

METODA PROFILI W BUDOWIE NUMERYCZNEGO MODELU RZEŻBY TERENU

BUILDING DIGITAL TERRAIN MODEL USING CROSS-SECTIONS METHOD

Andrzej Stateczny¹, Magdalena Kozak²

¹ Akademia Morska w Szczecinie, ² Politechnika Szczecińska

Słowa kluczowe: numeryczny model rzeźby terenu, metoda profili, sieci RBF
Keywords: Digital Terrain Model, cross-sections method, RBF networks

Wstęp

Numeryczny model terenu (NMT) możemy zdefiniować jako dyskretną (punktową) reprezentację powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolacyjnym (Kurczyński 1998). Do budowy numerycznego modelu terenu stosuje się metody numeryczne oraz sieci neuronowe. Badania nad wykorzystaniem sieci neuronowych do modelowania powierzchni przedstawiono w publikacjach (Balicki, Kitowski, Stateczny 1999; Stateczny 2000; Stateczny 2001; Stateczny 2004). Badano zastosowanie perceptronu wielowarstwowego (MLP), sieci uogólnionej regresji (GRNN) i sieci o radialnych funkcjach bazowych (RBF). Sieci te były analizowane i optymalizowane pod kątem jak najdokładniejszego rozwiązania. W pracy (Łubczonek, Stateczny 2002) zaproponowano podział rozpatrywanej powierzchni na pokrywające się częściowo subdomeny z wykorzystaniem sieci samoorganizujących się (SOM) i trenowanie sieci aproksymujących, oddzielnie dla każdej z subdomen. Model ten dedykowany został rozległym powierzchniom dna morskiego.

Numeryczny model terenu ma szerokie zastosowanie zarówno dla obszarów lądowych, jak i obszarów morskich i innych akwenów. Badania zaprezentowane w artykule dotyczą budowy numerycznego modelu terenu dla akwenów ograniczonych – torów wodnych.

Od wielu lat trwają prace nad stworzeniem map 3D pomocnych w procesie nawigacji. Przykładem jest koncepcyjna mapa elektroniczna z modułem trójwymiarowej wizualizacji opracowywana w Akademii Morskiej w Szczecinie. Mapa wykorzystuje numeryczny model terenu oparty na siatce GRID (wielkość siatki GRID uniemożliwia jej wizualizację w czasie rzeczywistym). Prace nad stworzeniem trójwymiarowej mapy dna toru wodnego prowadzone są również na Politechnice Szczecińskiej. Główne założenia mapy 3D to możliwość wizualizacji w czasie rzeczywistym oraz budowa z założoną dokładnością.

W ramach międzynarodowego projektu EPDIS, stworzono nawodną mapę 3D ułatwiającą nawigację w szczególnie trudnych akwenach (wejścia do portu, kanały, doki). Wizuali-

zacja mapy odbywa się w czasie rzeczywistym, w jej budowie nie jest wykorzystywany jednak numeryczny model terenu, mapa nie posiada informacji batymetrycznych.

Badania przedstawione w artykule dotyczą fragmentu prac związanych z budową mapy przestrzennej, tj. opracowania metody budowy numerycznego modelu z założoną dokładnością i wystarczającą redukcją danych na tyle, aby można było wizualizować stworzoną mapę w czasie rzeczywistym.

Opracowywana metoda budowy NMT toru wodnego jest rozwinięciem koncepcji przedstawionej w publikacji (Stateczny, Kamiński 2003). Składa się ona z następujących etapów:

- podział toru na odcinki,
- obrót i przesunięcie układu współrzędnych dla każdego odcinka, tak aby szerokość rozpatrywanego fragmentu była jak najmniejsza,
- budowa profili poprzecznych w równych odstępach dla wszystkich odcinków, kontrolowanie, na podstawie interpolacji pomiędzy przekrojami (błąd maksymalny), czy odstęp między przekrojami są prawidłowe. Jeżeli wartość błędu maksymalnego jest zbyt duża – dodawany jest kolejny przekrój, jeśli zaś zbyt mała – sprawdzane jest, czy nie istnieje przekrój nadmiarowy.

W artykule przedstawiono badania nad metodą profili dla danych rzeczywistych z toru wodnego Szczecin – Świnoujście.

Procedura ortogonalizacji

Bardzo ważnym etapem metody opartej na przekrojach jest budowa profili z wykorzystaniem uniwersalnych aproksymatorów – sieci radialnych (RBF). Dla każdego z profili została zaprojektowana i nauczona sieć radialna. Sieci RBF znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, ze względu na swoje właściwości (Strumiłło, Kamiński 2001):

- są one uniwersalnym aproksymatorem,
- ich prosta struktura pozwala na wykorzystanie liniowych algorytmów optymalizacyjnych,
- optymalnym rozwiązaniem jest pojedyncze, globalne minimum,
- w sieci RBF jest zazwyczaj mniej połączeń niż w przypadku perceptrona wielowarstwowego (MLP), dzięki czemu trenowanie sieci trwa krócej.

Proces trenowania sieci RBF można podzielić na dwa etapy.

W pierwszym etapie należy określić liczbę funkcji bazowych, rodzaj funkcji radialnej (np. Gaussa, Hardy’ego, wielomianową, itd.), ich parametry kształtu oraz zlokalizować centra funkcji radialnych. Odpowiedni dobór różnych parametrów kształtu dla różnych funkcji może poprawić działanie sieci, jednak wystarczy jednakowa wartość tego parametru dla wszystkich funkcji, aby sieć RBF była uniwersalnym aproksymatorem (Chen 1999), a to znacznie ułatwia proces uczenia. Istnieją różne algorytmy rozmieszczenia centrów (k-uśrednień, gazu neuronowego, Kohonena). Ciekawe podejście przedstawiono w publikacji (Chen 1991), gdzie zaprezentowano algorytm OLS. W metodzie tej centra wybierane są pojedynczo aż do momentu uzyskania właściwej sieci, przy czym każde z nich maksymalizuje dodatnią energię związaną z pożądanym wyjściem (rozwinięciem tej metody jest algorytm ROLS (Chen 1996).

W drugim etapie trenowania sieci, mając pary wejście–wyjście $\{x_i, y_i\}$, $i=1,2,\dots,P$, szuka się M ($M < P$) wag w_k które minimalizują błąd:

$$e(w) = \sum_{i=1}^p [y_i - y_i^*(x_i)]^2 \quad (1)$$

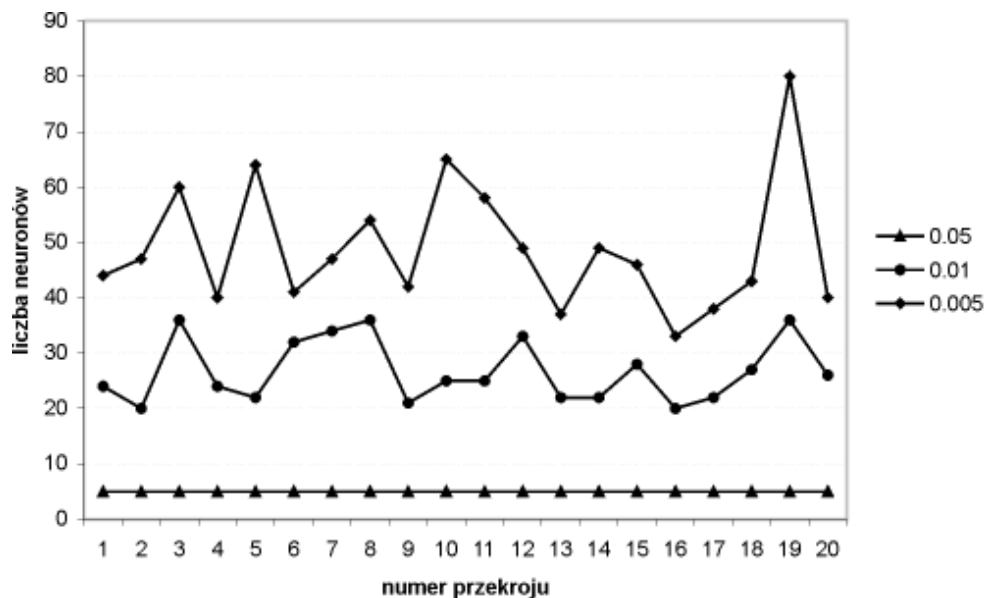
gdzie y_i – oczekiwana wartość wyjścia, y_i^* – wartość otrzymana na wyjściu sieci.

Wagi, które minimalizują błąd (1) można uzyskać dzięki metodzie dekompozycji SVD, pseudoinwersji, procedurze ortogonalnej zaprezentowanej w pracy (Strumiłło, Kamiński 2001), czy procedurze ortogonalnej Grama-Schmidta (Chen 1991).

Ważną decyzją w procesie trenowania sieci jest dobór neuronów radialnych. Z praktycznego punktu widzenia pożądane jest projektowanie małych sieci, ponieważ szybko się one uczą i zajmują mało przestrzeni dyskowej. Małe sieci lepiej generalizują, jednak gdy zastosujemy zbyt małą liczbę neuronów radialnych nigdy nie uzyskamy satysfakcjonującego błędu. Jeżeli liczba neuronów radialnych będzie zbyt duża, wówczas sieć dopasuje się do różnego rodzaju szumów lub nieregularności występujących w danych uczących (stosowanych w procesie uczenia), w rezultacie czego nie będzie ona posiadała zdolności uogólniania.

W metodzie profili wykorzystano przyrostowy dobór liczby neuronów radialnych. Dla każdego z przekrojów neurony dobierane były dynamicznie, w zależności od założonego błędu interpolacji. Zapewniało to uzyskanie jak najmniejszej sieci, która będzie aproksymować przekrój z założoną dokładnością. Do rozmieszczenia centrów wykorzystano algorytm k-uśrednień z mechanizmem zmęczenia, natomiast wagi obliczono za pomocą procedury ortogonalizacji Grama-Schmidta.

Badania przeprowadzono dla trzech fragmentów danych z toru Szczecin–Świnoujście, z których każdy zawierał ok. 2 tys. punktów pomiarowych, pozyskanych z użyciem sondy wielowiązkowej zintegrowanej z DGPS. Na wykresie (rys. 1) można zauważyć, że im większa dokładność wymagana jest dla przekrojów, tym większa jest liczba centrów sieci aproksymującej dany przekrój. Dokładność przekrojów wpływa również na interpolację pomiędzy przekrojami, im przekroje są aproksymowane z większą dokładnością tym mniejszy będzie błąd interpolacji pomiędzy przekrojami.

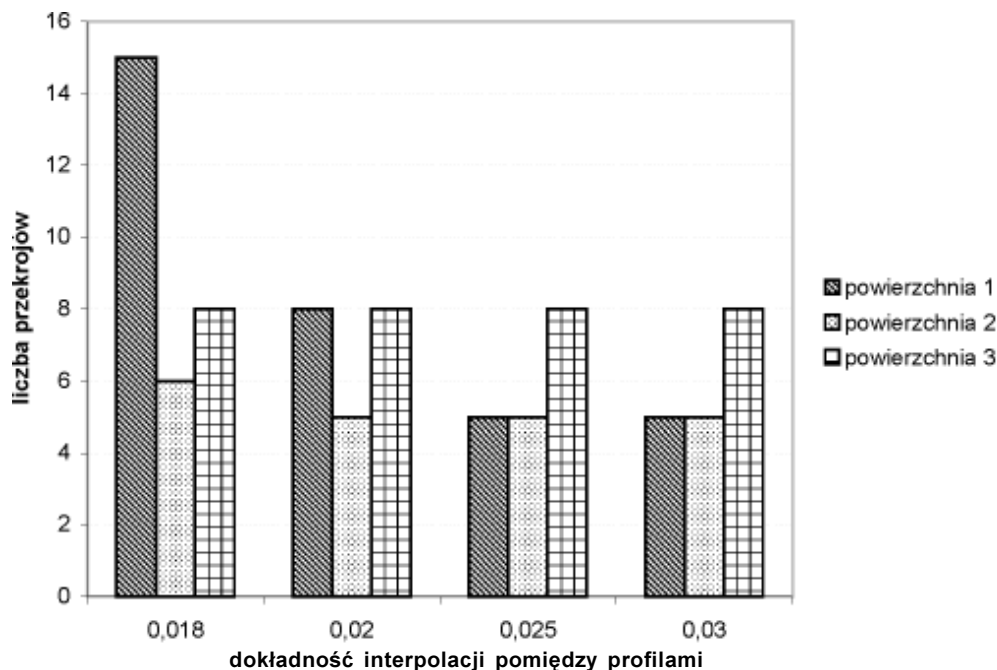


Rys. 1. Liczba neuronów dla przekrojów w zależności od dokładności (powierzchnia 1)

Przyrostowy dobór centrów w metodzie profili nie tylko rozwiązał problem doboru liczby neuronów radialnych, ale również zapewnił budowę przekrojów z założoną dokładnością.

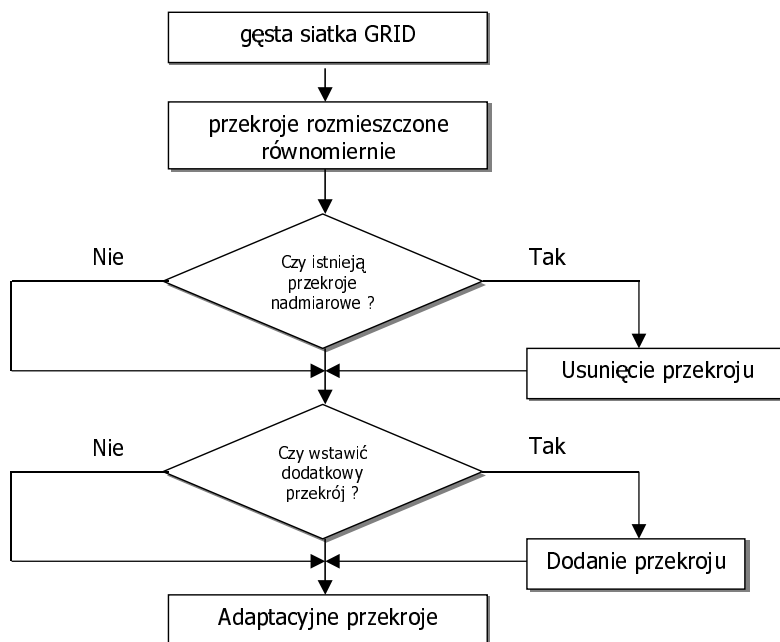
Adaptacyjny dobór przekrojów

W początkowym etapie przekroje budowane są na bazie siatki GRID uzyskanej z wykorzystaniem biharmonicznych krzywych sklejalnych (Sandwell 1987), które tworzą elastyczną powierzchnię przechodzącą przez punkty pomiarowe. Tworzona jest bardzo dokładna siatka GRID, a przekroje budowane są w równych odstępach. W kolejnym etapie, metody przekroje dobierane są adaptacyjnie (rys. 2). Sprawdzany jest błąd interpolacji pomiędzy przekrojami (z wykorzystaniem interpolacji Lagrange'a) i jeśli błąd ten jest mały sprawdzane jest czy nie istnieje przekrój nadmiarowy, natomiast jeśli błąd ten jest zbyt duży wprowadzany jest dodatkowy przekrój.



Rys. 2. Zależność pomiędzy dokładnością rekonstruowanej powierzchni a liczbą przekrojów

Adaptacyjny dobór przekrojów zapewniać ma redukcję danych, która będzie umożliwiała wizualizację toru wodnego w czasie rzeczywistym, a także budowę toru z góry założoną dokładnością. Liczba przekrojów zależna jest od ukształtowania terenu, a także od założonej dokładności. Przy zwiększaniu dokładności rekonstrukcji powierzchni rośnie również liczba przekrojów (rys. 3).



Rys. 3. Schemat adaptacyjnego doboru przekrojów

Podsumowanie

Przedstawiona w artykule metoda budowy numerycznego modelu terenu oparta jest na adaptacyjnie dobranych przekrojach. Przekroje te aproksymowane są z użyciem sieci RBF. W procesie trenowania sieci wykorzystano przyrostową metodę doboru liczby centrów, w celu aproksymacji przekrojów z założoną dokładnością oraz redukcji danych. Przekroje budowane są na bazie gęstej siatki GRID, początkowo w równych odstępach. W kolejnym etapie metody następuje adaptacyjny dobór odstępów pomiędzy przekrojami, na podstawie założonego błędu i nieregularności powierzchni.

Metoda oparta na przekrojach dedykowana jest ograniczonym akwenom – torom wodnym, gdzie nawigacja jest szczególnie utrudniona. Badania przeprowadzono dla danych rzeczywistych z toru wodnego Szczecin – Świnoujście. W dalszym etapie prac planuje się kontynuację prac nad metodą, tak aby umożliwiała ona wizualizację terenu w czasie rzeczywistym, z założoną dokładnością.

Literatura

- Balicki J., Kitowski Z., Stateczny A., 1999: Artificial Neural Networks for Modelling of Spatial Shape of Sea Bottom, IV Conference of Neural Networks and Their Applications, Zakopane.
- Chen S., Wu Y., Luk B.L., 1999: Combined genetic algorithm optimization and regularized orthogonal least squares learning for radial basis function networks, *IEEE Transactions on Neural Networks* 10(5), 1239–1243.

- Chen S., Cowan C.F.N., Grant P.M., 1991: Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks, *IEEE Transactions on Neural Networks* 2(2), 302-309.
- Chen S., Chng E.S., Alkadhimi K., 1996: Regularized orthogonal least squares algorithm for constructing radial basis function networks, *International Journal of Control* 64(5), 829-837.
- Kurczyński Z., 1998: Numeryczny model terenu – standardy. Opracowanie dla zespołu powołanego przez Głównego Geodetę Kraju.
- Lubczonek J., Stateczny A., 2002: Concept of neural model of the sea bottom surface, 6th International Conference Neural Networks and Soft Computing, Zakopane.
- Sandwell D.T., 1987: Biharmonic Spline interpolation of GEOS-3 and seasat altimeter data, *Geophysical Research Letters* 14(2), 139-142.
- Stateczny A., Kamiński W., 2003: The mathematical model of 3D fairway obtained by cross-sections and orthogonal networks RBF used for steering vessels, 9th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje.
- Stateczny A., Praczyk T., 2000: Neuronowa metoda modelowania kształtu dna morskiego, X Konferencja Naukowo-Techniczna Systemy Informacji Przestrzennej, Warszawa.
- Stateczny A., 2000: The neural method of sea bottom shape modelling for spatial maritime information system, WIT Press Southampton, Boston.
- Stateczny A. (red.), 2004: Metody nawigacji porównawczej. Gdańskie Towarzystwo Naukowe. Gdańsk.
- Stateczny A., 2001: Nawigacja porównawcza. Gdańskie Towarzystwo Naukowe. Gdańsk.
- Strumiłło P., Kamiński W., 2001: Orthogonalisation Procedure for Training Radial Basis Functions Neural Networks, Technical Sciences, Polish Academy of Science, Warszawa.

Summary

A numerical model of topographic relief can be defined as a set of measurement points with an interpolation algorithm. It enables the visualisation of 3D spatial data; therefore, the scope of its application is very wide. On the one hand it is applied for simulating the development of phenomena, and on the other, for designing the location of facilities and buildings. With the growing number of DTC (Digital Topographic Chart) users, there also increase their requirements concerning data quality (accuracy, reliability, up-to-dateness) and the possibilities of analysis in real time. The article presents research on the DTC construction method, which stresses the organisation of data recording, limiting them to minimum, at the same time aiming at the possibility of analysis in real time, and the construction of the model with assumed accuracy.

Modern measurement systems permit the automatic acquisition of very large data sets. Traditional construction methods of a numerical topographical relief model most frequently process the data sets to the shape of a regular GRID net. At nodal points, the height/depth of the terrain is calculated on the basis of an interpolation algorithm. A problem encountered while applying a GRID net for the construction of a DTC is its large size. Applying a GRID net for 1 sq. km with net size of 1m we will obtain 1 million points. For larger areas the number of points will be proportionately higher. Using such a number of data in real time is impossible; their very storage is a problem in itself. By additionally applying methods based on GRID net for areas with irregular shapes (e.g. a fairway) a rectangle-shaped net is obtained as a result, with a large number of unnecessary and distorted data.

The method of profiles used for the construction of a numerical model of topographical relief is dedicated for fairway-type areas. The purpose of this method is to restrict the number of data necessary for reproducing a 3D bottom model. The time of constructing the method is inessential, as the model will not be constructed on a vessel unit, and it will be changed only if new measurement data are acquired. The accuracy of the reconstructed surface is a very important criterion, assumed by the user in advance as the maximum error. The input data for the method are measurement points with the designated fairway axis. The data are divided into sections, and in the next stage the system of coordinates is turned around and shifted for each section, so that the width of the considered data fragment should be as small as possible. Next, cross-sections are built for all sections in equal

distances. Based on interpolations between sections (maximum error), it is checked if the distances between sections are correct. If the value of maximum error is too large, a successive profile is added. If the value of maximum error is too small, it is checked if a profile is not an excess profile. The method of profiles restricts the number of data necessary for a 3D spatial visualisation; it does not contain excessive and distorted data, which occur in the case of GRID-net based methods. Adaptively selected cross-sections will be kept on the unit, and they will be visualised in real time. The method of profiles makes it possible to construct a numerical model of topographical relief with previously assumed accuracy.

prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny
astat@am.szczecin.pl

mgr inż. Magdalena Kozak
mkozak@wi.ps.pl