

På vej mod 3D / 4D geografisk information

Henning Sten Hansen, Danmarks Miljøundersøgelser

Den stadig bredere anvendelse af geografisk information introducerer GIS-teknologien til en række nye brugere som måske tidligere har negligeret teknologiens potentiale på grund af dens hidtidige begrænsning til 2 dimensioners og dels den manglende tidsdimension. Her tænkes i første række på jordvidenskaberne under et – dvs. meteorologi, oceanografi, geologi og fysisk geografi.

Indledning

Dagens GIS-software er kendetegnet ved at være begrænset til at kunne håndtere 2 plane spatiale dimensioner. Denne måde at anskue verden på har rødder i den traditionelle kartografi, hvor opgaven har været at præsentere hele eller dele af jordkloden på et plant stykke papir.

Dette er ikke nogen alvorlig begrænsning så længe vi forsøger at kortlægge essentielt 2-dimensionale fænomener som veje, bygningsomrids, vandløb, arealanvendelse og lignende topografiske elementer. Det hævdes ofte, at diverse GIS-software er i stand til at lagre og visualisere data i 3 dimensioner. Faktum er imidlertid, at der principielt blot er tale om 2½D GIS, idet den vertikale dimension (z-koordinaten) alene vil kunne betragtes som en egenskab tilknyttet hver xy-koordinat. Et ægte 3D GIS skal derimod være i stand til at kunne arbejde med objekter i 3 dimensioner med uafhængige variable langs alle 3 akser.

Traditionelle 2D- og 3D data-modeller er per definition statiske og giver et øjebliksbillede af fænomenet. Dette er grundlæggende set en meget stor begrænsning indenfor mange anvendelsesområder – ikke mindst indenfor miljøvidenskab

er det vigtigt at kunne analysere og modellere den tidslige udvikling af forskellige miljøindikatorer. Der er derfor gjort en mærkbar indsats for at kunne inddrage tidsdimensionen i GIS. Denne indsats er desuden blevet forstærket af databaseleverandørernes øgede interesse for tidsaspektet.

For at kunne udvide GIS-teknologien til 3 og 4 dimensioner kræves definition af 4 grundlæggende komponenter:

- Datarepræsentation
- Datalagring
- Spatiale / temporale relationer (topologi)
- Visualisering.

Nærværende artikel vil fokusere på en beskrivelse og analyse af den nuværende situation med hensyn til datarepræsentation, datalagring samt topologi. Formålet med artiklen er ikke en udtømmende behandling af emnet men snarere et forsøg på at bibringe læseren en basal indføring i de problemstillinger, der bør løses ved introduktionen af 3D og 4D GI.

Geografisk information i 3 dimensioner

Som nævnt indledningsvis er der ofte forvirring omkring den tredje dimension i GIS. Hvornår er der tale om ægte 3D, og hvornår er der blot tale om

2½D. Problemet kan anskueliggøres ved at sammenligne en plan cirkel, en halvkugle og en kugle, der repræsenterer henholdsvis 2D, 2½D og 3D. Den plane cirkel kan beskrives alene ved hjælp af en række sammenhørende værdier af to uafhængige variable x og y . Halvkuglen – der eksempelvis kunne repræsentere en terrænoverflade, hvor højden (z-koordinaten) er en funktion af to uafhængige variable x og y . Hver lokalitet på jordens overflade kan i dette tilfælde kun tilknyttes en enkelt z-værdi. Såvel den plane cirkel som halvkuglen kan grundlæggende set håndteres i almindeligt kommercielt GIS-software og repræsenteres ved hjælp af kvadratiske celler, triangulære irregulære netværk (TIN) eller konturlinier. Kuglen er derimod et reelt tredimensionalt legeme, der er karakteriseret ved, at hvert xy-koordinatpar optræder to gange – en gang for hver af de to kuglehalvdele. Kuglens overflade kan derfor kun beskrives ved hjælp af en ægte 3D-model med tre uafhængige variable x , y og z .

Tilvejebringelse af 3D data er i de fleste tilfælde en vanskelig proces.

- Komplexitet: Objektet kan være svært at definere – eksempelvis en havstrøm.

- Utilgængelig: Objektet kan være svært at måle – eksempelvis en dybtliggende geologisk formation.
- *Fuzziness*: Objektet kan være svært at afgrænse – eksempelvis en tropisk cyklon.

3D datarepræsentation

Datamodellering i 3D er konceptuelt forskellig fra det todimensionale tilfælde, hvor den traditionelle kartografi har været kilde til inspiration. Forskellige anvendelsesområder som mineindustri og meteorologi har udviklet hver deres metodikker, som kun i begrænset omfang er kommensurable.

Repræsentation af 3D data involverer valg af geometriske byggestene, som på diskret form kan efterligne entiteter i virkelighedens verden. Der kan dels være tale om overfladerepræsentationer og dels volumenrepræsentationer. Disse repræsentationsformer svarer til henholdsvis vektor- og rasterrepræsentationen i den todimensionale verden.

Overfladerepræsentationer omfatter konstruktiv geometri, *Non-uniform rational B-spline* (NURB), grænserepræsentationer og *polytrees* (figur 1):

- Konstruktiv geometri: Denne teknik repræsenterer et objekt ved at kombinere primitive geometriske former ved hjælp af operatorerne *union*, *intersect* og *difference*.
- *Non-uniform rational B-spline* (NURB): B-spline

anvender funktioner til at repræsentere »frie« former i 3D.

- Grænserepræsentation: Denne tilgang til 3D repræsentation er baseret på en dekomposition af fænomenet (overfladen) i 2-dimensionale planare facetter.

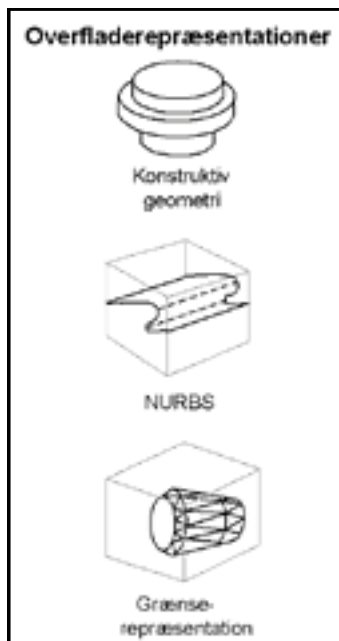


Fig. 1. 3D overfladerepræsentationer

Volumenrepræsentationen af 3D objekter kan udføres på en række forskellige måder, men nedenfor vil kun to teknikker – voxler og 3D triangulering – blive behandlet.

Voxler (Samet, 1992) der er 3D-ækvivalenten til pixler (kvadratiske celler), er en velkendt repræsentation af volumener. Den yderst simple form – en kubus / terning – er nem at forstå, og det er yderme-

re let at udføre beregninger på voxler. Endelig kan voxelmodellen relativt enkelt implementeres i praksis. Det er dog evident, at voxel-teknikken genererer enorme datamængder. Således vil en rektangulær boligblok med dimensionerne – længde 50m, bredde 10m og højde 20m – blive repræsenteret ved 10000 1-meters voxler! Der forefindes imidlertid teknikker – bl.a. *octrees*, der gør det muligt at komprimere de store mængder data. *Octrees* (Gargantini, 1992), der rekursivt inddeler objekter i otte kuber, er den tre-dimensionale ækvivalent til *quadtrees* (se figur 2).

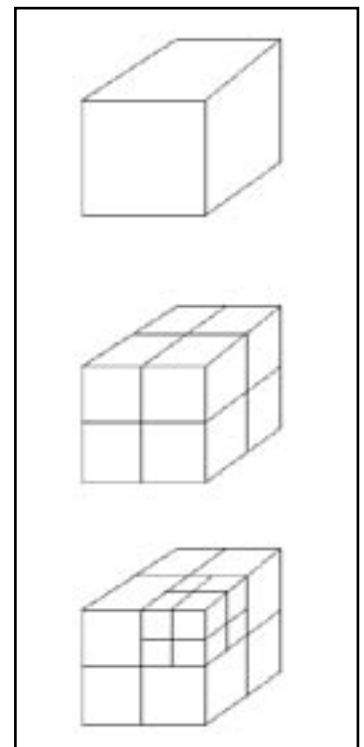


Fig. 2. 3D volumenrepræsentation - octree

En 0-simplex er ækvivalent med et punkt, en 1-simplex med et linie segment, en 2-simplex med en trekant og en 3-simplex med et tetraeder. Underopdeling af et objekt ved hjælp af *simpli-ces* er kendt fra eksempelvis højdemodeller, hvor terrænoverfladen beskrives ved et sammenhængende net af trekanter – *2-simpli-ces*. På tilsvarende vis kan et 3D objekt underopdeles i tetraedre – *3-simpli-ces* – af forskellig størrelse og form. Figur 3 viser underopdelingen af en kubus i tetraedre. Denne form for 3D triangulering har med succes været anvendt til eksempelvis modellering af kystlandskaber og saltdomer (Lattuada og Raper, 1995; 1998).

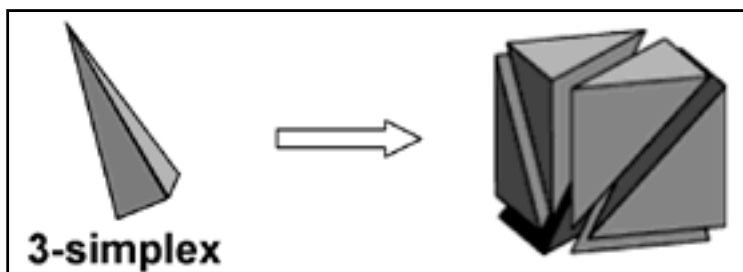


Fig. 3. Triangulering i 3D

Spatiale relationer i 3D

Udviklingen af en matematisk teori til at kategorisere relationer imellem spatiale objekter har været et vigtigt forskningsområde siden midten af 1980'erne. Resultatet blev en forståelsesramme baseret på mængdelæren samt grundlæggende topologiske principper. Fællesmængden imellem

objektet, dets indre og dets afgrænsning fremtræder som grundlæggende kriterium til at skelne imellem de forskellige rumlige relationer.

På dette grundlag definerede Egenhofer to såkaldte *intersection models*. Den ene model – kaldet *4-intersection model* – undersøger fællesmængden imellem det indre og afgrænsningen af to spatiale objekter (Egenhofer & Franzosa, 1991). Dette resulterer i $2^4 = 16$ forskellige relationer imellem 2 spatiale objekter. Grundet mangler i denne model blev den senere udvidet af Egenhofer og Herring (1990) til den såkaldte *9-intersection model* ved at inkludere det ydre (*exterior*) i definitionen. Antallet af mulige relationer stiger på denne måde til 2^9

= 512. Figur 4 illustrerer grafisk enkelte spatiale relationer i 3D. OpenGIS har senere adopteret *9-intersection model* som grundlag for implementering af topologiske relationer. Det er imidlertid karakteristisk, at næsten al forskning omkring spatiale relationer hidtil har begrænset sig til 2D.

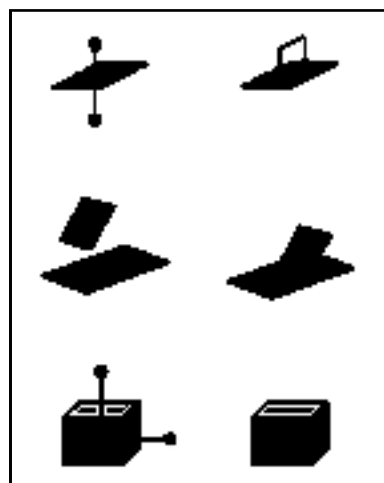


Fig. 4. Topologiske relationer i 3D

Spatio-temporale informationssystemer

Som tidligere nævnt er den generelt manglende inddragelse af tidsdimensionen en stor begrænsning indenfor mange anvendelsesområder. Der er derfor blevet udarbejdet en række forskellige strategier for at kunne løse aktuelle behov for spatio-temporale systemer. Blandt de mest kendte kan nævnes den såkaldte *time slice snap-shot* model, hvor den temporale udvikling beskrives ved en række lag (f.eks. kortbladsserier) med kortere eller længere tidsafstand imellem lagene (Langran, 1992). *Snap-shot* modellen er imidlertid sjældent istand til at give en rimelig beskrivelse af den temporale udvikling, da tidsintervallet imellem de enkelte lag som oftest er forskellige og uden forbindelse med de hændelser, der fremkalder ændringer. En forbedret model netop med fokus på ændringer blev introduceret af Peuquet

& Duan (1995). Begge modeller er eksempler på to spatiale dimensioner samt en tidsdimension (2D + T), og er nyttige redskaber til at analysere og modellere dynamiske processer i 2D som for eksempel ændringer i arealanvendelse (Hansen, 2001). Grundlæggende er det dog meget vanskeligt at opbygge spatio-temporale databaser for fortidige hændelser på grund af manglende data.

som sammenligner det tidlige aspekt af to hændelser. Allen (1984) foreslog et komplet sæt af interval-operatører, som inkluderede *before*, *meets*, *overlaps*, *finishes*, *starts*, *during* og *equal* (figur 6). Disse operatører er en nødvendig forudsætning for at kunne indarbejde den temporale dimension i databaser.

Der har siden begyndelsen af 1990'erne været gjort talrige

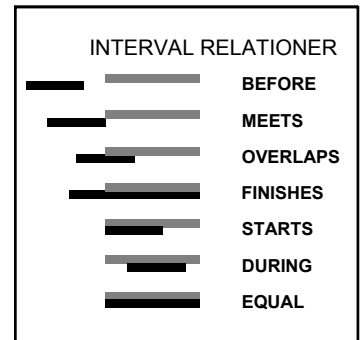


Fig. 6. Allen's interval relationer

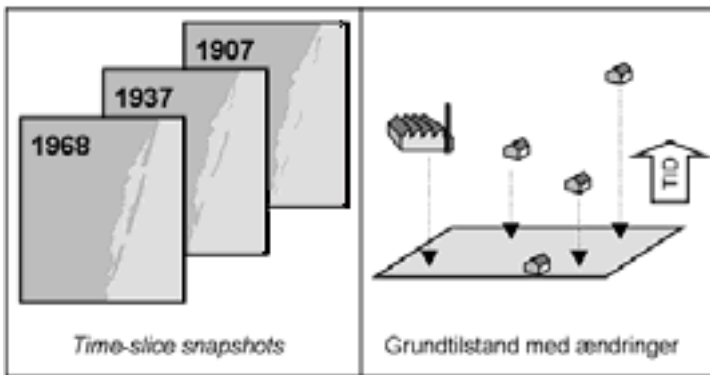


Fig. 5. 2 spatiale dimensioner og 1 temporal dimension

For at kunne modellere komplicerede dynamiske systemer som f.eks. spredning af luftforurening eller iltsvind i Østersøen er det nødvendigt at anvende en fuld 3D model med tilknyttet tidsdimension. Modeller af denne type har hidtil været håndteret i dedikerede systemer, som har været skræddersyet til de enkelte opgaver – bl.a. vejrprognoser og olieeftersforskning.

Ækvivalent med de topologiske relationer imellem 2D og 3D spatiale objekter, kan man definere temporale relationer,

forsøg på at implementere den temporale dimension i SQL, og i denne forbindelse er der udviklet forskellige dialekter af SQL – eksempelvis TSQL2, som er en udvidelse af SQL92 (Snodgrass, 1995). På grundlag af disse indledende forsøg arbejdes der p.t. indenfor den internationale standardiseringsorganisation ISO på at udvide SQL3 med en temporal dimension. Sammen med en fuld 3D datamodel vil vi hermed kunne modellere meget komplekse systemer i standard relationsdatabasesystemer.

Afsluttende bemærkninger

Som nævnt i indledningen er der et stigende behov for at kunne arbejde i tre spatiale dimensioner. Hertil skal lægges tiden som den fjerde dimension. Selvom der p.t. ikke findes kommercielt tilgængelige databaser, som til fulde håndterer 3D og / eller 4D foregår der en intens forskning og udvikling med henblik på at implementere disse aspekter i SQL. Såvel datamodeller som topologiske operatører er efterhånden grundigt gennemarbejdede, og det konkrete arbejde med at udvide eksisterende standarder er påbegyndt. I løbet af nogle få år vil vi derfor med sikkerhed kunne arbejde håndtere 3D og 4D lige så let, som vi i dag anvender 2D.

Referencer

Allen, J.F. (1984). Towards a general theory of actions and time. *Artificial Intelligence* vol. 23, pp. 123 -154.

Claramunt, C. & Jiang, B. (2001). An integrated representation of spatial and tem-

poral relationships between evolving regions. *J. Geograph. Systems*, vol. 3, pp. 411 – 428.

Egenhofer, M. & Franzosa, R. (1991). Point-Set Topological Spatial Relations. *Int. J. of Geographical Information Systems*, Vol. 5, pp. 161-174.

Egenhofer, M. & Herring, J. (1990). A Mathematical Framework for the Definition of Topological Relationships. *Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*, Zurich, Switzerland, July 1990.

Gargantini, I. (1992). Linear octrees for fast processing of three-dimensional objects. *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 20, pp. 365 – 374.

Hansen, H.S. (2001). A quasi four-dimensional database for the built environment. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2181, pp. 48 – 59.

Langran, G. (1992). Time in geographic information systems. Taylor & Francis, London, 1992.

Lattuada, R. & Raper, J. (1995). Application of 3D Delauney triangulation algorithms in geoscientific modelling. *Proceeding GIS Research UK 95*, pp. 150 – 153.

Lattuada, R. & Raper, J. (1998). Modelling of salt domes from unorganised sets of points. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 23, pp. 273 – 277.

Raper, J. (2000). *Multidimensional geographic information science*. Taylor & Francis, London, 2000.

Samet, H. (1992). Hierarchical data structures for three-dimensional data. *Geologisches Jahrbuch*, vol. A122, pp. 45 – 58.

Snodgrass R.T. (1995). Introduction to TSQL2. Snodgrass R.T. (Ed.): *The TSQL2 Temporal Query Language*. Kluwer, 1995.

Om forfatteren

Henning Sten Hansen, Senior Scientist, Danmarks Miljøundersøgelser, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, e-mail: hsh@dmu.dk