

Jaroslav HOFIERKA

GEOMETRICKÁ ANALÝZA POVRCHOV (2D) A OBJEMOV (3D) AKO NÁSTROJ PRE SKÚMANIE DYNAMICKÝCH JAVOV PRÍRODNEJ KRAJINY V RÁMCI 3D GEOINFORMAČNÝCH SYSTÉMOV

Hofierka, Jaroslav: Geometry analysis of surfaces (2D) and volumes (3D) as a tool for investigation of dynamic phenomena of natural landscape within 3D geoinformation systems. Kartografické listy, 1993, 1, 24 refs.

Abstract: Surface and volume geometry analysis of natural phenomena is considerably helpful in understanding of their spatial dynamics. Theory and applications have been successfully solved for surfaces, however, in 3D case the problem is more complicated and has been solved only recently. A development of 3D methods for volume analysis has a great potential for their use in detailed landscape modelling within 3D GISs.

Key words: geometry analysis, modelling, 3D geographical information systems, interpolation.

Úvod

Problematika geometrickej analýzy povrchov (2-dimenzionálnych skalárnych polí) bola podrobne rozpracovaná v prácach Krchu ([7], [8], [9] ako aj v iných jeho prácach). Zo zahraničnej literatúry môžeme takisto spomenúť práce [2], [15], [18], [23]. Tento 2-dimenzionálny prístup je vhodný pre výskum javov, ktoré môžu byť modelované aproximačnou funkciou

$$z = f(x,y) .$$

Týmto prístupom je možné skúmať reliéf a na ňom prebiehajúce procesy, resp. javy, pri ktorých je za určitých podmienok možné zanedbať tretiu nezávislú premennú z. Avšak v mnohých aplikáciách, predovšetkým z oblastí geologických a meteorolo-

globálnych vied, je veľmi žiadúce skúmať javy a ich vlastnosti v priestore, t.j. pomocou funkcie

$$w = f(x, y, z)$$

Prác, zaoberajúcich sa geometrickou analýzou 3-dimenzionálnych skalárnych polí, je v súčasnosti veľmi málo a celá problematika je v období intenzívneho výskumu. Čiastkovo sa touto problematikou zaoberá fyzikálna, prípadne technická literatúra [19]. Rozšírenie týchto poznatkov predstavujú v súčasnosti práce [4], [5], [24].

Geometrická analýza povrchov

Pri 2-dimenzionálnej analýze sa používa množstvo morfometrických parametrov charakterizujúcich topicky vlastnosti povrchu v danom bode. Najviac používané sú veľkosť a smer gradientu, normálové krivosti a to predovšetkým v smere gradientu a v smere naň kolmom. Bežne sa tiež používa Gaussova a stredná krivosť. Predovšetkým prvá skupina morfometrických parametrov našla široké uplatnenie v geomorfológii pri štúdiu dynamiky svahových procesov [1], [2], [8], [18], [23]. V poslednom období dochádza k ich intenzívnemu používaniu predovšetkým pri výskume erózo-akumulačných procesov [13]. Ich uplatnenie je však bežné aj v iných krajinnookologických aplikáciách napr. pri štúdiu oslnenia reliéfu priamym slnečným žiarením, výpočte množstva slnečnej energie vstupujúcich do modelov tvorby biomas, topenia snehu a pod. [8], [18].

Základným predpokladom efektívneho výpočtu týchto morfometrických parametrov je použitie vhodnej interpolačnej funkcie, ktorá by okrem presnej interpolácie umožňovala aj priamy výpočet parciálnych derivácií. Táto podmienka diferencovateľnosti (minimálne 2. rádu) je splnená u niektorých nových funkcií odvodených v prácach [12], [13], [15], [16]. Tieto funkcie patria medzi globálne bazové funkcie splajnového typu. Výhodnosť týchto funkcií viedla k ich implementácii v rámci niektorých geografických informačných systémov a to predovšetkým GRASS-u a Arc-Info v ich najnovších verziách 4.1, resp. 6.1. [6], [13].

Samotný fakt možnosti výpočtu parciálnych derivácií interpolačnej funkcie, ktorá modeluje daný jav, dáva možnosť alternatívneho riešenia modelovania niektorých javov, ktoré sú opísané diferenciálnymi rovnicami a riešené numericky napríklad pomocou metód konečných rozdielov a prvkov.

Okrem topických morfometrických parametrov je možné a často žiadúce používať chórické parametre vyjadrujúce vlastnosti širšieho okolia daného bodu povrchu. Bežne užívaná je napríklad špecifická prispievajúca plocha vyjadrujúca plochu, z ktorej povrchová voda priteká do daného bodu, alebo tiež aj dĺžka spádnic. Iné chórické parametre sú bližšie uvedené napr. v práci [10].

Geometrická analýza objemov

Pri modelovaní 3-dimenzionálnych skalárnych polí je takisto potrebné mať k dispozícii 3D interpolačné funkcie s obdobnými vlastnosťami ako pre 2D prípad. V prácach [12], [17] boli publikované explicitné vyjadrenia týchto funkcií. Ich diferencovateľnosť umožňuje priamy výpočet parciálnych derivácií potrebných pre 3D morfometrické parametre. V súčasnosti sú známe najmä veľkosť a smer gradientu. V prácach [4], [5] boli odvodené 3D Gaussova, stredná krivosť a zmena veľkosti gradientu v smere gradientu.

Dá sa očakávať, že interpretovateľnosť týchto topických parametrov bude analogická 2D prípadu. V súčasnosti sa bežne využíva veľkosť gradientu, jeho zmena a prípadne aj divergencia gradientu predovšetkým v hydraulike a meteorológii. Veľkosť gradientu sa napríklad používa na vyjadrenie rýchlosti prúdenia látok v priestore.

V geovedných aplikáciách je možné využitie aj chórických parametrov ako sú priestorové prúdnice, ich dĺžky a prispievajúce objemy [24]. Sú použiteľné pri analýze trajektórií pohybu častíc látok, určovaní oblastí akumulácie, resp. odnosu látok a v neposlednom rade pri identifikácii špecifických priestorových čiar, ktoré sú ekvivalentmi chrbátic a údolnic na georeliéfe a ktorých význam je porovnateľný s týmito čiarami na reliéfe.

3D a 4D geoinformačné systémy

V súčasnosti dochádza k prudkému rozvoju 3D metód, ktoré sú nevyhnutné pri tvorbe 3D GIS-ov [3], [11], [20], [21], [22] ako nástrojov na analýzu dát a priestorové modelovanie. V súčasnosti bežne využívané GIS-y sú 2D, resp. tiež niekedy označované ako 2.5D. K nim patria napríklad Arc-Info, SPANS, IDRISI a iné. Sú vhodné pre úlohy týkajúce sa javov s 2D charakterom, resp. pri úlohách, kde priestorové 3D javy môžu byť zjednodušené na 2D prípad. V geovedných disciplínach ako je napr. geológia, je však použitie týchto 2D GIS-ov nedostačujúce a neuspokojivé. Preto dochádza k prudkému nástupu 3D GIS-ov a dokonca 4D GIS-ov (4. rozmer je čas), ktoré umožňujú modelovať priestorové a vysoko dynamické javy. Ako príklady je možné uviesť GOCAD, IVM, DASDBS, I/EMS, ktoré však majú zväčša charakter CAD systémov. Niektoré klasické 2D GIS-y už obsahujú komerčne dostupné moduly umožňujúce 3D analýzy (napr. Voxel Analyst od firmy Intergraph).

Príkladom nástupu 3D metód môže byť aj snaha vybudovať 3D prostriedky v GRASS-e, kde sa Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ Prírodovedeckej fakulty UK v spolupráci USACERL v Champaign, Illinois, U.S.A. podieľa na tvorbe programov s.surf.3d a r.flow.3d, ktoré umožnia modelovať a analyzovať 3D javy na pracovných staniciach s výkonnou 3D grafikou. Program s.surf.3d umožní interpoláciu v 3D priestore z rôznych typov bodových dát a častá priestorová nehomogenita vstupných dát bude čiastočne eliminovaná použitím oktree segmentácie. Súčasne s interpo-

Možou byť možné vypočítať aj 3D morfometrické parametre ako veľkosť gradientu, jeho smer, zmenu, Gaussovú a strednú krivosť. r.flow.3d je program určený na konštrukciu 3D prúdnic, ich dĺžok a prispievajúcich objemov. Konštrukcia prúdnic prebieha na šesťstenovej sieti (voxlový formát).

Samozrejme, používanie týchto metód vyžaduje pomerne náročnú výpočtovú techniku - predovšetkým na úrovni pracovných staníc s RISC procesormi s niekoľkonásobne väčšou kapacitou disku a operačnej pamäte v porovnaní s najvýkonnejšími osobnými počítačmi triedy PC. Náročnejšia je takisto vizualizácia týchto javov, ktorá sa robí bežne pomocou izoplôch, 3D gridov - voxlov, prípadne aj iných techník.

Záver

V súčasnosti prebieha prudký rozvoj metód, ktoré umožňujú presnejšie modelovať priestorové a dynamické javy. Tento rozvoj v oblasti GIS technológií je vyjadrený vývojom a budovaním 3D a 4D GIS-ov, ktoré považujeme za kľúčové pri detailnom štúdiu a modelovaní krajiny. Paralelne s tým bude pokračovať vývoj 2D GIS-ov, predovšetkým v oblasti desktop GIS-ov, ktorými sa budú riešiť jednoduchšie problémy, napr. pri územnom plánovaní a pod..

Interpolácia a geometrická analýza v 3D priestore predstavuje jednu z dôležitých súčastí týchto 3D GIS-ov. Tieto metódy umožnia odborníkovi zaoberajúcim sa priestorovými javmi lepšie využívať GIS technológie pre potreby svojho výskumu a prípadne dokonca implementovať ich priestorové modely v rámci 3D a 4D GIS-ov podobne, ako je to možné v rámci koncepcie otvoreného GIS-u, ktorá sa používa napr. v GRASS GIS-e, ktorého zdrojový kód je zdarma dostupný na unixovských serveroch a je preto vhodný najmä pre organizácie, ktoré nemajú dostatok finančných prostriedkov na nákup drahého softwaru.

LITERATÚRA

- [1] DIKAU, R.: The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems, (ed. J. Raper), Taylor & Francis, New York, 1989, pp. 51-77.
- [2] EVANS, I.S.: An integrated system of terrain analysis and slope mapping. Z. für Geomorphologie 36, 1980, pp. 274-295.
- [3] FISHER, R.T.: 3D Geographical Information Systems in Hazardous Waste Site Investigations and Groundwater Studies. Abstrakt, Colorado, 1991. (Manuscript).
- [4] HOFIERKA, J., ZLOCHA, M.: Application of Surface and Volume Geometry Analysis in Geosciences. Geologica Carpathica 44, 1993, pp. 94.
- [5] HOFIERKA, J., MITÁŠOVÁ, H., ZLOCHA, M.: Volume geometry analysis: Theory. 1993, pp. 14. (Manuscript).
- [6] JEFFERIS, D.R.: SpaAM: A Spatial Analysis and Modeling System. ARCNEWS 15, 1993, pp. 6-7.
- [7] KRCHO, J.: Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory. Acta UC, Geogr. Physica 1, Bratislava, SPN, 1973.

- [8] KRCHO, J.: *Morfometrická analýza a Digitálne modely georeliéfu*. VEDA Bratislava, 1990, 432 s.
- [9] KRCHO, J.: *Georelief as a subsystem of landscape and the influence of morphometric parameters of georelief on spatial differentiation of landscape-ecological processes*. *Ecology CSFR* 10, 1991, pp. 115-157.
- [10] MIKLÓS, L.: *Morphometric indices of the relief in the LANDEP methods and their interpretation*. *Ecology CSFR* 10, 1991, pp. 159-186.
- [11] MALLET, J.L.: *GOCAD: A computer aided design program for geological applications*. In: Turner, A.K.: *Three dimensional modelling with geoscientific information systems*. Kluwer Scientific Publishers, Dordrecht, 1992, pp. 123-141.
- [12] MITÁŠ, L., MITÁŠOVÁ, H.: *General Variational Approach to the Interpolation Problem*. *Comp. Math. Appl.* 16, 1988, pp. 983-992.
- [13] MITÁŠOVÁ, H.: *Surfaces and Modeling*. *GRASSCLIPPINGS*, Vol.6, No. 3, 1992, pp. 16-21.
- [14] MITÁŠOVÁ, H.: *Interpolation and Topographic Analysis in GRASS*. *GRASSCLIPPINGS*, Vol. 6, No. 2, 1992, pp. 13.
- [15] MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J.: *Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis*. *Mathematical Geology*, 1993, (in press).
- [16] MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M.: *Kartografické modelovanie plôch a telies splajnami s tenziou*. *GaKO* 36, 1990, č. 9, pp. 232-236.
- [17] MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L.: *Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation*. *Mathematical Geology*, 1993, (in press).
- [18] MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A. R.: *Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications*. *Hydrological Processes* 5, 1991, pp. 3-30.
- [19] NIELSON, G. M., FOLEY, T. A., HAMANN, B., LANE, D.: *Visualizing and Modeling Scattered Multivariate Data*. *IEEEJ of Computer Graphics and Applications*, Vol. 11, May 1991, pp. 47-54.
- [20] RAPER, J. F.: *Key 3D modelling concepts for geoscientific analysis*. In: Turner, A.K.: *Three dimensional modelling with geoscientific information systems*. Kluwer Scientific Publishers, Dordrecht, 1992, pp. 215-232.
- [21] RAPER, J. F., KELK, B.: *Three-dimensional GIS*. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W.: *Geographical Information Systems: principles and applications*. Vol. 1 Longman, London, 1991, pp. 299-317.
- [22] SIMS, D. L.: *Applications of 3-D geoscientific modeling for hydrocarbon exploration*. In: Turner, A.K.: *Three dimensional modelling with geoscientific information systems*. Kluwer Scientific Publishers, Dordrecht, 1992, pp. 285-289.
- [23] ZEVENBERGEN, L. W., THORNE, C. R.: *Quantitative analysis of land surface topography*. *Earth Surface Processes and Landforms* 12, 1987, pp. 47-56.
- [24] ZLOCHA, M., HOFIERKA, J.: *Computation of 3-D flowlines and their Application in Geosciences*. *Acta Geologica Universitatis Comenianae* 48, 1992, pp. 8.

S u m m a r y

Geometry analysis of surfaces (2D) and volumes (3D) as a tool for investigation of dynamic phenomena of natural landscape within 3D geoinformation systems

The problem of surface analysis was successfully solved in [2], [7], [8], [9], [15], [18], [23]. The phenomena are modeled by a bivariate function

$$z = f(x, y)$$

However, some phenomena studied in geosciences must be modeled by a tri-variate function

$$w = f(x, y, z)$$

Appropriate interpolation functions have been derived, for example, in [12], [13], [15], [16]. These global basis spline functions are differentiable at least up to the second order what is important for surface and volume geometry analysis.

Only a few papers are focused on the volume geometry analysis. Explicit expressions of 3D morphometric parameters have been published in [4], [5], [24].

Surface geometry analysis is of great importance in geomorphology where the use of morphometric parameters has a long tradition. For landscape-ecological investigations these parameters are used for example in the computation of direct solar energy input, snowmelt process, etc.

Volume geometry analysis is relatively new, however, 3D morphometric parameters have similar usefulness as 2D ones. Parameters like a magnitude of gradient, its orientation and change have been already used in hydraulics and meteorology.

Most of today's GISs are 2-dimensional. There is a strong demand for true 3D GISs especially in geosciences, like geology and meteorology, where 2D GISs cannot be used satisfactorily in many applications. Highly dynamic phenomena should be modeled by 4D GISs.

3D methods are developed also at the Department of Cartography, Geoinformatics and Remote Sensing, Comenius University in cooperation with USACERL in Champaign, Illinois, U.S.A.. s.surf.3d and r.flow.3d are GRASS programs that enable the user to interpolate spatial site data and perform volume geometry analysis and construction 3D flowlines. Using r.flow.3d, it is possible to compute flowpath length and upslope contributing volumes.

All these 3D techniques require a good computer performance in CPU, memory and hard disk capacity.