

Renata Jędrzycka

SEMIAUTOMATYCZNA KOREKCJA NMT W TERENIE ZABUDOWANYM NA PODSTAWIE DANYCH WEKTOROWYCH

1. Wstęp

Automatyczne generowanie NMT stało się techniką standardową stosowaną we wszystkich cyfrowych systemach fotogrametrycznych (Krzystek 1995). W przypadku opracowań dotyczących małych skal stopień zautomatyzowania jest znaczny, a uzyskiwane dokładności wystarczające. Dla dużych skal, a zwłaszcza w terenach zabudowanych, konieczne staje się wprowadzanie informacji dodatkowych (Ackermann 1996). W pracy przedstawiono próbę korekcji NMT przy wykorzystaniu wektorowych danych topograficznych na obszarach zabudowanych, a mianowicie po zlokalizowaniu budynków poprawianie wartości współrzędnej Z w ich obszarach i otoczeniu. Opracowano algorytm śledzenia konturu zamkniętego budynku i wypełniania go, a także zmiany „odstających” wartości Z w otoczeniu.

W procesie automatycznej generacji NMT posłużono się metodą elementu skończonego do wyznaczenia siatki regularnej, a także wykorzystano metody interpolacji dwuliniowej i "najbliższego sąsiada" do zagęszczenia sieci punktów.

Programy napisano w języku Delphi 3.0 dla środowiska Windows NT/95. Przetestowano je na danych udostępnionych przez Uniwersytet Techniczny w Aalborgu w Danii w związku z testem OEEPE pt. "Automatic Absolute Orientation on Database Information", w którym autorka pracy brała czynny udział.

2. Kilka uwag o metodzie elementów skończonych w generacji NMT

Po automatycznym wyznaczeniu punktów homologicznych nie otrzymuje się zwykle regularnej siatki punktów. W zależności od potrzeb generuje się gęstsza siatkę, na ogół regularną, stosując różne metody interpolacji. Dość powszechnie stosowana jest metoda elementów skończonych. Ma ona zastosowanie zwłaszcza, gdy chodzi o siatkę regularną. Wynika to z faktu, że można dzięki niej wyznaczyć współrzędną Z z wierzchołków wielokątów mając dane współrzędne Z ich punktów wewnętrznych. W przypadku siatek regularnych wielokątami tymi są na ogół kwadraty.

W pracy założono, że elementarnymi wielokątami będą właśnie kwadraty. Zatem dla jednej elementarnej powierzchni należy wyznaczyć cztery wartości współrzędnej Z jej wierzchołków.

Niech U_{ij} będą kwadratami o boku d i niech X_{ij} i Y_{ij} dla $i = i, i+1, j = j, j+1$ będą współrzędnymi ich 4 wierzchołków; $i=1..m, j=1..n$. Nad każdym z nich można rozpiąć powierzchnię 2-go stopnia o równaniu ogólnym (Wang 1990):

$$Z = a_0 + a_1 * X + a_2 * Y + a_3 * X * Y \quad (2.1)$$

Praktycznie korzysta się z równania poprawek:

$$v_P = (1-dx) * (1-dy) * Z_{ij} + dx * (1-dy) * Z_{i+1,j} + (1-dx) * dy * Z_{i,j+1} + dx * dy * Z_{i+1,j+1} - Z_P \quad (2.2)$$

gdzie:

$$dx = (X_P - X_{i,j}) / d, \quad dy = (Y_P - Y_{i,j}) / d$$

X_P, Y_P, Z_P - znane współrzędne punktu P leżącego we wnętrzu kwadratu
 Z_{ij} - wyznaczone wartości wysokości wierzchołków ($i = i, i+1; j = j, j+1$).

W celu zachowania ciągłości powierzchni na brzegach kwadratów dodatkowo wprowadza się poprawki postaci:

$$\begin{aligned} v_X &= Z_{i-1,j} - 2 * Z_{i,j} + Z_{i+1,j} - 0 & i=2..m-1, j=1..n, \\ v_Y &= Z_{i,j-1} - 2 * Z_{i,j} + Z_{i,j+1} - 0 & i=1..m, j=2..n-1, \end{aligned} \quad (2.3)$$

Wynikają one z faktu, że druga pochodna równania (2.2) jest zerem zatem pochodna drugiego rzędu w obu kierunkach X i Y musi być równa zero. Wartość zerową można na drodze doświadczalnej zastąpić małą wartością bliską zero (w zależności od ukształtowania terenu).

Minimalizując wartość wyrażenia:

$$M = \sum_{k=1}^l v_k^2 + \sum_{i=2}^{m-1} \sum_{j=1}^n v_x^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=2}^{n-1} v_y^2, \quad (2.4)$$

gdzie k oznacza numer punktu P z układu równań normalnych wyznaczone są wartości Z_{ij} .

Tak wyznaczone wartości Z obarczone są błędem wynikającym jedynie z błędów znanych wartości punktów wewnętrznych, a te są wynikiem błędów wyznaczenia parametrów orientacji zdjęć. Mówiąc o błędach nie bierzemy pod uwagę rzeczywistych wartości wysokości (z pomiarów bezpośrednich). Błąd wartości Z wynika również z faktu, że typ przekształcenia nie musi wiernie opisywać terenu.

W pracy jednocześnie wyznaczano 16 wartości Z w układzie 3×3 kwadraty. Uwzględniono także ciągłość połączeń między układami wprowadzając poprawki postaci (2.3) dla punktów z granic układów 3×3 .

3. Automatyczna lokalizacja budynków na podstawie cyfrowych map topograficznych

W przypadku automatycznej generacji NMT na obszarach zabudowanych należy spodziewać się dużych błędów, co powoduje, że proces ten nie może być w pełni zautomatyzowany, a więc wymaga interwencji operatora.

Chcąc ułatwić zadanie, w pracy proponuje się wykorzystanie istniejących zasobów danych w postaci map topograficznych w formie wektorowej. Ograniczono się na razie jedynie do przypadków budynków na planie prostokąta lub krzyża.

Nie wnikając szczegółowo w różne struktury zapisu danych wektorowych założmy, że mamy do czynienia z danymi w postaci $n+3$ elementowych ciągów liczb: k_1, \dots, k_n, X, Y, Z , gdzie k_1, \dots, k_n oznaczają liczby kodowe, a liczby X, Y, Z współrzędne terenowe punktów.

W praktyce dane takie otrzymuje się z różnych źródeł np.:

- z pomiarów bezpośrednich,
- z konwencjonalnych map topograficznych.

O ile współrzędne X, Y są często w miarę wiarygodne to prawdopodobieństwo, że współrzędna Z jest obciążona dużymi błędami jest spore. W pracy proponuje się wykorzystanie współrzędnych płaskich X i Y .

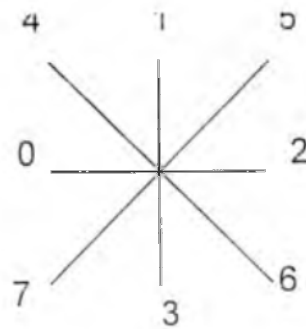
Rezultatem automatycznej generacji NMT może być regularna siatka punktów pokrywająca dany teren z żadaną dokładnością (chodzi o bok kwadratu - rozmiar piksela). Na ogół w zbiorach zapisuje się jedynie współrzędną Z . W ten sposób, znając bok siatki i współrzędne płaskie wierzchołków prostokąta terenu znane są wszystkie trzy współrzędne terenowe każdego środka piksela. Zbiór współrzędnych Z można rozszerzyć nadając mu strukturę par uporządkowanych, w których druga współrzędna pełniłaby rolę parametru-kodu. Na podstawie danych wektorowych można więc nadać unikalną wartość danej kodowej oznaczającej zarys budynku. Otrzymujemy wtedy zbiór par (Z, kod) . Ułatwia to odszukanie budynku w zbiorze danych. Zakodowane zostają jedynie te budynki, dla których istnieją kontury zamknięte. Mamy więc do czynienia ze zbiorami domkniętymi. Ma to znaczenie w praktyce, umożliwia bowiem zautomatyzowanie procesu korekty danych.

Kolejne etapy korekcji to:

- zlokalizowanie budynku za pomocą algorytmu śledzenia konturu domkniętego,
- obliczenie średniej wysokości punktów wewnętrznych,
- nadanie punktom wewnętrznym jednakowej wartości Z (średnia lub wartość podana przez operatora),
- zgrubne "czyszczenie" obszaru wokół budynku.

4. Algorytm śledzenia zarysu budynku i korekcji wysokości punktów

W wyniku wprowadzenia danej kodowej możliwe jest śledzenie zarysu budynku. Odbywa się to poprzez przeglądanie sąsiednich 8 pikseli dla danego piksela o kodzie brzegu. Poszukiwanie kolejnego punktu brzegowego odbywa się kolejno we wszystkich kierunkach, najpierw po kierunkach głównych zgodnie z ruchem wskazówek zegara (Rys. 1).



Rys. 1. Kolejność wybierania kierunków w procesie śledzenia konturu.

Piksele należące do brzegu, a dokładniej ich adresy w zbiorze par są zapamiętywane w tymczasowej tabeli danych. W trybie interaktywnym operator decyduje, czy obszar budynku ma ulec modyfikacji, tzn. czy należy poprawić wartości współrzędnej Z. Jeśli tak to nadawana jest ustalona jednakowa wartość dla pikseli wnętrza - średnia z pikseli wnętrza. Na życzenie może być także wykonana korekta wartości Z pikseli w otoczeniu budynku. Zwykle brzegi po generacji automatycznej są bardzo rozmyte. Śledzenie odbywa się wzdłuż brzegu w kierunkach poziomych lub pionowych. Poprawiane są te wartości, których różnica w stosunku do wartości Z w obszarze budynku nie przekracza ustalonej przez operatora wartości granicznej. Nowa, poprawiona wartość Z przyjmowana jest z pierwszego odrzuconego piksela otoczenia na danym poziomie. Jest to "czyszczenie" bardzo zgrubne, ale pozwalające odrzucić bardzo odstające wartości.

5. Praktyczne zastosowanie algorytmów

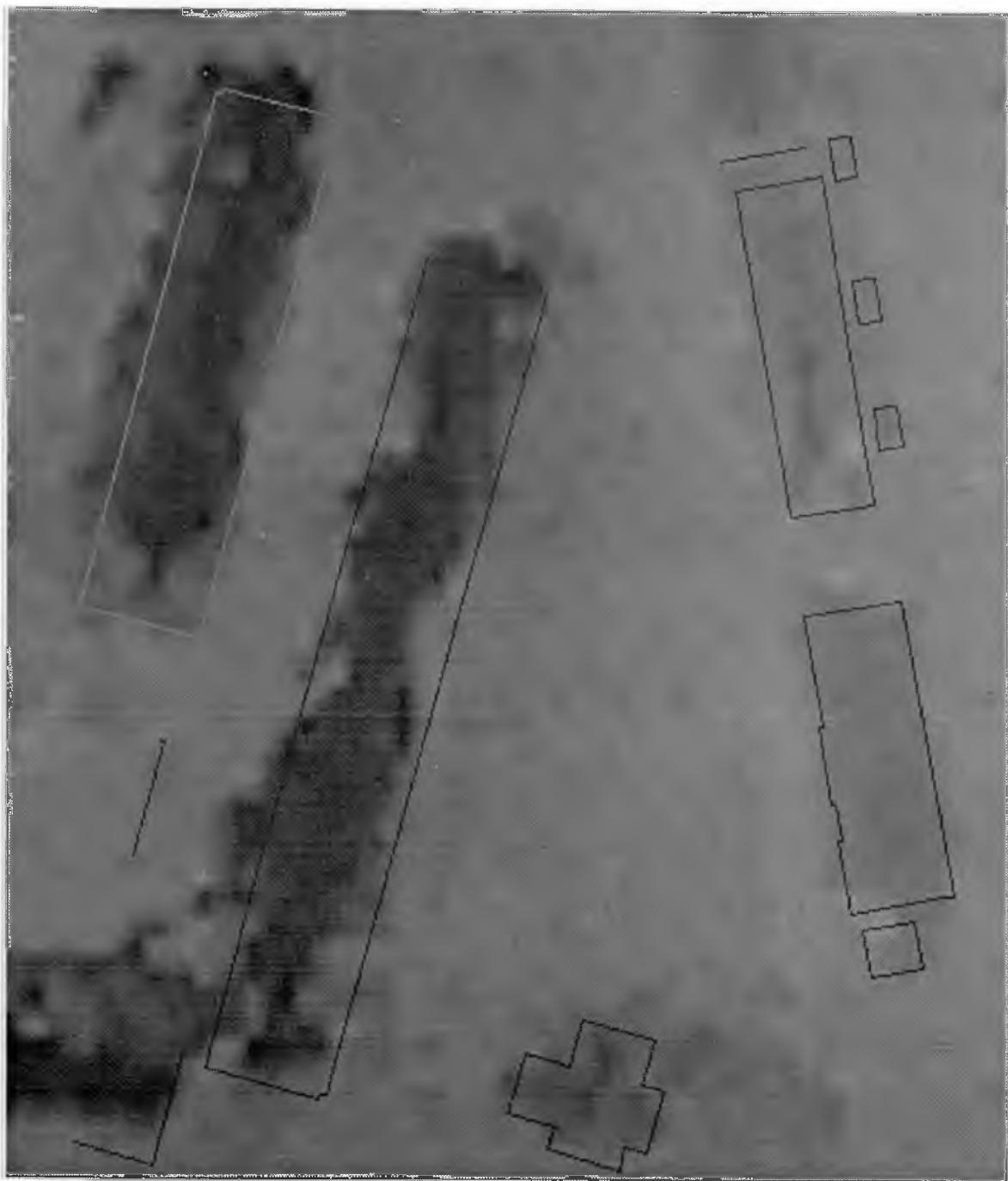
Opracowane algorytmy testowano na danych otrzymanych w ramach testu OEEPE z Uniwersytetu w Aalborgu w Danii. Skorzystano z nich gdyż oprócz czarno-białego stereogramu terenu zabudowanego otrzymano dane wektorowe dla obszaru, który ona obejmowała. Zdjęcia wykonane były w skali 1:5 000 kamerą Zeiss LC 1015 o ogniskowej 152.57 mm.

Dane wektorowe były w postaci zbioru ASCII o strukturze wierszy postaci:

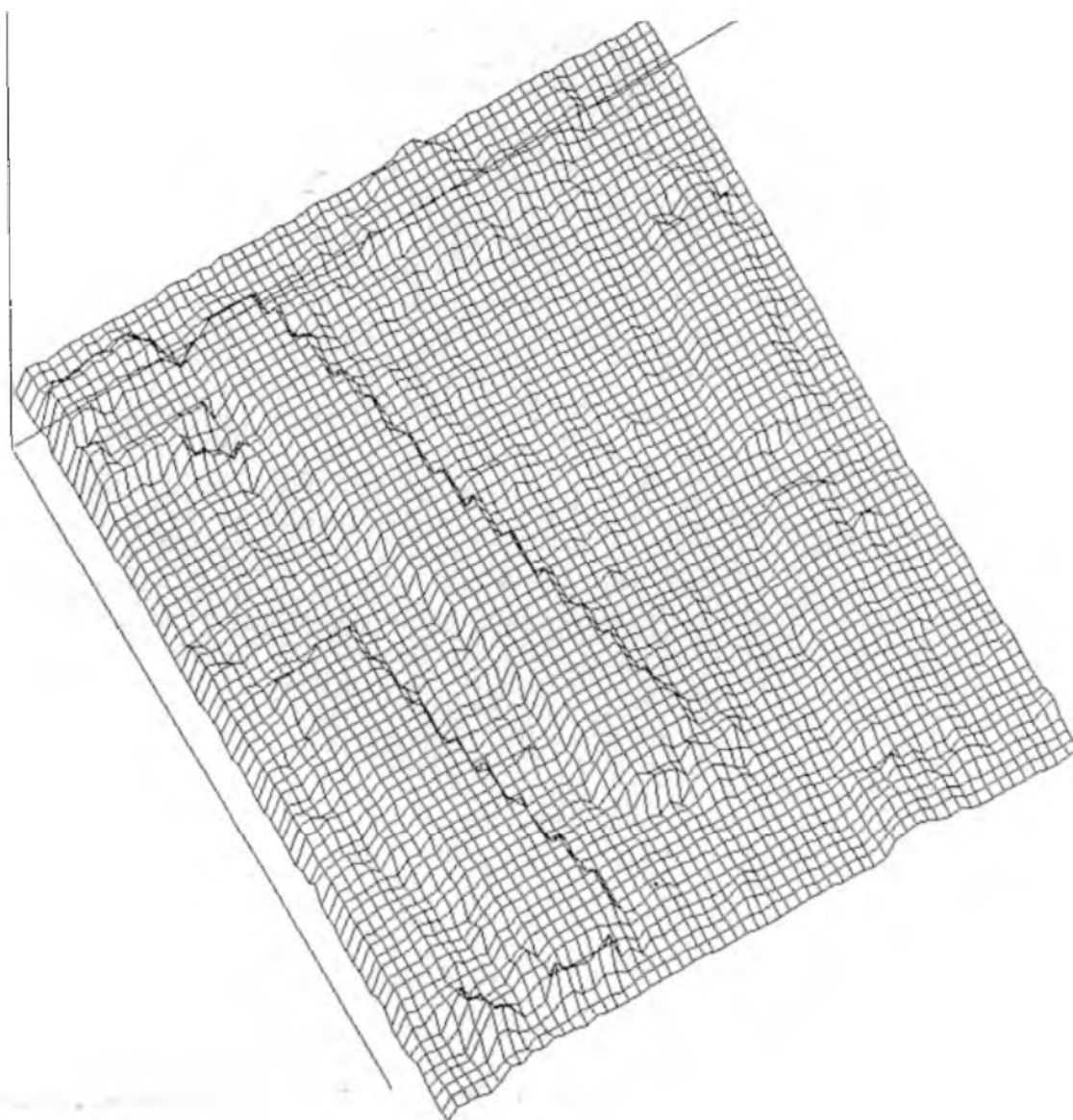
```
12 9 290082753 235654054 14914,
```

gdzie kolejne liczby oznaczają: kod typu danej, kod początku, końca linii i trzy współrzędne terenowe w mm. Brzegi jednego budynku często składały się z kilku odrębnych ciągów danych. Opracowany algorytm radzi sobie jednak z taką sytuacją, gdyż łączy on linie o wspólnych końcach, a za brzeg budynku zostaje uznany tylko kontur zamknięty. Zatem w trakcie działania algorytmu brzegi jednego budynku zostają scalone w jeden ciąg.

Zdjęcia zostały zeskanowane pikselem o boku 15 μm , co oznacza, że piksel terenowy miał bok 7.5 cm. Umożliwia to wykonanie sensownych obrazów orto aż do skali 1:500.

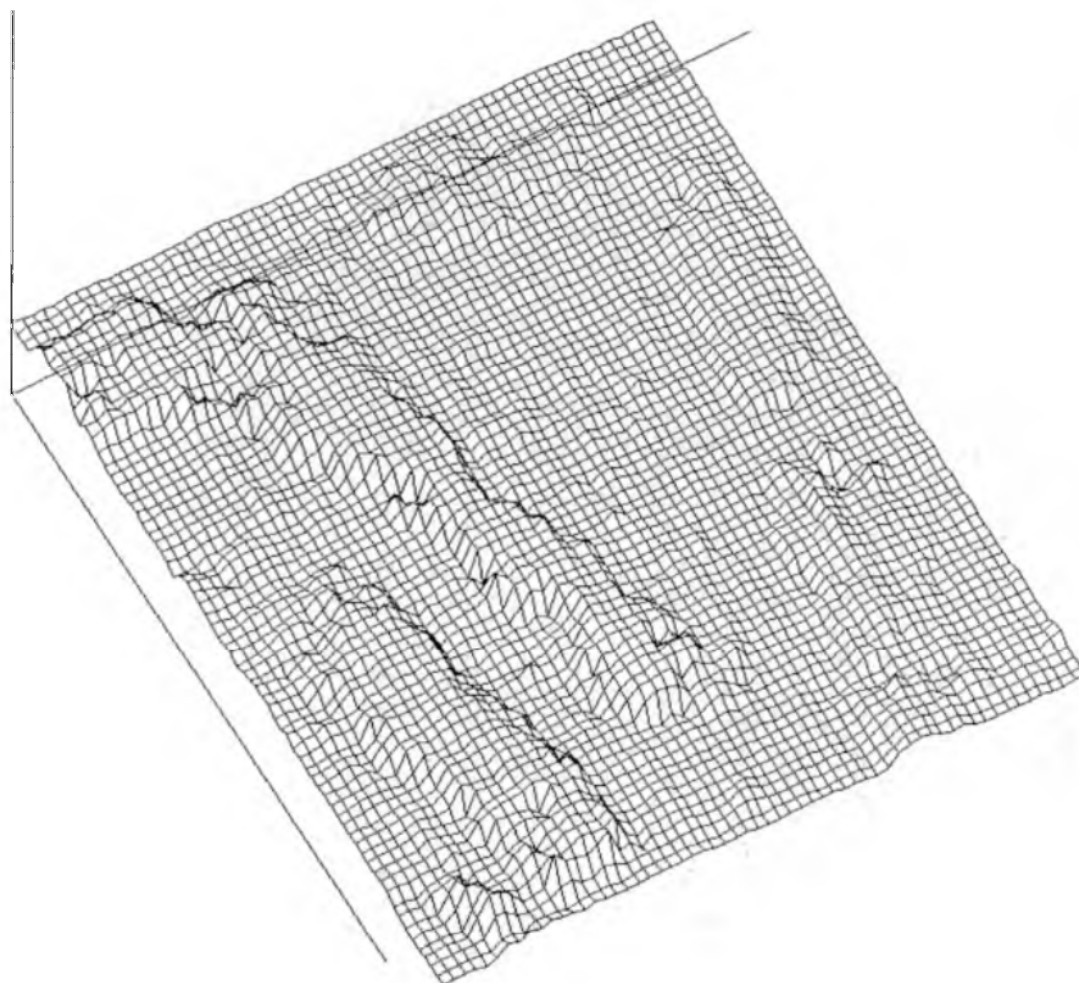


Rys. 2. Fragment terenu zabudowanego. Odcienie szarości oznaczają wysokości. Liniami zaznaczono kontury budynków przed korekcją oraz brzegi "otwarte", których nie bierze się pod uwagę.



Rys. 3. NMT przed korekcją.

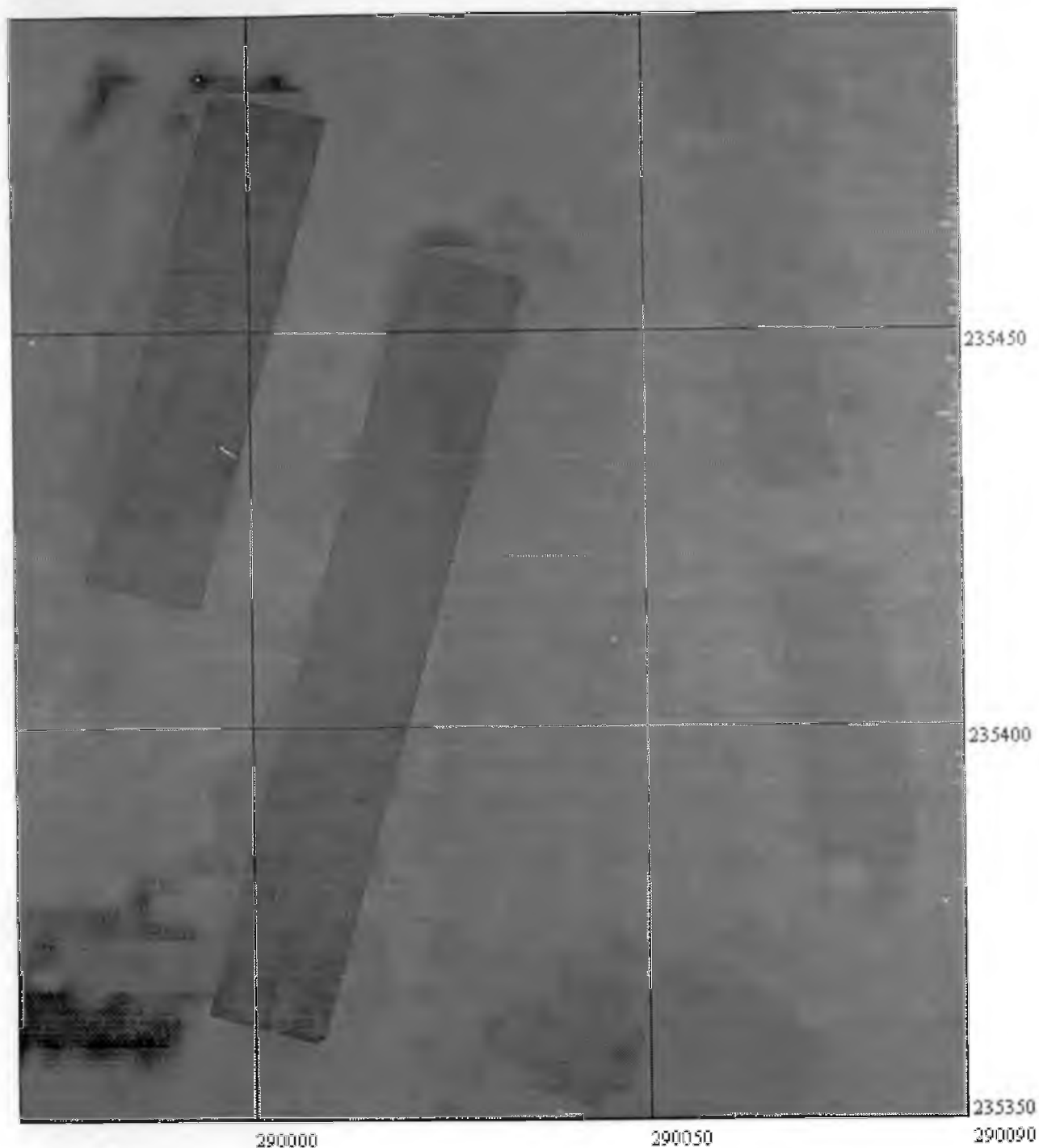
Poniższy przykład wykonano dla skali 1:1 000. Średnie błędy wykorzystanych współrzędnych wektorowych X i Y wynosiły ok. 11 cm co w przypadku skali 1:1 000 i pikselu obrazu ok. 0.3 mm wynosi mniej niż pół piksela. Automatycznie wygenerowano NMT w siatce regularnej o boku 2 m za pomocą metody elementów skończonych. Siatkę zagęszczono dla potrzeb ortoobrazu cyfrowego w skali 1:1 000 stosując metodę dwuliniową i metodę "najbliższego sąsiada".



Rys. 4. NMT po korekcji.

Na rys. 2 przedstawiono graficznie fragment NMT w odcieniach szarości. Widać, że obszary w obrębie prostokątnych budynków są bardzo nieregularne - rozmyte. Rys. 3 przedstawia natomiast ten sam NMT przed korekcją w rzucie aksonometrycznym w układzie XYZ z siatką odpowiadającą 2 m, a rys. 4 ten sam obszar po korekcji.

Po korekcji, na razie dość zgrubnej, otrzymano zbiór par (Z, kod), którego graficzną ilustrację w odcieniach szarości przedstawia rys. 5.



Rys. 5. NMT w odcieniach szarości po korekcji; obraz w skali (do druku) 1:1 000.

6. Podsumowanie

Przedstawiony sposób korekcji danych otrzymanych z procesu automatycznego jest procesem wstępnym. Jego wyniki operator może skontrolować wizualnie na obrazach w odcieniach szarości lub wykresach. Chodziło o usunięcie błędów grubych w otoczeniu budynków i możliwe zautomatyzowanie tego procesu. Oczywiście uzależnione to jest również od dokładności danych wektorowych. Nie przeprowadzono szczegółowej analizy błędów, gdyż celem była eliminacja błędów

rzędu co najmniej 0.5 m w rejonach budynków. Algorytm "radzi sobie" w przypadku budynków o planach prostych figur geometrycznych. Algorytm czyszczenia obszarów w otoczeniu budynków zostanie jeszcze udoskonalony, gdyż na razie przeszukiwanie odbywa się jedynie po liniach poziomych lub pionowych. Algorytmy te mogą jednak skutecznie przyspieszyć prace nad korektą NMT pod kątem wykorzystania go do generowania cyfrowych obrazów orto w małych skalach.

Literatura

1. Ackermann F., 1996, Techniques and Strategies for DEM Generation, Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, ASPRS, edited by C. Greve, Maryland, 1996
2. Krzystek P., 1995, Generation of Digital Elevation Models, „2nd Course on Digital Photogrammetry”, Bonn, February 6-10, 1995, Chapter 7.
3. Wang Z., 1990, Principles of Photogrammetry (with Remote sensing), Press of Wuhan Technical University of Surveying and mapping, Publishing House of Surveying and Mapping.

Autor

dr Renata Jędrzycka

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

10-957 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 1

tel. (0-89) 523 49 15

fax (0-89) 523 32 10

e-mail: renata.jedryczka@kfit.uni.olsztyn.pl

<http://www.kfit.uni.olsztyn.pl>

Recenzował dr hab. Romuald Kaczyński, prof. IGIK