

IZABELA KARSZNIA
Katedra Kartografii Uniwersytetu Warszawskiego
i.chybicka@uw.edu.pl

Aktualne problemy automatycznej generalizacji danych przestrzennych*

Zarys treści. W artykule opisano podstawowe założenia procesu generalizacji danych przestrzennych. Scharakteryzowano ważniejsze modele conceptualne generalizacji oraz metody optymalizacji i kontroli tego procesu. Następnie nakreślono aktualne problemy i kierunki badań, jakimi są m.in. kontekstowość procesu generalizacji, generalizacja *on-line* i wieloreprezentacyjne bazy danych przestrzennych, holistyczny charakter procesu generalizacji, możliwości formalizacji wiedzy kartograficznej oraz opracowanie wspólnej platformy generalizacyjnej.

Słowa kluczowe: automatyzacja procesu generalizacji, modele conceptualne, dane przestrzenne

1. Wstęp

Generalizacja jest jedną z podstawowych cech prezentacji kartograficznej. Zgodnie z definicją zaproponowaną przez Międzynarodową Asocjację Kartograficzną, generalizacja obejmuje selekcję i uproszczenie informacji geograficznej odpowiednio do skali i przeznaczenia mapy (*Multilingual...* 1973). Celem generalizacji jest wybór informacji geograficznej, a co za tym idzie uwypuklenie rzeczy najważniejszych oraz pominięcie mniej istotnych z punktu widzenia przeznaczenia prezentacji kartograficznej oraz wymagań użytkowników (S. Lamy i inni 1999).

Mimo że od czasu wprowadzenia technologii komputerowej do dyscyplin związanych z kartografią włożono wiele pracy w konstruowanie nowych systemów i narzędzi związanych z generalizacją, wciąż jednak sporo zagadnień pozostaje nierozwiązanych (T. Chrobak i inni 2007).

W celu pełnej automatyzacji procesu redakcji i generalizacji map konieczne jest określenie powtarzalnych, ścisłych zasad i instrukcji, a następnie ich zastosowanie w środowisku komputerowym. Pierwsze prace koncentrowały się na generalizacji linii i stanowiły rozwiązania algo-

rytmiczne (oparte na procedurach matematycznych, statystycznych). Jednakże w tego typu rozwiązaniach brano pod uwagę tylko geometrię obiektów. Takie podejście było wystarczające do momentu pojawienia się w kartografii technologii cyfrowej. Wówczas obiekty przestały być traktowane tylko jako obiekty geometryczne, lecz zyskały znaczenie geograficzne, przypisano im atrybuty opisowe, a ich redakcja i generalizacja uzależnione zostały od celu mapy i potrzeb użytkownika. Obecnie od systemów wspomagających automatyczną generalizację map oczekujemy podejścia kompleksowego, możliwości uwzględnienia kontekstu mapy oraz zależności przestrzennych między generalizowanymi obiektami.

Optymalnym rozwiązaniem byłaby możliwość generowania za pomocą systemów GIS informacji geograficznej o określonym stopniu szczegółowości w sposób całkowicie automatyczny. Jednakże jak dotąd żadne oprogramowanie GIS nie daje takiej możliwości. Istnieje szereg systemów informacji geograficznej zawierających dane o różnym stopniu szczegółowości, zwykle jednak pochodzą one z różnych baz danych przestrzennych. Pozwala to na wyświetlenie danych odpowiadających określonej skali (gdzie różne regiony mają różny stopień generalizacji), nie zaś na zmianę skali w sposób ciągły, uporządkowany. Tymczasem ograniczenia i różnice sposobu wizualizacji danych geograficznych sprawiają, że stopień generalizacji powinien również uwzględniać indywidualne potrzeby użytkownika. Te zaś obejmują aktualność informacji geograficznej, możliwość generowania danych o różnym stopniu szczegółowości oraz ich dostępność w sie-

* Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy nr N N306 3005 33.

ci. Potwierdza to pogląd T. Chrobaka i innych (2007, s. 11): „odkąd wymagania generalizacji danych geometrycznych i tematycznych mogą się w znacznym zakresie zmieniać w zależności od percepcji użytkownika, rodzaju mapy i skali przedstawienia, model automatycznej generalizacji oparty na wzorcu wywodzącym się z technologii ręcznej może okazać się niepraktyczny”.

2. Cele i zasady generalizacji

Według S. Steinigera (2007) generalizacja kartograficzna stanowi jeden z elementów procesu produkcji map, na który składają się:

- gromadzenie danych,
- przechowywanie danych,
- utrzymywanie ich aktualności,
- redakcja,
- wydruk mapy (lub wizualizacja z bazy danych).

Proces generalizacji ręcznej oraz automatycznej to proces poszukiwania optymalnego rozwiązania między dwoma zasadniczymi zadaniami, jakie powinny spełniać mapy. Pierwszym z nich jest odpowiedni dobór treści uwarunkowany przeznaczeniem opracowywanej mapy, drugim zapewnienie jej czytelności. Proces decyzyjny związany z dostosowaniem ilości i sposobu prezentacji informacji zawartych na mapie odpowiednio do celu i skali jej opracowania jest wykonywany lub nadzorowany przez kartografa (S. Steiniger 2007).

Kartograf osiąga zamierzony cel redakcyjny w sposób intuicyjny, kierując się zdobytą wiedzą i doświadczeniem. W środowisku komputerowym, ze względu na dużą liczbę możliwych rozwiązań, dostępność różnych narzędzi generalizacyjnych oraz różną sekwencję czynności generalizacyjnych, które wywołują określone rezultaty, każda decyzja musi być przemyślana i podporządkowana nadrzędnemu celowi. Obok zachowania zależności topologicznych¹ między obiektami, celem generalizacji kartograficznej jest:

- uproszczenie treści mapy poprzez dostosowanie przedstawianego zakresu treści do poziomu szczegółowości odpowiadającemu skali opracowania, a więc wybór elementów ważniejszych, przy jednoczesnym pominięciu mniej istotnych;
- zachowanie odpowiedniej czytelności mapy

¹ Pod pojęciem topologii w literaturze przedmiotu rozumie się szereg relacji opisujących sąsiedztwo oraz zawieranie i nakładanie się obiektów, charakteryzujących się niezmiennością w takich transformacjach jak skalowanie czy rotacja (D. Gottlieb i inni 2007).

w danej skali (zdefiniowanej jako minimalna odległość między obiektami albo minimalna powierzchnia zajmowana przez obiekt lub sygnaturę);

- zachowanie typowych i charakterystycznych elementów treści mapy.

Realizacja wymienionych celów zakłada uwzględnienie następujących zasad:

- uwzględnienie kontekstu mapy – nie można generalizować pojedynczego obiektu w oderwaniu od pozostałych elementów mapy, należy brać pod uwagę grupy obiektów jako całość; generalizacja wymaga podejścia kompleksowego oraz kontekstowego (uwzględnienie sąsiedztwa i relacji między obiektami);

- podejście „zorientowane obiektowo” – nie można zastosować jednej czynności generalizacyjnej do wszystkich obiektów lub całej ich klasy; należy dobrać konkretną czynność do konkretnego obiektu, w zależności od jego charakteru oraz otaczających go innych obiektów;

- iteracyjny charakter generalizacji – system do automatycznej generalizacji danych przestrzennych musi pozwalać na logiczną ocenę uzyskanych wyników oraz dawać możliwość ich poprawy lub zmiany przez zastosowanie innej czynności generalizacyjnej lub innych wartości parametrów generalizacji (M. Bell i inni 2004).

Wymienione zasady rozumiane i stosowane intuicyjnie przez doświadczonego kartografa, w procesie generalizacji automatycznej muszą zostać rozłożone na szereg czynności generalizacyjnych, a następnie ponownie sformułowane np. w postaci reguł wykonywalnych w środowisku komputerowym (S. Steiniger 2007; N. Regnauld, R.B. McMaster 2007). Niezbędne jest zatem sprecyzowanie i uściślenie pojęć „istotny”, „czytelny”, „charakterystyczny”, będące warunkiem poprawnego doboru operatorów i algorytmów generalizacji.

3. Modelowanie procesu generalizacji

Próbą opisu i usystematyzowania czynności składających się na proces generalizacji są modele koncepcyjne. Ujmują one proces generalizacji w sposób ogólny, wskazując na jego podstawowe elementy oraz relacje między nimi (A. Iwaniak i inni 1998). Opracowanie modelu generalizacji ma na celu rozłożenie procesu na szereg tzw. czynności generalizacyjnych, które stosowane są w postaci odpowiednich operatorów (np. operator upraszczania czy agregacji), algorytmów oraz kontrolowane przez kilka

parametrów (np. minimalna powierzchnia lub maksymalna długość). Usystematyzowanie poszczególnych czynności w postaci modelu oraz przypisanie im odpowiednich operatorów generalizacji służy kontroli procesu.

Pierwsze modelowe ujęcia pojawiły się w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku (L. Ratajski 1967, 1973; J. Morrison 1974), gdy nie było jeszcze potrzeby ujmowania tego procesu z punktu widzenia zastosowań komputerowych.

Do problemu wzrostu stopnia generalizacji wraz ze zmniejszaniem pojemności mapy nawiązał L. Ratajski (1973). Autor jednego z pierwszych konceptualnych modeli generalizacji zaproponował podział na generalizację jakościową oraz ilościową. Według L. Ratajskiego każda treść mapy może być zredukowana w drodze generalizacji ilościowej (tzn. przy zachowaniu tego samego systemu znaków i tej samej metody prezentacji), przy czym każdorazowa zmiana pojemności mapy powoduje uzyskanie określonego stopnia generalizacji. Dochodzimy jednak do momentu, gdy pojemność mapy jest tak mała, że powoduje zatracenie charakteru obiektów, a co za tym idzie zbyt dużą stratę informacji. Po osiągnięciu tego momentu, zwanego „progiem generalizacyjnym”, konieczna jest zmiana metody prezentacji.

W latach osiemdziesiątych opracowano kilka modeli uwzględniających potrzeby systemów komputerowych (K. Brassel 1985). Ich szerszy opis znajdujemy w pracy R.B. McMastera (1991).

R.B. McMaster i K.S. Shea (1988) zaproponowali sprowadzenie procesu generalizacji do odpowiedzi na trzy zasadnicze pytania:

- po co generalizować? (w celu zredukowania złożoności danych, uwzględnienia przeznaczenia mapy);
- kiedy generalizować? (np. w przypadku pojawiających się konfliktów przestrzennych przy zmniejszaniu skali opracowania lub zbyt dużej gęstości obiektów w stosunku do skali docelowej);
- jak generalizować? (tu autorzy wydziliili przestrzenne oraz atrybutowe operatory generalizacji).

K. Brassel i R. Weibel (1988) dzielą proces generalizacji na dwa zasadnicze etapy: generalizację statystyczną oraz kartograficzną. Generalizacja statystyczna stanowi tu proces analityczny, prowadzący do redukcji ilości informacji zawartych w bazie danych. Generalizację kartograficzną postrzegają autorzy jako mode-

lowanie przestrzenne, którego celem jest modyfikacja struktury danych na poziomie lokalnym (L.T. Sarjakoski 2007). Według autorów proces generalizacji składa się z pięciu zasadniczych kroków. Są to:

- rozpoznanie struktury danych,
- rozpoznanie procesu generalizacji,
- modelowanie procesu,
- uruchomienie procesu,
- wizualizacja danych.

Na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych pojawiła się koncepcja podziału procesu generalizacji na dwa etapy (D. Grunreich 1995):

- generalizację modelu danych, zwaną w literaturze generalizacją cyfrowego modelu krajobrazu (ang. *digital landscape model DLM*),
- generalizację kartograficzną, określaną jako generalizacja cyfrowego modelu kartograficznego (ang. *digital cartographic model DCM*).

Generalizację modelu danych identyfikuje się z procesem przygotowania danych (obejmującym m.in. analizy przestrzenne i atrybutowe) do właściwego etapu generalizacji kartograficznej, której efektem jest ich wizualizacja (L. Sarjakoski 2007). Podobne poglądy reprezentują M. Bell i inni (2004). Według autorów celem generalizacji modelu danych jest zredukowanie liczby danych (poprzez wybór klas lub podzbiorów klas obiektów) zgodnie z zakładanym stopniem szczegółowości.

Zadaniem drugiego etapu procesu generalizacji, a więc generalizacji kartograficznej jest uzyskanie optymalnej czytelności mapy w odniesieniu do celu prezentacji i skali opracowania.

J.M. Ware i C.B. Jones (2005) zaproponowali podział czynności wchodzących w skład procesu generalizacji na:

- wybór obiektów (klas obiektów, kategorii), które będą prezentowane na mapie, tj. generalizację semantyczną,
- uproszczenie kształtu i struktury symboli graficznych, które będą prezentowane na mapie, czyli generalizację geometrii obiektów (geometryczną).

Automatyzacja procesu generalizacji semantycznej wymaga hierarchizacji klas obiektów. Ułatwia to opracowanie reguł pozwalających na podjęcie decyzji, jakie główne kategorie obiektów powinny pozostać po generalizacji oraz w jaki sposób, z semantycznego punktu widzenia, powinny być prezentowane.

Automatyczna generalizacja geometrii obiektów jest dopełnieniem generalizacji semantycznej

nej. Z wyborem klas obiektów i zmianą skali wiąże się często zmiana geometrii obiektów, na przykład w skalach małych dana miejscowość prezentowana jest za pomocą sygnatury, podczas gdy w skalach średnich pokazujemy jej kontur, a w skalach dużych poszczególne budynki, które się na nią składają. J.M. Ware i C.B. Jones (2005) zauważają, że generalizacja geometryczna jest często bardziej skomplikowana niż generalizacja semantyczna, ze względu na rozmaite zmiany w zakresie sposobu prezentacji i struktury obiektów geograficznych, które mogą zachodzić w trakcie zwiększania stopnia generalizacji mapy. Główne rodzaje czynności generalizacyjnych dotyczących geometrii obiektów to:

- wybór, czyli redukcja liczby obiektów punktowych,
- redukcja stopnia szczegółowości prezentacji obiektów liniowych lub powierzchniowych,
- łączenie (agregacja) sąsiadujących obiektów punktowych, liniowych lub powierzchniowych,
- redukcja wymiaru obiektów (z powierzchni do linii, z powierzchni do punktu),
- zwiększenie wielkości obiektów, które inaczej byłyby niewidoczne na mapie w skali docelowej,
- wybór obiektów reprezentatywnych (dotyczący na przykład skupiska obiektów punktowych),
- zmiana położenia obiektów.

Czynności i odpowiadające im operatory generalizacji geometrii obiektów wywierają na siebie wzajemnie bezpośredni wpływ. Na przykład przewiększenie grupy obiektów może spowodować wzrost gęstości treści mapy na danym obszarze, co w przyszłości może spowodować konieczność usunięcia niektórych obiektów spośród tej właśnie grupy. Ta wzajemna zależność między poszczególnymi czynnościami generalizacyjnymi stanowi bezpośrednią przyczynę konieczności wykorzystania procedur i systemów charakteryzujących się wysokim stopniem konceptualnym oraz technik optymalizacyjnych lub technik sztucznej inteligencji w celu kontroli procesu generalizacji danych przestrzennych (M. Neun 2007).

4. Metody kontroli i optymalizacji procesu generalizacji

Badania dotyczące współzależności między czynnościami generalizacyjnymi oraz próby kontroli procesu podejmowane są już od ponad dziesięciu lat. Jedną z pierwszych prac wydana

w postaci zbioru artykułów, opisująca metody kontroli procesu generalizacji za pomocą systemów opartych o reguły została opublikowana w roku 1991 (B. Buttenfield, R.B. McMaster). Większość z zaproponowanych systemów nie znalazła jednak praktycznego zastosowania ze względu na trudności w sformalizowaniu i zaprogramowaniu zasad generalizacji w postaci reguł komputerowych. Wyjątek stanowi system Change (B. Powitz 1992). Wymienione problemy zostały częściowo rozwiązane poprzez pozyskiwanie bazy wiedzy (reguł generalizacji) za pomocą komputerowych technik uczenia, jakimi są sieci neuronowe (R. Weibel i inni 1995).

Przy generalizacji dużych obszarów celowy wydaje się ich podział na mniejsze fragmenty. Pozwala to na szybszą identyfikację i rozwiązanie konfliktów przestrzennych między generalizowanymi obiektami. Na mapach topograficznych takimi naturalnymi liniami podziału mogą być drogi. Przykład takiego rozwiązania znajduje się w pracy G. Robinsona i F. Lee (1994) oraz w koncepcji modelowania agentowego, gdzie fragmenty mapy oddzielone drogami kontrolowane są na poziomie tzw. mezo-agentów, cały obszar mapy z poziomu tzw. makro-agentów, a poszczególne obiekty z poziomu tzw. mikro-agentów² (A. Ruas 1999).

W ostatnich latach starano się rozwiązać problem kontroli operatorów generalizacji poprzez zastosowanie metod optymalizacyjnych. Metody te mają na celu redukcję konfliktów między generalizowanymi obiektami, powstałych wskutek działania operatorów generalizacji. W jednej z pierwszych prac dotyczących użycia metod optymalizacyjnych w generalizacji porównano działanie dwóch metod *simulated annealing* oraz *discret gradient descent*, zastosowanych do kontroli zachowania minimalnych odległości przy generalizacji obiektów powierzchniowych. W tym konkretnym przykładzie bardziej poprawne rezultaty uzyskano za pomocą pierwszej z metod (J.M. Ware, C.B. Jones 1998). Później metodę tę wykorzystywano w generalizacji wielorozwiązaniowych baz danych przestrzennych do kontroli wzajemnego położenia obiektów

² Koncepcja agentów oraz systemów wieloagentowych (takich, w których działa więcej niż jeden agent) należy do domeny sztucznej inteligencji (*artificial intelligence*) (C. Duchene 2003). Zgodnie z definicją zaproponowaną przez M. Lucka (1997) agent jest programem zdolnym do kontroli i oceny podejmowanych przez siebie działań na podstawie rozpoznawania otaczającego go środowiska. Technologia systemów wieloagentowych jest wykorzystywana również do modelowania złożonych, dynamicznych i otwartych aplikacji, na przykład w planowaniu produkcji, sterowaniu ruchem, zarządzaniu przepływem czynności – w coraz większym stopniu w Internecie (Z. Michalewicz, D.B. Fogel 2006).

w trakcie procesu generalizacji (J.M. Ware i inni 2003).

Metoda elementów skończonych (*finite element method*) została opracowana na potrzeby inżynierii maszynowej w celu symulowania rezultatów nacisku na struktury fizyczne, przy określonych ich właściwościach. Do kartografii metodę tę wprowadził P. Højholt (2000). Zastosowanie metody elementów skończonych miało na celu zachowanie minimalnych odległości między drogami a zabudową w trakcie procesu generalizacji. P. Højholt przypisał poszczególnym obiektom mapy różne stopnie „odporności”, by następnie wprowadzić elementy nacisku, będące funkcją wzajemnej odległości obiektów. Podobne badania wykonali M. Bader i inni (2005), wykorzystując wymienioną metodę do „przesuwania” budynków, przy jednoczesnym zachowaniu ich kształtów oraz odległości między nimi.

Inną metodą optymalizacyjną, wykorzystaną do zachowania wzajemnych odległości między obiektami przy generalizacji, jest wprowadzona do kartografii przez D. Burghardta i S. Meiera (1997) metoda *snakes*. Z procesem generalizacji związane jest zmniejszanie skali mapy, podczas którego często dochodzi do powstawania sytuacji konfliktowych między generalizowanymi obiektami, np. obiekty przestają być rozróżnialne, nakładają się na siebie. Aby nie dopuścić do zbyt dużej utraty informacji wskutek usunięcia nadmiernej liczby obiektów oraz przy założeniu, że na mapie mamy wystarczająco dużo miejsca, można zastosować operator odsunięcia obiektów. Istnieją dwa rodzaje realizacji operatora odsunięcia:

- odsunięcie przez translację, mające zastosowanie w przypadku małych obiektów i symboli,
- odsunięcie przez deformację, stosowane dla wydłużonych obiektów liniowych, np. dróg (A. Borkowski, R. Lipski 2006).

Odsunięcie przez deformację wykonywane jest w dwóch etapach. Najpierw określa się wartość wektora odsunięcia w miejscu powstania konfliktu, gwarantującą jego rozwiązanie. Kolejnym etapem jest propagacja odsunięcia dla całego obiektu. Etap propagacji pozwala na zachowanie kształtu generalizowanego obiektu. Wspomniana wyżej metoda *snakes* pozwala na możliwie najwierniejsze zachowanie kształtu i położenia generalizowanego obiektu przy jednoczesnej likwidacji lub minimalizacji zaistniałego konfliktu. Implementacją tej metody jest aktywny model linii otrzymywany w wyniku rozwiązania zadania wariacyjnego, zakładają-

cego minimalizację odpowiednio zdefiniowanej energii całkowitej przypisanej do linii. Energia ta składa się z energii wewnętrznej, opisującej kształt linii i energii zewnętrznej, wymuszającej pożądany przebieg linii (S. Steiniger, S. Meier 2004).

L.E. Harrie (2000) i M. Sester (2000) zaproponowali wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów do iteracyjnego procesu dostosowywania aktualnego wyniku generalizacji do wyniku poprawnego, opisanego przez instrukcje redakcji map. Metoda najmniejszych kwadratów pozwala na wyznaczenie nieznanymi parametrów układu równań na podstawie danych obserwacji i ich wag. Wymieniona technika optymalizacyjna jest z powodzeniem stosowana w matematyce oraz geodezji.

W środowisku agentowym do rozwiązywania konfliktów między generalizowanymi obiektami zastosowano metody sztucznej inteligencji, np. algorytm *hill climbing* (S. Mustiere, C. Duchene 2001). Algorytm ten pozwala na wyszukanie optymalnego rozwiązania powstałego konfliktu. Jego działanie rozpoczyna się od przyjęcia jednego, wejściowego rozwiązania, by następnie wyszukiwać kolejne. Jeśli kolejne rozwiązanie okaże się lepsze od poprzedniego, wówczas zostaje ono zaakceptowane, jeśli nie – pozostajemy przy rozwiązaniu poprzednim. Po wyczerpaniu wszystkich możliwości przyjęte zostaje rozwiązanie optymalne.

5. Wybrane zagadnienia automatycznej generalizacji danych przestrzennych

W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych badania dotyczące automatyzacji procesu generalizacji skupiały się wokół dwóch zasadniczych zagadnień: opracowywania nowych algorytmów generalizacji oraz pozyskiwania i zastosowania wiedzy kartograficznej, np. w postaci reguł w systemach ekspertowych (A. Edwardes i inni 2003). Obecnie dotyczą one opracowania bardziej kompleksowych algorytmów generalizacji, uwzględniających szereg warunków i relacji przestrzennych między obiektami oraz zastosowania bardziej zaawansowanych technik generalizacji, jak np. systemy wieloagentowe (M. Barrault i inni 2001; M.N. Sabo i inni 2008). Dynamiczny rozwój badań dotyczących automatyzacji generalizacji spowodował wzrost wymagań w stosunku do istniejących lub nowo opracowywanych systemów wspomagających prowadzenie procesu generalizacji (A. Edwardes

des i inni 2007). Przedmiotem prowadzonych obecnie badań są:

- pozyskiwanie wiedzy kartograficznej w celu zdefiniowania reguł rządzących procesem generalizacji,
- uściślenie (formalizacja) zasad generalizacji,
- rozwój modeli generalizacji,
- opracowanie bardziej kompleksowych narzędzi analiz przestrzennych oraz nowych algorytmów generalizacji,
- modelowanie przestrzeni geograficznej w postaci struktur obiektowych, z pełniejszą charakterystyką geometryczną i topologiczną danych przestrzennych,
- próby zastosowania w generalizacji kartograficznej algorytmów i struktur danych wspomagających prowadzenie procesu (np. zastosowanie triangulacji Delauney'a w procesie przesuwania budynków),
- opracowywanie wieloreprezentacyjnych baz danych przestrzennych, z możliwością wizualizacji danych zgromadzonych w jednej bazie na różnych poziomach szczegółowości,
- zastosowanie algorytmów generalizacji w wybranym środowisku programowym w celu prowadzenia eksperymentów związanych z kolejnością ich używania (sekwencją) oraz ich harmonizacją.

5.1. Kompleksowy charakter procesu generalizacji

Na szczególną uwagę zasługują badania i próby automatyzacji procesu generalizacji prowadzone przez francuski Narodowy Instytut Geograficzny. W roku 1999 A. Ruas w swojej pracy doktorskiej przedstawiła koncepcję zasto-

sowania systemu autonomicznych „agentów” w procesie generalizacji kartograficznej. Kolejne badania zmierzały do uszczegółowienia i wzbogacania zaproponowanego modelu o kolejne elementy usprawniające prowadzenie automatycznej generalizacji map (C. Duchene 2004a, C. Duchene 2004b). Obecnie prowadzone badania mają na celu rozszerzenie modelu agentowego na wszystkie elementy treści mapy.

Dwa najciekawsze, a jednocześnie najtrudniejsze z punktu widzenia automatycznej generalizacji elementy treści mapy stanowią drogi i zabudowa. Większość opracowań, a także zaprojektowanych i z powodzeniem stosowanych systemów generalizacyjnych (np. system Clarity) skupia się na tych właśnie elementach mapy. Tymczasem stanowią one wprawdzie zasadniczą, lecz nie jedyną treść mapy lub bazy danych. Proces generalizacji jest procesem kompleksowym, w którym wobec wzajemnych zależności między obiektami generalizacja jednego obiektu w istotny sposób wpływa na generalizację innych, znajdujących się w jego otoczeniu. Poprawne prowadzenie procesu zakłada więc uwzględnienie jego kontekstowego charakteru. J. Gaffuri, C. Duchene i A. Ruas (2008) wskazują na istotne w automatycznej generalizacji relacje między dotychczas rozpatrywanymi, zasadniczymi elementami treści mapy (bazy danych), a więc drogami i zabudową a pozostałymi elementami (określonymi tutaj mianem elementów podkładowych), takimi jak rzeźba czy pokrycie terenu. Relacje między poszczególnymi obiektami opisane zostały w postaci modelu GAEL (*Generalisation based on Agents and ELasticity*), na który składają się obiekty stanowiące zasadniczą treść mapy lub



Ryc. 1. Relacje między obiektami zasadniczej i podkładowej treści mapy w modelu GAEL (wg J. Gaffuri i innych 2008)

Fig. 1. Relations among objects of the main and basic contents of the map in GAEL model (after J. Gaffuri et al. 2008)

bazy danych (np. drogi, zabudowa), elementy podkładowe (rzeźba, pokrycie terenu) oraz szereg łączących je relacji i warunków, związanych z procesem generalizacji (np. warunek minimalnej powierzchni, warunek zachowania kształtu itp.) (ryc. 1).

Model ten stanowi niejako uzupełnienie systemu agentowego (A. Ruas, C. Duchene 2007), w którym obiekty znajdujące się na mapie (np. drogi, budynki) modelowane są w postaci autonomicznych agentów. W modelu GAEL elementy podkładowe modelowane są w postaci elastycznych warstw związanych wzajemnymi zależnościami z obiektami stanowiącymi zasadniczą treść mapy. Model ten opracowano z myślą o badaniu i uwzględnieniu wpływu generalizacji zasadniczych elementów mapy na obiekty podkładowe. Na przykład generalizacja dróg ma automatycznie pociągać za sobą generalizację rzeźby terenu.

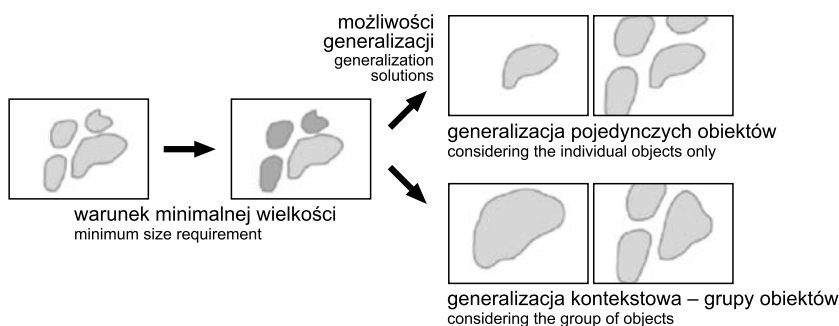
5.2. Kontekstowość procesu generalizacji

Przy manualnym opracowywaniu mapy kartograf kieruje się dwiema podstawowymi zasadami, tj. wyborem najważniejszej treści mapy, z punktu widzenia jej przeznaczenia oraz zachowaniem

na przykładzie procesu decyzyjnego, który towarzyszy generalizacji grupy jezior (ryc. 2).

Widoczne na rysunku cztery jeziora ze względu na zmianę skali muszą zostać poddane procesowi generalizacji. Trzy mniejsze jeziora są zbyt małe, a więc nie byłyby czytelne na mapie w skali docelowej.

Proces manualnej generalizacji tych obiektów, prowadzony przez doświadczonego kartografa, prawdopodobnie składałby się z trzech zasadniczych kroków. W pierwszym kroku kartograf analizując przedstawioną sytuację stwierdziłby konieczność generalizacji trzech mniejszych jezior, kierując się zasadą zachowania czytelności mapy docelowej. Wykorzystałby więc wiedzę geometryczną o analizowanych obiektach. Następnie stwierdziłby podobieństwo w położeniu i orientacji jezior – skutkowałoby to traktowaniem jezior jako grupy obiektów w procesie generalizacji. Krok ten, polegający na rozpoznawaniu struktury obiektów, prowadzi do zastosowania wiedzy strukturalnej w procesie generalizacji. Wreszcie w ostatnim kroku kartograf zastosowałby szereg czynności generalizacyjnych (selekcję, agregację lub przewiększenie), w celu otrzymania akceptowalnych graficznie rezultatów generalizacji grupy jezior.



Ryc. 2. Różne rozwiązania generalizacyjne grupy jezior z uwzględnieniem i pominięciem kontekstu mapy (wg S. Steinigera 2007)

Fig. 2. Various generalization solutions of a group of lakes, accounting for and ignoring the context (after S. Steiniger 2007)

charakterystycznych elementów, ze względu na specyfikę generalizowanego obszaru. Proces decyzyjny prowadzony przez doświadczonego kartografa jest więc procesem intuicyjnym i kompleksowym. Aby możliwa była automatyzacja tego procesu konieczne jest rozłożenie wiedzy kartograficznej na szereg czynności generalizacyjnych, możliwych do zastosowania w środowisku komputerowym. W swojej pracy doktorskiej S. Steiniger (2007) przeanalizował ten problem

Znajomość procedur generalizacyjnych i umiejętność poprawnego ich zastosowania nazywamy wiedzą proceduralną. Tak więc kartograf w trakcie procesu manualnej generalizacji analizuje i rozważa najpierw kontekst geograficzny danej sytuacji, generalizując nie rozpatruje pojedynczych obiektów, ale ich grupy, dąży do zachowania charakterystycznych cech obiektów geograficznych. W procesie decyzyjnym, jakim jest proces generalizacji, kartograf łączy wiedzę

strukturalną i proceduralną w celu otrzymania poprawnego wyniku generalizacji. W celu opracowania procedur automatycznej generalizacji map, czy też danych przestrzennych wiedza geometryczna, strukturalna i proceduralna kartografa musi zostać sformalizowana i zaimplementowana w środowisku komputerowym. Konieczne jest również opracowanie technik służących kontroli i optymalizacji procesu generalizacji.

5.3. Możliwości formalizacji wiedzy kartograficznej

Bardzo interesujące wydają się również badania dotyczące możliwości i ograniczeń systemów wspomagających automatyzację procesu generalizacji, prowadzone wspólnie przez kilka jednostek badawczych oraz instytucji administracyjnych, zajmujących się opracowywaniem oraz rozpowszechnianiem map i baz danych przestrzennych. Badania prowadzone są w ramach projektu EuroSDR (*European Spatial Data Research*) równoległe w czterech środowiskach programowych: ArcGIS, Genesys, Change/Push/Typify oraz Clarity i dotyczą map wielkoskalowych (ze skali 1:1250 jako skali źródłowej do skali 1:50 000 jako skali docelowej).

Głównym zadaniem omawianego projektu jest ocena i opis istniejącego stanu wiedzy kartograficznej zastosowanej w komercyjnych systemach GIS, z punktu widzenia stopnia jego formalizacji i poprawności w stosunku do istniejących instrukcji redagowania map. A więc ocena, na ile i z jakim skutkiem możliwa jest formalizacja wiedzy kartograficznej dla opracowań w skalach dużych oraz w jakim zakresie wybrane systemy komercyjne pozwalają na automatyzację procesu generalizacji map (J. Stoter 2008; D. Burghardt i inni 2007). Projekt ten jest w trakcie realizacji, jednak dotychczasowe wnioski wskazują na:

- potrzebę dalszego uściślenia zasad redakcji map w celu bardziej poprawnego wykorzystania wiedzy kartograficznej w systemach komputerowych;
- brak dostatecznie precyzyjnych narzędzi w systemach wspomagających generalizację w zakresie parametryzacji czynności generalizacyjnych, wykrywania i rozwiązywania konfliktów w trakcie i po generalizacji oraz brak narzędzi pozwalających na prowadzenie analiz kontekstowych, w których uwzględniane są całe obszary oraz grupy obiektów.

5.4. Generalizacja *on-line* i wieloreprezentacyjne bazy danych przestrzennych

Jednym z największych, ale i najtrudniejszych wyzwań w automatycznej generalizacji danych przestrzennych jest możliwość otrzymywania map o różnych skalach z jednej bazy danych, w czasie rzeczywistym. Jest kilka rozwiązań zmierzających do realizacji tego zadania. Jednym z nich jest przechowywanie na tyle dużej liczby map, aby różnice w zakresie poziomów szczegółowości były bardzo nieznaczne. Innym rozwiązaniem zaproponowanym przez L. Letho i T. Sarjakoski (2005) jest zastosowanie metod opartych na języku XML do przeprowadzenia prostych czynności generalizacyjnych.

W podejmowanych dotychczas próbach pozyskiwania danych o różnych stopniach szczegółowości w sposób w pełni automatyczny z jednej podstawowej bazy danych napotymano na trudności związane z przygotowaniem szeregu czynności generalizacyjnych w czasie rzeczywistym. Rozwiązanie kompromisowe między generalizacją interaktywną a generalizacją *on-line* zaproponowali C.B. Jones i inni (2000). Podejście to zakłada utrzymanie jednej wieloreprezentacyjnej bazy danych przestrzennych, w której gromadzone są informacje o największym stopniu szczegółowości dotyczące geometrii obiektów. Dane te połączone są z informacjami atrybutowymi, co po integracji z danymi geometrycznymi pozwala na wizualizację o określonym stopniu szczegółowości. Taka baza danych w połączeniu z oprogramowaniem pozwalającym na kontrolę zależności przestrzennych między generalizowanymi obiektami umożliwia otrzymywanie map w różnych skalach.

5.5. Opracowanie wspólnej platformy generalizacyjnej

W ostatnich latach przedmiotem zainteresowania kartografów jest zastosowanie technologii oraz usług internetowych w procesie opracowania, wizualizacji i generalizacji oraz udostępniania map i danych przestrzennych (M. Neun 2007; D. Burdhardt i inni 2005). W rezultacie mapy wyświetlane w Internecie generowane są w czasie rzeczywistym, a zakres niesionych przez nie informacji uzależniony jest od wymagań użytkownika. Budowa dynamicznych kartograficznych serwisów internetowych związana jest z opracowaniem procedur automatycznej generalizacji map. Nowe możliwości, a zarazem

nowe potrzeby w dziedzinie generalizacji danych przestrzennych znalazły swoje odzwierciedlenie w próbach opracowania wspólnej interoperacyjnej platformy generalizacyjnej (A. Edwardes i inni 2007). Pozwoliłoby to na testowanie i wymianę algorytmów generalizacyjnych, opracowywanych w formie usług internetowych przez różne jednostki badawcze.

Istotnym krokiem, zmierzającym do opracowania wspólnej platformy generalizacyjnej, są prace prowadzone na Uniwersytecie w Zurychu pod kierunkiem profesora R. Weibela, m. in. w ramach projektu badawczego DEGEN (*Data Enrichment for Adaptive Generalization*). Dotyczą one próby opisanie mapy (bazy danych) poprzez relacje między znajdującymi się na niej obiektami geograficznymi, wzbogacenia bazy danych o informację charakteryzującą te obiekty, a następnie jej wykorzystanie w procesie decyzyjnym przy generalizacji. W literaturze kartograficznej działania te określa się terminem wzbogacenia danych (*data enrichment*), a sam proces analizowania grup obiektów i relacji je wiążących, a więc kontekstu mapy nazywa się rozpoznawaniem struktur danych (*structure recognition*) (S. Steiniger, R. Weibel 2007; M. Bobzien i inni 2008). Terminem *adaptive generalization* określa się proces decyzyjny polegający na doborze odpowiedniego operatora do konkretnej grupy obiektów oraz odpowiednich wartości parametrów (warunków) do określonej sytuacji graficznej (M. Neun 2007). W ramach projektu DEGEN powstały dwie prace doktorskie: S. Steinigera (2007) oraz M. Neuna (2007). Celem pierwszej rozprawy była klasyfikacja, modelowanie oraz wykorzystanie relacji przestrzennych między obiektami w procesie generalizacji. Zamierzeniem drugiej pracy było zastosowanie danych i wiedzy związanej z relacjami zachodzącymi między nimi w interoperacyjnym środo-

wisku GIS. Efektem prowadzonych badań jest prototyp platformy generalizacyjnej opracowanej przez M. Neuna (<http://webgen.geo.uzh.ch/about.html>).

6. Podsumowanie

Podsumowując opisane wyzwania i aktualne problemy w zakresie automatycznej generalizacji danych przestrzennych należy zauważyć, że proces generalizacji nie jest obecnie postrzegany jedynie jako jeden z etapów produkcji map, lecz raczej jako jeden z jego najważniejszych elementów. Generalizacja komputerowa jest obecnie czymś więcej niż naśladowaniem manualnej pracy kartografa – jest modelowaniem przestrzeni geograficznej, uwzględniającym nie tylko geometrię, ale i zależności między generalizowanymi obiektami oraz ich specyfikę (W. Mackaness i inni 2007). W ciągu ostatnich dwudziestu lat generalizacja komputerowa zmieniła się z podejścia algorytmicznego, bazującego prawie wyłącznie na geometrii obiektów, na zaawansowany proces decyzyjny, prowadzony z wykorzystaniem najnowocześniejszych technologii i systemów GIS.

Przyszłość generalizacji automatycznej należy do ostatniego z wymienionych kierunków badawczych, a więc prób opracowania wspólnej platformy generalizacyjnej, w której algorytmy i warunki generalizacji będą funkcjonowały w formie usług internetowych. Do zalet takiego rozwiązania zaliczyć można interoperacyjność oraz dostępność usług niezależną od posiadanego sprzętu komputerowego (D. Burghardt i inni 2005). Wymaga ono jednak dalszych badań w zakresie formalizacji wiedzy kartograficznej, doskonalenia metod oceny wyników generalizacji, rozwoju usług i aplikacji internetowych oraz poprawy jakości danych przestrzennych.

Literatura

- Bader M., Barrault M., Weibel R., 2005, *Building displacement over a ductile truss*. „Intern. J. of Geogr. Inform. Science” Vol. 19, no. 8–9, s. 915–936.
- Barrault M., Regnauld N., Duchene C., Haire K., Baeijs C., Damazeau Y., Hardy P., Mackaness W., Ruas A., Weibel R., 2001, *Integrating multi-agent object-oriented and algorithmic techniques for improved automated map generalization*. W: *Proceedings of the XX International Cartographic Conference*. Pekin, Vol. 3, s. 2110–2116.
- Bell M., Neuffer D., Woodsford P., 2004, *Agent-based generalization – an update on progress*. „Kartogr. Nachr.” Jg. 54, H. 4, s. 170–177.
- Bobzien M., Burghardt D., Petzold I., Neun M., Weibel R., 2008, *Multi-representation databases with explicitly modeled horizontal, vertical and update relations*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 35, no. 1, s. 3–16.
- Borkowski A., Lipski R., 2006, *Realizacja operatora odsunięcia kartograficznego za pomocą aktywnych funkcji sklepanych – test metody*. „Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum” T. 5, nr 1–2, s. 3–15.
- Brassel K., 1985, *Strategies for data models for com-*

- puter-aided generalization*. „Intern. Yearb. of Cartography” Vol. 25, s. 11–29.
- Brassel K., Weibel R., 1988, *A review and conceptual framework of automated map generalization*. „Intern. J. of Geogr. Inform. Systems” Vol. 2, no. 3, s. 229–244.
- Burghardt D., Meier S., 1997, *Cartographic displacement using the snakes concept*. W: W. Foerstner, L. Pluemer (Eds.), *Semantic modeling for the acquisition of topographic information from images and maps*. Birkhauser, s. 59–71.
- Burghardt D., Neun M., Weibel R., 2005, *Generalization services on the web – classification and an initial prototype implementation*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 32, no. 4, s. 257–268.
- Burghardt D., Schmid S., Stoter J., 2007, *Investigations on cartographic constraint formalisation*. 10th Workshop on Generalisation and Multiple Representation, Moskwa.
- <http://aci.ign.fr/BDpubli/moscow2007/Burghardt-ICAWorkshop.pdf>
- Buttenfield B., McMaster R.B., 1991, *Map generalization: making rules for knowledge representation*. New York: Longman.
- Chrobak T., Keller S.F., Koziol K., Szostak M., Żukowska M., 2007, *Podstawy cyfrowej generalizacji kartograficznej*. Praca zbiorowa pod redakcją T. Chrobaka. Kraków: Wydawn. AGH.
- Duchene C., 2003, *Automated map generalisation using communicating agents*. W: *Proceedings of the XXI International Cartographic Conference*. Durban, płyta CD.
- Duchene C., 2004a, *The CartACom model: a generalization model for taking relational constraints into account*. W: *ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation*. Leicester.
- <http://aci.ign.fr/Leicester/paper/duchene-v2-ICAWorkshop.pdf>
- Duchene C., 2004b, *Generalisation cartographique par agents communicants: le modele CartACom*. Praca doktorska, Universite Paris 6 – Pierre et Marie Curie.
- Edwardes A., Burghardt D., Bobzien M., Harrie L., Reichenbacher T., Sester M., Weibel R., 2003, *Map generalization technology: addressing the need for a common research platform*. W: *Proceedings of the XXI International Cartographic Conference*. Durban, płyta CD.
- Edwardes A., Burghardt D., Neun M., 2007, *Experiments in building an open generalization system*. W: W.A. Mackaness, A. Ruas, L.T. Sarjakoski (Eds.), *Generalization of geographic information: cartographic modelling and applications*. Oxford: Elsevier, s. 161–175.
- Gaffuri J., Duchene C., Ruas A., 2008, *Object-field relationships modelling in an agent-based generalization model*. W: *ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation*. Montpellier.
- http://aci.ign.fr/montpellier2008/papers/16_Gaffuri_et_al.pdf
- Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., 2007, *GIS. Obszary zastosowań*. Warszawa: Wydawn. Naukowe PWN.
- Grunreich D., 1995, *Development of computer-assisted generalization*. W: J.C. Muller, J.P. Lagrange, R. Weibel (Eds.), *GIS and generalization: methodology and practice*. London: Taylor and Francis, s. 47–55.
- Harrie L.E., 2000, *The constraint method for solving spatial conflicts in cartographic generalization*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 26, no. 1, s. 55–69.
- Højholt P., 2000, *Solving space conflict in map generalization: using a finite element method*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 27, no. 1, s. 65–73.
- Iwaniak A., Paluszyński W., Żyszkowska W., 1998, *Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 30, nr 2, s. 79–88.
- Jones C.B., Abdelmoty A.I., Lonergan M.E., van der Poorten P., Zhou S., 2000, *Multi-scale spatial database design for online generalization*. W: *International Symposium on Spatial Data Handling*. Beijijng, 7b, s. 34–44.
- Lamy S., Ruas A., Demazeau Y., Jackson M., Mackaness W., Weibel R., 1999, *The application of Agents in automated map generalization*. W: *Proceedings of the 19st International Cartographic Conference*. Ottawa, płyta CD.
- Letho L., Sarjakoski T., 2005, *Real-time generalization of XML-encoded spatial data for the Web and mobile devices*. „Intern. J. of Geogr. Inform. Science” Vol. 19, nos. 8–9, s. 957–973.
- Luck M., 1997, *Foundations of multi-agent systems: issues and directions*. „Knowledge Engineering Review” Vol. 12, no. 3, s. 307–318.
- Mackaness W.A., Ruas A., Sarjakoski L.T., 2007, *Observations and research challenges in map generalization and multiple representation*. W: W.A. Mackaness, A. Ruas, L.T. Sarjakoski (Eds.), *Generalization of geographic information: cartographic modelling and applications*. Oxford: Elsevier, s. 315–323.
- McMaster R.B., Shea K.S., 1988, *Cartographic generalization in a digital environment: a framework implementation in a geographic information system*. W: *GIS/LIS 88' Proceedings*. San Antonio, Texas, s. 240–249.
- McMaster R.B., 1991, *Conceptual frameworks for geographical knowledge*. W: B.P. Buttenfield and R.B. McMaster (Eds.), *Map generalization: making rules for knowledge representation*. London: Longman, s. 21–39.
- Michalewicz Z., Fogel D.B., 2006, *Jak to rozwiązać, czyli nowoczesna heurystyka*. Warszawa: Wydawn. Naukowo-Techniczne.
- Morrison J., 1974, *A theoretical framework for cartographic generalization with emphasis on the process of symbolization*. „Intern. Yearb. of Cartography” Vol. 14, s. 15–127.
- Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartogra-*

- phy, 1973. ICA, Commission II. Wiesbaden: Franz Steiner Verl.
- Mustiere S., Duchene C., 2001, *Comparison of different approaches to combine road generalization algorithms: GALBE, AGENT and CartoLearn*. W: *ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*. Beijing.
http://ica.ign.fr/BDpubli/pbeijing2001/papers/mustiere_duchene_v1.pdf
- Neun M., 2007, *Data enrichment for adaptive map generalization using web services*. Praca doktorska, Eidgenossische Technische Hochschule, Zürich.
- Powitz B., 1992, *Computer-assisted generalization – an important software tool for GIS*. „Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing” Vol. 30, no. 4, s. 664–673.
- Ratajski L., 1967, *Phenomenes des points de generalization*. „Intern. Yearb. of Cartography” Vol. 7, s. 143–151.
- Ratajski L., 1973, *Rozważania o generalizacji kartograficznej, cz. II*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 5, nr 3, s. 103–110.
- Regnaud N., McMaster R.B., 2007, *A synoptic view of generalization operators*. W: W.A. Mackaness, A. Ruas, L.T. Sarjakoski (Eds.), *Generalization of geographic information: cartographic modelling and applications*. Oxford: Elsevier, s. 37–66.
- Robinson G., Lee F., 1994, *An automatic generalization system for large-scale topographic maps*. W: M. Worboys (Ed.), *Innovations in GIS*. London: Taylor and Francis, s. 53–64.
- Ruas A., 1999, *Modèle de generalisation de données géographiques a base de contraintes et d'autonomie*. Praca doktorska, Université de Marne la Vallée.
- Ruas A., Duchene C., 2007, *A prototype generalization system based on the multi-agent system paradigm*. W: W.A. Mackaness, A. Ruas i L.T. Sarjakoski (Eds), *Generalization of geographic information: cartographic modelling and applications*. Amsterdam: Elsevier, s. 269–284.
- Sabo M.N., Bedard Y., Moulin B., Bernier E., 2008, *Toward self-generalizing objects and on-the-fly map generalization*. „Cartographica” Vol. 43, no. 3, s. 155–173.
- Sarjakoski L.T., 2007, *Conceptual models of generalization and multiple representation*. W: W.A. Mackaness, A. Ruas, L.T. Sarjakoski (Eds.), *Generalization of geographic information: cartographic modelling and applications*. Oxford: Elsevier, s. 11–35.
- Sester M., 2000, *Generalization based on Least Square Adjustment*. „Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing” Vol. 33, s. 931–938.
- Steiniger S., Meier S., 2004, *Snakes: a technique for line smoothing and displacement in map generalization*. W: *ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation*. Leicester.
<http://aci.ign.fr/Leicester/paper/steiniger-v2-ICAWorkshop.pdf>
- Steiniger S., 2007, *Enabling pattern – aware automated map generalization*. Praca doktorska, Eidgenossische Technische Hochschule, Zürich.
- Steiniger S., Weibel R., 2007, *Relations among map objects in cartographic generalization*. „Cartography and Geogr. Inform. Science” Vol. 34, no. 3, s. 175–197.
- Stoter J., 2008, *A study on the state-of-the-art in automated map generalization implemented in commercial out-of-the-box software*. W: *ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation*. Montpellier.
http://aci.ign.fr/montpellier2008/papers/13_Stoter_et_al.pdf
- Ware J.M., Jones C.B., 1998, *Conflict reduction in map generalization using iterative improvement*. „Geoinformatica” Vol. 2, no. 4, s. 383–407.
- Ware J.M., Jones C.B., 2005, *Map generalization in the web age*. „Intern. J. of Geogr. Inform. Science” Vol. 17, no. 8, s. 743–769.
- Ware J.M., Jones C.B., Thomas N., 2003, *Automated cartographic map generalization with multiple operators: a simulated annealing approach*. „Intern. J. of Geogr. Inform. Science” Vol. 19, nos. 8–9, s. 859–870.
- Weibel R., Keller S., Reichenbacher T., 1995, *Overcoming the knowledge acquisition bottleneck in map generalization: the role of interactive systems and computational intelligence*. Lecture Notes in Computer Science (COSIT '95), Berlin: Springer-Verlag, Vol. 988, s. 139–156.

Recenzował
 prof. dr hab. Artur Magnuszewski

Current problems of automatic generalization of spatial data

Summary

Keywords: automation of the generalization process, conceptual models, spatial data

Generalization is one of basic features of cartographic presentation. According to the International Cartographic Association generalization is a selection and simplification of geographic information to fit the map's scale and purpose.

In the 80s and 90s the research on automation of the generalization process focused on two major issues: development of new generalization algorithms and acquisition and application of cartographic knowledge, e.g. in the form of rules in expert systems. Nowadays research concentrates firstly on more comprehensive generalization algorithms, accounting for a series of

factors and spatial relations between objects, and secondly on more advanced generalization techniques, e.g. multi agent systems. Dynamic development of research on generalization automation raised the requirements for the already existing or currently developed systems supporting the process of generalization. The research focuses on:

- acquisition of cartographic knowledge in order to identify the rules which govern the process of generalization,
- formalization of the rules of generalization,
- development of generalization models,
- development of more comprehensive tools for spatial analysis and new generalization algorithms,
- modeling of geographic space in the form of object-oriented structures, with fuller geometric and topologic features of spatial data,
- attempts to apply algorithms and data structures which support the process of cartographic generalization (e.g. application of Delauney's triangulation in the

process of building relocation),

- elaboration of multi-representational spatial databases, enabling the user to visualize data from one base on different levels of detail,
- possibility to apply the available generalization algorithms in a selected software environment in order to experiment with the application sequence and harmonization.

The article discusses basic assumptions of the process of spatial data generalization. More important conceptual models of generalization and methods of optimization and control of the process are characterized. Current problems and research directions are presented, with special attention being paid to: contextual aspects of the generalization process, on-line generalization, multi-presentational spatial databases, comprehensive character of the process, possibility to formalize cartographic knowledge and development of a common generalization platform.

Translated by M. Horodyski