

Priestorové modelovanie geologických objektov a javov v prostredí GIS systémov

Peter Blišťan¹

3D Modelling of Geological Objects and Phenomena in GIS systems

Elaboration of geological information using GIS brings also some serious problems. A correct and effective analysis of the complex system of surficial and subsurficial objects requires a whole palette of specific data, which are typical for the problems of geology. Traditional GIS technologies are oriented especially toward the administration and management of 2D data. The geological GIS require the data analysis and elaboration in a 3D space. Consequently, it is later possible to solve some problems connected with the simulation of geological phenomena and also to solve some problems of geological prospecting.

The simulation of spatial processes and objects requires empirical data, which are maintaining the essence of the natural systems. The spatial analysis includes the quantitative and qualitative evaluation of discrete and continuous geological data at the small and also the big scale. GIS contains sub-systems for the input, management and the output of data. These subsystems arose as an answer to the need of visualization of complicated spatial databases. These subsystems are designed for the description of causal presence of geological phenomena as a function of time and for analysing of spatial relations of variables.

Key words: *Geographical information system, modelling, interpolation methods, linear interpolation, IDS, kriging.*

Úvod

Súčasná doba sa dá charakterizovať mohutným nárastom počtu dát a informácií a zvyšujúcou sa zložitosťou informačných tokov. Aby bolo možné zvládnuť takéto množstvo rôznych dát a informácií, začali sa v nedávnej minulosti vyvíjať nové špecializované systémy, určené na spracovanie geografických dát rôzneho charakteru – geografické informačné systémy (GIS). Sú určené predovšetkým na archivovanie dát, ale sú schopné riešiť aj niektoré špecifické problémy a úlohy napr. z oblasti geológie a baníctva, ako je povedzme modelovanie ložísk alebo riadenie technologických procesov (ťažba a úprava surovín).

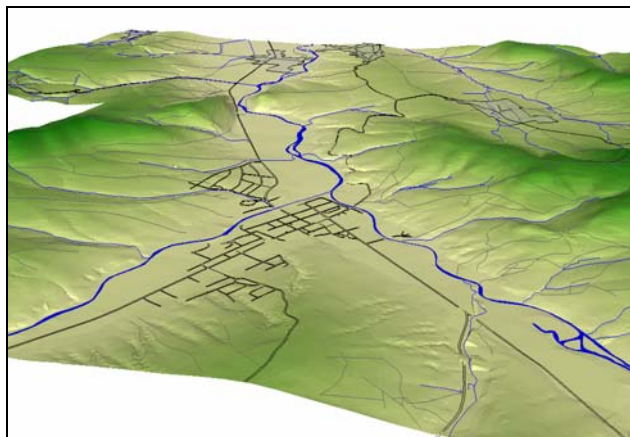
Proces modelovania geologických javov v prostredí GIS je závislý na správnej interpretácii obyčajne veľkého množstva dát získaných meraniami a pozorovaniami. Prvotná analýza a následné spracovanie získaných dát sú väčšinou vykonávané na jednom sekvenčnom počítači (klasický počítač triedy PC). Táto skutočnosť spôsobuje to, že pri spracovaní rozsiahleho súboru dát sa celý proces stáva časovo veľmi náročným. Užívatelia počítačov preto prišli k výrobcom požiadavku na zvýšenie výkonu počítačov. Vzhľadom na to, že nie je možné donekonečna zvyšovať výkon sekvenčného počítača, pristúpilo sa v nedávnej minulosti k logickému kroku, spájaniu výkonu dvoch a viacerých procesorov. Toto spojenie si vyžaduje zvláštne technické vybavenie a s tým súvisiacu programovú podporu. Faktom je, že pri vhodnom použití takejto architektúry sme schopní niekoľkonásobne prekonať výkon jednoprosesorových počítačov. Súčasný výkonný multiprosesorové systémy zvládajú aj matematicky nesmierne náročne vizualizačné a modelovacie metódy, ktoré sú často používané práve v oblasti geológie na modelovanie geologických objektov a javov. Vďaka týmto technológiám sa doteraz technicky a časovo náročné matematické modelovanie stalo otázkou niekoľkých minút alebo sekúnd.

Priestorové modelovanie v GIS

Ako už bolo v úvode povedané, geoinformačné systémy sú vo všeobecnosti chápané ako informačné systémy slúžiace na efektívne ukladanie, aktualizáciu, manipuláciu, analýzu, modelovanie a prezentáciu geograficky orientovaných informácií. Asi najčastejšou a zároveň najnáročnejšou úlohou, riešenou v prostredí GIS systémov, je priestorové modelovanie v oblasti geológie a baníctva. Jedná sa hlavne o modelovanie terénu (obr. 1), morfológie geologických telies a modelovanie priestorovej distribúcie sledovaných javov (napr. distribúcia úžitkovej zložky v ložisku obr. 5).

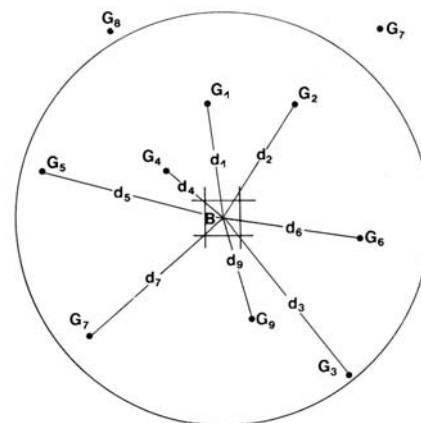
Náročnosť modelovania je prirodzene závislá od množstva vstupných dát a zvolenej modelovacej metódy. Pre modelovanie v oblasti geológie sa používa niekoľko osvedčených metód. Všetky však riešia v podstate rovnakú situáciu, ktorú možno definovať nasledovne: v istej záujmovej oblasti (obr. 2) majme veľmi nepravidelne rozmiestnených niekoľko lokalít $G_1 - G_n$, v ktorých sú známe (napr. po analýze odobratej vzorky) hodnoty sledovanej veličiny $g_1 - g_n$. Úlohou je poskytnúť čo najlepší odhad hodnoty sledovanej veličiny v ľubovoľnom mieste záujmovej plochy (napr. v lokalite B) na základe niekoľkých známych hodnôt.

¹ Ing. Peter Blišťan, PhD, Katedra geografických informačných systémov, Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 040 01 Košice
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11. 3. 2005)



Obr. 1. Priestorový model terénu vytvorený v GIS metódou lineárnej inberpolácie.

Fig. 1. Spatial terrain model created by GIS.



Obr. 2. Modelová situácia (Blišťan a Kondela 2001).

Fig. 2. Model situation (Blišťan a Kondela 2001).

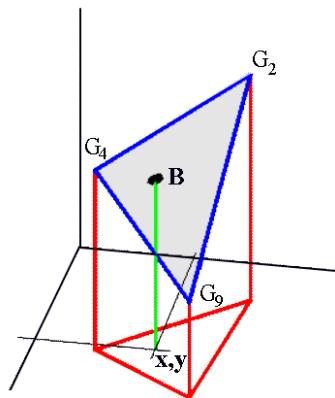
Základné interpolačné metódy používané v GIS

Formulovaná úloha (situácia na obr. 2) je v geologickej praxi asi najčastejšie riešenou úlohou. Ide v podstate o „trojrozmernú interpoláciu“, pričom dva rozmery (predstavujú obyčajne súradnice x a y) tvoria záujmovú plochu (napr. terén) a tretím rozmerom je sledovaná veličina. V geologickej praxi je úloha často chápaná štvorrozmerne, pričom známe body neležia v rovine, ale v priestore napr. v horninovom bloku alebo geologickom telese. Poloha bodu je potom daná súradnicami x a y udávanými priemetom na zemský povrch, a súradnicou z udávajúcou napr. hĺbku, resp. nadmorskú výšku. Hodnoty sledovanej veličiny sú potom štvrtým rozmerom. Na odhad sledovanej veličiny v bode B (obr. 2) sa najčastejšie používajú nasledujúce 3 metódy: trojuholníková metóda, metóda inverznej vzdialenosti - IDS (Inverse Distance Square) alebo metóda krigingu.

Trojuholníková metóda (lineárna interpolácia)

Trojuholníková metóda poskytuje odhad neznámej hodnoty pomocou lineárnej závislosti. Lineárnym útvarom je v trojrozmernom priestore rovina. Rovina z je daná rovnicou:

$$z = a \cdot x + b \cdot y + c$$



Obr. 3. Princíp trojuholníkovej metódy.

Fig. 3. Principl of the linear interpolation.

Rovnica roviny obsahuje tri koeficienty. To znamená, že pre určenie ľubovoľnej roviny (tj. určenie jej koeficientov a , b a c) sú potrebné tri známe body, napr. $G_2=[x_1, y_1, z_1]$, $G_4=[x_2, y_2, z_2]$, $G_9=[x_3, y_3, z_3]$. Pre ne musí platiť:

$$z_1 = a \cdot x_1 + b \cdot y_1 + c$$

$$z_2 = a \cdot x_2 + b \cdot y_2 + c$$

$$z_3 = a \cdot x_3 + b \cdot y_3 + c$$

Pretože všetky x_i , y_i a z_i sú známe, riešením tejto sústavy sú hľadané koeficienty a , b a c tej roviny, v ktorej sa body G_2 , G_4 a G_9 nachádzajú. Hľadaný odhad T_B v bode B je potom daný vzťahom:

$$T_B = a \cdot x_B + b \cdot y_B + c$$

príčom hodnoty x_B, y_B sú súradnicami "pôdorysu" bodu B (obr. 3).

Táto úloha je matematicky relatívne jednoduchá a je vhodné aplikovať ju hlavne na riešenie základných geologických úloh (jednoduchá distribúcia sledovaného javu) alebo pri modelovaní jednoduchých terénnych tvarov (obr. 1). Pre modelovanie komplikovaných situácií však nevyhovuje a je potrebné zvoliť efektívnejšiu a presnejšiu metódu, napr. kriging. Z hľadiska časovej náročnosti je počítačové spracovanie aj veľkého množstva dát touto metodikou relatívne rýchle a preto sa dá realizovať aj na výkonnovo slabších počítačoch.

Metóda inverznej vzdialenosti (IDS)

Metóda inverznej vzdialenosti je jednou z metód, ktoré je možné označiť ako "príspevkové". Hodnotu sledovanej veličiny T_B v mieste B (obr. 2) si môžeme predstaviť ako súhrn príspevkov $g_1 - g_9$ z jednotlivých známych miest $G_1 - G_9$ do B . Hodnota sledovanej veličiny T_B je teda závislá predovšetkým na jednotlivých známych hodnotách, a taktiež na vzdialenostiach $d_1 - d_9$ od bodu B . Logicky povedané (viď obr. 2), príspevok

miesta G_i so známou hodnotou g_i do miesta B bude iste menší ako príspevok miesta G_7 so známou hodnotou g_7 do toho istého miesta B . Táto závislosť sa dá vyjadriť nasledujúcim vzťahom:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}}$$

Oproti lineárnej interpolácii je táto úloha matematicky o niečo náročnejšia. Často sa aplikuje hlavne pri riešení náročnejších geologických úloh alebo pri modelovaní zložitejších terénnych tvarov, pretože oproti predchádzajúcej metóde zohľadňuje do istej miery aj nepravidelnosť priestorovej distribúcie sledovaného javu.

Metóda krigingu

Táto metóda taktiež patrí k "príspevkovým" metódam. Je jednou z často používaných metód pre získavanie spoľahlivých lokálnych ale aj globálnych odhadov sledovaných veličín. Jej úlohou je poskytnúť čo najlepší odhad hodnoty sledovanej veličiny v ľubovoľnom mieste záujmovej plochy alebo telesa a to na základe skupiny známych hodnôt (obr. 2).

Pre krigovanie platí vzťah:

$$T^* = \sum_{i=1}^n w_i g_i$$

kde: T^* - odhadovaná hodnota v konkrétnom bode B ,
 g_i - známa hodnota sledovanej veličiny v i -tom bode (vzorka),
 w_i - váha pozorovania v i -tom bode.

Kritériom vhodnosti odhadu T^* voči skutočnej hodnote T je rozptyl odhadu

$$\sigma_\varepsilon^2 = 2 \sum_{i=1}^n w_i \bar{\gamma}(g_i, A) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \bar{\gamma}(g_i, g_j) - \bar{\gamma}(A, A)$$

kde: $\bar{\gamma}(g_i, A)$ - priemerný semivariogram medzi každým bodom g_i zo známych hodnôt sledovanej veličiny a odhadovanou oblasťou A ,

$\bar{\gamma}(g_i, g_j)$ - priemerný semivariogram medzi bodmi v množine bodov zo známych hodnôt sledovanej veličiny,

$\bar{\gamma}(A, A)$ - priemerný semivariogram medzi každým bodom v odhadovanej oblasti A .

Konkrétna hodnota sledovanej veličiny, vypočítaná krigovaním závisí od:

- geometrie vzoriek v odhadovanej oblasti,
- modelu semivariogramu,
- váh pridelených vzorkám.

Pre zaistenie optimálneho odhadu je potrebné minimalizovať chybu rozptylu odhadu:

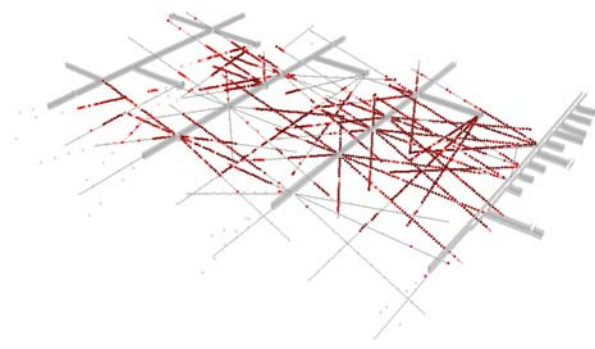
$$\sigma_\varepsilon^2 \quad - \quad \min \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \sigma_\varepsilon^2}{\partial w_i} = 0$$

úpravou vzťahu dostaneme tvar:

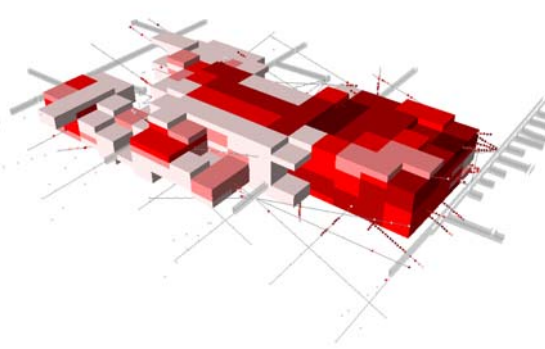
$$\frac{\partial (\sigma_\varepsilon^2 - \lambda (\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial w_i} = 0$$

Ak položíme všetky parciálne derivácie rovné nule, dostaneme sústavu rovníc a ako výsledok získame váhy

$w_1 \quad \dots \quad w_n$, pričom platí základná podmienka $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.



Obr. 4. Priestorová pozícia banských diel a vrtov s obsahom užitočnej zložky – MgO vo vzorkách.
Fig. 4. Spatial position of mine and bores with the content of variable component in samples.



Obr. 5. Model priestorovej distribúcie užitočnej zložky, vypočítaný na základe krigingu v blokoch.
Fig. 5. Spatial model of variable component distribution computed by the Kriging Method.

Ako je vidieť, oproti predchádzajúcim metódam má táto metóda podstatne zložitejší matematický aparát. Je vhodná na modelovanie zložitých terénnych tvarov (3D modelovanie) alebo riešenie komplikovaných geologických úloh (3D modelovanie chemizmu a pod. – obr. 5), kde pri správnom použití dosahuje veľmi dobré výsledky. Ručné spracovanie dát touto metódou je nesmierne náročné a zdĺhavé a preto sa začala intenzívnejšie používať až v súčasnosti a rozvojom počítačového spracovania dát. Spracovanie veľkého množstva dát touto metódou je aj pre výkonné počítače časovo náročné.

Záver

Spracovanie geologických informácií ako aj modelovanie geologických objektov a javov v GIS prináša so sebou niekoľko vážnych problémov. Správna a efektívna analýza komplexného systému povrchových a podpovrchových objektov vyžaduje celú paletu špecifických dát, typických práve pre oblasť geológie (nap. presná lokalizácia údajov v reálnych 3D súradniciach, častá premenlivosť geologických objektov a javov v priestore a čase a pod.). Tradičné technológie GIS sú zamerané predovšetkým na správu a manažment dvojrozmerných údajov. V takýchto systémoch (napr. ArcInfo, ArcView, MapInfo) je možné vytvárať celú paletu účelových máp. Pomocou špecializovaných GIS systémov je možné riešiť aj mnohé otázky späté s modelovaním geologických objektov ako aj úlohy geologickej prospekcie.

Použitie GIS systémov pre geologické projekty je veľmi vhodné nielen z hľadiska centrálnej evidencie dokumentácie, ale predovšetkým s ohľadom na možnosť zefektívniť interpretáciu dát využitím GIS analýz. Vďaka celej palety analýz a metodík, ktoré moderné GIS systémy ponúkajú, je už dnes možné podstatne efektívnejšie riešiť každodenné problémy geologickej praxe.

Táto práca bola realizovaná v rámci grantových úloh „Analýza a modelovanie geologicko-ekonomických parametrov ovplyvňujúcich ťažbu ložísk slovenských magnezitov a jej dopad na životné prostredie, na príklade ložiska Bankov - Košice“ agentúra VEGA, č. grantu 1/9359/02 a „Monitorovanie a modelovanie geotektonických recentných pohybov v košickej kotline v GIS z hľadiska ochrany životného prostredia“, agentúra VEGA, č. grantu 1/0368/03.

Literatúra

Blišťan, P., Kondela, J.: Základy banskej geológie a výpočtu zásob., *Elfa, s.r.o., Košice, 103s, 2001.*