

ZASTOSOWANIE METODY CHROBAKA UPRASZCZANIA LINII W RASTROWYCH TECHNIKACH POZYSKIWANIA DANYCH

APPLICATION OF CHROBAK'S LINE SIMPLIFICATION METHOD IN REMOTE SENSING

Maria Żukowska¹, Krystian Koziół²

¹ Zakład Geodezji i Kartografii, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza

² Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedra Ekologii Lasu
Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie

Słowa kluczowe: generalizacja obiektów liniowych i poligonowych, upraszczanie, teledetekcja, detekcja obiektów, generalizacja obiektowa

Keywords: generalization of linear and areal objects, simplification, remote sensing, detection of objects, objects generalization

Wstęp

Współczesne technologia pozyskiwania danych przestrzennych coraz częściej sięga do technologii przetwarzania obrazu i detekcji obiektów na ich podstawie. Obiekty wektorowe uzyskane na podstawie obrazów rastrowych dziedziczą pewne cechy z formatu rastrowego. W głównej mierze jest to odległość pomiędzy kolejnymi wierzchołkami linii łamanej oraz charakterystyczne załamania linii pod kątem prostym. Dane wektorowe, które posłużyły jako testowe w niniejszym opracowaniu są wynikiem działania algorytmów detekcji obrazu satelitarnego metodą obiektową (de Kok, Koziół, Wężyk, 2005) – oprogramowanie eCognition 5. Analizowany obraz satelitarny pochodził z satelity QuickBird, a zobrazowanie obejmowało obszar Staszowa i wykonane zostało w ramach projektu „Ocena możliwości wykorzystania wysokorozdzielczych zobrazowań lotniczych i satelitarnych oraz technik GPS przy inwentaryzacji lasu na przykładzie wybranych drzewostanów Nadleśnictw Staszów i Niepołomice”. Dane satelitarne i wektorowe zostały udostępnione przez Laboratorium GIS i Teledetekcji, Katedry Ekologii Lasu, Wydziału Leśnego, Akademii Rolniczej w Krakowie. Analizowane dane wektorowe zostały zapisane w postaci ShapeFile (format ESRI).

W niniejszym opracowaniu autorzy proponują algorytm upraszczania rysunku linii powstałych w wyniku automatycznej klasyfikacji obrazów teledetekcyjnych, stanowiących granice obszarów użytkowania gruntów. Celem pracy jest taka transformacja rysunku krzywych, aby przy maksymalnym ich uproszczeniu („wyprostowaniu”) zachować ich zgeneralizowany trend. Proponowana procedura ta składa się z trzech etapów:

1. Uproszczenie podstawowe, wykonane przy pomocy kartograficznej metody upraszczania krzywych Chrobaka.
2. Dalsze uproszczenie z wykorzystaniem współczynnika krętości liczonego dla poszczególnych wierzchołków łamanej.
3. Ostateczne czyszczenie rysunku, polegające na wykorzystaniu buforów wierzchołków łamanych.

Rysunek 1 przedstawia efekty zastosowania algorytmu dla wybranego zbioru łamanych wejściowych porównanie rysunku 1.1 oraz 1.6 ilustruje stopień uproszczenia. W dalszej części zostaną przedstawione szczegóły proponowanych rozwiązań.

Metoda Chrobaka

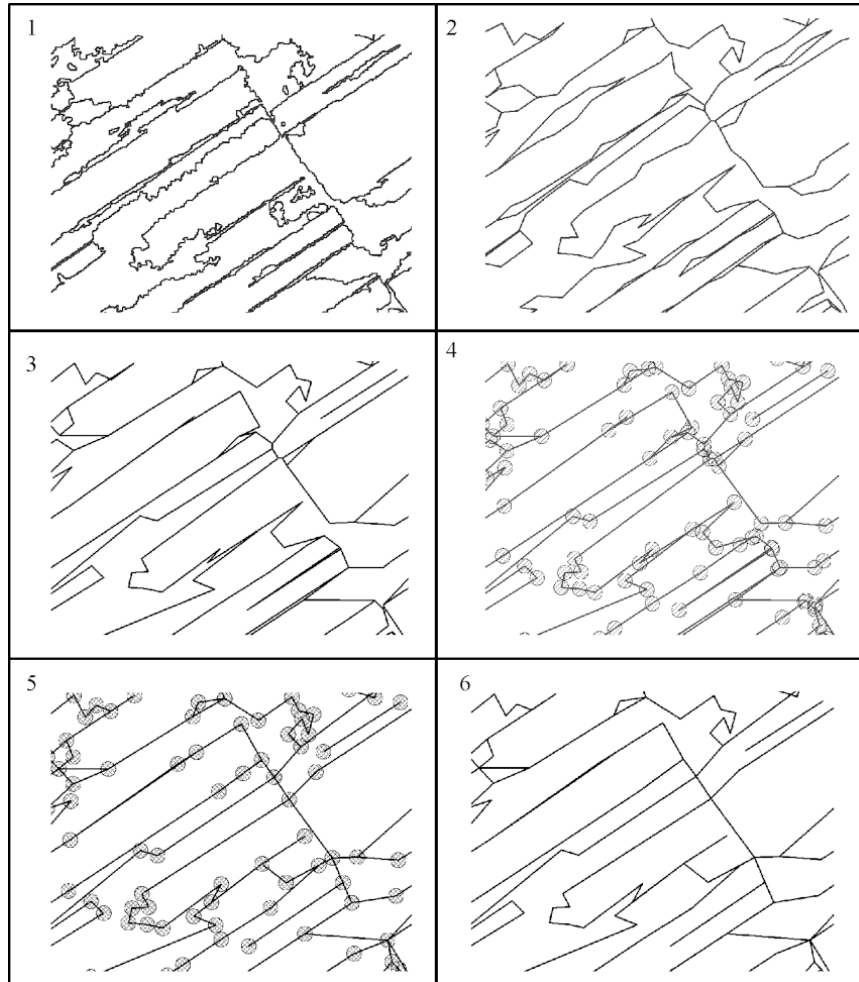
Algorytm upraszczania Chrobaka (1999) jest stosowany w kartografii do celów generalizacji map. Cechuje go możliwość zdefiniowania obiektywnego kryterium zachowania rozpoznawalności rysunku linii na mapie w procesie przejścia od skal większych do mniejszych. Zdefiniowano w nim wzorzec, czyli figurę geometryczną, która jednoznacznie odnosi się do badanej krzywej. W przypadku krzywych zapisanych jako łamana jest to trójkąt utworzony przez dwa sąsiadujące odcinki łamanej (ramiona trójkąta) oraz odcinek łączący początek pierwszego z nich z końcem drugiego (cięciwa – podstawa trójkąta).

Metoda Chrobaka jest w swoim działaniu zbliżona do znanej w generalizacji kartograficznej procedury Douglasa-Peuckera (1973). Jej modyfikacja polega na zmianie kryterium akceptacji kolejnych punktów łamanej z oceny długości odcinka poprowadzonego z podstawy trójkąta prostopadle do badanego wierzchołka (porównywanej z pewną arbitralnie przyjętą wartością) na kryterium oparte na ocenie zachowania czytelności (rozpoznawalności) trójkąta. Do nowej, uproszczonej krzywej dodawany jest ten punkt, dla którego trójkąt zbudowany na sąsiadujących z nim odcinkach łamanej spełnia warunek trójkąta elementarnego. Jak już wspomniano spełnienie tego warunku jest kryterium niezależnym od operatora algorytmu, a więc kryterium obiektywnym.

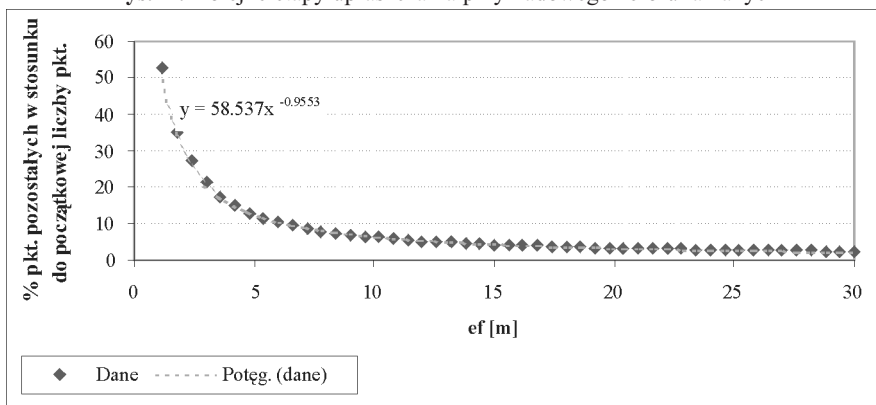
Podstawowym problemem podczas upraszczania rysunku linii granicznych (rys. 1.1) obszarów użytkowania jest znalezienie punktów charakterystycznych, stanowiących punkty załamania zgeneralizowanego rysunku linii. Metoda Chrobaka, podobnie jak algorytm Douglasa-Peuckera, charakteryzują się tym, że w czasie generalizacji łamanej wybierane zostają wierzchołki o największej wartości krętości (zob. str. 89) (Dutton, 1999). Wspomniane punkty charakterystyczne cechować się będą podobną własnością. Wybór metody Chrobaka, jako pierwszego uproszczenia krzywej (rys. 1.2), jest więc uzasadniony, gdyż automatycznie określone i wybrane do dalszej analizy zostaną punkty o największej krętości, czyli również poszukiwane punkty załamania.

Ważnym etapem jest wybranie odpowiedniej wartości tolerancji dla metody, a więc wartości *ef*. W opracowywanym przypadku nie można zdefiniować czytelności w sposób analogiczny do oryginalnego algorytmu Chrobaka, gdyż linie nie są upraszczane dla konkretnej skali mapy docelowej.

Wraz ze wzrostem wartości *ef* spada liczba wierzchołków upraszczanej łamanej. Zmianę liczby punktów pozostałych w procesie w stosunku do rosnącej wartości *ef* dla przykładowego zestawu krzywych wejściowych obrazuje wykres przedstawiony na rysunku 2.



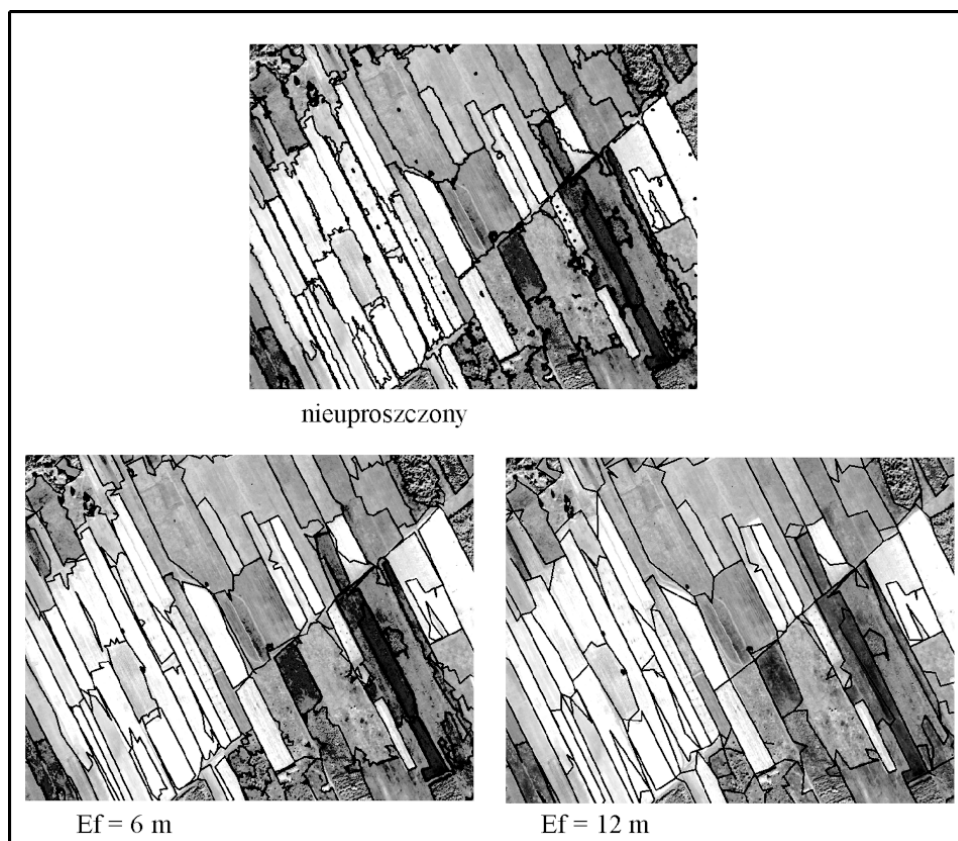
Rys. 1. Kolejne etapy upraszczania przykładowego zbioru łamanych



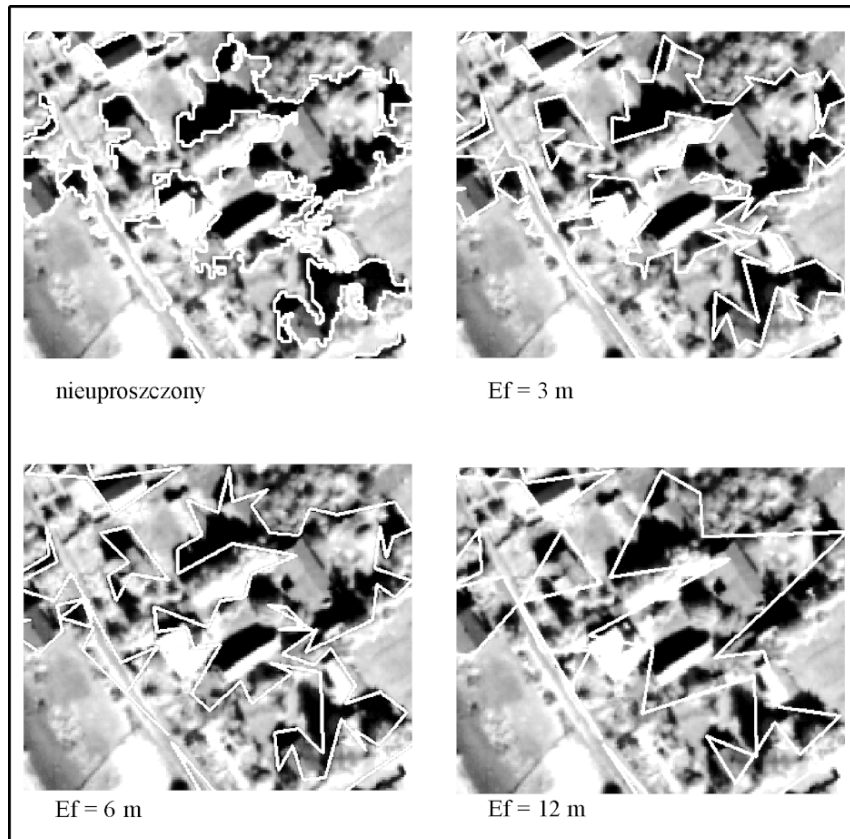
Rys. 2. Zależność liczby punktów pozostałych w procesie od wartości e_f

Doświadczenia pokazały, że najlepsze efekty do dalszego opracowania dostarczają krzywe powstałe po uproszczeniu dla wartości ef odpowiadającej ok. 5 – 10% punktów pozostałych w procesie generalizacji w stosunku do rysunku. Jednak wartość ef odpowiadająca tej wartości jest różna dla różnych rysunków wejściowych (oraz różnych skal docelowych – w oryginalnym podejściu Chrobaka). W rozpatrywanym przypadku będzie niewątpliwie zależała od rozdzielczości terenowej piksela obrazu teledetekcyjnego. Równocześnie należy pamiętać, że zwiększanie wartości ef powoduje odrzucanie w procesie odcinków o długości $< ef$. Stąd też należy dobrać ją tak, aby nie „zgubić” zbyt dużo szczegółów. Zastosowanie jednokrotnych wartości ef dla wszystkich obszarów skutkować może zbyt dużą eliminacją obiektów na obszarach charakteryzujących się występowaniem elementów „drobniejszych” lub też zbyt małym uproszczeniem obiektów o większych rozmiarach.

Ponieważ rozdzielczość terenowa obrazu teledetekcyjnego wynosi 0,6 m, opierając się na tej wartości oraz wspomnianych powyżej uwagach, autorzy zdecydowali się na zastosowanie wartości $ef = 12$ m dla obszarów użytkowanych rolniczo oraz $ef = 6$ m dla obszarów sklasyfikowanych jako tereny zabudowy. Dla porównania zamieszczono również efekty uproszczenia z zastosowaniem wartości $ef = 6$ m (rys. 3) dla terenów rolnych oraz $ef = 3$ m i 12 m (rys. 4) dla terenów zabudowy.



Rys. 3. Porównanie zastosowania różnych wartości ef dla obszarów użytkowanych rolniczo



Rys. 4. Porównanie zastosowania różnych wartości ef dla obszarów zabudowy

Należy podkreślić fakt że autorzy podejmują próbę wskazania możliwości przytoczonych algorytmów i pracują nad udoskonaleniem ich funkcjonowania. Jednocześnie prowadzone są prace zmierzające do określenia bardziej obiektywnego i weryfikowalnego sposobu określenia kluczowego dla opisanych algorytmów współczynnika ef . W związku z powyższym autorzy metodę tę traktują w sposób przybliżony. Jej szerokie stosowanie będzie możliwe po wprowadzeniu udoskonaleń.

Wykorzystanie wartości krętości wierzchołków łamanej

Krętość linii (ang. *line sinuosity*) jest statystyką estymowaną dla każdego wierzchołka elementu liniowego. Miarą krętości jest stosunek długości mierzonej wzdłuż elementu liniowego do długości linii trendu (cięciwy) łączącej jego końcowe wierzchołki i może być obliczony dla różnych rozpiętości (Dutton, 1999):

$$SV_k = \frac{\sum d_{i,i+1}}{d_{v-k,v+k}} \quad (1)$$

gdzie: $k > 0$, $i \in \langle v-k, v+k-1 \rangle$;

$$SV_{m,n} = \frac{\sum SV_{k=m,n}}{m-m+1} \quad (2)$$

Zmieniając wartości parametrów m i n można zdefiniować obszar (zakres wierzchołków krzywej), dla którego estymowana jest lokalna wartość krętości; n jest topologiczną odległością od danego wierzchołka do najbliższych sąsiadów, pomiędzy którymi konstruowana jest linia trendu, m zaś definiuje najdalszych sąsiadów, dla których dokonuje się analizy. Dla wartości minimalnych ($n = m = 1$) brany jest pod uwagę tylko sam wierzchołek oraz punkty bezpośrednio z nim sąsiadujące. Wartość krętości SV może wynosić od 1,0 (dla punktów kolinearnych) do ∞ (w patologicznych przypadkach).

Tak zdefiniowaną krętość, obliczaną dla wartości $n = m = 1$, a więc tylko dla sąsiednich punktów, zastosowano jako wartość progową dla kolejnego etapu upraszczania badanych łamanych. Stwierdzono, że odrzucając wierzchołki, dla których $SV < 1,1$ stosunkowo łatwo uzyskuje się redukcję odcinków łamanych, które wykazują silny trend do linii prostej, do odcinków. W ten sposób krzywe otrzymane z upraszczania metodą Chrobaka podlegały dalszej generalizacji polegającej na wyprostowaniu segmentów „prawie prostych” (rys. 1.3). Punkty charakterystyczne, to znaczy poszukiwane punkty załamania, nie zostają przez taki test odrzucone, gdyż, jak już wspomniano, cechują się one stosunkowo dużą wartością krętości.

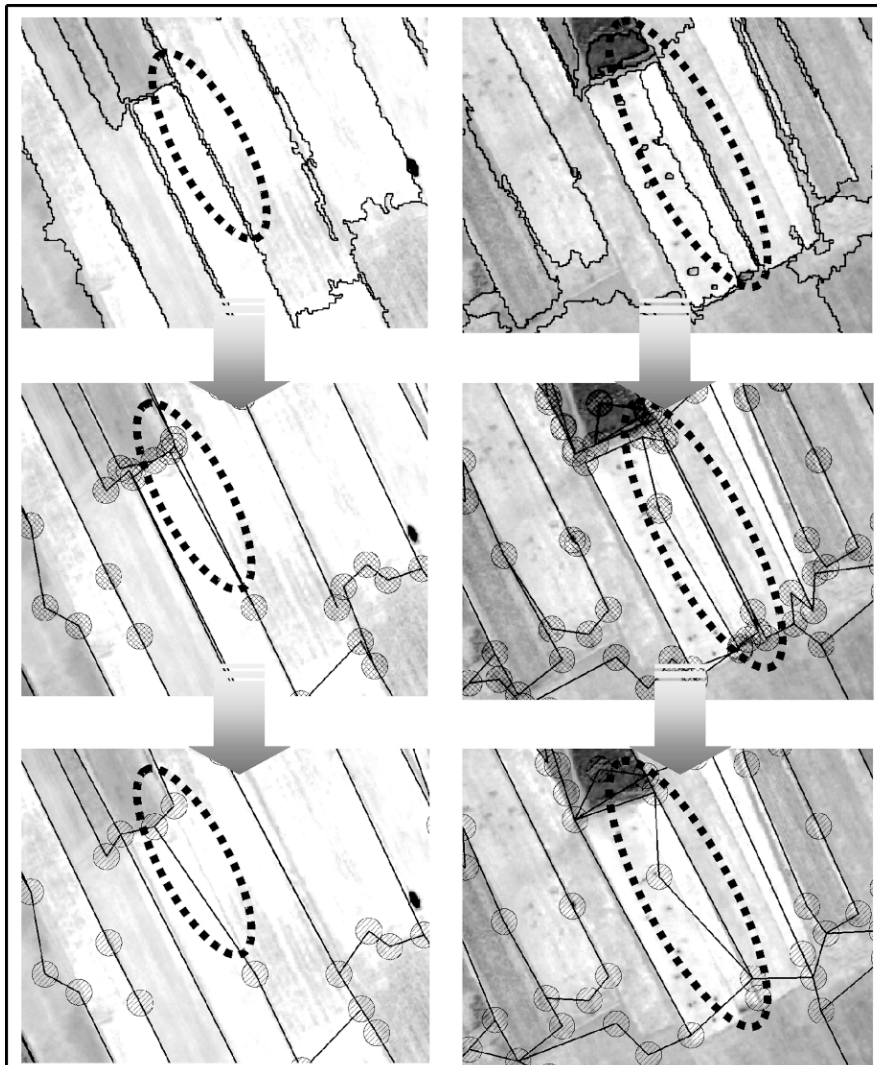
Usuwanie z rysunku elementów niepożądanych

Badane w pracy krzywe powstały w procesie automatycznej klasyfikacji obrazów teledetekcyjnych. Proces ten niekiedy skutkuje zaistnieniem pewnych błędów w interpretacji obrazu (na schemacie blokowym algorytmu – rys. 6 – określane jako „konflikty”). Część z nich można usunąć w ostatnim proponowanym etapie upraszczania rysunku krzywych. Należą do nich m.in. bardzo ostre kąty pomiędzy dwoma liniami, gdzie wierzchołek tego kąta stanowi punkt węzłowy, to znaczy mają w nim swoje punkty końcowe dwie krzywe, zaś ramiona stanowią odcinki tych krzywych. Z logicznego punktu widzenia stanowią one pewną płynną granicę pomiędzy dwoma użytymi, którą można ujednoczyć.

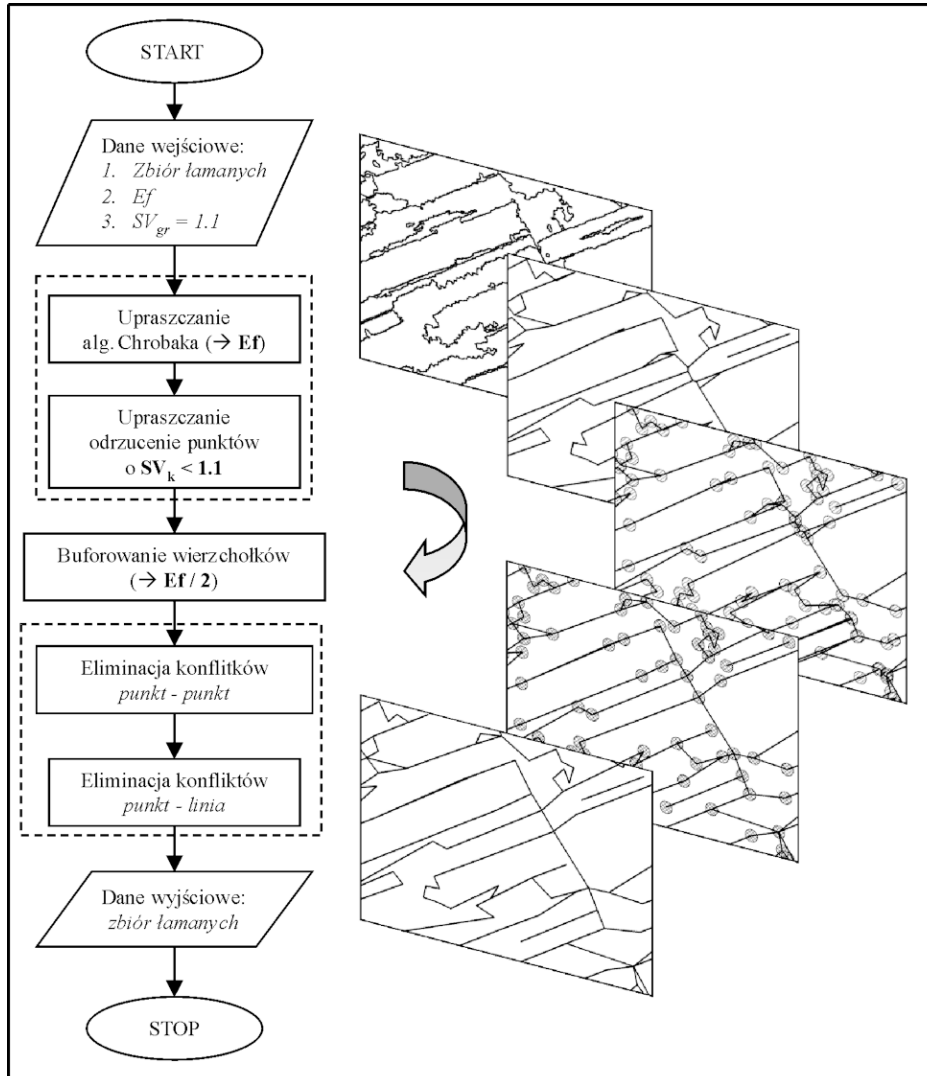
W tym celu zastosowano buforowanie wierzchołków łamanej okręgami o średnicy równej wartości ef , użytej do upraszczania algorytmem Chrobaka (rys. 1.4). Czyszczenie rysunku dzieli się na dwa etapy: (i) przesunięcie punktów, których bufor przecina się, do środka ciężkości tych punktów, oraz (ii) sprawdzenie przecinania się buforów wierzchołków z odcinkami krzywych (różnych od krzywej do której należy badany wierzchołek), które zaczynają się w węźle sąsiadującym z badanym wierzchołkiem. Jeśli takie przecięcie ma miejsce następuje przesunięcie badanego wierzchołka do punktu wychwyconego odcinka znajdującego się w najmniejszej od niego odległości (rys. 1.5). Proces ten zapewniac ma większą spójność topologiczną przekształcanych krzywych.

Opisana metoda usuwania konfliktów wymaga dalszej pracy, ponieważ niekiedy efekty jej działania nie są jeszcze zadowalające – autorzy planują rozbudować bazę warunków buforowania i przemieszczania wierzchołków. Przykładowe problematyczne sytuacje pokazano na rysunku 5. Polegają one głównie na niepotrzebnym przesunięciu wierzchołków skutkującym powstaniem danych nieprawidłowych, nie zgadzających się z rzeczywistym przebiegiem upraszczanych linii.

Schemat zaproponowanego powyżej postępowania przedstawia rysunek 6. Składa się ono z kilku etapów, w tym dwóch związanych z samym uproszczeniem wejściowego rysunku linii łamanych oraz trzech związanych z usunięciem pewnych błędów („konfliktów”), które mogą powstać zarówno w procesie upraszczania, jak i wcześniej, na etapie automatycznej klasyfikacji obrazu teledetekcyjnego.



Rys. 5. Przykłady problemów związanych z usuwaniem konfliktów



Rys. 6. Schemat blokowy algorytmu

Podsumowanie

Zastosowanie proponowanego algorytmu pozwala na uproszczenie rysunku uzyskanych automatycznymi metodami wektoryzacji obrazów rastrowych (wejściowych dla procesu). Skutkuje to znaczną oszczędnością pamięci dyskowej wymaganej do przechowywania danych wektorowych. Dla przykładu plik o wielkości 25,7 MB po uproszczeniu przy użyciu wartości współczynnika $ef = 12$ m zajmuje już jedynie 1,61 MB.

Zaproponowane rozwiązanie może być stosowne dla wszystkich typów danych tak liniowych jak i poligonowych, niezależnie od źródła danych rastrowych (obraz satelitarny, zdję-

cie fotogrametryczne, ortofotomapa). Obecnie algorytmy funkcjonują w środowisku ArcGIS ArcView (ESRI), jednakże została także zaprojektowana implementacja algorytmów na oprogramowanie Microstation 8 (Bentley).

Przedstawiona metoda wymaga dalszych prac badawczych, jednakże pokazuje ona jak przydatne mogą być metody generalizacji kartograficznej w pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych przestrzennych pochodzących ze źródeł rastrowych.

Literatura

- Chrobak T., 1999: Badanie przydatności trójkąta elementarnego w komputerowej generalizacji kartograficznej. Kraków, UWND AGH.
- 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*, 10 (2), 1973, pp. 112-122.
- Dutton G., 1999: Scale, Sinuosity, and Point Selection in Digital Line Generalization. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 26, No. 1, pp. 33-53.
- de Kok R., Koziol K., Wężyk P., 2005: Zastosowanie klasyfikacji obiektowej wysokorozdzielczych obrazów teledetekcyjnych oraz analiz przestrzennych GIS w kartowaniu drzewostanów. *Roczniki Geomatyki*. Tom III, Zeszyt 4. s. 99-108.

Summary

The evolution of remote sensing techniques observed in last years has a meaningful influence on data acquisition. High resolution of aerial and satellite remote sensing data causes necessity of using appropriate generalization techniques of elaborated objects. Through high spatial resolution modern imaging technology allows to acquire highly detailed objects. Moreover, acquired objects have geometric characteristics closely connected with raster model structure (a grid), what often does not correspond with actual characteristics of registered objects.

In the paper, the authors attempt to elaborate rules for using cartographic line and polygon generalization algorithms to simplify objects formed in image classification. A classified image is vectorized with separated classes maintained. As a result we obtain a set of broken lines forming polygon borders. To achieve appropriate graph of determined lines they need to be simplified. To simplify broken lines Chrobak's objective line simplification algorithm was selected. At this stage, the number of vertices forming particular borders is considerably reduced. Afterwards those lines are processed so as to remove vertices with sinuosity value less than 1.1. It is assumed that such broken line segments can be recognized as "nearly straight".

The last stage is connected with removing some inconsistency or graphic conflicts, which could occur during primitive line simplification or partially in automatic image classification. Border vertices buffering and displacement is used here. Buffer and displacement size is strictly connected with modified drawing legibility.

mgr inż. Maria Żukowska
zukowska@agh.edu.pl
tel: (012) 617 33 23

dr inż. Krystian Koziol
rlkoziol@cyf-kr.edu.pl
<http://argis.les.ar.krakow.pl>
tel/fax 12 662 50 82