

ADAM IWANIAK
Katedra Geodezji i Fotogrametrii Akademii Rolniczej we Wrocławiu
WITOLD PALUSZYŃSKI
Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej
WIEŚŁAWA ŻYSZKOWSKA
Zakład Kartografii Uniwersytetu Wrocławskiego

Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia*

Część I

Zarys treści. W artykule omówiono najnowsze poglądy i podejścia teoretyczne do generalizacji komputerowej. Na tym tle przedstawiono modele tego procesu oraz stosowane obecnie algorytmy i operatory, stanowiące składniki wiedzy proceduralnej systemów komputerowych służące do generalizacji map.

1. Wstęp

Jednym z ważniejszych aspektów ludzkiego myślenia jest organizowanie obserwacji w czasie i przestrzeni, którego podstawę stanowi generalizacja. Proces ten ma szczególne znaczenie w badaniach przestrzeni geograficznej, obejmujących szeroki zakres informacji przestrzennej i tematycznej, a przede wszystkim w kartografii, zajmującej się przedstawianiem tej przestrzeni w skali mniejszej niż rzeczywiste zjawiska.

Jako przedmiot badań i rozważań generalizacja stanowiła od początku rozwoju teorii kartografii jedno z ważniejszych i trudniejszych zagadnień, czego wyrazem było jej określenie przez E. Sydowa jako jednej z trzech „raf” kartografii (J. Szaflarski 1965). Problematykę tę podejmowały kolejne pokolenia kartografów, próbując określić ogólne zasady procesu generalizacji oraz czynności, z jakich się on składa. Rozwój technologii komputerowej i towarzyszący mu stały dopływ coraz większej ilości informacji w ostatnich latach wywołały potrzebę wypracowania nowego podejścia do procesu generalizacji, w kontekście technologii komputerowej i związanymi z nią możliwościami zapisu i przetwarzania informacji kartograficznej.

Wymaga ono ponownego rozważenia podstaw teoretycznych, określenia sytuacji, w jakiej należy przeprowadzać generalizację i sposobów jej przeprowadzania w systemach komputerowych. Te trzy podstawowe problemy zostały przez R. B. McMastera i K. S. Sheę (1992) sformułowane w formie trzech pytań: „dlaczego?”, „kiedy?” i „jak?” należy generalizować mapę w systemie komputerowym. Opracowanie zasad generalizacji map numerycznych jest szczególnie ważne w związku z rozwojem systemów informacji geograficznej i szerokim dostępem do programów graficznych i kartograficznych, których użytkownicy mogą opracowywać mapy według własnych potrzeb, z czym nie zawsze idą w parze odpowiednie umiejętności.

Odpowiedzią na pytanie „dlaczego?”, zajmującą się teoretyczne modele generalizacji. Problem „jak?” generalizować związany jest z opracowaniem komputerowych narzędzi (programów) realizujących proces generalizacji w formie tzw. operatorów generalizacji. Określenie sytuacji, w jakich powinny być użyte określone operatory, a więc odpowiedź na pytanie „kiedy?”, związane jest z tworzeniem bazy wiedzy o generalizacji (A. Iwaniak 1993).

Niniejszy artykuł jest pierwszym z przewidzianej serii artykułów, poświęconych problematyce

* Artykuł został opracowany w ramach projektu badawczego pt. „Automatyzacja procesów generalizacji map wielkoskalowych – zastosowanie sztucznej inteligencji w kartografii komputerowej”, finansowanego przez KBN.

systemów komputerowych, służących do automatycznej generalizacji map. Autorzy przedstawiają w nim wybrane zagadnienia generalizacji automatycznej, związane przede wszystkim z opracowywaniem map średnioskalowych na podstawie map wielkoskalowych. W pierwszej części artykułu przedstawione zostały teoretyczne podstawy generalizacji komputerowej oraz najważniejsze modele tego procesu. Druga część poświęcona jest operatorom i algorytmom jako podstawowym elementom, z których można stworzyć całościową procedurę generalizacji.

2. Podstawowe problemy generalizacji komputerowej

2.1. Generalizacja manualna a generalizacja komputerowa

Celem generalizacji jest doprowadzenie mapy do takiego stanu, aby jej obraz wyrażał podstawowe cechy geograficzne elementów i relacje między nimi, a zarazem był dobrze dostrzegalny i czytelny. Efekt ten uzyskuje się przez stosowanie trzech procesów: 1) wyboru, 2) uproszczenia elementów oraz 3) uogólnienia pojęć odnoszących się do tych elementów. Ten ostatni proces jest ściśle związany z procesem abstrahowania. W tradycyjnej kartografii generalizacja opiera się na wiedzy geograficznej kartografa i jego wyczuciu graficzno-estetycznym. Subiektywny charakter tego procesu sprawia, że nie łatwo poddaje się on jednoznacznej definicjom logicznym i matematycznym, w związku z czym wielu kartografów uważa, że nie jest możliwe poprawne zastosowanie generalizacji w systemach komputerowych.

Próby określania ogólnych zasad generalizacji treści mapy podejmowano już przed II wojną światową i w latach pięćdziesiątych, na długo przed pojawieniem się komputerów. Miały one na celu umożliwienie ujednoczenia sposobów generalizacji i porównywania opracowań kartograficznych, toteż większość z nich dotyczyła ilościowych aspektów generalizacji, które można ująć w formie matematycznych reguł. Zajmowano się głównie metodami upraszczania linii (J. Perkal 1958, A. J. Pannekoek 1962, W. Tobler 1964, E. Srnka 1970), zasadami wyboru elementów (L. Ratajski i B. Winid 1963, F. Töpfer 1979) oraz oceną skutków generalizacji (W. Pawlak 1971, 1972). Przegląd prac i poglądów dotyczących generalizacji tego okresu zawierają prace K. A. Saliszczewa (1972), L. Ratajskiego (1973) oraz M. Sirki (1988).

Nowe wyzwania stają przed kartografią w związku z rozwojem systemów komputerowych,

służących do opracowania map oraz systemów informacji geograficznej, których integralną częścią są mapy w różnych skalach. Systemy komputerowe wymagają stosowania jednoznacznych kryteriów postępowania i ściśle sformalizowanych procedur. Informacja przestrzenna jest w nich określona przez współrzędne punktów (x i y), tematyczna przez atrybut (z) odnoszący się do poszczególnych elementów (miejsc) w przestrzeni. Na informacji obydwu typów można przeprowadzać różne operacje, których efektem może być generalizacja mapy. Jednak próby wykorzystania dotychczasowych doświadczeń i przeniesienia subiektywnych metod generalizacji do systemów komputerowych okazały się w wielu przypadkach nieskuteczne. Osiągnięto natomiast zadowalające rezultaty w zakresie poszczególnych czynności, związanych z ilościowym aspektem generalizacji. Wprawdzie spory co do możliwości uzyskania obiektywnych praw i reguł rządzących doбором elementów treści map i poszukiwanie metod ich definiowania w formie algorytmów trwają do dziś, nie ulega jednak wątpliwości, że określenie obiektywnych reguł należy do najważniejszych potrzeb nowoczesnej kartografii.

W ostatnich latach ukazało się kilka prac poświęconych generalizacji komputerowej, świadczących o możliwości wykorzystania doświadczeń i intuicyjnie wypracowanych zasad generalizacji tradycyjnej oraz o znaczeniu tego problemu w dobie kartografii komputerowej. Podsumowanie dotychczasowego dorobku badań w zakresie generalizacji komputerowej oraz nowe idee i propozycje rozwiązań zawierają prace B. Battenfeld i R. B. McMaster (1991), R. Weibela (1991) oraz R. B. McMaster i K. S. Shea (1992). Również Z. Li i S. Openshaw (1993) przedstawili ogólne zasady generalizacji map numerycznych.

Współczesne prace nad automatyzacją procesu generalizacji map bieżą w dwóch kierunkach. W jednym z nich kontynuowane są próby imitowania tradycyjnych koncepcji generalizacji, dotyczących poszczególnych elementów mapy. W obrębie drugiego podejmowane są próby całościowego ujmowania generalizacji i rozwijane nowe modele generalizacji, pozwalające spojrzeć na generalizację w szerszym kontekście, np. teorii przetwarzania informacji lub wizualizacji. Większość dotychczasowych badań związana była z pierwszym nurtem i skupiała się na geometrycznych aspektach generalizacji oddzielnych elementów mapy, głównie linii i punktów, które podlegają procesom wyboru i uproszczenia, a więc generalizacji ilościowej. Generalizacja jakościowa, odnosząca się do aspektów tema-

tycznych, pojawiła się w rozważaniach nad automatyzacją generalizacji w związku z systemami informacji geograficznej, które zawierają bazę danych i dysponują narzędziami grupowania informacji tematycznej.

2.2. Generalizacja ilościowa

Podstawowymi aspektami generalizacji ilościowej są wybór i uproszczenie elementów treści mapy. O ile wybór dotyczy wszystkich typów elementów – punktowych, liniowych i powierzchniowych, o tyle uproszczenie odnosi się przede wszystkim do elementów liniowych i powierzchniowych.

a. Wybór elementów

Podstawowym problemem związanym z wyborem elementów jest określenie kryteriów, na podstawie których można go przeprowadzić. Kryteria jakościowe uwzględniają charakter obiektów, kryteria ilościowe opierają się wyłącznie na liczbie elementów. W większości programów komputerowych znajduje zastosowanie podejście ilościowe, zaproponowane przez F. Töpfera i W. Pillewizera, nazywane „prawem pierwiastka” (F. Töpfer 1979). Zgodnie z tym prawem liczba elementów na zgeneralizowanej mapie określana jest na podstawie pierwiastka ilorazu mianownika skali mapy wyjściowej i mapy generalizowanej. Prawo to jednak może być stosowane jedynie jako zasada ogólna, ponieważ każdy element treści mapy powinien być traktowany odrębnie, zgodnie ze swoim charakterem, który decyduje o kryteriach selekcji. W tym kierunku idą prace nad zasadami doboru osiedli M. Baranowskiego i W. Grygorenki (1974) oraz M. Sirki (1988), a także praca W. Pawlaka (1993) nad automatyczną generalizacją rzek.

b. Reguły upraszczania linii

Upraszczenie linii należy do najbardziej popularnych tematów badawczych związanych z generalizacją. Z jednej strony wynika to ze znaczenia linii na mapie, są one bowiem nie tylko samodzielnymi elementami, ale stanowią także granice powierzchni. Z drugiej strony upraszczenie linii jest procesem, który stosunkowo łatwo pozwala się ująć w formie wzoru matematycznego. Każdą linię krzywą można bowiem opisać przez szereg odcinków prostych, z określonymi współrzędnymi punktów załamania linii. Nic więc dziwnego, że proponowanych rozwiązań jest bardzo wiele. Większość algorytmów pomija jednak aspekt geograficznego charakteru linii. Wskutek tego algorytmy te upraszczają drogi i linię brzegową w taki sam sposób, co w wielu wypadkach daje efekt daleki od uzyskiwanego drogą tradycyjną. Do

tej grupy należy algorytm D. H. Dou-glása i T. K. Peuckera (1973), stosowany w wielu systemach GIS. Nowsze podejścia uwzględniają naturalne cechy geometrii elementów mapy i hierarchiczne zróżnicowanie ich ważności (J. Marino 1979, W. Tobler 1989, Z. Li i S. Openshaw 1990, Z. Wang i J. C. Muller 1993, W. P. Pawlak 1993).

c. Generalizacja elementów powierzchniowych

Generalizacja elementów powierzchniowych obejmuje upraszczanie granic (linii), generalizację kształtu całej powierzchni, a ponadto wiąże się ze zmianą wielkości pola powierzchni. Dlatego reguły generalizacji tego typu mogą uwzględniać oba te aspekty oddzielnie lub łącznie. Na różnych mapach powierzchnie mogą mieć różne kształty, mniej lub bardziej regularne. Te ostatnie, ze względu na łatwość matematycznego definiowania, łatwiej poddają się jednoznacznie określonym zasadom generalizacji. Inny aspekt generalizacji powierzchni polega na łączeniu kilku mniejszych powierzchni w jedną większą.

Z prac okresu „przedkomputerowego” na uwagę zasługuje analiza skutków generalizacji hipsometrii W. Pawlaka (1972), który zastosował krzywą hipsometryczną do określania zachowania wielkości powierzchni. Zasady generalizacji budynków na mapach topograficznych na potrzeby systemów komputerowych opracował W. Lichtner (1979), a ujęcie ogólne generalizacji powierzchniowej przedstawili B. G. Nickerson (1988) oraz J. C. Muller i W. Zeshen (1992).

2.3. Generalizacja jakościowa

Generalizacja jakościowa polega na uogólnieniu informacji kartograficznej, to znaczy na przechodzeniu od kategorii niższego rzędu do kategorii wyższego rzędu. W najprostszym przypadku tego typu operację można przeprowadzić na legendzie, usuwając z niej wszystkie wydzielenia niższych rzędów i zostawiając jedynie wydzielenia nadrzędne. Czynność tę można również wykonać w bazie danych GIS, stosując jednocześnie operację usuwania granic między powierzchniami, które po generalizacji uzyskują jednakowe atrybuty.

Jednak w większości przypadków przeprowadzenie tego typu generalizacji wymaga gruntownej znajomości charakteru zjawiska i metod klasyfikacji stosowanych w różnych dziedzinach, w związku z czym należy ją przeprowadzać pod kontrolą odpowiedniego specjalisty.

2.4. Podejście całościowe

Charakterystyczną cechą wspomnianych powyżej prac nad określeniem obiektywnych zasad generalizacji jest traktowanie tego procesu w kategoriach poszczególnych czynności (operatorów lub algorytmów), które odnoszą się do poszczególnych elementów treści mapy, często wyłącznie z punktu widzenia ich geometrycznej formy. Jeśli nawet podejmowane są próby uwzględniania geograficznego charakteru tych elementów, to proces rozbijany jest na procesy cząstkowe, co w wielu przypadkach stanowi przyczynę powstawania konfliktów graficznych między elementami na zgeneralizowanej i zmniejszonej mapie. Ponadto nie wszystkie operatory funkcjonują równie poprawnie w odniesieniu do różnych elementów, co wykazemy w drugiej części artykułu. Dlatego stworzenie sprawnie funkcjonującego systemu generalizacji kartograficznej wymaga poznania zasad działania tych operatorów w przypadku różnego typu elementów i różnych układów przestrzennych.

Najtrudniejszym do rozwiązania zadaniem jest połączenie poszczególnych czynności i ustalenie relacji, jakie między nimi zachodzą. Przede wszystkim generalizacja wszystkich elementów musi być przeprowadzana w sposób jednolity i spójny. Ponadto zmniejszenie elementów mapy powoduje nie tylko konieczność ich uproszczenia, ale w pewnych przypadkach również przewiększenia, które z kolei pociąga za sobą konieczność ich przesuwania względem siebie w taki sposób, aby zostały zachowane nie tylko relacje topologiczne, ale i czytelność mapy.

Mając świadomość, że cząstkowe traktowanie generalizacji nie daje zadowalających wyników, wielu badaczy podejmuje próby uwzględniania wszystkich czynników generalizacji i łączenia wszystkich rozwiązań. To nowe podejście jest związane z próbami opracowywania systemów komputerowych, służących do generalizacji map w różnych skalach, o różnych zakresach treści i o różnym przeznaczeniu. Zdaniem R. B. McMastera (1991) możliwiość pełniejszego wykorzystania dotychczasowej wiedzy o zasadach generalizacji opiera się na zastosowaniu metod sztucznej inteligencji.

W stosunku do poprzednich cząstkowych rozwiązań, które arbitralnie określały sposób generalizacji poszczególnych elementów, w nowym podejściu podejmowane są próby uwzględniania czynników branych dotychczas pod uwagę jedynie w procesie generalizacji manualnej. J. C. Muller (1989) podkreśla konieczność uwzględniania w programach komputerowych charakteru zjawisk i potrzeb użytkowników. Obiekty tego

samego typu (np. linie) nie mogą być traktowane w ten sam sposób, jeśli oznaczają inne elementy środowiska (np. drogi i rzeki). W zależności od typu i poziomu użytkowania mapy, generalizacja powinna uwypuklać inne cechy elementów i inne relacje.

D. Lee (1992) oraz Z. Li i S. Openshaw (1993) zwracają uwagę na potrzebę uwzględniania w komputerowych systemach generalizacji praw percepcji wzrokowej i czynników psychologicznych. Za słusznością tego poglądu przemawia wspomniany na wstępie fakt, że generalizacja należy do podstawowych aspektów ludzkiego myślenia. Z jej przejawami mamy do czynienia już na poziomie sensorycznym systemu wzrokowego, gdzie jest ona funkcją rozdzielczości ludzkiego oka i wielkości pól wzrokowych. Występuje ona również na wszystkich poziomach pamięci, na których ilość dopływających do człowieka informacji zostaje ograniczona. Konieczność ograniczenia ilości informacji jest warunkiem skutecznego przebiegu procesu percepcji mapy, ponieważ wynika z dążenia systemu poznawczego człowieka do minimalizowania wysiłku poznawczego. Na kartografach spoczywa więc odpowiedzialność za przeprowadzenie takiej generalizacji, która pozwoli na przyswojenie informacji z jak najmniejszymi kosztami poznawczymi. W przeciwnym razie powstaje ryzyko, że odbiorca nie będzie w stanie zrozumieć mapy.

J. C. Muller (1991) rozpatruje generalizację mapy w kontekście modelowania przestrzennego, traktując elementy mapy jako obiekty o określonych współrzędnych, atrybutach i relacjach topologicznych. Przy takim podejściu generalizacja obejmuje, oprócz operatorów wykonujących poszczególne czynności, również ocenę sytuacji przestrzennej, a na jej podstawie dobór odpowiedniego rodzaju operatora generalizacji. Pozwala to na dostosowanie poziomu szczegółów na mapie do celów prezentacji i analizy kartograficznej, a także przewidywanie skutków transformacji obiektu, np. konieczności przewiększania i przesuwania elementów.

Zastosowanie nowych idei wymaga zastosowania nowych metodologii i technologii. W przypadku generalizacji chodzi o takie oprogramowanie, które w sposób zintegrowany uwzględniałoby nie tylko ilościowe, ale i jakościowe aspekty generalizacji map. Jedno z sugerowanych już w literaturze rozwiązań polega na zastosowaniu sieci neuronowych, które mogą się „uczyć” na drodze treningu. Nauka ta polega na wskazywaniu przez kartografów sposobów rozwiązywania problemu generalizacji w określonej sytuacji, przy czym system analizuje całą sytuację i „wyciąga wnio-

ski” o regułach postępowania. Obecnie bardziej dostępne wydają się jednak rozwiązania oparte na wiedzy o regułach generalizacji, przypisanych do poszczególnych typów obiektów. Rozwiązania te związane są z metodologią obiektową, stosowaną dość powszechnie w programach GIS, a ponadto pozwalają, zgodnie z sugestią J. C. Mullera (1991), łączyć konceptualnie tę metodologię zarówno z geograficzną naturą zjawisk jak i z potrzebami użytkownika. Możliwość przypisania obiektom własnych metod transformacji i informacji o relacjach z innymi obiektami ułatwia programowanie i umożliwia równoległość i integralność procesu generalizacji.

Kartografowie zajmujący się problemem automatyzacji generalizacji kartograficznej uważają, że zasadniczą przeszkodą w uzyskaniu uniwersalnego systemu jest z jednej strony brak pełnego zrozumienia generalizacji i związanych z nią reguł, stosowanych konwencjonalnie przez ekspertów kartograficznych, a z drugiej brak odpowiednich technik dla procedur generalizacji (D. Lee 1992, M. J. Kraak, F. J. Ormeling 1996). Stworzenie sprawnego zautomatyzowanego programu kartograficznej generalizacji wymaga, zdaniem R. B. McMastera (1991) rozwiązania trzech kompleksowych problemów:

- 1) uzgodnienia konceptualnej ramy generalizacji cyfrowej w formie modeli generalizacji,
- 2) zaproponowania procedur procesów i operatorów generalizacji oraz ich przetestowania,
- 3) pozyskania wiedzy kartograficznej na podstawie informacji doświadczonych kartografów i analizy istniejących map i jej zakodowania w postaci reguł.

Problem pierwszy związany jest z opracowaniem modeli generalizacji. Zostaną one przedstawione w następnej części artykułu. Rozwiązanie drugiego problemu polega na wykorzystaniu dotychczasowego dorobku w zakresie metod generalizacji różnych elementów mapy i opracowaniu programów wykonujących poszczególne czynności według wskazanej przez użytkownika kolejności i określonych przez niego parametrów. Wiele programów GIS wykorzystuje poszczególne procedury, jednak najszerszym zakresem operatorów i najbardziej elastycznymi możliwościami dobierania parametrów generalizacji dysponuje system MGE Map Generalizer opracowany przez firmę Intergraph (D. Lee 1992, Ch. Brandenberger 1997). Wykorzystując program tej firmy, w Ordnance Survey opracowano system generalizacji, który umożliwia dostosowywanie map do specyficznych potrzeb użytkowników (R. Gower, J. Pepper, T. Edwards 1997). Prowadzone są także prace nad rozszerzeniem możliwości gene-

ralizacji map w systemie Arc/Info (D. Lee 1997).

Trzeci problem wiąże się z określeniem reguł generalizacji, które mogłyby pomóc nie tylko w wyborze sposobów rozwiązywania konkretnych problemów, ale przede wszystkim w ustaleniu sekwencji czynności i relacji między nimi. Trudność polega na tym, że reguły te mają charakter subiektywny i są uwarunkowane różnorodnymi czynnikami, w związku z czym wielu kartografów woli raczej mówić o intuicji niż o regułach generalizacji. Mimo to podejmowane są próby ich określania. Według R. Weibela (1995) istnieją dwie drogi prowadzące do tego celu – formułowanie reguł przez doświadczonych kartografów oraz odtwarzanie reguł na podstawie analizy publikowanych map. M. Leitner i B. P. Buttenfield (1995) przeprowadzili eksperymentalne badania nad możliwościami wykorzystania do tego celu serii austriackich map topograficznych.

D. Lee (1997) wyznaczyła trzy zakresy reguł generalizacji:

- 1) reguły transformacji przestrzennych (wybór i klasyfikacja, zachowanie dokładności położenia lub zachowanie cech przestrzennych),
- 2) reguły zmniejszania ilości informacji,
- 3) reguły agregowania informacji.

Reguły te muszą być zróżnicowane w zależności od charakteru obiektów i typu elementów, dlatego w ich ustalaniu uwzględnia się strukturę informacji (G. Gartner 1997, N. Regnaud 1997, A. Ruas i W. Mackaness 1997) oraz konflikty między tymi elementami, jakie powstają w wyniku zmniejszenia skali mapy (W. A. Mackaness 1994, M. Bader i R. Weibel 1997, Lecordix 1997, B. Genin, J. P. Donnay 1997).

3. Modele generalizacji

Modele generalizacji ujmują proces generalizacji w sposób ogólny, wskazując na podstawowe elementy, składniki lub procesy oraz określając relacje między nimi. Pierwsze modelowe ujęcia pojawiły się w latach 60- i 70-tych (L. Ratajski 1967, 1973, J. Morrison 1974), gdy nie było jeszcze potrzeby ujmowania tego procesu z punktu widzenia zastosowań komputerowych.

L. Ratajski (1967) wyróżnił dwa typy generalizacji – ilościową, która wiąże się ze stopniową redukcją treści mapy w związku ze zmianą skali i jakościową, która polega na transformacji elementarnych form symbolizacji do bardziej abstrakcyjnej formy. Istota jego modelu polega na wyznaczeniu „progów generalizacyjnych”, czyli poziomów redukcji skali, w których pojemność mapy spada do takiego poziomu, że konieczna staje się zmiana kartograficznej metody pre-

zentacji. Warto podkreślić, że wybitni znawcy problematyki generalizacji komputerowej, R. B. McMaster i K. S. Shea (1992) uważają model Ratajskiego za najważniejszy europejski model generalizacji.

J. Morrison (1974) określił relacje między czterema elementami generalizacji, które zostały wyróżnione przez A. H. Robinsona i B. B. Pe-tchenik (1975): uproszczeniem, klasyfikacją, indukcją i symbolizacją. Swój model oparł on na teorii zbiorów, czego konsekwencją jest traktowanie generalizacji jako transformacji między trzema zbiorami elementów: zbiorem „rzeczywistości kartografa” (SCR), zbiorem „fizycznych elementów mapy” (PM) a zbiorem „elementów rzeczywistości czytelnika mapy” (SRR). Transformacje mogą mieć charakter odnoszenia (jeden do jednego), nakładania (jeden na drugi) lub dwoisty (oba typy jednocześnie).

W latach 80-tych opracowano kilka modeli uwzględniających potrzeby systemów komputerowych (K. Brassel 1985). Najciekawsze z nich zostaną omówione poniżej.

3.1. Model Nickersona i Freemana

Pierwszym modelem traktującym generalizację z punktu widzenia systemów komputerowych jest model B. G. Nickersona i H. Freemana (1986) (także B. G. Nickerson 1991). Autorzy rozpatrują ten proces jako szereg zadań, które służą do przetworzenia mapy źródłowej w skali większej w mapę docelową w skali mniejszej. Są to:

- modyfikacje elementów,
- skalowanie symboli,
- przesuwanie elementów i rozmieszczanie symboli,
- zmniejszenie skali,
- umieszczanie nazw.

Model nie ogranicza się do wskazania zadań, ale proponuje również operatory, za pomocą których mogą być wykonane te zadania. Dzięki szczegółowemu wskazówkom model może być wykorzystany do tworzenia komputerowych programów generalizacji.

3.2. Model McMastera i Shea

Szersze ujęcie problemu generalizacji zaproponowali R. B. McMaster i K. S. Shea (1992) w pojęciowym modelu opartym na założeniach teoretycznych. Zidentyfikowali oni trzy podstawowe problemy, które muszą być uwzględnione w systemach automatycznych:

- określenie założeń lub celów generalizacji, a więc wskazanie dla czego generalizujemy,

- określenie sytuacji, czyli określenie warunków, które wskazują kiedy generalizujemy,
- wybór transformacji na elementach przestrzennych i atrybutach, co oznacza możliwość podjęcia decyzji o tym jak generalizujemy.

Generalizacja jest rozumiana przez autorów jako transformacja informacji przestrzennej i atrybutowej, która powinna być przeprowadzona w taki sposób, aby zapewnić czytelność mapy i treść, odpowiednią z punktu widzenia określonego celu. Generalizacja jest tu rozpatrywana pod kątem graficznej złożoności mapy, która jest rozumiana jako liczba elementów i interakcji między różnymi graficznymi elementami mapy. Oparcie generalizacji na pojęciu złożoności mapy wymaga zastosowania metod określania jej poziomu lub stopnia. Dotychczas jednak, mimo podejmowanych prób (W. Grygorenko 1982), nie opracowano skutecznych metod pomiaru tej właściwości mapy, przede wszystkim ze względu na niejasność kryteriów jej oceny (W. Żyszkowska 1993).

3.3. Model Brassela i Weibela

Najpełniejszy model generalizacji numerycznej przedstawili K. Brassel i R. Weibel (1988). Przyjmując za punkt wyjścia strukturę zjawisk i odpowiadającą im strukturę informacji, wyróżnili pięć procesów prowadzących do generalizacji w środowisku numerycznym:

- rozpoznanie struktury informacji,
- rozpoznanie procesu,
- modelowanie procesu,
- wykonanie procesu,
- prezentację danych.

Kluczowym elementem koncepcji Brassela i Weibela jest biblioteka procesów, która zawiera prawa i procedury generalizacji w formie trzech składników: operatorów, wiedzy, na którą składają się prawa generalizacji oraz wartości tolerancji dla poszczególnych typów obiektów. Koncepcja Brassela i Weibela odpowiada potrzebom zintegrowanych systemów ekspertowych.

3.4. Model Meyera i Powitza

Przyjmując, że opracowanie mapy odbywa się etapami, B. M. Powitz (1990) wyróżnił w procesie sporządzania map numerycznych dwa etapy. Pierwszy z nich obejmuje opracowanie numerycznego modelu krajobrazu (Digital Landscape Model – DLM), drugi – numerycznego modelu kartograficznego (Digital Cartographic Model – DCM).

Numeryczny model krajobrazu ma charakter

bazy danych, która zawiera informacje o położeniu, topologii i atrybutach opisowych obiektów przestrzennych. Opracowanie tego modelu polega na przeprowadzeniu transformacji zbiorów danych, np. wyboru i klasyfikacji, uwzględniających hierarchię i strukturę danych. Zdaniem H. Wu (1997) w tych transformacjach można wykorzystać m. in. teorię grafów i geometrię fraktali.

Na podstawie numerycznego modelu krajobrazu opracowany jest numeryczny model kartograficzny. Uwzględniając cel mapy, jej skalę i zakładaną czytelność, model określa w formie poleceń, w jaki sposób elementy mapy mają być wyrażone graficznie oraz jakiego typu zmiany położenia muszą być przeprowadzone. Dzięki temu model, nie będąc mapą, a jedynie zbiorem poleceń, może w dowolnej chwili stać się mapą wydrukowaną lub wyświetloną na ekranie monitora. Na podstawie jednej bazy danych numerycznego modelu krajobrazu można opracować wiele numerycznych modeli kartograficznych, różniących się skalą, symboliką i przeznaczeniem. Jednak zakres skal modeli opracowanych

na podstawie jednego numerycznego modelu krajobrazu jest ograniczony. Na potrzeby map wielko-, średnio- i małoskalowych konieczne jest tworzenie oddzielnych numerycznych modeli kartograficznych, przy czym – zgodnie z podstawową zasadą kartografii – możliwe jest wyłącznie przechodzenie ze skal większych do mniejszych.

W pierwszym etapie po pojawieniu się komputerów, w kartografii wykorzystywano jedynie środki ułatwiające wybór i usuwanie elementów oraz ich upraszczanie, a więc algorytmy przyspieszające proces generalizacji. Rozwój programów komputerowych, w tym przede wszystkim systemów służących do generalizacji, pociągnął za sobą zmianę myślenia o jej istocie, wyrażającą się bardziej wnikliwym penetrowaniem przebiegu i wszechstronną analizą skutków tego procesu. Ponieważ podstawową rolę w formalizacji i automatyzacji procesu odgrywają operatory generalizacji, zostaną one bliżej scharakteryzowane w drugiej części artykułu, która ukaże się w następnym numerze naszego kwartalnika.

Literatura

Bader M., Weibel R., 1997, *Detecting and resolving size and proximity conflicts in the generalization of polygonal maps*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol.1, s.1525–1532.

Baranowski M., Grygorenko W., 1974, *Próba obiektywnego doboru osiedli na mapach z zastosowaniem maszyny cyfrowej*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 6, nr 4, s.149–158.

Brandenberger Ch., 1997, *From large scale to small scale maps by digital cartographic generalization*. Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol.1, s. 996–1004.

Brassel K., 1985, *Strategies for data models for computer-aided generalization*. „Intern. Yearb. of Cartogr.” Vol. 25, s.11–29.

Brassel K., Weibel R., 1988, *A review and conceptual framework of automated map generalization*. „Intern. Journ. of Geogr. Inform. Systems” Vol. 2, s.229–244.

Buttenfield B., McMaster R.B (ed.), 1991, *Map generalization: making rules for knowledge representation*. London, Longman.

Douglas D.H., Peucker T.K., 1973, *Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature*. „The Canadian Cartographer” Vol. 10, s.112–123.

Gartner G., 1997, *Some aspects of formalizing cartographic knowledge – concerning the process of selection*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 3, 1997, s. 1301–1308.

Genin B., Donnay J.P., 1997, *Resolving conflicts in cartographic generalization with problem-resolution me-*

thods. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 783–788.

Gower R., Pepper J., Edwards T., 1997, *Landplan – automated generalization comes of age*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 126–133.

Grygorenko W., 1982, *A statistical methods for determining of the density of objects on maps*. „Geod. i Kartogr.” T. 31, nr 1, s. 43–58.

Iwaniak A., 1993, *Baza danych a baza wiedzy*. W: VIII Szkoła Kartograficzna, Wrocław, s. 9–16.

Kraak M.J., Ormeling F.J., 1996, *Cartography: Visualisation of spatial data*. Harlow, Longman, 222 s.

Lecordix F., 1997, *Resolution des problemes de generalisation lies a la symbolisation dans PlaGe*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 743–750.

Lee D., 1992, *Cartographic generalization*. Intergraph internal technical paper, 10 s.

Lee D., 1997, *Understanding and deriving generalization rules*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 1258–1265.

Leitner M., Buttenfield B.P., 1995, *Acquisition of procedural cartographic knowledge by reverse engineering*. „Cartography and GIS” Vol. 22, no. 3, s. 232–241.

Li Z., Openshaw S., 1990, *Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization*. „Intern. Journ. of Geogr. Inform. Systems” Vol. 4, s. 542–563.

Li Z., Openshaw S., 1993, *A natural principle for the objective generalization of digital maps*. „Cartography and GIS” Vol. 20, no. 1, s. 19–29.

Lichtner W., 1979, *Computer-assisted process of cartographic generalization in topographic maps*.

„Geoprocessing” Vol. 1, s. 183–199.

Mackness W.A., 1994, *An algorithm for conflict identification and feature displacement in automated map generalization*. „Cartography and GIS” Vol. 21, no. 4, s. 229–232.

Marino J., 1979, *Identification of characteristics along naturally occurring lines: an empirical study*. „The Canadian Cartographer” Vol. 16, no. 1, s. 70–80.

McMaster R.B., 1991, *Conceptual frameworks for geographical knowledge*. W: Buttenfield B., McMaster R.B., *Map generalization: Making rules for knowledge representation*. London, Longman s. 21–39.

McMaster R.B., Shea K.S., 1992, *Generalization in Digital Cartography*. Assoc. of Amer. Geographers, Washington.

Morrison J., 1974, *A theoretical framework for cartographic generalization with emphasis on the process of symbolization*. „Intern. Yearb. of Cartography” Vol. 14, s. 115–127.

Muller J.C., 1989, *Theoretical consideration for automated map generalization*. „ITC Journal” Vol. 3, no. 4, s. 200–204.

Muller J.C., 1991, *Building knowledge tanks for rule based generalization*. W: Proceedings of the 15th International Cartographic Conference, Bournemouth, Vol. 1, s. 257–266.

Muller J.C., Zeshen W., 1992, *Area-patch generalization: a competitive approach*. „The Cartogr. Journ.” Vol. 29, s. 137–144.

Nickerson B.G., 1988, *Automated cartographic generalization for linear features*. „Cartographica” Vol. 25, no. 3, s. 16–66.

Nickerson B.G., 1991, *Knowledge engineering for generalization*, [w:] Buttenfield B.P., McMaster R.B.: *Map generalization: Making rules for knowledge representation*, London, Longman, s.40–55.

Nickerson B.G., Freeman H., 1986, *Development of a rule-based system for automatic map generalization*. W: Proceedings, Second Intern. Sympos. on Spatial Data Handling, Washington, s. 537–556.

Pannekoek A.J., 1962, *Generalization of coastlines and contours*. „Intern. Yearb. of Cartogr.” Vol. 2, s. 55–75.

Pawlak W., 1971, *Charakter zniekształceń wybranych elementów treści mapy powstałych w procesie generalizacji*. „Acta Univ. Wratislaviensis” Nr 133, Studia Geogr. t. 15, 112 s.

Pawlak W., 1972, *Niektóre problemy generalizacji hipsometrii*. „Acta Univ. Wratislaviensis” Nr 162, Studia Geogr. t. 16, 54 s.

Pawlak W., 1993, *Komputerowa generalizacja rzek w świetle jednego eksperymentu*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 25, nr 1, s. 1–13.

Perkal J., 1958, *Próba obiektywnej generalizacji*. „Geod. i Kartogr.” T. 6, nr 2, s. 130–142.

Powitz B.M., 1990, *Automationsgestützte Generalisierung*. „Kartogr. Nachrichten” Bd. 40, H. 2, s. 97–101.

Ratajski L., 1967, *Phenomenes des points de generalisation*. „Intern. Yearb. of Cartogr.” Vol. 7, s. 143–151.

Ratajski L., 1973, *Rozważania o generalizacji kartograficznej*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 5, nr 2, s. 49–55, nr 3, s. 103–110.

Ratajski L., Winid B., 1963, *Kartografia ekonomiczna*. Warszawa, PPWK.

Regnaud N., 1997, *Structuration du bati pour la generalisation*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 1395–1401.

Robinson A.H., Petchenik B.B., 1975, *The map as a communication system*. „Cartogr. Journal” Vol. 12, no. 1, s. 7–15.

Ruas A., Mackness W., 1997, *Strategies for urban map generalisation*. W: Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 1387–1394.

Saliszczew K.A., 1972, *Historia i współczesny rozwój generalizacji kartograficznej*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 4, nr 1, s. 1–13.

Sirko M., 1988, *Teoretyczne i metodyczne aspekty obiektywizacji doboru osiedli na mapach*. Lublin, UMCS.

Srnka E., 1970, *The analytical solution of regular generalization in cartography*. „Intern. Yearb. of Cartogr.” Vol. 10, s. 48–62.

Szaflarski J., 1965, *Zarys kartografii*. Warszawa, PPWK.

Tobler W., 1964, *An experiment in the computer generalization of maps*. Techn. Report No.1, Office of Naval Research Task, No. 389.

Tobler W., 1989, *Numerical map generalization*, „Cartographica”, Vol. 26, nr 1, s. 7–25.

Töpfer F., 1979, *Kartographische Generalisierung*. Ergänzungsheft Nr 276 zu „Petermanns Geogr. Mitt.” Gotha.

Wang Z., Muller J.C., 1993, *Complex coastline generalization*. „Cartography and GIS” Vol. 20, no. 2, s. 96–106.

Weibel R., 1991, *Amplified Intelligence and Rule-Based System*. W: Buttenfield B.P., McMaster R.B., *Map generalization: making rules for knowledge representation*. London, Longman.

Weibel R., 1995, *Three essential building blocks for automated generalization*. W: J.C. Muller, J.P. Lagrange, R. Weibel, *GIS and generalization, methodology and practice*. London, Taylor & Francis, s. 56–69.

Wu H., 1997, *Structured approach to implementing automatic cartographic generalization*. „Proceedings of the 18th ICA International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. 1, s. 349–356.

Żyszkowska W., 1993, *Złożoność mapy jako właściwość obrazu kartograficznego i jej wpływ na odbiór mapy*. „Polski Przegl. Kartogr.” T. 25, nr 3, s. 116–122.

Generalization of digital maps – concepts and tools

Part one

Summary

The paper presents selected issues in automatic generalization, particularly in producing medium-scale maps from large-scale maps. The first part describes the development of ideas and research directions in generalization, as well as selected models of generalization.

Due to the subjective nature of generalization, directly applying the traditional (manual) techniques of map generalization to computer systems is not possible. It is necessary to use artificial intelligence methods and to formulate the problems from the standpoints of computer systems (R. B. McMaster 1991), such as the operators and algorithms for generalization, and the correctness criteria.

So far the attempts at automatic generalization have been limited to imitating the traditional approach. These focused on the geometric aspects of generalization of the separate map elements, mainly lines and points. However, most algorithms simplify all lines in the same way, and the total result is not as good as what is achieved using traditional methods (W. Tobler 1964, D. H. Douglas and T. K. Peucker 1973, D. M. Brophy 1973). Also the „root law” of F. Töpfer (1979) used in selecting map elements, ignores the specific features of elements. Less of a problem is qualitative generalization, i.e. the process of grouping the low level features into a

feature of higher level. But here, too, some fundamental understanding of the characteristics of the domain and the related classification methods, is required.

Recently, many researchers have been trying to construct a computer system for map generalization at various scales and map contents, that would consider both qualitative and quantitative aspects of generalization (B. G. Nickerson, K. S. Shea 1992). They are based on a holistic approach to generalization and consider the following three aspects:

- 1) generalization models as the theoretical foundation for digital generalization,
- 2) processes and operators for generalization,
- 3) cartographic knowledge, encoded as rules.

The models of generalization define the components of the process and relations between them. Among the most important models, developed from the point of view of computer systems are the models of: B. G. Nickerson and H. Freeman (1986), R. B. McMaster and K. S. Shea (1992), K. Brassel and R. Weibel (1988) as well as B. Powitz (1990), presented in the first part of the paper. An important aspect of those models are the operators and generalization knowledge which will be discussed in the second part of the paper.

Генерализация цифровых карт – концепция и орудия

Часть 1

Резюме

В статье рассмотрены избранные вопросы автоматической генерализации, связанные, прежде всего, с разработкой среднemasштабных карт на основе крупномасштабных карт. В первой части представлено развитие взглядов и направления исследований по генерализации, а также избранные модели генерализации.

Ввиду субъективного характера генерализации, простое перенесение традиционной техники генерализации карт на компьютерные системы не является возможным. Необходимым является применение метода искусственной интеллигенции и сформулирование проблем с точки зрения компьютерной технологии (Р. Б. Мак Мастер 1991), между прочим, возможности определения критериев генерализации, а также её операторов и алгоритмов.

В работах по автоматизации процесса генерализации предпринимаются, прежде всего, попытки имитации традиционных концепций генерализации, касающейся отдельных элементов карты, которые сосредоточиваются на геометрических аспектах генерализации отдельных элементов карты, главным образом, линий и точек.

Большинство предлагаемых алгоритмов упрощает однако все линии тем же самым способом, что даёт худший эффект, чем получаемый традиционным путём (И. Тоблер 1964, Д. Х. Даглас и Т.Л. Пойкер 1973, Д. М. Брофи 1973). Также „закон корня” Ф. Топфера (1979), применяемый при выборе элементов карты, не учитывает характера элементов.

Меньше проблем причиняет качественная генерализация, т.е. группирование категории низшего порядка в категорию высшего порядка. Однако и здесь требуется основательное знание характера явления и методов классификации, применяемых в различных областях.

В последнее время многие исследователи предпринимают попытки разработки компьютерной системы генерализации карт в разных масштабах, с разным объёмом содержания и различного предназначения, которая учитывала бы как количественные, так и качественные аспекты генерализации карт (Б. Г. Никерсон, К. С. Шие 1992). Они опираются на совокупном подходе и рассматривают картографическую генерализацию

в трёх аспектах:

1) теоретических основ цифровой генерализации в форме моделей генерализации,

2) процедур процессов и операторов генерализации,

3) картографических знаний, закодированных в виде правил.

Модели генерализации истолковывают процесс генерализации общим способом, определяя её компоненты или процессы, а также взаимосвязи

между ними. К наиболее важным моделям, разработанным с точки зрения компьютерных систем, принадлежат модели Б. Г. Никерсона и Х. Фреймана (1986), Р. Б. Мак Мастера и К. С. Шие (1992), К. Брасселя и Р. Вайбеля (1988) и Б. Повица (1990). Важную роль играют в них операторы генерализации и знания о генерализации, которые будут рассмотрены во второй части статьи.