

## Wybrane operatory generalizacyjne i ich implementacja w systemie informacji przestrzennej ARC/INFO\*

*Piotr Cichociński*

Akademia Górniczo – Hutnicza  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska,  
Katedra Informacji o Terenie  
al. Mickiewicza 30, Kraków

### **Abstract**

*The paper presents the problem of automatic generalization of databases in spatial information systems. The requirements for generalization procedures are analyzed. Existing generalization operators are listed. Generalization functions to be found in professional GIS software are briefly described. New algorithms of complicated generalization tasks and programs based on these algorithms are presented.*

### **Wstęp**

Coraz większy udział zarówno w systemach informacji przestrzennej jak i w kartografii zaczyna mieć komputerowa generalizacja. W procesie przetwarzania danych przestrzennych znajduje ona zastosowanie na dwóch głównych obszarach. Jednym z nich jest przygotowanie danych o odpowiednim poziomie szczegółowości dla kompleksowych analiz w systemach informacji przestrzennej. Drugi zaś to prezentacja danych w różnych skalach. Obydwa wymagają wykonania kilku działań, pogrupowanych w cztery kategorie procesów, nazywanych elementami generalizacji (Robinson, Sale, Morrison 1988):

- wybór i upraszczanie – określenie, zachowanie i uwypuklenie istotnych cech danych, eliminacja szczegółów niepożądanych,
- klasyfikacja – porządkowanie danych w klasach i pomiędzy klasami wg przyjętej skali pomiarowej,
- symbolizacja – graficzne zakodowanie pogrupowanych podstawowych cech porównywanych wartości oraz wzajemnego ich położenia,
- indukcja – logiczny proces wnioskowania na danych tworzących treść mapy.

Powyższe elementy są wykorzystywane w różnym stopniu, zależnym od czynników generalizacji, do których należą:

- przeznaczenie – cel opracowania mapy,
- skala – stosunek długości odcinka na mapie do jego odpowiednika w terenie,
- ograniczenie graficzne – system komunikacyjny mapy, możliwości percepcyjne użytkownika,
- jakość danych – dokładność i aktualność różnych kategorii danych przedstawianych na mapie.

---

\* Referat powstał w ramach badań własnych AGH nr 10.10.150.458.

W związku z ciągłą budową baz danych przestrzennych istnieje potrzeba automatyzacji procesu generalizacji w celu uzyskiwania wielu różnych prezentacji z jednej bazy danych. Zakres zastosowań generalizacji został rozszerzony na systemy informacji przestrzennej. Badacze oraz niektórzy dostawcy oprogramowania GIS i kartograficznego poczynili zauważalne wysiłki w celu określenia problemów związanych z komputerową generalizacją oraz znalezienia ich rozwiązań. Jednakże żaden z istniejących systemów GIS nie dostarcza zestawu narzędzi, który całkowicie spełniałby potrzeby generalizacji.

Chociaż reguły i zasady generalizacji można znaleźć w literaturze kartograficznej, nie istnieje zbiór uniwersalnych reguł precyzyjnie definiujących sposób wykonywania generalizacji. Ręczna generalizacja zależy od doświadczenia oraz oceny wykonawcy i dlatego daje niespójne wyniki. Brak pełnego zrozumienia tego procesu oraz niedostatek środków technicznych odwzorowujących analizy, decyzje i działania człowieka czyni automatyzację generalizacji skomplikowanym zadaniem.

### **Operatory generalizacyjne**

Generalizacja obejmuje znaczną liczbę wykonywanych przez człowieka analiz danych przestrzennych oraz podejmowanych decyzji: co generalizować, jak generalizować oraz jak rozwiązywać konflikty pomiędzy symbolami. Skomplikowany proces generalizacji może być rozłożony na pojedyncze operacje, które wykonane w odpowiedniej kolejności dadzą oczekiwany wynik. W literaturze wyróżniane są następujące operatory generalizacyjne (Lagrange, Ruas, Bender 1993):

#### a). redukujące liczbę obiektów:

- eliminacja – usuwanie wybranych obiektów, które są zbyt małe, zbyt krótkie lub zbyt nieznaczące, aby mogły być przedstawione na wynikowej mapie,
- agregacja (grupowanie) – łączenie obiektów położonych w bliskości lub sąsiadujących ze sobą w nowe obiekty powierzchniowe,

#### b). upraszczające kształt:

- wygładzanie – eliminacja nieważnych szczegółów obiektów,
- karykaturyzacja – wyolbrzymianie, zwiększenie zajętości powierzchni przez obiekt w celu zaakcentowania i zwiększenia czytelności lub powiększanie istotnych szczegółów,
- zmiana wymiaru (w tym symbolizacja) – wykonywana w przypadku gdy niemożliwe jest jego przedstawienie w dotychczasowej postaci, np. zmiana obiektu powierzchniowego w liniowy lub punktowy,

#### c). poprawiające rozpoznawalność:

- powiększanie – zwiększanie rozmiaru istotnego obiektu w celu zachowania go na wynikowej mapie,
- rozwiązywanie konfliktów – wykrywanie konfliktów pomiędzy obiektami, a następnie przesuwanie lub zmiana wymiarów mniej znaczących kolidujących obiektów w celu zapewnienia bezpiecznej odległości pomiędzy obiektami oraz spełnienia innych wymagań kartograficznych.

W oparciu o powyższe definicje powstają zbiory operatorów generalizacyjnych w celu automatycznego wykonania tych operacji oraz uzyskania pożądanego wyniku. Dają one możliwość rozszerzenia oprogramowania tak, aby użytkownik mógł tworzyć wieloskalowe oraz dla wielu zastosowań zbiory danych.

## Dostępne polecenia generalizacyjne

Cyfrowe rozwiązanie danego problemu zależy w dużej mierze od tego, czy problem oraz oczekiwane wyniki mogą być precyzyjnie opisane, a reguły oraz logika przetwarzania mogą zostać przetłumaczone na program komputerowy. Niektóre z przetwarzań informacji przestrzennej mogą być w prosty sposób zautomatyzowane w oparciu o jasno zdefiniowany cel, reguły oraz proste techniki np. konwersja danych z postaci wektorowej na rastrową lub transformacja zbioru danych z jednego układu współrzędnych do drugiego. Lecz generalizacja, szczególnie w jej kartograficznym aspekcie, łącząca w sobie sztukę oraz naukę przekazu kartograficznego, należy do najbardziej nieprecyzyjnie zdefiniowanych zadań. Główną częścią prowadzonych wysiłków jest zatem analiza istniejących specyfikacji i map oraz próba „zobaczenia” co kartograf myśli, gdy wykonuje różne działania w celu generalizowania map. Wynikiem tych analiz jest, zapisany w postaci algorytmicznej, zbiór precyzyjnych, reguł oraz logicznych kroków zdefiniowanych zgodnie z naszym zrozumieniem ludzkich działań w generalizacji, co czyni możliwym implementację nowych narzędzi generalizacyjnych.

W celu implementacji reguł i kroków generalizacji wyzwaniem jest opracowanie algorytmów, które naśladowałyby ludzkie widzenie, decyzje oraz działania. Niektóre proste algorytmy bazują tylko na matematycznych modelach oraz geometrii, lecz bardziej zaawansowane biorą pod uwagę charakterystyczne cechy obiektów, takie jak związki przestrzenne oraz wzory rozłożenia obiektów.

Aktualny stan zaawansowania prac producentów oprogramowania GIS nad implementacją operatorów generalizacyjnych można przedstawić na przykładzie systemu ARC/INFO. Zawiera on pełen zakres narzędzi do przetwarzania danych przestrzennych. Można do nich zaliczyć narzędzia stosowane w generalizacji, wyborze obiektów, konwersji danych rastrowych i wektorowych, analiz przestrzennych z buforowaniem, nakładaniem itd.

Można je wykorzystać do wykonywania prostych działań generalizacyjnych, jednakże do wykonywania zadań specyficznych dla generalizacji istnieją specjalne narzędzia do kompresji danych i redukcji poziomu szczegółów w różnych typach obiektów, spełniające wymagania zarówno generalizacji bazy danych jak i generalizacji kartograficznej.

### Wyglądanie

Za wyglądzanie linii odpowiedzialne jest polecenie GENERALIZE, które poprzez odpowiednie określenie operatorów może to wykonywać na dwa sposoby. Operator POINTREMOVE wykorzystuje rozszerzony algorytm generalizacji linii Douglasa – Peucker'a. Algorytm ten identyfikuje tak zwane punkty krytyczne, które najlepiej reprezentują kształt generalizowanej linii. Operator BENDSIMPLIFY do upraszczania kształtów linii wykorzystuje algorytm Wanga. BENDSIMPLIFY upraszcza linię poprzez wykrycie i usunięcie zbędnych wierzchołków z oryginalnej linii, zachowując zasadniczy kształt obiektu i zapewnia kartograficzną jakość wyniku.

### Upraszczenie kształtów budynków

Operator ORTHOGONAL polecenia WEEDOPERATOR w ARC/PLOT i polecenie BUILDINGSIMPLIFY upraszczają budynki i inne obiekty o prawie prostych kątach przez redukcję szczegółów w ich granicach, przy zachowaniu zasadniczego kształtu i rozmiaru.

Budynki są z reguły obszarami o kątach prostych, zatem upraszczanie zachowuje i rozszerza ich ortogonalność.

### Rozwiązywanie konfliktów

Polecenie FINDCONFLICTS wykorzystuje jako dane wejściowe uproszczone budynki (wynik działania polecenia BUILDINGSIMPLIFY) i określa, czy nakładają się one na siebie lub nie leżą zbyt blisko siebie, w celu zachowania minimalnych odległości pomiędzy obiektami na mapie. W celu wykrycia konfliktów przestrzennych, wokół każdego budynku lub grupy budynków tworzone są bufory. Nakładające się bufory sygnalizują konflikt, który pozostawia się użytkownikowi do ręcznego rozwiązania.

### Zmiana wymiaru

Polecenie CENTERLINE wyznacza linie osiowe dla względnie regularnych obiektów dwuliniowych, takich jak np. krawędzie jezdni, w oparciu o określoną tolerancję szerokości. Wynikowe linie osiowe zostają powiązane ze źródłowymi krawędziami. Łatwo jest zatem przenieść atrybuty takie jak nazwa drogi czy inne informacje z danych wejściowych do wyniku. Wynik działania tej funkcji nie jest wolny od błędów, ale uwzględniając trudność rozwiązania tego problemu (Cichociński 1996), stanowi on dobry punkt wyjścia do dalszych działań edycyjnych.

### Agregacja

Polecenie AREAAGGREGATE łączy sąsiadujące oraz rozdzielone obiekty powierzchniowe leżące blisko siebie w nowe obiekty powierzchniowe, zachowując cechy charakterystyczne zarówno obiektów o kątach prostych jak i nieregularnych. Dane wejściowe są w pierwszej kolejności zamieniane na postać rastrową (grid), a następnie przy użyciu funkcji modułu GRID grupowane są obiekty leżące względem siebie w odległości mniejszej niż określona. Wynik jest konwertowany z powrotem na postać wektorową z właściwie skonstruowanymi nowymi granicami. Nakładka wyjściowa zawiera nowe obszary oraz tablicę relacji jeden do wiele pozwalającą na połączenie wynikowych obszarów z obszarami wejściowymi w celu przeniesienia atrybutów.

## **Niezbędne dodatkowe polecenia generalizacyjne**

Przedstawione powyżej narzędzia umożliwiają rozwiązanie wielu problemów z zakresu generalizacji danych przestrzennych, lecz mimo wszystko istnieją zagadnienia, z którymi nie potrafią sobie w chwili obecnej poradzić. Z problemami takimi zetknął się w swoich pracach autor tego referatu i przynajmniej części z nich postanowił zaradzić. Do wykonania opisanych w dalszej części referatu zadań zostały opracowane algorytmy i na ich podstawie napisane programy działające w środowisku systemu ARC/INFO.

Upraszczenie nieregularnych obiektów powierzchniowych o skomplikowanych kształtach  
Mechanizm upraszczania kształtów obiektów liniowych nie zawsze się sprawdza w zastosowaniu do granic obiektów powierzchniowych. Dlatego autor proponuje wykorzystanie do upraszczania obiektów powierzchniowych operacji buforowania (polecenie BUFFER), należącej do kanonu analiz przestrzennych (Cichociński 1997). Polega ona na wyznaczeniu wokół obiektów strefy o określonym promieniu. Tradycyjnie wykorzystuje się je do takich celów jak na przykład określanie zasięgu zanieczyszczeń wydzielających się z emitora czy też wyznaczanie strefy hałasu wzdłuż linii komunikacyjnej.

W przypadku generalizacji dowolnego obiektu powierzchniowego, można utworzyć wokół niego bufor o promieniu równym  $1/2 N$ , gdzie  $N$  jest wymiarem najmniejszego szczegółu, który jeszcze można przedstawić w danej skali prezentacji. Po wykonaniu operacji buforowania o tej samej wartości lecz z przeciwnym znakiem, otrzymuje się obiekt pozbawiony wklęsłości mniejszych od zadanego progu. Podobnie można postąpić w przypadku wypukłości, tylko trzeba rozpocząć od buforowania o wielkości „ujemnej”, a zakończyć na buforze o wielkości „dodatniej”.

### Agregacja

Przypadek łączenia komplikuje się, jeżeli dla sąsiadujących obiektów nie ma powtarzającej się wartości jakiegoś atrybutu, a kryterium łączenia jest po prostu fakt sąsiedztwa. Wtedy najprostszym rozwiązaniem wydaje się być przypisanie wszystkim sąsiadującym obiektom, które mają zostać połączone, zestawu atrybutów od obiektu najbardziej istotnego i dopiero wtedy wykonanie połączenia poleceniem DISSOLVE.

Nieco odmiennym zagadnieniem jest łączenie obiektów, które bezpośrednio ze sobą nie sąsiadują, lecz jeśli będą położone odpowiednio blisko siebie mogą tworzyć pewną nadrzędną strukturę. Przykładem takiej struktury może być teren zabudowany (Ostrowski 1994). Jest to najbardziej jaskrawy przykład struktury nadrzędnej, a zarazem operacji generalizacyjnej nie mającej związku ze zmianą skali. Określany w instrukcjach (MON 1990) parametr maksymalnej odległości pomiędzy budynkami, których grupa ma tworzyć teren zabudowany, jest wyrażany w jednostkach terenowych, w związku z tym niezależnie od skali prezentacji można ten rodzaj obiektu wygenerować.

Również do wykonania tego zadania autor zaproponował wykorzystanie opisanej wcześniej operacji buforowania (Cichociński 1997). Należy utworzyć wokół wszystkich budynków bufor o promieniu równym  $1/2 N$ , gdzie  $N$  jest maksymalną odległością w jakiej jeszcze mogą znajdować się budynki, żeby tworzyć teren zabudowany. Po wykonaniu operacji buforowania o tej samej wartości lecz z przeciwnym znakiem otrzymuje się obiekty obejmujące wszystkie budynki spełniające kryterium wzajemnej odległości. Należy tylko jeszcze dokonać uproszczenia kształtu obwodnicy powstałych obiektów w celu redukcji ilości punktów. Zaletą takiego podejścia w stosunku do standardowego polecenia AREAAGGREGATE wykonującego podobne działanie, jest uniknięcie konwersji danych na postać rastrową i tym samym zapewnienie większej dokładności wyniku.

### Rozwiązywanie konfliktów pomiędzy budynkami

Ze względu na rozdzielczość urządzenia wyjściowego (tworzącego graficzną postać zawartości bazy danych) obiekty bazy danych nie mogą być położone zbyt blisko siebie. Aby stwierdzić, czy jakicś budynki nie znajdują się zbyt blisko siebie autor proponuje wykorzystanie kilkakrotnie już opisywanej operacji buforowania. Analizowane są kolejno wszystkie budynki począwszy od najmniej istotnych, poprzez utworzenie wokół nich bufora o promieniu równym dopuszczalnej odległości pomiędzy budynkami. Następnie sprawdzane jest, czy bufor nie przecina się z żadnym z pozostałych budynków. Jeżeli tak się dzieje, to analizowany budynek jest usuwany z wynikowego zbioru. Rozwiązanie to ma taką przewagę nad poleceniem FINDCONFLICTS, że dane wejściowe nie muszą być specjalnie przygotowane, a w wynikowym zbiorze pozostawia tylko budynki nie kolidujące z innymi.

### Symbolizacja

Istnieją przypadki, kiedy konieczne jest zastąpienie obiektu przez jego symbol. Dzieje się tak z reguły wtedy, gdy obiekt jest zbyt mały i nie można go przedstawić w danej skali. Obiekty o charakterze punktowym są symbolizowane już w wyjściowej bazie danych. Problemy pojawiają się natomiast, gdy mamy do czynienia z obiektami powierzchniowymi, na przykład budynkami. Zastosowany wtedy symbol powinien mieć taką samą lub zbliżoną orientację jak oryginalny obiekt.

Przy założeniu występowania w obrysie wyłącznie kątów prostych lub do prostych zbliżonych można zaproponować następujący sposób wyznaczenia parametrów wstawienia symbolu (kąt orientacji, punkt wstawienia): określić azymut najdłuższego boku, założyć lokalny prostokątny układ współrzędnych o osi x równoległej do najdłuższego boku, znaleźć w tym układzie najmniejszy prostokąt opisany na budynku o bokach równoległych do osi układu, określić punkt wstawienia oraz kąt orientacji symbolu.

Niekiedy zachodzi też potrzeba przedstawienia jednym symbolem grupy obiektów. Dobrym przykładem może być zagroda. Pod tym pojęciem należy rozumieć grupę budynków położonych na jednej działce, z których przynajmniej jeden jest budynkiem mieszkalnym. Zagroda nazywana bywa nawet „podstawową jednostką generalizacyjną dla zabudowy wiejskiej” (Podlacha 1966). Do rozwiązania tego zagadnienia proponuje się następujące działania: określenie kąta orientacji symbolu jako średniego azymutu wszystkich ścian wszystkich budynków, wyznaczenie punktu wstawienia symbolu jako środka ciężkości zbioru środków ciężkości wszystkich budynków tworzących zagrodę.

### Przesuwanie

Potrzeba przesuwania zachodzi najczęściej w przypadku konfliktów obiektów liniowych z obiektami punktowymi i powierzchniowymi. Ten rodzaj konfliktu może zachodzić w dwóch przypadkach:

- z powodu uproszczenia kształtu zmienił się przebieg obiektu liniowego,
- symbol zastosowany do przedstawienia obiektu liniowego jest o wiele szerszy od rzeczywistego wymiaru obiektu.

Skutkiem jest nakładanie się obiektu bądź jego symbolu na znajdujące się w pobliżu obiekty, na przykład budynki.

Ponieważ z reguły obiekty liniowe takie jak drogi lub koleje mają większe znaczenie, przyjmuje się, że powinny zostać zapisane w wynikowej bazie danych bez żadnych przesunięć, natomiast kolidujące z nimi obiekty należy odsunąć od drogi lub kolei w kierunku do nich prostopadłym na taką odległość, aby konflikt nie zachodził. Do wykonania takiego działania proponuje się podjęcie serii następujących działań: dla wszystkich narożników budynku wyznaczyć odległość najbliższej osi ulicy, jeżeli najmniejsza z tych odległości dla budynku jest mniejsza od połowy szerokości znaku umownego drogi to należy wyznaczyć kierunek tej odległości i odsunąć cały budynek od osi drogi w wyznaczonym kierunku na bezpieczną odległość.

### **Podsumowanie**

Wszystkie przedstawione w tym referacie narzędzia dają możliwość wykonywania typowych zadań generalizacyjnych w sposób bardziej zautomatyzowany, przy mniejszym

koszcie i czasie pracy. Można przypuszczać, że polecenia takie będą rozbudowywane, będą opracowywane nowe procedury obejmujące specyficzne zadania oraz będą prowadzone badania nad pozostałymi do rozpracowania zagadnieniami. Ostatecznym celem jest zapewnienie możliwości wykonywania dowolnych działań na danych przestrzennych, ich udostępniania i produkcji map w sposób maksymalnie zautomatyzowany, elastyczny i wydajny.

Recenzował: dr hab. inż. Tadeusz Chrobak

## Literatura

Cichociński P., 1996. *Wyznaczanie linii osiowej wydłużonych obiektów powierzchniowych poprzez metodę wyszukiwania przeciwległych linii granicznych*. Rocznik GEODEZJA AGH tom 2. Kraków.

Cichociński P., 1997. *Możliwości rozbudowy systemu ARC/INFO o procedury generalizacji baz informacji o terenie*. VII Konferencja Naukowo – Techniczna Systemy Informacji Przestrzennej. Warszawa.

Lagrange J.P., Ruas A., Bender L., 1993. *Survey on generalization*. Institut Géographique National (IGN), France.

MON, 1990. *Opracowywanie i przygotowywanie do reprodukcji map topograficznych 1:25000, 1:50000 i 1:100000*. MON Sztab Generalny WP. Warszawa.

Ostrowski W., 1994. *Problematyka prezentacji osadnictwa na mapach topograficznych w skalach od 1:10000 do 1:200000*. IX Szkoła Kartograficzna Polska Kartografia Map Topograficznych. Warszawa.

Podlacha K., 1966. *Generalizacja osiedli wiejskich na mapach topograficznych średnioskalowych*. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii z. 3.

Robinson A., Sale R., Morrison J., 1988. *Podstawy kartografii*. PWN. Warszawa.

