

REALIZACJA OPERATORA ODSUNIĘCIA KARTOGRAFICZNEGO ZA POMOCĄ AKTYWNYCH FUNKCJI SKLEJANYCH – TEST METODY

Andrzej Borkowski, Radosław Lipski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Jednym z operatorów graficznej generalizacji kartograficznej jest operator odsunięcia, wykorzystywany do rozwiązywania na mapie sytuacji konfliktowych, w których obiekty nie są dostatecznie rozróżnialne bądź zachodzą na siebie. Konflikty te można rozwiązać w oparciu o zasadę minimalizacji energii, na której bazują aktywne modele krzywych. W pracy przedstawiono sposób implementacji operatora odsunięcia za pomocą algorytmu *snakes*. Oceny jakościowej i ilościowej rezultatów dokonano z wykorzystaniem istniejących map topograficznych. Określono różnice w położeniu i kształcie geometrycznym obiektów względem ich odpowiedników na mapach topograficznych.

Słowa kluczowe: generalizacja kartograficzna, operator odsunięcia, aktywne funkcje sklejjane

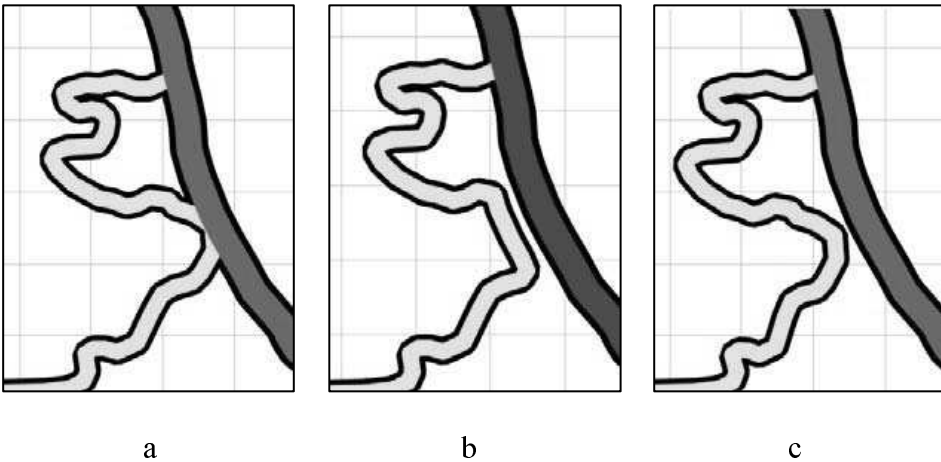
WPROWADZENIE

Istotą generalizacji kartograficznej jest wybór informacji najważniejszych oraz celowe ich uogólnienie dla zwiększenia czytelności i przejrzystości mapy. Jest to proces niezwykle złożony i skomplikowany, obejmujący szereg czynności o charakterze logicznym, graficznym i percepcyjno-wizualnym. Proces ten dzieli się na ogół na dwie fazy: fazę generalizacji pojęciowej i fazę generalizacji graficznej [np. Chybicka i Iwaniak 2004]. Ze względu na holistyczną naturę generalizacji kartograficznej oraz trudności ze sformalizowaniem ścisłych reguł i zasad stosuje się, zwłaszcza dla potrzeb automatyzacji generalizacji, rozbitcie procesu generalizacji na poszczególne ogniwa, tak zwane operatory generalizacji i osobne ich automatyzowanie. Różni autorzy proponują różny stopień szczegółowości poszczególnych elementów łańcucha operacji generalizacyjnych. Dobry przegląd typologii operatorów generalizacji można znaleźć między innymi w pracy [Bader 2001].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Andrzej Borkowski, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, borkowski@kgf.ar.wroc.pl

Z powodu mniejszego stopnia redukcji wymiarów znaków w stosunku do zmniejszenia skali mapy powstają na mapie, w procesie generalizacji kartograficznej, sytuacje konfliktowe, w których obiekty nie są dostatecznie rozróżnialne, zachodzą na siebie. W takich sytuacjach, jeżeli nie chcemy dopuścić do eliminacji obiektów i utraty informacji, a jest wystarczająco dużo miejsca, stosowany jest operator odsunięcia.

Operator odsunięcia jest jednym z najważniejszych ogniw łańcucha operacji generalizacyjnych. Jego definicję podaje Weibel i Buttenfield [1988]. Operator ten odpowiedzialny jest za rozwiązywanie przestrzennych konfliktów między elementami treści mapy w celu zachowania topologicznych relacji między obiektami, czytelności mapy oraz odpowiedniego usytuowania innych obiektów na mapie. Wyróżnia się odsunięcie przez translację i odsunięcie przez deformację. Pierwszy sposób, jako mniej odpowiedni, stosowany jest dla małych obiektów i symboli. Drugi sposób preferowany jest dla wydłużonych obiektów liniowych. Odsunięcie przez deformację realizowane jest dwuetapowo. Najpierw określa się, w miejscu zachodzenia konfliktu, wartość wektora odsunięcia, gwarantującą rozwiązanie konfliktu. Kolejnym etapem jest propagacja odsunięcia. Propagacja polega na rozmieszczeniu wzdłuż przemieszczanego obiektu liniowego wektorów odsunięcia, których wartości maleją w miarę oddalania się od miejsca konfliktu. Wykonanie przesunięcia tylko w miejscu konfliktowym poskutkowałoby znaczącą zmianą kształtu nie tylko miejsca, w którym zachodzi konflikt ale i całego obiektu. Dzięki odpowiedniej propagacji kształt i charakter geometryczny obiektu ulegają tylko nieznacznym (niezauważalnym) deformacjom. Problem ten przedstawiono szkiecowo na rysunku 1.



Rys. 1. Propagacja odsunięcia kartograficznego. Sytuacja konfliktowa (a), odsunięcie tylko wierzchołków pozostających w bezpośrednim konflikcie (b) i propagacja odsunięcia wzdłuż obiektu (c) [wg Bader i Barrault 2000]

Fig. 1. Displacement propagation. Initial situation with proximity conflict (a) Situation after applying only a correction to the interfering vertices (b) propagating displacement throughout the line (c) [Bader and Barrault 2000]

W tym miejscu możemy postawić pytanie o optymalne rozmieszczenie wektorów przesunięcia wzdłuż obiektu. Optymalne to znaczy takie, które pozwala możliwie najlepiej zachować kształt geometryczny obiektu, w niewielkim stopniu zmieniać położenie obiektu i jednocześnie zlikwidować bądź zminimalizować sytuacje konfliktowe, gdy wobec konfliktu między wieloma obiektami całkowite jego usunięcie może być niemożliwe. Tak sformułowane zadanie optymalizacyjne może być rozwiązane za pomocą aktywnego modelu linii, tak zwanego *snakes*. Model ten otrzymuje się w wyniku rozwiązania zadania wariacyjnego, w którym minimalizuje się odpowiednio zdefiniowaną energię całkowitą przypisaną linii. Uniwersalność i atrakcyjność realizowanej przez *snakes* zasady minimalizacji energii przyczyniły się do powstania licznych odmian i modyfikacji tego algorytmu, najczęściej zorientowanych na konkretne zastosowania w obszarze modelowania geo-danych. Burghardt i Meier [1997a, 1997b] przystosowali klasyczny algorytm *snakes* do potrzeb generalizacji kartograficznej, podano tam odpowiedni, z kartograficznego punktu widzenia, sposób definiowania energii. W kolejnych pracach [Borkowski i in. 1999; Borkowski i Meier 2000, 2001] algorytm ten był doskonalony. Wykorzystanie modelu *snakes* w procesie generalizacji kartograficznej omówiono szczegółowo w opracowaniach monograficznych [Burghardt 2001, Bader 2001].

W pracy omawiany algorytm poddany został weryfikacji na przykładzie praktycznym z okolicy Szklarskiej Poręby. Dokonano oceny jakościowej i ilościowej wyników poprzez ich porównanie z mapami topograficznymi w odpowiednich skalach. W części praktycznej pracy wykorzystane zostały wyniki otrzymane w ramach pracy magisterskiej [Lipski 2005], wykonanej pod kierunkiem pierwszego z autorów.

ZARYS METODY

Oznaczmy przez x^0, y^0 współrzędne oryginalnej (pierwotnej) linii a przez x, y współrzędne linii przesuniętej (wtórnej) wskutek likwidacji konfliktu. Wektor $\mathbf{d}(s) = [x(s) - x^0(s); y(s) - y^0(s)]^T$ opisuje wielkość przesunięcia (deformacji) linii wynikającą z likwidacji konfliktu wzdłuż tej linii, gdzie parametr s jest bieżącą długością linii. Załóżmy następnie takie unormowanie linii, że s przyjmuje wartości z przedziału $[0, 1]$. Wektor $\mathbf{d}(s)$ możemy rozumieć jako przestrzeń dopuszczalnych deformacji linii (obektu liniowego). Przestrzeń ta charakteryzuje się pewną energią E_c będącą sumą $E_c := E_{int} + E_{ext}$ energii wewnętrznej i zewnętrznej. Energia zewnętrzna E_{ext} generowana jest przez sytuację konfliktową, w której znalazł się dany obiekt względem obiektów sąsiednich. Energia E_{int} wewnętrzna opisuje właściwości geometryczne podlegającej deformacji krzywej i definiowana jest jako ważona suma pierwszych i drugich pochodnych wektora $\mathbf{d}(s)$ względem parametru bieżącego:

$$E_{int} = (\alpha |\mathbf{d}_s|^2 + \beta |\mathbf{d}_{ss}|^2) / 2, \quad (1)$$

gdzie $\mathbf{d}_s = [x_s - x^0_s; y_s - y^0_s]^T$, $\mathbf{d}_{ss} = [x_{ss} - x^0_{ss}; y_{ss} - y^0_{ss}]^T$, $x_s := dx/ds$, $y_s := dy/ds$, $x_{ss} := d^2x/ds^2$, $y_{ss} := d^2y/ds^2$, itd. Energia wewnętrzna opisuje zatem nachylenie (spadki) i krzywiznę obiektu w przestrzeni dopuszczalnych deformacji. Swobodnie

wyberane parametry wagowe α, β mogą być stałe dla danego obiektu lub – dobierane indywidualnie w wybranych (bądź wszystkich) punktach krzywej, $\alpha = \alpha(s)$, $\beta = \beta(s)$. Energia zewnętrzna definiowana jest zależnie od kontekstu.

Sformułowane na wstępie zadanie optymalizacyjne polegające na likwidacji lub minimalizacji konfliktów przy jednoczesnym maksymalnie nie zmienionym zachowaniu kształtu początkowego obiektu liniowego będzie rozwiązane, jeśli energia całkowita danego obiektu (układu obiektów) zostanie zminimalizowana:

$$\int_0^1 E_c ds = \int_0^1 E_c(x, x_s, x_{ss}, y, y_s, y_{ss}, s) \rightarrow \min \quad (2)$$

Minimum funkcjonału (2) będzie znalezione, jeśli funkcja modelująca będzie spełniała równania różniczkowe 4. rzędu, tzw. równania Eulera, które po uwzględnieniu zdefiniowanej energii wewnętrznej mają postać:

$$\frac{\partial E_{ext}}{\partial x} - \alpha(x_{ss} - x_{ss}^0) + \beta(x_{ssss} - x_{ssss}^0) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial E_{ext}}{\partial y} - \alpha(y_{ss} - y_{ss}^0) + \beta(y_{ssss} - y_{ssss}^0) = 0 \quad (4)$$

ALGORYTM

Układ równań różniczkowych (3) i (4) rozwiązuje się numerycznie. W tym celu pochodne drugiego i czwartego rzędu zastępowane są przez odpowiednie różnice skończone – szczegóły rozwiązania można znaleźć w pracach: Burghardt [2001], Borkowski [2004]. Ostatecznie otrzymuje się układ równań liniowych postaci:

$$\mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^0) + \mathbf{E}_x(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mathbf{0} \quad (5)$$

$$\mathbf{A}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^0) + \mathbf{E}_y(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mathbf{0}$$

z pięciodiagonalną macierzą:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a & b & c & 0 & 0 & 0 & \dots \\ b & a & b & c & 0 & 0 & \dots \\ c & b & a & b & c & 0 & \dots \\ 0 & c & b & a & b & c & \dots \\ 0 & 0 & c & b & a & b & \dots \\ 0 & 0 & 0 & c & b & a & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (6)$$

w której współczynniki mają następujące znaczenie:

$$a := 2\alpha + 6\beta \quad b := -\alpha - 4\beta \quad c := \beta. \quad (7)$$

Wektory \mathbf{E}_x i \mathbf{E}_y zawierają pochodne energii zewnętrznej, $E_x(i) := \partial E_{ext} / \partial x_i$, $E_y(i) := \partial E_{ext} / \partial y_i$.

Ponieważ macierz \mathbf{A} jest macierzą osobiwą, układ równań (5) rozwiązuje się iteracyjnie. Po odpowiedniej regularyzacji otrzymuje się:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_t &= \mathbf{x}^0 + (\mathbf{A} + \gamma \mathbf{I})^{-1} \left[\gamma (\mathbf{x}_{t-1} - \mathbf{x}^0) - \mathbf{E}_x(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \Big|_{t-1} \right] \\ \mathbf{y}_t &= \mathbf{y}^0 + (\mathbf{A} + \gamma \mathbf{I})^{-1} \left[\gamma (\mathbf{y}_{t-1} - \mathbf{y}^0) - \mathbf{E}_y(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \Big|_{t-1} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

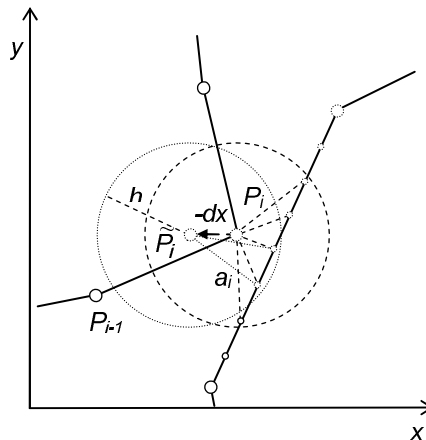
Położenie (współrzędne) obiektu w aktualnym i poprzednim kroku iteracji oznaczają odpowiednio indeksy t i $t-1$. γ jest tak zwanym parametrem regularyzacyjnym, przy czym najczęściej przyjmuje się $\gamma = 1$, natomiast \mathbf{I} oznacza macierz jednostkową.

Energię zewnętrzną reprezentującą potencjał odsunięcia linii definiuje się następująco:

$$E_{ext} = \begin{cases} 1 - a/h & \text{dla } a < h \\ 0 & \text{dla } a \geq h \end{cases} \quad (9)$$

gdzie a jest rzeczywistą odległością pomiędzy obiektami, a h najmniejszą dopuszczalną odległością między obiektami (*hard core*). Pochodną energii w poszczególnych kierunkach oblicza się numerycznie. Zgodnie z rysunkiem 2, w punkcie P_i obliczane są odległości a_i do obiektów sąsiednich, a następnie – zgodnie z (9) energia zewnętrzna.

W kolejnym kroku te same obliczenia wykonuje się w punkcie \tilde{P}_i przesuniętym względem P_i o dx . Różnica tak obliczonych wartości w punkcie \tilde{P}_i i P_i jest proporcjonalna do pochodnej E_x w punkcie P_i . Podobnie oblicza się pochodną E_y .



Rys. 2. Interpretacja geometryczna energii zewnętrznej w punkcie P_i względem linii sąsiedniej

Fig. 2. Geometrical interpretation of the external energy in point P_i with respect to the neighbour line

PRZYKŁAD TESTOWY

Bazą wyjściową dla obiektów generalizowanych za pomocą prezentowanej metody jest cyfrowa mapa topograficzna Szklarskiej Poręby i okolic w standardzie TBD w skali 1:10000, opracowana na podstawie wysokorozdzielczych ortofotomap cyfrowych, uzupełnionych wynikami pomiarów tachimetrycznych obiektów liniowych. Na rysunku 3 przedstawiono drogę główną E65, oznaczoną kolorem czerwonym, biegnącą wzdłuż malowniczej, górskiej doliny rzeki Kamiennej (kolor niebieski). Dobór danych był nieprzypadkowy. Na ponad siedmiokilometrowym odcinku oba obiekty przebiegają niemalże jeden obok drugiego. Bardzo często krawędź drogi stanowi jednocześnie brzeg rzeki. Miejsca takie są szczególnie konfliktogenne na mapie. Nawet niewielka zmiana skali na mniejszą powoduje, że oba obiekty liniowe nachodzą na siebie. Droga i rzeka leżą zbyt blisko siebie i muszą zostać odsunięte, w sposób możliwie jak najlepiej zachowujący ich oryginalny kształt. Co więcej, oba obiekty przyjmują specyficzny charakter geometryczny, przedstawiany nawet na mapach topograficznych w skali 1:500000. Oba obiekty tak samo ważne i przedstawiane są, niezależnie od tematyki mapy, nierozłącznie.



Rys. 3. Wizualizacja danych źródłowych. Droga E65 (kolor czerwony), Rzeka Kamienna (niebieski) i granica Karkonoskiego Parku Narodowego (zielony)

Fig. 3. Source data visualization. Route65 (red colour), Kamienna river (blue colour) and Karkonoski National Park borderline (green colour)

Automatyczna realizacja odsunięcia wymaga odpowiedniego doboru parametrów sterujących. W pierwszej kolejności definiowany jest potencjał odsunięcia E_{ext} . Głównym czynnikiem kształtującym wartość energii zewnętrznej jest parametr *hard core* h , określający rozmiar konfliktu. Jego wartość determinują wymagane instrukcjami szerokości sygnatur obiektów na mapach w docelowej skali oraz – wynikający z uwarunkowań percepcji – minimalny, 0,2 mm, odstęp między nimi. Następnie określany jest stopień deformacji kształtu obiektów, zależny od parametrów α i β , regulujących elastyczność i giętkość linii. Wartości te przyjęto jako stałe dla całego procesu iteracyjnego.

W celu zbadania poprawności działania algorytmu *snake* wykonano odsunięcie drogi E65 i rzeki Kamiennej na całym odcinku Jelenia Góra – Jakuszyce, zakładając taką samą wagę odsunięcia dla obu obiektów. Przesunięcie zrealizowano dla 4 skal: 1:25000, 1:50000, 1:100000 oraz 1:500000, dla tych samych wartości parametrów kształtu $\alpha=1$ i $\beta=1$. Otrzymane wyniki w postaci nowego położenia obiektów porównano względem ich oryginalnego położenia, a także względem ich obrazu na istniejących mapach topograficznych.

Podstawowe zadanie algorytmu zostało wykonane – oba obiekty zostały rozsunięte na *a priori* zadaną odległość. Odsunięcie jest proporcjonalnie rozłożone wzdłuż linii, których charakterystyczne kształty nie uległy zauważalnej przez czytelnika zmianie. Charakterystyczne miejsca, takie jak ostre zakręty i zakola, zachowały swoje kształty, co świadczy o odpowiedniej sztywności modelu *snake*.

W kolejnym etapie zbadano poprawność geometryczną pozycji obu obiektów. W tym celu obliczono rzeczywiste wartości odsunięcia rzeki Kamiennej i drogi E65 względem ich oryginalnego położenia. Pomiar wykonano bezpośrednio na ortofotomapie, ze średnim krokiem pomiarowym wzdłuż obiektów, równym 40 m i w punktach charakterystycznych. W tabeli 1 zawarte są maksymalne i średnie wartości odsunięcia obu obiektów względem ich oryginalnego położenia. Na podstawie uzyskanych wartości można zauważyć, że wraz ze wzrostem redukcji skali różnica położenia obu obiektów, w stosunku do rzeczywistości, ulega zwiększeniu, patrząc jednak przez pryzmat dopuszczalnych błędów położenia dla poszczególnych map topograficznych [Saliszczew 2003], okazuje się, że otrzymane wyniki są poprawne pod względem dokładnościowym.

Sama ocena dokładności wykonania prezentowaną metodą odsunięcia jest jednak w omawianym przypadku niewystarczająca. Oba obiekty były odsuwane bez uwzględnienia innych obiektów, na przykład budynków, mogących powodować konflikty. Nie były też uwzględniane inne czynności generalizacyjne, podejmowane przy opracowywaniu map. Wydaje się, że pełniejszą ocenę techniki *snakes* daje dopiero porównanie z istniejącymi mapami topograficznymi, które właśnie powstały w wyniku przeprowadzenia całego, złożonego procesu generalizacji.

Uzyskane wyniki odsunięcia rzeki Kamiennej i drogi E65 dla skal 1:25000, 1:50000, 1:100000 oraz 1:500000 porównano z obrazem tych obiektów na istniejących mapach topograficznych w odpowiadających skalach.

W przypadku mapy w skali 1:500000 ocena jakości uzyskanych wyników odsunięcia oparta została na wzrokowej analizie i porównaniu kształtu otrzymanych obiektów z ich obrazem na ogólnogeograficznej mapie Republiki Czeskiej [Kartografie Praha, 1998]. Rozpatrując położenie obiektów i ich orientację w skali mapy nie widać znaczących różnic. Konflikt bliskości został rozwiązany, a deformacje kształtu są niezauważalne przez użytkownika na tym poziomie skalowym, zwłaszcza po zastosowaniu odpowiednich dla tej mapy szerokości sygnatur.

Tabela 1. Rzeczywiste wartości odsunięcia obiektów liniowych względem ich oryginalnego położenia na MTP10 w świetle obowiązujących dokładności dla map topograficznych
 Table 1. The real values of linear objects movements with respect to their original location on MTP10 according to current accuracies for topographic maps

Obiekt: Droga E65 Object: Road E65				
Skala mapy: Map scale:	1:25000	1:50000	1:100000	1:500000
Maksymalna wartość odsunięcia [m] Maximum value of displacement [m]	12,67	23,51	42,12	222,34
Średnia wartość odsunięcia [m] Average value of displacement [m]	7,83	17,21	33,38	169,78
Średni dopuszczalny błąd położenia obiektów na obszarach górskich [m] Average admissible error of location of objects in mountain areas [m]	± 19	± 37	± 75	± 350
Obiekt: Rzeka Kamienna Object: Kamienna River				
Skala mapy: Map scale:	1:25000	1:50000	1:100000	1:500000
Maksymalna wartość odsunięcia [m] Maximum value of displacement [m]	17,35	30,66	51,85	201,83
Średnia wartość odsunięcia [m] Average value of displacement [m]	12,76	23,47	41,98	167,19
Średni dopuszczalny błąd położenia obiektów na obszarach górskich [m] Average admissible error of location of objects in mountain areas [m]	± 19	± 37	± 75	± 350

Wyniki odsunięcia dla trzech pierwszych skal poddane zostały szerszej analizie. Oceny dokonano po nałożeniu obiektów wynikowych na wcześniej zeskanowane i wpasowane podkłady mapowe i określeniu różnic w położeniu względem ich obrazu na mapach w odpowiadających skalach. Rozpatrując uzyskane wyniki globalnie, w skali mapy, nie stwierdzono istotnych zmian kształtu krzywych. Położenie i orientacja obiektów odsuniętych nie odbiega znacząco od położenia tych samych obiektów na mapach topograficznych. W przypadku map w skali 1:25000 [Główny Geodeta Kraju 1984] oraz 1:50000 [Główny Geodeta Kraju 1991] pomierzono odległości między obiektami odsuniętymi techniką *snakes* i odpowiadającymi im obiektami na wczytanych podkładach mapowych. Odległości te mierzone były wzdłuż badanych linii średnio co 40 m i w punktach charakterystycznych. W tabeli 2 przedstawiono, uporządkowane w klasy, wyniki tych pomiarów.

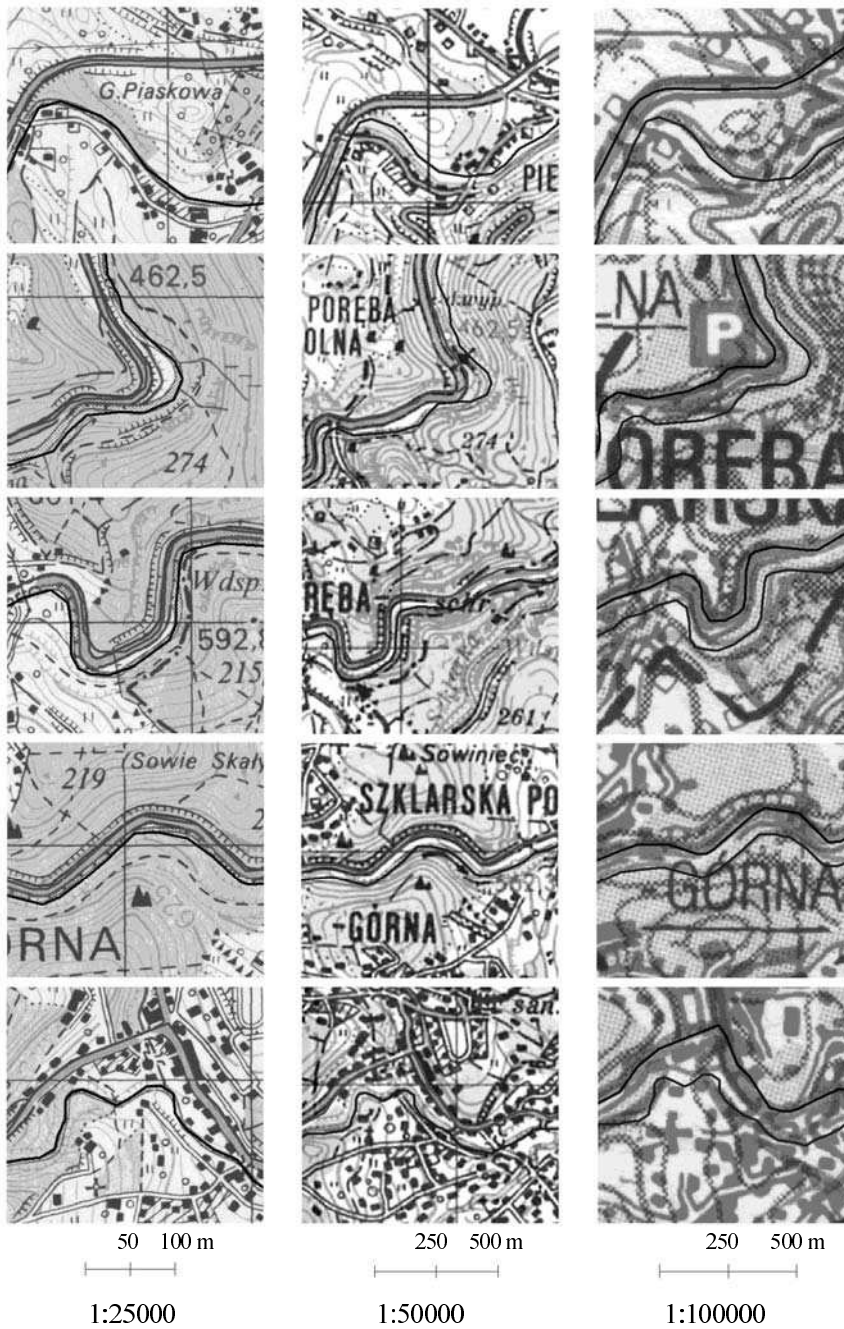
Tabela 2. Odległości obiektów odsuniętych za pomocą algorytmu *snakes* do odpowiadających im obiektów na mapach topograficznych

Table 2. Distances of objects moved with snakes algorithm with regard to corresponding objects on topographic maps

Skala mapy 1:25000 Map scale 1:25000			Skala mapy 1:50000 Map scale 1:50000		
Odległości Distances [m]	Liczba obserwacji Number of observations		Odległości Distances [m]	Liczba obserwacji Number of observations	
	Droga E65 Road E65	Rzeka Kamienna Kamienna River		Droga E65 Road E65	Rzeka Kamienna Kamienna River
0-6,5	45	36	0-13	39	32
6,6-13,0	97	69	13,1-26,0	102	63
13,1-19,5	24	62	26,1-39,0	27	57
19,6-26,00	2	1	39,1-52,0	0	16

Chociaż przedstawione w tabeli 2 wartości obarczone są błędami interpretacji środków obiektów, do których liczone były te odległości, na mapach topograficznych, a także błędami wpasowania, skurczu mapy i skanowania, pozwalają one określić stopień poprawności wykonania odsunięcia z użyciem algorytmu *snakes*. Większe różnice w położeniu i w kształcie obiektów odsuniętych względem ich obrazu na mapach topograficznych dotyczą miejsc o charakterystycznej geometrii. Miejsca te przedstawione są na rysunku 4. Za reprezentatywne wartości różnic w położeniu obu obiektów przyjęto wartości drugiego przedziału klasowego, w którym zanotowano największą obserwację: 6,6-13,0 m dla mapy w skali 1:25000 oraz 13,1-26,0 m dla mapy 1:50000. Wartości tego przedziału określają dokładność wykonania odsunięcia za pomocą *snakes* w świetle obrazu obiektów odsuwanych na mapach topograficznych. Co więcej, wartości tego przedziału mieszczą się w granicach dopuszczalnego błędu położenia na mapach przedstawionych w tabeli 1, co jest kolejnym argumentem świadczącym o poprawności prezentowanej metody. Rzeczywiste wartości odsunięcia, przedstawione w tabeli 1, wskazują, że położenie obiektów będące rezultatem wykonania odsunięcia za pomocą modelu *snakes* jest dokładniejsze, a kształt krzywych jest lepiej zaprezentowany niż w przypadku omawianych map topograficznych.

Dla skali 1:100000 ocenę jakości wykonania odsunięcia za pomocą algorytmu *snakes* przeprowadzono po nałożeniu wyników uzyskanych tą metodą na mapę w skali 1:100000 (Zarząd Sztabu Gen. WP, 1994). Podobnie jak w poprzednich przypadkach nie stwierdzono znaczących różnic w kształcie i położeniu. Konflikt bliskości został poprawnie rozwiązany. Droga E65 po odsunięciu na całym badanym obszarze zajmuje położenie wewnątrz symbolu tej drogi na rozpatrywanej mapie. Szerokość tego symbolu wynosi 0,8 mm, co odpowiada 80 m w terenie, stąd można przyjąć, że błąd położenia obiektu, po jego odsunięciu metodą *snakes* dla skali 1:100000, względem jego obrazu (środku symbolu reprezentującego ten obiekt) na tej mapie nie przekracza 40 m. Warto wspomnieć, że materiałem źródłowym, na podstawie którego wykonana była powyższa mapa, była Wojskowa Mapa Topograficzna Zarządu Topograficznego Sztabu Generalnego WP, wykonana w połowie lat 80. Mapy wojskowe z tego okresu cechowały się wysoką dokładnością, zwłaszcza w przypadku sieci drogowej, co m.in. przyczyniło się do ich reedycji pod koniec lat 90. W tym świetle przyjęta różnica w położeniu obiektów odsuniętych za pomocą *snakes* a ich obrazem na mapie, nie przekraczająca 40 m, w pełni oddaje jakość odsunięcia realizowanego dla skali 1:100000 przez badany algorytm.



Rys. 4. Porównanie różnic położenia obiektów odsuniętych za pomocą *snake* względem ich obrazu na mapach topograficznych w miejscach o charakterystycznej geometrii
 Fig. 4. Comparison of location between objects distanced with *snake* and their picture on topographic maps in the areas which have specific geometry

PODSUMOWANIE

Zadaniem operatorów generalizacji jest rozwiązanie specyficznych problemów technicznych towarzyszących procesowi generalizacji kartograficznej. Operatorom przypisany jest określony rodzaj przekształceń, jakie mają być wykonane. Za realizację tych przekształceń, tak semantycznych jak i geometrycznych, odpowiedzialny jest jeden bądź kilka matematycznie zdefiniowanych algorytmów. O poprawności doboru odpowiedniego algorytmu świadczy jego efektywność i precyzja w realizacji danego operatora.

W pracy zbadano możliwości implementacji operatora odsunięcia za pomocą aktywnego modelu linii *snakes*. Poddano ocenie jakość wykonania odsunięcia tą metodą. Wykonano szereg analiz i porównań, przedmiotem których były obiekty odsunięte prezentowaną techniką. Podstawowy cel, dla którego zaimplementowano algorytm *snakes* – uzyskanie minimalnej odległości między obiektami, został spełniony. Kształt odsuwanych obiektów nie uległ istotnym zmianom, a charakterystyczne cechy tych obiektów zostały zachowane. Niewielkie różnice zauważa się dopiero na etapie analitycznych obliczeń, stąd wniosek, że algorytm spełnia wszelkie wymogi w świetle możliwości percepcyjnych i umysłowych użytkowników map. Również pod względem dokładnościowym metoda spełnia oczekiwania. Różnice położenia obiektów po odsunięciu względem ich rzeczywistego położenia w terenie nie przekraczają dopuszczalnych błędów położenia obiektów na mapach topograficznych, zgodnie z obowiązującymi instrukcjami. Odsunięcie tą metodą nie zniekształca obiektów w stopniu obniżającym wartość mapy. Własności algorytmu pozwalają na optymalne sterowanie procesem odsunięcia, wykorzystując odpowiednie wagowanie poszczególnych obiektów. Inaczej odsuwane będą drogi czy linie kolejowe, którym przypisuje się duże wagi, a inaczej granice administracyjne czy kontury klas użytków. Możliwe jest więc wykonanie odsunięcia w odniesieniu do skali i przeznaczenia mapy, a także charakteru bądź typu odsuwanego bądź wygładzanego obiektu. W pewnym stopniu rozwiązuje to problem ujednoczenia reguł generalizacji obiektów liniowych [Pawlak 2001].

Rozwiązanie złożonych, skomplikowanych układów i sieci linii, zawierających wiele skrzyżowań, wymaga stworzenia odpowiedniego systemu *snakes*, składającego się z kilku bądź nawet kilkudziesięciu modeli. Każdej linii w takim systemie przyporządkowany byłby jeden model o parametrach zależnych od klasy danego obiektu. Koncepcję takiego systemu przedstawia Bader [2001].

Zaproponowany model *snakes* może być wykorzystany również do wygładzania i upraszczania kształtu obiektów. W tym celu zakłada się, że energia zewnętrzna $E_{ext} = 0$. Podejście takie reprezentują Meier i Steiniger [2005].

Połączenie upraszczania obiektów (generalizacja) z operatorem odsunięcia, również dla obiektów punktowych, w jednym procesie iteracyjnym jest jednak sprawą otwartą wymagającą dalszych badań, szczególnie w zakresie semantycznego i topologicznego sterowania tym procesem.

PIŚMIENNICTWO

- Bader M., 2001. Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization. Ph.D. thesis, Univ. Zürich, Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät.
- Bader M., Barrault M., 2000. Improving Snakes for Linear Feature Displacement in Cartographic Generalization. Proceedings of the 5th International Conference on GeoComputation University of Greenwich, United Kingdom 23–25 August 2000 (<http://www.geocomputation.org/2000>)
- Borkowski A., 2004. Modellierung von Oberflächen mit Diskontinuitäten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 575, München.
- Borkowski A., Burghardt D., Meier S., 1999. A fast snakes algorithm using the tangent angle function. ISPRS, Vol. 32, Part 3-2W5, 61-65.
- Borkowski A., Meier S., 2000. Aktywne funkcje sklejące jako narzędzie do realizacji dystynktywności znaków w procesie generalizacji kartograficznej. Zeszyty Naukowe AR Wrocław 2000 nr 394, Geodezja i Urządzenia Rolne XIV. 55-65.
- Borkowski A., Meier S., 2001. Robustification of Tangent Angle Function Snakes. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2/2001, 129-135.
- Burghardt D., Meier S., 1997a. Kartographische Verdrängung nach Extremal-Prinzipien. Zeitschrift für Vermessungswesen, 8, 377-386.
- Burghardt D., Meier S., 1997b. Cartographic displacement using the snakes concept. In: Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps, SMATI '97. Eds.: W. Foerstner, L. Pluemer, 59-71, Birkhaeuser Verlag, Basel.
- Chybicka I., Iwaniak A., 2004. Możliwości automatycznej generalizacji map topograficznych. Wykład wygłoszony na seminarium nt: „Infrastruktura Danych Przestrzennych w Polsce i w Europie – strategia, standardy, metadane i generalizacja” AR we Wrocławiu, 1–3 XII 2004. Wykład dostępny na stronie: www.gislab.ar.wroc.pl
- Główny Geodeta Kraju, 1984. Mapa topograficzna Polski 1:25000 461.41 Szklarska Poręba. Poznań, 1984, wydanie pierwsze.
- Główny Geodeta Kraju, 1991. Mapa topograficzna Polski 1:50000 461.4 Kowary. Warszawa 1991, wydanie pierwsze.
- Kartografie Praha, 1998. Česká Republika 1:500000 Praha 1:11000. Praga, 1998.
- Lipski R., 2005. Zastosowanie aktywnych funkcji sklejących w procesie generalizacji kartograficznej. Praca magisterska. AR Wrocław.
- Meier S., Steiniger S., 2005. Linienglättung mit Snakes als Filteroperation. Photogrammetrie, fernerkundung, Geoinformation 4/2005, 311-320.
- Pawlak W., 2001. Od uproszczenia do syntezy kartograficznej. W: Uproszczenie, uogólnienie, synteza – główne problemy współczesnej kartografii, red. Pawlak W., Wrocław: Uniwersytet Wrocławski. Pracownia Atlasu Dolnego Śląska i Zakład Kartografii, 9-40.
- Saliszczew K.A., 2003. Kartografia ogólna. Wyd. III polskiego tłumaczenia podręcznika z 1982 r. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Weibel, R., Buttenfield, B. P., 1988. Map Design for Cartographic Information Systems. In: GIS/LIS'88 Proceedings, vol. 1, pp. 350-359.
- Zarząd Topograficzny Sztabu Generalnego Wojska Polskiego, 1994. Mapa topograficzna Polski 1:100000 M-33-43/44 Jelenia Góra. Warszawa 1994, wydanie pierwsze.

CARTOGRAPHIC DISPLACEMENT USING SNAKES – TEST OF THE METHOD

Abstract. One of the graphical generalization operators is displacement operator applied in solving proximity conflicts on maps where objects are not explicitly distinguished or where the objects overlap. Such conflicts may be solved on the strength of energy minimization rule on which active curve models are based. In this paper the method of displacement operator implementation by means of snakes algorithm has been presented. Results quality and quantity evaluation was made by using existing topographic maps. Geometrical shape and location between objects and their equivalents on topographic maps were discriminated.

Key words: cartographic generalization, cartographic displacement, snakes

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 17.11.2006