

AUTORSKA METODA TWORZENIA NIEREGULARNEJ SIATKI TRÓJKĄTÓW PROWADZĄCA DO TRIANGULACJI DELAUNAY'A Z OGRANICZENIAMI

Mariusz Zygmunt

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej w Krakowie

Katedra Geodezji

Kraków, ul. Balicka 253a

1. Dane wejściowe

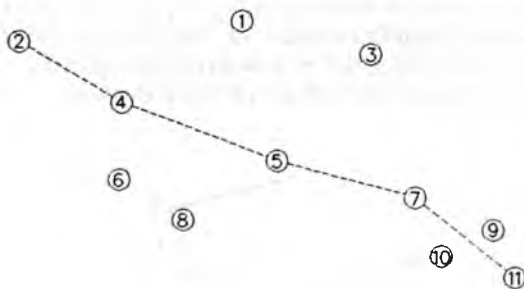
Danymi wejściowymi dla programu jest zbiór współrzędnych przestrzennych punktów $P(X, Y, Z)$ opisujących analizowany teren oraz zbiór wektorów $W(X_p, Y_p, Z_p, X_k, Y_k, Z_k)$ definiujących obszary nieciągłości. Dla ułatwienia opisu algorytmu przyjęto, że punkty o które oparte są wektory obszarów nieciągłości należą do zbioru punktów modelu. Przyjęto również, że zbiór danych nie zawiera szczególnych przypadków układów punktów (np. punktów leżących na prostej).

2. Struktury danych

Struktura danych wybrana przez autora do opisu modelu terenu to graf planarny (Banachowski L. 1999). Wydaje się ona najbardziej użyteczna do przeprowadzenia procesu triangulacji. Wierzchołki grafu to punkty modelu, a krawędzie grafu to boki siatki trójkątów. Całość przechowywana jest w tablicy rekordów.

3. Budowa grafu planarnego

Pierwszym etapem działania programu jest wczytanie zbioru współrzędnych przestrzennych modelu oraz zbioru wektorów opisujących obszary nieciągłości (skarpy, drogi, budynki itp.).

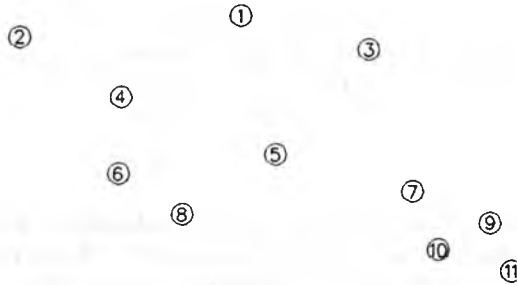


Rys. 1. Przykład rozmieszczenia punktów modelu.

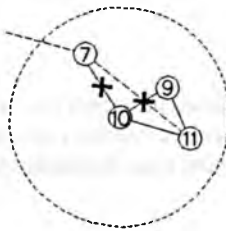
Współrzędne przestrzenne punktów należy po przeczytaniu uporządkować względem jednej ze współrzędnych. Uporządkowanie danych pozwala na wykorzystanie wydajnych algorytmów przeszukiwania. Etap następnym to dołączenie informacji o związkach punktów definiujących obszary nieciągłości.

Informacje te są gromadzone w listach sąsiedztwa dla każdego wierzchołka grafu. Informacje o tych związkach nie podlegają modyfikacjom podczas procesu triangulacji.

Na tak przygotowanych danych wejściowych odbywa się triangulacja. Cały proces przeprowadzany jest w pętli, w której przetwarzane są kolejno wszystkie punkty modelu. Przetwarzanie nie polega na szukaniu trójkątów, a sprowadza się do znalezienia najbliższego wolnego punktu znajdującego się w otoczeniu analizowanego wierzchołka. Podczas przeszukiwania badane są sąsiednie wierzchołki i sprawdzany jest warunek nie przecinania się kandydującej krawędzi z innymi krawędziami wychodzącymi z sąsiednich wierzchołków.

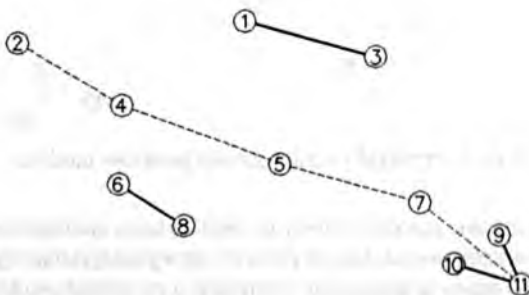


Rys. 2. Krawędzie grafu opisujące obszary nieciągłości.



Rys. 3. Szukanie krawędzi dla punktu nr 10. Odległość 10–7 jest większa od odległości 10–11. Krawędź 10–9 przecina już istniejącą krawędź 7–11 (obszar nieciągłości).

W strukturze danych przechowującej współrzędne punktów $P(X,Y,Z)$ istnieją również pola określające liczbę krawędzi wychodzących z każdego wierzchołka. Jeżeli pomiędzy punktami poprowadzona zostanie krawędź, to informacja o niej dopisywana jest do obu punktów. Należy zaznaczyć, że liczba iteracji jest obliczana podczas kolejnych przejść przez graf i równa jest maksymalnej liczbie krawędzi wychodzących ze wszystkich wierzchołków. Jest to możliwe dzięki ciągłej aktualizacji liczby krawędzi wychodzących z wierzchołków.

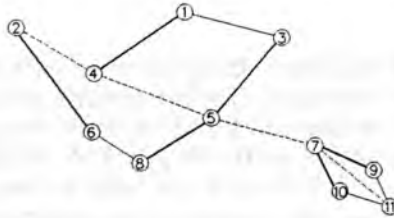


Rys. 4. Pierwsza iteracja. Przetwarzane są tylko punkty, dla których liczba krawędzi=0 (1,6,9,10). Na tym etapie działania programu końcowa liczba iteracji = 3. Wynika to z liczby krawędzi wychodzących z punktu nr 11.

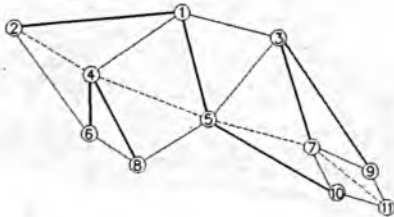
Podczas procesu iteracyjnego obliczenia przeprowadzane są dla wierzchołków, dla których liczba krawędzi = 0, następnie dla tych, dla których liczba = 1, 2, 3 itd. aż do maksymalnej liczby krawędzi. Fakt uwzględnienia liczby krawędzi wychodzących z danego wierzchołka podczas szukania sąsiada owocuje stworzeniem siatki trójkątów, które zbliżone są do równobocznych.

Podczas pojedynczego przejścia przez graf, dla pojedynczego wierzchołka może zostać zdefiniowanych nawet kilka krawędzi. Przesuwa go to w kolejce do przetwarzania na odpowiednie miejsce.

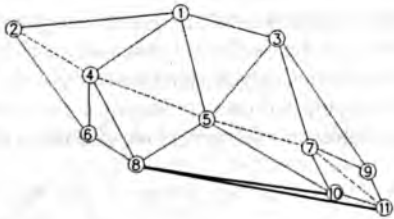
Nowe krawędzie definiowane są tylko dla wierzchołków 8 i 11. Z wierzchołków 2,3,6,9 nie można poprowadzić już krawędzi. Wierzchołek 10 podczas dodawania krawędzi z punktu 8 przesunął się w kolejce o jedną pozycję. Próba utworzenia krawędzi od niego odbędzie się w kolejnej iteracji.



Rys. 5. Druga iteracja. Przetwarzane są tylko punkty, dla których liczba krawędzi=1 (1,2,3,8,9,10). Na tym etapie działania programu końcowa liczba iteracji = 4. Wynika to z liczby krawędzi wychodzących z punktów nr 5 oraz 7.

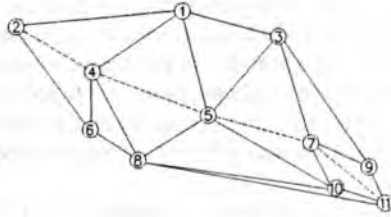


Rys. 6. Trzecia iteracja. Przetwarzane są tylko punkty, dla których liczba krawędzi = 2 (1,2,3,6,8,9,11). Na tym etapie działania programu końcowa liczba iteracji = 6. Wynika to z liczby krawędzi wychodzących z punktu nr 5.



Rys. 7. Czwarta iteracja. Przetwarzane są tylko punkty, dla których liczba krawędzi = 3 (2,6,8,9). Na tym etapie działania programu liczba iteracji pozostaje bez zmian.

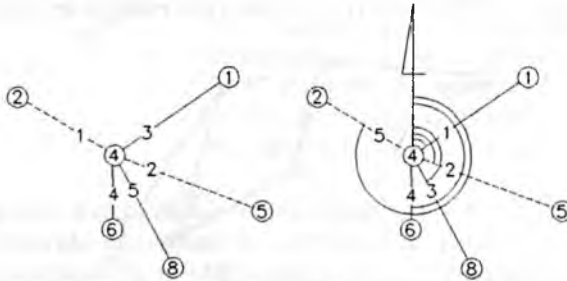
Program kończy działanie po wykonaniu liczby iteracji równej maksymalnej liczbie krawędzi wychodzących z wierzchołków. Może się zdarzyć, że ostatnie iteracje nie wniosą nic do kształtu siatki. Zależy to od konfiguracji punktów i układu obszarów nieciągłości, jednak nie powoduje to wydłużenia czasu działania programu.



Rys. 8. Piąta iteracja. Przetwarzane są tylko te wierzchołki, dla których liczba krawędzi = 4 (1,3,10,11). Podczas szóstej iteracji przetwarzane są wierzchołki nr 4, 7. Liczba krawędzi = 5. Podczas siódmej iteracji przetwarzany jest wierzchołek nr 5, dla którego liczba krawędzi = 6.

4. Poprawa siatki

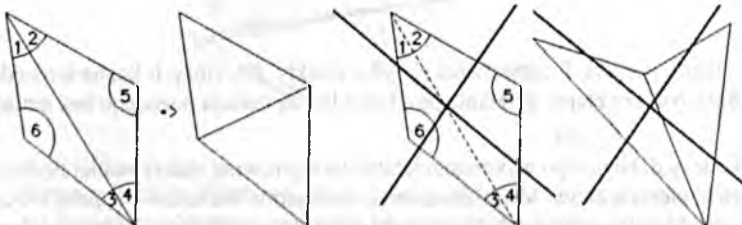
Po skończonym procesie triangulacji siatka najczęściej nie spełnia kryterium triangulacji Delaunay'a. Jedną z właściwości tej triangulacji jest fakt spełnienia warunku „pustego koła opisanego”. Oznacza to, że w kole opisanym na każdym trójkącie obszaru ograniczonego liniami nieciągłości nie mogą znaleźć się inne punkty triangulacji. W związku z tym należy ją poddać procesowi poprawy (retriangulacji). Wybrana metoda bazuje na zamianie przekątnych (Börger C. 1990). Aby dokonać tej operacji należy posortować listę sąsiedztwa względem rosnących azymutów.



Rys. 9. Lista krawędzi dla wierzchołka 4 po skończonym procesie triangulacji, oraz po posortowaniu względem azymutów.

Dla tak przygotowanych danych przeprowadzany jest proces poprawy siatki metodą zamiany przekątnych. Proces powtarzany jest dla każdego węzła siatki. Jeżeli czworokąt zbudowany na podstawie 3 kolejnych krawędzi wychodzących z analizowanego wierzchołka jest wypukły oraz suma kątów $1+2+3+4 < 5+6$ następuje zamiana przekątnej w czworokącie.

Krawędzie siatki definiujące obszary nieciągłości nie podlegają procesowi zamiany.



Rys. 10. Zamiana przekątnych w czworoboku wypukłym.

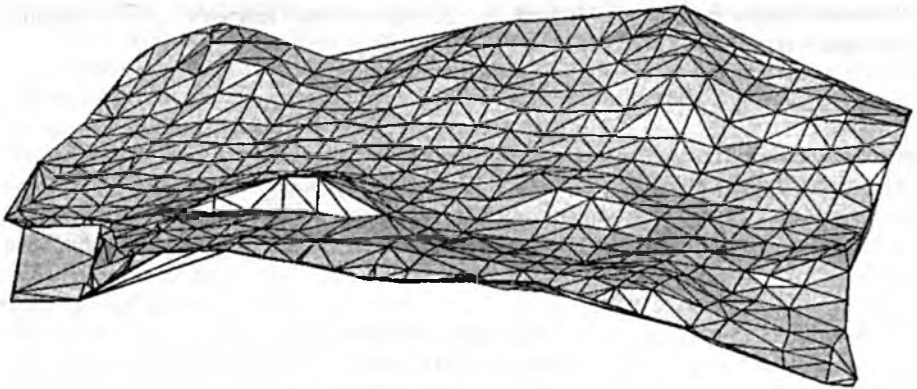
Proces ten przeprowadzany jest w pętli dla każdego wierzchołka grafu i powtarzany wielokrotnie (Głut B. 1996). Efektem końcowym jest siatka spełniająca kryterium Delaunay'a z ograniczeniami.

5. Parametry działania programu

Kluczowym parametrem algorytmu jest promień przeszukiwań. W przyjętym rozwiązaniu definiuje go użytkownik, przyjmując jego wartość w zależności od zagęszczenia punktów i długości wektorów definiujących obszary nieciągłości. Promień przeszukiwań nie może być mniejszy, niż maksymalna odległość między sąsiednimi punktami opisującymi triangulowany obszar. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, na obszarze powstają miejsca wyłączone z triangulacji.

6. Wnioski

Opracowany algorytm został przetestowany na wielu zbiorach danych. Uzyskane wyniki pozwalają na jego stosowanie nawet w przypadkach zbiorów zawierających wiele tysięcy punktów i liczne obszary nieciągłości. Przykładowy czas generowania siatki dla zbioru składającego się z 10 000 punktów (rzeczywiste dane z pomiaru), z promieniem przeszukiwań 125 metrów na komputerze z zegarem 2 GHz wyniósł 10 sekund.



Rys. 11. Przykład NMT zbudowanego przy użyciu programu.
Czas generowania siatki poniżej 1 sekundy

Streszczenie

Przedstawienie powierzchni terenu w postaci modelu zbudowanego z trójkątów opartych o pomierzone punkty jest procesem złożonym. Wniosek taki autor formułuje na podstawie analizy opisanych w literaturze algorytmów oraz na podstawie testów dostępnego oprogramowania.

W artykule przedstawiono nowe podejście do rozwiązania tego problemu. Szczególną uwagę autor poświęcił obszarom nieciągłości, często stanowiącym większą część obszaru poddawanego triangulacji. Zaproponowany algorytm prowadzi do uzyskania optymalnej pod względem geometrycznym siatki triangulacyjnej spełniającej warunek Delaunay'a (Preparata. F. 1985) z ograniczeniami. Szczególnie wart jest podkreślenia fakt, że program napisany przez autora w oparciu o zaproponowaną strukturę danych i algorytm, działa szybciej niż inne popularne programy dostępne na rynku.

Abstract

Automatic NMT generation, based on ITN, is a complex process. There is a great number of theoretical and practical solutions presented in technical literature. The author suggests a new way of coping with the problem and pays special attention to limits. The final result of the method is a triangular network meeting the condition of Delaunay (Preparata. F. 1985) with limits. The autor's computer program is based on the solution mentioned above and works much faster than other programs available.

Literatura

1. Banachowski L., Diks K., Rytter W.: „Algorytmy i Struktury Danych”, WNT Warszawa 1999.
2. (Börger C.: „Geralized Delaunay Triangulations of non-convex domains”, Computers Math. Aplic. 1990.
3. Gaździcki J.: „Systemy Informacji przestrzennej” PPWK, Warszawa 1990.
4. Głut. B.: „Generowanie i adaptacja siatek w modelowaniu procesów metodą elementów skończonych”. Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1996
5. Preparata Franco P., Shamos Michael Ian: „Computational Geometry. An Introduction”. Springer-Verlag New York 1985.

Recenzował: dr inż. Tadeusz Wrona