



Geografia a kartografické modelovanie v GIS

Prehľad metod

Dagmar Kusendova

Rozvoj geoinformacných technológií spolu s intenzívnym využívaním počítačovej techniky otvorili nové možnosti v geografickom výskume a praxi. Kartografické modelovanie ako jedna z metod kartografického výskumu nadobúda v prostredí geografických informacných systémov (ďalej GIS) tiež novú kvalitu a rozmer, čoho výsledkom je tvorba nových typov kartografických modelov (Kusendova 1996).

Z hľadiska geografa je dnes vhodné vedieť čo poskytujú a ako môžu napomôcť geoinformacné systémy a ich technológie riešeniu vybraných problémov s humanno- a regionálno-geografickým zameraním. V nasledovných riadkoch sa pokúsime o prehľad perspektívnych, resp. podľa nášho názoru, taziskových postupov a metod kartografického modelovania implementovaných do programov GIS (Kusendova 1996a). Vopred podotykáme, že ide o postupy, ktoré sa zvyčajne označujú ako *priestorové analýzy*, resp. *priestorová štatistika* (Unwin 1981).

Nakoľko sa metódy kartografického modelovania v technológiách GIS zameriavajú v podstate na tvorbu, analýzu a porovnanie **bodových, líniových a plošných geografických javov a ich povrchov** vo forme digitálnych kartografických modelov, bude náš prehľad štruktúrovaný podobne.

Analyza bodov

Pri bodových objektoch sa väčšina metod sústreďuje najmä na *symbolizačné techniky*, spôsoby *lokalizácie bodu* do zobrazovacieho priestoru a na *analýzu bodových povrchov*.

Postupy symbolizácie

bodov sú dobre rozpracované najmä vo vektorovo orientovaných geoinformacných programoch s dôrazom na rýchlu kartografickú prezentáciu zobrazovaných javov a bodov vo forme bližšej klasickým mapám. Často sú tieto typy programov označované aj ako *desktop publishing* - stolné edičné systémy. Typickým príkladom takeho typu programu s možnosťou tvorby jednoduchých tematických map je komerčný GIS - program MapInfo (MapInfo 1985-1995).

Lokálne hľadisko sa týka najmä tých bodových lokácií, ktoré sa nedajú absolútne lokalizovať pomocou jednoznačných súradníc (geografických, resp. rovinných). Typickým príkladom je určenie definície bodu sídla alebo katastra. Dnes je rozpracovaných viacero metod lokácie definície bodu plošných objektov v GIS programoch, lebo prostredníctvom neho sa uskutočňuje vzájomná väzba medzi priestorovými a obsahovými charakteristikami v údajovej baze GIS. Ale väčšinou ide o geometrické konštrukcie (opísané stvorec, tazisko,...), ktoré nemajú vzťah k lokalizácii ako takej, ale k programovým postupom v GIS.

Častou metódou výskumu bodových povrchov je tzv. *kvadraticka metóda* založená na analýze hustoty bodov v danej tvorcovej sieti prostredníctvom štatistických testov, ktoré analyzujú náhodnosť, deterministickosť, závislosť a nezávislosť rozmiestnenia bodov. Porovnávajú sa hodnoty skutočného rozmiestnenia, t. j. hustoty bodov v okoch siete s pravdepodobnostným rozmiestnením, stanovuje sa ich priemerná hustota, štandardná odchýlka, rôzne indexy a ďalšie štatistické miery, ktoré bližšie analyzujú charakter bodových povrchov (pozri napr. King 1969).

Analyza vzdialenostných charakteristík tvorí základ významných geografických koncepcií implementovaných do GIS, s taziskom v *sietových analýzach*

(Haggett, Chorley 1969). Vzdialenostné - distančné mapy, v podobe izolíniových, resp. choropletových map sú vďaka programovým modelom GIS. Výpočet hodnôt sa uskutočňuje hlavne na základe *euklidovského vzťahu* pre výpočet vzdialenosti od zadaných objektov, ktoré môžu byť aj líniového a plošného charakteru.

Na analýzu povrchov s centrálnou tendenciou sa využíva charakteristika myšlienkeho stredu *meant centre* alebo *standardnej vzdialenosti*

s cieľom sumarizovať, resp. zaznamenať zmeny bodového povrchu v case. Pri alokačných úlohách sa využíva metóda

vypočtu vzdialenosti k najbližsiemu susedovi

(pozri práce Dacey 1963, Getis 1964). Uvedené metódy ďalej rozširujú metódy analýz bodových povrchov založené nielen na výpočte *vzdialenosti* medzi bodmi, ale aj *smeru* medzi nimi. Často používanou metódou tohto typu je metóda *Thiessenových polygonov*

(Unwin 1981), ktoré sa využívajú napríklad na vyhrančenie oblasti potenciálneho vplyvu lokácii *nodálnych regiónov*.

Buffering

je dnes frekventovanou metódou geoinformačných programov na vyhrančovanie oblasti v okolí zadávaných bodov, ale aj línií a plôch s vopred zadanou vzdialenosťou. Ide o pravidelné, resp. nepravidelné geometrické tvary v závislosti od charakteru objektov, od ktorých sa určuje vzdialenosť.

Na buffering nadväzujú rôzne alokačné metódy používané v GIS, zväčša založené na vopred preddefinovaných vzdialenosťo-hodnotových kritériách. Potenciálne a gravitačné modely sú ďalšími metódami analýzy bodového (ale aj líniového) povrchu, ktoré postupne nachádzajú svoje uplatnenie v technológiách GIS (pozri Network Analysis 1992). Poslednou skupinou metód analýzy bodových povrchov sú metódy založené na tzv. *geografických operátoroch*.

Tie umožňujú realizovať základné logické operácie nad priestorovými údajmi spolu s ich obsahom (progGIS MapInfo, ARC/INFO, MGE Analyst,...). Takyto spôsob *prekryvania vrstiev*, je dnes jedným z veľmi efektívnych nástrojov kartografických analýz v technológiách GIS. Realizuje sa v objektovo-topologických vektorových štruktúrach priestorových údajov. Geografické operatory sa uplatňujú aj v líniových a plošných objektoch.

Analyza línií

V oblasti líniových analýz sa *sledujú dĺžkové, smerové a konektívne charakteristiky*. Z dĺžkových mier sa v GIS používa krivkový pomer (S), ktorý porovnáva skutočnú dĺžku línie s priamkovou vzdialenosťou zameranou od jej začiatku po jej koniec. Svoje praktické využitie má najmä v geografii dopravy, kde v tvare tzv. *cestného faktoru* (deviatilítivity siete) môže poukazať na morfológickú štruktúru cestnej siete. Vo všeobecnosti je meranie dĺžok a smerov-uhlov línií vo vektorových štruktúrach GIS založené na používaní algoritmov, ktoré sú dobre rozpracované v počítačovej grafike, najmä v technológiách CAD, čo umožňuje ďalšie opisy a analýzy líniových povrchov.

Analyza líniových spojení sa uskutočňuje najmä prostredníctvom topologických grafov. Umožňuje to analyzovať nodalitu (uzlovosť) bodov (vrcholov) siete, zisťovanie počtu spojení (hran) a ďalšie charakteristiky z teórie grafov prostredníctvom rôznych indexov. Väčšinou ide o miery popisujúce *stupen spojitosti (konektivity) siete*. Miery dostupnosti uzlov siete sú syntetické a majú vyššiu vypovednú hodnotu o štruktúre analyzovanej siete ako pri mieračoch spojitosti. Miery dostupnosti uzlov v topologickej sieti sa stanovujú na základe dĺžky sledov, vzdialenosti a minimálnych ciest.

V technológiách GIS našli uplatnenie najmä moduly riešiace *ulohy najkratšieho spojenia a obchodného cestujúceho*, pričom je možné definovať bližšie charakteristiky sieťových spojení, ako je napríklad priepustnosť komunikácií, náklady na prepravu, časové prepravné charakteristiky a podobne. Uvedeným sieťovým analýzám a tvorbe formálnych nástrojov na ich realizáciu sa napríklad venujú programové produkty ARC/INFO a MGE vo svojich moduloch (Network Analysis, resp. Network Analyst).

Analyza plôch

Na analýzy objektov a javov s *plošnou uzemnou*

platnosťou sa v technológiách GIS využívajú rôzne metódy zamerané na výskum ich formy, ktoré majú svoje teoretické zdôvodnenie v humanno-geografických výskumoch v podobe rôznych indexov. Rozpracovávajú sa metódy analyzujúce vzájomné usporiadanie plôch vo forme *fragmentačných indexov, skalovacích a triediacich metód zisťovania priestorovej autokorelácie*, tak typickej napr. pre sídelné útvary.

Plocha vo forme rastra, resp. gridu sa stala dôležitým analytickým prostriedkom v GIS. Množstvo digitálnych údajov získaných z diaľkového prieskumu Zeme v rastrovom tvare podnietilo vznik ďalších perspektívnych analytických metód založených na *image processingu - spracovaní obrazu*.

Podstata týchto metód spočíva v identifikácii geografických objektov a javov pomocou širokej škály štatistických metód realizovaných v dvojrozmernom priestore. Štruktúrovanie priestorových údajov do tematicky rovnakých rastrových plôch (layers) umožňuje obdobné *prekryvanie (overlay)* digitálnych *rastrových kartografických modelov*, ako sme spomenuli pri geografických operátoroch. Označuje sa aj ako mapová algebra (Eastman 1987-1990) a umožňuje použiť matematické operatory pri porovnávaní jednotlivých rastrov. Tak napríklad pomocou *odčítania* dvoch a viac rastrov môžeme získať rýchlu informáciu o diferenciacii ich hodnôt.

Modelovanie povrchov

Pri tvorbe, modelovaní a analýzach povrchov sa vychádza z predpokladu, že kartografické modely sú funkcionálne modely v tvare rovnice:

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

kde f je funkciou priestorovej lokalizácie modelovaného javu (objektu) v priestorových súradniciach x , y a z je jeho obsahová charakteristika - hodnota.

Povrchy predstavujú osobitnú časť GIS zameranú na modelovanie priestorového rozloženia prvkov krajiny, resp. ich parametrov, ktoré možno vyjadriť uvedenou funkciou. Komplexne uvádzané modelovanie povrchov zahŕňa *aproximáciu*, resp. *interpoláciu* povrchu na základe diskretného vstupného poľa hodnôt, *analýzu* povrchu v tvare odvodenia jeho parametrov (sklon, orientácia,...) a *kartografickú interpretáciu* povrchu a jeho parametrov.

Dnes sa v programoch GIS využívajú všetky skaly *interpolacných* metód najčastejšie s použitím tzv. *gridovania* - procesu, ktorý transformuje nepravidelne udajové bodové pole na pravidelné, a až na takto upravených vstupných údajoch prebieha vlastný proces interpolácie (Rene 1992). Napríklad v programe SURFER je tento proces gridovania rozpracovaný na kvalitnej úrovni s možnosťou použitia širokej škály interpolacných algoritmov, ktorých výsledky sú tradične kartograficky prezentované pomocou izolinii, choropletu a v prípade zobrazenia diskretných humanno-geografických javov aj *pseudoizociar* alebo *izoplet*. Najväčší problém všetkých interpolacných metód, ktoré sú dnes už beznú súčasťou technológie GIS, spočíva v *stanovení kritérií na výber reprezentatívneho bodového poľa*, ktoré sú v prípade diskretných javov zvlášť dôležité. Z toho dôvodu sa interpolacné metódy využívajú najmä vo fyzickej geografii. V humannej a regionálnej geografii čiastočne rieši tento problém najmä použitie sekundárnych *polí* získaných z teoretického modelu, ktorý overila samotná prax, ako je napríklad potenciálny model. Potvrdzuje sa, že najlepším riešením problému reprezentatívnosti je empirický výskum.

V humanno-geografických a regionálnych výskumoch našli interpolacné metódy svoje uplatnenie najmä v demografických a medicínsko-geografických výskumoch (Modely poľej v geografii 1989, Mackay 1951, Duchemin 1972, Schmid and Mac Cannell 1955, Tobler - Lau 1978).

Tvorba *aproximacných povrchov*

ma oveľa sirsie použitie v humanných a regionálnych geografických výskumoch než pri interpolacných povrchoch. Vyplýva to z ich charakteru, ktorý spočíva v generalizovaní realného povrchu do jednoduchšej priestorovej formy pomocou rôznych *aproximacných* techník s cieľom odlíšiť základné všeobecné (trendové) charakteristiky povrchu od lokálnych (reziduálnych) v dôsledku zložitosti priestorových štruktúr realných javov a objektov, ktoré modelujú. Uvedená technika, pri použití vhodných *aproximacných* funkcií na základe správnych teoretických predpokladov o prírodných vzťahoch medzi geografickými javmi a ich priestorovou formou prejavu, potvrdila na mnohých riešených problémoch opodstatnenosť svojho širokého použitia (Chorley, Haggett 1965, Berlžant 1969, Boots, Getis 1977, Tobler 1969).

Pri analytických spôsoboch tvorby *aproximacného* povrchu sa vo funkcii trendu najčastejšie používajú *polynomicke*, *exponencialne* alebo *trigonometricke*

mnohoclenné s ohranicujúcou podmienkou - minimalizácie tvorca odchyliiek rezidui. Matematicko-statistické metódy *aproximácie* povrchu sú založené na *statistickej regresii dvoch* kartografických *modelov*. Tvorba regresných povrchov nachádza široké *uplatnenie* najmä pri územných *analýzach dynamiky* vývoja geografických javov. Pri trendovom aj regresnom povrchu sa prostredníctvom rôznych indexov analyzuje stupeň korespondencie matematického povrchu so skutočným.

Analýza povrchov

Povrchy, ako trojrozmerné modely, majú svoje morfológické charakteristiky (sklon, orientáciu, geometrické formy). Na ne sa zameriavajú aj analytické metódy, ktoré uvedené parametre stanovujú (Berlžant 1986). V GIS sa označujú aj ako *lokálne operatory* (Monmonier 1982), keďže operujú pri výpočtových operáciách, v štruktúrach gridových a rastrových priestorových údajov, s hodnotami vo svojom lokálnom okolí. V GIS sa vizualizujú, resp. kartograficky prezentujú v podobe klasických dvojrozmerných modelov (izociary, kartogramy,...), alebo v podobe trojmodelov (blokdigramy, tienované a sieťové modely, profily, atd.,...), ktoré poskytujú dobrú predstavu o tvare modelovaného povrchu. Princípy ich tvorby podrobne rozobera napr. Monmonier (1982).

Na zvýraznenie diferencií - hran, resp. vyhladenie povrchových modelov v tvare rastrov - sa používajú *filtracné metódy*,

które sa uplatňujú nielen v dialkovom prieskume Zeme, ale aj pri analýzach časových radov humanno-geografických

javov (Tobler 1969). Analyzu a prehľad o použití filtračných metód v geografických výskumoch, s dorazom na humánne a regionálne, podáva Bassett (1972).

Cenové povrchy

predstavujú osobitý nástroj geografických analýz. Sú hojne rozšírené v programoch GIS ako špeciálne moduly v rôznych modifikáciách. Ich podstata spočíva v ohodnotení priestoru na základe ukazovateľov, ktoré nemajú svoju priamu hmotnú formu, ale sú sprostredkované vyjadrené inými formami. Ide napríklad o známe časové charakteristiky, charakteristiky namahy a úsilia a podobne. Realizujú sa vo vektorových aj rastrových štruktúrach.

V rastrových štruktúrach poskytuje širokú paletu *cenových modulov* napríklad program GIS IDRISI vo forme *isotropných* a *anisotropných* cenových analytických modulov (Eastman 1993). Tie cenové kartografické modely predstavujú veľmi perspektívne a efektívne analytické nástroje najmä na analýzu humánno- a regionálne geografických javov a procesov pomocou technológie GIS.

Aby bol prehľad metód úplný, musíme spomenúť aj metódy *matematicko-statistických analýz* geografických javov (časových radov,...), ktoré sú široko rozpracované a používané pri modelovaní a odhalovaní dynamiky ich vývoja (pozri napr. Hermanová 1989). V technológiách GIS tieto tradičné štatistické postupy tiež nachádzajú svoje uplatnenie s tým rozdielom, že sa realizujú nad priestorovými prvkami najčastejšie v tvare rastrových, resp. sieťových štruktúr pokrývajúcich celé skúmané územie.

V celku sa štatistický výskum kartografického zobrazenia daného priestoru v rôznych časových rezoch zameriava najmä na výskum *charakteristik a funkcií* rozčlenenia príslušných javov v čase, výskum *formy a tesnoty vzťahov* medzi sledovanými javmi, na hodnotenie *stupňa vplyvu* jednotlivých *faktorov* na sledovaný jav a vyhranenie hlavných faktorov.

Záver

Záverom nám ostáva len konštatovať, že kartografické modelovacie techniky v prostredí technológie GIS sú skutočne perspektívnymi a efektívnymi nástrojmi tvorby a využitia kartografických modelov s cieľom skúmať, poznať, modelovať a prognózovať priestorové, časové a funkčné stránky geografickej sféry s využitím poznatkov z teórie informácie, systémov, kybernetiky, matematickej štatistiky a používania vypočítavej techniky. Je na geografickej obci akým spôsobom využije týchto pomocníkov pri riešení svojich úloh.

Literatúra

- Bassett, K. (1972). Numerical methods for map analysis. Progress in Geography. International Reviews of Current Research, 4, s. 217-254.
- Berlžant, A. M. (1969). Karty fonových a oštatocnych poverchnostej i ich primenenie v geograficeskich issledovanijach. Vestnik Moskovskogo Universiteta, 4, s. 80-89.
- Berlžant, A. M. (1986). Obraz prostranstva: karta i informacija. Moskva.
- Boots, B. N., Getis, A. (1977). Probability model approach to map pattern analysis. Progress in Human Geography, 1, 2, s. 264-286.
- Dacey, M. F. (1963). Order neighbour statistics for a class of random patterns in multidimensional space. Annals Association of American Geographers, 53, s. 505-515.
- Duchemin, J. P. (1972). Elaboration et signification d'une carte de densité par isolines. In: Kartografija. Moskva, s. 120-133.
- Eastman, J. R. (1987-1990). IDRISI - A Grid-based Geographical Analysis System. Clark University. IDRISI production. Worcester, Massachusetts, USA., s. 363.
- Eastman, J. R. (1993). IDRISI - Update Manual, version 4.1. IDRISI Production.
- Getis, A. (1964). Temporal land use pattern analysis with the use of nearest neighbour and quadrat methods. Annals of the Association of American Geographers, 54, s. 391-399.
- Haggett, P., Chorley, R. J. (1969). Network Analysis in Geography. E. Arnold. London.
- Hermanová, E. (1989). Vybrané vicozmerne štatistické metódy v geografii. Statní pedagogické nakladatelství. Praha, s. 133.
- Chorley, R. J., Haggett, P. (1965). Trend surface mapping in geographical research. Transactions of the Institute of British Geographers, 37, s. 47-67.
- King, L. J. (1969). Statistical Analysis in Geography. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Kusendová D. (1996). Netradicné formy kartografických modelov a ich použitie v geografii. In: Kartografické listy, 4, s. 89-100.
- Kusendová D. (1996a). Kartografické modelovanie v prostredí geoinformačných systémov: teoretická baza a geografické aplikácie. Kandidátska dizertačná práca. Prírodovedecká fakulta UK. Bratislava.

- Mackay, J. R. (1951). Some problems and techniques in isopleth mapping. *Economic Geography*, 21, s. 1-9.
- MapInfo (1985-1995). References, Mapinfo corporation, Troy. New York.
- MGE - The Modular GIS Environment, Intergraph, Huntsville, Alabama, USA.
- Modely polej v geografii (1989). Teoria i opyt kartografirovania. Editor J. Michajlov. Akademia nauk SSSR. Nauka. Novosibirsk, s. 145.
- Monmonier, M. S. (1982). *Computer Assisted Cartography - Principles and Prospects*. Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, s. 214.
- Network Analysis (1992). ARC/INFO. User's guide. Environmental Systems Research Institute, Inc., s. 409.
- Rene M. (1992). Golden Software - pruvodce programy Surfer a Grapher. GRADA. Praha.
- Schmid, C. F., Mac Cannell (1955). Basic problems, techniques and theory of isopleth mapping. *Journal American Statistical Association*, 50, s. 220-239.
- Tobler, W. R. (1969). Geographical filters and their inverses. *Geographical Analysis*, 1, 3, s. 234-253.
- Tobler, W. R., Lau, J. (1978). Isopleth mapping using histosplines. *Geographical Analysis*, 10, s. 273-279.
- Unwin, D. (1981). *Introductory Spatial Analysis*. Methuen. London, s. 218.

RNDr. Dagmar Kusendova
Prirodovedecka fakulta UK
Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ
Mlynska dolina
842 15 Bratislava