

NUMERYCZNY MODEL TERENU JAKO ŹRÓDŁO DANYCH W PROWADZENIU PRAC PROJEKTOWYCH ORAZ METODY JEGO WIZUALIZACJI

*Bogusława Kwoczyńska, Anna Maciejasz
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej w Krakowie
Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji
Kraków, Balicka 253 a*

Wstęp

Numeryczny Model Terenu (ang. Digital Terrain Model — DTM) jest numeryczną, dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej powierzchni terenu, wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze. NMT zwykle jest reprezentowany przez punkty, rozłożone regularnie (siatka kwadratów i prostokątów ang. GRID) lub nieregularnie (siatka trójkątów ang. TIN) na powierzchni terenu i uzupełnione dodatkowo punktami opisującymi morfologiczne formy terenu.

Algorytm interpolacyjny, który jest nieodłączną składową NMT, pozwala określić wartość wysokości dla dowolnego punktu o położeniu określonym przez jego współrzędne x, y , tj. znaleźć wartość $z = f(x, y)$ (Kurczyński Z, Preuss R. 2000).

Źródłem danych dla Numerycznego Modelu Terenu może być zarówno pomiar zdalny w tym fotogrametryczny (manualny lub automatyczny), pomiar bezpośredni, a także materiały kartograficzne.

Dokładność pomiaru NMT zależy nie tylko od narzędzia pomiarowego i przyjętej techniki pomiarowej ale jest uwarunkowana dokładnością poszczególnych etapów fotogrametrii cyfrowej poprzedzających właściwy pomiar. Do etapów tych należą: wykonanie zdjęć lotniczych, skanowanie, pomiar fotopunktów w terenie i aerotriangulacja (Ewiak I, Kaczyński R. 2002).

Należy zauważyć, że bardzo ważnym technologicznie elementem przy tworzeniu NMT jest ustalenie wzajemnej relacji między gęstością i dokładnością pomiaru powierzchni, złożonością form terenowych a gęstością generowanej siatki wtórnej NMT.

Jako bardzo ogólną wytyczną można przyjąć, że wielkość oczka siatki NMT (tzw. „siatka wtórna”) w przypadku pozyskiwania NMT metodą fotogrametryczną kształtuje się następująco:

- oczko siatki wtórnej NMT $\cong 20 \cdot m_{zNMT}$ dla terenu łatwego,
- oczko siatki wtórnej NMT $\cong 10 \cdot m_{zNMT}$ dla terenu trudnego.

Pozyskanie NMT, a także ocena dokładności uzyskanej na jego podstawie wysokości punktów jest przedmiotem wielu badań, a niektóre z nich dotyczą tworzenia NMT dla potrzeb generowania ortofotomap cyfrowych.

Zastosowanie Numerycznego Modelu Terenu w pracach projektowych

Numeryczny Model Terenu, którego historia sięga końca lat pięćdziesiątych obecnie stanowi część składową systemów geoinformacyjnych typu GIS, LIS czy też topograficznych systemów informacyjnych.

Na podstawie NMT można:

- wygenerować warstwicę,
- określić wysokości punktu o znanych współrzędnych płaskich X, Y ,
- obliczyć objętości,

- wygenerować widoki perspektywiczne,
- przeprowadzić w dowolnym miejscu profile,
- określić kąty nachylenia i spadki terenu,
- wygenerować cieniowaną rzeźbę terenu i jego szorstkość,
- projektować korzystając z danych NMT i oprogramowania CAD.

W dzisiejszych czasach NMT wykorzystywany jest zarówno do badania zjawisk zachodzących na powierzchni terenu (w szczególności kataklizmów, np. zagrożenia falą powodziową, rozkład przestrzennych zagrożeń ekologicznych itp.) jak i do planowania przestrzennego i projektowania inżynierskiego.

Najbardziej wymagającymi, jeśli chodzi o dokładność i zgłaszającymi zapotrzebowanie na produkt NMT użytkownikami obok hydrologów i hydrometrów są geodeci i fotogrametrycy, dla których stanowi on podstawowy element przy produkcji ortofotomap.

Jednym z wielu przykładów wykorzystania Numerycznego Modelu Terenu jest opracowanie projektu rekultywacji terenów zdewastowanych, który dotyczył składowiska odpadów poprodukcyjnych w Wiślinie koło Gdańska (Miałdun J. 1997). W tym przypadku NMT był pomocny przy określeniu wolnej docelowej pojemności składowiska, jego pola powierzchni oraz dokonaniu analizy spadków skarp.

Kolejnym przykładem zastosowania NMT jako źródła danych do określenia cech hydraulicznych doliny rzeki Odry poniżej Wrocławia jest projekt, w którym NMT wykorzystano do bezpośredniego opisu geometrii obszaru przepływu wody w dwuwymiarowym modelu hydrodynamicznym.

W modelach jednowymiarowych geometryczny opis przepływu dokonuje się za pomocą przekrojów poprzecznych cieku. Natomiast w modelach dwuwymiarowych i trójwymiarowych informacje o geometrii doliny rzeki podaje się na podstawie punktów rozproszonych uzyskanych z: pomiaru geodezyjnego w terenie, pomiaru fotogrametrycznego na modelu stereoskopowym i digitalizacji istniejących map. Dane te można również pozyskać z Numerycznego Modelu Rzeźby Terenu (Gołuch P. 2002).

Numeryczny Model Terenu znalazł swoje zastosowanie również w pracach przy projektowaniu autostrady A4 na odcinku Kraków – Tarnów (Miłek M. 1999). Pozyskany został przy pomocy metod fotogrametrycznych na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1:20000. Nie było to jednak jedyne źródło danych, bowiem uzupełniono je uproszczonymi metodami pomiaru terenowego (przekroje poprzeczne). Zdjęcia, na podstawie których utworzono ortofotomapę, mimo iż w porównaniu z pomiarem terenowym mniej dokładne, w zestawieniu z nim dawały dużo lepsze rezultaty.

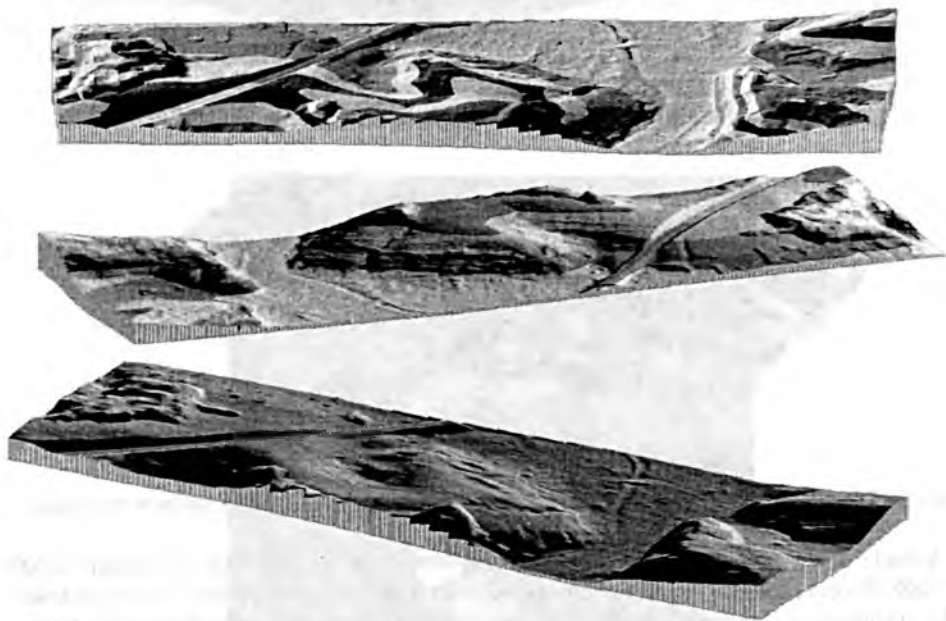
Przykłady wykorzystania NMT w różnorodnych pracach projektowych można by mnożyć. Otrzymywane na jego podstawie dane cechuje wystarczająca dokładność, a możliwość pozyskania dodatkowych informacji czy to w postaci kątów nachylenia i spadków, objętości, profili itp. zapewnia, że staje się on naprawdę poszukiwanym produktem fotogrametrycznym.

Na uwagę zasługuje fakt, że NMT znajduje coraz szersze zastosowanie w opracowaniach nie kartometrycznych. Wykorzystuje się go m.in. do:

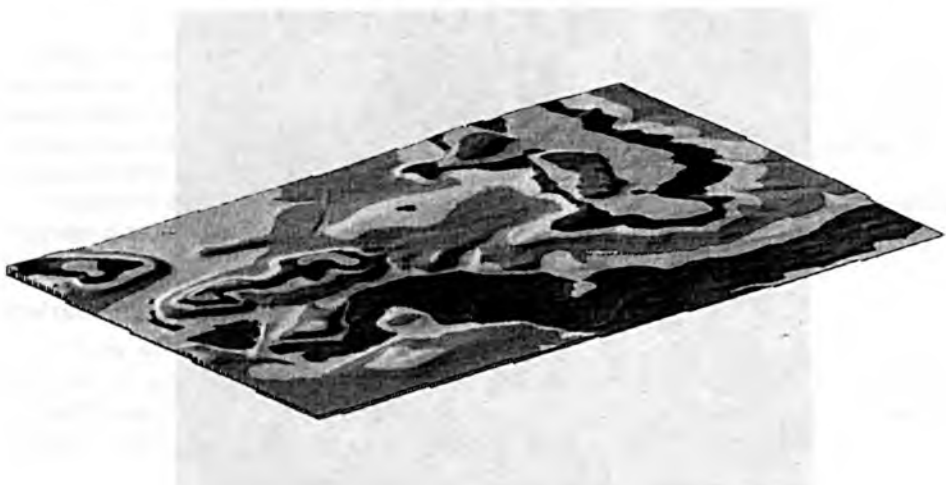
- budowy przestrzennych modeli aglomeracji miejskich wykonywanych dla potrzeb telekomunikacji,
- planowej gospodarki zasobami wodnymi w zakresie obejmującym budowę systemów przeciwpowodziowych i inwentaryzację wałów przeciwpowodziowych, określenie obszarów zalewowych itp.,
- określenia dynamiki zmian morskiej strefy brzegowej (procesu abrazji),
- inwentaryzacji rurociągów i linii energetycznych
- tworzenia obrazów wirtualnych, pozwalających na symulowaną obserwację terenu w ruchu z dowolnej wysokości i pod dowolnym kątem
- określenie biomasy kompleksów leśnych (Butowtt J., Kaczyński R. 2003)

Metody wizualizacji Numerycznego Modelu Terenu.

Wygenerowany Numeryczny Model Terenu można wizualizować na wiele sposobów w zależności od jego przeznaczenia. Przykład może stanowić rys 1 i 2 przedstawiający NMT obiektu Szczyglice w rzucie izometrycznym. Model terenu został tu zaprezentowany z różnych punktów widzenia (rys.1) i przy zmiennych skalach wysokości (rys. 2).



Rys. 1 Przykłady wizualizacji NMT obiektu Szczyglice wykonane z różnych punktów widzenia



a) model bez zniekształceń skali pionowej



b) skala wysokości modelu zwiększona dwukrotnie

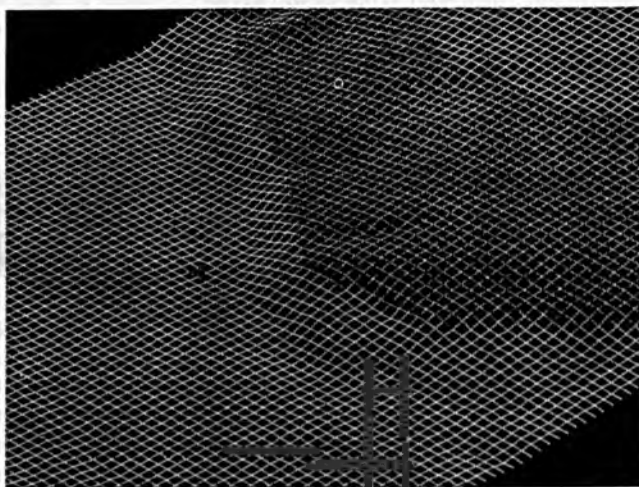


c) skala wysokości modelu zwiększona trzykrotnie

Rys. 2 Przykłady wizualizacji NMT obiektu Szczyglice przy zmiennych skalach wysokości

Modele powyższe wygenerowano dla potrzeb ortofotomap cyfrowych w skalach 1:2000 i 1:5000. W celu podkreślenia charakteru terenu zwiększono dwu i trzykrotnie skalę wysokości. Takie wizualizacje stanowią materiał poglądowy i są pomocne w przeprowadzeniu charakterystyki obiektu badań.

W zależności od zapotrzebowania istnieje kilka opcji wizualizacji NMT. W trybie wyboru tekstury można stosować np. mapę wysokościową jak na rys. 1 bądź regularną siatkę rys. 3.



Rys. 3 Wizualizacja NMT przy pomocy regularnej siatki

Wyodrębnianie grubych błędów modelu terenu jest najszybsze w trybie tekstur mapy wysokościowej lub konturu linii w kombinacji z płaskimi wypełnieniami. Gęstość zwizualizowania szkieletowego zależy od pokazanej wartości wzniesienia i pożądanego poziomu szczegółów.

Zastosowanie obecnej techniki komputerowej oraz oprogramowania OpenGL pozwala na wizualizację NMT w czasie rzeczywistym w grafice trójwymiarowej.

W celu takiej wizualizacji cyfrowych modeli terenu i ortobrazów w różnej skali i z różnej pozycji używana jest biblioteka OpenGL w językach programowania C/C++, wspierana sprzętowo przez karty graficzne.

Dla przyjętego obiektu badań jakim były Szczyglice w woj. małopolskim opracowano program do wizualizacji NMT i ortofotomapy w czasie rzeczywistym (Maciejasz A. 2004).

„Urzeczywistnienie” NMT odbywa się poprzez nałożenie na regularną siatkę odpowiedniego fragmentu ortofotomapy rys.4.



Rys. 4 NMT z nałożoną teksturą w postaci ortofotomapy

Stacyczna obserwacja obrazu terenu może być nużąca, a poza tym nie umożliwia bliższego zapoznania się ze szczegółami terenu. Posiada też tę wadę, że obszary widziane w perspektywie, a zatem dalej położone są mało wyraźne. W celu urozniczenia oglądania terenu, umożliwiono nawigację po terenie. Za pomocą klawiszy funkcyjnych można „poruszać” się we wszystkich kierunkach oraz oddalać i przybliżać teren.

Omawiane oprogramowanie wymaga zastosowania procesora przynajmniej Pentium pracującego z częstotliwością 450 MHz, pamięci min 64 MB, karty grafiki ze sprzętową obsługą OpenGL oraz systemu Windows 98/Me/XP.

Podsumowanie

Podsumowując, należy stwierdzić, że zastosowanie Numerycznego Modelu Terenu staje się coraz bardziej powszechne. Doświadczenia wielu autorów wskazują, że jest on przydatny nie tylko jako produkt fotogrametryczny w celu generowania ortofotomap cyfrowych, ale również jako element wspomagający przeprowadzenie różnorodnych prac projektowych.

Stosowanie nowoczesnych technik komputerowych pozwala na przedstawienie NMT nie tylko metodami tradycyjnymi, ale również w grafice trójwymiarowej na ekranie komputera. Trójwymiarowa nawigacja po terenie staje się zatem czymś powszechnym i oczywistym

Streszczenie

Numeryczny model opisuje powierzchnię terenu za pomocą zbioru punktów (x,y,z) i jest on oparty najczęściej na regularnej siatce kwadratów bądź też nieregularnej siatce trójkątów. Wielkość siatki numerycznego modelu dobierana jest w zależności od właściwości geometrycznych terenu oraz tak, aby dokładność wysokościowa NMT była $1/20$ (dla terenu łatwego) i $1/10$ (dla terenu trudnego) wymiaru terenowej siatki.

W pracy przedstawiono zastosowanie Numerycznego Modelu Terenu w różnorodnych pracach projektowych oraz możliwości jego wizualizacji w grafice trójwymiarowej.

Abstract

Digital terrain model (DTM) describes terrain surface with the help of the set of points (x, y, z) . It is often founded on regular net of squares or irregular net of triangles. The choice of DTM net size depends on geometrical properties of the terrain and also on condition that height accuracy of DTM should be $1/20$ th (for an easy terrain) or $1/10$ th (for difficult terrain) of actual net size.

The paper shows the application of DTM to different projects and the possibilities of its visualization in 3-dimensional graphics.

Literatura

1. Butowtt J., Kaczyński R. 2003, Fotogrametria, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
2. Ewiak I., Kaczyński R. 2002, Dokładność generowania NMT ze zdjęć lotniczych PHARE w skali 1:26000. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Warszawa, vol.12a
3. Gołuch P. 2002, Numeryczny Model Terenu i ortofotomapa — źródło danych do określenia cech hydraulicznych doliny rzeki Acta Scientiarum Poloniarum, Gedesia et Discriptio Terrarum
4. Kurczyński Z., Preuss R. 2000, Podstawy fotogrametrii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
5. Maciejasz A. 2004, Wizualizacja Numerycznego Modelu Terenu i ortofotomapy w czasie rzeczywistym, Praca dyplomowa, AR Kraków
6. Miałdun J. 1997, Wykorzystanie fotogrametrii lotniczej w procesie ogólnego projektowania rekultywacji terenów zdewastowanych, „Nowoczesna ortofotografia i GIS dla potrzeb gospodarki terenami”, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Kraków, vol. 6
7. Miłek M. 1999, NMT na potrzeby projektowania autostrad z wykorzystaniem metod fotogrametrycznych, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 9, Olsztyn

Recenzowała : dr hab. inż. Urszula Litwin