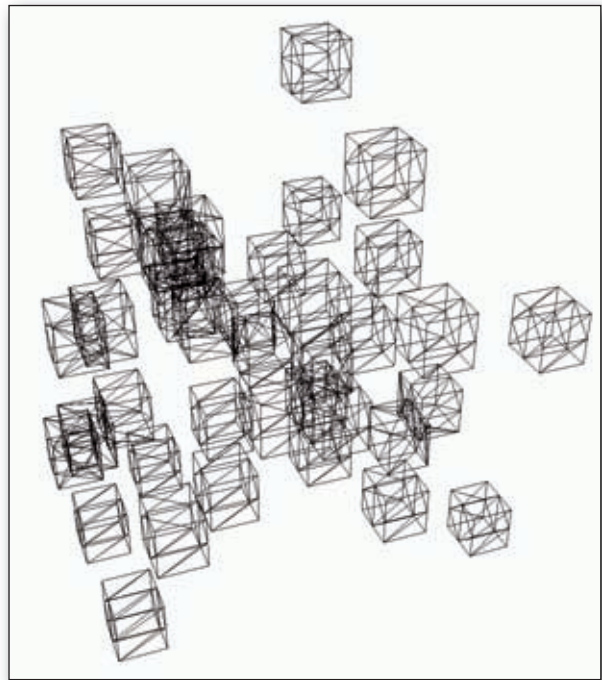
De eerste vraag van het bijbehorende practicum luidt dan ook: 'wat is de oppervlakte van de Aula van de TU Delft?'. Een interactieve bevraging in de afbeelding van de TOP10Vector

binnen een GIS-pakket levert als antwoord: 6053.093 m². Op zich is dit correct, want het volgt uit de oppervlakteberekening van de binnen de TOP10Vector opgeslagen 2D-polygoon representatie van het object met codering 1003 op deze locatie. Toch is dit antwoord fout; niet alleen vanwege het klakkeloos overschrijven van de nogal hoge precisie tot op de vierkante millimeter, maar vooral omdat men zich niet afvraagt of de vraagstelling wel voldoende gespecificeerd is.

Want wat is nu dé representatie van dit object? Is dat de fotogrammetrisch ingemeten dakvorm, of is het de verzameling tachymetrisch ingemeten terreinovergangen tussen het 'gebouw' en de omgeving? Of is het een geometrisch waterdicht 3D-model, met de oppervlakte als som van het geheel aan zijvlakken en als volume het ingesloten gedeelte? Met dit antwoord geeft de student aan



Gereconstrueerde begrenzingen van 3D Model.



CCDT van 3D Model.

dat hij het proces van conceptualisatie en abstractie van delen van de werkelijkheid om ons heen tot een (digitaal) landschapsmodel begrepen heeft. En dat voor een begripvolle cartografische overdracht van deze informatie een visualisatiemodel noodzakelijk is, dat méér is dan een één-op-één vertaling van de geometrie in de database tot afbeeldingen op het beeldscherm. Vervolgens mag men zich dan verdiepen in de methoden en technieken voor de inwinning, bevraging en analyse van deze geo-informatie.

Verzameling driehoeken

Als we niet zo vast zitten aan het idee dat een object denkbeeldig of fysiek op dezelfde wijze gerepresenteerd moet worden als de visuele uitdrukingsvorm, dan is een aparte aanpak mogelijk. Zo is de fysieke begrenzing van een object te beschrijven met een verzameling punten. Met de bijbehorende afspraak dat deze punten één voor één met elkaar verbonden dienen te worden met rechte lijnstukken en dat het laatste punt weer aansluit bij het eerste punt. Met andere woorden: een polygoon. Als de punten tegen de klok in zijn opgesomd, dan is de oppervlakte te berekenen met de welbekende formule: $A = 1/2 \cdot (x_1(y_2 - y_n) + x_2(y_3 - y_1) + \dots + x_{n-1}(y_n - y_{n-2}) + x_n(y_1 - y_{n-1}))$. Het kan ook anders door de polygoon te verdelen in een verzameling niet overlappende driehoeken, waarop vervolgens geometrische bevragingen

en bewerkingen worden uitgevoerd. Zo is de oppervlakte van de gehele polygoon dan de som van de oppervlakte van de afzonderlijke driehoeken. Een punt-in-polygoon relatie wordt met deze aanpak een herhaald uitgevoerde punt-in-driehoek test. En de buurrelatie tussen de aanliggende driehoeken biedt een soort van impliciete indexering, zonder de noodzaak van een apart te onderhouden zoekboom.

Toch heeft deze aanpak ook zo zijn problemen. Het trianguleren van een polygoon is nog relatief eenvoudig. Een constrained triangulatie van een planaire partitie, bijvoorbeeld kadastrale percelen, is al wat lastiger. En het geheel wordt nog wat complexer, ook qua hoeveelheid te genereren driehoeken, als deze triangulatie aan de zogenaamde Delaunay voorwaarde moet voldoen. Bij conforming constrained Delaunay triangulaties worden - omdat de omschreven cirkel van iedere gevormde driehoek leeg moet zijn, d.w.z. geen andere punten van de dataset mag bevatten - nogal wat extra (Steiner) punten toegevoegd.

GPS en Galileo

Een mooie toepassing van een triangulatie van een constrained conforming Delaunay triangulatie (CCDT) is de volgende zichtbaarheidsanalyse om de 'dekkingsgraad' van GPS en in de toekomst Galileo in stedelijk gebied te bepalen. Door de afscherming van de satelliet signalen

kan niet overal en altijd aan de minimumeis van 'zicht' naar vier satellieten worden voldaan. Waar wel en waar niet, is te bepalen door een TIN-zichtbaarheidsanalyse. In de afbeelding de gebouwobjecten, ieder met één karakteristieke hoogtewaarde. In de andere afbeelding is voor een specifieke locatie en op een bepaald tijdstip het zicht naar in totaal acht satellieten zichtbaar van zowel het huidige GPS als het toekomstige Galileo. Daarmee is aangetoond dat voor deze locatie de combinatie van GPS en Galileo zeker zin heeft.

Uit de hiervoor beschreven zichtbaarheidsanalyse blijkt dat het patroon (fingerprint) van welke GPS-satellieten wél en welk niet zichtbaar zijn met een correct, up-to-date stadmodel en een actuele GPS-constellatie voor iedere locatie en voor ieder tijdstip is te berekenen. Door nu op een willekeurige locatie en op een bepaald tijdstip deze GPS-fingerprint van al dan niet zichtbare GPS-satellieten te meten, is de positie van de waarnemer te bepalen. Deze methode werkt óók met zicht naar minder dan vier satellieten. Daarmee wordt de bruikbaarheid van GPS in stedelijke gebieden vergroot. De toepasbaarheid en nauwkeurigheid van deze GPS-fingerprinting methode is de kern van het onderzoek in het RGI-project '3D-plaatsbepalingsinfrastructuur in gebouwde omgeving'.

Verdelen 3D-objecten



Model-View met 2.5D representatie.



World-View met 3D representatie.

Voor onregelmatig gevormde 3D-objecten is dezelfde aanpak mogelijk door het geheel te verdelen in een verzameling niet overlappende tetraëders. De inhoud van het 3D-object is dan de som van de inhoud van de afzonderlijke tetraëders. Een punt-in-volume relatie is een herhaald uitgevoerde punt-in-tetraëder test. En ook hier biedt de buurrelatie tussen de aanliggende tetraëders de mogelijkheid om snel te zoeken en selecties te maken.

In 3D wordt het geheel nog wat ingewikkelder. Niet ieder 3D-object is op te delen in een verzameling niet overlappende tetraëders. Het voorbeeld is de tetrahedronizatie van de zogenaamde Schönhardt Polyhedron welke niet zonder de toevoeging van Steiner points in losse tetraëders is op te delen (zie afbeeldingen).

Voor de uiteindelijke visualisatie kan de begrenzing van het 3D-object eenvoudig terug worden gevonden door alle tetraëdervlakken te selecteren die geen buurrelatie met een andere tetraëder hebben: kortom de vlakken

aan de buitenkant van het object. Deze minder-dimensionale simplices worden afgeleid met het formalisme van Poincaré. Als een tetraëder bestaat uit nodes $\langle v_0, v_1, v_2, v_3 \rangle$, dan zijn daaruit de vier tetraëdervlakken (inclusief oriëntatie) af te leiden $S_3 = \langle v_1, v_2, v_3 \rangle - \langle v_0, v_2, v_3 \rangle + \langle v_0, v_1, v_3 \rangle - \langle v_0, v_1, v_2 \rangle$. De vlakken van twee aan elkaar verbonden tetraëders hebben een tegenovergestelde oriëntatie en vallen bij de opsomming van alle vlakken tegen elkaar weg. De begrenzing van het object bestaat dan uit de overgebleven tetraëdervlakken.

Verder met opdeling 3D-ruimte

Een conforming constrained TEN (TEtraheder Netwerk) van een 3D-planaire partitie, een opdeling van de 3D-ruimte, is een wetenschap op zich. Maar als het eenmaal is gelukt, dan biedt een TEN ook een compacte opslagmogelijkheid in standaard (niet-ruimtelijk) DBMS. Dit kan zelfs tot op het niveau van louter de opslag van de nodes van het CCDT en één beetje per tetraëdervlak, waarmee wordt aangegeven of dit vlak al dan niet op de grens van het object ligt. Zie voor een voorbeeld van deze toepassing de publicatie van ondergetekende 'Piecewise Linear Complex representation through Conforming Delaunay Tetrahedronization', gepresenteerd tijdens GIScience van 2006 in Münster.

Hoe binnen een DBMS-omgeving een constrained TEN op te bouwen, en het vervolgens consistent te houden bij toevoegen, verwijderen of

verplaatsen van de 3D-objecten, is de kern van het lopende promotieonderzoek van mijn collega Friso Penninga bij de sectie GIS. Zie hiervoor ook zijn presentatie: 'Het formalisme van Poincaré of hoe 100 jaar oude wiskunde 3D GIS dichterbij brengt' tijdens het GIN symposium in Ede in november 2006.

Het is niet gezegd dat een tetraëderwijze datamodeltering de beste aanpak is. Op 12, 13 en 14 december 2007 organiseert de sectie GIS daarom een internationale workshop met als thema: 3D Geo-Informatie. Welke eisen worden er gesteld, hoe wordt de data ingewonnen, op welke wijze kan het geheel gemodelleerd worden, er op welke wijze vindt de objectreconstructie plaats?



2D-oppervlak bevraging.

ir. Edward Verbree, sectie GIS-technologie, Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft. Voor meer informatie over het onderwerp: www.k2vi.com en www.3d-geoinfo-07.nl. De eerder genoemde publicaties op het gebied van 3D-onderzoek, en nog veel meer, is terug te vinden op www.gdmc.nl, de website van het onderzoeks- en ontwikkelingcentrum voor geo-informatie technologie van de TU Delft.