

Wrona T.

Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie (Kraków, Polska)

DOKŁADNOŚĆ WYSOKOŚCI WĘZŁÓW SIATKI CYFROWEGO MODELU TERENU UZYSKANEGO NA FSC DELTA

© Wrona T., 2003

This publication includes height accuracy of primeval digital terrain model (DTM) grid analyse. Next to short presentation of ways to obtain of digital terrain model (DTM), take into account for factors limited accuracy of nodes regular grid height, obtained in automatic mode on DPS Delta. Digital terrain models of surface obtained from black and white photos and natural colors photos have been considered.

Wprowadzenie

NMT Numeryczny Model Terenu rozumiany jest jako uporządkowany zbiór punktów położonych na powierzchni terenu, których wysokości są podane. Położenie sytuacyjne tych punktów najczęściej określa się przez podanie współrzędnych płaskich. Punkty tworzące NMT mogą być rozmieszczone w postaci regularnych figur

geometrycznych (trójkąty, prostokąty, kwadraty) lub ich położenie jest determinowane charakterem rzeźby terenu. Istotne znaczenie NMT nie wymaga szerszego uzasadnienia, gdyż jego praktyczna przydatność dla wielorakich potrzeb jest niewątpliwa. Dane modelu bardzo często stanowią podstawowy materiał wyjściowy dla wielu zadań planistycznych, projektowych rozwiązywanych przez specjalistów różnych branż [4, 5]. Odpowiednia wizualizacja modelu bardzo poglądowo i praktycznie odzwierciedla ukształtowanie pionowe terenu [2]. Wyjątkową rolę NMT odgrywa w procesie wykonywania cyfrowych ortofotomap, gdyż do ich wykonania jest on niezbędnie konieczny.

NMT można uzyskać:

- w oparciu o pomiar bezpośredni,
- z wykorzystaniem odpowiednich materiałów kartograficznych (map warstwicznych)
- metodami fotogrametrycznymi,
- bezpośrednim skanowaniem terenu - laserowym skanerem z pułapu lotniczego.

Każdy z tych sposobów ma określone zalety (dokładność), ale i niedogodności (pracochłonność, koszty). Do chwili obecnej sposoby fotogrametryczne miały i nadal mają najszersze zastosowanie w procesie tworzenia NMT. Już w czasie pojawienia się przyrządów stereometrycznych w postaci autografów analogowych, można było na nich stosunkowo sprawnie uzyskać dane dla tworzenia numerycznego modelu terenu. Dalsze ułatwienia i przyspieszenie tego procesu nastąpiło dzięki zastosowaniu przystawek rejestrujących współrzędne, a następnie autografów analitycznych.

Jednak dopiero z chwilą powstania realnych możliwości (skanery fotogrametryczne) wykorzystania do opracowań fotogrametrycznych obrazów cyfrowych oraz pojawienia się autografów cyfrowych i cyfrowych stacji fotogrametrycznych zaistniała techniczna możliwość pełnej automatyzacji procesu tworzenia numerycznego modelu terenu (w takim przypadku często nazywanego cyfrowym modelem terenu).

Należy zauważyć, że w wyniku automatycznego generowania otrzymujemy model powierzchni terenu (tj. łącznie z powierzchnią obiektów wystających ponad powierzchnię terenu).

Automatyczne generowanie modelu polega na przyporządkowaniu (dopasowaniu ang. *matchingu*) fragmentów obrazów zdjęć stereogramu.

Sposoby dopasowania mogą polegać na porównaniu i rozpoznaniu obszarów lub na porównaniu i rozpoznaniu cech strukturalnych obrazów. Oba sposoby mogą obejmować całe powierzchnie wspólne, ale częściej dotyczą małego obszaru nie więcej niż 50 x 50 pikseli [6]. Aby poprawić uwarunkowanie dopasowania celowym jest uprzednio poddać obrazy odpowiedniej filtracji (operatory), co podniesie stałość relacji geometrycznych, a przede wszystkim radiometrycznych pomiędzy obrazami obiektów na obu zdjęciach. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dopasowania w oparciu o podobieństwo cech strukturalnych czyli sposobem FBM (*Feature Based Matching*). Dopasowanie można również przyspieszyć i ułatwić stosując zdjęcia wzajemnie zorientowane, gdyż wtedy będzie ono jednowymiarowe tj. wzdłuż promieni rdzennych, a również łatwiejsze będzie „zgrubne zgranie”.

Konkretne sposoby dopasowania (ang. *matchingu*) zależą od charakteru dopasowywanych obrazów, a głównie wymaganej dokładności dopasowania [3, 6]. Miarą podobieństwa dopasowywanych fragmentów obrazów w sposobach powierzchniowych mogą być funkcja autokorelacji, suma bezwzględnych wartości różnic lub suma kwadratów różnic, a najczęściej współczynnik korelacji, będący miarą dla obu sposobów.

Jedną z najważniejszych cech modelu cyfrowego, w wielu przypadkach decydującą o jego przydatności do konkretnych potrzeb, jest dokładność wysokości węzłów siatki pierwotnej. Przy automatycznym generowaniu numerycznego modelu terenu na fotogrametrycznych stacjach cyfrowych dokładność wysokości zależy od wyjściowych parametrów i przede wszystkim od poprawności i ścisłości skorelowania homologicznych punktów. Jest oczywiste, że ta dokładność zależy od typu stacji (a ściślej realizowanego przez nią algorytmu).

Opis przeprowadzonych prac

Podjęto próbę ustalenia dokładności wysokości węzłów regularnej siatki cyfrowego modelu wygenerowanego w trybie automatycznym na stacji Delta ukraińskiej firmy Geosystems. Analizie poddano model uzyskany w oparciu o cyfrowy stereogram, otrzymany drogą zeskanowania z rozdzielczością 1000 dpi zdjęć analogowych w skali 1:5000 obejmujących teren górski (wieś Trybsz) o mocno zróżnicowanej rzeźbie (duże spadki, wysokie miedze, wcięte drogi) i urozmaiconym pokryciu jego powierzchni. Zdjęcia lotnicze wykonane zostały kamerą RC-10 o ogniskowej 210 mm bez stabilizacji i eliminacji rozmazania.

Orientacje zdjęć stereogramu wykonane zostały wizualnie na stacji Delta, błąd orientacji wewnętrznej 4 μm , wzajemnej 3,2 μm . Orientację zewnętrzną wykonano z błędem nie przekraczającym 15 cm w oparciu o punkty sygnalizowane, których współrzędne wyznaczono w procesie aerotriangulacji z błędem nie przekraczającym 10 cm.

Siatka automatycznie została zapisana w warstwie DEM Grid, każdy jej węzeł uzyskał współrzędne przestrzenne. Wysokości tak otrzymanych węzłów zostały porównane z wartościami bezpośrednio odczytanymi na modelu.

Przyjmując wielkości odczytane za bezbłędne obliczono średnie kwadratowe błędy wysokości. Obliczenia wykonano w ramach szeregów pomiarowych (np. wzdłuż wybranych linii siatki położonych na obrazie o charakterystycznych cechach) dla dwu modeli cyfrowych wykonanych na tym samym stereogramie z nieznaczną zmianą wielkości „oczka” siatki oraz zasięgu w terenie.

Rozpatrując wielkości otrzymanych błędów obserwujemy znaczne ich zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi szeregami pomiarowymi. Dla pierwszego modelu błędy wahają się od ± 38 do ± 55 cm, na drugim modelu od ± 26 do ± 46 cm. Uśredniona dla obydwu modeli wielkość średniokwadratowego błędu wynosi ± 41 cm. Dla większości wykonanych pomiarów zaobserwowano systematyczny charakter błędów tj. wielkości odczytane były mniejsze od wygenerowanych. Porównując wielkości otrzymanych błędów z charakterem obrazu można stwierdzić, że ich wartości raptownie wzrastają na obrazie monotonnym o bezpostaciowej strukturze, szczególnie dotyczy to jego jasnych fragmentów. W takich miejscach obrazu utrudniony był nawet bezpośredni wizualny pomiar wysokości.

Otrzymane wielkości błędów znacznie przekraczają wartości przewidywane, gdyż zapewne są spowodowane nie tylko charakterem terenu i samym procesem korelacji, ale również błędem bezpośredniego pomiaru na modelu.

Przeglądając siatki modelu cyfrowego w kilku przypadkach zauważono grube błędy wysokości (błędne dopasowanie monottonnych fragmentów obrazu) rzędu kilku metrów. Takie błędy są bardzo łatwe do zauważenia, gdyż widoczna siatka modelu znacznie się rozdwaja lub nie przylega do powierzchni terenu. Usunięcie zauważonego błędu jest łatwe – wystarczy posadzić znaczek pomiarowy i nacisnąć klawisz Z, a wysokość węzła natychmiast jest zmieniona na ustawioną znaczką pomiarowym. Jediną niedogodnością przy przeglądaniu i ewentualnym poprawianiu wysokości węzłów jest stosunkowo powolna wizualizacja linii siatki.

Oprócz modeli cyfrowych wygenerowanych ze zdjęć czarno-białych, przeanalizowano również model uzyskany w oparciu o zdjęcia w barwach naturalnych, wykonanych w ramach programu pomocowego PHARE. Zdjęcia w skali 1:5000 zostały wykonane kamerą RC-20 o ogniskowej 300 mm z kompensacją rozmazania. Model wygenerowano ze zdjęć obejmujących teren podmiejski o deniwelacjach rzędu 40 m z mocno zróżnicowanymi elementami pokrycia jego powierzchni.

Wyznaczone (analogicznie jak dla modeli ze zdjęć panchromatycznych) wielkości błędów wysokości węzłów, wykazują jeszcze większy rozrzut pomiędzy poszczególnymi szeregami pomiarowymi, gdyż wahania wynoszą od ± 23 do ± 75 cm, natomiast wartości uśrednione dla wszystkich pomiarów ± 50 cm.

Uwagi poczynione przy omawianiu modelu cyfrowego otrzymanego ze zdjęć czarno-białych w pełni odnoszą się do modelu barwnego, przy czym wahania błędów i ich wielkości są jeszcze większe. Chociaż wielkości błędów obliczono na podstawie dostatecznej ilości pomiarów, to jednak ich wartości należy uznać za orientacyjne i przybliżone. Świadczy o tym chociażby ich rozrzut spowodowany w głównej mierze zmiennością strukturalnych cech obrazu. Należy również zauważyć, że obliczenia błędów wykonano bez uwzględnienia składowej systematycznej, która być może w części została spowodowana błędami osobowymi w trakcie obserwacji bezpośredniej (zagłębienie znacznika pomiarowego). Wyeliminowanie błędu systematycznego znacznie zmniejsza błędy nawet ponad połowę np. w szeregu pomiarowym o błędzie 71,3 cm po uwzględnieniu części systematycznej otrzymano błąd średni kwadratowy ± 32 cm. Wpływ błędu systematycznego spada w miarę zmniejszania się wartości błędu, dla błędu 23 cm. Uzyskano tylko ± 20 cm.

Literatura

1. Dorozhynskyy O. „Fotogrametria analityczna i cyfrowa” Kraków – Lwów, 2002.
2. Jędrzycka R., Skrzypczyk L. „Wizualizacja numerycznego modelu terenu i ortofoto w czasie rzeczywistym” Archiwum Kartografii i Teledetekcji, vol. 11. Kraków, 2001.
3. Preuss R., „Sposoby odtwarzania orientacji zdjęć we współczesnych technologiach fotogrametrycznych”, Archiwum Kartografii i Teledetekcji, vol. 7. Kraków, 1977.
4. Sitek Z., „Fotogrametria ogólna i inżynierska” PPWK, Warszawa-Wrocław 1991.
5. Widacki W., „Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej” Text, Kraków, 1997.
6. Zieliński J., „Strategia autoamtyzacji pomiarów na stereogramach cyfrowych z zastosowaniem metod korelacji”, Archiwum Kartografii i Teledetekcji, vol. 8. Kraków, 1998.