

WYBÓR PARAMETRÓW PRZY AUTOMATYCZNYM TWORZENIU NUMERYCZNEGO MODELU RZEŻBY TERENU Z WYKORZYSTANIEM ZDJĘĆ LOTNICZYCH

*O. Tumska, M. Procyk, W. Janczak
Instytut Geodezji Politechniki Lwowskiej
Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji
ul. St. Bandery 12, 79013 Lwów
Lwów — Ukraina*

Automatyczne tworzenie numerycznego modelu rzeźby terenu (NMT) na podstawie zdjęć lotniczych jest jednym z podstawowych zadań w opracowaniu obrazów i fotogrametrii. Główna przewaga automatycznej budowy NMT polega na możliwości otrzymania bardzo gęstej siatki punktów o znacznych wysokościach bez ingerencji operatora. Główne parametry zależą od wysokości fotografowania, danych radiometrycznych, poziomu zakłóceń obrazu, charakteru terenu, lokalnych kątów nachylenia itp. [5]. Automatyczna budowa NMT znacznie się kwalifikuje dla obszarów z nieznacznym informacyjnym obciążeniem okresowym, albo niejednorodną teksturą np. na zabudowanych miejskich terenach i innych [3].

Zaproponowane opracowanie jest poświęcone zbadaniu wpływu parametrów na dokładność automatycznej budowy NMT z wykorzystaniem korelacyjnej metody identyfikacji jednoimennych punktów stereogramu, znanej jako metoda VLL (Vertical Line Locus) [4], która pozwala od razu otrzymać regularny model rzeźby terenu o zadanym kroku.

NMT opracowuje się zeskanowanych zdjęciach lotniczych z zadanym zbiorem fotopunktów. Proces stworzenia NMT składa się z następujących etapów [2]: skanowanie zdjęć fotograficznych; wprowadzenie danych wejściowych; wykonanie pomiarów znaczków tłowych i fotopunktów; orientacja wewnętrzna i wzajemna obrazów; bezwzględna orientacja zdjęć w oparciu o fotopunkty; automatyczne tworzenie NMT.

Obliczenie węzłów siatki wykonuje się metodą VLL, dla wyznaczenia potrzebnych parametrów wejściowych przeanalizujemy algorytm metody.

Początkowy punkt regularnej siatki wybieramy w pobliżu fotopunktu. Przez początkowy punkt P o współrzędnych (X, Y) przeprowadzamy pionową linię prostą, na której wyznaczamy jednakowo oddalone punkty $P_i(X, Y, Z_i)$ z krokiem Z po obu stronach od punktu Z_{01} , za jaki przyjmuje się wysokość najbliższego fotopunktu.

Dla każdego punktu $P_i(X, Y, Z_i)$ na podstawie równań kolinearności wyznaczamy współrzędne $(x, y)_{i,p}$ jednoimennych punktów na lewych i prawych zdjęciach, które będą środkami okien o wymiarze $(m \ m)$ pikseli, które będziemy nazywać oknami poszukiwania. Dla każdej pary odpowiednich okien obliczymy współczynniki korelacji między wartościami poziomów jasności. Wartość wysokości Z_i , jaka odpowiada największemu współczynnikowi korelacji przyjmujemy za nową wysokość Z_{02} . Taką samą ilość punktów podziału na odległości $\Delta Z/2$ rozmieszcza się po obu stronach od najbliższej wysokości Z_{02} itd. Proces iteracyjny zakończy się, kiedy odległość między punktami rozbicia linii pionowej stanie się mniejsza od zadanej dokładności wysokości δ_h i traktujemy ją jako ostateczną wartość wysokości Z_{0n} dla węzła siatki o współrzędnych X, Y . Największą wartość bezwzględną współczynnika korelacji $|r_{max}|$ z ostatniej iteracji porównuje się z wartością progową współczynnika korelacji. Współrzędne węzła siatki (X, Y, Z) , dla którego wartość bezwzględna współczynnika korelacji jest większa od wartości progowej, zapisuje się do

pliku. Na ekranie monitora pomierzony punkt zaznacza się czarnym znacznikiem. Punktów, dla których powyższy warunek nie jest spełniony nie zapisuje się do pliku i zaznacza się je białym znacznikiem (rys. 1).

Następnie przechodzimy do następnego węzła siatki, przyjmując za początkową wysokość wartość wysokości określone w poprzednim punkcie.

Jednym z podstawowych parametrów jest wartość progowa dla oceny poziomu istotności współczynnika korelacji, z wykorzystaniem którego odfiltrują się punkty. Wartość progowa dla współczynnika korelacji 0,6 albo 0,7 przyjęta w [1, 3], odrzuca znaczną ilość punktów dobrej jakości, zwłaszcza w terenach o nieznacznej zmianie jasności, co się potwierdza w eksperymentalnych badaniach (rys 2). Dlatego dla wyznaczenia optymalnej wartości progowej poziomu współczynnika korelacji, wykorzystano sprawdzanie hipotezy statystycznej o znaczącej wartości współczynnika korelacji [6]. Za kryterium wybrano zmienną losową

$$T = r\sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2}$$

gdzie r — współczynnik korelacji, n — ilość punktów z okna poszukiwania.

Jeżeli $|T| > t_{kr}$, gdzie t_{kr} — krytyczna wartość rozkładu Studenta, to współczynnik korelacji jest znaczący, to jest między poziomami jasności istnieje więź korelacyjna. W przeciwnym przypadku uważamy że korelacyjny związek nie istnieje. Wartość wybieramy dla wartości to jest prawdopodobieństwo błędu równego 0,001. W tym przypadku wartość progową otrzymujemy z równania $|T| = t_{kr}$

$$R_c = \frac{t_{kr}}{\sqrt{n-2+t_{kr}^2}} \quad (1)$$

Z otrzymanego wzoru wynika, że wartość progowa R_c dąży do zera kiedy n rośnie do nieskończoności. Dlatego przy dosyć wielkich n nie ma sensu statystycznego brać jako wartość progową 0,6 albo 0,7. Dla niektórych typów obrazów terenu (na przykład, powtarzające się struktury) współczynnik korelacji między poziomami jasności może być znaczącym dla nie jednorodnych punktów stereogramu. W takich przypadkach większość metod identyfikacji punktów nie daje dobrych wyników, przy czym nawet pomyślna identyfikacja punktów nie zawsze daje polepszenia dokładności NMT [3].

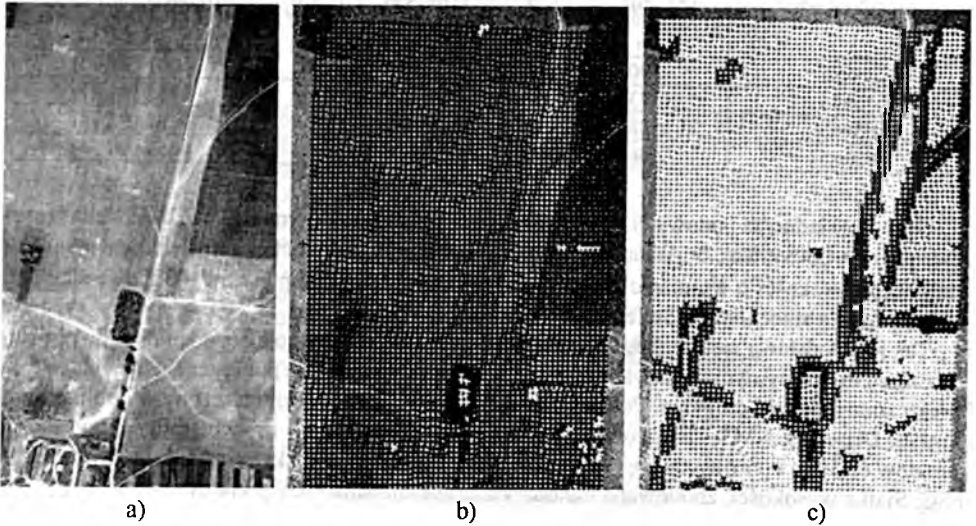
Dla przeprowadzenia badania za pomocą zaproponowanej metody opracowano program w języku programowania Delphi. Dla wizualizacji powierzchni wykorzystano oprogramowanie „Surfer” (firma Golden Software).

Eksperymentalne badanie wpływu parametrów na stworzenie NMT wykonano na trzech stereogramach zdjęć lotniczych, otrzymanych kamerą AFA-TES z ogniskową 100 mm, z siatką krzyży (krok 10 mm). Skala zdjęć 1:8000. Na zdjęciach występują obszary użytkowane rolniczo, charakter terenu falisty, przewyższenie wynosi 100 m.

Skanowanie obrazów fotograficznych wykonano na fotogrametrycznym skanerze „Delta-2” (producent firma Geosystem, m. Winnica, Ukraina) z rozdzielczością 1200 dpi przy 256 poziomach jasności. Dla eksperymentu wykorzystano obrazy, skompresowane do drugiego poziomu piramidy. (Rozdzielczość — 600 dpi, rozmiar pikseli — 42,33 μm , co daje rozdzielczość terenową — 0,34 m/piksel). Badania przeprowadzono dla trzech obszarów z różnych stereogramów:

- obszar 1 charakteryzuje się dosyć jednorodną strukturą pokrycia terenu (rola przecięta drogami, rys. 1a);
- obszar 2 charakteryzuje się mozaikowatymi strukturami o geometrycznej powtarzalności (stogi siana) i wielkimi skokami jasności;
- obszar 3 obejmuje zerodowane ziemie.

Wpływ wartości progowej współczynnika korelacji na rezultaty identyfikacji jednoimiennych punktów przy budowie NMT metodą VLL przedstawiono dla obszaru na rys. 1 dla dwóch wersji.



Rys. 1 Wpływ wartości progowej współczynnika korelacji na rezultaty identyfikacji jednoimiennych punktów (czarne znaczki — punkty zidentyfikowane, białe — niezidentyfikowane)
 a — ogólny wygląd analizowanego obszaru;
 b — rozkład identyfikacji punktów przy wartości progowej R_c ;
 c — rozkład identyfikacji punktów przy wartości progowej 0,6

Wersja 1: Wartość progowa dla współczynnika korelacji wyznaczona za wzorem (1). Czarne znaczki ($|r_{max}| \geq R_c$) pokrywają znaczny teren; białe znaczki ($|r_{max}| \leq R_c$) rozrzucone i zajmują niewielki obszar (rys. 1 b).

Wersja 2: Wartość progowa dla współczynnika korelacji ma wartość 0,6. Czarne znaczki ($|r_{max}| \geq 0,6$) są rozmieszczone koło sytuacyjnej części zdjęcia (drogi, granice działek i lasów) zajmują niewielki obszar; białe znaczki ($|r_{max}| \leq 0,6$) pokrywają wielkie obszary z nieznaczną zmianą jasności (rys. 1 c).

W obydwu wersjach wymiar oczka siatki NMT wynosi $(10 \times 10) \text{ m}^2$, rozmiar okna poszukiwania (85×85) pikseli. Efektywność działania algorytmu identyfikacji jednoimiennych punktów stereogramu zależy od rozmiaru okna poszukiwania, który jest związany ze statystycznymi i charakterystykami obrazu i wielkością szumów [5]. W tabeli 1 podano wyniki zależności ilości rozpoznanych węzłów siatki od rozmiaru okna poszukiwania przy $|r_{max}| \geq R_c$ dla trzech wybranych obszarów (kąąt nachylenia 4°). Najlepszy wynik otrzymano dla okna poszukiwania (85×85) pikseli. Tak więc, ze wzrostem okna poszukiwania wzrasta liczba z powodzeniem rozpoznanych węzłów. Jednak, w przypadku złożonej struktury geometrycznej (obszar 2) pozostaje znaczna ilość punktów, dla których algorytm korelacyjny nie daje dobrych wyników.

Należy zauważyć, że w metodzie VLL nie wybiera się najpierw punktów z lepszymi właściwościami korelacyjnymi (punkty konturowe, linie proste, okręgi, kąty i inne). Dla takich punktów znacznie mniejsze rozmiary okna poszukiwania dają dobrze zidentyfikowane punkty jednoimienne [7].

Tabela 1. Zależność liczby ilości rozpoznanych węzłów siatki od rozmiaru okna poszukiwania

Rozmiar okna poszukiwania w pikselach	Obszar 1 Rozmiar siatki (101x59), $r_{max} \geq R_c$, n_i (%)	Obszar 2 Rozmiar siatki (108x58), $r_{max} \geq R_c$, n_i (%)	Obszar 3 Rozmiar siatki (109x62), $r_{max} \geq R_c$, n_i (%)
25x25	3902 (65.5)	3679 (58,73)	5001 (74,00)
45x45	5730 (96.2)	5419 (86,51)	6353 (94,01)
65x65	5885 (98.8)	4988 (79,63)	6281 (92,94)
85x85	5907 (99.1)	5910 (94,35)	6659 (98,54)

Ocenę dokładności budowy NMT wykonano dla obszaru 1. W tym celu na FSC „Delta” (producent firma Geosystem, m. Winnica, Ukraina) metodą stereogrametryczną zbudowano kontrolną siatkę wysokości o wymiarach (50x50) m², w której było 252 punktów. (Budowę siatki na FSC wykonała studentka K. Stefanyszyn).

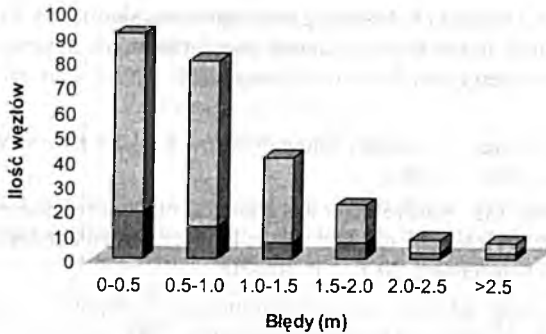
Tak jak, podstawą metody VLL jest przekazywanie kolejno wysokości od punktu do punktu, z następnym iteracyjnym poprawieniem, to zrozumiałe, że sąsiednie punkty mają być blisko rozmieszczone jeden od drugiego. Początkowy punkt siatki ma być rozmieszczony w pobliżu fotopunktu. Dlatego z NMT, stworzonego metodą VLL, z krokiem 10 m wybierało się wysokości punktów co 50 m i porównało się je z wysokościami w węzłach siatki kontrolnej, otrzymanej na FSC. Siatka wysokości, zbudowana metodą VLL, obejmowała 5959 punktów.

Tabela 2. Porównanie NMT, utworzonego na FSC „Delta” z modelami rzeźby zbudowanymi metodą VLL, dla różnych wartości progów korelacyjnego (Obszar 1, $\rho = |r_{max}|$)

Rozmiar okna poszukiwania		Ilość punktów NMT (co 10 m)		Ilość punktów NMT (co 50 m)		Średni kwadratowy błąd wysokości (m)		Maksymalna bezwzględna wartość wysokości (m)	
Obraz (pikseli)	Teren (m ²)	$\rho \geq R_c$ n ta %	$\rho \geq 0.6$ n ta %	$\rho \geq R_c$ n ta %	$\rho \geq 0.6$ n ta %	$\rho \geq R_c$	$\rho \geq 0.6$	$\rho \geq R_c$	$\rho \geq 0.6$
25x25	8.5x8.5	3902 (65.5)	491 (8.2)	169 (67.1)	18 (7.1)	10.96	3.17	48.14	10.99
45x45	15.2x15.2	5730 (96.2)	846 (14.2)	240 (95.2)	40 (15.9)	1.48	1.58	11.28	5.45
65x65	22.0x22.0	5885 (98.8)	1036 (17.4)	248 (98.4)	45 (17.9)	1.38	1.90	8.47	8.47
85x85	28.8x28.8	5907 (99.1)	1179 (19.8)	249 (98.8)	52 (20.6)	1.21	1.64	7.06	7.06
85x85	28.8x28.8	-	-	248 (98.4)	50 (19.8)	12.34	3.86	87.45	24.70

Porównanie wykonano dla różnych rozmiarów okien poszukiwania i dla różnych wartości progowych dla współczynników korelacji. Otrzymane rezultaty podane w tabeli 2, pokazują, że najlepszy rezultat rozpoznania 99,1% i minimalny średni kwadratowy błąd wysokości 1,21 m (dla $|r_{max}| \geq R_c$) jest przy oknie poszukiwania o wymiarach (85x85) pikseli. Zwiększenie rozmiarów okien poszukiwania daje wzrost dokładności budowy NMT. Dla obszarów o nieznacznej zmianie jasności rozmiar okna poszukiwania jest głównym czynnikiem zwiększenia dokładności.

W ostatnim wierszu tabeli 2 podano wynik, otrzymany dla modelu, zbudowanego metodą VLL, dla wymiaru siatki $(50 \times 50) \text{ m}^2$ dla tych samych parametrów, dla których otrzymano najlepszy wynik umieszczony w przedostatnim wierszu tabeli. Można zauważyć że, zwiększenie wymiaru siatki daje znaczny wzrost błędu średnio kwadratowego (10,2 razy dla $|r_{max}| \geq R_c$ i 2,4 razy dla $|r_{max}| \geq 0,6$).



Rys 2. Rozkład błędów wysokości

Rozkład błędów wysokości dla przedostatniego wiersza tabeli 2 pokazano na rys 2. Ciemnoszare części kolumn pokazują ilość węzłów rozpoznanych przy $|r_{max}| \geq 0,6$, a jasnoszare pokazują węzły rozpoznane przy $0,6 > |r_{max}| \geq R_c$. Największą ilość punktów wyznaczono z błędami $\pm 0,5 \text{ m}$. Z rys. 2 wynika, że przy $|r_{max}| \geq 0,6$, będzie odrzucona znaczna ilość poprawnych punktów.

Wnioski

1. Wartość progowa współczynnika korelacji, przy jakiej uważa się, że jednoimienne punkty stereogramu są rozpoznane, zależy od rozmiaru okna poszukiwania.
2. Rozmiar okna poszukiwania wpływa na ilość pomyślnie rozpoznanych punktów i dokładność budowy NMT. Dla terenów, które charakteryzują się częściowo słabo wyrazistą teksturą niezbędne jest wykorzystanie okna poszukiwania większych rozmiarów.
3. Przy tworzeniu NMT metodą, w której wysokość przenoszona jest od punktu do punktu, dokładność otrzymanego modelu zależy od wymiaru siatki. Dlatego zaleca się aby wymiar siatki w terenie przyjmować niewielki a jeśli będzie potrzeba zbudowania modelu z mniejszym krokiem, to wysokości należy wybierać z krokiem powiększonym.

W wyniku wykonanych badań pokazano możliwość automatycznej budowy NMT z wysoką dokładnością z wykorzystaniem niedrogich komputerów.

Abstract

Study of automatic Digital Elevation Model construction from aerial photo survey materials by means of VLL method

The article reviews ways to select correct parameter set for automatic construction of regular DEM using the VLL (Vertical Line Locus) based on the correlation algorithm of matching stereo pair point identification. The following parameters impacting a number of successfully correlated

points and accuracy of DEM construction are considered: a threshold value of correlation coefficient, a search window size, a grid spacing. The aerial image stereo pairs for rural areas with different landscape types were studied using software developed by authors. The empirical results are included in the article.

Literatura

1. Dequal S., Lingua A., Rinaudo F. Matching techniques and algorithms for some basic photogrammetric procedures in the low cost digital photogrammetric systems. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXI, Part B1.– Vienna, 1996.– P. 48-53.
2. Dorozhynskyy O., Wrona T. *Podstawy fotogrametrii*. – Kraków-Lwów, Wydawnictwo Politechniki Lwowskiej, 2003. – 200 s.
3. Gooch M.J., Chandler J.H. A novel error detection technique for automatically generated digital elevation models. . *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXIII, Part B4. – Amsterdam, 2000. – P. 302-309.
4. Kraus K. *Fotogrametrija. Osnovy ta standartni metody. Iz dopownnciamy P. Waldgojzela. Tom 1.* – Lwińskie astronomo-geodezyczne towarzystwo, 2001. – 428 s.
5. Łobanow A.N., Żurkin I.G. *Awtomatyzacja fotogrametriczieskich procesow.*– Moskwa, Nedra, 1980. – 240 s.
6. Sobczyk M. *Statystyka. Wydanie drugie poprawione.* Wydawnictwo Naukowe PWN. – Warszawa, 1998. –328 s.
7. Tumska O., Janczak W. *Doslidzenia awtomatycznego rozpozniania identycznych toczok stereopary.* *Archiwum z fotogrametrii, kartografii i DZ.* – Kraków, 2001, T. 11, – s.(3-71)-(3-75).

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa