

Renata Jędrzycka

AKTUALIZACJA NMT DLA POTRZEB TWORZENIA CYFROWEJ ORTOFOTOGRAFII

Streszczenie

Cyfrowe wyznaczanie współrzędnych X, Y, Z dostatecznie gęsto pokrywających określony teren to problem, który zaprzęta uwagę fotogrametrów od ostatnich 10-15 lat. Metody automatyczne i semi-automatyczne są dostępne w szeregu stacjach fotogrametrycznych. Dla celów ortofotografii ma to szczególnie duże znaczenie, przy czym konieczne jest wówczas stosowanie różnych metod interpolacji. Poważnym problemem staje się wówczas gromadzenie, swobodny dostęp i aktualizacja dużych zbiorów danych. Zastosowanie relacyjnych baz danych w procesie generacji i aktualizacji NMT powinno stać się regułą. W pracy przedstawiono doświadczenia w tym zakresie zdobyte w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji na w ART w Olsztynie.

1. Wstęp.

Wyznaczanie w sposób cyfrowy współrzędnych przestrzennych dostatecznie gęsto pokrywających określony teren to problem zaprzętający uwagę fotogrametrów od ostatnich 10-15 lat. Automatyczne i semi-automatyczne metody są dostępne komercyjnie w szeregu znanych stacjach fotogrametrycznych (Heipke, 1995). Jednakże człowiek jako inteligentny operator dalej jeszcze odgrywa i będzie odgrywał w tym procesie dużą rolę. Nie można też wykluczyć roli i znaczenia pomiarów bezpośrednich pojedynczych punktów. Autorzy próbują różnie zdefiniować numeryczny model terenu. (NMT). Określa się go jako: "zbiór współrzędnych przestrzennych, obrazujących powierzchnię terenu wraz z określoną metodyką obliczeń niezbędnych do przetwarzania tych danych", (Sitek, 1991) czy jako: "tablicę liczb, które reprezentują prze-

strzenne cechy terenu", (Doyle, 1978). Dalej będziemy rozumieli NMT jako punkty regularnej siatki w układzie przestrzennym XYZ, której wysokości są określane z wysokości nieregularnie rozmieszczonych punktów przestrzennych. Dla celów ortofotografii cyfrowej istotne jest wypełnienie węzłów odpowiednio zadanej takiej siatki. Niezbędne jest wtedy korzystanie z różnych metod interpolacji. Podstawowym problemem w takim przypadku staje się sposób gromadzenia danych, zwykle dużych zbiorów, ich organizacja i sposób dostępu.

W dobie relacyjnych baz danych ich rola w tym procesie wydaje się być priorytetowa.

Problem swobodnej redystrybucji danych jest przedmiotem badań informatyków od początku lat osiemdziesiątych, dlatego też zasadne wydaje się korzystanie z rozwiązań osiągniętych przez nich również i w procesie budowy czy aktualizacji NMT, tym bardziej, że dane te powinny stać się nierozłączną częścią pakietów GIS.

W artykule przedstawione zostaną doświadczenia w tym zakresie zdobyte w trakcie prac prowadzonych w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji w ART w Olsztynie. Programy, z których korzystano przy opracowywaniu tej pracy, są oryginalnymi programami opracowanymi w tej Katedrze. Zostały one napisane w języku Delphi 2.0. Język ten umożliwia stosunkowo łatwą obsługę baz danych i korzystanie z języka SQL. Wszystkie prace prowadzono na komputerach klasy Pentium Pro w środowiskach Windows NT i Windows 95 i używano tabel bazy Paradox 7.0. W prezentowanej pracy ogólnie przedstawiono sposoby wyznaczania NMT. Nie było celem artykułu ich szczegółowe omówienie; chodziło o pokazanie, że sposób i miejsce gromadzenia wyznaczanych w tym procesie danych powinny być zorganizowane w sposób ułatwiający bezpośredni do nich dostęp. Omówiono także zastosowaną metodę interpolacji, będącą szczególnym przypadkiem interpolacji powierzchniami Coonsa oraz przedstawiono praktyczną realizację wyznaczania NMT na jednej stereoparze zdjęć lotniczych.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 9T12E01509 finansowanego przez KBN.

2. Sposoby generowania NMT.

2.1 Automatyczne wyznaczanie NMT.

Metody automatycznego wyznaczania NMT można generalnie podzielić na dwie grupy:

- techniki bazujące na obliczaniu współczynnika korelacji pomiędzy poziomami szarości dla pikseli wziętych z dopasowywanych obszarów,
- techniki ustalające odpowiedniość między wyodrębnionymi cechami obrazu.

Często również korzysta się z kombinacji obu.

W pracy wykorzystano pierwszą z nich. W procesie automatycznym, analizowany jest cały obszar wspólnego pokrycia zdjęć. Punkty startowe pobierane są z bazy danych. Wykorzystywane mogą być wtedy np. punkty wcześniej użyte do wyznaczenia elementów orientacji wzajemnej zdjęć lub dowolne inne punkty wskazane przez operatora.

W pracy posłużono się znaną techniką tzw. piramidy. Wykonano podział liniowy przez dwa, czyli wielkości zbiorów zmniejszały się w każdym kroku czterokrotnie. W znacznym stopniu przyspieszyło to proces wyznaczenia NMT. Przy przejściu z jednego poziomu piramidy na następny, w porządku rosnącym względem wielkości zbiorów, (co w praktyce oznaczało zmniejszanie się obszaru korelowanego) tworzono zbiory o strukturze rekordów o polach: r, x, y, dx, dy, sot, poz, gdzie odpowiednio:

r - to wielkość współczynnika korelacji,

x, y - współrzędne pikselowe punktu na zdjęciu lewym,

dx, dy - paralaksy pikselowe,

sot - wielkość boku kwadratu (w pikselach zdjęcia oryginalnego) wziętego do korelacji,

poz - pozycja środka obszaru (kwadratu) w zbiorze oryginalnym.

Efektem końcowym otrzymanym z takich zbiorów był natomiast zbiór współrzędnych Z w siatce nieregularnej. W celu wyznaczenia węzłów siatki regularnej zastosowano interpolację będącą szczególnym przypadkiem interpolacji powierzchniami Coonsa (Jankowski, 1990). Szerzej o tym traktuje p.4.

Niezbędne elementy orientacji wewnętrznej, wzajemnej czy opcjonalnie bezwzględnej były odpowiednio automatycznie odnajdowane przez program w bazie danych. Odpowiednie tabele były odnajdywane za pomocą zapytań języka SQL. Przyjęto zasadę, że nazwy otwieranych zbiorów zdjęć są kluczem do odszukiwania właściwych rekordów w tabelach. Stworzono również tabelę informacyjną dla opracowywanego projektu - jest nią tabela. zdjecia.db (Rys. 1), gdzie:

pole: Nazwa_zdj zawiera nazwy zbiorów zdjęć, pola: wiersze i kolumny, odpowiednio zawierają liczbę pikseli w wierszach i kolumnach zbioru zdjęcia, a Zmin oraz Zmax minimalną i maksymalną wartość współrzędnej Z w obszarze zdjęcia.

Nazwa_zdj	Skala	Ogniskowa (mm)	Rozdzielczość (dpi)	Wiersze (piksele)	Kolumny (piksele)	Z _{min} (m)	Z _{max} (m)
CB278	5000	305.21	1000	9708	9312	158	230
CB277	5000	305.21	1000	9520	9332	165	225
CB265	5000	305.21	1000	9172	8956	161	218
CB266	5000	305.21	1000	9216	8988	160	220

Rys.1 Tabela zdjęcia.db

2.2. Semi-automatyczne wyznaczanie NMT.

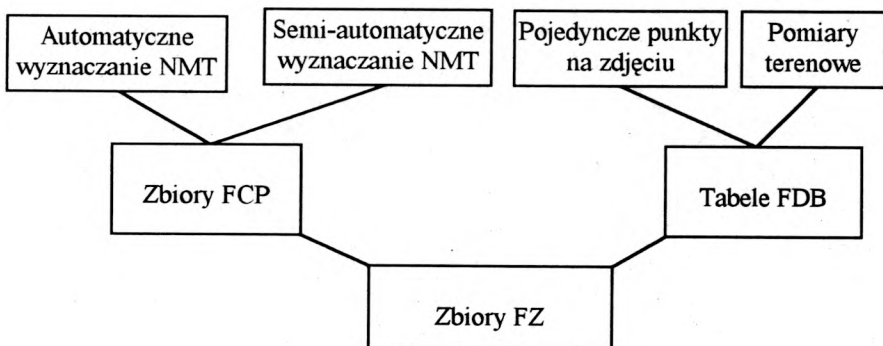
Współrzędna Z nie dla wszystkich punktów może być wyznaczona w procesie automatycznym. Zachodzi zatem potrzeba, aby operator mógł manualnie wskazywać punkty (piksele na zdjęciu) będące np. brzegiem obszaru. Opracowany program posiada taką opcję, a dopasowywanie punktów może być wspomagane obliczaniem współczynnika korelacji. Wtedy następuje automatyczne poprawianie współrzędnych pikselowych wskazanego punktu. Odpowiadające sobie punkty, ich współrzędne pikselowe na lewym i prawym zdjęciu, są zapisywane w tabeli baz danych. Mogą one być np. wierzchołkami pewnej łamanej zamkniętej, której wewnątrz można interpolować metodą zależną od sytuacji terenowej. Program posiada opcję do interpolacji trójkątami oraz płaszczyzną. Ta ostatnia opcja jest szczególnie przydatna w przypadku gdy mamy do czynienia np. ze zbiornikami wodnymi.

2.3. Pomiary pojedynczych punktów na zdjęciu.

Wykonywane są przez operatora na zdjęciu. Jednocześnie można obliczyć współczynnik korelacji w zadanym otoczeniu. Współrzędne pikselowe punktów są zapisywane również w tabeli bazy danych. Punkty te mogą być później wykorzystane w procesie interpolacji, np. metodą trójkątów. Obliczane są wówczas automatycznie ich współrzędne przestrzenne X, Y, Z .

3. Gromadzenie danych do tworzenia NMT.

Ujmując proces tworzenia NMT schematycznie, można go przedstawić następująco:



Rys.2 Gromadzenie danych NMT.

gdzie:

- FCP - zbiory o strukturze zależnej od systemu,
- FDB - tabele baz danych,
- FZ - zbiory współrzędnych przestrzennych.

Zbiory FZ mogą być różnego typu; często są to zbiory typu ascii. lub zbiory zawierające tylko współrzędną Z w układzie zadanej siatki (nieregularnej lub regularnej).

W programie stworzono zbiór ZF liczb typu rzeczywistego. Pozycja danej w zbiorze zależna jest od współrzędnych X i Y punktu w układzie przestrzennym przy znanej zadanej siatce. Przyjęto, że bok siatki jest równy wielkości terenowej boku piksela dla danej skali w metrach.

Informacje o sposobach interpolacji zastosowanych w celu wyznaczenia NMT można zebrać w tabeli. Rys. 3 przedstawia taką tabelę o nazwie obszary.db, gdzie skróty KO, PL, TR oznaczają odpowiednie metody interpolacji:

KO: metoda korelacyjna. Zbiór X.ter to zbiór otrzymany po korelacji automatycznej zawierający współrzędne Z,

PL - interpolacja płaszczyzną. Tabela bazy danych zawiera współrzędne X,Y,Z węzłów.

TR - interpolacja trójkątami. W tabeli znajdują się również współrzędne X,Y,Z węzłów po interpolacji za pomocą metody trójkątów,

PP- dane z pomiarów bezpośrednich.

Obszar	Metoda	Nazwa zbioru
Brzeziny	KO	X.ter
jezioro	PL	jezioro.db
las	TR	las.db
punkty terenowe	PP	punkty_ter.db

Rys. 3 Tabela obszary.db

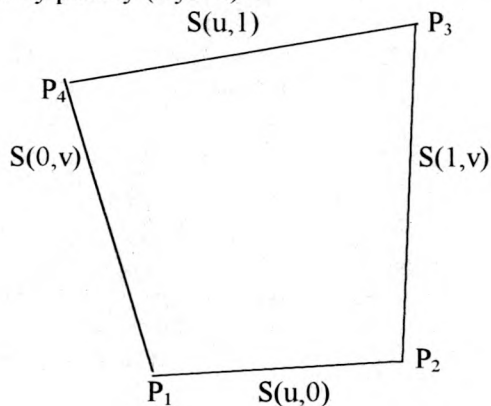
Rekordy tej tabeli mogą być w razie potrzeby uaktualniane, a zatem końcowy zbiór typu FZ tworzony na jej bazie również. Ponadto zawsze można dołączyć nowe informacje dodatkowe w postaci nowych rekordów.

4. Interpolacja.

4.1. Interpolacja powierzchniami Coonsa.

Wyznaczone w procesie automatycznej korelacji współrzędne przestrzenne X,Y,Z tworzą w układzie XY siatkę nieregularną. W pracy zastosowano in-

terpolację powierzchniami zaproponowaną przez Coonsa. W rozwiązaniu tym zakłada się, że dane są cztery odpowiednio przecinające się krzywe definiujące brzeg płata powierzchni. Zakładamy, że krzywymi tymi są odcinki prostych, łączących cztery punkty (Rys. 4).



Rys.4 Proste brzegowe

Niech $S(u,v)$ oznacza parametryczne przedstawienie płata powierzchni między punktami P_1, P_2, P_3, P_4 , a u, v niech będą parametrami, gdzie $u, v \in \langle 0, 1 \rangle$.

Przyjęcie odcinka $\langle 0, 1 \rangle$ nie zmienia ogólności założeń, gdyż jako parametr, można przyjąć długość odcinka.

Przy takiej parametryzacji równania brzegów przyjmują postać :

$$\begin{aligned} S(u,0) &= (1-u) \cdot P_1 + u \cdot P_2, \\ S(u,1) &= u \cdot P_3 + (1-u) \cdot P_4, \\ S(0,v) &= (1-v) \cdot P_1 + v \cdot P_4, \\ S(1,v) &= v \cdot P_3 + (1-v) \cdot P_2, \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie: $u = d(P_1, P_i) / d(P_1, P_2)$, a P_i jest punktem odcinka $P_1 P_2$ i odpowiednio $v = d(P_1, P_i) / d(P_1, P_4)$ dla odcinka $P_1 P_4$, a d oznacza odległość między punktami.

Płatek powierzchni Coonsa buduje się interpolując liniowo jej przeciwległe brzegi. Łącząc odcinkami punkty krzywych $S(u,0)$ i $S(u,1)$ dostajemy powierzchnię:

$$S_1(u,v) = (1-v) \cdot S(u,0) + v \cdot S(u,1), \quad (2)$$

a odpowiednio punkty krzywych $S(0,v)$ i $S(1,v)$ powierzchni:

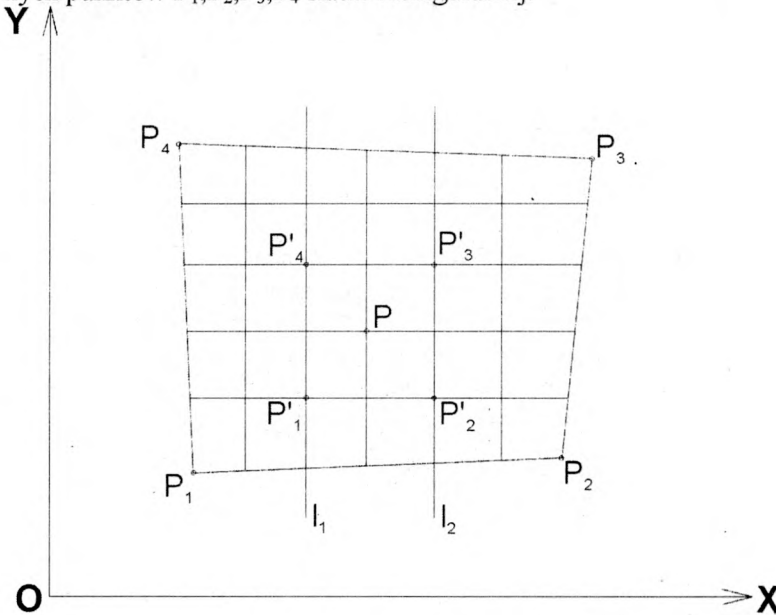
$$S_2(u,v) = (1-u) \cdot S(0,v) + u \cdot S(1,v). \quad (3)$$

Ponieważ założyliśmy, że krzywe brzegowe są prostymi, zatem ze wzorów (1) mamy:

$$\begin{aligned}
 S_1(u,v) &= (1-u)*[(1-v)*P_1+v*P_4]+u*[v*P_3+(1-v)*P_2]= \\
 &= (1-v)*[(1-u)*P_1+u*P_2]+v*[(1-u)*P_4+u*P_3]= \\
 &= (1-v)*S(u,0)+v*S(u,1)=S_2(u,v).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Oznacza to, że w praktyce można się ograniczyć jedynie do wyznaczenia punktów jednej z powierzchni: S_1 lub S_2 .

W programie obliczano wartości współrzędnej Z punktów P powierzchni biorąc pod uwagę punkty siatki regularnej P'_1, P'_2, P'_3, P'_4 leżące odpowiednio na prostych l_1 i l_2 . (Rys.5). Punkty te wyinterpolowano na podstawie znanych punktów P_1, P_2, P_3, P_4 siatki nieregularnej.



Rys. 5 Interpolacja liniowa.

4.2. Interpolacja trójkątami.

Węzły siatki regularnej po korelacji automatycznej i zastosowaniu interpolacji nie wypełniają zazwyczaj w pełni zadanej siatki. Istnieją jednak często pojedyncze pomiary, które można wykorzystać do wyinterpolowania brakujących węzłów. W pracy zastosowano metodę interpolacji płaszczyznami wyznaczonymi przez trójkąty wskazywane przez operatora.

5. Praktyczna realizacja.

5.1. Zdjęcia lotnicze

Realizując powyższą koncepcję wyznaczania NMT wykorzystano zdjęcia lotnicze miasta Olsztyna (jednej z dzielnic-Brzeziny), o wymiarach 23 cm x 23 cm w skali 1:5000, wykonane w październiku 1995 roku.. Zdjęcia te zostały zeskanowane z rozdzielczością 1000dpi. Teren ten jest tylko częściowo zabudowany, znaczną część stanowią łąki i tereny nad rzeką Łyną. Wykorzystano jedną stereoparę o 60% pokryciu podłużnym - zbiory o nazwach: CB265, CB266.

5.2. Orientacja zdjęć.

Wykonano orientację wzajemną i bezwzględną do lokalnego układu terenowego. Współczynniki przekształceń zapisano w tabelach bazy danych.

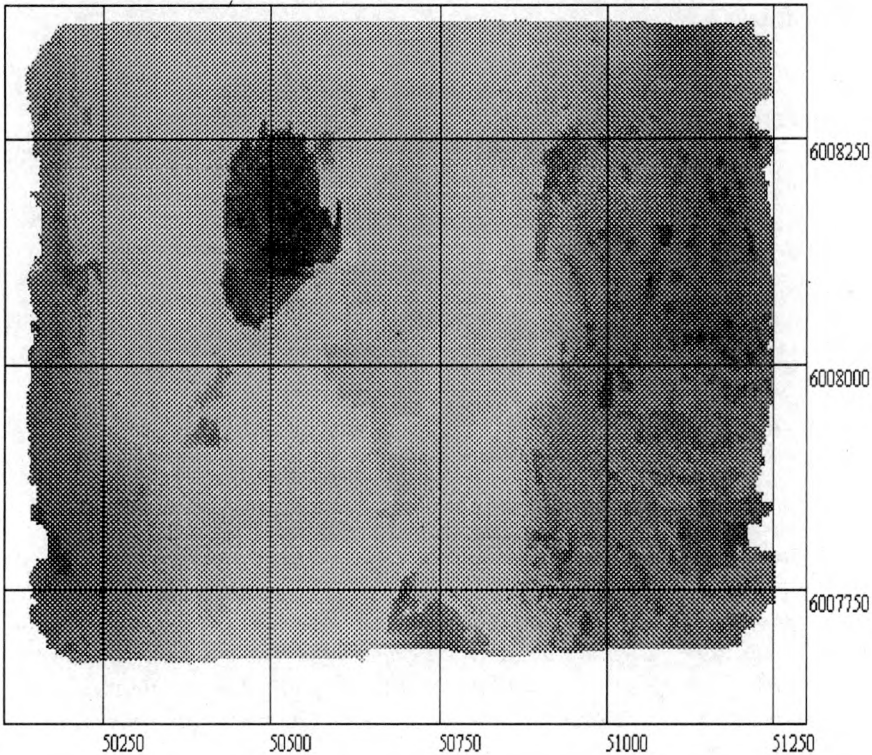
Z tabel tych korzystano następnie przy automatycznym i semi-automatycznym wyznaczaniu NMT (w sposób automatyczny). Rys.6 przedstawia przykładowo tabelę orto_wza.db zawierającą współczynniki przekształcenia po orientacji wzajemnej dla dwóch stereopar:

Nazwa zdjęcia	omega [rad]	fi [rad]	kappa [rad]	b_x [mm]	b_y [mm]	b_z [mm]
CB278	0.0050969	0.00656161	-0.00375657	92.1854	3.4079475	-0.4798136
CB266	0.009.91738	0.00081061	0.004005511	89.3241	-0.1868	0.2956

Rys.6. Tabela orto_wza.db.

5.3. Rezultat.

Ostatecznym zbiorem był zbiór typu FZ w siatce regularnej. Rys.7 przedstawia jego graficzne przedstawienie, dla analizowanego terenu, w skali 1:10000 w lokalnym układzie przestrzennym X,Y,Z.. Poziomy szarości określają wysokości Z. Długość boku kwadratu do korelacji wyniosła w etapie końcowym 20 pikseli, co przy wielkości piksela terenowego 12,5cm daje 2,5m. Na prawie całym obszarze współrzędną Z wyznaczono w sposób automatyczny za pomocą metody korelacji. Do wyznaczenia węzłów siatki regularnej posłużono się interpolacją opisaną w p.4. Fragment obejmujący na zdjęciu oryginalnym kępę drzew (ciemna plama z lewej strony na Rys.7) wyinterpolowano za pomocą metody trójkątów, korzystając dodatkowo z pomiarów pojedynczych punktów. Ciągłość na brzegach obszarów interpolowanych różnymi metodami została zachowana pod kontrolą manualną operatora .



Rys. 7. Graficzne przedstawienie NMT w układzie lokalnym X,Y,Z.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono drogę gromadzenia danych w procesie generowania i uaktualniania NMT i starano się pokazać, że bazy danych stanowią integralną część w tym procesie.

Zdecydowano się końcowe wyniki, czyli współrzędne Z węzłów siatki regularnej zapisywać w zbiorach. Uznano jednak, że informacje o sposobie generowania współrzędnych powinny być możliwe do szybkiego odnalezienia, dlatego też utworzono tabelę obszary.db. Ma to istotne znaczenie w badaniach związanych z dokładnością wyznaczania współrzędnych X,Y,Z, co będzie przedmiotem następnych publikacji.

7. Literatura:

1. Doyle, F.J., 1978, Digital Terrain Models: An Overview, Photogrammetric Engineering and Remote sensing, vol. XLIV, No. 12, str. 1481-1485.
2. Heipke, C., 1995, State of the Art of Digital Photogrammetric Workstations for Topographic Applications, PE & RS, vol. LXI, No. I, str. 49-56.
3. Jankowski, M., 1990, Elementy grafiki komputerowej, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
4. Sitek, Z., 1991, Fotogrametria ogólna i inżynierska, PPWK, Warszawa-Wrocław.

Summary

Digital determination of X,Y,Z coordinates of points covering a given terrain densely enough is a subject which has drawn attention of photogrammetrists for at least 15 years. Automatic and semiautomatic methods are commercially available as a standard technique in numerous photogrammetric workstations. In the process of orthoimage generation this problem is particularly important and in general it is necessary to use various interpolation methods. Also the collection, free access and updating of large data files, becomes to be a very serious problem. Application of relational database systems in the process of generation and updating DTM should be a standard procedure. Some experiences in this matter gathered during researches in the Department of Photogrammetry and Remote Sensing in OUAT in Olsztyn are presented in this paper.

Recenzował: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Sikorski