

Przydatność automatycznej generalizacji kartograficznej Z LIS do GIS

TADEUSZ CHROBAK

Co najmniej 15-procentową automatyzację kartograficznej generalizacji obiektów liniowych umożliwia proces ich upraszczania metodą obiektywną opartą na przekształceniach geometrycznych, ekstremach lokalnych oraz rozpoznawalności rysunku (określanej za pomocą najkrótszej długości boku trójkąta elementarnego).

Pozyskiwanie danych do systemów informacji geograficznej to najdroższy element w ich tworzeniu. Wiadomo, że stosunek kosztów danych do kosztów oprogramowania i sprzętu komputerowego ma się jak 100:10:1. Wielokrotne wykorzystywanie raz pozyskanych danych, które znacząco poprawia tę relację, wiąże się z procesem ich przetwarzania, np. generalizacji. Klasyczna generalizacja kartograficzna jest pracochłonna, a automatyzacja pracochłonność tę obniża, zmniejszając tym samym koszt przetwarzania. Atrybuty jakościowe obiektów (np. dla sieci dróg: ich szerokości i długości, kategorie czy rodzaje nawierzchni) są niezbędne do tworzenia hierarchii, od której zależy stopień automatyzacji. Od metod automatycznej generalizacji kartograficznej oczekuje się więc:

- obiektywnych procesów upraszczania czy eliminacji obiektów, które pozwalają na rozwiązania jednoznaczne,
- wymiernej weryfikacji procesu przez ocenę jego dokładności oraz kryterium rozpoznawalności rysunku.

Metoda upraszczania linii łamanej

Jest to metoda zależna od skali mapy i sposobu prezentacji rysunku (monitor komputera, mapa papierowa). W metodzie tej zachowana jest hierarchia wierzchołków linii i ich topologia. Hierarchię wierzchołków linii pierwotnej określa się z jej kształtu na podstawie tzw. ekstremów lokalnych wyznaczanych w przedziałach zamkniętych (tworzonych z sąsiednich

wierzchołków – niezmienników procesu przekształcenia). Pierwsze dwa niezmienniki – określające początek i koniec linii – mają najwyższą pozycję w hierarchii. Następne pary niezmienników tworzy się przy wykorzystaniu trójkąta elementarnego. Odcinek łączący początek i koniec linii jest podstawą trójkąta. Trzeci wierzchołek wyznacza punkt upraszczanej linii, który tworzy największą wysokość w trójkącie i dla którego długości boków są co najmniej równe najkrótszej długości ε_n trójkąta elementarnego. Wyznaczony trzeci wierzchołek trójkąta to w hierarchii kolejny (po początku i końcu linii) niezmiennik procesu upraszczania. W ten sposób otrzymujemy dwie pary niezmienników: początek – trzeci punkt i koniec – trzeci punkt (kolejność wyboru par nie ma wpływu na wynik końcowy procesu upraszczania linii).

Zachowując kolejność wynikającą z hierarchii wierzchołków, analogicznie tworzymy następne pary niezmienników linii upraszczanej aż do momentu, gdy sprawdzimy wszystkie punkty do niej należące. Zastosowany w procesie trójkąt pozwala zachować topologię wierzchołków linii, gdyż podstawę trójkąta zawsze wyznaczają dwa wierzchołki-niezmienniki, a trzeci zachowuje sąsiedztwo względem wierzchołków-niezmienników linii pierwotnej.

W metodzie upraszczania linii do ustalania jej wierzchołków-niezmienników jako wzorzec zastosowano elementarny trójkąt, którego najkrótszą długość boku określa zależność:

$$\varepsilon_n = s M_n,$$

gdzie:

s – miara progowa rozpoznawalności rysunku (niezależna od skali mapy),

M_n – mianownik skali mapy opracowywanej.

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 II grupy szczegółów liniowych na mapie, określonych normami branżowymi GUGiK.

W zależności od nośnika obrazu wynosi ona:

- $s_1 = 0,5$ mm dla rysunku mapy klasycznej (papierowej),
- $s_2 = 0,6$ mm dla rysunku na monitorze komputera.

Po wyborze wierzchołków-niezmienników linii pierwotnej następnym etapem procesu upraszczania jest zbadanie linii pier-

wotnej w przedziałach utworzonych z sąsiednich wierzchołków-nieziemienników linii. W przedziałach tych łańcuch punktów linii pierwotnej badany jest ze względu na to, kiedy można go zastąpić:

- cięciwą utworzoną przez początek i koniec przedziału,
- dwoma odcinkami łączącymi początek i koniec przedziału z nowym pośrednim punktem (nie będącym niezmiennikiem) leżącym na jednym z boków badanego przedziału linii pierwotnej.

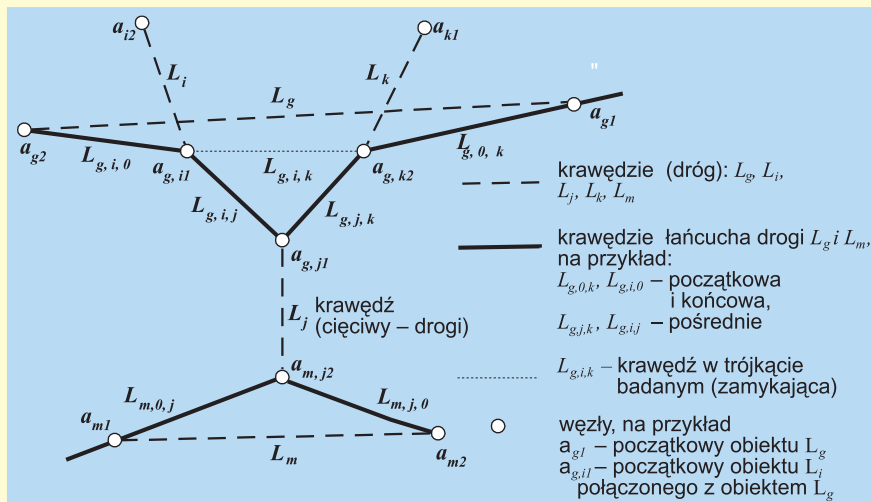
Metoda upraszczania w badanym przedziale zapewnia jednoznaczny odpowiedź, jak przekształcić łańcuch punktów linii. Otóż, gdy suma boków mniejsza jest od $2\varepsilon_n$, to po uproszczeniu łańcuch punktów jest reprezentowany przez cięciwę. Dla przypadku, gdy w przedziale krzywej suma boków jest równa lub większa od $2\varepsilon_n$, możliwe jest utworzenie nowego punktu. Warunkiem tego jest zbieżność procesu iteracyjnego. Ma to miejsce wówczas, gdy przedziale łamanej zmienne niezależne przyrostów współrzędnych punktów sąsiadnych mają stały znak. Natomiast gdy znaki przyrostów współrzędnych są różne, to proces iteracyjny jest rozbieżny. I wtedy badany przedział z łańcuchem punktów linii pierwotnej zastąpi cięciwa (odcinek w przedziale badanym pomiędzy punktami początku i końca).

Ostatnim etapem metody upraszczania linii jest ocena dokładności procesu możliwa dzięki temu, że:

- wybór i usuwanie wierzchołków są określone jednoznacznie,
- kształt linii pierwotnej (przed uproszczeniem) różni się od rzeczywistej w najmniejszym stopniu, znana jest zatem zmienna losowa opisująca najbardziej prawdopodobny przebieg linii łamanej,
- każde uogólnienie (uproszczenie) jest opisane wierzchołkami linii pierwotnej,
- określone są jednoznacznie najkrótsze odległości pomiędzy odrzucanymi punktami a pozostającymi wierzchołkami linii pierwotnej, które to odległości są zarazem błędami pozornymi procesu.

Przy wykorzystaniu prawa przenoszenia się błędów i jednym stopniu swobody dla n odrzucanych wierzchołków, określony zostaje błąd średni procesu upraszczania linii. Znając dokładność danych przed uproszczeniem i błąd procesu, można wyznaczyć błąd danych po procesie.

W metodzie tej użytkownik ustala długość ε_n dla opracowywanej skali $1:M_n$ przez wprowadzenie do programu mianownika skali mapy oraz jednej z wartości s_i ($i = 1, 2$). Pozostałe czynności – upraszczanie linii i ocena dokładności procesu – wykonywane są automatycznie.



Rys. 1. Badanie progowej miary rozpoznawalności sąsiedztwa rysunku obiektu liniowego L_j

Eliminacja całych obiektów liniowych

W procesie generalizacji kartograficznej eliminacja obiektów uważana jest za jedno z najtrudniejszych zadań. Do automatyzacji tego procesu niezbędna jest znajomość relacji topologicznych pomiędzy obiektami oraz ich klasyfikacja. Zachowując w bazie danych warunki topologiczne i hierarchie, zdefiniować można reguły eliminacji obiektów przestrzennych. W celu przeprowadzenia eliminacji obiektów liniowych (typu sieć rzeczna czy drogowa) przydatna jest w bazie danych Formalna Struktura Danych – FDS opracowana przez Molenaara (1989) uwzględniająca regułę tematyczną. Druga ważna reguła – geometryczna (Chrobak, 1999) – wykorzystuje przy eliminowaniu całych linii otwartych trzy cechy charakterystyczne:

1. początek i koniec są niezmiennikami linii łamanej $P(x, y) = 0$,
2. cięciwa linii łamanej $P(x, y) = 0$ jest najkrótszą jej długością,
3. rozpoznawalność rysunku łamanej $P(x, y) = 0$ jest określana na podstawie wymiarów dwóch kolejnych boków łańcucha łamanej (z których tworzony jest trójkąt) i porównywanych z najkrótszym bokiem trójkąta elementarnego. Jeśli każdy bok łamanej jest większy od boku trójkąta elementarnego, to wierzchołki pozostają. Usuwane są te, które połączone zpozostającymi na łamanej wierzchołkami tworzą boki o długości mniejszej od najkrótszego boku w trójkącie elementarnym.

Reguła geometryczna brzmi następująco: jeżeli atrybuty obiektów liniowych uwzględniają hierarchię klas i klasyfikację obiektów i obiekty zdefiniowane są jako graf płaski¹⁾, to wybór i eliminację każdego obiektu liniowego L_j dla mapy w skali $1:M$ określają warunki:

- prezentacji rysunku L_j na mapie,
 - miara progowa rozpoznawalności sąsiedztwa rysunku L_j .
- Na mapie w skali $1:M$ prezentowany jest rysunek L_j , gdy długość jego cięciwy jest większa lub równa $0,6 M$ [mm].

R E K L A M A

Studium Podyplomowe Geodezji Numerycznej
Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie
rozpoczyna nabór słuchaczy na rok akademicki 2002/2003

Informacje: www.geo.mapa.net.pl tel./faks (0 89)523-48-78 e-mail: w.dabrowski@planeta.uwm.net.pl

Rysunek 1 przedstawia fragment sieci dróg w postaci ich osi o rzeczywistym położeniu punktów początkowych i końcowych każdej z tych osi. Miarę progową rozpoznawalności sąsiedztwa rysunku L_j (o grubości linii 0,1 mm) określają dwa trójkąty, które wymiarami są najbardziej zbliżone do trójkąta elementarnego. Wierzchołki-węzły reprezentują obiekty tych dwóch trójkątów należące do zbioru L przestrzeni kartograficznej. Obiekt L_j łączy trójkąty, w których dwa pozostałe wierzchołki są węzłami obiektów liniowych już zdefiniowanych – na podstawie klasyfikacji obiektów i hierarchii klas oraz ich wymiarów minimalnych – w przestrzeni mapy w skali $1:M$.

W trójkącie pierwszym (oznaczonym wierzchołkami $a_{g,jl}$, $a_{g,k2}$, $a_{g,il}$) wierzchołek $a_{g,jl}$ jest węzłem badanym początkowym obiektu L_j . Pozostałe dwa węzły w tym trójkącie reprezentują połączone z L_j obiekty L_i i L_k . Obiekty połączone (będące bokiem trójkąta) należą już do przestrzeni kartograficznej opracowywanej mapy, gdyż w klasyfikacji obiektów i hierarchii klas znajdują się na pozycji wyższej od obiektu L_j .

W trójkącie drugim (oznaczonym wierzchołkami $a_{m,j2}$, $a_{m,l}$, $a_{m,2}$), wierzchołek $a_{m,j2}$ jest badanym węzłem końcowym obiektu L_j . Pozostałe wierzchołki spełniają wymogi hierarchii obiektów jak w trójkącie pierwszym. Kolejność wyboru trójkątów i węzłów nie wpływa na czytelność otoczenia rysunku L_j . Oznaczenia krawędzi w trójkątach różnią się. Jest to celowa prezentacja sytuacji (trójkąt drugi), w której dwa węzły dowiązania są początkiem i końcem obiektu notowanego wyżej w klasyfikacji. Wskazuje na to zapis indeksu krawędzi $L_{m,0,j}$ gdzie: m – oznaczenie obiektu o najwyższej klasie w badanym trójkącie, 0 – (druga pozycja indeksu) to węzeł początkowy obiektu już istniejącego na mapie („0” na trzeciej pozycji indeksu oznacza węzeł końcowy, np. $L_{m,j,0}$), j – oznaczenie obiektu badanego.

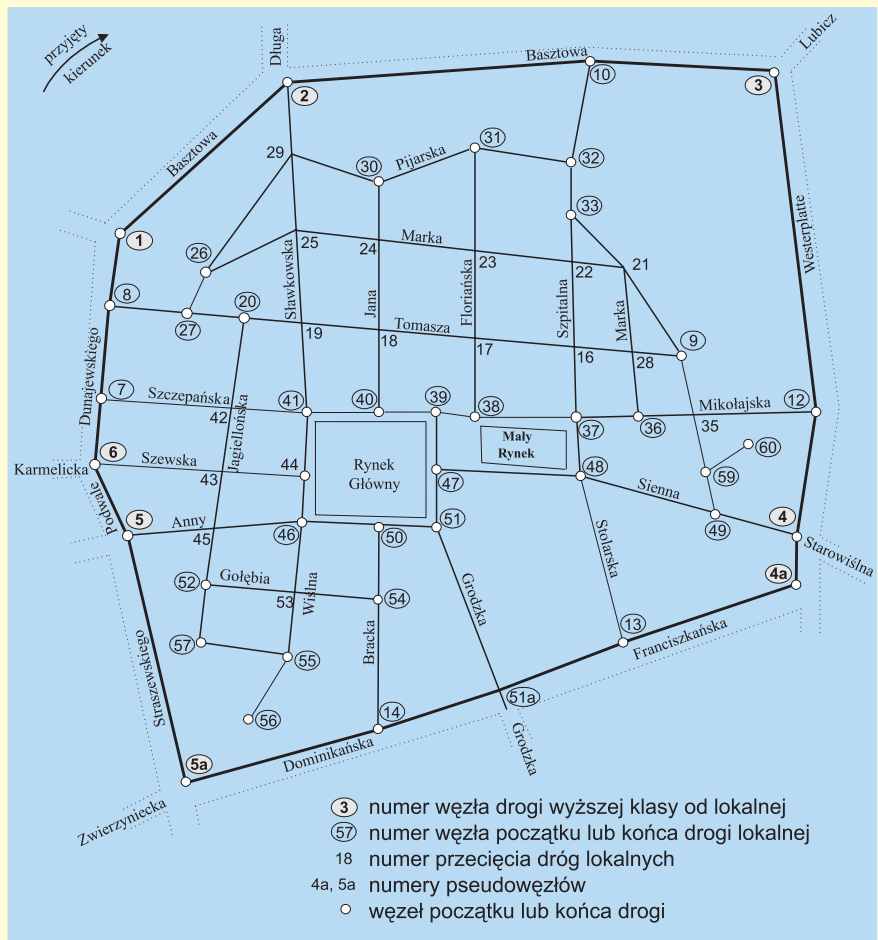
Progowa miara rozpoznawalności sąsiedztwa rysunku (o grubości linii 0,1 mm) obiektu L_j – w przestrzeni kartograficznej o skali $1:M$ – jest zachowana, gdy długości boków (krawędzi) dwóch trójkątów (najbardziej wymiarami minimalnymi zbliżonych do elementarnego) połączonych z badanym obiektem L_j (rys. 2), spełniają nierówność:

$$\Delta(L_{g,i,j}, L_{g,i,k}, L_{g,j,k}) \geq 0,6 M [\text{mm}], i \neq j \neq k,$$

gdzie:

$L_{g,j,k}$ – długości krawędzi w trójkącie dla trzech różnych obiektów (L_i, L_j, L_k) o węzłach, początku lub końcu krawędzi, należących do obiektu L_g . Każdy z trójkątów określają: dwa wierzchołki-węzły (reprezentujące dwa obiekty istniejące już na mapie) i trzeci wierzchołek-węzeł badany obiektu L_j , lub

$$\Delta(L_m, L_{m,0,j}, L_{m,j,0}) \geq 0,6 M [\text{mm}], m \neq j,$$



Rys. 2. Sieć ulic centrum Krakowa

gdzie:

L_m – długość krawędzi (cięciwy linii łamanej),

$L_{m,0,j}$ – długość krawędzi pomiędzy węzłem początkowym (pozycja druga indeksu – 0) obiektu L_m a węzłem badanego obiektu L_j ,

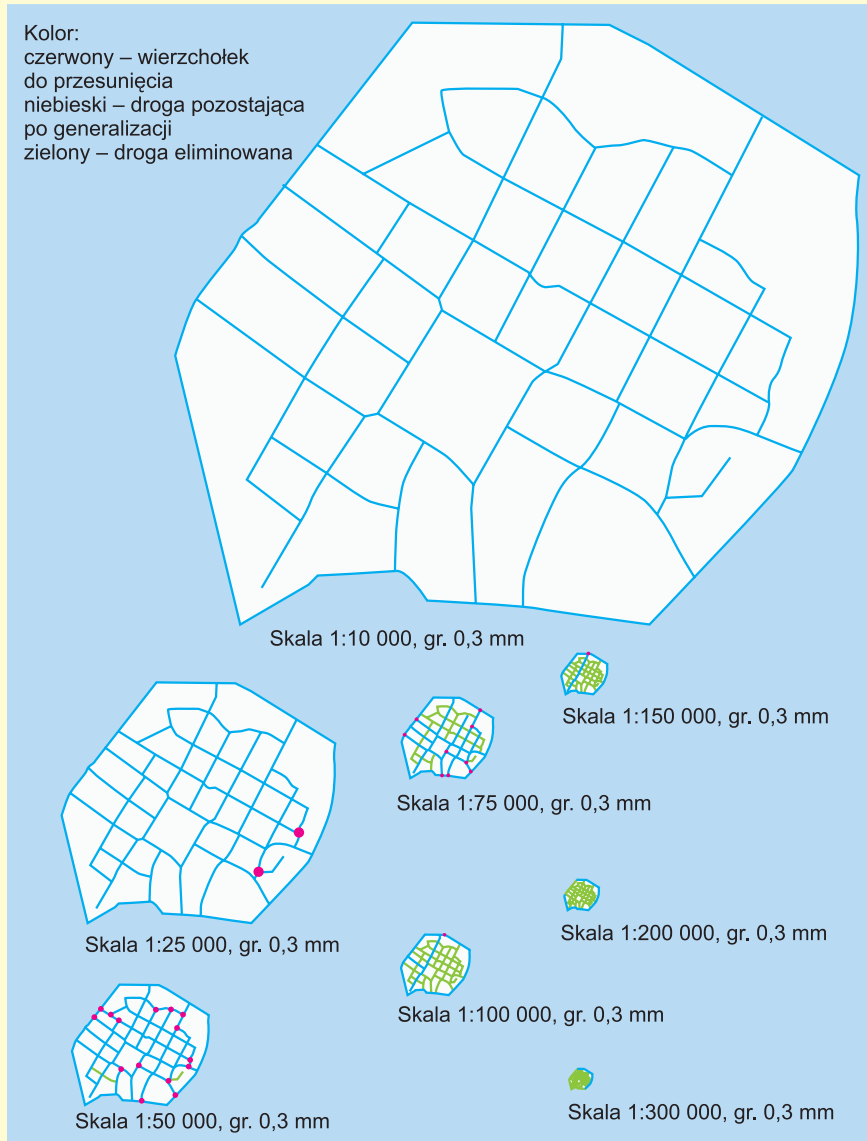
$L_{m,j,0}$ – długość krawędzi pomiędzy węzłem końcowym (pozycja trzecia indeksu – 0) obiektu L_m a węzłem badanym obiektu L_j .

Przedstawione reguły – geometryczna i tematyczna (atrybutowa) – określają wymagania modelu danych, umożliwiające automatyczne prezentowanie na mapie obiektów liniowych w dowolnej skali. Omawiane minimalne wymiary rysunku dotyczą grubości linii 0,1 mm. W przypadku zmiany grubości linii rysunku, do wielkości 0,6 mm dodajemy ustaloną grubość, gdyż 0,6 mm to minimalna miara długości boku trójkąta gwarantująca jego „rozpoznawalność”.

Obiekty należące do superklasy (najbliżej korzenia drzewa – grafu) nie podlegają regule geometrycznej, gdyż ich wybór określa redaktor opracowania mapy. Ten proces wyboru eliminacji na podstawie zdefiniowanych obiektów superklasy Moleenaar (1996) nazwał generalizacją strukturalną.

Praktyczne zweryfikowanie modelu danych przestrzennych

Przedstawione reguły (atrybutowa i geometryczna) w strukturze FDS wykorzystano do procesu eliminacji obiektów, gdy zmienia się dowolnie skala mapy (od większej do mniejszej) dla utworzonego regionu Centrum Krakowa (rys. 2). Drogi woje-



Rys. 3. Eliminacja dróg metodą analityczną w miarę zmniejszania skali mapy

wódkie będące częścią granicy regionu zostały określone na podstawie polskich norm. Ich klasyfikacja jest następująca:

1. Basztowa – węzeł początkowy „1”, końcowy „3”
2. Straszewskiego – węzeł początkowy „5a”, końcowy „5”
3. Westerplatte – węzeł początkowy „3”, końcowy „4a”
4. Dunajewskiego – węzeł początkowy „6”, końcowy „1”
5. Podwale – węzeł początkowy „5”, końcowy „6”
6. „Granica obszaru” – pseudowęzeł początkowy „4a” końcowy „5a”

Budowę regionów²⁾ z wykorzystaniem topologii, tworzenie obiektów złożonych z elementarnych, jak również klasyfikację klas i obiektów przeprowadzono w sposób omówiony w pracy Chrobaka (1999).

Na mapie (rys. 3) o przyjętej szerokości dróg równej 1,5 mm prezentowana jest sieć dróg w Centrum Krakowa po generalizacji. Eliminacja obiektów tej sieci przeprowadzono aplikacją wykonaną przez J. Kudrysa z Zakładu Geodezji i Kartografii AGH w Krakowie. Uzyskane pozytywne wyniki upoważniają do stwierdzenia: proces eliminacji obiektów liniowych metodą analityczną nie zależy od tego, czy bazy danych przestrzennych są rozłączne, czy jest to jedna baza danych podstawowych.

Wnioski

1. Aby proces generalizacji obiektów liniowych był co najmniej w 15% automatyczny, dane wektorowe powinny zachowywać:

- topologię,
- hierarchię obiektów i klas,
- regułę geometryczną.

2. Zaprezentowany proces eliminacji i upraszczania obiektów liniowych pozwala na wielokrotne wykorzystywanie danych przestrzennych (z ich atrybutami jakościowymi). Dane z LIS (szczegółowe) są automatycznie wykorzystywane – przez uogólnienie – w systemach GIS.

3. Przedstawione w pracy rozwiązanie eliminacji i upraszczania obiektów liniowych umożliwia zmniejszenie kosztów tworzenia systemu typu LIS/GIS.

Dr hab. Tadeusz Chrobak, prof. n. AGH, jest pracownikiem Zakładu Geodezji i Kartografii AGH w Krakowie

¹⁾ Graf G, który ma izomorficzny względem siebie graf geometryczny G' dający się przedstawić bez przecięć linii krawędziowych, nazywamy *grafem płanarnym*, natomiast odpowiadający mu graf geometryczny G' na płaszczyźnie nazywamy *grafem płaskim*. (Kulikowski 1986, s. 220)

²⁾ Regionem nazywamy część płaszczyzny ograniczonej przez punkty węzłowe i linie krawędziowe grafu geometrycznego na płaszczyźnie, tworzące cykl wraz z tymi punktami i węzłami, jednak z wyłączeniem wszelkich innych punktów węzłowych lub linii krawędziowych grafu (Kulikowski 1986, s. 221).

Literatura

- Chrobak T.**, *Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 1999;
- Kraak M.-J., Ormeling F.**, *Kartografia, wizualizacja danych w przestrzeni*, PWN, Warszawa 1998;
- Kulikowski J. L.**, *Zarys teorii grafów*, Biblioteka Naukowa Inżyniera, Warszawa 1986;
- Molenaar M.**, *Single valued vector maps – a concept in GIS*, „Geo-Information Systems” nr 2 (1) s. 18-26, 1989;
- Molenaar M.**, *Object hierarchies and uncertainty in GIS or why is standardization so difficult*, „Geo-Information-Systems” nr 6 (3) s. 34-48, Delft 1993;
- Molenaar M.**, *The role of topologic and hierarchical spatial object models in database generalization*, Netherlands Geodetic Commission, nr 43, s. 13-35, Delft 1988;
- Müller J.-C., Lagrange J.-P., Weibel R.**, *GIS and Generalization Methodology and Practice*, Copyright Taylor Francis Ltd, 1995;
- Robinson A., Sale R., Morrison J.**, *Podstawy kartografii*, PWN, Warszawa 1996;
- Saliszczew K. A.**, *Kartografia ogólna*, PWN, Warszawa 1984;
- Topfer F., Pillewizer W.**, *The principles of selection: a means of cartographic generalization*, „The Cartographic Journal” nr 3 (1) s. 10-16, 1966.