

Morfometrická analýza reliéfu zameraná na identifikáciu jeho štruktúrnych línií

Marián JENČO

Abstract: *The detection of the structural lines of any surface, i. e. land surface is possible to do by zero isolines creation of some established directional morphometric variables. They are determined by directional derivative of a mother morphometric variable function along normal or tangent vector to the land surface. Specific sections of these zero isolines are indicated ridge, valley and terrain edges.*

Keywords: *morphometric variable, terrain skeleton, terrain edge*

Úvod

K ľubovoľnému povrchu reprezentujúcemu priebeh daného javu je možné odvodiť množinu jeho morfometrických veličín. Tieto veličiny vytvárajú vlastné štruktúrne polia, v rámci ktorých spojito nadobúdajú rôzne hodnoty. Vznikajú tak oblasti s charakteristickým priebehom týchto veličín. Ak tieto morfometrické veličiny sú odvodené z materských morfometrických veličín a zároveň vyjadrujú intenzitu zmien ich hodnôt v niektorom zo zvolených smerov, takými oblasťami môžu byť areály s kladnými a zápornými hodnotami odvodených morfometrických veličín. V prípade georeliéfu si v rámci súradnicovej sústavy rešpektujúcej gravitačné pole Zeme môžeme z hľadiska interpretačných možností zvoliť smer vrstevnice a spádnice.

Ak štruktúrne línie reliéfu chápeme ako líniové prvky, v ktorých sa extrémne prejavuje alebo mení charakter niektorej vlastnosti plochy, môžeme tieto línie identifikovať pomocou nulových izočiar smerových morfometrických veličín. Definovanie štruktúrnych línií pomocou nulových izočiar smerových morfometrických veličín je jednou z možných ciest vedúcich k extrakcii geografických objektov z geografických polí. Extrakcia údolnic, chrbátic alebo terénnych hrán pomocou týchto izočiar je jedným z možných príkladov.

Súčasná geomorfometria pozná celý rad smerových morfometrických veličín. Tieto boli definované na základe potrieb jednotlivých geovedných disciplín. Najprv geomorfológia a neskôr i ostatných disciplín. Dnes v geovedách najčastejšie používané lokálne morfometrické veličiny ako veľkosť gradientu $G \equiv |\nabla f| \equiv |\text{grad } f|$, uhol sklonu S a uhol orientácie voči svetovým stranám A boli trochu neskôr doplnené rôznymi krivosťami plochy ako sú krivosť spádovej krivky A_n v rovine (x, y) (Shary, 1991), horizontálna krivosť A_r , teda krivosť vrstevnice, alebo normálové krivosti a to krivosť normálového rezu v smere normály n k vrstevnici $(K_N)_n$, teda v smere spádovej krivky a krivosť normálového rezu v smere dotýčnice t k vrstevnici $(K_N)_t$ (Krcho, 1973, 1983). Tieto morfometrické veličiny charakterizujú reliéf vzhľadom na smery extrémneho pôsobenia gravitačne podmienených procesov. Tieto smery sú vo výškovom poli určené smerom dotýčnice t k ekvipotenciále, teda k vrstevnici a smerom vektora gradientu, ktorý je totožný so smerom normály n k vrstevnici prechádzajúcej daným bodom. Podľa práce Minár (1999) morfometrické veličiny G , S a A sú morfometrickými veličinami prvého rádu a morfometrické veličiny $(K_N)_n$, $(K_N)_t$, A_r a A_n sú morfometrickými veličinami druhého rádu. Vyplýva to z toho, že morfometrické veličiny G , S a A sú odvodené priamo z výškového poľa a teda v ich formulách nájdeme len parciálne derivácie funkcie výškového poľa $f(x, y)$ prvého rádu. Morfometrické veličiny $(K_N)_t$, $(K_N)_n$, A_r a A_n sú odvodené z poľa morfometrických veličín prvého rádu S a A , a teda v ich formulách nájdeme aj parciálne derivácie funkcie $f(x, y)$ druhého rádu. Morfometrické veličiny prvého rádu G , S a A sú preto materskými veličinami morfometrických veličín druhého rádu. Ak morfometrické veličiny druhého rádu budeme považovať za materské veličiny môžeme z nich odvodiť morfometrické veličiny tretieho rádu. Takto môžeme pokračovať ďalej bez obmedzenia až po najvyšší stupeň diferencovateľnosti funkcie $f(x, y)$.

Postup derivovania niektorých funkcií skalárnych poľa materských morfometrických veličín prvého a druhého rádu v smere normály n a tangenty t uplatnil Jenčo v práci z roku 1992/93 pri definovaní morfometrických veličín druhého a tretieho rádu. Takto odvodené morfometrické veličiny vyjadrujú

intenzitu zmeny materskej veličiny v jednom z dvoch základných smerov výškového poľa. Zo spôsobu odvodenia vyplýva, že priebeh nulových izočiari morfometrickej veličiny daného rádu je viazaný na body s extrémnymi hodnotami v poli materskej veličiny a zároveň aj na inflexné body v poli staromaterskej veličiny ak taká, z hľadiska daného rádu, existuje. To znamená, že ak pomocou nulových izočiari jednotlivých morfometrických veličín môžeme určiť body s extrémnymi hodnotami priebehu ich materských veličín v smere spádových kriviek a vrstevníc, môžeme pomocou nich určiť okrem inflexných bodov spádových kriviek a vrstevníc aj body s extrémnymi hodnotami jednotlivých zakrivení spádových kriviek a vrstevníc. Túto vlastnosť niektorých smerových morfometrických veličín môžeme využiť napr. pri identifikácii údolnic, chrbátic a terénnych hrán.

Identifikácia údolnic, chrbátic a terénnych hrán

Podľa práce Lindeberg (1998) zavedme v danom bode (x_0, y_0) topografickej plochy lokálnu súradnicovú sústavu (u, v) takú, že os v je rovnobežná so smerom vektora gradientu v bode (x_0, y_0) a os u je na tento smer kolmá. Lindeberg vychádza z myšlienky, že chrbáticové resp. údolnicové línie hladkej a spojitely funkcie dvoch premenných $f(x, y)$ sú krivky, pre body ktorých platí, že sú lokálnymi maximami, resp. lokálnymi minimami v smere osi u lokálnej súradnicovej sústavy (u, v) . To znamená, že lokálna súradnicová sústava (u, v) v danom bode (x_0, y_0) rešpektuje hlavné smery plochy, takže druhá zmiešaná parciálna derivácia funkcie $f(x, y)$ v smere osi u a v musí byť rovná nule. Tejto podmienke vyhovujú aj body, ktorými prechádzajú navzájom identické nulové izočiary morfometrickej veličiny G_t , ktorá vyjadruje intenzitu zmeny gradientu v smere dotýčnice t k vrstevnici, morfometrickej veličiny S_t , ktorá vyjadruje intenzitu zmeny sklonu v tom istom smere a morfometrickej veličiny A_n . Úseky týchto izočiari však neprechádzajú vždy bodmi na reliéfe, ktorými zároveň prechádzajú údolnicové a chrbáticové línie. Preto musíme hľadať doplňujúcu podmienku. Podľa práce Jenčo a Pacina (2009) takou môže byť podmienka kolmosti vrstevnice a údolnice, resp. chrbátice, ktorú môžeme napísať v tvare rovnice

$$\frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial(D_t \vee S_t \vee A_n = 0)}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial(D_t \vee S_t \vee A_n = 0)}{\partial y} = 0. \quad (1)$$

Na Obr. 1. vidieť, že táto metóda zlyháva v oblastiach s nevýrazným zakrivením vrstevníc, avšak na týchto miestach nedávajú lepšie výsledky ani metódy vyhľadávania lokálnych extrémov krivosti vrstevníc. Napr. aplikácia metódy vyhľadávania lokálnych extrémov horizontálnej krivosti A_t vyžaduje splnenie nasledujúcej dvojice podmienok

$$A_n = 0, \quad \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial(A_n = 0)}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial(A_n = 0)}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

pričom A_n je morfometrická veličina, ktorá vyjadruje intenzitu zmeny horizontálnej krivosti A_t v smere vrstevníc. Kvôli nutnosti použitia parciálnych derivácií vyšších rádoov pri výpočtoch, nevyhne sa pri tejto metóde aj vzniku falošných údolnic a chrbátic (Obr. 2.).

Pri digitálnom spracovaní obrazu sú za hranice objektov považované hrany obrazu, v ktorých dochádza k prudkej zmene jasu obrazu. Tieto hrany sú inflexnými bodmi spádových kriviek výškovej funkcie obrazu $h(x, y)$ pričom veľkosť gradientu v rámci nich dosahuje lokálne maximum. Uvedené vlastnosti digitálneho obrazu môžeme využiť i pri identifikácii terénnych hrán.

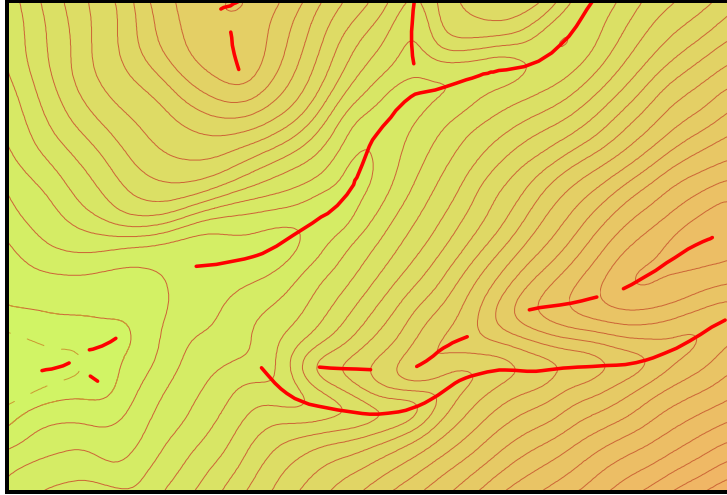
Inflexné body spádových kriviek spojitely topografickej plochy v miestach s maximálnymi hodnotami jej gradientu môžu indikovať výskyt terénnej hrany reálneho reliéfu. Inflexnými bodmi spádových kriviek prechádza izočiara $G_n = (K_N)_n = S_n = 0$, pričom veličina G_n vyjadruje intenzitu zmeny gradientu v smere normály n k vrstevnici, veličina S_n vyjadruje intenzitu zmeny sklonu v tom istom smere a už uvádzaná veličina $(K_N)_n$ vyjadruje krivosť normálového rezu taktiež v smere normály n k vrstevnici. Priebeh identickej nulovej izočiary týchto troch morfometrických veličín miestami s maximálnymi hodnotami gradientu G je viazaný na výskyt záporných hodnôt z nich odvodených nasledujúcich morfometrických veličín tretieho rádu:

G_{nn} - intenzita zmeny gradientovej zmeny G_n v smere normály n k vrstevnici,

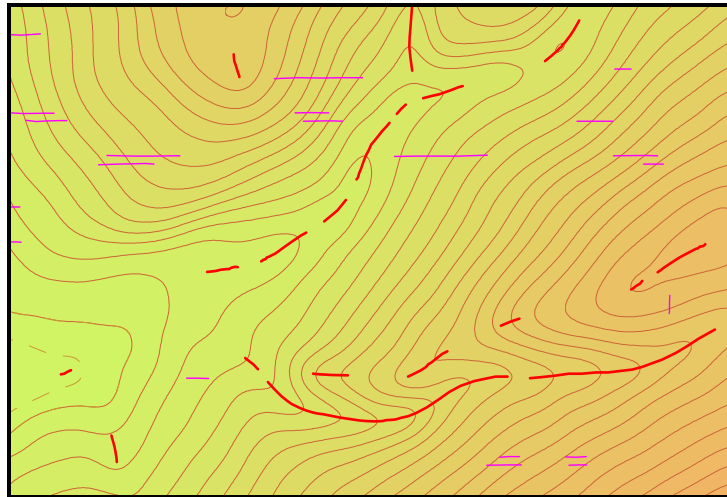
$(K_N)_{nn}$ - intenzita zmeny normálovej krivosti $(K_N)_n$ v smere normály n k vrstevnici,

S_{nn} - intenzita zmeny sklonu S_n v smere normály n k vrstevnici.

Nevyhnutnou podmienkou pre identifikáciu terénnej hrany je veľmi tesný priebeh dvojíc nulových izočiari morfometrických veličín G_{nn} , $(K_N)_{nn}$ alebo S_{nn} prechádzajúcich tou istou spádovou krivkou a uzatvárajúcich izočiara $G_n = (K_N)_n = S_n = 0$ v rámci oblasti vymedzenej intervalom $G_{nn} < 0 \vee (K_N)_{nn} < 0 \vee S_{nn} < 0$.



Obr. 1. Chrbátnice a údolnice identifikované pomocou rovnice $G_t = S_t = A_n = 0$ a rovnice (1) (Jenčo a Pacina, 2009)



Obr. 2. Chrbátnice a údolnice identifikované pomocou rovníc v (2) (Jenčo a Pacina, 2009)
 Vysvetlivky: hrubé červené čiary - skutočné identifikované údolnice a chrbátnice
 tenšie ružové čiary - falošné identifikované údolnice a chrbátnice

Pri stanovení kritéria „tesného priebehu“ dvojíc nulových izočiar morfometrických veličín G_m , $(K_N)_m$ alebo S_m môžeme vychádzať zo vzdialenosti susedných uzlov použitého gridu. Samozrejme, že kvalitu dosiahnutých výsledkov v tomto prípade veľmi ovplyvňuje kvalita vstupného bodového výškového poľa použitého na morfometrickú analýzu reliéfu. Aby pri rekonštrukcii reliéfu z diskrétného bodového poľa výšok nedošlo k zhladeniu terénnych hrán použitou extrapoláčnou funkciou musia byť body po oboch stranách terénnej hrany rozmiestnené s dostatočnou hustotou.

Označenie jednotlivých v príspevku uvádzaných morfometrických veličín je prevzaté z práce Jenčo, Pacina a Shary (2009).

Záver

Priebeh niektorých úsekov nulových izočiar niektorých smerových morfometrických veličín je viazaný na miesta, v rámci ktorých dochádza k výrazným zmenám štruktúrnych vlastností georeliéfu. Vyplýva to z toho, že tieto nulové izočiar prechádzajú bodmi s extrémnymi hodnotami v smere vrstevnice alebo spádnice v poli

materskej veličiny alebo inflexnými bodmi v poli staromaterskej veličiny, t. j. morfometrických veličín, z ktorých bola odvodená daná veličina. Z tohoto dôvodu je možné, pomocou nulových izočiari morfometrických veličín vyjadrujúcich zmenu gradientu, resp. sklonu alebo orientácie a morfometrických veličín vyjadrujúcich ich zmeny v smere spádnice, identifikovať údolnice, chrbátice, terénne hrany, resp. niektoré iné štruktúrne línie. Na rozdiel od väčšiny iných metód ide o striktné analytické metódy. Kvôli ich úspešnej aplikácii potrebujeme mať k dispozícii reprezentatívne výškové bodové pole a možnosť výpočtu dostatočne presných parciálnych derivácií modelovaného povrchu do tretieho rádu.

Literatúra

- JENČO, M., 1992/93: The Morphometric Analysis of Georelief in Terms of a Theoretical Conception of the Complex Digital Model of Georelief. In Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica 33, 133 – 153.
- JENČO, M., PACINA, J., 2009: Edge and ridge detectors as a techniques for geomorphometry. In Pešková K (ed) Proceedings – Symposium GIS Ostrava 2009, dostupné na: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2009/sbornik/index.htm
- JENČO, M. PACINA, J., SHARY, P. A., 2009: Terrain skeleton and local morphometric variables: geosciences and computer vision technique. In Hořák et al. (ed), Advances in Geoinformation Technologies 2009. Ostrava, VŠB-TU, 57 – 76.
- KRCHO, J., 1973: Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory. In Acta geographica Universitatis Comenianae, Geographico-Physica 1, 7 – 233.
- KRCHO, J., 1983: Teoretická koncepcia a interdisciplinárne aplikácie komplexného digitálneho modelu pri modelovaní dvojdimenzionálnych polí. Geografický časopis 35, 265 – 291.
- LINDEBERG, T., 1998: Edge detection and ridge detection with automatic scale selection. International Journal of Computer Vision 30, 117 – 154
- MINÁR, J., 1999: Morfometrická analýza polí a jej využitie v geoekológii. Geografický časopis 51, 261-277.
- SHARY, P. A., 1991: Topografičeskij metod vtorych proizvodnych. In Stepanov I N (ed) Geometrija struktur zemnoj poverchnosti. NC AN SSSR, Puškino, 28 – 58.

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektu č. 1/0434/09, podporovaného Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA).

Digital Terrain Analysis and Structural Line Selection

Marián JENČO

Summary: A structural lines may be parts of the boundary of a surface area with the same property. We can detect these lines by analysing the directional local morphometric variables (LMV). Intensity of values change of the mother LMVs in the countour or slope direction is expressed by directional LMVs.

Identical course of zero isoline G_t (tangent change of gradient) or S_t (tangent change of slope) or A_n (normal change of aspect - rotor) and zero isoline in (1) leads to determine ridge and valley lines. Course of zero isoline G_n (normal change of gradient) or S_n (normal change of slope) or $(K_N)_n$ (profile curvature) leads to determine terrain edges. Isoline $G_n = (K_N)_n = S_n = 0$ must be closed by couples of zero isolines G_{mn} (normal change of normal change of the gradient) or $(K_N)_{mn}$ (normal change of profile curvature) or S_{mn} (normal change of normal change of the slope). Necessary condition is their very close course. LMVs values of G_{mn} or $(K_N)_{mn}$ or S_{mn} are negative in the surface area with isoline $G_n = (K_N)_n = S_n = 0$.

Symbols for LMVs are from Jenčo, Pacina and Shary (2009).

Fig 1. Map of the detected ridge lines and valley lines delimited by equation $G_t = S_t = A_n$ and equation (1) (red lines - valley and ridge lines)

Fig 2. Map of the detected ridge lines and valley lines delimited by equations (2) (bold red lines - valley and ridge lines, narrow pink lines - false valley and ridge lines)

Adresa autora:

RNDr. Marián Jenčo, PhD., Katedra fyzickej geografie a geoekológie
Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava
jenco@fns.uniba.sk