

MOŽNOSTI VYUŽITIA DIFERENCIÁLNEJ GEOMETRIE PRE ANALÝZU DIGITÁLNYCH GEOGRAFICKÝCH DÁT

Pavol IHRING

*Proxima R&D s.r.o.,
pavol.ihring@proximard.sk*

Stanislav HRONČEK

*Proxima R&D s.r.o.,
pavol.ihring@proximard.sk*

Miroslav HOLUBEC

*YMS, a.s.
miroslav.holubec@yms.sk*

Abstrakt

Technológia Proxima je prezentovaná diskutovaním o nových riešeniach diferenciálnej geometrie aplikovaných na problematiku digitálnej povrchovej analýzy. Toto riešenie používa úplne odlišný prístup v matematike bez použitia existujúcich techník a algoritmov. Tento proces zahŕňa výpočet kompletnej sady morfometrických vlastností na povrchu, ako je to definované diferenciálnou geometriou. Akékoľvek spracovanie dát je automatizované, rýchlo a presne lokalizuje objekty v povrchu bez zavedenia vysokofrekvenčných artefaktov bežne spájaných s existujúcimi postupmi. Množstvo objektívnych metód hodnotenia je demonštrovaných ponukou porovnávacej analýzy s inými publikovanými technológiami na známych matematických modeloch (s hlukom). Množstvo objektívnych metód hodnotenia je demonštrovaných ponukou porovnávacej analýzy s inými publikovanými technológiami na známych matematických modeloch (s hlukom). Množstvo objektívnych metód hodnotenia povrchov je demonštrovaných formou porovnávacej analýzy s inými publikovanými technológiami na známych matematických modeloch. Reálne dátové príklady sú prezentované ukážkou aplikácie tejto technológie na základe analýzy dátových plôch od seizmických a možných oblastí prieskumu. Systém na základe spolupráce s databázou veľkých objemov dát umožňuje analýzu presných a vysoko kvalitných prvkov zemského povrchu, a to pri dosiahnutí rýchleho a výpočtovo menej náročného procesu dolovania dát. Aj keď tento nový prístup a filozofia sú tu demonštrované na konkrétnych typoch povrchových dát, poskytuje potenciál pre aplikáciu na problémy spojené s analýzou digitálnych signálov, obrazov, plôch a taktiež objemov.

Kľúčové slová

Digitálne dáta; povrchová; diferenciálna geometria; Dupin indicatrix.

1. Úvod

Analýza digitálnych dát sa často zaoberá krivkami, povrchmi a objemami v rôznych formách.

Spracovanie takýchto digitálnych dát sa potýka s dvomi hlavnými problémami:

- Dramatický nárast priestorového rozlíšenia ako aj samotného objemu dát.
- Stabilita, presnosť a využiteľnosť výsledkov metód spracovania týchto dát.

V súčasnej dobe široko zaužívané metódy spracovania vychádzajú z predpokladu úspešného priameho aplikovania matematických teórií.

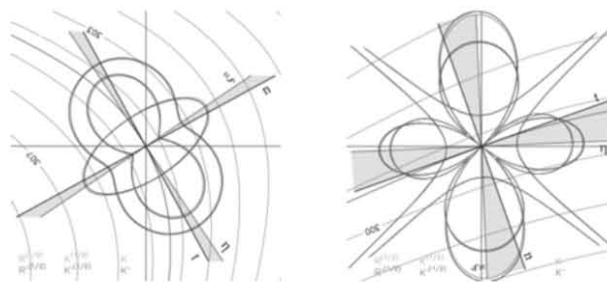
V prípade spracovania digitálnych dát je však tento predpoklad nesprávny.

Prezentovaná technológia je výsledkom kontinuálneho výskumu v oblasti numerickej matematiky a digitálnej geometrie, riešenej v rámci výskumného projektu Brokerskeho centra a predstavuje prielom v oblasti spracovania digitálnych dát.

2. Metódy a výsledky

Diferenciálna geometria je matematická disciplína používajúca metódy diferenciálneho počtu pre štúdium problémov v geometrii. Diferenciálna geometria povrchov používa tieto metódy k popisu vlastností spojitých povrchov. Jednou z kľúčových postáv diferenciálnej geometrie počas jej vývoja bol Carl Friedrich Gauss. Identifikoval krivosť povrchu ako jeho vnútornú vlastnosť, ktorá je nezávislá od vonkajšieho referenčného systému.

Gauss a ďalší dôležití matematici vyvinuli teórie opisujúce štúdium vlastností spojitých kriviek, povrchov a priestorov. Tieto teórie sú kľúčové pre mnoho praktických aplikácií vrátane oblasti geovied. Dupinova indikatrix. Dôležitou metódou lokálneho opisu tvaru povrchu je Dupinova indikatrix (Dupin, 1813). Je to kužeľosečka opisujúca všetky normálové krivosti v nekonečne malom okolí regulárneho bodu povrchu. Spojitý povrch umožňuje vypočítať túto indikatrix v každom jeho bode a preto na takomto povrchu existuje nekonečné množstvo Dupinových indikatrix.



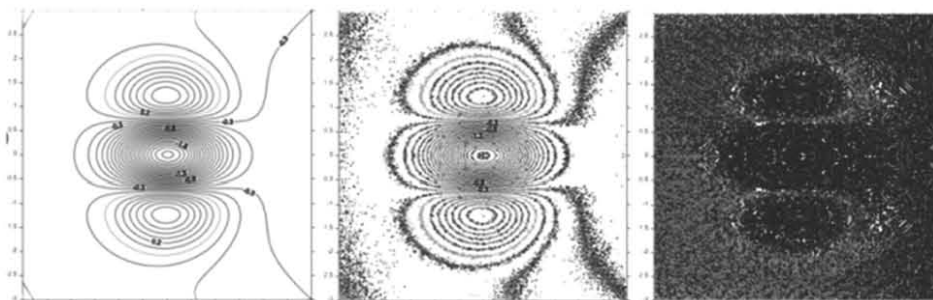
Obr. 1. (KRCHO 2001) Tvar Dupinovej indikatrix. Ľavá strana zobrazuje eliptickú Dupinovu indikatrix zatiaľčo napravo je hyperbolická DI. Takisto sú naznačené hlavné smery ako aj smery dotyčnice k spádnicí a dotyčnice k vrstevnici. Takisto sú zobrazené krivky opisujúce druhé odmocniny normálových krivosti.

Problém diferencovateľnosti a interpolácie v digitálnom priestore

Všetky vzťahy a tvrdenia diferenciálnej geometrie sú platné pre regulárne funkcie, ktoré sú spojité a diferencovateľné.

V posledných desaťročiach prišli matematici k záveru, že je veľmi ťažké (alebo aj nemožné) dosiahnuť prakticky akceptovateľné odhady parciálnych derivácií prvého a druhého rádu funkcie použitím jej digitálnej reprezentácie.

Tento problém sa tým pádom rovnako týka aj odhadu krivosti. Digitálna reprezentácia spolu s vplyvom šumu robia tento problém takzvané zle podmieneným. To znamená, že ľubovoľne malá odchýlka na vstupných hodnotách môže spôsobiť ľubovoľne veľkú odchýlku na výstupe.



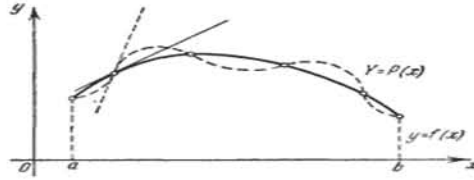
Obr. 2. Táto skupina izočiarových máp zobrazuje dopad redukcie presnosti hodnôt na správnosť numerického derivovania.

V uvedenom príklade na (obr. 2) boli ako vstup pre výpočet druhej parciálnej derivácie použité hodnoty matematickej funkcie vypočítané v určitom pravidelnom kroku a zaokrúhlené na 10 desatinných miest. (vľavo hore).

Úroveň šumu narastá so znižujúcim sa počtom desatinných miest vstupných hodnôt. V danom príklade je výsledok výpočtu parciálnej derivácie znehodnotený šumom pri 6 desatinných miestach na vstupe (vpravo hore). Nanešťastie je niekedy tento výpočtový šum považovaný za reálnu informáciu. Pri presnosti štyroch desatinných miest na vstupe je výsledok takmer celý tvorený šumom! (obr. 2 dole). Navyše, reálne dáta obsahujú šum už na vstupných hodnotách, čo má dramatický vplyv na kvalitu vypočítaných výsledkov. Všetky spomenuté problémy sa následne týkajú aj výpočtov krivosti povrchu (nehovoriac o tom, že niektoré algoritmy považujú za krivosť povrchu jeho druhú deriváciu (Roberts, 2001)).

Na riešenie tohto problému používa mnoho prístupov interpoláciu pred samotným odhadom derivácií, či

krivostí. Problémom interpolácie je, že existuje nekonečné množstvo funkcií, ktoré je možné preložiť diskretnými vstupnými hodnotami (Obr. 3). To vedie k nejednoznačným a nestabilným výsledkom. Navyše niektoré algoritmy požadujú znižovanie hustoty vstupných dát náhodným výberom. To vedie k informačnému paradoxu kde viac informácie vyžaduje jej väčšiu redukciu a naopak menej informácie poskytuje lepší výsledok. V praxi to znamená nevyužitie časti dát získavaných často nákladným procesom.



Obr. 3. (DEMIDOVICH, MARON, 1981) Dve krivky prechádzajú rovnakými diskretnými bodmi. Ich vlastnosti sú veľmi rozdielne aj napriek ich priebehu cez rovnaké body. Zvyšovanie hustoty diskretných bodov by iba zhoršilo tento problém interpolácie.

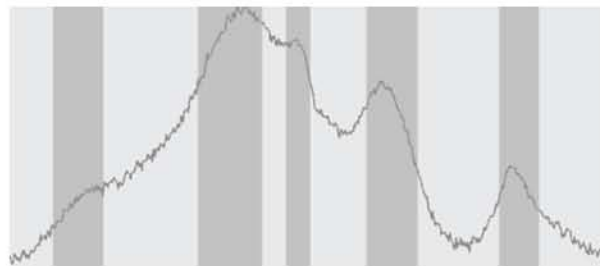
Nová technológia na analýzu digitálnych dát - Proxima

Táto technológia adresuje základné problémy, ktoré postihli analýzu povrchu.

Je založená na vlastných matematických teóriách, podložených matematickými dôkazmi. Táto technológia rešpektuje existujúce matematické teórie diferenciálnej geometrie, no neimplementuje ich priamo. Preto nie je postihnutá zle podmieneným problémom, tak ako je to v prípade numerického derivovania či interpolácie. Pravdepodobne najdôležitejšou vlastnosťou technológie je konvergencia výsledkov k analyticky definovaným riešeniam s narastajúcou hustotou vstupných dát.

Najdôležitejším krokom prezentovanej technológie analýzy digitálnych dát je správny výpočet vlastností krivky reprezentovanej v digitálnom priestore. Na dosiahnutie tohto cieľa používame špeciálnu aproximáciu, ktorá efektívne filtruje šum a dosahuje stabilné výsledky.

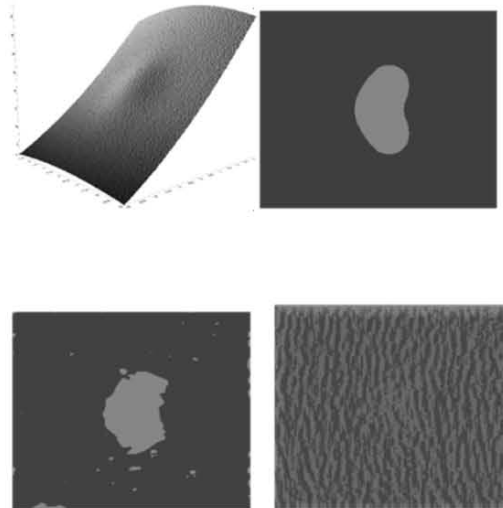
Navyše táto metóda komprimuje dáta, odstraňuje šum na ľubovoľnej časti signálu a zachováva objekty s ich následnou automatickou identifikáciou (obr. 4).



Obr. 4. Príklad výsledku určenia konvexných a konkávných objektov na zašumenom signále. Modré pásy označujú konvexné časti, zatiaľ čo šedé sú konkávne. Hranice týchto objektov (čierné bodkované čiary) neležia na rovnakých úrovniach. Tieto hranice nemôžu byť správne identifikované prahovaním alebo falošnými farbami (vrstevnicami).

Priamym dôsledkom výpočtu vlastností krivky v digitálnom priestore je riešenie problému analýzy povrchu, tak ako je to definované teóriami v diferenciálnej geometrii (Krcho, 2001). V každom bode digitálne reprezentovaného povrchu sú vypočítané takzvané Dupinove indikatrix, ktoré kompletne opisujú tvar povrchu v danom bode v ktoromkoľvek smere. To umožňuje kompletnú morfometrickú analýzu a automatickú identifikáciu konvexných a konkávných objektov. Automatická vektorizácia objektov umožňuje prenos požadovaných geometrických vlastností z rastrovej do vektorovej podoby. To je kľúčový faktor pre efektívne vytváranie a manipuláciu s priestorovou databázou objektov s cieľom umožniť výber objektov na základe požadovaných vlastností.

Zásadný význam technológie je ukázaný na rozdielnych výsledkoch analýzy toho istého matematického povrchu s pridaným Gausovským šumom (obr. 5). Na pôvodnej matematickej funkcii je možné presne vypočítať konvexný objekt v smere spádnic a porovnať ho s výsledkom akejkoľvek metódy. Tento príklad ukazuje ako môže byť výsledok zaužívanej metódy poznačený artefaktmi. V tomto prípade je výsledok výpočtu pomocou operátora (Roberts 2001, Woods 1996) v podstate nepoužiteľný kvôli prevládajúcemu koherentnému šumu vytvorenému použitou metódou. Keďže vieme, že reálne dáta sú zaťažené šumom, a dopredu nevieme, aké objekty majú byť na reálnych dátach nájdené, je neopodstatnené očakávať lepší výsledok (bez drastického zhladenia vstupných dát a ich celkovej deformácie).



Obr. 5. 3D pohľad na analytickú funkciu s pridaným Gausovským šumom (vľavo hore). Jeden konvexný objekt krivosti v smere spádnic je presne definovaný (vpravo hore). Výsledok automatického výpočtu krivosti v smere spádnic technológiou Proxima (vľavo dole) v porovnaní s výsledkom použitia operátora 13x13 používaného zaužívanými prístupmi (Roberts 2001, Wood 1996).

3. Aplikácie v geofyzike

Nasledujúce tri príklady analýzy geofyzikálnych povrchov poskytujú náhľad na využiteľnosť technológie.

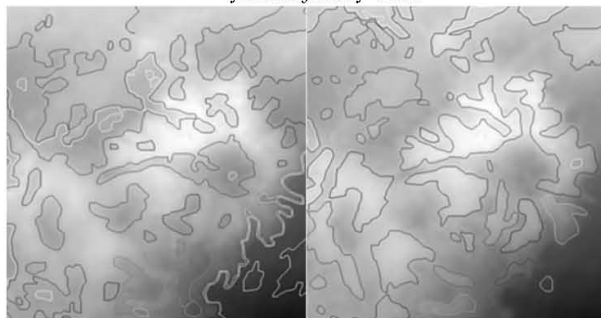
Príklad analýzy potenciálového poľa.

Uvedené sú obrázky z časti gravimetrických dát zachytávajúcej oblasť erodovanej kaldery, ktoré boli zobrazené použitím dvoch farebných škál. V tomto prípade jasne vidieť, že kým šedá škála poskytuje vizuálnu informáciu o centrálnej kaldere a ostatnej morfológii, tak farebná paleta podáva úplne iný a v tomto prípade celkom mylný dojem. Pritom však platí, že farebné škály, resp. falošné farby, nevyhraničujú objekty na povrchu. Analýza povrchu pomocou novej technológie je schopná automaticky identifikovať konvexné a konkávne objekty na povrchu (obr. 7). Vektorové hranice týchto objektov s zafarbené podľa priemernej hodnoty Z nachádzajúcej sa v rámci objektu. Tieto hranice jasne ukazujú, že ich priebeh nemá nič spoločné s vrstevnicami, pretože prechádzajú cez rôzne úrovne šedej. A teda falošné farby, ktoré kopírujú ekvikonštantné hladiny, rovnako ako vrstevnice, nemôžu byť považované za hranice objektov. A to bez ohľadu na typ farebnej škály.



Obr. 6. Gravimetrické dáta erodovanej kaldery v šedej škále (vľavo). Paleta falošných farieb aplikovaná na tie isté dáta (vpravo)

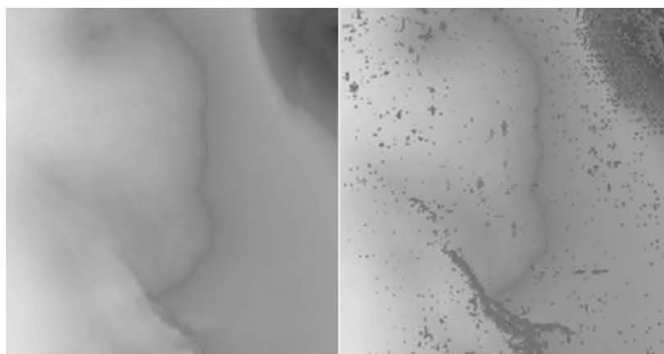
vyvoláva falošný vnem.



Obr. 7. Konkávne (vľavo) a konvexné (vpravo) objekty identifikované novým prístupom.

Príklad zlomov na seizmickom povrchu.

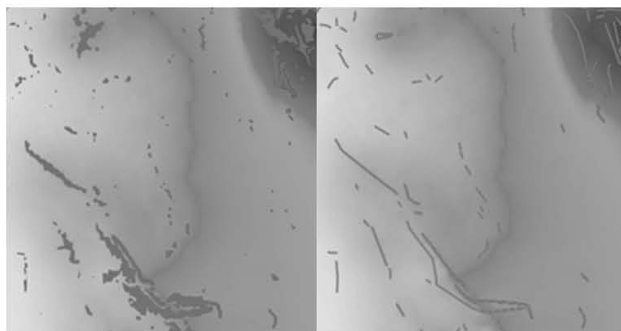
Ďalším príkladom je seizmický povrch interpretovaný z 3D seizmických dát (obr. 8 and 9). Najčastejšie používané metódy na analýzu seizmických povrchov alebo objemov sú techniky založené na operátoroch, resp. oknách. Vo všeobecnosti platí, že výsledky použitia väčších okien sú menej zaťažené artefaktmi, no za cenu straty vysokofrekvenčného detailu.



Obr. 8. Výrez seizmického povrchu zobrazený vo falošných farbách (vľavo). Výsledok analýzy krivosti (vpravo) použitím operátora 7x7.

Seizmický horizont (obr. 8 vľavo) bol analyzovaný všeobecne akceptovaným a zaužívaným prístupom (Roberts, 2001), ktorého výsledok (obr. 8 vpravo) je zaťažený artefaktmi, ktoré nereprezentujú skutočné tvary na povrchu a je ťažké povedať, čo je skutočný objekt.

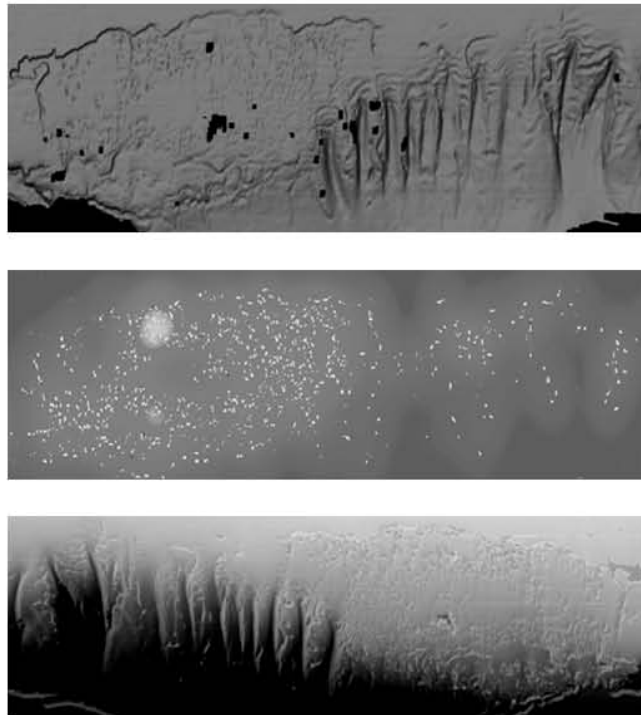
Na tom istom povrchu dosahuje technológia omnoho jasnejší výsledok, bez pridania artefaktov (obr. 9 vľavo). Konvexné a konkávne objekty a ich vektorová reprezentácia poskytujú objektívne ohodnotenie lokálne konvexných a konkávných tvarov na povrchu (obr. 9 vpravo). Paralelné trendy konvexných a konkávných objektov naznačujú prítomnosť zlomu a môžu byť použité na zvýraznenie oblastí s deformáciami.



Obr. 9. Použitie technológie Proxima na rovnakom povrchu omnoho jasnejšie lokalizuje konvexné a konkávne trendy. Vpravo je názorne ukázaná automaticky vytvorená vektorová reprezentácia objektov.

Príklad identifikácie depresných útvarov

Pockmarks je anglický termín pre označenie depresných útvarov na morskom dne, ktoré vznikajú pri úniku tekutých alebo plyných látok z podložia do mora (King and Maclean, 1970). Tieto útvary môžu byť indikátorom nestability terénu, únikových ciest uhlíkovodíkov a zhromažďovania uhlíkovodíkov v geologických vrstvách (Hovland and Judd, 2007). Seizmický horizont reprezentujúci morské dno (obr. 10 top) zobrazuje výraznú zmenu jeho hĺbky za kontinentálnym šelfom. Niekoľko podmorských kaňonov je viditeľných popri oblasti podmorského zosuvu, ktorá je charakterizovaná početnými konkávnymi útvarmi. Tento povrch bol spracovaný za účelom automatickej detekcie týchto malých konkávných útvarov (pockmarks) s následným vytvorením ich databázy obsahujúcej rôzne popisné morfometrické vlastnosti pre každý útvar. Takto vytvorená databáza umožňuje jedno alebo viac úrovňovú selekciu a následnú tvorbu máp zvyrazňujúcich určité vlastnosti záujmových útvarov (napr. pravdepodobnosť hustoty, orientáciu, veľkosť, asymetriu). Takto získaná priestorová informácia môže byť ďalej použitá v GIS systémoch alebo modelovacích systémoch na vytváranie geologických modelov na rôznych rozlišovacích úrovniach.



Obr. 10. Analýza seizmického povrchu. Povrch zobrazený vo falošných farbách s tieňovaním (navrchu). Výsledok detekcie tvarov pockmark sú objekty naložené na tom istom povrchu zobrazenom v šedej škále s (v strede). Mapa pravdepodobnosti hustoty pockmarkov zobrazená vo falošných farbách spolu s naloženými objektami pockmarkov (dole).

4. Predbežné výsledky analýzy povrchu z lidarových dát

LiDAR je jedným z najlepších zdrojov dát pre vytváranie digitálneho modelu terénu. Pre testovanie bol prezentovanou technológiou analyzovaný grid nadmorských výšok s veľkosťou pixla 25 cm (obr. 11). Grid bol vytvorený najvyššou hodnotou v pixli na základe dát nameraných LiDAR technológiou v zastavanom území. Jedným z výstupov automatickej analýzy je databáza konvexných objektov v smere spádnic, ktorá dobre ohraničuje objekty na určitej rozlišovacej úrovni. Do databázy bola doplnená informácia o klasifikácii bodov podľa typu objektu ktorý daný bod reprezentuje. Priestorová databáza umožnila efektívne pridať túto informáciu ku každému objektu. Následne je možné vybrať z databázy len objekty s požadovaným množstvom bodov, klasifikovaných ako budova. Predpokladaný prínos tohto procesu bude v následnom odstraňovaní neželaných skupín bodov zo samotného mračna bodov pred vytváraním digitálneho modelu terénu.



Obr. 11. Príklad automatizovanej detekcie hrán budov na základe údajov z mračna bodov

5. Záver

Prezentovaná technológia na analýzu digitálnych dát nepoužíva žiadnu z všeobecne zaužívaných existujúcich metód ako: operátory (Canny, Prewitt, Sobel, Kirsch...); Krigging, Splines, Inverse Distance Weighting; Geoštatistika, Fast Fourier Transform, Discrete Cosine Transform; Wavelets; Gaussian decomposition; Worms; Numerické derivácie (prvého rádu, druhého, atď).

Technológia je aplikovateľná na širokú škálu dát, s ktorými sa pracuje v geovedách a pridružených priemyselných oblastiach vrátane spracovania signálu, seizmických povrchov, potenciálových polí, hĺbkových meraní, LiDAR-u. Celý proces spracovania je automatický s výslednou geodatabázou umožňujúcou výbery požadovaných objektov.

Vzhľadom na objektívnosť analýzy a elimináciu ľudského rozhodovania je prezentovaná technológia obzvlášť vhodná na viac-úrovňovú analýzu dát s vysokým rozlíšením a veľkou hustotou.

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry ITMS 26220220156.“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Literatúra

- [1] DEMIDOVICH, B. P., MARON, I. A. (1981). Computational mathematics. Moscow, MIR Publishers.
- [2] DIRSTEIN J., HRONCEK S., IHRING P. (2013). Digital surface analysis: A completely new approach using differential geometry. ASEG Extended Abstracts(2013) , 1–4.
- [3] DUPIN, C., Developpements de Geometrie (1813).
- [4] GAUSS, C. F. (1827). Disquisitiones Generales Circa Superficies Curvas (General investigation into curved surfaces).
- [5] HOVLAND, M. and JUDD, A. (2007). Seabed Fluid Flow, The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment.
- [6] KING, L.H, MACLEAN, B. Pockmarks on the Scotian Shelf, Geological Society of America Bulletin, October (1970), v. 81, no. 10, p.3141-3148
- [7] KRCHO, J.(2001). Modelling of Georelief and its geometrical structure using DTM: Positional and Numerical accuracy. Bratislava: Q111, 2001
- [8] ROBERTS, A., (2001), Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons. First Break, 19(2) p. 85-100
- [9] ŠALÁT, T. et al. (1981). Malá encyklopédia matematiky. Bratislava: Obzor, 1981
- [10] Wikipedia. Differential geometry. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_geometry
- [11] WOODS, (1996). The geomorphological characterisation of digital elevations models PhD Thesis, University of Leicester, UK