

Tadeusz Chrobak*

Przydatność osnowy kartograficznej i metody obiektywnego upraszczania obiektów do aktualizacji danych w BDT**

1. Wstęp

Tworzenie osnowy kartograficznej ma zwiększyć stopień automatyzacji upraszczania cyfrowego modelu krajobrazu – DLM. W modelu dotychczas nie uwzględnia się informacji o istniejących lub uzupełnianych czy źródłowych bądź przetworzonych obiektach mapy zasadniczej. Podobnie brak w modelu osnowy kartograficznej jako atrybutu obiektów mapy. Osnowa to niezmienniki graficzne każdego obiektu, niezbędne w przetwarzaniu geometrycznym obiektów do baz uogólnionych.

Osnowa kartograficzna – niezależnie od procesu generalizacji – ma zachować graficzną jednoznaczność niezmienników¹ obiektów: punktowych, liniowych i powierzchniowych skali bazowej mapy zasadniczej, w celu wykorzystania danych o obiektach do aktualizacji baz uogólnionych.

W bazie mapy zasadniczej punkty – niezmienniki osnowy powinny zachowywać:

- klasyfikację obiektów treści mapy:
 - w kategorii „obiekty” – wg podziału nominalnego jej treści,
 - w kategoriach „hierarchie obiektów” – wg skali porządkowej;
- dokładność danych o obiektach określoną normami GUGiK

Dane przetworzone uogólnione z bazy źródłowej powinny:

- zachować dokładność określoną normami GUGiK,
- uwzględniać niezależność wyników od operatora i rozstępu skal procesu przetwarzania.

* Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych 11.11.150.478

¹ Niezmienniki osnowy kartograficznej są punktami obiektów, które są na mapie bądź są z niej eliminowane (nie mogą podlegać przesunięciu).

Celem artykułu jest wskazanie oraz uzasadnienie celowości wykorzystania dodatkowych atrybutów, które umożliwią automatyczne pozyskanie danych z przetworzonych danych baz w skali mapy zasadniczej. Nowa metoda pozyskiwania danych uwzględnia zasadę „raz pozyskane dokładne dane są wielokrotnie wykorzystane”, co znacząco wpływa na koszt danych aktualizowanych w bazach topograficznych i ogólnogeograficznych.

2. Definicja osnowy kartograficznej

Osnowę kartograficzną stanowią punkty – niezmienniki obiektów o dokładności II grupy szczegółów treści skali bazowej mapy zasadniczej, które nie podlegają upraszczaniu w procesie generalizacji.

Osnowę kartograficzną dla obiektów mapy:

- punktowych (symboli) wyznaczają punkty umowne o danych współrzędnych (x, y, z) ;
- liniowych stanowią punkty początku i końca łamanej i ich współrzędne (x, y, z) oraz wyróżnione punkty² – wierzchołki łamanej i ich współrzędne;
- powierzchniowych³ wyznaczają środki geometryczne obszaru – jako punkty, które:
 - zachowują maksymalną odległość (gdy brak określonej hierarchii punktów leżących na granicy) do punktu o sąsiedztwie z punktami położonymi najbliżej na granicy obszaru, a dodatkowo punkty sąsiednie z punktem o maksymalnej odległości zachowują warunek $\varepsilon \geq 0,5M$ mm, gdzie M – mianownik skali;
 - tworzą odcinki z punktami granicznymi obszaru o pozycji najwyższej w hierarchii.

Przykład punktu matematycznego osnowy kartograficznej zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Punkt matematyczny osnowy kartograficznej (1) wyznaczony w osi cieków w obrębie zbiornika wodnego

² Punkty niezmienne łamanej, to:

- początek i koniec oraz jej wierzchołki – skrzyżowania o stopniu węzła $n \geq 3$,
- matematyczny punkt (rys. 1) będący środkiem geometrycznym krzywej zamkniętej (np. środek skrzyżowania).

³ Obiekt powierzchniowy przekształcony w łamaną, której wierzchołki – punkty początkowy i końcowy – są niezmiennikami.

3. Zastosowanie osnowy kartograficznej

Osnowa kartograficzna jednoznacznie (w znaczeniu numerycznym) określa niezmienniki – punkty każdego obiektu mapy. Niezmienniki mają znaczenie przede wszystkim w przekształcaniu i aktualizacji obiektów mapy, gdyż określają jednoznacznie warunki wstępne procesu uogólnienia obiektów. Dzięki temu wynik procesu upraszczania łamanej – metodą obiektywną – jednoznacznie łączy dane z obiektami już istniejącymi na mapie, co przeciwdziała tworzeniu się poligonów szczytkowych [1].

Brak w strukturze bazy danych atrybutów: o osnowie kartograficznej, progach generalizacji w relacji z metodami wizualizacji obiektów [3] to źródło ograniczeń stopnia automatyzacji baz danych wielorozdzielczych/wieloreprezentacyjnych typu MRDB. Rozszerzenie atrybutów o obiektach w bazie, metoda obiektywna upraszczania zachowująca topologię i klasyfikację obiektów to czynniki podstawowe automatycznego uogólniania danych.

4. Niezależność rozstępu skali mapy źródłowej i skali mapy opracowywanej od upraszczania łamanych metodą obiektywną

Metoda obiektywna upraszczania łamanej otwartej i zamkniętej w procesie upraszczania łamanej zachowuje w jej segmentach dla badanych punktów kryteria ekstremum, a punkty są usuwane w procesie, gdy nie zachowują kryterium rozpoznawalności rysunku. Warunki wymienione powodują niezależność operatora od procesu upraszczanej łamanej i w ten sposób czynią metodę upraszczania obiektywną [2].

W procesie upraszczania łamanej metodą obiektywną podjęto badania nad ustaleniem liczby sygnałów zdefiniowanych parametrami x , y i zapisanymi jako

$$M_0(\Sigma x, y) > M_1(\Sigma x, y) > M_2(\Sigma x, y) > \dots > M_n(\Sigma x, y) \quad (1)$$

Zależność (1) określa [4] redukcję liczby sygnałów (np. wierzchołków linii) w procesie ilościowej generalizacji kartograficznej, co prowadzi do zmniejszenia liczby zdarzeń pokazanych na mapie. Należy zbadać, czy zmiana skali powodująca redukcję wierzchołków łamanej upraszczanej metodą obiektywną zapewnia ten sam kształt krzywej łamanej dla zbioru M_n , gdy proces:

- 1) przebiega etapami: $M_0 \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots \rightarrow M_n$;
- 2) jest jednym etapem: $M_0 \rightarrow M_n$ o dowolnie dużym rozstępie skal;
- 3) wykorzystuje dane przetworzone ze zbioru: $M_0 \supset M_i$ i $M_i \rightarrow M_n$.

Wyniki procesu uproszczeń krzywych wg warunków wymienionych w punktach 1–3 i określonych zbiorem M_n są identyczne wtedy, gdy przekształcenie geometryczne jest izometryczne lub podobne. A zatem w tych przekształceniach liczba punktów zbioru M_0 nie ulega zmianie.

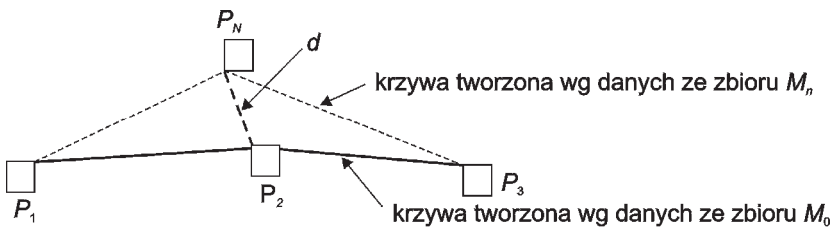
W zbiorze określającym krzywą pierwotną zmiana skali prowadzi do redukcji punktów, tym samym nie spełnia warunku stałości liczby punktów. A zatem warunek ścisły nie jest zachowany – podobnie jak w przypadku przekształceń izometrycznych czy podobnych – ale zachowana jest dokładność danych dla skali mapy zbioru M_n dowolnego punktu krzywej, który ulega:

- przesunięciu na skutek zmiany skali o odległość d ;
- usunięciu na skutek zmiany skali o wartość rzędnej h .

Przesunięcie (rys. 2):

$$(P_1, P_2, P_3) \in M_0 \text{ i } (P_1, P_N, P_3) \in M_n$$

$d < \varepsilon_n$ – elementarna długość boku trójkąta zbioru M_n mianownika skali mapy redagowanej. Nierówność jest zachowana, gdyż w P_1, P_N, P_2 czy w P_2, P_N, P_3 najkrótszy bok P_N, P_2 lub P_1, P_2 lub P_2, P_3 jest mniejszy od najkrótszego boku trójkąta elementarnego, co powoduje zachowanie warunku $d < \varepsilon_n$. (boki: P_1, P_N i P_N, P_3 są dłuższe od najkrótszego boku trójkąta elementarnego, co było powodem utworzenia – w skali redagowanej mapy – wierzchołka P_N).

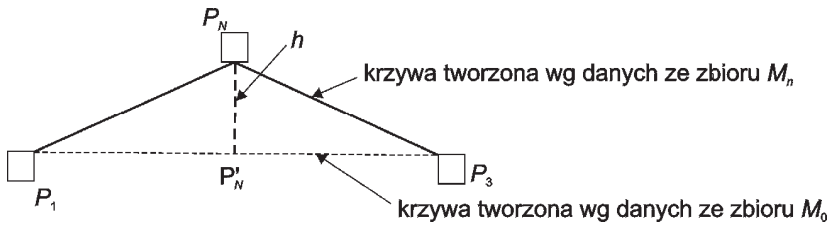


Rys. 2. Przesunięcie punktu w procesie upraszczania krzywych, gdy różne są skale źródłowe

Usunięcie (rys. 3):

$$(P_1, P_2, P_3) \in M_0 \text{ i } (P_1, P_N, P_3) \in M_n$$

$h < \varepsilon_n$ – elementarna długość boku trójkąta zbioru M_n skali mapy redagowanej. Nierówność jest zachowana, gdyż w P_1, P_2, P_3 najkrótszy bok jest mniejszy od najkrótszego boku trójkąta elementarnego, co powoduje zachowanie warunku $h < \varepsilon_n$.



Rys. 3. Usunięcie punktu w procesie upraszczania krzywych, gdy skale źródłowe są różne

Są to wszystkie przypadki możliwe, które zachodzą podczas procesów określonych w punktach 1–3. Uproszczone krzywe, metodą obiektywną dla omawianych przypadków, zachowują dokładności II grupy szczegółów wg normy branżowej GUGiK, gdyż n jest zawsze mniejsze od błędu średniego długości linii w skali mapy redagowanej dla zbioru M_n .

Długość najkrótszego boku w trójkącie elementarnym ϵ_n jest miarą progową rozpoznawalności rysunku. Przetworzone łamane wg procedury opisanej w punkcie 1, 2 lub 3 metodą obiektywną w skali redagowanej mapy są „identyczne” (z dokładnością boku trójkąta elementarnego w skali opracowania).

Rozważania przypadków możliwych, które zachodzą podczas procesów określonych w punktach 1–3 zweryfikowano wielokrotnie w praktyce. Wyniki badanej rzeki o liczbie 161 punktów tworzących łamaną w procesie jej upraszczania metodą obiektywną przedstawiono w tabeli 1 (dane szczegółowe znajdują się w Katedrze Geomatyki AGH Kraków).

Przedstawione w tabeli rezultaty badań potwierdzają rozważania teoretyczne, gdyż odległość każdego punktu usuwanego od najbliższego punktu pozostającego łamanej nie jest większa niż najkrótsza długość boku trójkąta elementarnego (rys. 2). Podobnie jak długości rzędnej (rys. 3) punktów usuwanych nie jest większa niż najkrótsza długość boku trójkąta elementarnego. Rozstęp skal uzyskany metodą obiektywną łamanej upraszczanej nie wpływa na wynik końcowy określony liczbą punktów pozostających. O tym świadczą wyniki procesów:

- o jednym etapie i dowolnym rozstępie $M_0 \rightarrow M_n$ (dane źródłowe – wynikowe);
- przebieg etapami $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots M_n$ (dane już uogólnione – wynikowe).

Wynik końcowy procesu upraszczania jest wyrażony za pomocą liczby punktów opisujących łamaną, która to liczba jest taka sama względem danych w skali docelowej. Występują tutaj przypadki, gdy różnica liczby punktów wynosi jeden, ale odległość między nimi nie przekracza rozpoznawalności rysunku w tworzonej skali wynikowej. Dla przykładu (tab. 1), łamana o liczbie punktów 161 zostaje uproszczona do skali 1 : 50 000, w której pozostaje 17 punktów. Jeżeli proces upraszczania zostanie przeprowadzony najpierw ze skali źródłowej 1 : 500 (161 punktów) do skali pośredniej, np. 1 : 10 000 (pozostają 74 punkty), a następnie ze skali 1 : 10 000 do skali docelowej 1 : 50 000, to rezultat tego uproszczenia będzie identyczny jak w poprzednim przykładzie. Potwierdza to, że rozstęp skal nie wpływa na wynik końcowy upraszczania metodą obiektywną.

Tabela 1. Statystyka upraszczania wierzchołków linii łamanej, gdy skala mapy zmienia się od 1 : 500 do 1 : 500 000

Zbiór danych dla skali Liczba punktów Pozyskanie danych	Liczba punktów Zmienionych Usuniętych									
	M_2	M_5	M_{10}	M_{25}	M_{50}	M_{100}	M_{200}	M_{300}	M_{400}	M_{500}
$M_0 = 1 : 500$ 161 pkt dane źródłowe	159 0 2	117 0 44	74 0 87	29 0 132	17 0 144	9 0 152	4 0 157	3 0 158	3 0 158	2 0 159
$M_2 = 1 : 2000$ 159 pkt dane przetw.	-	117 0 42	74 0 85	29 0 130	17 0 142	9 0 150	4 0 155	3 0 156	3 0 156	2 0 157
$M_5 = 1 : 5000$ 117 pkt dane przetw.	-	-	73 1 44	29 0 88	17 0 100	9 1 108	4 0 113	3 0 114	3 0 114	2 0 115
$M_{10} = 1 : 10\ 000$ 74 pkt dane przetw.	-	-	-	28 0 46	17 2 ^x 57	9 1 65	4 1 70	3 0 71	3 1 71	2 0 72
$M_{25} = 1 : 25\ 000$ 29 pkt dane przetw.	-	-	-	-	16 1 13	9 1 20	4 1 25	3 0 26	2 0 27	2 0 27
$M_{50} = 1 : 50\ 000$ 17 pkt dane przetw.	-	-	-	-	-	8 1 9	4 1 13	3 0 14	2 0 15	2 0 15
$M_{100} = 1 : 100\ 000$ 9 pkt dane przetw.	-	-	-	-	-	-	4 1 5	3 0 6	2 0 7	2 0 7
$M_{200} = 1 : 200\ 000$ 4 pkt dane przetw.	-	-	-	-	-	-	-	3 0 1	2 0 2	2 0 2
$M_{300} = 1 : 300\ 000$ 3 pkt dane przetw.	-	-	-	-	-	-	-	-	2 0 1	2 0 1
$M_{400} = 1 : 400\ 000$ 3 pkt dane przetw.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 0 1

2^x – punkty zmienione znajdowały się w różnych miejscach krzywej upraszczanej.

5. Dokładność łamanej po upraszczeniu metodą obiektywną

Zgodnie z normą branżową GUGiK średni błąd długości m_D ma postać

$$m_D = \pm 0,5\sqrt{2} M_W,$$

gdzie M_W – mianownik skali opracowywanej mapy.

Dokładność łamanej po upraszczeniu, zgodnie z prawem przenoszenia błędów, określa średni błąd długości m_d

$$m_d^2 = m_{D_0}^2 + m_{u_g}^2 \quad (2)$$

gdzie:

m_{D_0} – średni błąd danych źródłowych,

m_{u_g} – średni błąd długość upraszczanej łamanej otwartej lub zamkniętej.

Jeśli średni błąd długości metodą obiektywną upraszczania łamanej m_u określa zależność

$$m_{u_g} = \pm \sqrt{\frac{\sum VV}{n-1}} \quad (3)$$

gdzie:

n – liczba usuwanych punktów łamanej,

V – najkrótsza długość pomiędzy punktem usuwanym a pozostającym łamanej,

$$0 < V \leq 0,5,$$

to

$$m_u < 0,5 M_W.$$

Należy wykazać, że

$$m_d \leq m_D.$$

Dowód

$$m_d^2 = m_{D_0}^2 + m_{u_g}^2 = (0,5\sqrt{2} M_{D_0})^2 + (0,5 M_W)^2,$$

ale:

$$\frac{M_W}{M_{D_0}} = n,$$

$$m_d^2 = \left(0,5\sqrt{2} \frac{M_w}{n}\right)^2 + (0,5M_w)^2 = (0,5M_w)^2 \left(\frac{2}{n^2} + 1\right).$$

Gdy

$$\left(\frac{2}{n^2} + 1\right) \leq \sqrt{2}, \text{ równanie to spełnione jest dla } n=0,83.$$

Wynika z tego, że $L = P$, ponieważ $M_w > M_{D_0}$, to n jest zawsze większe od jedności.

Z powyższego wynika, że

$$m_d \leq m_D \quad \text{c.b.u.} \quad (4)$$

W procesach uproszczeń przebiegających etapami ($M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow \dots M_n$) średni błąd długości już uogólnionych danych dla M_3, M_4, \dots, M_n ma postać

$$m_{du}^2 = m_d^2 + m_g^2 \quad (5)$$

gdzie:

m_d – średni błąd danych uogólnionych (2),

m_g – graniczny błąd po kolejnym uogólnieniu metodą obiektywną

$$m_g = 0,5M_{W_2}.$$

Zgodnie z nierównością (4)

$$m_d < m_D.$$

Należy wykazać, że kolejne etapy procesu upraszczania łamanych metodą obiektywną zachowują zależność (4), czyli że

$$m_{du} < m_D.$$

Na podstawie związku (5) możemy napisać

$$(0,7M_{D_0})^2 + (0,5M_{W_1})^2 + (0,5M_{W_2})^2 < +(0,7M_{W_2})^2.$$

Wynika stąd, że

$$(0,7M_{D_0})^2 + (0,5)^2 (M_{W_1}^2 + M_{W_2}^2) < +(0,7M_{W_2})^2 \quad (6)$$

ale

$$\frac{M_{W_2}}{M_{W_1}} \stackrel{\text{ozn}}{=} n_{12} > 1 \quad (7)$$

Podstawiając n_{12} do (6), otrzymamy:

$$(0,7M_{D_0})^2 + (0,5)^2 M_{W_1}^2 \left(1 + \frac{1}{n_{12}^2}\right) < (0,7M_{W_2})^2. \tag{8}$$

$$(0,7M_{D_0})^2 + 0,5^2 M_{W_1}^2 + \left(0,5^2 M_{W_1}^2 \frac{1}{n_{12}^2}\right) < (0,7M_{W_2})^2$$

Zgodnie z (4)

$$(0,7M_{D_0})^2 + 0,5^2 M_{W_1}^2 = m_d^2 < m_D^2.$$

Zatem nierówność (8) jest spełniona, gdy

$$0,5^2 M_{W_1}^2 \frac{1}{n_{12}^2} \rightarrow 0, \text{ wtedy gdy } n_{12} \rightarrow \infty \tag{9}$$

a wartość n_{12} – zgodnie z zależnością (7) – w procesie upraszczania łamanych jest zawsze większa od jedności (gdyż jest to warunek konieczny procesu uogólnienia).

W procesach upraszczania łamanych metodą obiektywną $n_{12} > 1$ może przyjmować dowolnie dużą wartość. Przeprowadzone rozważania dotyczą dokładności upraszczanych łamanych o dowolnym rozstępie skal sprawdzono na empirycznych danych o mianownikach skali bazowej $M_1 = 1000$ i uogólnianych: $M_2 = 2000$, $M_3 = 3000$, $M_4 = 5000$, $M_5 = 10\ 000$, $M_6 = 25\ 000$, $M_7 = 50\ 000$, $M_8 = 100\ 000$. Wyniki przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Porównanie średnich błędów długości m_D (wg instrukcji GUGiK), m_d oraz m_{du}

M_W – mianownik skali	m_D [m]	$m_d =$ $\pm \sqrt{m_D^2 + m_u^2}$ [m]	Średni błąd uogólniony m_{du} [m], na podstawie danych źródłowych już uogólnionych M_i						
			$M_2 =$ 2000	$M_3 =$ 3000	$M_4 =$ 5000	$M_5 =$ 10 000	$M_6 =$ 25 000	$M_7 =$ 50 000	$M_8 =$ 100 000
1000	0,7	–	–	–	–	–	–	–	–
2000	1,4	1,22	–	–	–	–	–	–	–
3000	2,1	1,65	1,93	–	–	–	–	–	–
4000	2,8	2,12	2,34	2,59	–	–	–	–	–
5000	3,5	2,60	2,78	3,00	–	–	–	–	–
10 000	7,0	5,05	5,15	5,26	5,43	–	–	–	–
25000	17,5	12,52	12,56	12,61	12,68	13,48	–	–	–
50 000	35,0	25,01	25,03	25,05	25,09	25,51	27,96	–	–
100 000	70,0	50,01	50,02	50,03	50,05	50,25	51,54	55,91	–
500 000	350,0	250,01	250,01	250,01	250,01	250,05	250,31	251,12	254,95

Wyniki w tabeli 2 potwierdzają, że po uproszczeniu łamanej metodą obiektywną dane zachowują dokładności norm branżowych GUGiK, niezależnie od rozstępu skal wyjściowej do opracowywanej.

W procesie ponownego uogólnienia już uproszczonej łamanej metodą obiektywną dane zachowują dokładność wymaganą normami branżowymi GUGiK.

6. Wnioski

Zastosowanie osnowy kartograficznej do metody obiektywnej uproszczenia łamanych otwartych i zamkniętych w sposób automatyczny pozwala, na:

- aktualizację ciągłą baz topograficznych danymi z mapy zasadniczej w skali bazowej:
 - przy zachowaniu dokładności danych określonych normami GUGiK;
 - bez udziału prac terenowych, co ma duże znaczenie ekonomiczne;
- eliminowanie poligonów szczątkowych w procesie aktualizacji danych;
- wielokrotne wykorzystanie raz pozyskanych danych do ich uogólniania.

Literatura

- [1] Bielecka E.: *Systemy informacji geograficznej. Teoria i zastosowania*. Wydawnictwo P JWSTK, Warszawa 2005.
- [2] Chrobak T.: *Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 1999.
- [3] Chrobak T.: *Komputerowa redakcja kartograficzna wspomagana automatyczną generalizacją*. Geoinformatica Polonica, nr 7, Polska Akademia Umiejętności w Krakowie, Kraków 2005.
- [4] Ratajski L.: *Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej*. PPWK, Warszawa 1989.