

Tadeusz Chrobak*

AUTOMATYZACJA PROCESU GENERALIZACJI KARTOGRAFICZNEJ I JEJ WYNIKÓW PREZENTOWANYCH NA MAPIE

1. Wstęp

Generalizacja kartograficzna to proces niezbędny w tworzeniu treści mapy o różnym przeznaczeniu i skali. Jest konieczna w prezentacji treści, gdy przedstawienie przekracza wymiary arkusza mapy. Wymaga serii operacji, począwszy od wyboru elementów oraz ich uogólnienia zależnego od przeznaczenia i skali mapy. Generalizacja jest procesem wszechstronnym, dotyczącym elementów graficznych: punktowych, liniowych, powierzchniowych, jak również zjawisk stanowiących treść mapy.

M. Molenaar [5] wyróżnia dwie fazy generalizacji: pojęciową i graficzną. Do generalizacji pojęciowej zalicza abstrahowanie informacji wraz z ustaleniem reguł, do generalizacji graficznej zalicza algorytmy powodujące: eliminację, scalanie obiektów, upraszczanie ich kształtu oraz symbolizację. Współczesne możliwości technologiczne procesu generalizacji wykorzystują bazy danych przestrzennych, w których uwzględnia się ten proces, a najlepiej, aby był on automatyczny.

Zamierzony cel osiąga się, konstruując bazę danych przestrzennych dla modeli obejmujących:

- numeryczny model krajobrazu DLM (*Digital Landscape Model*) opisujący rzeczywiste położenie obiektów,
- numeryczny model kartograficzny DCM (*Digital Cartographic Model*) uwzględniający dane uczestniczące w procesie redakcji mapy.

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

** Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 9T12E00610, finansowanego przez KBN w latach 1996–1999

W budowie baz danych przestrzennych o treści ogólnogeograficznej (topograficznej) są podejmowane próby zastosowania procesu generalizacji w kilku wariantach:

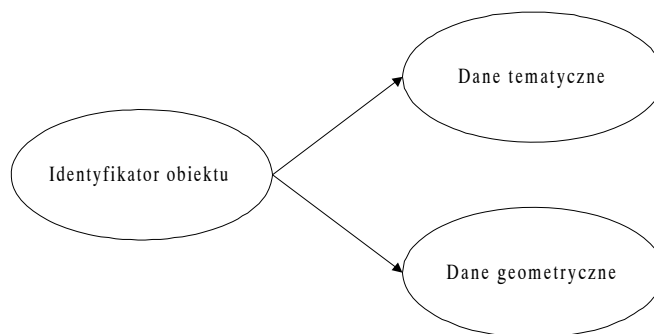
- wariant klasyczny – z bazy szczegółowej sekwencyjnej generowane są mapy uogólniane;
- wariant pochodny – mapy tworzy się z baz danych sekwencyjnie uogólnianych;
- wariant bazy wieloskalowej (bazy w różnych skalach) – tworzone mapy odpowiadają w bazie tym skalom danych uogólnionych;
- wariant bazy danych źródłowych, z których tworzone są mapy w dowolnej skali (mniejszej od źródłowej); wariant ten jest znany jako baza wieloreprezentacyjna/wielorozdzielcza MRDB (*Multiresolution/Multirepresentation Data Base*).

W artykule przedstawiona zostanie próba rozwiązania procesu generalizacji opartego na wariacie bazy danych przestrzennych MRDB, w której zachowane są:

- model generalizacji oparty na składniach formalnej struktury danych (FDS) dla jednowartościowych map wektorowych [4];
- relacje topologiczne pomiędzy obiektami;
- klasyfikacja klas i obiektów;
- proces eliminacji obiektów wykorzystujący regułę geometryczną i zachowujący klasyfikację obiektów niezależną od procesu generalizacji;
- zasady upraszczania obiektów wg algorytmu obiektywnego, tj. niezależnego od redaktora mapy;
- progi do wizualizacji wyników generalizacji oparte na rozpoznawalności rysunku.

2 . Model formalny struktury danych

FDS (*Formal Data Structure*) dla jednowartościowych map wektorowych opracowanych przez Molenaara [4] stanowi topologiczny model danych spełniający wymagania dla generalizacji komputerowej. Jest on zorientowany na obiektowość, topologię i semantykę danych przestrzennych. Do zarządzania używa elementarnych typów danych, jak punkty, linie, obszary powiązane linkami z typami danych geometrycznych obiektów.

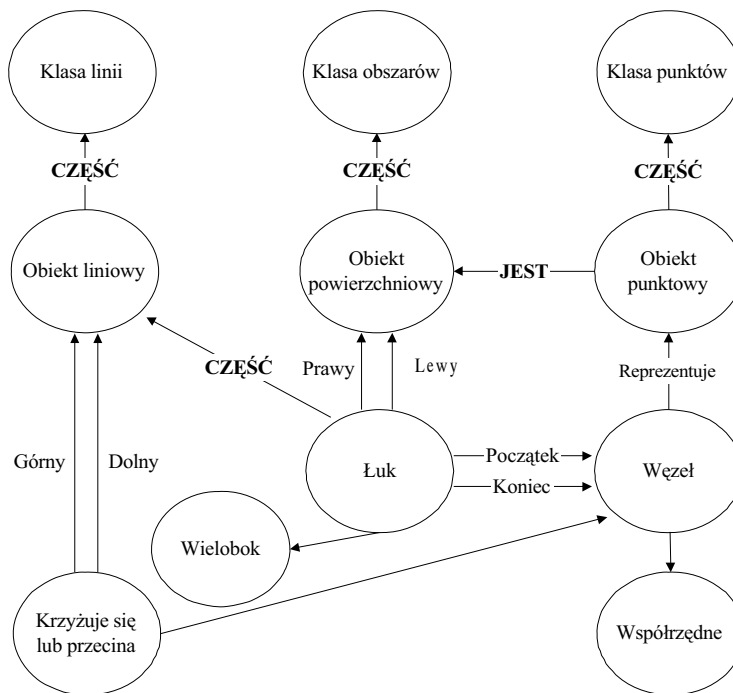


Rys. 1. Podstawowa struktura FDS

Na rysunku 1 widoczne są połączenia pomiędzy identyfikatorem obiektu, danymi geometrycznymi i danymi tematycznymi na bardzo ogólnym poziomie. Strzałki pomiędzy elipsami wskazują zależność typu „jeden do wielu”, np. wiele obiektów należących do jednej klasy. Rysunek 2 pokazuje bardziej szczegółowy model koncepcyjny, a w nim hierarchię ważności łuków i węzłów w strukturze globalnej.

FDS zachowuje następujące warunki:

- klasy obiektów muszą się wzajemnie wykluczać, tzn. każdy obiekt posiada dokładnie jedną klasę etykiet (atrybutów);
- klasa obiektów zawiera dane geometryczne jednego typu;
- mapę rozpatruje się jako graf, tzn. wszystkie punkty użyte do opisu geometrii są traktowane jako węzły;
- krawędzie (łuki) w tym grafie są reprezentowane geometrycznie jako odcinki linii prostych;
- dla każdej pary węzłów jest co najwyżej jedna krawędź, która je łączy; dodatkowo węzły mogą być połączone w jeden lub więcej łańcuchów;
- krawędź grafu posiada łuk po swej prawej i po lewej stronie;
- dla każdego łuku $l_{p,q} = \varphi[a_p, a_q]$, w którym $a_p \neq a_q$, graf może nie zawierać pętli;
- dla każdego geometrycznego typu danych jest tylko jedno zdarzenie połączenia pomiędzy obiektami; np. krawędź może być najwyżej jednym obiektem liniowym i posiadać jeden obszar po lewej i jeden obszar po prawej stronie.



Rys. 2. FDS dla jednowartościowych map wektorowych w przestrzeni dwuwymiarowej

2.1. Związki topologiczne

Przy użyciu FDS można zidentyfikować kilka związków topologicznych, które czynią model przydatnym narzędziem do analiz. Na przykład, związki topologiczne obecne w FDS kierują właściwościami takimi, jak: skrzyżowanie, przecięcie, początek, koniec, wewnątrz. Te zdolności mogą być wykorzystywane do różnych manipulacji, będących fundamentalnymi wymaganiami dla generalizacji. Algorytmy do przemieszczania obiektów mogą być upraszczane przez takie związki, jak ograniczenie obszaru linią, zwłaszcza w szczegółowych mapach topograficznych dla obszarów zurbanizowanych. Algorytmy do łączenia obiektów mogą również podlegać tym uproszczeniom, np. jeden obszar styka się z innym. Związki te i inne przedstawiono na rysunku 2. Wreszcie, jak większość modeli koncepcyjnych, FDS może być przedstawiany w kilku modelach: logicznym, relacyjnym, sieciowym czy zorientowanym obiektowo.

Na rysunku 2 przedstawiono formalną strukturę danych, dzięki której możliwe jest tworzenie związków logicznych i topologicznych pomiędzy obiektami i klasami:

- **Klasy** (punktów, linii, powierzchni) z zachowaniem hierarchii wynikającej z zakorzenionego grafu płaskiego.
- **Obiekty** typu liniowego, powierzchniowego i punktowego.
- **Węzły, łuki** stosowane w terminologii grafu płaskiego.
- Relacje pomiędzy węzłami, krawędziami i łukami:
 - krawędź posiada łuk po **prawej** stronie,
 - krawędź posiada łuk po **lewej** stronie,
 - łuk posiada **początek**,
 - łuk posiada **koniec**,
 - łańcuch łuków tworzy **wielobok**,
 - linie **się krzyżują** w węźle,
 - linie **się przecinają**: linia **górną**; linia **dolną**.
- Powiązania typu **JEST** i **CZĘŚĆ**:
 - linki (powiązania) pomiędzy klasami typu **JEST** (w kierunku do dołu drzewa),
 - linki hierarchii łączenia komponentów typu **CZĘŚĆ** (w kierunku do góry drzewa).

2.2. Cyfrowa strukturyzacja hierarchii w strukturze FDS

W środowisku komputerowym cyfrowa strukturyzacja hierarchii w sieciach semantycznych jest powiązana z koncepcją modelu linkami typu **JEST** oraz **CZĘŚĆ**. Naprzykład klasy są połączone związkami postaci **podklasa** – **superklasa**, w których klasa posiada co najwyżej jedną bezpośrednią superklasę. Koncepcja ta jest prawdziwa w najprostszych hierarchiach taksonomicznych, w których każda klasa posiadająca najwyżej jedną bezpośrednią superklasę jest grafem zakorzenionym.

W hierarchiach klasyfikacji dziedziczenie struktur atrybutów ma kierunek w dół do korzenia drzewa, co umożliwi bardziej szczegółowy i wyspecjalizowany tematyczny opis obiektów w jednym przebiegu na niższe gałęzie hierarchii. Linki pomiędzy klasami nazywane są zwykle linkami typu **JEST** i mogą oznaczać fakt, że konkretny typ obiektu stanowi generalizację innego typu, np. autostrada **JEST** drogą główną, **JEST** siecią drogową; Kra-

ków **JEST** miastem, **JEST** obszarem zaludnionym. Linki typu **JEST** są komponentami hierarchii klasyfikacji.

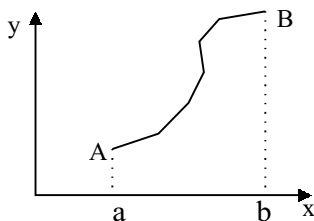
Hierarchia łączenia ma charakter w górę od korzenia drzewa, w której, startując z poziomu obiektów elementarnych, budowane są obiekty o wyższej złożoności w kierunku do góry. Obiekty złożone dziedziczą wartości atrybutów od tworzących je części [5]. Linki typu **CZĘŚĆ** są komponentami hierarchii łączenia, np. dopływ jest **CZĘŚCIĄ** Wisły, jest **CZĘŚCIĄ** sieci hydrograficznej. Linki typu **CZĘŚĆ** łączą konkretny zbiór obiektów w obiekt złożony, te z kolei tworzą inne obiekty złożone itd. [5].

Hierarchia łączenia różni się od hierarchii klasyfikacji tym, że odnosi się do abstrahowania, w którym związek pomiędzy obiektami stanowi obiekt wyższego poziomu. Hierarchia łączenia pozwala na abstrahowanie związane z obiektami złożonymi, zbudowanymi z obiektów elementarnych niższego poziomu [5].

Nie istnieje standardowa terminologia komputerowa dla składników hierarchii klasyfikacji i łączenia. W pracy przyjęto terminologię stosowaną przez Richardsona [12].

2.3. Reguła geometryczna i klasyfikacja obiektów

Przedstawiony dotychczas model danych pozwala na uporządkowanie obiektów zależnie od ich cech tematycznych (jakościowych). Brak w nim możliwości generowania obiektów, gdy zmienia się skala mapy, na której obiekty są prezentowane.



Rys. 3. Przebieg łamanej $P(x, y) = 0$ w przedziale $[a, b]$

Reguła geometryczna uzupełnia model danych do opisu świata rzeczywistego, gdy zmienia się dowolnie skala mapy. Wykorzystuje własność, że w każdej linii łamanej otwartej wyróżnia się trzy charakterystyczne (jednoznacznie zdefiniowane) cechy (rys. 3):

- 1) linia łamana $P(x, y) = 0$ ma początek – A i koniec – B , gdyż są to jej niezmienniki;
- 2) linia łamana $P(x, y) = 0$ ma najkrótszą długość, którą jest jej cięciwa $L(a, b)$, gdyż:

$$L(\widehat{A\widehat{B}}) \geq L(a, b) \quad (1)$$

gdzie:

$L(\widehat{A, \widehat{B}})$ – długość łamanej $P(x, y) = 0$ w przedziale $[a, b]$,

$L(a, b)$ – długość cięciwy $P(x, y) = 0$ w przedziale $[a, b]$,

dla każdej łamanej $P(x, y) = 0$ nierówność (1) jest prawdziwa;

- 3) rozpoznawalność rysunku łamanej $P(x, y) = 0$ określa trójkąt wyznaczony przez każde kolejne jej dwa boki, porównywany z „trójkątem rozpoznawalności”.

Wykorzystując powyższe własności linii łamanej otwartej, zdefiniujemy graf płaski, w którym:

- sieć przestrzenną obiektów liniowych, odpowiadającą rzeczywistości geograficznej, tworzą węzły ich początków i końców;
- hierarchię klas i obiektów liniowych określają reguły tematyczne [12]:

$$\begin{aligned} \forall C \in SC \text{ i } I(C_i) > I(C_i + 1) \\ \forall A \in C \text{ i } A_p(O_l) > A_p(O_l + 1) \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

- I – zbiór atrybutów charakterystycznych klasy C ,
- C – klasa dla dowolnej klasy C_i , należącej do superklasy SC , klasa C_l w hierarchii klas jest wyżej od klasy (C_i+1) itd.,
- A – zbiór atrybutów należących do klasy C , podzbiór atrybutów, definiujący obiekt O_l który w hierarchii jest wyżej od obiektu O_l+1 .

Reguły (2) są spełnione, gdy w grafie acyklicznym¹⁾ zakorzenionym (zwanym *hierarchią klas*) klasy i obiekty zachowują zbiór A_p atrybutów, przez co generować można związki pomiędzy obiektami i klasami. Własność ta pozwala ustalać hierarchię jakościową obiektów, która w połączeniu z ich lokalizacją w przestrzeni geograficznej określa kolejność wyboru i eliminacji obiektów zależną od skali mapy.

Reguła geometryczna do wyboru i eliminacji obiektów liniowych na mapie w dowolnej (zawsze mniejszej od mapy źródłowej) skali $1:M$ jest następująca [2]: obiekt liniowy L_j (po generalizacji kartograficznej) jest prezentowany na mapie w skali $1:M$, gdy zachowuje warunki:

- rozpoznawalność rysunku L_j ,
- rozpoznawalności sąsiedztwa rysunku L_j .

Rysunek L_j na mapie w skali $1:M$ jest czytelny, gdy spełnia nierówność:

$$L_j \in L, \text{ gdy: } L_j(a_{j1}, a_{j2}) \geq 0,6M \text{ [mm]} \quad (3)$$

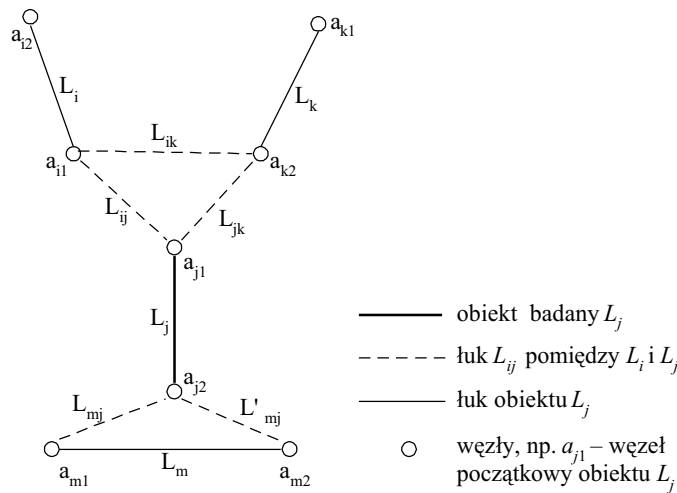
gdzie:

- L – zbiór liniowych obiektów superklasy w przestrzeni kartograficznej dla skali $1:M$,
- L_j – długość łuku (cięciwy linii łamanej) $j; j = 1, 2, 3, \dots, n$,
- a_{j1}, a_{j2} – węzły początku i końca łuku linii L_j ,
- M – mianownik skali mapy opracowywanej.

¹⁾ Grafem acyklicznym nazywamy graf niezorientowany i niezawierający cykli.

Nierówność (3) uznano za miarę rozpoznawalności rysunku, gdyż określa minimalny wymiar długości odcinka przedstawiającego element rysunku. Rysunek jest rozpoznawalny, gdy każde dwa sąsiednie boki tworzące trójkąt o boku najkrótszym, równy co najmniej równym $0,5 \div 0,6$ mm, są zachowane w każdym z trójkątów krzywej. Dla linii łamanych bok $0,5 \div 0,6 M$ to miara długości cięciwy – granicznego położenia (po generalizacji) łamanej na mapie w skali $1:M$.

Rozpoznawalność sąsiedztwa rysunku L_j określają dwa trójkąty (o wierzchołkach-węzłach reprezentujących obiekty należące do zbioru L przestrzeni kartograficznej) najbardziej zbliżone do elementarnego, połączone odpowiednio z obiektem L_j (rys. 4). Przy czym wierzchołki trójkątów należą do wspólnych obiektów liniowych, które w hierarchii sklasyfikowane są wyżej niż L_j .



Rys. 4. Badanie obiektu liniowego L_j rozpoznawalności rysunku

W trójkącie pierwszym jednym z wierzchołków jest węzeł początkowy, na przykład a_{j1} , a w trójkącie drugim węzeł końcowy a_{j2} badanego obiektu L_j (kolejność węzłów nie wpływa na czytelność otoczenia rysunku L_j). W tworzonych trójkątach (L_{ij} , L_{ik} , L_{jk} oraz L_{mj} , L_{jm} , L'_{mj} , rys. 4) dwa pozostałe wierzchołki (węzły: a_{m1} , a_{m2} jednego i a_{i1} , a_{k2} drugiego trójkąta, rys. 4), to węzły (reprezentujące obiekty L_m jednego oraz L_i i L_k drugiego trójkąta, rys. 4 – w hierarchii o randze wyższej od L_j) należące już do przestrzeni kartograficznej.

Rozpoznawalność sąsiedztwa obiektu L_j w przestrzeni kartograficznej o skali $1:M$ jest zachowana, gdy długości boków (łuków) dwóch trójkątów (najbardziej zbliżonych do elementarnego) połączonych z badanym obiektem L_j spełniają nierówność (rys. 4)

$$(L_{ij}, L_{ik}, L_{jk}) \geq 0,6M, i \neq j \neq k \tag{4}$$

gdzie L_{jk} – długości łuków w trójkącie dla trzech różnych obiektów (L_i , L_j , L_k); każdy trójkąt definiują dwa wierzchołki-węzły (reprezentują na mapie istniejące już dwa liniowe obiekty), a L_j to trzeci wierzchołek – węzeł obiektu badanego,

lub

$$(L_m, L_{mj}, L'_{mj}) \geq 0,5-0,6M, m \neq j \quad (4a)$$

gdzie:

L_m – długość łuku (cięciwy linii łamanej),

L_{mj} – długość łuku pomiędzy węzłem początkowym obiektu L_m a węzłem badanego obiektu L_j ,

L'_{mj} – długość łuku pomiędzy węzłem końcowym obiektu L_m a węzłem badanego obiektu L_j .

Nierówność (4a) jest szczególnym przypadkiem (4), gdyż węzły początku i końca obiektu L_m (należące do przestrzeni kartograficznej) tworzą dwa wierzchołki trójkąta najbardziej zbliżonego do elementarnego, a trzeci wierzchołek to węzeł obiektu badanego L_j .

Zachowanie warunku (4) lub (4a) tylko dla jednego węzła obiektu oznacza, że obiekt nie należy do grafu płaskiego przedstawionego w tej skali mapy. Do grafu płaskiego nie należą również obiekty z nim połączone w kierunku do góry drzewa, na zasadzie liści grafu.

Reguła geometryczna zdefiniowana warunkami: (3), (4) lub (4a), ma zastosowanie do przypadków, gdy węzeł badany leży na jednej prostej z dwoma istniejącymi węzłami opracowywanej mapy; pod warunkiem, że badany węzeł znajduje się pomiędzy już istniejącymi węzłami. Wtedy łuki do węzła badanego również spełniają warunki nierówności (4) lub (4a), gdyż w trójkącie trzeci bok jest sumą dwóch pozostałych.

O kolejności wyboru węzłów początku lub końca obiektu decydują sąsiadujące z nim obiekty, według ustalonej hierarchii klas i obiektów. Hierarchia nie zależy od długości boku trójkąta tworzonego. Tym samym kolejność badania węzłów nie wpływa na wybór obiektu liniowego do prezentacji na mapie w dowolnej skali.

Przedstawiona reguła geometryczna oparta na regułach jakościowych i wymiarach minimalnych obiektów liniowych jest porównywana z trójkątem elementarnym na zasadzie hierarchii w górę od korzenia drzewa grafu tzn. badany węzeł jest w hierarchii obiektów niżej jak pozostałe dwa węzły.

Wymiary trójkąta elementarnego są zdefiniowane dla rozpoznawalności rysunku, dzięki czemu można obiekty badać w sposób ciągły bez ograniczenia zmiany skali mapy. Węzły nawiązania do wyboru i eliminacji obiektów są zdefiniowane jednoznacznie, dzięki regułom tematycznym (zróżnicowanie wszystkich obiektów klasy) i związkom geometrycznym obiektów odnoszonych do trójkąta elementarnego. Obiekty należące do superklasy (najbliżej korzenia drzewa – grafu) nie podlegają regule geometrycznej, gdyż ich wybór (można sprawdzać warunkiem (4)) definiuje redaktor opracowania mapy. Ten proces wyboru i eliminacji na podstawie obiektów superklasy [5] określił generalizacją strukturalną.

3. Upraszczenie krzywych metodą obiektywną

W metodzie upraszczania linii łamanych otwartych i zamkniętych jest zachowana hierarchia jej wierzchołków i ich topologia. Hierarchię ustala się na podstawie ekstremów lokalnych wyznaczanych w przedziałach zamkniętych (tworzonych z sąsiednich wierzchołków – niezmienników procesu przekształcenia) badanej krzywej.

Jeśli znana jest podstawa trójkąta (utworzona przez początek i koniec linii), trzeci wierzchołek wyznacza punkt spełniający w trójkącie następujące warunki:

- długości boków są co najmniej równe najkrótszej długości ε_j – trójkąta elementarnego,
- rzędna wysokości ma największą długość w badanym przedziale.

Jeśli powyższe warunki są spełnione, trzeci wyznaczony wierzchołek trójkąta stanowi w hierarchii kolejny (po początku i końcu linii) niezmiennik procesu upraszczania łamanej. W ten sposób otrzymujemy dwie pary niezmienników: początek – trzeci punkt, i koniec – trzeci punkt (kolejność wyboru, tzn. początek – trzeci, następnie koniec – trzeci, lub odwrotnie nie wpływa na wynik końcowy procesu). Postępując analogicznie, tworzymy następne pary wierzchołków-niezmienników upraszczanej linii.

Koniec etapu wyboru niezmienników krzywej nastąpi wtedy, gdy zachowując kolejność wynikającą z hierarchii wierzchołków, sprawdzimy wszystkie punkty krzywej upraszczanej przy użyciu trójkąta. Zastosowany w procesie trójkąt pozwala zachować topologię wierzchołków krzywej, gdyż jej podstawę zawsze wyznaczają dwa wierzchołki-niezmienniki, a trzeci zachowuje sąsiedztwo względem wierzchołków-niezmienników linii pierwotnej.

W metodzie upraszczania krzywych (do określenia wierzchołków-niezmienników) jako wzorzec zastosowano elementarny trójkąt, którego najkrótszą długość boku określa zależność

$$\varepsilon_j = s M_j' \quad (5)$$

gdzie:

- s – miara progowa rozpoznawalności rysunku (niezależna od skali mapy),
- M_j' – mianownik skali mapy redagowanej.

Wartość s zależy od:

- a) rozpoznawalności rysunku linii pojedynczej o grubości 0,1 mm, zdefiniowanej przez Saliszczewa;
- b) wielkości piksela przyjętej przez Szwajcarskie Towarzystwo Kartograficzne;
- c) dokładności szczegółów liniowych II grupy określonych normami branżowymi GUGiK.

Na podstawie wartości określonych w punktach a), b) i c), ustalono miarę długości s_j :

$s_1 = 0,5$ mm dla rysunku mapy klasycznej („papierowej” jako nośnika obrazu),

$s_2 = 0,6$ mm dla rysunku prezentowanego na monitorze komputera.

Po wyborze wierzchołków niezmienników krzywej pierwotnej następnym etapem jest badanie przedziałów utworzonych z sąsiednich w punktów krzywej pierwotnej, które ma na celu ich zastąpienie przez:

- cięciwę utworzoną przez początek i koniec przedziału;
- nowy punkt pośredni (niebędący niezmiennikiem), należący do jednego z boków krzywej pierwotnej i połączony z początkiem i końcem badanego przedziału.

Metoda zapewnia jednoznaczne przekształcenie łańcucha punktów w badanym przedziale na cięciwę lub dodatkowy, nowy punkt.

Gdy suma boków jest mniejsza od $2\varepsilon_\gamma$, po uproszczeniu łańcuch punktów reprezentuje cięciwa. Dla przypadku badanego przedziału, w którym suma jest równa lub większa od $2\varepsilon_\gamma$, jest możliwe utworzenie nowego punktu w procesie iteracyjnym, który to proces musi być zbieżny. W tym celu badamy przedział i sprawdzamy, czy wszystkie w nim zmienne niezależne przyrostów współrzędnych punktów sąsiednich mają stały znak. W przypadku różnych znaków przyrostów współrzędnych (proces rozbieżny) badany łańcuch punktów w badanym przedziale zastępuje cięciwa.

W metodzie obiektywnej końcowym etapem jest ocena jej dokładności. W tej ocenie są wykorzystane następujące fakty:

- wybór i usuwanie wierzchołków są zdefiniowane jednoznacznie;
- kształt krzywej pierwotnej w największej skali (źródłowej) różni się najmniej od jej kształtu w rzeczywistości, co odpowiada zmiennej losowej opisującej kształt krzywej na podstawie współrzędnych punktów;
- każde uproszczenie (uogólnienie) powoduje częściową eliminację wierzchołków opisujących krzywą pierwotną;
- błędy pozorne procesu to najkrótsze odległości pomiędzy odrzucanymi punktami a pozostającymi wierzchołkami krzywej pierwotnej; w procesie długości te są określone jednoznacznie.

Wykorzystując prawo przenoszenia się błędów przy jednym stopniu swobody dla n odrzucanych wierzchołków, możemy określić średni błąd procesu upraszczanej krzywej. Znając dokładność danych przed upraszczaniem i błąd procesu, można określić, zgodnie z prawem przenoszenia błędów, błąd danych po procesie.

4. Ustalaniu progów generalizacji dla prezentacji upraszczanych krzywych na mapie

W upraszczaniu krzywych obiektywną metodą usuwanie punktów zależy od ich hierarchii (wynikającej z ekstremów lokalnych) oraz rozpoznawalności rysunku, a zatem czynników obiektywnych.

W metodzie tej liczba punktów odrzucanych nie zależy od redaktora mapy, stąd wynik procesu ma cechy rozkładu statystycznego. Gęstość rozkładu określa: **wartość oczekiwana** $E(X)$, a rozrzut statystyczny wyników **odchylenie standardowe** $\sigma(X)$.

Zgodnie z rozkładem normalnym prawdopodobieństwo uzyskania wartości zmiennej losowej X z niepewnością σ wynosi 68%, co dla procesu upraszczania krzywych jest równoważne liczbie punktów pozostających po generalizacji n_i . Wykorzystując tę własność rozkładu, określono zależność

$$\left(100 \frac{n_i - c}{n_0 - c} - 68 \right)^{ozn} = K_i = 0 [\%] \quad (6)$$

gdzie:

- n_0 – liczba punktów krzywej pierwotnej,
- n_i – liczba punktów po generalizacji,
- c – liczba punktów niezmienników procesu.

Równanie (6) określa ścisły warunek ustalenia progu $P1$ dla obiektów liniowych otwartych. Równanie to jest zachowane (choć w sposób przybliżony), gdy spełniony jest warunek dla K_i

$$K_i(M_i) \subset R \in [-5, 10] [\%] \quad (7)$$

gdzie M_i to mianownik skali.

Granice przedziału zależności (7), ustalono na drodze empirycznej. Przyjęta wartość granicy lewostronnej wynika stąd, że zmniejszenie liczby punktów, w procesie upraszczania, o więcej niż 5%, w procesie generalizacji, powoduje znaczącą różnicę w kształcie krzywych przed upraszczaniem i po. Nadmiar pozostałych punktów (wartość granicy prawostronnej) nie powoduje tego zagrożenia, przeciwnie – rosnąca wartość zwiększa zgodność krzywej po upraszczaniu z krzywą pierwotną.

Próg dla krzywych łamanych – P1

W celu ustalenia progu generalizacji oblicza się K_i z zależności (7), dla zmieniających się mianowników skal, np. $M_1 = 1000$, $M_2 = 2000$, $M_3 = 3000$, ... procesu upraszczania. Mianownik skali M_i , dla którego K_i spełnia zależność (7) jest progiem generalizacji. Jest to przedział, w którym stosuje się prezentację krzywych **metodą krzywej łamanej**. Metodą tą jest prezentowana krzywa pierwotna (przed generalizacją).

Próg wygładzania krzywych – P2

W kolejnym progu generalizacji upraszczanej krzywej stosuje się **metodę wygładzania krzywych** (otwartych, zamkniętych). W celu ustalenia przedziału skal dla tej metody prezentacji wyników na mapie wykorzystano zależność

$$n_j(M_j) > c \quad (8)$$

gdzie:

- n_j – liczba punktów po generalizacji,
- c – liczba punktów niezmienników procesu.

Próg eliminacji krzywych otwartych i symbolizacji krzywych zamkniętych – P3

Próg P3 jest wtedy, gdy mianownik skali M_{j+1} spełnia warunek

$$n_{j+1}(M_{j+1}) = c \quad (9)$$

Jeśli spełniony jest warunek (9), wówczas na mapie są prezentowane krzywe metodą: **symbolizacji dla** krzywych zamkniętych, a krzywe otwarte są eliminowane.

Dla obszarów zamkniętych o wypełnionym wnętrzu obiektami pojedynczymi lub zwartymi kompleksami ustalono również próg prezentacji wyników po generalizacji. W celu jego określenia, oblicza się:

P_0 – powierzchnię obszaru zamkniętego,

P_i – powierzchnię obiektu pojedynczego lub zwartego kompleksu,

$\sum_{i=1}^n P_i$ – sumę obiektów P_i ,

a następnie oblicza się iloraz

$$l_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

Wartość ilorazu maleje wraz z eliminowanymi obiektami w procesie generalizacji (zmniejszających się skal), przy zachowaniu ich hierarchii. Podobnie jak związek (6), próg dla obszarów zamkniętych wypełnionych obiektami wyznacza zależność

$$(10l_i - 68) \stackrel{ozn}{=} B_i = 0 \quad (11)$$

Równanie (11) określa ścisły warunek ustalenia progu dla obszaru zamkniętego $P1$ i wartości ilorazu l_i . Równanie to jest zachowane, choć w sposób przybliżony, gdy spełniony jest warunek dla B_i

$$B_i(M_i) \subset R \in [-5, 10] [\%] \quad (12)$$

gdzie M_i mianownik skali.

Próg do prezentacji obiektów na mapie

Próg ten ustala się dla:

- obszaru z obiektami, gdy spełniona jest zależność (12),
- eliminację obiektów z obszaru, gdy nie spełniona jest zależność (12).

Tak więc wartość oczekiwana zmiennej losowej $E(X)$ (określona liczbami punktów: n_0 – krzywej pierwotnej, n_i – krzywej po generalizacji, c – punktów niezmienników procesu), s – odchylenie standardowe i $\varepsilon_j(M_i)$ to parametry wyboru metody prezentacji kartograficznej krzywych upraszczanych metodą obiektywną, gdy zmienia się skala mapy.

5. Podsumowanie

1. Przedstawione metody generalizacji krzywych otwartych i zamkniętych cechuje niezależność procesu od redaktora mapy.
2. Dokładność kształtu krzywej po generalizacji zależy od rozpoznawalności rysunku, a uzyskany wynik zachowuje dokładność norm branżowych GUGiK.
3. Progi generalizacji do wizualizacji treści mapy są ustalane w sposób automatyczny z uwzględnieniem najkrótszej długości trójkąta elementarnego ϵ_j i własności statystyki matematycznej.
4. Baza danych przestrzennych typu MRDB jest w pełni przydatna dla potrzeb automatyzacji procesu generalizacji kartograficznej.

Literatura

- [1] Brassel K., Weibel R.: *A review and conceptual framework of automated map generalization*. International Journal of Geographical Information Systems, 2 (3), 1988, 229–244
- [2] Chrobak T.: *Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej*. Kraków, UWND AGH 1999, 89
- [3] Chrobak T.: *Budowa struktury bazy danych przestrzennych dla obiektów liniowych – sieciowych, których kształt podlega uogólnieniu*. Półrocznik Geodezja, t. 8, z. 1, 2001, 32–38
- [4] Molenaar M.: *Single valued vector maps – a concept in GIS*. Geo-Information Systems, 2 (1), 1989, 18–26
- [5] Molenaar M.: *The role of topologic and hierarchical spatial object models in database generalization Netherlands Geodetic Commission*. New Series, Nr 43, Delft, 1996, 13–35
- [6] Meyer U.: *Generalisierung der Siedlungsdarstellung in digitalen Situationsmodellen*. Universität w Hanowerze, 1989, 112 (praca doktorska)
- [7] Nickerson B.G., Freeman H.: *Development of rule-based system for automatic map generalization*. Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data Handling, Seattle, Washington 1986, 537–556
- [8] Nyerges T.: *Map generalization*. Chapter Representing geographical meaning, 1991, 59–85
- [9] Powitz B.M.: *Automationsgestützte Generalisierung*. Kartographische Nachrichten, 1990, 97–101
- [10] Powitz B.M.: *Zur Automatisierung der Kartographischen Generalisierung topographischer Daten in Geo-Informationssystemen*. Institut für Kartographie – Universität Hannover, Nr 185, 1993
- [11] Ratajski L.: *Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej*. Warszawa, PPWK 1998, 198–214
- [12] Richardson D.E.: *Automatic spatial and thematic generalization using a context transformation model*. Wageningen Agricultura University, Ottawa (Canada), R&B Publications 1993 (rozprawa doktorska)

-
- [13] Shea K.S, McMaster R.B.: *Cartographic generalization in a digital environment: When and How to generalize*. Proceedings Auto Carto 9th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, Maryland 1989
- [14] Szydłowski H.: *Teoria pomiarów*. Warszawa, PWN 1991, 110–238