

Romuald Kaczyński  
Jan Ziobro  
Ireneusz Ewiak

## DOKŁADNOŚĆ POSZCZEGÓLNYCH ETAPÓW GENEROWANIA ORTOFOTOMAP CYFROWYCH ZE ZDJĘĆ PHARE 1:26 000

### Streszczenie

W artykule przedstawiono otrzymane w zakładzie Fotogrametrii IGiK dokładności pomiarów fotopunktów naturalnych pomierzonych metodą GPS, aerotriangulacji wykonanej metodą cyfrową, generowania NMT oprogramowaniem MATCH-T oraz ortofotomapy cyfrowej na systemie ImageStation INTRGRAPH na podstawie wtórnych diapoztywów wykonanych z barwnych zdjęć Phare w skali 1:26 000. Dokładność AT jest rzędu  $\sigma_0 = 8-10 \mu\text{m}$ , a ortofotomapy 1-2 pikseli, czyli około 0.5 do 1 m w terenie. Dokładność pomiaru fotopunktów naturalnych metodą GPS jest rzędu  $\pm 3 \text{ cm}$ , jednak użyteczna dokładność wyznaczenia współrzędnych fotopunktu zależy jedynie od dokładności identyfikacji punktu w terenie, stąd szacujemy ją rzędu  $\pm 40 \text{ cm}$ . NMT generowany jest metodą korelacji MATCH-T z dokładnością rzędu 2-3 m. Referat ilustrowany będzie przykładowymi ortofotomapami wydrukowanymi na ploterze IRIS 3048 w skali 1:10 000 i 1:5 000.

### 1. Skanowanie zdjęć lotniczych

Zagadnienia związane ze skanowaniem zdjęć lotniczych dla opracowań fotogrametrycznych opisano w artykule (Ewiak 1998). Dokładność skanera dla tych celów powinna być rzędu  $\pm 1-2 \mu\text{m}$ . W czasie skanowania należy wykonać fotoalignment na znaczkach tłowych, utworzyć komplet pomniejszonych obrazów czyli tzw. overviews, a obraz rastrowy zapisać w blokach (tile) o wielkości 256x256 pikseli. Formatem zapisu danych dla stacji Intergraph jest format Intergraph COT 8 bit/piksel w każdym kanale osobno (R, G, B), lub jako jeden plik RGB. Obraz może być skompresowany JPEG z różnymi wartościami współczynnika Q. Można zapisać również zbiory obrazowe w formacie TIFF (surowy) lub TIFF tiled. Aperturę skanowania (wielkość piksela) dla wykonania opracowań cyfrowych stosuje się głównie w przedziale od 15 do 30  $\mu\text{m}$ .

Znajomość zakresu gęstości optycznych na skanowanym zdjęciu pozwala dobrać odpowiednie parametry skanowania, co również decyduje o wierności przekształcenia zdjęcia z postaci analogowej na obraz cyfrowy. Tylko staranna kalibracja skanera i odpowiednia jego konserwacja pozwala na pozyskanie położenia piksela na obrazie z dokładnością rzędu 1-2  $\mu\text{m}$ .

Poza obrazem rastrowym rejestrowany jest plik ASCII, który zawiera nagłówek (header), a w nim dane z kalibracji kamery z datą jej kalibracji, format obrazu, początek skanowania (x, y upper left), ilość linii, ilość pikseli w linii, ilość pikseli na cal (dpi), wielkość bloku zapisu obrazu (tile), numer zdjęcia, typ skanera, wielkość korekcji gamma, współrzędne znaczków tłowych z danych kalibracji kamery, współrzędne pomierzone znaczków tłowych, współrzędne znaczków tłowych po alignmencie w milimetrach i pikselach.

## 2. Pomiar fotopunktów

Pomiar fotopunktów naturalnych wykonuje się w terenie metodą GPS. Dokładność pomiaru fotopunktów naturalnych metodą GPS jest rzędu  $\pm 3$  cm, jednak użyteczna dokładność wyznaczenia współrzędnych fotopunktu zależy jedynie od dokładności identyfikacji punktu naturalnego w terenie. Dla zdjęć w skali 1:26 000 dokładność wyznaczenia punktu w układzie geodezyjnym (na ogół w układzie 1965) wynosi:  $m_{x,y} = \pm 20-40$  cm,  $m_z = \pm 20-30$  cm. Fotopunkt musi być kontrastowy w stosunku do tła oraz musi być dobrze identyfikowany w terenie i na zdjęciu.

## 3. Aerotriangulacja cyfrowa

Aktualna dokładność wyznaczenia środków rzutów zdjęć lotniczych metodą DGPS jest rzędu  $m_{x,y,z} = \pm 10$  do 30 cm. Dane DGPS może być użyte do wyrównania aerotriangulacji wykorzystując odpowiednie oprogramowanie. Autorzy otrzymali następujące dokładności aerotriangulacji (bez DGPS) wykonanej metodą cyfrową na podstawie opracowań bloków z wykorzystaniem skanowanych wtórnych diapozytywów w skali 1:26 000 (Phare):

- średnie błędy pojedynczego spostrzeżenia dla orientacji wewnętrznej i po transformacji afinicznej aż do 10 mikrometrów; zdarzają się jednak również błędy dochodzące do 40  $\mu\text{m}$ , co świadczy o słabej kartometryczności niektórych partii zdjęć;
- błąd typowego spostrzeżenia współrzędnej tłowej rzędu  $\sigma_0 = 8$   $\mu\text{m}$  do 9  $\mu\text{m}$ ;
- błąd średni fotopunktu  $m_{x,y} = 30-40$  cm,  $m_z = 20-60$  cm.
- dokładność korelacji obrazów rzędu 0.1 do 0.2 piksela.

Do wyrównania używane są programy: Photo-T, PATM-GPS, PATB-GPS. Opis metody aerotriangulacji cyfrowej oraz osiągnięte dokładności zamieszczono w artykułach (Kaczyński, Ziobro 1998, 1999).

## 4. Numeryczny Model Terenu

NMT generowany jest metodą korelacji obrazów programem MATCH-T na podstawie utworzonych wcześniej stereoskopowych obrazów, gdzie paralaksa porzeczną w każdej linii jest równa zero (tzw. obrazy epipolarne). Linie szkieletowe i linie nieciągłości zaznacza się na obrazie stereoskopowym. Gęstość siatki generowanego NMT dla skali 1:26 000 przyjmuje się od 20 m do 30 m.

NMT generowany metodą korelacji obrazów może być wyznaczony z teoretyczną dokładnością rzędu 0.3 do 1 piksela, co w odniesieniu do wysokości lotu

H jest rzędu  $0.1 \times H$  do  $0.02 \times H$ . Dla H rzędu 4400 m jest to od 44 cm do 90 cm. LSM (Least Square Matching) pozwala na osiągnięcie dokładności (dla dobrej jakości zdjęć) rzędu 0.1-0.2 piksela. FBM (Feature Based Matching) daje dokładność rzędu 0.3-0.4 piksela. Dla zdjęć skanowanych pikselem  $30 \mu\text{m}$  jest to od  $6 \mu\text{m}$  do  $12 \mu\text{m}$ . Tą wartość można użyć do określenia dokładności wyznaczenia NMT przez pomnożenie  $6-12 \mu\text{m}$  przez współczynnik B/H.

NMT generowany metodą korelacji jest mniej dokładny dla zdjęć lotniczych o zbyt dużych kontrastach i gęstościach optycznych.. Autorzy oceniają dokładność NMT generowanego z wtórników zdjęć Phare w skali 1:26 000 metodą korelacji programem MATCH-T dla terenów otwartych rzędu 2- 3 m. Dla terenów leśnych dokładność NMT jest rzędu 4-10 m. Sprawdzenia NMT i jego edycji dokonuje się na modelu stereoskopowym utworzonym z obrazów epipolarnych.

Dokładność z jaką należy generować NMT dla produkcji ortofotografii można obliczyć ze wzoru:

$$m_h / H [dx/x] [1:m_{foto}/1:m_{orto}]$$

gdzie:

- dx - dozwolone przesunięcie obrazu na ortofotografii spowodowane deniwelacją terenu;
- x - odległość radialna punktu na zdjęciu;
- H - wysokość lotu;
- 1:  $m_{foto}$  - skala zdjęcia;
- 1:  $m_{orto}$  - skala ortofotomapy.

Dla zdjęć Phare mamy:  $H = 4\,500 \text{ m}$ ,  $1:m_{foto} = 1:26\,000$ ,  $1:m_{orto} = 1:5\,000$ , maksymalna odległość radialna punktu na zdjęciu -  $x = 10 \text{ cm}$ , przesunięcie na obrazie -  $dx = 0.1 \text{ mm}$ , stąd  $m_h = \pm 1 \text{ m}$ .

## 5. Ortofotomapa

Wytwarzanie ortofotografii wykonuje się z pojedynczych zdjęć, dla których znane są elementy orientacji zewnętrznej (wyznaczone z AT) oraz NMT. Przetwarzane są wszystkie zdjęcia w bloku, a arkusze ortofotomap mozaikowane są z środkowych części zdjęć. Wielkość piksela dla generowania ortofotografii w postaci wydruku można obliczyć ze wzoru:

$$P = [8.5 \times 10^{-5}] \times m_{orto}$$

gdzie:  $m_{orto}$  jest mianownikiem skali ortofotomapy.

Dla skali ortofotomapy w skali 1:5 000 mamy wartość piksela terenowego  $P = 0.4 \text{ m}$ . Ortofotografie (w skali 1:5 000) wytwarzane są w IGIK pikselem  $0.5 \text{ m}$  ( $0.1 \text{ mm}$  w skali ortofotomapy). Dokładność ortofotomap jest rzędu  $m_{xy} = \pm 1-2$  piksele tj.  $0.5-1 \text{ m}$  w terenie.

**Literatura**

1. Ewiak I., 1998, Niektóre aspekty skanowania zdjęć lotniczych za pomocą skanera PS-1 Zeiss. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Kraków, Vol. 8, s.11-1 do 11-10.
2. Kaczyński R., Ziobro J., 1998, Digital aerial triangulation for DTM and orthophoto generation. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 4, Stuttgart, pp. 281 - 283.
3. Kaczyński R., Ziobro J., 1999, Digital and analytical aerial triangulation - a comparison test. ISPRS WG III/1 Workshop, June 16 - 17, Portland Maine, USA.

**Autorzy**

dr hab. Romuald Kaczyński, prof. IGiK

dr inż. Jan Ziobro

mgr inż. Ireneusz Ewiak

Instytut Geodezji i Kartografii

00-950 Warszawa, ul. Jasna 2/4

tel. (0-22) 828 02 69 w. 123

fax (0-22) 827 03 28

e-mail: rom@igik.edu.pl

ziobro@igik.edu.pl

rene@igik.edu.pl

Recenzował dr inż. Zdzisław Kurczyński