

ASPEKTY WIZUALIZACJI RZEŻBY TERENU W CZASIE RZECZYWISTYM

ASPECTS OF REAL TIME VISUALIZATION OF TOPOGRAPHIC SURFACE

Andrzej Stateczny¹, Tomasz Łagowski²

¹ Akademia Morska Szczecin, ² Politechnika Szczecińska

Słowa kluczowe: wizualizacja, generalizacja, TIN, cieniowanie

Keywords: visualization, generalization, TIN, shading

Wstęp

Oczekiwania użytkowników przestrzennych map numerycznych sprowadzają się głównie do zapewnienia możliwości wizualizacji fragmentów tych map w czasie rzeczywistym. Podstawowym problemem przestrzennej wizualizacji rzeźby terenu w czasie rzeczywistym jest wybór odpowiedniego modelu danych. Model ten musi posiadać możliwie najmniejszy rozmiar przechowywanych danych, dostosowywać się dynamicznie do skal w jakich będzie on obrazowany oraz mieć możliwość wizualizacji w czasie rzeczywistym przy zachowaniu zadanej dokładności. Wiąże się to z koniecznością optymalizacji modeli w aspekcie zachowania zadanej dokładności rekonstrukcji rzeźby terenu przy dążeniu do minimalizacji ilości niezbędnych danych.

Na podstawie literatury i przeprowadzonych doświadczeń jako punkt wyjściowy obrany został model danych oparty na przekrojach. Charakteryzuje się on tym, że do opisanego ukształtowania terenu model ten potrzebuje najmniejszej ilości danych spośród innych rozpatrywanych modeli dostępnych w literaturze. Polega on na utworzeniu gęstych przekrojów, które w następnych krokach są generalizowane. Powstaje model o minimalnej liczbie przekroi zapewniający z góry założoną dokładność rekonstrukcji.

Artykuł ten ma za zadanie wykazać, że możliwe jest wykorzystanie modelu danych opartego na przekrojach do wizualizacji w czasie rzeczywistym.

Opierając się o model przekrojów, do wizualizacji opracowany został algorytm pozwalający na dynamiczną wizualizację w czasie rzeczywistym. Model przekrojów został zaadoptowany dla opracowywanej metody. Metoda ta składa się z kilku etapów. Pierwszym z nich jest generalizacja, której poziom zależy od oddalenia obserwatora od poszczególnych przekroi. Kolejnym krokiem jest triangulacja punktów, które przeszły proces generalizacji. Ostatnim kończącym etapem jest cieniowanie, oświetlenie i wizualizacja.

Metoda ta ma za zadanie konkurować z metodami opartymi o siatki strukturalne oraz siatki o niestalonej strukturze. Pierwszą z siatek reprezentować będą siatki GRID, natomiast drugą – siatki TIN. W dalszych badaniach wyznaczone zostaną różnice w ilości obrazów

generowanych w zależności od modelu, a także wielkość zajmowanego miejsca przez dane w tym modelu.

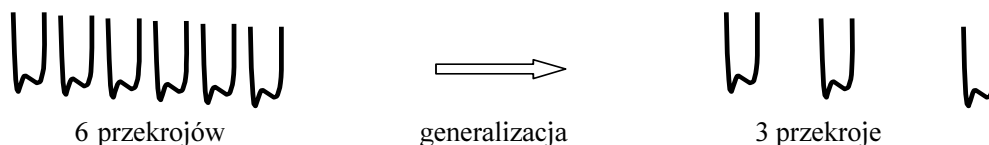
Generalizacja pierwszej grupy (GRID) w celu dalszej wizualizacji może odbywać się poprzez różnego rodzaju interpolacje (lub też uśrednianie). Możliwa jest także generalizacja przy wykorzystaniu podziału przestrzeni czworoboków (kwadranty) o zmiennej, hierarchicznie uporządkowanej gęstości zwanej *Quadtree*, a w dalszej kolejności ich ewentualnej triangulacji.

Kolejna grupa, czyli siatki TIN podlegać mogą generalizacji między innymi przez zastosowanie następujących metod: zsunęcia krawędzi (*edge collapse*), zsunęcia wierzchołka (*vertex collapse*), zsunęcia trójkąta (*triangle collapse*), usunięcia wierzchołka (*vertex removal*).

Kryterium oceny dla tego modelu będą: wielkość przestrzeni dyskowej zajmowanej przez model danych wyjściowych, liczba obrazów wyświetlanych w jednostce czasu, wierność odwzorowania oraz subiektywnie dobra jakość wyświetlanego obrazu.

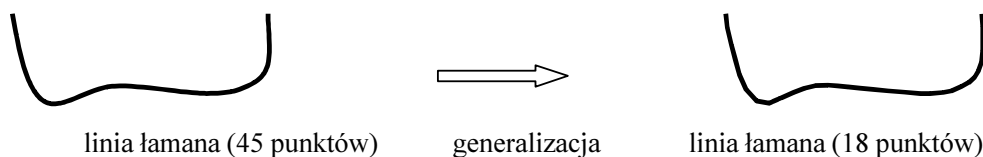
Generalizacja

Generalizacja, która jest początkowym etapem przekształcania modelu następuje w dwóch etapach. Pierwszym z nich jest zmniejszenie ilości przekrojów opisujących scenę. Każdy z przekroi nadany ma odpowiedni priorytet (ustalony w trakcie tworzenia modelu), który określa dla jakich skal przekrój ten będzie wykorzystany w dalszym procesie przekształcania modelu (rys. 1).



Rys. 1. Generalizacja przekrojów

Kolejnym krokiem jest generalizacja punktów opisujących dany przekrój. Celem jest zmniejszenie ilości trójkątów jakie powstaną w następnym etapie przetwarzania modelu, jakim jest triangulacja (rys. 2).



Rys. 2. Generalizacja poszczególnych przekrojów

Dla celów powyższego etapu wybrane zostały następujące metody generalizacji: n-tego węzła, Douglasa-Peuckera, zmodyfikowana Douglasa-Peuckera stałego odcinka oraz metoda trójkątów.

Metoda n-tego węzła polega na pozostawieniu co n-tego węzła (licząc od pierwszego punktu łamanej), natomiast pozostałe węzły są usuwane. Pozostawiany jest także ostatni węzeł, bez względu czy jest on n-ty, czy nie.

Metoda Douglasa-Peuckera – punktami startowym są punkty opisujące początek i koniec łamanej. Następnie wyznaczany jest punkt najbardziej oddalony od linii, która zawiera skrajne punkty. Jeżeli punkt znajduje się w mniejszej odległości niż założona na początku tolerancja, to kończy się działanie algorytmu w przeciwnym przypadku jest to nowy punkt i rekurencyjnie następuje sprawdzanie pozostałych punktów względem nowych par punktów (rys. 3).

Zmodyfikowana metoda Douglasa-Peuckera – punktem startowym jest pierwszy punkt łamanej. Przeglądane są kolejno wierzchołki początkowy z kolejnym, jeżeli odległość którekolwiek z punktów znajdujących się pomiędzy nimi jest większa niż założona tolerancja, to wierzchołek ten jest dodawany do listy nowych punktów łamanej zgeneralizowanej. Tym samym staje się on nowym punktem początkowym. Algorytm zatrzymuje się w momencie osiągnięcia ostatniego punktu łamanej oryginalnej (rys. 4).

Metoda stałego odcinka polega na podziale krzywej łamanej na odcinki o dokładnie takiej samej długości odcinka. W trakcie takiej generalizacji mogą powstać nowe wierzchołki, które będą zawierać się na odcinkach poprzedniej łamanej.

Metoda trójkątów podobna jest do zmodyfikowanej metody Douglasa-Peuckera. Różnica polega na tym, że zamiast odległości oblicza się pole trójkątów powstałych na podstawie trzech punktów łamanej. Jeżeli pole jest większe od założonego, to powstaje nowy punkt, nowo powstałej łamanej (rys. 5).

Wybór metody generalizacji poszczególnych przekroi nastąpił po przeprowadzeniu szeregu doświadczeń związanych z błędami, jakie dawały poszczególne metody oraz z szybkością ich działania.

Tabela 1. Wyniki generalizacji punktów na przekrojach

Metoda	Liczba punktów	Błędy*		Czas** [s]
		RMS	Max	
N-tego węzła	38	0,041	1,680	0,3
Douglasa-Peuckera	36	0,019	0,989	31,0
Zmodyfikowana Douglasa-Peuckera	36	0,022	1,075	10,0
Stałym odcinkiem	38	0,039	1,214	12,0
Trójkątami	37	0,023	1,341	2,0

*Błędy maksymalne podane są w metrach (różnica w wysokości pomiędzy najniższym a najwyższym punktem, to 150 m).

**Liczba iteracji: 100 000.

***Liczba punktów na przekroju: 150.

Na podstawie przeprowadzonych badań jako metodę generalizacji została wybrana metoda, która generuje najmniejsze błędy, czyli Douglasa-Peuckera.

Triangulacja

Triangulacja jest kolejnym etapem w kierunku wizualizacji. Przebadano cztery metody generalizacji siatek nieregularnych, tj. Delaunay'a, inkrementacyjną, Plane-Sweep, najmniejszych odległości.

Metoda Delaunay'a jest najczęściej wykorzystywana. Jednym ze sposobów implementacji jest utworzenie tzw. supertrójkąta opisującego całą scenę. Następnie sprawdzane są kolejne punkty, czy zawierają się wewnątrz okręgów opisujących poszczególne trójkąty. Jeżeli tak, to z tych trójkątów tworzone są kolejne (rys. 6).

Metoda triangulacji inkrementacyjnej. Tutaj także tworzony jest supertrójkąt opisujący całą scenę. W dalszej kolejności sprawdzane są nie okręgi, ale samo położenie punktów względem trójkątów. Możliwe są dwa przypadki: nowy punkt leży wewnątrz jednego z trójkątów, lub też znajduje się na krawędzi dwóch sąsiadujących ze sobą trójkątów (rys. 7).

Metoda Plane-Sweep (algorytm zamiatania) polega na skanowaniu linia po linii i tworzeniu kolejnych trójkątów z wierzchołków, które znajdują się aktualnie na linii i sąsiadują najbliższej punktów które nie są jeszcze w trójkątach (rys. 8).

Metoda najmniejszej odległości. Ze względu na swoją specyfikę wykorzystana była tylko dla triangulacji przekroji. Polega ona na doborze trójkąta w taki sposób, aby odległości nowo powstałych boków trójkąta (pomiędzy kolejnymi przekrojami) były jak najmniejsze (rys. 9).

Tabela 2. Wyniki triangulacji punktów między przekrojami

Metoda	Czas*	Metoda	Czas*
Delauney'a	470	Inkrementacyjna	227
Najmniejszej odległości	34	Plane-sweep	238

* Czas pomierzony został w sekundach (dla 400 punktów na dwóch przekrojach, generalizacji do 248 punktów i przy 100 000 powtórzeniach).

** Liczba punktów przed generalizacją: 40 000 000, po generalizacji: 24 000 000, liczba trójkątów: 24 600 000.

W związku z tym, że każda z tych metod musiała występować tylko i wyłącznie dla triangulacji pomiędzy dwoma przekrojami, dlatego najlepszą i najszybszą metodą okazała się metoda najmniejszej odległości.

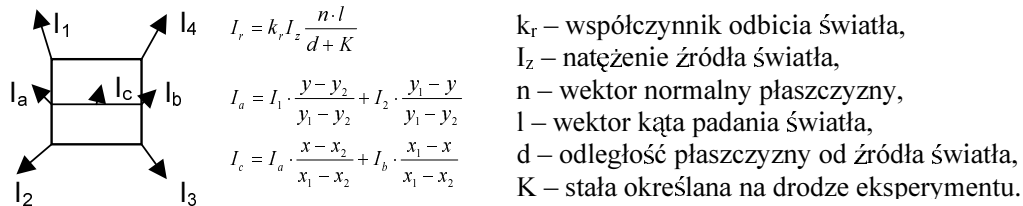
Do dalszej pracy wykorzystana została metoda najmniejszej odległości, jako metoda najszybsza.

Cieniowanie i oświetlenie

W publikacji tej rozpatrzone zostały trzy metody cieniowania: cieniowanie płaskie, Gouraud'a i Phong'a.

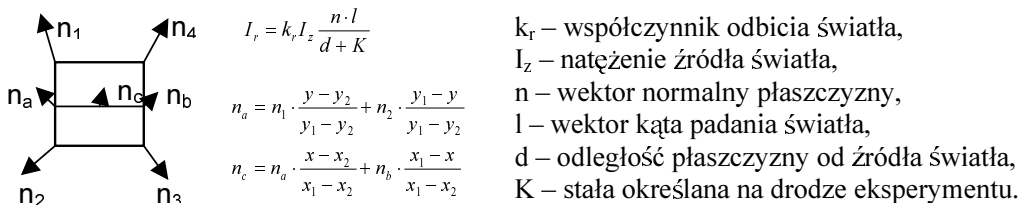
Cieniowanie płaskie polega na wypełnieniu całej figury jednolitym kolorem. W związku z tym, że barwa oznacza głębokość (wysokość) zakłócałoby to płynne przejście kolorów. Dlatego mimo, iż metoda ta jest najmniej czasochłonna (co zostanie wykazane w dalszej części artykułu) została ona odrzucona.

Cieniowanie Gouraud'a składa się z dwóch etapów. Pierwszym z nich jest obliczenie wektorów normalnych do wierzchołków wielokątów. Na tej podstawie obliczana jest barwa (oświetlenie) w danym miejscu wielokąta. Następny polega na cieniowaniu wszystkich wielokątów najpierw wzdłuż krawędzi (metodą interpolacji liniowej), a następnie wzdłuż kolejnych wierszy (również wykorzystując interpolację liniową) (rys. 10).



Rys. 10. Cieniowanie Gouraud'a

Cieniowanie Phonga polega na interpolacji wektora normalnego do powierzchni \vec{N} . Dla każdego przetwarzanego piksela jest wyznaczany wektor normalny, w celu określenia koloru piksela (oświetlenia) (rys. 11).



Rys. 11. Cieniowanie Phong'a

Tabela 3. Wyniki metod cieniowania

Metoda	Liczba obrazów*	Metoda	Liczba obrazów*	Metoda	Liczba obrazów*
Płaskie	551	Gouraud'a	412	Phong'a	314

*Liczba pełnych obrazów, dla 9801 elementów wyświetlonych w trakcie 1 sekundy.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń została wybrana metoda Gouraud'a. Jest to metoda, która spełnia założenia oraz charakteryzuje się najkrótszym czasem cieniowania obiektów. Na podstawie literatury dotyczącej tematyki wizualizacji terenu oświetlenie będzie kierunkowe z północnego-zachodu.

Podsumowanie

Artykuł ten miał za zadanie wykazanie, iż model danych oparty o przekroje, który przechowuje relatywnie mało danych pozwala na wizualizację w czasie rzeczywistym. Aby to osiągnąć niezbędne jest przeprowadzenie szeregu operacji, opisanych w artykule. Każda z tych operacji zużywa określaną ilość czasu procesora, przez co zmniejsza liczbę obrazów

generowanych w jednostce czasu. Zatem celowy jest dobór metod i optymalizacja ich pod kątem modelu przekrojów.

W dalszych badaniach podjęte zostaną próby wykazania, iż liczba danych potrzebnych do odwzorowania rzeźby terenu w metodach GRID oraz TIN jest większa niż przy zastosowaniu modelu opartego o przekroje, z zachowaniem zbliżonej dokładności. Liczba operacji, jaka zostanie przeprowadzona w celu wizualizacji będzie umożliwiała płynną wizualizację dużych obszarów rzeźby terenu. Przeprowadzona zostanie analiza błędów poszczególnych metod i skonfrontowane zostaną one z liczbą danych oraz liczbą obrazów wyświetlanych w jednostce czasu.

Literatura

- Foley J. D., van Dam A., Feiner S. K., Hughes J. F., Phillips R. L., 2001: Wprowadzenie do grafiki komputerowej. WN-T.
- Marciniak A., 1998: Grafika komputerowa w języku Turbo Pascal. WN Nakom, Poznań.
- Menno K., Ormeling J. F., 1998: Kartografia – wizualizacja danych przestrzennych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Pajarola R., 2002: Overview of Quadtree-based Terrain Triangulation and Visualization. Technical Report UCI-ICS-02-01, Information & Computer Science, University of California Irvine.
- Petrie G., Kennie T. J. M., 1991: Terrain modeling in surveying and civil engineering. McGraw-Hill, Inc., Glasgow.
- Preparata. F. P., 1985: Geometria obliczeniowa – wprowadzenie. Helion, Gliwice.
- Shin-Ting W. M´arquez M. R. G., 2004: A non-self-intersection Douglas-Peucker Algorithm. *Journal of the Brazilian Computer Society*, Vol. 9, Fac. 3, pp.67-79, Rio de Janeiro, RJ, BR.
- Stateczny A., Kamiński W., 2003: The mathematical model of 3D fairway obtained by cross-sections and orthogonal networks RBF used for steering vessels. Proceedings of the 9th International IEEE Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR 2003, Międzyzdroje.
- Zhilin L., Qing Z., Gold C., 2005: Digital terrain modeling – principles and methodology. CRC Pres. <http://grafika.iinf.polsl.gliwice.pl/doc/10-A3D.pdf>

Summary

The paper presents works on creation of an optimal model of data for real time visualization of topographic surface. The model should fulfill three conditions: 1) minimization of the amount of stored data, 2) dynamic adjustment of the model to the scale of imaging, 3) guarantee of obtaining required accuracy of surface reconstruction.

On the basis of literature and experiments conducted a data model based on sections was selected and an algorithm for dynamic real time visualization was elaborated. The model consists in creation of dense sections which are generalized in successive steps. Thus, the model with minimum sections arises ensuring the accuracy of reconstruction assumed in advance.

Individual sections are assigned so called „priorities”, which determine whether they are used in next stages of model construction or not. The higher the priority the lower distance at which the section shall be further processed. The distance is calculated from the observer to the centre of gravity of the section. The method of further creation of the model based on a network of triangles consists of the following stages:

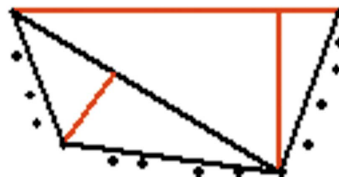
1. Generalization is performed with the aim of decreasing the number of points, on the basis of which the network of triangles will be created. The generalization covers:

- *Determination of the distance between the observer and each of the sections to be analysed. The number and selection of proper sections shall depend upon the scale in which the model of topographic surface will be pictured. Based on the distance and priority sections for further analysis are selected.*

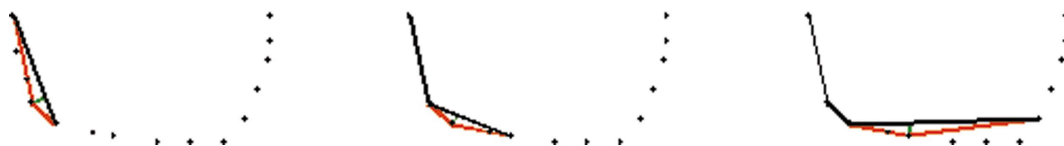
- *Designation of condensed points created a broken line of sections selected at the preceding stage. These points undergo the generalization process in order to decrease the number of triangles for the further process of creation of the topographic surface visualization. The Douglas-Peucker method was selected for generalization ensuring high level of generalization and small deformations.*
 - 2. Triangulation.** *The number of objects which shall be created in this step depends on the level of generalization. The increase in the level of generalization shall result in an increase of the area to be pictured and, at the same time, the accuracy of the model shall decline. In order to decrease calculations, the triangulation is conducted between neighbouring sections by the method of biggest angles. On the basis of the experiments conducted it was found that this method gives the best results providing the greatest number of triangles per unit of time.*
 - 3. Shading and illumination.** *It follows from the assumptions that colour shall define the height (depth). Therefore, the methods based on flat shading, which assign only one colour to each surface and bring about the lack of smooth change in colour, were not further used in the analysis. On the basis of experiments conducted, the Gouraud method was selected fulfilling the assumptions and featured with the shortest time of object shading.*
- In the opinion of the authors, the proposed model very well fulfills the conditions presented at the beginning.*

prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny
astateczny@am.szczecin

mgr inż. Tomasz Łagowski
tlagowski@wi.ps.pl



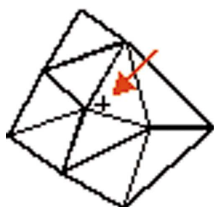
Rys. 3. Metoda Douglasa-Peuckera



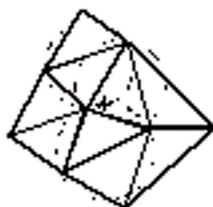
Rys. 4. Zmodyfikowana metoda Douglasa-Peuckera



Rys. 5. Metoda trójkątów



Nowy punkt

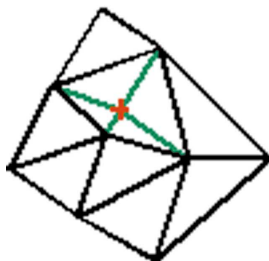


Tworzenie okręgów

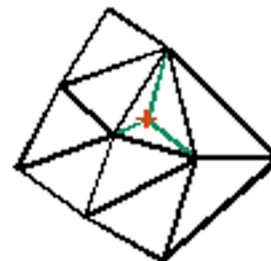


Podział na trójkąty

Tys. 6. Triangulacja Delaunay'a

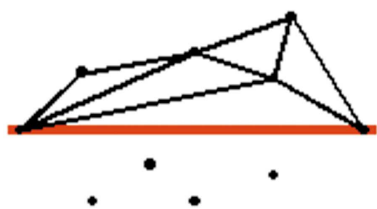


Nowy punkt leży na krawędzi dwóch trójkątów

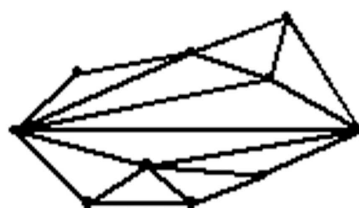


Nowy punkt leży na krawędzi dwóch trójkątów

Rys. 7. Triangulacja inkrementacyjna

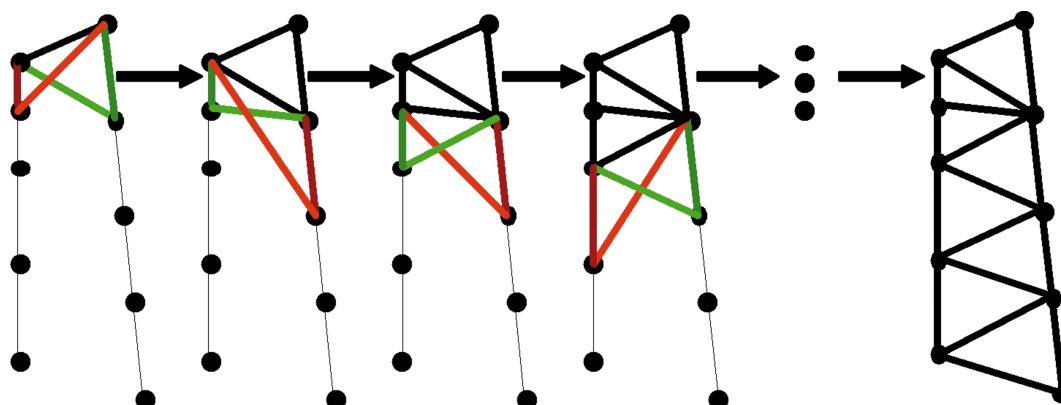


Przykład z linią skanowania



Efekt triangulacji

Rys. 8. Triangulacja plane-sweep



Rys. 9. Triangulacja najmniejszych odległości – zielone nowo tworzone trójkąty, czerwone to alternatywne niepoprawne