

Taalkundige onzekerheid in ruimtelijke analyse

modellering en visualisatie

Bin Jiang

kartografische visualisatie, modellering van geografische informatie, kwaliteitsbeheersing
cartographic visualization, modelling of geographical information, quality control
visualisation cartographique, modélisation de l'information géographique, contrôle de qualité

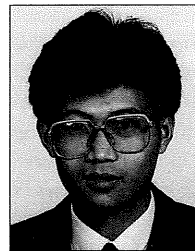
TREFWOORDEN
KEYWORDS
MOTS-CLÉS

Om de interpretatie van remote sensing- en GIS-gegevens te vergemakkelijken worden de gegevens vaak geclassificeerd. Zo kunnen de vele hellingshoeken binnen een reliëfrijk gebied worden omgezet in een beperkt aantal klassen die met taalkundige begrippen zoals 'lichte, matige en steile helling' worden aangeduid. De overgangen tussen dergelijke klassen worden traditioneel scherp en abrupt weergegeven. In werkelijkheid zijn ze vaak minder scherp te trekken en bestaat er onzekerheid over de juiste locatie ervan. In diverse toepassingen moet met deze onzekerheid rekening worden gehouden. In dit artikel leest u meer over het modelleren en kartografisch visualiseren van dergelijke onzekerheden.

Zodra er taalkundige begrippen worden gebruikt voor de classificatie van remote sensing- en GIS-gegevens ontstaat er onzekerheid. Wat is de betekenis van deze taalkundige begrippen als ze worden gebruikt om klassen met ruimtelijke objecten te beschrijven? Neem bijvoorbeeld de taalkundige variabele helling. *Zeer lichte, matig lichte, lichte, matige, matig steile, steile, zeer steile en extreem steile helling* zijn voorbeelden van begrippen die in dit verband gebruikt kunnen worden. In het algemeen is de waarde van een taalkundig begrip een samengestelde term $x = x_1x_2...x_n$, hetgeen een aaneenschakeling van de afzonderlijke uitdrukkingen x_1, x_2, \dots, x_n is. Deze afzonderlijke termen kunnen worden verdeeld in vier categorieën [Zadeh, 1978]:

1. Primaire termen, ofwel aanduidingen voor specifieke *fuzzy subsets* ('vage deelverzamelingen'), bijvoorbeeld *licht* en *steil* in bovengenoemd voorbeeld.
2. De ontkenning *niet* en de voegwoorden *en* en *of*.
3. Toevoegingen, zoals *zeer, matig, veel, minder, licht, min of meer*.
4. Markeringen, zoals haakjes.

Primaire termen komen bij ruimtelijke analyse vaak voor in een combinatie van drie of vijf niveaus, zoals {*licht, matig, steil*} of {*zeer licht, licht, matig, steil, zeer steil*}. Hierbij worden middelen gebruikt om de reeks waarden van een taalkundig begrip te versterken, af te zwakken of te structure-



Dr. Bin Jiang is momenteel werkzaam als postdoctoraal onderzoeker bij het Instituut voor Geografische Wetenschappen, Vrije Universiteit van Berlijn, Arno-Holz-Strasse 12, 12165 Berlijn, Duitsland. Tel. +49 30 838 3892; fax +49 30 838 6739; e-mail bjiang@gauss.geog.fu-berlin.de

ren. De voegwoorden *en* en *of* verbinden verschillende primaire termen om een gecombineerde te verkrijgen. Ze worden gewoonlijk gebruikt in operaties waarbij gegevens worden opgevraagd. De ontkenning kan bij primaire termen worden toegepast. Een taalkundige toevoeging of bepaling is een middel om de betekenis van een term, of meer in het algemeen van een fuzzy set, te veranderen. *Steil* kan bijvoorbeeld worden veranderd in *matig steil* of *zeer steil*. In dit voorbeeld worden twee soorten bepalingen gebruikt, een afzwakkende en een versterkende. Tijdens zoekoperaties betekent zoeken binnen een straal van (bijvoorbeeld) 5 km eigenlijk *ongeveer 5 km*, of *bij benadering 5 km*. Daarom zijn er drie groepen taalkundige toevoegingen nodig die gebruikt kunnen worden om 'vaagheid' aan te geven voor ruimtelijke analyse, de twee bovengenoemde bepalingen en een toevoeging die fungeert als benadering.

Bij fuzzy ruimtelijke analyse zouden de volgende vragen kunnen opkomen:

- Wat is de verspreiding van een fuzzy klasse?
- Hoe verandert de verspreiding als de fuzzy klasse wordt versterkt of verzwakt?
- Wat is de verspreiding van een combinatie van twee fuzzy klassen?

In dit artikel worden enkele basisprincipes gepresenteerd die te maken hebben met fuzzy ruimtelijke analyse, inclusief het genereren van fuzzy-gegevens en het combineren van gegevens door overlay-operaties. Om de fuzzy sets te kunnen analyseren en om het

nemen van beslissingen te vergemakkelijken worden er visualisatietechnieken voorgesteld. Tot slot volgen enkele conclusies.

Er bestaat overigens veel literatuur over toepassing van de fuzzy set theorie in regionale planning en ruimtelijke analyse. Leung [1988] heeft fuzzy taalkundige begrippen gebruikt om ruimtelijke analyses te karakteriseren. Dutta [1991] heeft een gegeneraliseerd raamwerk voorgesteld voor ruimtelijke redeneringen van kwalitatieve aard met gebruik van de fuzzy set theorie. Altman [1994] heeft fuzzy gebieden gedefinieerd, en de definities van afstand en richting tussen twee van zulke gebieden besproken. Hootsmans [1996] heeft recent verslag gedaan van een studie naar de analyse van fuzzy series en het nemen van beslissingen op basis van visuele informatie.

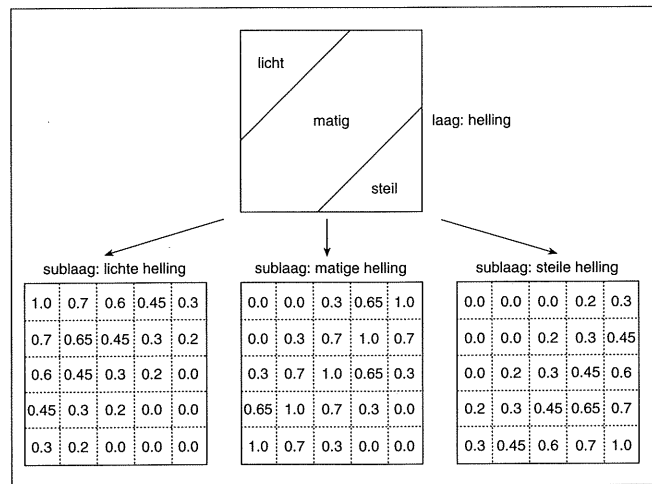
De sublaag voor onzekerheidsinformatie

Om onzekerheid weer te geven kan er een sublaag van een traditionele laag in een huidig GIS worden gedefinieerd. Het is in feite een fuzzy subset, die fuzzy ruimtelijke analyse kan vergemakkelijken. In vergelijking met algemene karteerbare gegevens is de weergave van onzekerheid relatief onbekend bij de meeste domeinspecialisten.

Als er bijvoorbeeld drie klassen worden onderscheiden in een bepaald studiegebied, en elk van hen kan worden aangegeven met taalkundige begrippen zoals *lichte*, *matige* en *steile helling*, dan kan binnen de traditionele binaire logica elke locatie slechts in één van de drie klassen vallen. De laag met hellingengegevens van dit gebied bevat dus drie klassen die zijn gedefinieerd naar de omvang van de hellingshoek, en de grenzen tussen deze klassen zijn scherp en abrupt (zie figuur 1).

Zoals reeds is aangegeven, is een sublaag een fuzzy subset van een laag. In bovengenoemd voorbeeld kunnen dan ook drie sublagen worden verkregen van de laag met hellingengegevens. Al deze sublagen zijn onzekerheidskaarten, waarbinnen de getallen tussen 0 en 1 de mate van (on-)zekerheid weergeven. Waarden van 1 en 0,7 in de sublagen betekenen bijvoorbeeld dat de locaties met die waarden met een zekerheid van resp. 100 en 70% tot de corresponderende klasse (zouden) kunnen behoren. Onzekerheid over over-

Figuur 1. Onzekerheidsinformatie in drie sublagen die zijn afgeleid van een bestaande laag in een GIS.



gangen tussen klassen worden echter nauwkeurig weergegeven. In die zin is de sublaag een onzekerheidskaart, maar de inhoud ervan is niet fuzzy, integendeel zelfs, fuzzy grenzen worden scherp en abrupt weergegeven.

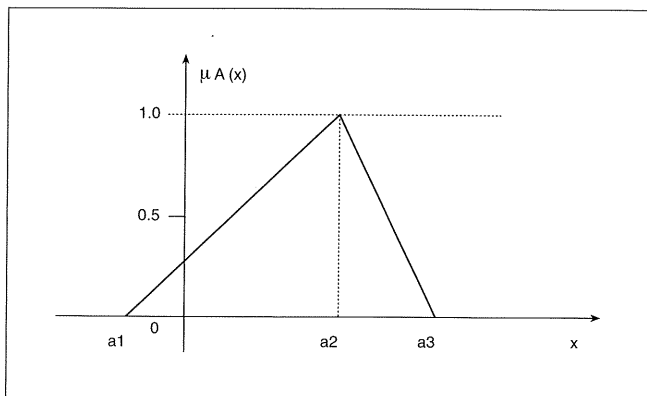
De sublagen voor onzekerheid kunnen worden gecreëerd met behulp van een aantal *membership* functies¹⁾. Hier wordt er echter vanuit gegaan dat de S-vormige membership functie de meest geschikte is voor taalkundige begrippen.

Het genereren van fuzzy-gegevens als uitgangspunt voor fuzzy overlay-analyse

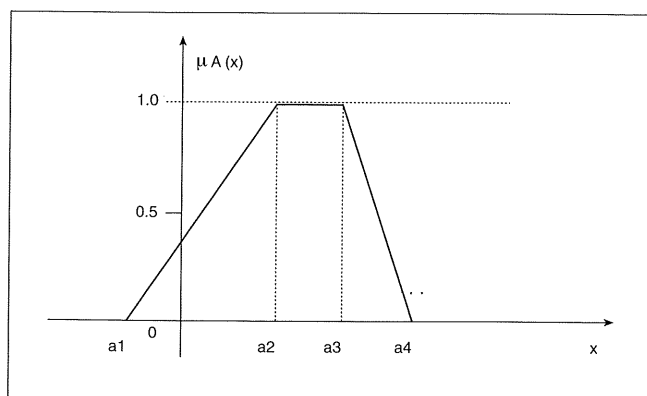
Om fuzzy-gegevens te genereren wordt de mate van zekerheid van een fuzzy fenomeen gemeten op een schaal van 0 tot 1. Meestal wordt dat gedaan met behulp van geschikte membership functies. Een taalkundige combinatie van begrippen op drie niveaus zoals *laag*, *matig*, *hoog* is in feite een verzameling van drie fuzzy getallen of fuzzy subsets. Elk element kan worden gedefinieerd als een wiskundige formule. *Matig* kan echter worden beschouwd als een aaneenschakeling van de hoge en lage delen. Hieronder wordt dan ook alleen de wiskundige omschrijving van het tussenliggende deel gegeven. Beschrijving van de andere delen kan daar gemakkelijk uit worden afgeleid. Figuur 2 laat een fuzzy functie in driehoekige vorm zien (*Triangular Fuzzy Number* of T.F.N.) die gedefinieerd kan worden door de drie parameters (a_1 , a_2 , a_3). De membership functie is gegeven in kader 1.

De T.F.N. is de eenvoudigste van de drie functies. Het centrale concept van de klasse kent slechts één enkele waarde, en de overgang wordt gevormd door een eenvoudige lineaire verbinding.

In tegenstelling tot de T.F.N. is de functie met de vorm van een trapezoïde gebaseerd op het argument dat het centrale concept van een klasse vaak niet een enkele waarde, maar een reeks waarden omvat. Met andere woorden, voor $\alpha = 1^2$) krijgen we geen punt maar eerder een rechte lijn over een interval (a_2 , a_3), zoals in figuur 3. Dit is een andere belangrijke functie, die bekend staat als *Trapezoidal Fuzzy Number* (T.F.N.). Deze functie kan dus worden weergegeven door de vier parameters (a_1 , a_2 , a_3 , a_4). Voor de membership functie wordt verwezen naar kader 2.



Figuur 2. Fuzzy functie met driehoekige vorm.



Figuur 3. Fuzzy functie met de vorm van een trapezoïde.

De membership functie van figuur 2 kan als volgt worden gedefinieerd

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases}$$

Voor een α -cut³⁾ ziet de T.F.N. er als volgt uit:

$$\forall \alpha \in [0, 1]: A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_3^{(\alpha)}] = [(a_2 - a_1)\alpha + a_1, -(a_3 - a_2)\alpha + a_3]$$

Kader 1. Definitie van de membership functie van de T.F.N.

De membership functie van figuur 3 kan als volgt worden gedefinieerd

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 < x < a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases}$$

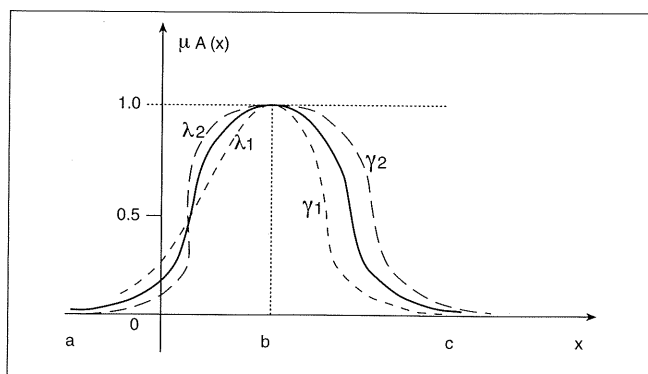
Voor een α -cut ziet de Tr.F.N. er als volgt uit:

$$\forall \alpha \in [0, 1]: A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_4^{(\alpha)}] = [(a_2 - a_1)\alpha + a_1, -(a_4 - a_3)\alpha + a_4]$$

Kader 2. Definitie van de membership functie van de Tr.F.N.

De twee bovengenoemde functies bakenen de overgangszone van 0 naar 1 niet op natuurlijke wijze af. De functie met de vorm van een normale verdeling (de *Bell-shaped fuzzy number* of B.F.N.) lijkt geschikter voor een taalkundige combinatie van drie begrippen op verschillende niveaus. De functie moet daarvoor aan een aantal voorwaarden voldoen die door Dombi [1990] zijn beschreven.

Dombi's membership functie kan dan ook worden beschouwd als de optimale omdat er twee parameters (λ en γ) zijn om resp. de scherpte en het buigingspunt van de membership curves te veranderen (zie figuur 4). Het probleem voor een specifieke toepassing is echter het vinden van zodanige geschikte waarden voor deze twee parameters dat de gegenereerde fuzzy waarden consistent zijn met de werkelijkheid. Over het algemeen worden memberships functies met een s-vormige en normale curve gebruikt in de fuzzy set theorie. Deze vormen lijken intuïtief rede-



Figuur 4. Fuzzy functie met de vorm van een normale verdeling.

lijk, maar er is nog geen theorie om die intuïtie te ondersteunen.

Indien gelet wordt op de vorm kunnen er een aantal membership functies worden onderscheiden, zoals lineair, exponentieel, hyperbolisch, omgekeerd hyperbolisch en uit meerdere lineaire stukken bestaand [Sakawa, 1983]. De normale functies met twee parameters komen het meest voor.

Semantische functies

Semantische functies zijn taalkundige bepalingen die ons in staat stellen om de kwalificatie van sommige taalkundige begrippen enigszins te veranderen. De gebruiker van informatie is bijvoorbeeld meer geïnteresseerd in het gebied met een *zeer lage* vervuilingindex dan in het gebied met gewoon een *lage* index. Volgens Laforia [1992] kunnen er twee belangrijke groepen van bepalingen worden onderscheiden, versterkende en afzwakkende. In kader 3 wordt aangegeven hoe deze twee bepalingen kunnen worden gedefinieerd.

Het is duidelijk dat set A in kader 3 valt binnen de versterkte A ($\uparrow A$) en de afgezwakte A ($\downarrow A$), dus $\uparrow A \supset A \downarrow A$. Volgens die relatie is het heel gemakkelijk

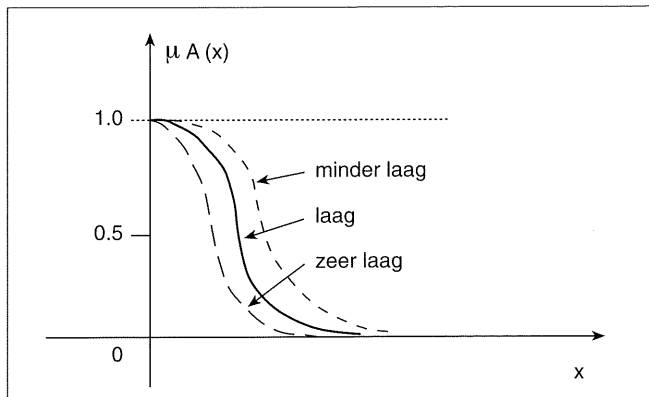
Er vanuit gaande dat een element van een taalkundige combinatie op drie niveau's 'A' de membership function $\mu_A(x)$ heeft, dan kunnen 'zeer A' en 'minder A' als volgt worden gedefinieerd:

$$\mu_{\downarrow A}(x) = \begin{cases} \mu_A(x), & x \geq k \\ 0, & x < k \end{cases}$$

en

$$\mu_{\uparrow A}(x) = \mu_A(x-k),$$

waar 'zeer A' wordt genoteerd als $\uparrow A$, en 'minder A' als $\downarrow A$.



om afzonderlijke curves van de versterkende en de afzwakkende bepalingen te herkennen (zie figuur 5).

In het geïmplementeerde prototype systeem [Jiang, 1996] werken de beide parameters λ en γ ook afzonderlijk als een versterkende en een afzwakkende bepaling (zie figuur 4).

Semantische functies kunnen worden beschouwd als functies die worden toegepast op de eerste onzekerheden die worden verkregen na het genereren van fuzzy gegevens. Voor het hele overlay-model is het echter slechts één stap. Een andere belangrijke component van overlay-operaties is combinatie. Deze wordt hierna besproken.

Combinatie als een ander principe voor fuzzy overlay analyse

Het idee van combinatie is direct afkomstig van de metafoor van het natuurlijke taalgebruik. In plaats van een aan een klasse toegekende eigenschap zoals *matig* of *hoog* prefereert een gebruiker soms een tussenliggend antwoord, bijvoorbeeld de vervuilingindex is *matig* of *hoog*. Figuur 6 laat membership curves zien van resp. *matige* en *hoge* vervuilingindices. De situaties *matig* OF *hoog* en *matig* EN *hoog*

Kader 3. Definitie van versterkende en afzwakkende bepalingen.

Figuur 5. De semantische functies zeer en minder.

Figuur 6. Combinatie met gebruik van de max-min functie.

kunnen grafisch worden weergegeven met zogenaamde max-min functies. In gewoon taalgebruik betekent dit dat als een gebruiker gebieden wil zien met een *matige* OF *hoge* vervuilingindex hij in feite beide wil zien. Het logische *of* wordt gebruikt om aan te geven dat een specifieke waarde mogelijk behoort tot ofwel de *matige*, ofwel de *hoge* klasse.

De voorgaande secties vormen de basisprincipes voor fuzzy ruimtelijke analyse. Een uitgebreid fuzzy overlay-model is in detail als voorbeeld besproken in Jiang en Kainz [1996].

Visualisatie om fuzzy overlay analyse te vergemakkelijken

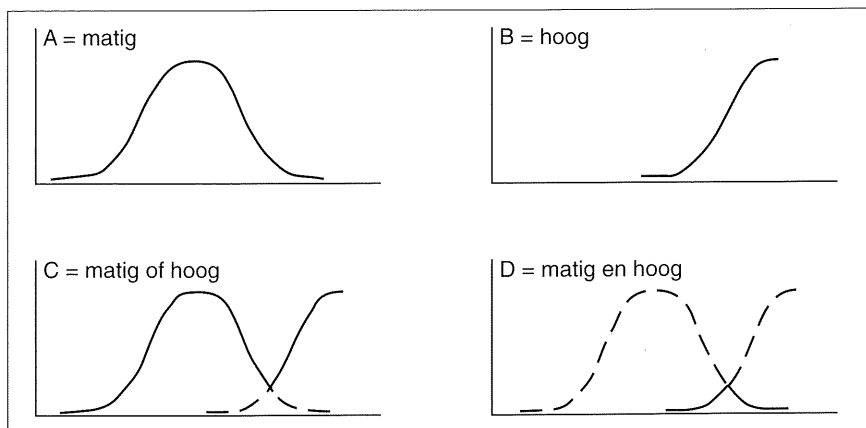
Visualisatie kan fuzzy overlay analyse die tot doel heeft om structuren en patronen te ontdekken en beter te leren kennen, vergemakkelijken. Visualisatie speelt een rol bij zowel de weergave als de exploratie van gegevens. Onzekerheid kan op efficiënte wijze worden weergegeven en tijdens het dynamische proces van exploratie van de gegevens kunnen gemakkelijk patronen en afwijkingen worden geïdentificeerd.

Weergave van de sublaag voor onzekerheid

Om het maken van beslissingen op basis van visuele informatie te vergemakkelijken moet de sublaag effectief en efficiënt worden gevisualiseerd met verschillende visuele variabelen. Binnen het kader van het onderzoek zijn een aantal kleurvariabelen gebruikt om onzekerheid weer te geven. Het zijn kleurtint, grijswaarde, verzadiging, willekeurig verdeelde stippen en achromatische grijswaarde. Voor een definitie van deze begrippen wordt de geïnteresseerde lezer verwezen naar relevante literatuur³⁾. Hier wordt volstaan met opmerkingen over slechts enkele variabelen. Er worden twee soorten grijswaarden onderscheiden. *Grijswaarde (+)* gaat van wit naar een volledig verzadigde kleurtint, terwijl *grijswaarde (-)* van zwart naar een volledig verzadigde kleurtint loopt. Willekeurig verdeelde stippen zijn te vergelijken met grein in Bertin's systeem van grafische variabelen. Door de dichtheid van de willekeurig verdeelde stippen te variëren kunnen verschillen in de waarden van gegevens worden uitgedrukt. In een achromatische schaal bestaan de variabelen kleurtint en verzadiging niet, alleen grijswaarde.

Perceptietests

Onzekerheid kan worden omschreven via membership van een bepaald object van een onzekerheidsklasse. Als een fuzzy begrip bijvoorbeeld wordt weergegeven door een be-



paalde kleurtint kunnen verschillen in verzadiging of grijs-waarde verschillen in zekerheid aanduiden. Een voor de hand liggend principe is 'hoe meer verzadigd, hoe zekerder'. De eerdergenoemde onzekerheid over de klasse waartoe een helling gerekend moet worden, kan op deze manier worden weergegeven. Om de oorspronkelijke classificatie in combinatie met onzekerheid weer te geven kan ook gebruik worden gemaakt van zogenaamde dubbelvariabele kleurenschema's.

Om na te gaan hoe de perceptie van onzekerheid verloopt via verschillende kleurenschema's en hoe dubbelvariabele schema's kunnen worden gebruikt voor het weergeven van een combinatie van geclassificeerde gegevens en onzekerheid is een aantal perceptietests uitgevoerd. Het doel was om te kunnen vaststellen wat de waarnemings eigenschappen van kleurvariabelen zijn bij het weergeven van onzekerheidsinformatie. Hier worden slechts de resultaten van de tests vermeld. De geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar Jiang et al., [1996], voor meer gedetailleerde informatie.

In totaal werden vijf verschillende kleurschalen en vier dubbelvariabele kleurenschema's gebruikt voor het weergeven van resp. onzekerheid en de geclassificeerde gegevens gecombineerd met onzekerheid. Alhoewel in enkele eerdere onderzoeken gepoogd is om een verzadigingsschaal te gebruiken, blijkt dat een grijswaardenschaal die begint met wit (*grijswaarde* +) relatief gemakkelijk wordt waargenomen, en één van de beste oplossingen is. De willekeurig verdeelde stippenschaal bewerkstelligd als alternatief voor de kleurenschaal een intuïtief goed begrip van de onzekerheid. Tevens blijkt dat dubbelvariabele kleurenschema's met een willekeurig verdeelde stippenschaal langs beide assen of met willekeurig verdeelde stippen langs één en een tint-schaal langs de andere as voordelen hebben boven spectraal gecodeerde schema's voor de visualisatie van geclassificeerde gegevens in combinatie met onzekerheid en voor de combinatie van attribuutinformatie van verschillende fenomenen.

Exploratie van de gegevens

Om efficiënte communicatie van onzekerheidsinformatie mogelijk te maken zijn voorzieningen nodig om te kunnen begrijpen wat er eigenlijk wordt bedoeld met de weergegeven informatie. Dankzij vorderingen die zijn gemaakt in interactieve computertechnieken, vooral op multimedia- en hypermedia-gebied, is dat mogelijk. Er zijn twee basisprincipes gebruikt om de exploratie van onzekerheidsgegevens mogelijk te maken. Ten eerste moet een sublaag met onzekerheidsgegevens interactief kunnen worden gemanipuleerd. Daartoe is een set exploratiehandelingen gedefinieerd. Ten tweede is rekening gehouden met de veronderstelling dat het onderscheidingsvermogen van persoon tot persoon verschilt.

De sublaag met onzekerheidsgegevens kan worden gemanipuleerd om potentiële ruimtelijke patronen en structuren te ontdekken. Exploratieve handelingen waarvoor in het verkenningproces expliciete (fysieke en cognitieve) menselijke capaciteiten vereist zijn - zoals onthouden en opmerken - zijn hieronder omschreven (zie ook figuur 7).

Knipperen: het oplichten in een bepaalde frequentie. Als het wordt toegepast voor een object op het scherm trekt dat de aandacht.

Oplichten: laat geselecteerde gebieden of categorieën van een beeld of foto zien door ze licht weer te geven.

In- en uitzoomen: verandert de grootte van een object; inzoomen vergroot, terwijl uitzoomen verkleint.

Meedraaien (pannen): verandert de positie van een beeld ten opzichte van het scherm van de monitor via knoppen waarmee het beeld binnen een venster gemanipuleerd kan worden.

Slepen: het oppakken van een object en naar een andere positie brengen voor verdere exploratie.

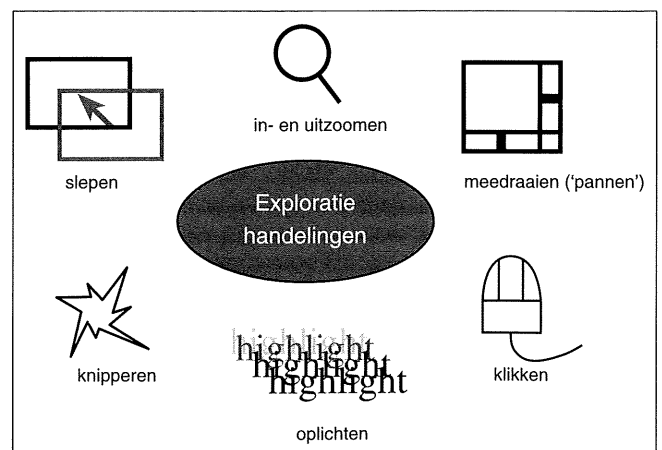
Klikken (zowel enkel als dubbel klikken): een basishandeling met de cursor. Andere exploratiehandelingen beginnen hier vaak mee.

Zoals de visuele variabelen worden gebruikt voor statische grafische weergave kunnen de exploratiehandelingen worden gebruikt om de gegevens te onderzoeken. Naar de mening van de auteur kunnen deze handelingen worden gebruikt in combinatie met dynamische variabelen zoals moment van weergave, duur, frequentie, volgorde, mate van verandering en synchronisatie [DiBiase, 1990; MacEachren, 1994].

Algemene conclusies

In dit artikel is ingegaan op twee belangrijke aspecten van onzekerheid, namelijk modellering en visualisatie. Er kan worden geconcludeerd dat fuzzy overlay een nuttige aanvulling vormt op de traditionele overlay-operatie. Het genereren van fuzzy gegevens en combinatie ervan met de oorspronkelijke geclassificeerde gegevens kunnen worden beschouwd als basis-

Figuur 7. Exploratieve handelingen waarmee gegevens kunnen worden verkend.



principes voor fuzzy overlay modellering. Bovendien kan visualisatie de representatie van onzekerheid en de exploratie van fuzzy gegevens vergemakkelijken. Uitgevoerde perceptie tests hebben, zoals is beschreven, nuttige resultaten opgeleverd.

Literatuur

- Altman, D. (1994), Fuzzy Set Theoretic Approach for Handling Imprecision in Spatial Analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 8, no. 3, pp. 371-289.
- DiBiase, D.W. (1990), Scientific Visualization in the Earth Sciences. *Earth and Mineral Sciences*, The Pennsylvania State University, Vol. 59, no. 2, pp. 13-18.
- Dombi, J. (1990), Membership Function as an Evaluation. *Fuzzy Sets and System*, no. 35, Noord-Holland, pp. 1-21.
- Dutta, S. (1991), Approximate Spatial Reasoning: Integrating Qualitative and Quantitative Constraints. *International Journal of Approximate Reasoning*, 5, pp. 307-330.
- Hootsmans, R.M. (1996), *Fuzzy Sets and Series Analysis for Visual Decision Support in Spatial Data Exploration*. Proefschrift verschenen bij de Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Jiang, B. (1996), *Fuzzy Overlay Analysis and Visualization in GIS*. Proefschrift verschenen bij de Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Jiang, B., A. Brown & F.J. Ormeling (1996), Some Perceptual Aspects of Coloring Uncertainty. *Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Data Handling* (in druk), Taylor & Francis.
- Jiang, B. & W. Kainz (1996), Fuzzy Overlay Analysis with Linguistic Degree Terms. *Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Data Handling* (in druk). Taylor & Francis.
- Laforia, B.B.M. (1992), Fuzzy Logic and Knowledge Representation Using Linguistic Modifiers. In: Zadeh, L.A. & J. Kacprzyk (eds.), *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 399-414.
- Leung, Y. (1988), *Spatial Analysis and Planning Under Imprecision*. Elsevier Science Publishers: Amsterdam.
- MacEachren, A.M. (1994), Time as a Cartographic Variable. In: Hearnshaw, H.M. & D. Unwin (eds.), *Visualization in Geographical Information Systems*. John Wiley & Sons: Chichester, pp. 115-130.
- Sakawa, M. (1983), Interactive Fuzzy Decision Making for Multi-objective Linear Programming Problem and its Application. *Proceedings of the IFAC Fuzzy Information*. Marseille, France, pp. 295-300.
- Zadeh, L.A. (1978), Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process. *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, SMC-3, pp. 28-44.

Noten

Dit artikel is geschreven naar aanleiding van het behalen van de graad van doctor door de auteur. De gegevens van het oorspronkelijke proefschrift zijn als volgt: Bin Jiang (1996), *Fuzzy Overlay Analysis and Visualization in Geographic Information Systems*. Proefschrift verschenen bij de Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit

Utrecht, ISBN 90 6266 128 9. Als promotors traden prof.dr. F.J. Ormeling van de Universiteit Utrecht en prof.dr. W. Kainz van het RTC te Enschede op. De verdediging vond plaats op 23 februari 1996. Dit artikel is uit het Engels vertaald en, waar noodzakelijk geacht, van noten voorzien door Connie Blok. Zij heeft daarbij dankbaar gebruik gemaakt van het commentaar van Rob Hootsmans op een eerste versie van het huidige artikel.

1. Een *membership* functie zet waarden van gegevens om in *possibility* waarden die kunnen liggen tussen 0 en 1. Deze waarden geven de mate van (on-)zekerheid over het lidmaatschap van een bepaalde klasse weer, de extremen 0 en 1 betekenen resp. *absoluut niet waar* en *absoluut waar*.
2. λ wordt gebruikt als grenswaarde binnen de onzekerheidswaarden. Toepassing van een γ -cut betekent dat waarden groter dan α een subset gaan vormen met een scherpe en abrupte grens.
3. Zie bijvoorbeeld E.S. Bos e.a. (1991), *Kartografisch Woordenboek*. Nederlandse Vereniging voor Kartografie, p. 39

Summary

Bin Jiang - Linguistic uncertainty in spatial analysis; modeling and visualization

Keywords: cartographic visualization, modelling of geographical information, quality control

Modeling and visualization are two aspects of uncertainty information in the integration of remote sensing and GIS data. The concept of an uncertainty sublayer is defined in order to understand and perceive uncertainty thoroughly. Although this paper is initially oriented to linguistic uncertainty, some basic approaches are also applicable to other types of uncertainty. It is concluded that the combination of modeling and visualization can improve the functionality of GIS in spatial analysis and visual decision making. Specifically, the fuzzy overlay model is an extension of the overlay operation, and conducted perception tests illustrate some useful results regarding the use of color to represent uncertainty.

Résumé

Bin Jiang - Problèmes 'linguistiques' dans l'analyse spatiale: modélisation et visualisation

Mots-clés: visualisation cartographique, modélisation de l'information géographique, contrôle de qualité

Afin de faciliter l'interprétation des données dérivées de la télédétection et du SIG, celles-ci sont classifiées non pas quantitativement, mais qualitativement à l'aide des adjectifs par exemple 'légère - moyenne - forte' pentes de la sorte que la région sera cartographiée d'après ces termes, indiquant des passages abrupts d'un seuil à l'autre, alors qu'en réalité il s'agit d'une transition graduelle. Nous sommes donc en présence d'une incertitude concernant la localisation exacte des phénomènes analysés. L'article traite de ces problèmes, notamment à la lumière de la 'fuzzy set theory'. La modélisation et la visualisation cartographique de ces données incertaines sont également passées en revue.