

Władysław Mierzwa
Regina Tokarczyk

WYRÓWNANIE SIECI CYFROWYCH ZDJEĆ NAZIEMNYCH DLA ZASTOSOWAŃ INŻYNIERSKICH I ARCHITEKTONICZNYCH*

Wstęp

W ostatnich latach daje się zauważyć szybki rozwój fotogrametrycznych stacji roboczych, których wszechstronność umożliwia wykorzystanie ich również dla nietypowych opracowań, ale wymagania hardwarowe są dość duże. Jednocześnie występuje tendencja do budowy tanich wersji stacji roboczych, opartych często na komputerach klasy PC, o ograniczonej przez to co prawda funkcjonalności, ale za to prostych w obsłudze. Umożliwia to rozpowszechnienie tego rodzaju sprzętu, spotyka się go nie tylko w pracowniach fotogrametrycznych ale również u innych użytkowników zdjęć.

Rozwój stosowania tanich stacji roboczych, a wśród nich autografów ekranowych jest spowodowany nie tylko ich ceną, ale też coraz łatwiejszym pozyskiwaniem obrazów cyfrowych, będących podstawowym źródłem opracowań na nich wykonywanych. Obrazy te otrzymywane są głównie przez skanowanie zdjęć analogowych ale również można je pozyskać bezpośrednio za pomocą kamer cyfrowych, których coraz nowsze modele pojawiają się na rynku. Następnym atutem tego rodzaju stacji jest prostota ich obsługi - przyjazne użytkownikowi oprogramowanie umożliwia pracę na nich specjalistom z innych dziedzin niż fotogrametria po krótkim przeszkoleniu.

Wszystkie z powyższych wymienionych zalet ma Video Stereo Digitizer skonstruowany w Akademii Górniczo-Hutniczej przez zespół pod kierownictwem Prof. J. Jachimskiego [Jachimski J., 1995]. Służy on głównie do opracowania map i planów wektorowych ze stereoskopowych zdjęć lotniczych i naziemnych.

Stereogram wizualizowany jest na dwóch połowach ekranu i obserwowany przez zwykły stereoskop zwierciadlany umieszczony na stojaku przed ekranem. Obserwator ma możliwość przemieszczania znacznika pomiarowego w przestrzeni 3D sterując jego ruchem za pomocą myszy i jej przycisków.

Obliczenie i wyrównanie sieci naziemnych

Problem dostarczenia osnowy fotogrametrycznej dla opracowania stereogramów zdjęć naziemnych nie jest zagadnieniem nowym, aczkolwiek ciągle aktualnym. W przypadku opracowań dla celów inwentaryzacji architektonicznej lub inżynierskiej dużych obiektów

* Praca zrealizowana w ramach projektu KBN: „Dokumentacja zabytków w ramach systemu informacji terenowej z wykorzystaniem kamer niemetrycznych i fotografii cyfrowej”

często mamy do czynienia z różną i przeważnie niekorzystną konfiguracją zdjęć. Zdjęcia są często wykonywane kamerami semimetrycznymi lub niemetrycznymi. Rozwój metod analitycznych i cyfrowych umożliwia w tej chwili opracowanie praktycznie każdego zdjęcia czy grupy zdjęć przy minimalnej lub nawet bez typowej osnowy fotogrametrycznej. Tendencją, która ostatnio wyraźnie się rysuje, jest zminimalizowanie zakresu prac polowych i powierzenie wykonania zdjęć nie fotogrametrom a specjalistom od konserwacji czy inżynierom. Opracowaniem tak wykonanych zdjęć a zwłaszcza ich strojeniem powinni się natomiast zająć fotogrametryzy powierzając następne fazy, w których element interpretacji treści zdjęcia nabiera znaczenia, specjalistom odpowiednich branż.

Przy opracowaniu dużych obiektów można wyróżnić następujące konfiguracje wykonywanych zdjęć:

- zdjęcia otaczają obiekt fotografowany z zewnątrz;
- zdjęcia wykonane są z wnętrza obiektu;
- zdjęcia tworzą ciąg stereogramów o prawie równoległych osiach (np. dla dokumentacji elewacji ulic).

Przydatność dostępnych programów aerotriangulacji do wyrównania takich konfiguracji zdjęć jest bardzo ograniczona.

Występująca często niekorzystna konfiguracja zdjęć oraz duża ilość niewiadomych wyznaczanych w procesie wyrównania sieci utrudniają jej rozwiązanie. Należy często używać takich metod obliczeniowych, w których zastosowano sposób pokonania słabego uwarunkowania układu równań. Znaczne skorelowanie niewiadomych, zwłaszcza elementów orientacji zdjęć powoduje duże błędy ich wyznaczenia, co zmniejsza dokładność późniejszego opracowania.

W Polsce do obliczenia i wyrównania sieci naziemnych mamy do dyspozycji kilka programów utworzonych w różnych ośrodkach naukowych, wśród nich przeważają jednak programy utworzone dla doraźnych potrzeb, przez co są one mało wszechstronne i trudne w obsłudze.

W AGH w Krakowie dysponujemy dwoma autorskimi programami:

- SCAT - program wyrównania sieci zdjęć z samokalibracją;
- TERTRIAN - wyrównuje sieci modeli z korektą ich deformacji.

Do dyspozycji jest też profesjonalny i uniwersalny system obliczenia i wyrównania zdjęć fotogrametrycznych ORIENT, opracowany na Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu.

Model funkcjonalny programu SCAT opiera się na równaniach kolinearności, do których dołączone są równania pseudoobserwacji dla współrzędnych fotopunktów. W rozwiązaniu zastosowano estymację grzbietową, co umożliwia obliczenie i wyrównanie sieci z defektem. Program pozwala na rozwiązanie sieci zdjęć, dla których orientacja wewnętrzna jest taka sama dla wszystkich zdjęć bloku lub też indywidualna dla każdego zdjęcia.

Program TERTRIAN pozwala na wyrównanie sieci modeli zdjęć o znanych z dobrym przybliżeniem elementach orientacji wewnętrznej, umożliwia również korekcję deformacji indywidualnie dla każdego modelu.

Dla porównania działania tych programów z systemem ORIENT zostaną przedstawione wyniki obliczenia i wyrównania sieci zdjęć o znanej jak i nie znanej orientacji i błędach obrazu.

Zdjęcia dotyczyły obiektów inżynierskich lub architektonicznych i przeznaczone były do późniejszego opracowania stereoskopowego.

Przykład I

Sieć zdjęć naziemnych metrycznych wykonanych kamerą Photheo 19/1318 na kliszach TO1, skala zdjęć około 1:1000, znane środki rzutów, trzy punkty dostosowania.

Uzyskano następujące dokładności na punktach kontrolowanych:

- TERTRIAN $m_x = \pm 0.018$ m, $m_y = \pm 0.019$ m, $m_z = \pm 0.021$ m
- ORIENT $m_x = \pm 0.016$ m, $m_y = \pm 0.016$ m, $m_z = \pm 0.039$ m

Przykład II

Sieć czternastu zdjęć wykonanych kamerą Rolleiflex-Reseau (test Wagner Pawilon). Wyznaczane elementy orientacji wewnętrznej i błędy obrazu jako wspólne dla wszystkich zdjęć, trzy punkty dostosowania.

Uzyskano następujące dokładności na punktach kontrolowanych:

- SCAT $m_x = \pm 0.005$ m, $m_y = \pm 0.006$ m, $m_z = \pm 0.002$ m
- ORIENT $m_x = \pm 0.007$ m, $m_y = \pm 0.007$ m, $m_z = \pm 0.002$ m

Wykorzystanie VSD do pomiaru zdjęć lub modeli dla obliczenia i wyrównania sieci zdjęć

Proces technologiczny opracowania skanowanych zdjęć analogowych na autografie cyfrowym najczęściej był rozdzielony na dwa etapy prac laboratoryjnych:

- pomiar negatywów lub diapozytywów analogowych w celu zagęszczenia osnowy fotogrametrycznej i obliczenie z wyrównaniem tej osnowy;
- opracowanie stereogramów cyfrowych na autografie.

Wymagał zatem prac na dwóch rodzajach zdjęć: oryginalnych i zeskanowanych, co wiąże się z wykorzystaniem dwu urządzeń do ich pomiaru: mono- lub stereokomparatora i autografu cyfrowego.

Ponieważ użytkownik może dysponować tylko autografem ekranowym, zbadaliśmy przydatność tego urządzenia do pomiaru mającego na celu zagęszczenie osnowy.

Rzeczywista dokładność pomiaru VSD jest uzależniona od wymiarów piksela obrazu cyfrowego, wymiarów piksela ekranowego, oraz kształtu i kontrastu mierzonego punktu obiektu, natomiast odczytanie współrzędnych tłowych możliwe jest z dokładnością 0.001 mm. Narzucenie metryczności obrazowi cyfrowemu odbywa się przez procedurę orientacji wewnętrznej. Polega ona na podstawieniu na znaczkach tłowych lub krzyżach reseau obrazów ich współrzędnych znanych zazwyczaj z metryki kamery. Po transformacji dokonanej według wybranej funkcji mierzony punkt ma dwojaki rodzaj współrzędne: tłowe w milimetrach i obrazowe w pikselach.

Jeżeli zdjęcie jest wykonane kamerą niometryczną, która nie ma znaczków tłowych, można położenie punktu wyrazić w pikselach ekranowych w odniesieniu do środka obrazu, a potem znając wymiar piksela - przeskalować je.

Nastawianie znacznika mierzącego ułatwia możliwość znacznego powiększenia obrazu, wzmocnienie jego kontrastu przez filtrację oraz wybór (spośród kilku możliwości) kształtu i koloru znacznika pomiarowego.

Porównanie dokładności pomiaru współrzędnych tłowych zdjęć oryginalnych i cyfrowych przeprowadzono dla pięciu barwnych diapozytywów pola testowego Otto Wagner Pawillion, wykonanych kamerą Rolleiflex-Reseau oraz obrazów cyfrowych powstałych po zeskanowaniu ich na skanerze Helava DSV200 z rozdzielczością 2000 dpi. Zdjęcia analogowe mierzono na Stecometrze Zeissa, obrazy cyfrowe na VSD, a do wpasowania w 49 krzyży reseau posłużyła transformacja rzutowa.

Na pomierzonych punktach średnia różnica między współrzędnymi tłowymi zdjęć analogowych i cyfrowych wyniosła ± 0.016 mm.

Tabela 1 przedstawia wyniki orientacji wewnętrznej pięciu zdjęć cyfrowych na VSD dla transformacji Helmerta i rzutowej.

Tabela 1

Zdjęcie nr	Transformacja Helmerta		Transformacja rzutowa	
	m_p [mm]	m_p [pxl]	m_p [mm]	m_p [pxl]
110	0.010	0.832	0.009	0.754
111	0.013	1.026	0.012	0.946
112	0.012	0.984	0.011	0.839
113	0.013	1.003	0.012	0.946
114	0.012	0.958	0.011	0.848

Pomierzone na VSD współrzędne tłowe posłużyły do obliczenia programem ORIENT sieci zdjęć. Konfiguracja zdjęć była niekorzystna, ponieważ cztery spośród nich miały osie prawie równoległe, gdyż miały służyć do opracowania stereoskopowego. W obliczeniach elementy orientacji wewnętrznej zdjęć wraz z błędami dystorsji obiektywu były wspólne dla całej grupy. Wyrównanie oparto na trzech punktach dostosowania. Uzyskano na punktach kontrolowanych następujące dokładności:

$$m_x = \pm 0.003 \text{ m}, \quad m_y = \pm 0.007 \text{ m}, \quad m_z = \pm 0.002 \text{ m}, \quad m_p = \pm 0.008 \text{ m}.$$

Dla porównania te same zdjęcia, ale w postaci diapozytywów mierzonych na Stecometrze dały następujące dokładności:

$$m_x = \pm 0.003 \text{ m}, \quad m_y = \pm 0.006 \text{ m}, \quad m_z = \pm 0.002 \text{ m}, \quad m_p = \pm 0.007 \text{ m}.$$

Uzyskane wyniki są więc prawie takie same.

W procesie opracowania zdjęć na VSD wykonuje się po orientacji wewnętrznej zdjęć ich orientację wzajemną, po której mamy zbudowany model przestrzenny w skali narzuconej przez bazę na zdjęciach:

Korzystając z faktu, że budowa modelu jest niezbędnym etapem opracowania zbadaliśmy, jaka jest przydatność tych modeli do zagęszczenia osnowy - przez budowę sieci tych modeli i ich wyrównanie. Zrealizowano to za pomocą programu ORIENT, w oparciu o trzy punkty dostosowania i otrzymano następujące wyniki na punktach kontrolowanych:

$$m_x = \pm 0.009 \text{ m}, \quad m_y = \pm 0.022 \text{ m}, \quad m_z = \pm 0.009 \text{ m}, \quad m_p = \pm 0.025 \text{ m}$$

Jest to dokładność znacznie poniżej oczekiwań. Korzystniejszych wyników można się spodziewać w przypadku korekty deformacji modeli, jednak nie dysponujemy programem obliczeniowym dla tego przypadku (aktualnie uruchomiona wersja programu TERTRIAN wymaga znajomości współrzędnych środków rzutów).

Przeprowadzono też eksperyment pomiaru i wyrównania sieci czterech zdjęć niometrycznych wykonanych aparatem fotograficznym Hasselblad EL, zeskanowanych z rozdzielczością 1200 dpi za pomocą skanera UMAX 1200SE.

W celu zminimalizowania wpływu błędów skanera, zdjęcia skanowano wraz z płytką szklaną z naniesionymi krzyżami o znanych współrzędnych. Umożliwiło to również nadanie metryczności mierzonym na VSD zdjęciom.

W wyniku wpasowania obrazów na krzyże otrzymano następujące dokładności (Tabela 2):

Tabela 2

Zdjęcie nr	Transformacja Helmerta		Transformacja rzutowa	
	m_x [mm]	m_y [pxl]	m_x [mm]	m_y [pxl]
304	0.087	4.107	0.032	1.495
305	0.076	3.584	0.030	1.408
306	0.077	3.633	0.030	1.422
307	0.091	4.293	0.032	1.484
114	0.012	0.958	0.011	0.848

Siec 4 obrazów opartą na trzech punktach dostosowania wyrównano za pomocą programu ORIENT i otrzymano na punktach kontrolowanych dokładności:

$$m_x = \pm 0.016 \text{ m}, \quad m_y = \pm 0.012 \text{ m}, \quad m_z = \pm 0.007 \text{ m}, \quad m_p = \pm 0.021 \text{ m}$$

Jest to dokładność niewystarczająca dla sieci tego typu.

Podniesienie dokładności można uzyskać przez usunięcie lub zminimalizowanie błędów skanera, niestety nie można było tego osiągnąć żadnym z wielomianów korygujących błędy systematyczne, będących w module ADPAR programu. Jak wykazały badania A. Boronia [Boroń A., 1995], błędy te można zminimalizować za pomocą funkcji aproksymującej model powierzchni błędów skanera.

Podsumowanie

Fotogrametryczne stacje robocze działające na komputerach klasy PC stają się coraz bardziej popularne. Zainteresowanie w ich wykorzystaniu wykazują specjaliści z różnych dyscyplin. Funkcjonalność takich uproszczonych stacji fotogrametrycznych powinna być dobrze dostosowana do potrzeb potencjalnych użytkowników. W artykule zasygnalizowano możliwość rozszerzenia funkcjonalności VSD o wyrównanie sieci zdjęć naziemnych. Takie potrzeby pojawiają się zwłaszcza przy zastosowaniu fotogrametrii naziemnej do dokumentowania zabytków architektury. Przetestowano dwa programy SCAT i TERTRIAN, opracowane w AGH do wyrównania naziemnych sieci fotogrametrycznych oraz porównano otrzymane wyniki z wyrównaniami przeprowadzonymi za pomocą programu ORIENT. Uzyskano podobne wyniki wyrównania stosując porównywane programy.

Testowano również przydatność zdjęć cyfrowych do wyrównania sieci. Dokładność pomiaru zdjęć cyfrowych na VSD okazała się wystarczająca dla celów wyrównania sieci.

Literatura

1. Boroń A., 1996, *Calibration of digital images produced with the use of UMAX 1200SE Scanner*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B1, Commission I, Vienna, Austria 1996;
2. Jachimski J., 1995, *Video Stereo Digitizer - a small stereophotogrammetric working station for the needs of LIS and other application*, Prace Komisji Geodezji i Inżynierii Środowiska, Geodezja 38, Kraków 1995.

Recenzował: dr inż. Krystian Pyka