

MAŁGORZATA KOCHMAN, ROBERT OLSZEWSKI
Zakład Kartografii Politechniki Warszawskiej

Wieloskalowe modelowanie rzeźby terenu

Część II

Zarys treści. W drugiej części artykułu omówiono wybrane koncepcje generalizacji numerycznego modelu rzeźby terenu, ze szczególnym uwzględnieniem metody wagowanej filtracji lokalnej opartej na uogólnieniu linii strukturalnych. Zaproponowano także koncepcję budowy wieloskalowego NMT o strukturze hierarchicznej, umożliwiającą monoskalową reprezentację modelu rzeźby na określonym poziomie uogólnienia.

Słowa kluczowe: linie strukturalne, generalizacja NMT, wieloskalowość

8. Wprowadzenie do części II

Potrzeba integracji danych przestrzennych przechowywanych w osobnych bazach danych w Polsce skłania do rozważenia możliwości utworzenia wieloskalowej bazy danych topograficznych (D. Gotlib, A. Iwaniak, R. Olszewski 2005). Celowe wydaje się przy tym zastosowanie koncepcji MRDB (Multiresolution / Multirepresentation Data Base – wieloskalowej / wieloreprezentacyjnej bazy danych).

Dotychczasowa koncepcja opracowania modelu rzeźby terenu w Bazie Danych Topograficznych (BDT) zakłada przekazywanie do zasobu plików numerycznego modelu terenu (NMT) w formacie TIN i GRID (o rozdzielczości 25 m) w podziale sekcyjnym. Nowe wytyczne techniczne opracowania warstwy tematycznej NMT do BDT zakładają opracowanie modelu rzeźby terenu w postaci wektorowej z uwzględnieniem także linii strukturalnych, punktów charakterystycznych, obszarów wyłączeń, pikiet itp. Ten sposób gromadzenia danych źródłowych pozwala na opracowanie procedur automatycznego wyboru odpowiednich form strukturalnych rzeźby terenu w założonej skali. Umożliwia także opracowanie koncepcji wieloskalowej (hierarchicznej) reprezentacji rzeźby terenu. Koncepcja hierarchicznego modelu rzeźby terenu umożliwia inne spojrzenie na

proces generalizacji, rozumianej jako zachowujące relacje topologiczne uogólnianie modelu rzeźby, nie zaś uproszczenie rysunku poziomicowego.

Dla budowy wieloskalowego NMT istotny wydaje się nie tylko hierarchiczny sposób podejścia do modelowania rzeźby terenu, lecz także sposób uogólnienia danych źródłowych. W artykule omówiono koncepcję generalizacji wtórnej istniejącego zbioru. Przy tworzeniu hierarchicznego (wieloskalowego) NMT szczególne znaczenie ma poprawne wyznaczenie linii strukturalnych tworzących „szkielet” topograficzny terenu. Wskazane jest wprowadzenie danych o przebiegu linii strukturalnych rzeźby terenu przy kartowaniu, digitalizacji map lub wykorzystaniu technik fotogrametrycznych.

9. Jeszcze o generalizacji NMT

Najistotniejszą cechą procesu generalizacji danych przestrzennych jest zachowanie podstawowej struktury i charakteru danych geograficznych. Zgodnie z koncepcją R. Weibla (1991) procesu generalizacji nie można traktować jako mechanicznej procedury sekwencyjnego stosowania deterministycznych reguł, lecz jako „proces oparty na zrozumieniu” – zrozumieniu istotności uogólnianych danych i celu generalizacji. Poznanie struktury generalizowanych obiektów wymaga przeprowadzenia analizy kartometrycznej ich kształtu, wzajemnych zależności i zróżnicowania przestrzennego.

Przy analizie rzeźby terenu szczególnie istotne jest zachowanie rzeczywistego położenia charakterystycznych punktów kluczowych form terenu. Proces uogólniania powinien mieć charakter generalizacji modelu DLM, nie zaś generalizacji kartograficznej DCM (D. Grünreich 1995). Tak rozumiana automatyzacja modelowania wielo-

skalowego NMT wymaga zatem stosowania metod filtracji lokalnej. Metody te, np. opracowana przez M. Hellera (1990), wymagają jednak istotnych modyfikacji, umożliwiających jednolite (sparametryzowane) wagowanie poszczególnych obiektów tworzących NMT.

W prowadzonych badaniach przyjęto, iż budując hierarchiczną strukturę modelu NMT należy wyznaczyć linie strukturalne rzeźby terenu oraz przypisać im odpowiednie wagi numeryczne. W procesie uogólnienia modelu istotne znaczenie ma rodzaj linii tworzącej krawędź trójkątów w modelu TIN (linia strukturalna określonego rzędu lub tzw. krawędź masowa). Zaproponowana metoda, omówiona w pierwszej części artykułu, jest zatem swoistą kombinacją filtracji lokalnej i podejścia heurystycznego.

10. Hierarchiczny model TIN (Triangular Irregular Network)

Proste algorytmy generalizacji NMT, takie jak konwersja modelu TIN do struktury regularnej GRID o określonej rozdzielczości przestrzennej i zastosowanie filtracji globalnej, pozwalają na relatywnie niewielką redukcję stopnia złożoności modelu źródłowego.

Proponowana koncepcja opracowania modelu hierarchicznego poprzez iteracyjne usuwanie punktów ze zbioru danych źródłowych łączy w sobie elementy filtracji lokalnej i podejścia heurystycznego. Podstawą analizy jest podział danych źródłowych modelu na punkty strukturalne (leżące na linii strukturalnej) i masowe (pikiety), realizowany poprzez wyznaczenie linii strukturalnych terenu. W procesie generalizacji punkty usuwane są na podstawie łącznej oceny kilku kryteriów: ich istotności pionowej (wyznaczonej lokalnie), gęstości (istotności poziomej), a dla punktów strukturalnych także wagi linii strukturalnej oraz lokalnej krętości tej linii (wyznaczonej zarówno w poziomie jak i w pionie). Dobór istotności poszczególnych czynników jest w pełni sparametryzowany, umożliwiając dowolne przypisywanie współczynników wagowych.

Hierarchiczny (wieloskalowy) model rzeźby terenu może być dopasowany do skali opracowania wybranej przez użytkownika, zachowując jednocześnie istotną dla tego poziomu uogólnienia strukturę rzeźby. W ramach prowadzonych prac badawczych poddano dokładnej analizie metodę konstruowania wieloskalowego modelu TIN w ujęciu zaproponowanym przez E. Danovaro, L. De Floriani, P. Magillo, M. Mesmoudi, E. Puppo (2003) stwierdzając, że tzw. dekompozycja struktury terenu metodą Morse'a-Smale'a

nie oddaje wszystkich istotnych cech morfometrycznych rzeczywistego krajobrazu. Autorzy koncepcji tzw. rozszerzonej dekompozycji Morse'a-Smale'a: L. De Floriani, P. Magillo (2002), E. Danovaro, L. De Floriani, P. Magillo, M. Mesmoudi, E. Puppo (2003) twierdzą, że uogólnienie wyznaczonych automatycznie linii strukturalnych pozwala na hierarchiczną generalizację NMT, zachowującą istotne relacje topologiczne. Wydaje się, że o ile za celowe należy uznać generalizację NMT (lub jego budowę hierarchiczną) realizowaną poprzez uogólnienie linii strukturalnych, to automatyzacja procesu wyznaczania tych linii nie daje pożądanych rezultatów. Konieczne jest zatem rejestrowanie przebiegu linii strukturalnych rzeźby terenu na etapie budowania bazy danych wysokościowych metodami fotogrametrycznymi, lub – gdy jest to niemożliwe – poprzez wektoryzację istniejących opracowań kartograficznych. Na podstawie tak wyznaczonego „szkieletu terenu” możliwa jest poprawna generalizacja modelu rzeźby zachowująca zarazem istotne relacje topologiczne.

Na podstawie prowadzonych badań autorzy proponują modyfikację metody opracowania hierarchicznego modelu TIN, wykorzystującą wagowanie punktów źródłowych modelu na podstawie zapisanych wcześniej linii strukturalnych rzeźby terenu. Modyfikacja ta, przy zachowaniu ogólnej koncepcji wieloskalowego modelu TIN, pozwala na uzyskanie reprezentacji NMT w postaci nieregularnej sieci trójkątów na dowolnie zdefiniowanym poziomie dokładności geometrycznej.

11. Badania własne – generalizacja NMT w formacie TIN

W artykule *Morphology-driven simplification and multiresolution modeling of terrain* (E. Danovaro, L. De Floriani, P. Magillo, M. Mesmoudi, E. Puppo 2003) przedstawiono koncepcję opracowania wieloskalowej reprezentacji NMT, wykorzystując linie strukturalne terenu wyznaczone za pomocą tzw. rozszerzonej dekompozycji Morse'a-Smale'a. Zaproponowano iteracyjny algorytm generalizacji numerycznego modelu terenu o następującym przebiegu:

- w każdym kroku usuwany jest jeden, najmniej znaczący punkt modelu,
- istotność (waga) punktów obliczana jest jako różnica wysokości między analizowanym punktem a średnią wysokością punktów sąsiednich (im mniejsza różnica, tym mniejsze jest znaczenie danego punktu),
- z modelu usuwane są tylko tzw. punkty maso-

we oraz punkty strukturalne nie będące punktami węzłowymi (początek i koniec linii szkieletowej). Oznacza to, że układ linii strukturalnych podlega tylko geometrycznym uproszczeniom, żadna linia grzbietowa lub ciekowa nie może być usunięta z modelu.

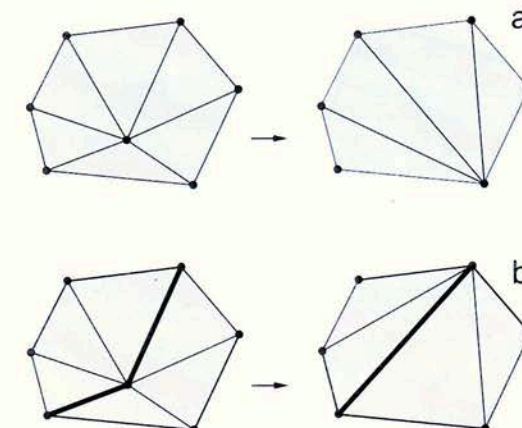
Podejście to, dające poprawne rezultaty z punktu widzenia grafiki komputerowej, jest jednak zbyt dużym uproszczeniem koncepcji generalizacji kartograficznej. Metoda ta wymaga zatem istotnych uzupełnień i modyfikacji:

- uwzględnienia kryterium wielocechowego przy ocenie istotności punktów modelu,
- analizy relacji topologicznych między elementami strukturalnymi rzeźby terenu,
- umożliwienia eliminacji wybranych linii strukturalnych przy jednoczesnym zachowaniu topologii.

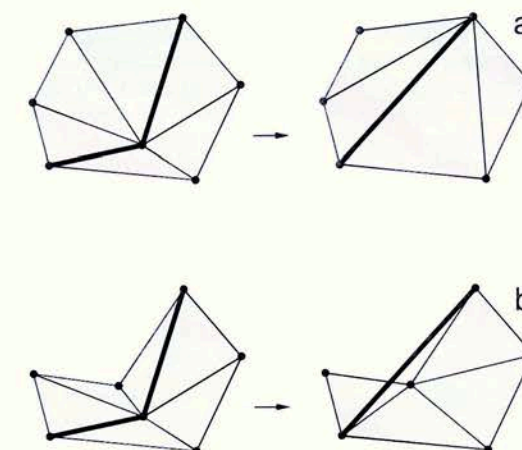
Rozważmy punkt centralny wybranego fragmentu modelu (ryc. 7). Kryterium istotności rzędnej tego punktu sprowadza się do wyznaczenia różnicy wysokości między analizowanym punktem a średnią wysokością punktów sąsiednich. Dla analizy NMT istotne są także inne kryteria: rozmieszczenie poziome (gęstość punktów), typ punktu (punkt masowy – pikieta, punkt ekstremalny – lokalne minimum lub maksimum, punkt strukturalny – leżący na linii szkieletowej). Dla punktów strukturalnych dodatkowo można wyznaczyć rząd linii strukturalnej (zgodnie z klasyfikacją Hortona-Strahlera, Shreve'a lub Graveliusa), współczynnik krętości linii strukturalnej – wyznaczany zarówno w przekroju poziomym jak i pionowym.

Łączna analiza wszystkich zaproponowanych współczynników pozwala na znacznie pełniejsze zróżnicowanie istotności poszczególnych punktów modelu. Dodatkowo proponuje się, aby wagi poszczególnych czynników były w pełni sparametryzowane, tak aby umożliwić użytkownikowi systemu dowolne modyfikacje.

Równie duże znaczenie ma określenie relacji topologicznych między elementami strukturalnymi rzeźby terenu. Usunięcie jednego z punktów modelu wymaga bowiem ponownej triangulacji w obszarze zmian. Jeśli usuwany jest punkt masowy, ponowna triangulacja realizowana jest zgodnie z klasycznym algorytmem Delaneuy'a (ryc. 7a). Usunięcie punktu leżącego na linii szkieletowej wymaga jednak modyfikacji tego algorytmu (ryc. 7b), tak aby zachować topologię form szkieletowych. Dodatkowym problemem jest analiza obszarów wklęsłych (ryc. 8). Usunięcie punktu strukturalnego będącego środkiem takiego obszaru prowadzi bowiem do powstania tzw. niedozwolonych relacji topologicznych (ryc. 8b). Upraszczany fragment linii szkieletowej „przecina”

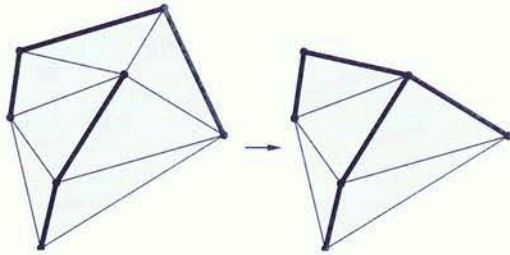


Ryc. 7. Usuwanie punktów z modelu: a – punkt masowy, b – punkt strukturalny
Fig. 7. Removal of points from the model: a – mass point, b – structural point



Ryc. 8. Generalizacja linii strukturalnych rzeźby terenu: a – obszar wypukły, b – obszar wklęsły (niedozwolone relacje topologiczne)
Fig. 8. Generalization of relief structure lines: a – convex area, b – concave area (prohibited topological relations)

bowiem fragment terenu położony poza obszarem analizy. Realizacja tej procedury prowadzi do zmiany położenia jednego z punktów modelu – punkt położony pierwotnie po lewej stronie linii strukturalnej w wyniku uproszczenia linii szkieletowej znajduje się po jej prawej stronie. Z punktu widzenia zachowania relacji topologicznych realizacja tak zdefiniowanej procedury jest zatem niedopuszczalna. Podobne problemy powoduje



Ryc. 9. Eliminacja punktu powodująca powstanie niedozwolonych relacji topologicznych
Fig. 9. Elimination of a point resulting in prohibited topological relations

uproszczenie linii szkieletowej leżącej w pobliżu innej formy strukturalnej (ryc. 9). Eliminacja punktu sprawia, iż dwie odrębne linie strukturalne zostają scalone w jedną całość.

Opracowane algorytmy umożliwiają usuwanie z modelu, na podstawie wielocechowego kryterium istotności, wyłączenie tych punktów, które nie powodują występowania niedozwolonych relacji topologicznych. Ponadto zaproponowany algorytm pozwala na eliminację wybranych linii strukturalnych. W każdym kroku usuwany jest jeden punkt modelu; dozwolone jest także usuwanie punktów początkowych linii szkieletowych (np. źródło cieku). Procedura realizowana jest wieloetapowo (iteracyjnie), toteż możliwa jest całkowita eliminacja danej linii strukturalnej. Zarazem niedozwolone jest usuwanie punktów węzłowych linii strukturalnych (ujścia cieków, punkty styku grzbietów). Podejście to pozwala na zachowanie topologii szkieletu rzeźby terenu (ryc. 10c i 11c) w odróżnieniu od nieuwzględniającej analizy topologicznej prostej eliminacji punktów wysokościowych (ryc. 10b i 11b).

Na podstawie zaproponowanego algorytmu autorzy opracowali własny program komputerowy, pozwalający na budowę hierarchicznego modelu TIN poprzez iteracyjną eliminację punktów na podstawie sparametryzowanych współczynników wagowych, zachowującą zarazem topologię rzeźby terenu. Program ten został opracowany w dwóch wersjach: uproszczonej oraz uwzględniającej zachowanie relacji topologicznych form strukturalnych rzeźby terenu. W procesie generalizacji punkty usuwane są na podstawie łącznej oceny kilku kryteriów: ich znaczenia wysokościowego (wyznaczanego lokalnie), gęstości, a dla punktów strukturalnych także wagi linii strukturalnej oraz lokalnej krętości tej linii (wyznaczanej w przekroju pionowym i poziomym). Dobór istotności poszczególnych czynników jest w pełni sparametryzowany, umożliwia-

jąc dowolne przypisywanie współczynników wagowych.

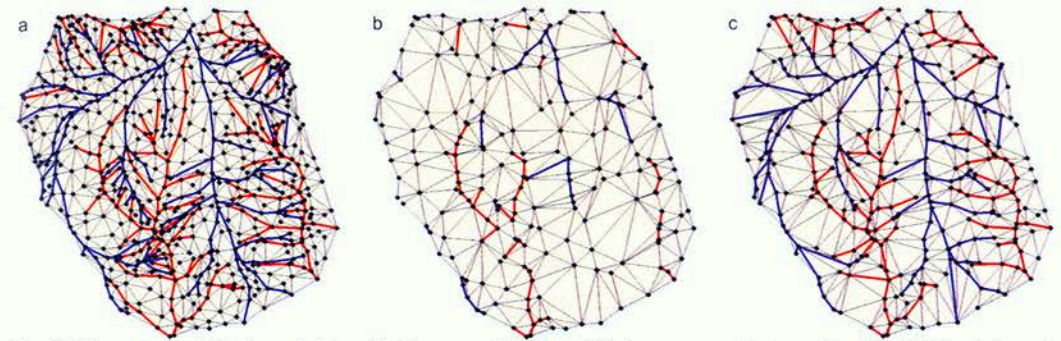
Źródłowy NMT obszaru testowego „Beskidy”, zapisany w postaci TIN, złożony jest z 962 trójkątów zbudowanych na podstawie 584 punktów wysokościowych. Porównując dane źródłowe ze zgeneralizowanym NMT, zawierającym 175 punktów (30% punktów modelu źródłowego) o jednakowych wagach w kierunku wertykalnym i horyzontalnym (ryc. 11b) widać wyraźnie, jak niezachowanie relacji topologicznych przy generalizacji rzeźby terenu wpływa na otrzymany obraz. Proces generalizacji prowadzi do usunięcia wielu linii szkieletowych, a te, które są zaznaczone, nie łączą się ze sobą, przez co błędnie interpretowana jest struktura sieci rzecznej. Ciekły występujące w tej samej dolinie nie tworzą jednego systemu, a to sugeruje, że należą do dwóch różnych zlewni. W przeprowadzonych badaniach ten sam źródłowy NMT zgeneralizowano (z zachowaniem poprawnych relacji topologicznych) przy równych wagach wertykalnej i horyzontalnej, pozostawiając 30% oryginalnych punktów wysokościowych (ryc. 11c). Przebieg linii grzbietowych i ciekowych jest uproszczony, w wielu miejscach brakuje bocznych dopływów cieków głównych i źródłowych odcinków dolin. Zachowane są jednak główne kierunki linii grzbietowych. Łączą się one ze sobą tworząc szkielet morfologiczny terenu.

NMT obszaru testowego „Tatry”, zapisany w postaci TIN, złożony jest z 1103 trójkątów zbudowanych na 679 punktach wysokościowych (ryc. 10a). Proces generalizacji, uwzględniający zachowanie relacji topologicznych między elementami strukturalnymi rzeźby terenu i zachowanie połowy oryginalnych punktów wysokościowych pozwala na otrzymanie poprawnych wyników (ryc. 10c). Zachowane są nadal główne linie szkieletowe, choć brakuje sporej liczby bocznych grzbietów i cieków oraz odcinków źródłowych. Powoduje to znaczne uogólnienie modelu rzeźby. Nie zaobserwowano istotnych różnic między tymi modelami przy zmianie wagi z równych (0,5 i 0,5), na 0,8 w kierunku wertykalnym i 0,2 w kierunku horyzontalnym (ryc. 11b i 11c).

Przeprowadzone badania wskazują, że:

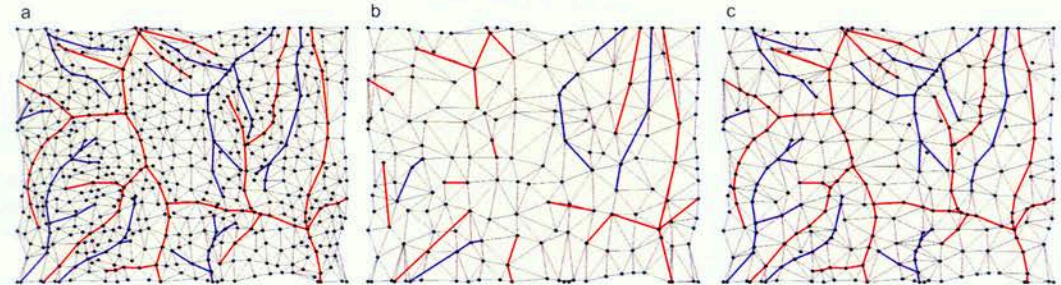
- zgeneralizowany numeryczny model terenu nawet przy 70% redukcji punktów wysokościowych dość wiernie odzwierciedla model wyjściowy;

- przy równych wagach w kierunku wertykalnym i horyzontalnym (0,5 i 0,5) otrzymujemy po generalizacji lepszy obraz niż przy wagach różnych (0,8 dla kierunku wertykalnego i 0,2 dla kierunku horyzontalnego), co wskazuje na konieczność uwzględnienia wielocechowej analizy



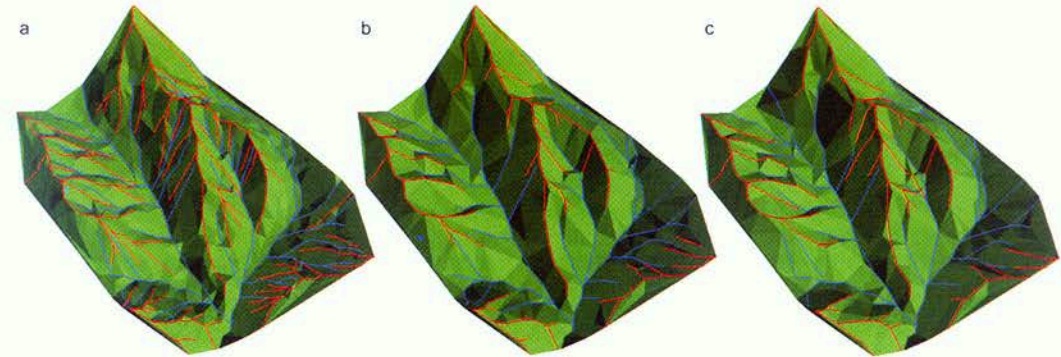
Ryc. 10. Generalizacja NMT (obszar testowy „Tatry”): a – model źródłowy TIN, b – uproszczenie bez zachowania relacji topologicznych, c – generalizacja zachowująca topologię linii strukturalnych

Fig. 10. DTM generalization („Tatry” test area): a – TIN source model, b – simplification disregarding topological relations, c – generalization preserving the topology of structural lines



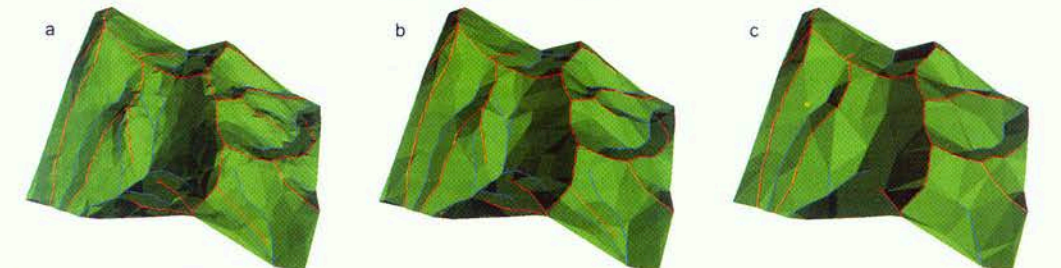
Ryc. 11. Generalizacja NMT (obszar testowy „Beskidy”): a – model źródłowy TIN, b – uproszczenie bez zachowania relacji topologicznych, c – generalizacja zachowująca topologię linii strukturalnych

Fig. 11. DTM generalization („Beskidy” test area): a – TIN source model, b – simplification disregarding topological relations, c – generalization preserving the topology of structural lines



Ryc. 12. Generalizacja NMT (obszar testowy „Tatry”): a – model źródłowy TIN, b – redukcja 50% punktów z zachowaniem topologii linii strukturalnych (wagi: istotność pionowa 0,8; istotność pozioma 0,2), c – redukcja 50% punktów z zachowaniem topologii linii strukturalnych (wagi: istotność pionowa 0,5; istotność pozioma 0,5)

Fig. 12. DTM generalization („Tatry” test area): a – TIN source model, b – reduction of 50% of points preserving the topology of structural lines (weights: vertical significance 0.8, horizontal significance 0.2), c – reduction of 50% of points preserving the topology of structural lines (weights: vertical significance 0.5, horizontal significance 0.5)



Ryc. 13. Generalizacja NMT (obszar testowy „Beskidy”): a – model źródłowy TIN, b – redukcja 50% punktów z zachowaniem topologii linii strukturalnych, c – redukcja 75% punktów z zachowaniem topologii linii strukturalnych

Fig. 13. DTM generalization („Beskidy” test area): a – TIN source model, b – reduction of 50% of points preserving the topology of structural lines, c – reduction of 75% of points preserving the topology of structural lines

danych źródłowych przy ustalaniu istotności punktów modelu;

- obraz NMT po generalizacji zachowującej relacje topologiczne jest zawsze wyraźnie lepszy niż ten, gdzie nie są one uwzględniane;
- opracowanie numerycznego modelu terenu o budowie hierarchicznej związane jest z iteracyjną eliminacją punktów wysokościowych, zachowującą zarazem istotne relacje topologiczne form strukturalnych.

Model wieloskalowy może mieć monoskalową reprezentację na dowolnie zdefiniowanym poziomie uogólnienia i poziomie istotności elementów strukturalnych modelu (ryc. 12a – model źródłowy, 12b – redukcja 50%, istotność pionowa 0,8, istotność pozioma 0,2, 12c – redukcja 50%, istotność pionowa 0,5, istotność pozioma 0,5). Poziom uogólnienia dla przyjętej skali opracowania określa się przez zdefiniowanie dopuszczalnej wartości błędu średniego modelu, oczekiwanej liczby punktów modelu wynikowego lub określonego w procentach stopnia redukcji liczby punktów wysokościowych (ryc. 13a – model źródłowy, 13b – redukcja 50%, 13c – redukcja 75%) .

12. Wnioski końcowe

Generalizacja numerycznego modelu terenu jest zagadnieniem istotnym zarówno z punktu

Literatura

- Brassel K., Weibel R., 1988, *A review and conceptual framework of automated map generalization*. „Intern. Journal of Geogr. Information Systems” Vol. 2, no. 3, s. 229–244.
- Danovaro E., De Floriani L., Magillo P., Mesmoudi M.M., Puppo E., 2003, *Morphology-driven simplification and multiresolution modeling of terrain*. W: *Proceedings ACM-GIS 2003. The 11th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*. Editors E. Hoel and P. Rigaux, ACM Press, s. 63–70. www.disi.unige.it/person/DeflorianiL/publications.html
- De Floriani L., Magillo P., 2002, *Multiresolution mesh representation: Models and data structures*. W: *Multiresolution in geometric modelling*. Editors M. Floater and A. Iske and E. Quak, Springer-Verlag, s. 363–418. www.disi.unige.it/person/DeflorianiL/publications.html
- Gottlib D., Iwaniak A., Olszewski R., 2005, *Jedna referencyjna baza danych. Czy to możliwe?* „Geodeta” Nr 1 (116), s. 8–11.
- Grünreich D., 1995, *Development of computer-assisted generalization on the basis of cartographic model theory*. W: *GIS and generalization – methodology and practice*. London: Taylor & Francis, s. 47–55.
- Heller M., 1990, *Triangulation algorithms for adaptive terrain modeling*. W: *Symposium on Spatial Data Handling*. Zurich, Vol. 1, s. 163–174.
- Kochman M., Olszewski R., 2005, *Wieloskalowe modelowanie rzeźby terenu*. Część I, „Polski Przegl. Kartogr.” T. 37, nr 3, s. 171–184.
- Makowski A. (red.), 2004, *System informacji topograficznej kraju – teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Olszewski R., 2005, *Utilisation of artificial intelligence methods and neurofuzzy algorithms in the process of digital terrain model generalization*. W: *XXII ICA Conference, La Coruña*.
- Sheeren D., 2003, *Spatial databases integration: interpretation of multiple representations by using machine learning techniques*. W: *21st. International Cartographic Conference, Durban*.
- Smale S., 1960, *Morse inequalities for dynamical system*. „Bulletin of American Mathematical Society” Vol. 66, s. 43–49.
- Weibel R., 1992, *Models and experiments for adaptive computer-assisted terrain generalization*. „Cartography and Geogr. Information Systems” Vol. 19, no. 3, s. 133–153.
- Wilson J. P., Gallant J. C., 2000, *Terrain analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Wytyczne techniczne. Baza Danych Topograficznych, 2003. Warszawa: Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

Recenzował dr hab. Artur Magnuszewski

Multiscale modelling of relief

Part II

Summary

Keywords: structure lines, DTM generalization, multi scaling

The concept of hierarchical model of relief is a logical conclusion of the idea of a multi representation topographic database. It permits a combined analysis of all the components of the environment and uncovers new possibilities in preserving the integrity of spatial constraints between the model of terrain and other thematic layers (primarily river network). It is possible due to, among other factors, defining of spatial relations between particular objects and object classes. It also provides a new way of looking at the process of relief generalization understood as an approximation of the relief model preserving topological relations, and not as a simplification of contour lines. The basic feature of the generalization of relief should be the preservation of its structure (morphological skeleton).

What seems important for the construction of multi scale DTM is not only a hierarchical approach to relief modelling but also the method of approximation of source data. Simple algorithms of DTM generalization such as the conversion of TIN model into regular GRID structure of certain spatial resolution and the application of global filtration allow for a relatively low reduction of complexity of the source model.

The proposed concept of hierarchical model preparation through iterative elimination of points from the data source combines elements of local filtration and heuristic approach. In the conducted research it was assumed, that while building the hierarchical structure of DTM model one should define relief structural lines and assign to them appropriate numeric weights. The analysis bases on the division of source data of the model into structural and mass points. In the process of generalization the points are removed according to the combined evaluation of several criteria: their vertical significance (established locally), their density (horizontal significance), and for structural points also by the weight of structural lines and local curvature of those line (established horizontally as well as vertically). The selection of relevance of particular criteria is fully parameterized, permitting a free assignment of weight factors.

Hierarchical (multi scale) model of relief can be adapted to the scale of presentation chosen by the user, while retaining the relief structure relevant for that level of generalization. Suggested algorithms make it possible to preserve significant topological relations between structural elements of relief.

Translated by M. Horodyski

Многомасштабное моделирование рельефа местности

Часть II

Резюме

Концепция иерархической модели рельефа местности является логическим дополнением идеи много сборной базы топографических данных, дающей возможность анализировать вместе все компоненты окружающей среды. Открывает также более широкие возможности в области поддержания связанности (так называемых узлов пространственной целостности) между моделью рельефа местности и другими тематическими слоями (прежде всего, речной сетью). Это является возможным, между прочим, благодаря определению пространственных реляций между отдельными объектами и классами объектов. Делает это также возможным иначе взглянуть на процесс генерализации рельефа местности, понимаемой как обобщение модели местности, сохраняющее топологические реляции, а не как упрощение рисунка горизонталей. Ибо основной чертой обобщения модели рельефа местности должно быть сохранение его структуры (морфологического скелета).

Для построения многомасштабной ЦММ существенным кажется не только иерархический способ подхода к моделированию рельефа местности, но

также и способ обобщения исходных данных. Простые алгоритмы генерализации ЦММ, такие как конверсия модели TIN к регулярной структуре GRID с определённой пространственной разрешающей способностью и применение глобальной фильтрации, позволяют на относительно небольшую редукцию степени сложности исходной модели.

Предлагаемая концепция разработки иерархической модели путём итерационного исключения пунктов из фонда исходных данных соединяет в себе элементы локальной фильтрации и эвристического подхода. В проводимых исследованиях принято, что, создавая иерархическую структуру ЦММ, следует определить структурные линии рельефа местности и приписать им соответствующие цифровые веса. Основой анализа является деление исходных данных модели на структурные и массовые пункты. В процессе генерализации пункты устраняются на основе общей оценки нескольких критериев: их вертикальной сущности (определяемой локально), густоты (горизонтальной сущности), а для структурных пунктов также веса структурной линии и локальной извилистости этой

линии (определяемой как в горизонтали, так и в вертикали). Подбор сущности отдельных факторов полностью параметризован, что делает возможным свободное приписывание весовых коэффициентов.

Иерархическая (многомасштабная) модель рельефа местности может быть приспособлена к масштабу

разработки, выбранной потребителем, сохраняя одновременно существенную для этого уровня обобщения структуру рельефа. Предлагаемые алгоритмы разрешают также сохранить существенные топологические реляции между структурными элементами рельефа местности.

Перевод Р. Толстикова