

Sprawdzenie przydatności metody automatów komórkowych do automatyzacji procesu generalizacji kartograficznej wymaga przeprowadzenia wielu eksperymentów numerycznych. Badania takie wykonano dla danych pozyskanych w ramach programu CORINE Land Cover.

Automaty komórkowe a generalizacja kartograficzna

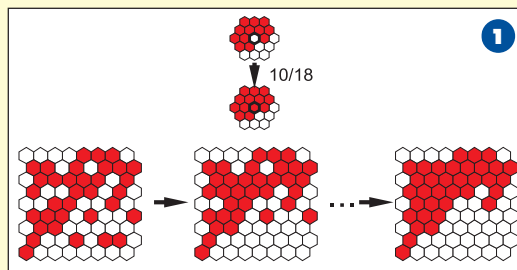
ROBERT OLSZEWSKI

Skonstruowanie maszyny zdolnej do automatycznego wykonywania złożonych obliczeń było marzeniem pokoleń matematyków. Pierwszym krokiem ku jego urzeczywistnieniu stało się opracowanie w latach 30. XX w. przez Alana Turinga teoretycznego schematu takiej maszyny. Tak zwana uniwersalna maszyna Turinga to abstrakcyjna konstrukcja matematyczna pozwalająca w mechaniczny sposób wykonywać obliczenia na podstawie przedstawionego algorytmu. Maszyna Turinga stanowi teoretyczny schemat współczesnych komputerów jednoprosesorowych, jest także narzędziem mierzenia złożoności obliczeniowej. Równie istotne jest to, iż zaproponowany przez Turinga rozkład złożonej operacji na elementarne kroki obliczeniowe zapoczątkował badania w dziedzinie sztucznej inteligencji wykorzystującej matematyczny model mózgu.

Niespełna dziesięć lat po przełomowych pracach Turinga złożoność obliczeniowa stała się przedmiotem badań węgierskiego emigranta Jonosa von Neumanna. Pracując w latach 40. w laboratorium Los Alamos nad implozją materiałów rozszczepialnych naukowiec opracował teoretyczny schemat komputera neuronowego prowadzącego obliczenia równoległe. Prace von Neumanna mają fundamentalne znaczenie dla analizy numerycznej i wciąż mogą być inspiracją dla wielu dziedzin nauki.

● Automaty komórkowe

Zajmując się zagadnieniem samoreplikujących się sztucznych organizmów, John von Neumann opracował metodę wykonywania obliczeń równoległych. Za radą lwowskiego matematyka Stanisława Ula-



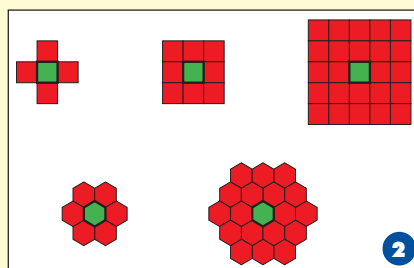
ma wprowadził do swej teorii pojęcie dyskretnego czasu oraz dyskretnego przestrzeni. Pozwoliło to nadać samoreprodukującej się maszynie von Neumanna znacznie prostszą, bardziej uniwersalną i abstrakcyjną postać – tzw. automatu komórkowego, rozumianego jako zestaw komórek zaprogramowany do wykonywania pewnych reguł. Automat ten miał strukturę sieci kwadratowej. Poszczególne komórki automatu mogły przyjmować określoną wartość (stan), zmieniającą się w kolejnych iteracjach (epokach obliczeniowych) na drodze cyfrowej ewolucji zależnie od stanu komórek otaczających. Ewolucja automatu opiera się na regułach lokalnych – każda komórka do określenia swego stanu w danej chwili potrzebuje jedynie informacji na temat stanu swych sąsiadów. Oznacza to, że działanie automatu komór-

kowego jest ze swej natury równoległe. Obliczenia w poszczególnych obszarach przebiegają niezależnie. Automat komórkowy można zatem uznać za prosty model komputera wieloprosesorowego.

Automat składa się z komórek, które mogą być przedstawione jako regularna siatka kwadrato-

wa, trójkątna, heksagonalna itp. Komórki przyjmują wartości ze skończonego zbioru stanów, np. $\{0, 1\}$ lub $\{\text{biały, czarny, czerwony}\}$. W skład automatu wchodzi również reguła ewolucji zadana lokalnie, która określa stan danej komórki w zależności od stanu komórek sąsiednich w poprzednim kroku ewolucji. Przykładem takiej reguły jest wyrażenie: *jeżeli dla danej komórki co najmniej 10 spośród 18 komórek sąsiednich w epoce t było w stanie S , to dana komórka w epoce $(t + 1)$ przyjmie stan S* (rys. 1).

Istotą działania automatu komórkowego jest wykonywanie obliczeń równoległych, a efektem stosowania lokalnej reguły automatu komórkowego jest określenie globalnej struktury obrazu wynikowego. Początkowa konfiguracja komórkowa, będąca rodzajem mapy określającej stan początkowy każdej komórki, ewoluuje w kolejnych iteracjach na podstawie zasady przemiany. Istotny wpływ na wynik procesu ma liczba sąsiadów uwzględnianych w procesie obliczania stanu komórki – tzw. definicja otoczenia (rys. 2). Im większa jest liczba uwzględnianych sąsiadów, tym wyraźniejsze są efekty ewolucji automatu. Według Stephena Wolframa automaty komórkowe są zdolne do wykonywania ob-



liczeń równoległych o dowolnej złożoności. W opublikowanej w 2002 r. monografii „*A New Kind of Science*” sformułował on tzw. prawo równoważności obliczeniowej (*Principle of Computational Equivalence*). Zgodnie z tą hipotezą wszystkie procesy naturalne lub antropogeniczne można interpretować jako programy wykonywane na wieloprocesorowym „komputerze” materii i energii.

● Generalizacja kartograficzna

We współczesnej kartografii istnieje kilka teoretycznych orientacji metodologicznych i problemowych, spośród których najważniejszą rolę odgrywają koncepcje komunikacyjna i poznawcza. W podejściu komunikacyjnym mapa utożsamiana jest z komunikatem, a więc zbiorem informacji przekazywanym w relacji nadawca – odbiorca. Orientacja ta kładzie nacisk na informacyjną funkcję mapy. Orientacja poznawcza natomiast traktuje kartografię jako naukę zajmującą się odwzorowywaniem i badaniem zjawisk występujących w przestrzeni geograficznej z punktu widzenia ich rozmieszczenia, właściwości, współzależności i za-

chodzących zmian. Osiągnięciem orientacji poznawczej jest opracowanie teorii modelowania kartograficznego. W koncepcji tej redakcja mapy została utożsamiona z procesem modelowania konkretnego stanu rzeczywistości lub szerzej – z opisem tego stanu i zmian zachodzących w czasie i w przestrzeni geograficznej. Z koncepcją tą zgodna jest podana w 1990 roku przez Międzynarodową Asocjację Kartograficzną definicja mapy rozumianej jako model wybranego aspektu rzeczywistości geograficznej i zarazem narzędzie do przedstawiania informacji przestrzennej. Model służy ukazaniu charakterystycznych aspektów badanego fragmentu rzeczywistości w stopniu umożliwiającym jego poznanie.

Ze względu na ograniczoną pojemność informacyjną mapy opracowanej w danej skali, w procesie przekazu kartograficznego istnieje konieczność celowej redukcji informacji przestrzennej poprzez generalizację. Generalizację kartograficzną można określić jako dążenie do osiągnięcia kompromisu pomiędzy tendencją do przekazania maksimum informacji a tendencją do zastosowania minimalnej liczby sygnałów graficznych w celu osiągnięcia jak największej czytelności mapy.

Złożoność i wieloaspektowość generalizacji kartograficznej sprawia, iż zagadnienie to niezwykle trudno zdefiniować w postaci znormalizowanego zestawu reguł algorytmicznych. Rozwój technologii komputerowej w drugiej połowie XX wieku przyczynił się do podejmowania prób automatyzacji tego procesu, a głównie jego wybranych elementów składowych, np. opracowania operatorów upraszczania obiektów liniowych.

Jedną z najważniejszych potrzeb dzisiejszej kartografii jest zatem określenie obiektywnych reguł oraz skonstruowanie na ich podstawie całościowego modelu procesu generalizacji. Większość podejmowanych prób dotyczy wektorowych danych źródłowych. Równie interesujące są jednak próby implementacji reguł generalizacyjnych dla danych rastrowych.

● Badania

Sprawdzenie przydatności metody automatów komórkowych do automatyzacji procesu generalizacji kartograficznej wymaga przeprowadzenia wielu eksperymentów numerycznych. Badania takie wykonano dla danych pozyskanych w ramach programu CORINE Land Cover. Skala

R E K L A M A

NASZE MIASTA W EUROPIE

Wykorzystaj satelitarną technologię

TX Net oferuje Państwu najnowsze **zdjęcia satelitarne IRS** obejmujące obszar całej **Polski**. Dzięki nim będziecie mogli Państwo stosować wykorzystywaną w krajach Unii Europejskiej technologię planowania przestrzennego.

ORTOFOTOMAPA - przetworzone obrazy satelitarne IRS to:

- Pełna integralność z wszystkimi systemami GIS
- Obraz rzeczywisty
- Aktualność
- Najszybsza technologia do opracowywania map powiatów i większych obszarów
- Rozróżnialność szczegółów na poziomie mapy topograficznej w skali 1:25000
- Dostosowanie skali do potrzeb użytkownika
- Korzystny współczynnik jakości do ceny

Zastosowania: planowanie przestrzenne, aktualizacja map topograficznych, zarządzanie kryzysowe, monitorowanie zmian zagospodarowania terenu i środowiska, analiza różnic pomiędzy stanem faktycznym a uwidocznionym w ewidencji gruntów, klasyfikacja użytków, tworzenie map ryzyka ekologicznego, planowanie gospodarki leśnej: wyznaczanie granic kompleksów leśnych, planowanie wyrębów lasów, wyznaczanie dróg pożarowych.

TX Net Grupa Techmex, 43-300 Bielsko-Biała, ul. Grażyńskiego 141, tel. (033) 8130276, fax. (033) 8130045 www.txnet.pl

GRUPA

TECHMEX

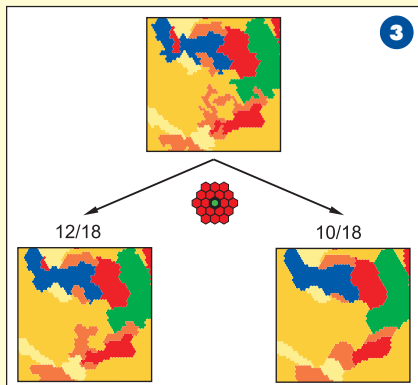
źródłowa opracowania danych CORINE wynosi 1:100 000. Klasyfikacja przyjęta w projekcie zawiera 44 formy pokrycia terenu (11 z nich nie występuje w naszym kraju) ujęte na trzech poziomach szczegółowości. Zatem baza danych użytkowania ziemi w Polsce (opracowana przez Instytut Geodezji i Kartografii) zawiera 5 głównych form pokrycia terenu (pierwszy poziom), 15 podgrup drugiego poziomu i 33 formy pokrycia terenu wchodzące w zakres trzeciego, najbardziej szczegółowego poziomu.

Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3
3. Lasy i ekosystemy seminaturalne	3.1. Lasy	3.1.1. Lasy liściaste 3.1.2. Lasy iglaste 3.1.3. Lasy mieszane

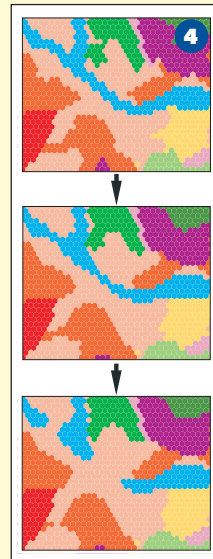
Tab. 1. Klasyfikacja CORINE Land Cover (fragment)

W badaniach przeprowadzonych dla wybranych obszarów testowych analizowano wpływ różnych parametrów generalizacji metodą automatów komórkowych (rozdzielczość danych, rodzaj sąsiedztwa, reguła). Największy wpływ na działanie automatu komórkowego ma jednak postać funkcji przemiany. Istnieje nieskończenie wiele możliwych reguł określających ewolucję automatu komórkowego. Z punktu widzenia automatyzacji procesu generalizacji kartograficznej interesujące są jednak jedynie tzw. reguły większościowe prowadzące do agregacji danych źródłowych (rys. 3). Dla funkcji agregującej dopuszczającej zmianę stanu komórki, gdy co najmniej 12 jej sąsiadów znajduje się w stanie odmiennym (reguła 12/18), automat jedynie nieznacznie upraszcza dane źródłowe, kończąc działanie w 4. iteracji. Osłabienie kryterium generalizacji (reguła 10/18) prowadzi do znacznego wydłużenia czasu działania automatu (11 iteracji). Efektem działania jest jednak obraz znacznie bardziej uproszczony.

Działanie tak zdefiniowanego prostego automatu komórkowego można porównać do



iteracyjnego stosowania filtrów wysokich częstotliwości (dolnoprzepustowych). Istotą tego procesu jest bowiem zastosowanie zunifikowanych reguł (funkcji) o charakterze lokalnym, determinujących globalny proces agregacji i uproszczenia obrazu wynikowego. Zastosowanie elementarnego automatu komórkowego jako metody generalizacji kartograficznej daje zadowalające rezultaty dla danych źródłowych o charakterze powierzchniowym. Dla obiektów wydłużonym kształcie liniowym (np. sieci rzecznej) użycie automatu o uniwersalnej,

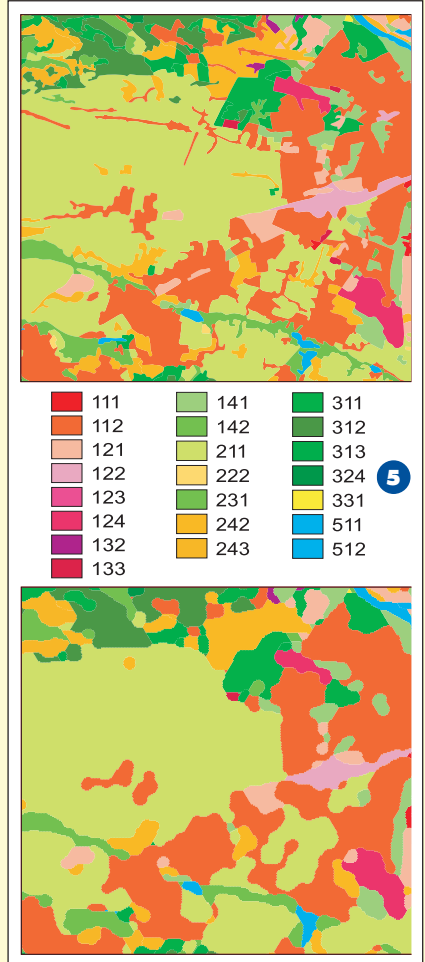


prostej regule może natomiast prowadzić do powstawania niedopuszczalnych błędów topologicznych (rys. 4). Zastosowanie reguły 12/18 prowadzi do przejęcia (iteracja 2), a następnie numerycznego „pęknięcia” (iteracja 3) obiektów o wydłużonym kształcie liniowym – np. rejonu ujścia Wisły. Rozwiązaniem tego problemu

może być zastosowanie rozbudowanej funkcji przemiany automatu komórkowego, definiującej odmienne warunki dla różnych typów obiektów (np. wzmocnienie kryterium dla wód płynących). Regułą taką można zapisać w postaci szeregu zdań warunkowych lub zaimplementować w stosunkowo prostej sieci neuronowej. Tak zdefiniowany automat komórkowy pozwala na uzyskanie znacznie lepszych rezultatów generalizacji danych źródłowych (rys. 5).

● Złożone wynikiem prostego

Przeprowadzone badania wskazują, iż złożony, globalny obraz wynikowy może być efektem zastosowania prostych reguł o charakterze lokalnym. Zaletą automatu jest prowadzenie obliczeń równoległych, co znacznie przyspiesza jego działanie. Jednocześnie analizowanych jest jedynie kilkadziesiąt komórek. Zastosowanie złożonej funkcji przemiany automatu pozwala natomiast na skalowanie procesu generalizacji. Przy doborze parametrów metody należy jednak zwrócić uwagę nie tylko na



postać reguły, lecz także wielkość elementarnego oczka siatki (rozdzielczość danych źródłowych). Zastosowanie zbyt dużej siatki prowadzi bowiem do pominięcia istotnych szczegółów już na etapie wstępnej konwersji danych z postaci wektorowej do gridowej.

Dr Robert Olszewski jest adiunktem w Zakładzie Kartografii Politechniki Warszawskiej

Literatura:

- Baranowski M., Ciołkosz A., 1997, *Nowa mapa użytkowania ziemi w Polsce jako pochodna danych „CORINE Land Cover”*, „Polski Przegląd Kartograficzny” tom 29, nr 4;
- Coveney P., Highfield R., 1997, *Granice złożoności*, Prószyński i S-ka, Warszawa;
- Kulakowski K., 2000, *Automaty komórkowe*, AGH Kraków, Wydawnictwo „jak”;
- McMaster R. B., 1991, *Conceptual frameworks for geographical knowledge*, In: *Map generalization: Making rules for knowledge representation*, Red. B. Buttenfield, R. B. McMaster, London, Longman;
- Wilkinson G., 2001, *Using cellular automata to generalize satellite-derived raster data for GIS input*, ICA Pekin;
- Wolfram S., 2002, *A New Kind of Science*, Wolfram Media Inc., Winnipeg.