

MODELOWANIE PROCESU GENERALIZACJI^{1,2}

Izabela Karsznia

Uniwersytet Warszawski

Streszczenie. Automatyczna generalizacja danych przestrzennych była i jest celem badań wielu ośrodków naukowych na świecie. Niestety, ani obecny stan wiedzy, ani też istniejąca technologia nie pozwalają tego celu w pełni zrealizować. Jednym z czynników utrudniających automatyczną generalizację danych przestrzennych jest złożoność, kompleksowość samego procesu. W odpowiedzi na ten problem podejmowane są próby usystematyzowania czynności, składających się na proces generalizacji, w postaci modelu.

Autorka charakteryzuje istniejące typy modelowania procesu generalizacji, podejmuje próbę generalizacji wybranych elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych, w trybie półautomatycznym w środowisku DynaGEN oraz opisuje koncepcję modelowania warunkowego w środowisku Clarity.

Słowa kluczowe: automatyzacja generalizacji danych przestrzennych, Baza Danych Ogólnogeograficznych, modelowanie procesu generalizacji

WSTĘP

Na kompleksowość i potrzebę automatyzacji procesu generalizacji wskazywało wielu kartografów. Sydow zaliczył generalizację do jednego z najbardziej skomplikowanych zadań kartografii, umieszczając ją w gronie trzech „raf” obok przedstawiania na płaszczynie sferoidalnej powierzchni Ziemi oraz przedstawiania nierówności powierzchni Ziemi, a więc jej rzeźby [Pawlak 1971].

Jednym z czynników utrudniających automatyczną generalizację danych przestrzennych jest złożoność, kompleksowość samego procesu. W odpowiedzi na ten problem podejmowane są próby usystematyzowania czynności składających się na proces generalizacji w postaci modelu.

¹ Inspiracją do napisania artykułu był wykład prof. R. Weibla „Modelling the generalization process”, wygłoszony podczas warsztatów dotyczących automatyzacji generalizacji danych przestrzennych w Hiszpanii, w lipcu 2005 r.

² Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy nr N N306 3005 33.

Modele generalizacji ujmują proces generalizacji w sposób ogólny, wskazując na jego podstawowe elementy oraz relacje między nimi [Iwaniak 1998]. Pierwsze modelowe ujęcia pojawiły się w latach 70. i 80. [Ratajski 1967, 1973, Morrison 1974], gdy nie było jeszcze potrzeby ujmowania tego procesu z punktu widzenia zastosowań komputerowych. W latach 80. opracowano kilka modeli uwzględniających potrzeby systemów komputerowych [Brassel 1985].

Opracowanie modelu generalizacji ma na celu rozłożenie procesu na szereg tzw. operatorów generalizacji (np. operator upraszczania czy agregacji), które implementowane są w postaci algorytmów, a kontrolowane przez kilka parametrów (np. minimalna powierzchnia czy maksymalna długość). Usystematyzowanie poszczególnych czynności generalizacyjnych w postaci modelu oraz przypisanie im odpowiednich operatorów generalizacji ma na celu kontrolę procesu.

Autorzy jednego z popularnych modeli generalizacji, wykorzystanego między innymi w systemie wspomagającym automatyzację generalizacji DynaGEN, profesorowie McMaster i Shea proponują sprowadzenie procesu generalizacji do odpowiedzi na trzy zasadnicze pytania:

- „Kiedy generalizować”? – W przypadku kiedy jednocześnie ze zmniejszaniem skali mapy zmniejsza się jej czytelność.
- „Po co generalizować”? – W celu zredukowania złożoności mapy oraz wziąć pod uwagę jej przeznaczenie.
- „Jak generalizować”? – A więc przypisanie czynności generalizacyjnej odpowiedniego algorytmu, ułożenie czynności generalizacyjnych w odpowiedniej sekwencji (w zależności od ich wagi), ustalenie odpowiednich wartości parametrów, przypisanych poszczególnym algorytmom generalizacji (na podstawie instrukcji generalizacji w danej skali, jeśli taka została opracowana lub za pomocą zasad metodycznych opisanych w literaturze) oraz ocena wyników generalizacji i ewentualnie kolejne przybliżenie (iteracja) procesu.

Można więc powiedzieć, że modelowanie procesu generalizacji jest tożsame z jego kontrolą.

Wyróżniamy trzy podstawowe sposoby modelowania procesu generalizacji:

- Interaktywny – proces generalizacji jest całkowicie pod kontrolą operatora.
- Półautomatyczny – te czynności generalizacyjne, które można wykonać automatycznie, są wykonywane w trybie automatycznym, a pozostałe elementy w trybie interaktywnym.
- Automatyczny – jeśli satysfakcjonujące rozwiązanie (efekt generalizacji) możemy osiągnąć bez udziału operatora.

W pewnych zadaniach generalizacyjnych system wspomagający automatyzację generalizacji jest niezbędny, gdyż działa szybciej i skuteczniej niż operator wykonujący te same zadania manualnie. W dalszym ciągu jednak pełna automatyzacja procesu generalizacji nie jest możliwa. Aby osiągnąć pełną automatyzację, należałoby wyposażać system generalizacyjny w cechy właściwe tylko człowiekowi, jak zdolność abstrakcyjnego myślenia, przewidywania potrzeby generalizacji, dobór operatorów odpowiednio do danej czynności generalizacyjnej i ułożenie ich we właściwej, z punktu widzenia metodyki generalizacji, sekwencji oraz zdolność oceny poprawności wyniku generalizacji. System generalizacyjny musiałby więc zostać wyposażony w tzw. wiedzę strukturalną.

W związku z powyższym automatyzacja pewnych czynności generalizacyjnych jest możliwa tylko wówczas, gdy wiedza metodyczna potrzebna do kontrolowania procesu generalizacji może zostać sformalizowana. Jeśli nie jest to możliwe, kontrolę nad prowadzeniem procesu generalizacji musi przejąć kartograf.

CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest przypisanie odpowiedniej ilości informacji danemu poziomowi szczegółowości, a w rezultacie próba opracowania podstaw metodycznych generalizacji BDO. Realizowany eksperyment jest niezwykle istotny z punktu widzenia budowy infrastruktury danych przestrzennych w naszym kraju [Chybicka 2004]. Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystano system wspomagający automatyzację generalizacji DynaGEN.

Zakres opracowania obejmuje próbę automatyzacji generalizacji warstw tematycznych – sieci dróg oraz osadnictwa – dla obszaru województwa dolnośląskiego. Badania te są kontynuacją wcześniejszych prac generalizacyjnych związanych z określeniem możliwości generalizacji baz danych przestrzennych [Chybicka, Iwaniak, Ostrowski 2004].

METODY MODELOWANIA PROCESU GENERALIZACJI

Do połowy lat 80. próby automatycznej generalizacji wykonywano w trybie wsadowym. Proces generalizacji prowadzony był bez ingerencji operatora, a czynności generalizacyjne modelowane w postaci sekwencyjnie ułożonych łańcuchów operacji.

W końcu lat 80. zajęto się modelowaniem, stosując reguły „jeśli...to”. Ta metoda modelowania zostanie szczegółowo scharakteryzowana w dalszej części artykułu.

Żadna jednak z wymienionych metod modelowania nie pozwoliła na pełną automatyzację procesu generalizacji, w obu przypadkach niezbędne okazały się manualne poprawki operatora. Dlatego też na początku lat 90. skłaniano się raczej ku modelowaniu interaktywnemu prowadzonemu w środowisku komputerowym, z udziałem i pod kontrolą operatora. Modelowanie interaktywne stosowane jest do dziś – pomocniczo po wykonaniu generalizacji w trybie automatycznym.

Przełom w próbach automatyzacji generalizacji przyniosły późne lata 90. Pojawiły się wówczas próby automatycznej generalizacji danych przestrzennych za pomocą elementów sztucznej inteligencji, czyli tzw. modelowanie warunkowe.

Modelowanie procesu za pomocą reguł „jeśli...to”

W modelowaniu za pomocą reguł można wyróżnić dwa zasadnicze etapy:

- Rozpoznanie struktury danych, a więc klasyfikacja obiektów i relacji między nimi.
- Wykonanie czynności generalizacyjnej, zastosowanie poszczególnych algorytmów generalizacji do czynności generalizacyjnych.

Przed przystąpieniem do procesu generalizacji operator opracowuje tzw. bazę wiedzy, w której gromadzone są reguły dotyczące przebiegu poszczególnych czynności generalizacyjnych.

Omawianą metodę modelowania wykorzystywano do kontroli procesu generalizacji w systemach ekspertowych w latach 80. Przykładem implementacji jest system Nickerzona [1988] czy Schylberga [1993].

Podstawę modelowania regułowego stanowi baza wiedzy składająca się z reguł rządzących procesem generalizacji, a opracowywana na podstawie wskazówek metodycznych zawartych w literaturze bądź instrukcjach redakcji map w odpowiednich skalach. Metodyka generalizacji jest więc przekładana na język komputera, a następnie implementowana w środowisku GIS, w systemie wspomagającym automatyczną generalizację danych przestrzennych.

Zalety modelowania regułowego obejmują:

- Możliwość kontroli wykonywanych czynności generalizacyjnych (definiowania reguł, a więc opracowywania bazy wiedzy).
- Możliwość wykonania wielu prób (iteracji) poszczególnych czynności generalizacyjnych.

Do ograniczeń tej metody zaliczyć można:

- Konieczność formalizacji zasad generalizacji w celu opracowania bazy wiedzy (zbioru reguł), co, zważywszy na niejednokrotnie intuicyjny charakter metodyki kartograficznej, może być zadaniem skomplikowanym.
- Ze względu na złożoność generalizacji opracowanie samych reguł jest niewystarczające, pozwalają one bowiem w pewnym stopniu kontrolować przebieg procesu, ale nie uwzględniają wagi poszczególnych czynności generalizacyjnych (a więc kolejności ich wykonywania) oraz oceny wyników generalizacji.

Modelowanie półautomatyczne

Modelowanie półautomatyczne polega na współdziałaniu operatora oraz systemu wspomagającego automatyczną generalizację danych przestrzennych. Czynności generalizacyjne, które mogą być w pełni sformalizowane, wykonywane są w środowisku komputerowym, w trybie automatycznym, zadaniem zaś operatora jest kontrola przebiegu procesu oraz manualne poprawki wyników generalizacji, wykonywane w trybie interaktywnym.

Przykładem komercyjnych, półautomatycznych systemów wspomagających automatyczną generalizację danych przestrzennych są: środowisko DynaGEN firmy Intergraph, ArcGIS firmy ESRI oraz LAMPS2 firmy I Spatial. W wymienionych systemach kartograf ma do dyspozycji szeroki zakres operatorów generalizacji, które może przypisywać odpowiednim czynnościom generalizacyjnym.

Wadą tego typu systemów jest jednak fakt, iż dostępne w nich operatory generalizacji służą do generalizacji pojedynczych obiektów, nie mają więc charakteru kontekstowego. Do zalet zaliczyć można interaktywną kontrolę wartości parametrów przypisywanych poszczególnym algorytmom generalizacji oraz możliwość sprawdzenia poprawności działania zaimplementowanej sekwencji operatorów i parametrów generalizacji na fragmencie danych, by następnie powtórzyć proces dla całego opracowania.

Modelowanie półautomatyczne z wykorzystaniem elementów wzmocnionej inteligencji

Koncepcję „wzmocnionej inteligencji” (*“amplified intelligence”*) w środowisku wspomagającym generalizację danych przestrzennych zaproponował Weibel [1991]. Jest to strategia pośrednia między systemami ekspertowymi a algorytmicznymi. Kartograf ini-

kuje, kontroluje i ocenia te funkcje systemu, które wykonywane są w trybie automatycznym. Interaktywny tryb pracy umożliwia akceptację lub rezygnację z danego rozwiązania oraz dobór innych operatorów czy parametrów do poszczególnych czynności generalizacyjnych. System wspomagający automatyzację generalizacji danych przestrzennych, w którym zaimplementowano podejście wzmocnionej inteligencji, umożliwia wykonywanie operacji na wysokim poziomie konceptualnym (np. „połącz wybrane budynki”), dzięki czemu praca kartografa polega raczej na kontroli procesu generalizacji i podejmowaniu decyzji niż szczegółowej redakcji mapy [Iwaniak 1997].

Zaletą tego typu modelowania jest fakt, że w systemie wzmocnionej inteligencji wychwycone zostają powstałe konflikty ze wskazaniem możliwych rozwiązań, nadal jednak ostateczną decyzję pozostawiając w rękach operatora. Do wad zaliczyć można brak algorytmów uwzględniających kontekst obiektów, metod automatycznego rozpoznawania ich struktury oraz fakt, że w dalszym ciągu poprawność wyników generalizacji uzależniona jest w dużej mierze od doświadczenia i umiejętności operatora systemu.

Modelowanie warunkowe

Autorzy modelowania warunkowego zakładają, że zgeneralizowana mapa powinna spełniać kilka warunków. Stanowią one pewnego rodzaju ograniczenia w procesie generalizacji, który powinien polegać na znalezieniu optymalnego rozwiązania przy jednoczesnym uwzględnieniu zadanych warunków w jak największym stopniu.

Dobłą ilustracją modelowania warunkowego są warunki (ograniczenia) dla budynków. Ruas [1999] wyróżnia cztery podstawowe warunki, które powinny spełniać budynki:

- Warunek minimalnej wielkości – tak aby budynek był czytelny. Warunek ten uzależniony jest od skali mapy po generalizacji oraz wielkości symboli, określonych w instrukcjach redakcji map.
- Warunek minimalnej szerokości budynku – zależny od czytelności.
- Warunek zachowania położenia budynku – po generalizacji położenie budynku powinno być zachowane na tyle, na ile to możliwe.
- Warunek zachowania orientacji budynku – orientacja budynku nie powinna po generalizacji ulec zmianie.
- Inne warunki.

Różnica między modelowaniem za pomocą reguł „jeśli...to” a modelowaniem warunkowym polega na tym, że w pierwszym typie modelowania reguły rządzą przebiegiem procesu, a w drugim warunki (ograniczenia) wskazują, jaki ma być jego rezultat. W modelowaniu regułowym każdy warunek przypisany jest określonej czynności generalizacyjnej („jeśli...to”), warunkowym przebiegiem procesu generalizacji rządzi zespół warunków, które mają być spełnione w jak największym stopniu, mniej istotna jest metoda, przy zastosowaniu której zostaną zrealizowane.

Użycie warunków (ograniczeń) w procesie generalizacji danych przestrzennych możliwe jest tylko wówczas, gdy można je sformalizować, a więc zmierzyć (np. wymiar budynku pod kątem jego powierzchni). Miary te natomiast muszą mieć określone wartości brzegowe, tak by możliwa była ocena poprawności wyniku generalizacji. Nałożenie na jedną warstwę obiektów (np. budynki) wielu warunków powoduje, że czasem mogą powstawać sytuacje konfliktowe. Wówczas zadaniem systemu wspomagającego proces generalizacji jest wybór i wskazanie operatorowi optymalnego rozwiązania. W kolejnych rozdziałach opisano metody optymalizacji generalizacji danych przestrzennych.

Modelowanie za pomocą „agentów”

Obecnie najbardziej zaawansowanym systemem do wspomagania generalizacji map jest system Clarity, którego opracowanie jest rezultatem badań prowadzonych w ramach europejskiego projektu „AGENT”. Projekt ten był częścią programu badawczego ESPRIT. Badania nad prototypem systemu prowadzone były w latach 1997–2000 przez jednostki naukowe: Krajowy Instytut Geograficzny oraz Instytut Geograficzny Politechniki w Grenoble (Francja), Uniwersytet w Edynburgu, Uniwersytet w Zurychu oraz firmę komercyjną Laser-Scan [ISpatial] z Wielkiej Brytanii. Celem badań było opracowanie systemu GIS zawierającego szeroki wybór narzędzi i mechanizmów do automatycznej generalizacji danych przestrzennych.

Integralną częścią procesu generalizacji jest dobór treści do poszczególnych poziomów szczegółowości i sposób jej prezentacji, a więc redakcja mapy [Lamy i in. 1999]. Na proces redakcji składa się szereg decyzji podejmowanych przez kartografa.

Autorzy koncepcji projektu „AGENT” dzielą proces redakcji na trzy zasadnicze etapy:

- Analiza mapy.
- Synteza – projektowanie rozwiązań graficznych.
- Ocena – wybór i ocena rozwiązania.

Kartograf osiąga zamierzony efekt redakcyjny intuicyjnie, dzięki zdobytej wiedzy i doświadczeniu. W środowisku komputerowym ze względu na dużą liczbę możliwych rozwiązań, implementacji różnych narzędzi generalizacyjnych, różnej sekwencji czynności generalizacyjnych, które wywołują określone rezultaty, każda decyzja musi być kontrolowana przez kartografa, podporządkowana nadrzędnemu celowi. Obok zachowania zależności topologicznych między obiektami celem generalizacji kartograficznej jest:

- Zachowanie odpowiedniej czytelności mapy w danej skali (zdefiniowanej jako minimalna odległość między obiektami, minimalna powierzchnia zajmowana przez obiekt lub sygnaturę).
- Zachowanie kształtów i położenia obiektów.
- Zachowanie poziomu szczegółowości odpowiadającego skali opracowania.
- Uwzględnienie kontekstu mapy – nie można generalizować pojedynczego obiektu w oderwaniu od pozostałych elementów mapy, należy brać pod uwagę grupy obiektów jako całość. Generalizacja wymaga kontekstowego (uwzględnienie sąsiedztwa i interakcji między obiektami) oraz kompleksowego podejścia.
- Podejście obiektowo-zorientowane – 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 albo zmiany przez zastosowanie innej czynności generalizacyjnej lub innych wartości parametrów generalizacji [Bell i in. 2004].

Właśnie wyżej wymienione założenia dały początek koncepcji, a następnie próbom implementacji systemu „AGENT” w środowisku Clarity.

Optymalizacja z użyciem metod kombinatoryki

Metoda ta pozwala generować różne rozwiązania i rozwijać je w odniesieniu do przyjętych kryteriów. Możliwe opcje rozwiązań opracowywane są w postaci różnych kombi-

nacji (sekwencji) algorytmów lub/i parametrów im odpowiadających. Metody związane z kombinatoryką (np. metoda poszukiwania wartości gradientów, metoda symulacyjna „simulated annealing” czy algorytmy genetyczne) stosowane są od lat 80. np. w umieszczaniu tekstów na mapach [Ware, Jones 1998]. Najbardziej popularną, w odniesieniu do zadań kartograficznych, jest metoda „simulated annealing”.

Optymalizacja ciągła

Głównym założeniem tej metody jest znalezienie minimalnej lub maksymalnej wartości funkcji obiektywnej, zdefiniowanej w przestrzeni ciągłej. Wykorzystanie tej metody do generalizacji danych przestrzennych zakłada wykonanie pewnych kroków:

- Zdefiniowanie warunków (ograniczeń) generalizowanej mapy.
- Przełożenie tych warunków na funkcje (miary).
- Sformułowanie funkcji obiektywnej za pomocą miar.
- Znalezienie minimum funkcji obiektywnej przy użyciu technik matematycznych.
- Generalizacja mapy – optymalizacja zadania.

Metody optymalizacji ciągłej znane w literaturze kartograficznej to:

- Metoda najmniejszych kwadratów [Harrie 1999, Sester 2000].
- Metoda elementów skończonych [Hojholt 2000].
- Metoda „Snakes” [Burghardt, Meier 1997, Bader 2001, Borkowski 2006].
- Metoda „Elastic beams” [Bader 2001].

PRÓBA AUTOMATYZACJI GENERALIZACJI WYBRANYCH ELEMENTÓW BAZY DANYCH OGÓLNOGEOGRAFICZNYCH [BDO] W ŚRODOWISKU DYNAGEN

Badania dotyczące generalizacji opracowań w skalach dużych z wykorzystaniem systemu DynaGEN dają obiecujące rezultaty. Interesującym zadaniem wydaje się więc próba sprawdzenia, na ile poznane środowisko badawcze oraz zdobyte doświadczenia w zakresie generalizacji danych wielkoskalowych można przenieść na grunt generalizacji opracowań w skalach przeglądowych.

Podjęte badania mają na celu ocenę systemu DynaGEN, pod kątem jego wykorzystania do generalizacji danych przestrzennych małoskalowych oraz wskazanie ograniczeń, możliwości i potrzeb w zakresie rozbudowy systemu o dodatkowe narzędzia analiz przestrzennych.

Metodyka badań

Operacje wchodzące w skład procesu generalizacji można klasyfikować w różny sposób. Autorka podziela zasadność wyodrębnienia dwóch etapów procesu generalizacji: generalizację modelu danych oraz generalizację kartograficzną wg Bella i in. [2004].

Generalizacja modelu pozwala na redukcję ilości danych w stosunku do zakładanego poziomu szczegółowości. Obejmuje ona następujące czynności:

- selekcję całych klas obiektów;
- wybór podzbioru obiektów z danej klasy na podstawie warunków atrybutowych i przestrzennych;
- zmiany typu geometrii obiektu (sposobu ujęcia, a co za tym idzie, metody prezentacji obiektu);
- upraszczanie geometrii.

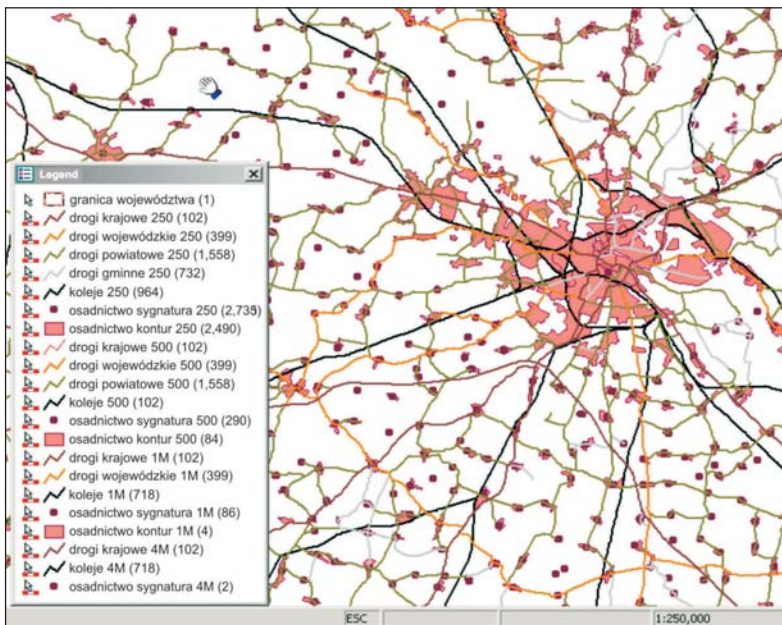
Rolą generalizacji kartograficznej jako kolejnego etapu po generalizacji modelu danych jest osiągnięcie optymalnej czytelności mapy w danej skali, z punktu widzenia celu jej opracowywania. Generalizacja kartograficzna obejmuje następujące procesy:

- Zastosowanie odpowiedniej symboliki dla danych.
- Przesuwanie obiektów, agregacja, zmiana wymiaru obiektów.

Badania dotyczyły przede wszystkim pierwszego etapu procesu generalizacji, związanego z generalizacją modelu danych. Dobór treści dla wizualizacji w poszczególnych stopniach szczegółowości wykonano na podstawie analizy istniejących map ogólnogeograficznych oraz wywiadów z ekspertami w zakresie generalizacji. Dobór treści do wizualizacji w każdej ze skal (1:500 000, 1:1000 000 oraz 1:4 000 000) obejmował wykonanie analiz przestrzennych i atrybutowych w systemie GeoMedia. Operacje związane z upraszczaniem i wygładzaniem obiektów wykonano w systemie DynaGEN. Proces ten obejmował wybór dróg, uproszczenie i wygładzenie ich przebiegu oraz agregację i uproszczenie konturów zabudowy. Dokładny opis tego eksperymentu znajduje się w artykule Chybickiej [2005].

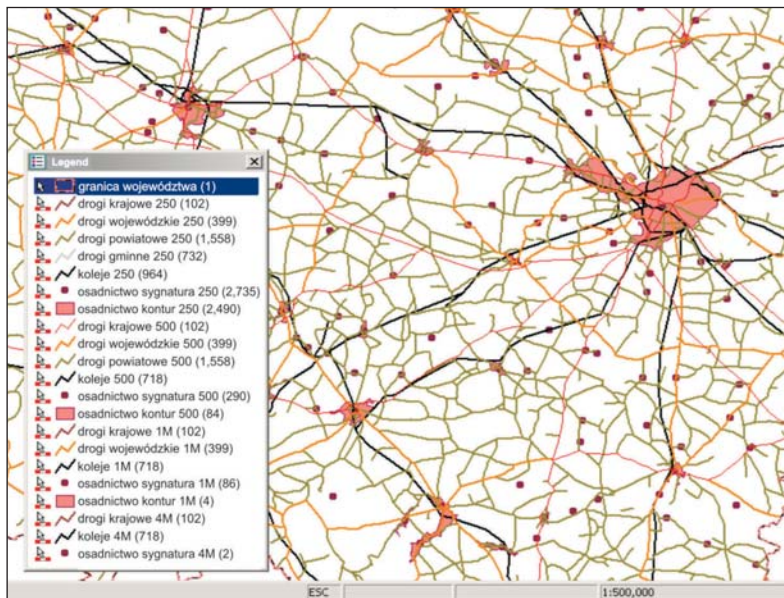
Wyniki generalizacji. Ograniczenia i problemy

Wizualizację zgeneralizowanych danych opracowano w systemie GeoMedia. Wyniki generalizacji dla poszczególnych poziomów szczegółowości widoczne są na rycinach 1 (BDO w skali 1:250 000), 2 (BDO w skali 1:500 000), 3 (skala 1:1000 000) oraz 4 (BDO w skali 1:4 000 000).



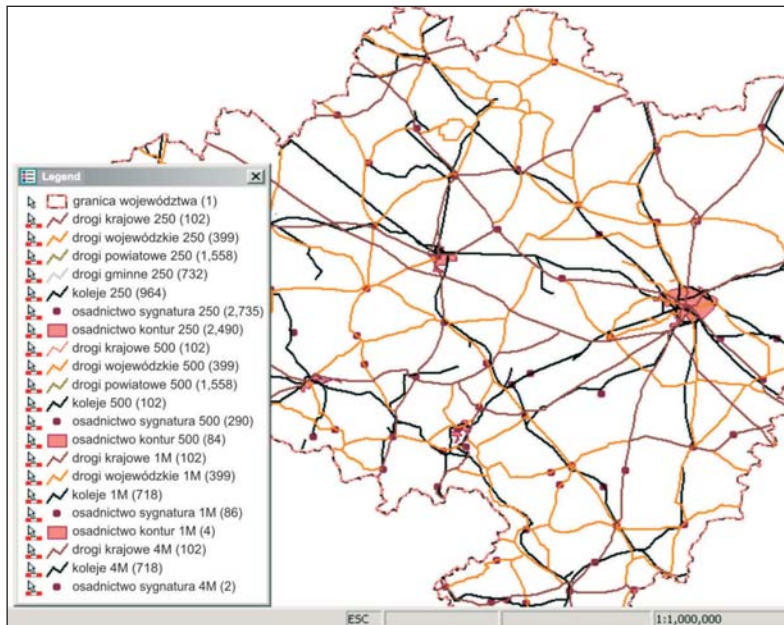
Ryc. 1. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:250 000

Fig. 1. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:250 000



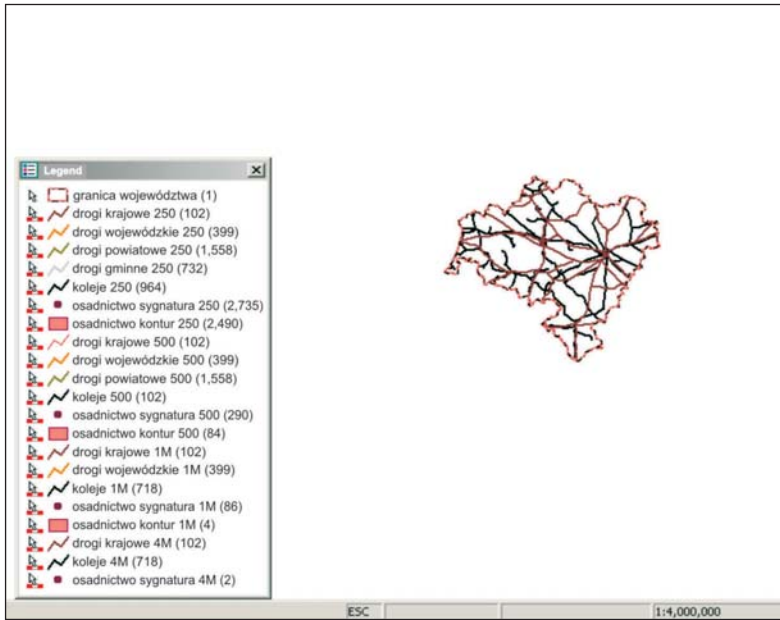
Ryc. 2. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:500 000

Fig. 2. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:500 000



Ryc. 3. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:1000 000

Fig. 3. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:1000 000



Ryc. 4. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:4000 000

Fig. 4. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:4000 000

Przeprowadzony eksperyment pozwala na wyciągnięcie kilku wniosków:

- Generalizacja w skalach małych – przeglądowych jest procesem subiektywnym, intuicyjnym. Decyzje w zakresie podstawowych czynności generalizacyjnych zależą w znacznej mierze od wiedzy i praktyki kartograficznej osoby wykonującej mapę. Ze względu na charakter tego procesu nie istnieją instrukcje redakcyjne czy generalizacji map przeglądowych w tak dokładnej i sformalizowanej formie jak dla skal większych, znacznie utrudnia to automatyzację procesu.
- Specyficzny charakter procesu generalizacji map w skalach małych wymaga niejednokrotnie różnych rozwiązań tego samego problemu, w zależności od otoczenia i kontekstu obiektów.
- Podczas wykonywania eksperymentu napotkano trudności w implementacji zasad generalizacji. Utrudnienia te związane były z brakiem wystarczająco precyzyjnych narzędzi analiz przestrzennych, co w przyszłości należałoby udoskonalić przez opracowywanie własnych narzędzi dostosowanych do konkretnych przypadków graficznych.

KONCEPCJA AUTOMATYZACJI GENERALIZACJI WYBRANYCH ELEMENTÓW BAZY DANYCH OGÓLNOGEOGRAFICZNYCH W ŚRODOWISKU CLARITY

Jak już wspomniano, najbardziej zaawansowanym systemem wspomagającym prowadzenie procesu generalizacji jest system Clarity. W środowisku tym obiekty znajdujące się na mapie (np. drogi, budynki, miasta) modelowane są w postaci autonomicznych agentów, które potrafią komunikować się z innymi agentami, ocenić swój stan (efekt) po generalizacji oraz podejmować decyzje, dotyczące poszczególnych czynności generalizacyjnych. Struktura modelu agentowego jest hierarchiczna. Pojedyncze obiekty (np. budynki) modelowane są w postaci mikroagentów, a grupy obiektów w postaci mezoagentów (np. miasta).

Oczywiście takie autonomiczne obiekty muszą skądś czerpać wiedzę metodyczną, potrzebną do poprawnego prowadzenia procesu generalizacji. Dlatego operator systemu dostarcza tzw. wiedzę strukturalnej, implementując w środowisku Clarity instrukcje redakcji lub wiedzę metodyczną, potrzebną do poprawnego wykonania poszczególnych czynności generalizacyjnych, w postaci tzw. celów agentów [Ruas 1999]. Dodatkowo operator implementuje w środowisku wspomagającym generalizację, tzw. warunki (ograniczenia). Są to funkcje opisujące wymagane wartości charakteryzujące obiekt (np. wymiar, powierzchnia), zależności między dwoma obiektami (np. odległość) lub dotyczące grupy obiektów (np. gęstość). Jeżeli agent nie spełnił swojego zadania (celu), system proponuje inne jego rozwiązanie (np. zmiana zastosowanego do danej czynności generalizacyjnej algorytmu).

Do zalet tego typu modelowania zaliczyć można fakt, że grupy obiektów modelowane są w postaci specyficznych agentów (mezoagentów), możliwe jest więc wykonywanie operacji kontekstowych (np. przemieszczenie, usunięcie obiektu). Traktowanie obiektów jako autonomicznych jednostek (agentów) pozwala na przeprowadzenie generalizacji wariantowej z uwzględnieniem specyfiki poszczególnych obiektów, jak również otaczającego je środowiska. Było to możliwe dzięki zastosowaniu unikalnej technologii obiektowej, w której sposób generalizacji każdego obiektu rozpatrywany jest indywidualnie, w zależności od jego sąsiedztwa i sytuacji graficznej [Chybicka 2002]. Pojawiające się zaś sytuacje konfliktowe rozwiązywane są lokalnie. Co więcej, środowisko Clarity stanowi system otwarty, mamy więc możliwość implementacji własnych narzędzi analiz przestrzennych oraz nowych algorytmów generalizacyjnych.

Dotychczasowe badania możliwości automatycznej generalizacji danych przestrzennych, prowadzone przez wiele jednostek naukowych na świecie, dotyczyły głównie opracowań wielkoskalowych. Przyczyny takiego stanu rzeczy należy upatrywać w tym, iż większość krajowych baz danych przestrzennych opracowywana jest w skalach dużych, dla których istnieją sformalizowane instrukcje redakcji map. Prowadzone przez autorkę badania, dotyczące automatyzacji generalizacji map wielkoskalowych [Chybicka, Iwaniak, Ostrowski 2004, Chybicka, Iwaniak, Ostrowski, Paluszyński 2004, Chybicka, Iwaniak, Ostrowski 2005] i małoskalowych [Chybicka 2005, Chybicka, Iwaniak 2005] w systemie DynaGEN, dawały rezultaty zadowalające, aczkolwiek wykazały pewne ograniczenia istniejących systemów geoinformatycznych, powodujące konieczność wykonywania procesu w trybie interaktywnym na niewielkich obszarach albo w trybie automatycznym, lecz z koniecznością wykonywania poprawek manualnych.

Ze względu na nowe możliwości generalizacyjne środowiska Clarity, w stosunku do systemu DynaGEN, interesującym zadaniem badawczym wydaje się podjęcie próby automatycznej generalizacji elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych w tym systemie. Autorka zamierza przeprowadzić praktyczną weryfikację zasad generalizacji, przyjętych w trakcie studiów poznawczych BDO, w środowisku Clarity. Korzystając z zaawansowanych funkcji tego systemu, wykonanych zostanie szereg praktycznych eksperymentów, których kluczowym zadaniem będzie sprawdzenie poprawności przyjętego zbioru reguł i algorytmów stanowiących treść tzw. „bazy wiedzy” oraz możliwości generalizacji opracowań małoskalowych w środowisku *Clarity*.

PODSUMOWANIE

W artykule scharakteryzowano najpopularniejsze metody modelowania procesu generalizacji danych przestrzennych, wskazując ich podstawowe założenia oraz możliwości zastosowania do zadań generalizacyjnych. Szczegółowo przedstawiono metodę modelowania półautomatycznego na przykładzie próby generalizacji wybranych elementów BDO w środowisku DynaGEN. Opisano również koncepcję określenia możliwości automatycznej generalizacji BDO w trybie warunkowym, w środowisku Clarity.

Przeprowadzone eksperymenty oraz studia literatury dotyczące automatyzacji generalizacji wskazują na coraz rzadsze stosowanie modelowania za pomocą reguł („jeśli... to”), ze względu na jego ograniczenia. Systemy „regułowe” są mało elastyczne, nie obejmują generalizacji w sposób całościowy, kompleksowy.

Modelowanie półautomatyczne jest obecnie stosowane i daje zadowalające rezultaty, jednakże zasadniczą jego wadą jest fakt, że dostępne w nich operatory służą do generalizacji pojedynczych obiektów, nie mają więc charakteru kontekstowego, a poprawność wyników generalizacji w dużej mierze uzależniona jest od wiedzy i doświadczenia operatora.

Optymalizacja przy użyciu metod kombinatoryki oraz optymalizacja ciągła również wykazuje wiele ograniczeń w zastosowaniach automatycznej generalizacji danych przestrzennych.

Przyszłość automatycznej generalizacji wydaje się więc należeć do modelowania warunkowego jako najbardziej uniwersalnego i dostosowanego do charakteru procesu. Wymaga ono jednak dalszego usprawniania i rozwoju w zakresie:

- formalizacji wiedzy kartograficznej.
- doskonalenia metod ewaluacji i oceny wyników generalizacji.
- rozwoju usług i aplikacji internetowych.
- poprawy jakości danych przestrzennych.
- dostosowania istniejących systemów generalizacyjnych do potrzeb generalizacji danych małoskalowych.

PIŚMIENNICTWO

- Bader M., 2001. Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization. Ph. D thesis, Department of Geography, University of Zurich, Switzerland.
- Bell M., Neuffer D., Woodsford P., 2004. Agent-based generalization – an update on progress. „Kartographische Nachrichten”, Vol. 54, Nr. 4, 170–177.

- Borkowski A., 2006. Realizacja operatora odsunięcia kartograficznego za pomocą aktywnych funkcji sklepanych – test metody. *Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum*, 5(1–2), 3–15.
- Brassel K., 1985. Strategies for data models for computer-aided generalization. "Intern. Yearb. of Cartography", Vol. 25, 11–29.
- Burghardt D., Meier S., 1997. Cartographic Displacement Using the Snakes Concept, [in:] Foerster, W. and L. Pluemer [eds.], *Semantic Modelin for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*. Birkhaeuser Verlag, 59–71.
- Chybicka I., 2004. O uzupełnieniu Bazy Danych Ogólnogeograficznych w celu poprawnej generalizacji osadnictwa. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, T. 22, nr 500, 89–96.
- Chybicka I., Iwaniak A., Ostrowski W., 2004. "Generalization of the Topographic Database to the Vector Map Level 2 – the components of the Polish National Geographic Information System". <http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Chybicka-v2-ICAWorkshop.pdf>
- Chybicka I., Iwaniak A., Ostrowski W., Paluszyński W., 2004. Generalizacja danych topograficznych o szczegółowości 1:10 000 do skali 1:50 000. Cz. II, „Polski Przegląd Kartograficzny”, T. 36, nr 4, 266–273.
- Chybicka I., 2005. Próba automatyzacji procesu generalizacji wybranych elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych. *Roczniki Geomatyki*, T. 3, z. 2, 27–34.
- Chybicka I., Iwaniak A., 2005. Generalization of the General Geographic Database Proceedings of the XXII International Cartographic Conference, La Coruna, Hiszpania.
- Chybicka I., Iwaniak A., Ostrowski W., 2005. Narzędzia do automatycznej generalizacji, [w:] System informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne, pod red. prof. dr. hab. Andrzeja Makowskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 376–380.
- Harrie L., 1999. The Constraint Method for Solving Spatial Conflicts in Cartographic Generalization. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 26, nr 1, 55–69.
- Hojholt P., 2000. Solving Space Conflicts in Map Generalization: Using the Finite Element Method. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 27, nr 1, 67–73.
- Iwaniak A., 1997. Systemy ekspertowe w kartografii i systemach informacji geograficznej. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 29, nr 1, 3–11.
- Iwaniak A., Paluszyński W., Żyszkowska W., 1998. Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 30, nr 2, 79–88.
- Lamy S., Ruas A., Demazeau Y., Jackson M., Mackaness W., Weibel R., 1999 The application of Agents in automated map generalisation, Proceedings of the 19st. International Cartographic Conference, Ottawa.
- Morrison J., 1974. A theoretical framework for cartographic generalization with emphasis on the process of symbolization. "Intern. Yearb. of Cartography", Vol. 14, 15–127.
- Nickerson B.G., 1988. Automated Cartographic Generalization for Linear Feature. *Cartographica*, T. 25, No. 3, 15–66.
- Pawlak W., 1971. Charakter zniekształceń wybranych elementów treści mapy powstałych w procesie generalizacji. „*Studia Geograficzne*”, T. 15, nr 133, 14–33.
- Ratajski L., 1967. Phenomenes des points de generalisation, Intern. "Yearb. of Cartography", Vol. 7, 143–151.
- Ratajski L., 1973. Rozważania o generalizacji kartograficznej. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 5, nr 2, 103–110.
- Ruas A., 1999. Modele de generalisation de donnes geographiques a base de contraintes et d'autonomie. Ph. D thesis, University of Marne la Vallee, <ftp://ftp.ign.fr/ign/COGIT/THESES>
- Schylberg L., 1993. Computational Methods for Generalization of Cartographic Data in a Raster Environment. Ph. D thesis , Department of Geodesy and Photogrametry, Royal Institute of Technology, Stockholm, TRITA-FMI Report 1993:7.

- Sester M., 2000. Generalization Based on Least-squares Adjustments. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B4, Amsterdam, 931–938.
- Ware J. M., Jones C.B., 1998. Conflict Reduction in Map Generalization Using Interactive Improvement. *Geoinformatica*, Vol. 2, nr. 4, 383–407.
- Weibel R., 1991. Amplified intelligence and rule-based systems, [w:] *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Ed. B. Buttenfield, R. McMaster, London, Longman, 172–186.

MODELLING GENERALIZATION PROCESS

Abstract. Automatic generalization of the spatial data has been a goal of many international researches carried out in scientific centers worldwide. Unfortunately, neither current state of art nor the existing technology makes it possible to achieve it. One of the main factors making the automated generalization of spatial data difficult is a complexity of the process. The answer to this problem is trying to test systematizing of activities being a part of the generalization tasks considered as a model.

The author characterizes existing model types of the generalization process as well as she describes some experiments concerning generalization of selected elements of the General Geographic Database (GGD) in an interactive mode (performed in the DynaGEN environment). Furthermore, she proposes an idea of a constraint-based modeling in the Clarity software.

Key words: automatic generalization of spatial data, General Geographic Databas, modeling generalization process

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – for citation: Karsznia I., 2009. Modelowanie procesu generalizacji. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 8(2), 13–26.