

WPLYW ILOŚCI FOTOPUNKTÓW I DOKŁADNOŚCI NUMERYCZNEGO MODELU WYSOKOŚCIOWEGO NA DOKŁADNOŚĆ WYSOKOROZDZIELCZEJ ORTOFOTOMAPY SATELITARNEJ

Wojciech Drzewiecki ¹, Ewa Głowienka ¹, Beata Hejmanowska ¹, Marcin Dżugaj ²,
Tomasz Trybuś ²

¹ Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie

² Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne COMPASS S.A. w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: Ikonos, wysokorozdzielcza ortofotomapa satelitarna, metoda parametryczna, metoda RPC, ocena dokładności, DTED

STRESZCZENIE: Prezentowane prace wykonano w ramach projektu zainicjowanego przez Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne COMPASS S.A. w Krakowie i zrealizowanego wspólnie z Zakładem Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH. Celem przeprowadzonych badań było:

- Porównanie rezultatów aerotriangulacji uzyskanych z zastosowaniem metody parametrycznej i metody opartej na wykorzystaniu dostarczanych wraz z obrazami współczynników RPC
- Ocena parametrów dokładnościowych produktu końcowego – ortofotomapy
- Ocena wpływu ilości punktów dostosowania na rezultaty uzyskiwane z wykorzystaniem obu metod
- Porównanie działania oprogramowania firm Intergraph (ISDM) i PCI Geomatics (Geomatica) dla metody RPC
- Ocena możliwości wykorzystania w procesie ortorektyfikacji wysokorozdzielczych obrazowań satelitarnych modelu wysokościowego DTED Level 2

Wykorzystano posiadające obszar wspólnego pokrycia sceny satelity Ikonos obejmujące obszar Krakowa i przyległe tereny o charakterze podmiejskim i wiejskim. Dla metody parametrycznej przetestowano warianty z wykorzystaniem dla każdej ze scen dziewięciu, dziesięciu i jedenastu punktów dostosowania. Dla metody RPC - dwóch, czterech lub dziewięciu fotopunktów dla każdej ze scen. Uzyskany błąd RMS położenia punktu na ortofotomapie nie przekraczał 1,5 m. Lepsze rezultaty uzyskiwano rozmieszczając punkty dostosowania w całym zakresie profilu wysokościowego zobrazowanego terenu. Zbliżone wyniki otrzymano stosując obydwie metody i oba testowane programy. Zastosowanie modelu DTED nie powodowało pogorszenia parametrów dokładnościowych wynikowej ortofotomapy w porównaniu z ortofotomapą uzyskaną z wykorzystaniem modelu fotogrametrycznego.

1. CEL BADAŃ

Prezentowane prace wykonano w ramach projektu zainicjowanego przez Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne COMPASS S.A. w Krakowie i zrealizowanego wspólnie z Zakładem Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH.

Celem przeprowadzonych badań było:

- Porównanie rezultatów aerotriangulacji uzyskanych z zastosowaniem metody parametrycznej i metody opartej na wykorzystaniu dostarczanych wraz z obrazami współczynników RPC
- Ocena parametrów dokładnościowych produktu końcowego – ortofotomapy
- Ocena wpływu ilości punktów dostosowania na rezultaty uzyskiwane z wykorzystaniem obu metod
- Porównanie działania oprogramowania firm Intergraph (ISDM) i PCI Geomatics (Geomatica) dla metody RPC
- Ocena możliwości wykorzystania w procesie ortorektyfikacji wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych modelu wysokościowego DTED Level 2

2. DANE ŹRÓDŁOWE

2.1. Sceny satelitarne

Badania przeprowadzono na dwóch posiadających obszar wspólnego pokrycia (ok. 1000 m) scenach satelity IKONOS, z których każda posiadała rozmiar 11x10 km. Obejmowały one znaczne fragmenty Krakowa i przyległe obszary o charakterze podmiejskim i wiejskim. Teren znajdujący się w zasięgu scen scharakteryzować można jako pagórkowaty. Maksymalna różnica wysokości w obszarze opracowania wynosiła 186 metrów.

Obie sceny zarejestrowane zostały 7 maja 2003 roku. Obrazy dostarczono w formacie GeoTiff (16 bitów) wraz z metadanymi i współczynnikami RPC. W badaniach wykorzystano obrazy panchromatyczne o rozdzielczości terenowej wynoszącej 1 metr. Obrazy, chociaż wolne od chmur, nie pozbawione były jednak wad radiometrycznych. Na scenie północnej uwidoczniła się mgła nad Wisłą, a obie sceny przecinała smuga kondensacyjna i pochodząca od niej smuga cienia. Wady te nie stanowiły jednak przeszkody w procesie tworzenia ortofotomapy i nie miały wpływu na jej ocenę dokładnościową.

2.2. Osnowa fotogrametryczna

W procesie aerotriangulacji używano głównie fotopunktów pomierzonych metodą GPS (16 punktów). Wybierano wyraźne szczegóły sytuacyjne, których identyfikacja

terenowa była lepsza niż 0.5m jak np. przecięcia krawężników jezdni, narożniki betonów, wyraźne, utwardzone krawędzie dojazdów do budynków. Dokładność określenia współrzędnych terenowych punktów dostosowania przyjęto jako 0,5 m (X,Y,Z). W przypadkach gdzie stosowano więcej niż 16 punktów dostosowania zaistniała konieczność posłużenia się punktami uzyskanymi na podstawie ortofotomapy lotniczej w skali 1:5000 o rozmiarze piksela 0,25 m. Dokładność określenia współrzędnych terenowych przyjęto analogicznie jak dla metody GPS. Z ortofotomapy tej pozyskano również punkty kontrolowane oraz punkty w oparciu o które przeprowadzono ocenę dokładności wygenerowanych ortofotomap.

2.3. Numeryczny Model Terenu

W badaniach wykorzystano dwa rodzaje Numerycznego Modelu Terenu – model DTED Level 2 oraz precyzyjny NMT wykonany metodą fotogrametryczną. Precyzyjny NMT powstał na drodze obserwacji modeli stereoskopowych zdjęć lotniczych w skali 1:13000. Zdjęcia wykonane zostały w tym samym roku co zobrazowanie satelitarne. Dokładność wysokościową tego modelu określa się na poziomie 0,6 m. Odzwierciedla on występujące w terenie elementy sytuacyjne takie jak rowy, skarpy i linie nieciągłości o różnicy wysokości przekraczającej 1 m. Model wygenerowany został w formacie TIN.

Model wysokościowy DTED Level 2 powstał na drodze wektoryzacji wojskowych map topograficznych w skali 1:50000. Jego dokładność wysokościowa określana jest na poziomie 1/3 cięcia warstwicowego.

Oba modele porównano ze sobą generując obraz różnic. Jego analiza pozwoliła na stwierdzenie, iż na większości obszarów zurbanizowanych oraz w terenach otwartych użytkowanych rolniczo różnice wysokości pomiędzy modelami nie przekraczają 3 m. Większe różnice wysokości występują natomiast w terenach zalesionych, wąwozach, w przypadku wałów (kolejowych, drogowych, przeciwpowodziowych) oraz w przypadku wzniesień posiadających powierzchnię mniejszą niż 10 ha (hałdy, kopiec Piłsudzkiego, Wzgórze Wawelskie). Występowanie pomiędzy modelami różnic wysokości przekraczających 3 m stwierdzono również na obszarach, na których nastąpiły znaczące zmiany sytuacji wysokościowej (np. rejon nowowybudowanych węzłów drogowych).

3. METODYKA BADAŃ

W ramach przeprowadzonych badań dokonano korekcji geometrycznej panchromatycznych obrazów z satelity Ikonos przy zastosowaniu metody parametrycznej oraz metody opartej na wykorzystaniu dostarczanych wraz z obrazami współczynników RPC. Dla metody parametrycznej przetestowano warianty z wykorzystaniem dla każdej ze scen 9, 10 i 11 punktów dostosowania. Dla metody RPC analizowano warianty z pomiarem po 2, 4 lub 9 punktów dla każdej ze scen. W obu przypadkach dokonano opracowania zarówno pojedynczych scen jak i bloku (z wykorzystaniem pięciu punktów wiązających).

Aby wykluczyć wpływ błędu identyfikacji punktów na uzyskiwane wyniki aerotriangulacji dokonano jednokrotnego pomiaru fotopunktów (punktów dostosowania

i punktów kontrolowanych) na obydwu scenach satelitarnych, a uzyskane w ten sposób współrzędne pikselowe stosowano we wszystkich analizowanych przypadkach. We wszystkich przypadkach stosowano ten sam zestaw punktów kontrolowanych (9 punktów na scenie północnej oraz 7 punktów na scenie południowej), których współrzędne terenowe uzyskano z ortofotomapy lotniczej i dokładnego modelu wysokościowego. Ortorektyfikację przeprowadzono przy użyciu oprogramowania PCI Geomatica (metoda parametryczna i RPC) oraz ISDM (metoda RPC) z zastosowaniem metody interpolacji cubic convolution. Ocenę dokładności ortofotomap przeprowadzono w oparciu o 22 punkty (po 11 punktów na każdą scenę) niewykorzystywane w procesie aerotriangulacji, zidentyfikowane na ortofotomapie lotniczej.

4. WYNIKI

4.1. Metoda parametryczna

Założeniem przyjętym przez Autorów było, iż minimalna ilość używanych fotopunktów nie może być niższa niż określona w wytycznych Komisji Europejskiej (European Commission, 2004). W przypadku metody parametrycznej ilość ta wynosi 9 fotopunktów dla każdej ze scen. W pierwszej kolejności przetestowano warianty polegające na oddzielnym opracowaniu każdej ze scen przy użyciu 9 punktów dostosowania oraz na wyrównaniu bloku. Po analizie uzyskanych wyników zdecydowano się na zastąpienie jednego z punktów dostosowania punktem zlokalizowanym na Kopcu Piłsudskiego (KP). Kopiec Piłsudskiego jest to najwyższy punkt w obrębie obydwu analizowanych scen. Ponownie przeanalizowano wariant wyrównania bloku z wykorzystaniem dla każdej ze scen 9-ciu fotopunktów, a następnie również 10-ciu i 11-tu. Wyniki aerotriangulacji i oceny dokładności wygenerowanych ortofotomap przedstawiono w Tabelach 1 i 2.

Na etapie aerotriangulacji we wszystkich testowanych wariantach uzyskano zbliżone dokładności (RMS_X i RMS_Y) na punktach kontrolowanych. Należy jednak stwierdzić, iż biorąc pod uwagę cały obszar bloku, najlepiej przedstawiają się one dla wariantu z największą ilością punktów dostosowania.

Tabela 1. Analiza dokładności aerotriangulacji - metoda parametryczna, błędy na punktach kontrolowanych [m]

| | Blok | | Scena Pł. | | Scena Pn. | |
|--------------------------------|------|------|-----------|------|-----------|------|
| | rmsX | rmsY | rmsX | rmsY | rmsX | rmsY |
| 9GCP na scenę pojedyncze sceny | | | 0.72 | 0.58 | 1.32 | 1.15 |
| 9GCP na scenę blok | 1.04 | 0.76 | 0.88 | 0.69 | 1.30 | 0.91 |
| 9GCP na scenę (w tym KP) Blok | 0.93 | 0.74 | 1.18 | 0.99 | 0.68 | 0.44 |
| 10GCP na scenę (w tym KP) Blok | 1.09 | 0.70 | 0.94 | 0.41 | 1.31 | 0.94 |
| 11GCP na scenę (w tym KP) blok | 1.04 | 0.40 | 1.00 | 0.31 | 1.15 | 0.50 |

Tabela 2. Analiza dokładności ortofotomapy – metoda parametryczna [m]

| | Mozaika | | | Scena północna | | | Scena południowa | | |
|---|---------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|-----------------|
| | rmsX Max X | rmsY Max Y | rmsXY Max XY | rmsX Max X | rmsY Max Y | rmsXY Max XY | rmsX Max X | rmsY Max Y | rmsXY Max XY |
| 9GCP na scenę pojedyncze sceny | 1.09 | 1.28 | 1.68 | 1.07 | 1.25 | 1.64 | 1.11 | 1.31 | 1.72 |
| | 3.14 | 2.93 | 4.21 | 3.14 | 2.80 | 4.21 | 2.03 | 2.93 | 3.56 |
| 9GCP na scenę, 5TP | 1.11 | 1.61 | 1.96 | 1.09 | 1.97 | 2.25 | 1.12 | 1.15 | 1.60 |
| | 3.13 | 4.79 | 5.72 | 3.13 | 4.79 | 5.72 | 2.22 | 2.07 | 2.98 |
| 9GCP na scenę (w tym GCP na Kopcu Piłsudskiego), 5TP | 0.85 | 1.16 | 1.44 | 0.68 | 0.91 | 1.14 | 0.99 | 1.37 | 1.69 |
| | 1.64 | 3.00 | 3.15 | 1.16 | 2.30 | 2.42 | 1.64 | 3.00 | 3.15 |
| 10GCP na scenę (w tym GCP na Kopcu Piłsudskiego), 5TP | 1.08 | 1.09 | 1.54 | 1.11 | 0.85 | 1.40 | 1.06 | 1.29 | 1.66 |
| | 2.13 | 2.20 | 2.78 | 2.13 | 1.96 | 2.20 | 1.70 | 2.20 | 2.78 |
| 11GCP na scenę (w tym GCP na Kopcu Piłsudskiego), 5TP | 0.89 | 1.11 | 1.42 | 0.84 | 0.78 | 1.14 | 0.94 | 1.35 | 1.65 |
| | 1.65 | 2.88 | 3.06 | 1.29 | 1.40 | 1.72 | 1.65 | 2.88 | 3.06 |

Najlepszą dokładność produktu końcowego (ortofotomapy) otrzymano dla wariantu wyrównania bloku przy pomiarze 11-tu fotopunktów na każdej ze scen. Wynik ten nie odbiega jednak w istotny sposób od rezultatu otrzymanego dla wariantu z pomiarem 9-ciu fotopunktów – różnica błędu RMS_{XY} pomiędzy tymi wariantami wyniosła zaledwie 2 cm. Można zatem stwierdzić, iż zwiększanie ilości foto punktów nie powodowało zwiększenia dokładności ortofotomapy.

Porównując warianty z 9 fotopunktami należy stwierdzić, iż umieszczenie punktu dostosowania na Kopcu Piłsudskiego spowodowało poprawę dokładności ortofotomapy na obszarze sceny północnej.

4.2. Metoda RPC

Wspomniane wytyczne Komisji Europejskiej [European Commission 2004] sugerują dla metody parametrycznej wykorzystanie dwóch lub czterech fotopunktów rozmieszczonych w różnych ćwiartkach obrazu. Przetestowano oba te warianty oraz wariant z wykorzystaniem dla każdej ze scen 9-ciu punktów dostosowania. W każdym z przypadków analizowano zarówno oddzielne opracowanie poszczególnych scen jak i wyrównanie bloku. Rezultaty otrzymane przy wykorzystaniu oprogramowania PCI Geomatica prezentują Tabele 3 i 4.

Analiza rezultatów aerotriangulacji pozwala stwierdzić, iż jej dokładność wzrasta wraz z ilością zastosowanych punktów dostosowania. Dzieje się tak zarówno w przypadku pojedynczych scen, jak i aerotriangulacji w bloku. Zwraca uwagę fakt, iż analiza prowadzona na punktach dostosowania w obrębie scen wykazuje przy pomiarze tej samej ilości punktów dostosowania mniejsze błędy dla wpasowania pojedynczych scen niż dla bloku. Rezultaty otrzymane z zastosowaniem współczynników RPC w oprogramowaniu Geomatica są na zbliżonym poziomie we wszystkich testowanych wariantach.

Tabela 3. Analiza dokładności aerotriangulacji - metoda RPC, błędy na punktach kontrolowanych [m]

| | Blok | | Scena północna | | Scena południowa | |
|--------------------------------|------|------|----------------|------|------------------|------|
| | rmsX | rmsY | rmsX | rmsY | rmsX | rmsY |
| 2GCP na scenę pojedyncze sceny | | | 0.93 | 0.63 | 0.93 | 1.27 |
| 4GCP na scenę pojedyncze sceny | | | 1.01 | 0.66 | 0.81 | 0.82 |
| 9GCP na scenę pojedyncze sceny | | | 0.80 | 0.53 | 0.86 | 0.77 |
| 2GCP na scenę blok | 0.95 | 1.46 | 1.13 | 0.74 | 0.74 | 2.14 |
| 4GCP na scenę blok | 0.91 | 1.04 | 1.03 | 0.63 | 0.81 | 1.48 |
| 9GCP na scenę blok | 0.82 | 1.05 | 0.92 | 0.86 | 0.74 | 1.33 |

Tabela 4. Analiza dokładności ortofotomapy – metoda RPC [m]

| | Mozaika | | | Scena północna | | | Scena południowa | | |
|---------------------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|-----------------|
| | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY Max XY |
| 2GCP na scenę pojedyncze sceny | 0.87 1.46 | 0.91 1.65 | 1.26 1.94 | 0.75 1.44 | 0.87 1.43 | 1.15 1.94 | 0.97 1.46 | 0.95 1.65 | 1.36 1.75 |
| 4GCP na scenę, pojedyncze sceny | 0.88 1.58 | 1.08 2.33 | 1.39 2.44 | 0.75 1.58 | 1.15 2.33 | 1.38 2.44 | 0.98 1.46 | 1.01 2.13 | 1.41 2.25 |
| 9GCP na scenę pojedyncze sceny | 1.05 2.51 | 1.02 1.79 | 1.46 3.08 | 1.09 2.51 | 1.09 1.79 | 1.55 3.08 | 1.00 1.88 | 0.94 1.61 | 1.38 1.90 |
| 2GCP na scenę blok | 0.86 1.48 | 1.05 2.60 | 1.35 2.68 | 0.76 1.46 | 0.85 1.39 | 1.14 2.02 | 0.94 1.48 | 1.22 2.60 | 1.54 2.68 |
| 4GCP na scenę blok | 0.87 1.79 | 1.12 3.02 | 1.42 3.20 | 0.76 1.75 | 0.55 1.38 | 0.94 1.77 | 0.98 1.79 | 1.49 3.02 | 1.78 3.20 |
| 9GCP na scenę blok | 0.86 1.60 | 0.91 1.63 | 1.25 2.13 | 0.69 1.60 | 0.86 1.40 | 1.10 2.13 | 1.00 1.48 | 0.95 1.63 | 1.38 1.76 |

Po analizie dokładności wygenerowanych ortofotomap za najlepsze uznać można ortofotomapy uzyskane w wariancie wyrównania bloku przy pomiarze 9 fotopunktów na każdej ze scen. Podkreślić jednak trzeba, iż niemal identyczne rezultaty uzyskano w wariancie wyrównania pojedynczych scen przy pomiarze dwóch fotopunktów na scenę.

W przypadku rektyfikacji pojedynczych scen nie zaobserwowano wzrostu dokładności wraz ze wzrostem ilości punktów dostosowania. Wyrównanie w bloku poprawiło dokładność produktu końcowego tylko w wariancie z 9 punktami dostosowania dla sceny. Po analizie uzyskanych wyników pojawia się zatem pytanie czy wzrost dokładności uzyskany w stosunku do wariantu polegającego na pomiarze dwóch fotopunktów na każdej ze scen rekompensuje nakłady finansowe na pomiar znacznie większej ilości punktów dostosowania.

Dla sceny północnej przeprowadzono również porównanie wyników dla wariantów z dwoma i czterema punktami dostosowania, w każdym z przypadków jeden z punktów lokując na Kopcu Piłsudskiego. W obu wariantach uzyskano zwiększenie dokładności zarówno na etapie aerotriangulacji jak i wynikowej ortofotomapy (por. Tabele 5 i 6).

Tabela 5. Analiza dokładności aerotriangulacji –metoda RPC, pojedyncze sceny [m]

| | Scena północna | |
|--------------------------------------|----------------|------|
| | rmsX | rmsY |
| 2GCP na scenę | 0.93 | 0.63 |
| 2GCP na scenę (w tym punkt na Kopcu) | 0.67 | 0.60 |
| 4GCP na scenę | 1.01 | 0.66 |
| 4GCP na scenę (w tym punkt na Kopcu) | 0.74 | 0.64 |

Tabela 6. Analiza dokładności ortofotomapy - metoda RPC [m]

| | Scena północna | | |
|--------------------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY |
| 2GCP na scenę | 0.75 | 0.87 | 1.15 |
| | 1.44 | 1.43 | 1.94 |
| 2GCP na scenę (w tym punkt na Kopcu) | 0.59 | 0.72 | 0.93 |
| | 1.12 | 1.24 | 1.27 |
| 4GCP na scenę | 0.75 | 1.15 | 1.38 |
| | 1.58 | 2.33 | 2.44 |
| 4GCP na scenę (w tym punkt na Kopcu) | 0.69 | 0.99 | 1.15 |
| | 1.72 | 2.25 | 2.37 |

Opracowania ortofotomap przy użyciu współczynników RPC dokonano również stosując oprogramowanie Intergraph ISDM. Niestety Autorom nie udało się uzyskać przy użyciu tego oprogramowania raportu opisującego błędy wpasowania na punktach kontrolowanych na etapie aerotriangulacji. Program nie podawał tych błędów dla wariantów wyrównania pojedynczych scen, a dla bloku podawał błędy jedynie dla punktu leżącego w obszarze podwójnego pokrycia. Rezultaty analiz dokładnościowych uzyskanych ortofotomap zestawiono w Tabeli 7.

Inaczej niż w przypadku PCI Geomatica w przypadku oprogramowania ISDM uzyskano poprawę dokładności ortofotomapy dla wariantu z dwoma punktami dostosowania przeprowadzając wyrównanie w bloku. Pod względem wielkości błędu RMS_{XY} metoda ta dała najlepszy rezultat ze wszystkich testowanych (w wariantach bez fotopunktu zlokalizowanego na Kopcu Piłsudskiego). Jednak maksymalny błąd położenia punktu był w tym przypadku większy o 35 cm. W wariantach rektyfikacji pojedynczych scen osiągnięto rezultaty podobne jak przy użyciu oprogramowania Geomatica.

Tabela 7. Analiza dokładności ortofotomapy (ISDM) - metoda RPC [m]

| | Mozaika | | | Scena północna | | | Scena południowa | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|-----------------|
| | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY |
| 2GCP na scenę pojedyncze sceny | 0.72 | 1.19 | 1.39 | 0.76 | 1.10 | 1.33 | 0.68 | 1.28 | 1.45 |
| | 1.65 | 3.22 | 3.27 | 1.48 | 3.22 | 3.27 | 1.65 | 1.82 | 2.31 |
| 4GCP na scenę pojedyncze sceny | 0.68 | 1.12 | 1.30 | 0.69 | 0.74 | 1.01 | 0.67 | 1.40 | 1.55 |
| | 1.75 | 3.06 | 3.06 | 1.75 | 1.35 | 2.21 | 1.73 | 3.06 | 3.06 |
| 2GCP na scenę wyrównanie bloku | 0.72 | 0.94 | 1.18 | 0.76 | 0.56 | 0.95 | 0.67 | 1.20 | 1.38 |
| | 1.60 | 2.92 | 3.03 | 1.60 | 1.10 | 1.60 | 1.25 | 2.92 | 3.03 |

4.3. Testy z wykorzystaniem modelu wysokościowego DTED Level 2

W ramach opisywanych badań przeprowadzono również porównanie rezultatów ortorektyfikacji uzyskanych z wykorzystaniem precyzyjnego NMT oraz modelu DTED Level 2 (Tabela 8).

Tabela 8. Analiza dokładności ortofotomapy – porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem precyzyjnego NMT i DTED Level 2

| | Mozaika | | | Scena północna | | | Scena południowa | | |
|---|---------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|-----------------|
| | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY | rmsX max X | rmsY max Y | rmsXY max XY |
| Dokł. NMT , m. parametr. 9GCP na scenę, 5TP | 1.11 3.13 | 1.61 4.79 | 1.47 5.72 | 1.09 3.13 | 1.97 4.79 | 2.25 5.72 | 1.12 2.22 | 1.15 2.07 | 1.60 2.98 |
| DTED m. parametr. 9GCP na scenę, 5TP | 0.74 1.44 | 1.00 2.00 | 1.24 2.42 | 0.68 1.18 | 0.88 1.84 | 1.11 2.19 | 0.80 1.44 | 1.10 2.00 | 1.36 2.42 |
| Dokł. NMT RPC, Geomatica 2GCP na scenę, pojedyncze sceny | 0.87 1.46 | 0.91 1.65 | 1.26 1.94 | 0.75 1.44 | 0.87 1.43 | 1.15 1.94 | 0.97 1.46 | 0.95 1.65 | 1.36 1.75 |
| DTED RPC, Geomatica 2GCP na scenę pojedyncze sceny | 0.78 1.56 | 1.05 2.04 | 1.31 2.28 | 0.68 1.56 | 0.80 1.28 | 1.04 1.64 | 0.88 1.50 | 1.25 2.04 | 1.52 2.28 |
| Dokł. NMT RPC, Geomatica 4GCP na scenę, pojedyncze sceny. | 0.88 1.58 | 1.08 2.33 | 1.39 2.44 | 0.75 1.58 | 1.15 2.33 | 1.38 2.44 | 0.98 1.46 | 1.01 2.13 | 1.41 2.25 |
| DTED RPC, Geomatica 4GCP na scenę pojedyncze sceny | 0.93 1.70 | 0.89 2.38 | 1.29 2.48 | 0.71 1.60 | 0.98 2.38 | 1.21 2.48 | 1.11 1.70 | 0.80 1.20 | 1.37 1.92 |
| Dokł. NMT RPC, ISDM 4GCP na scenę pojedyncze sceny | 0.68 1.75 | 1.12 3.06 | 1.30 3.06 | 0.69 1.75 | 0.74 1.35 | 1.01 2.21 | 0.67 1.73 | 1.40 3.06 | 1.55 3.06 |
| DTED RPC, ISDM 4GCP na scenę pojedyncze sceny. | | | | 0.50 0.89 | 0.63 1.23 | 0.80 1.33 | | | |

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzić można, iż zarówno przy zastosowaniu metody parametrycznej, jak i korzystając z dostarczonych wraz z obrazem współczynników RPC, osiągnąć można zbliżone rezultaty, uzyskując błąd RMS położenia punktu nieprzekraczający 1,30 m. Porównanie metody parametrycznej z metodą RPC wykazało, iż przy zastosowaniu tej drugiej dla osiągnięcia porównywalnych dokładności wystarczy stosować znacznie mniejszą ilość fotopunktów.

Chmiel i in. (2004) stwierdzają, iż w przypadku wysokiej jakości punktów dostosowania pomiar większej ilości punktów niż minimum określone w wytycznych Komisji Europejskiej (European Commission, 2004) nie powoduje znaczących zmian dokładności ortofotomapy. Uzyskane przez nas wyniki potwierdzają tę obserwację.

Ulokowanie jednego z fotopunktów w najwyższym punkcie obszaru opracowania powodowało zwiększenie dokładności na etapie aerotriangulacji i zmniejszenie błędu RMS_{XY} wynikowej ortofotomapy. Działo się tak zarówno w przypadku metody parametrycznej jak i RPC. Może to wskazywać, iż wpływ na wynik ma nie tylko równomierne rozmieszczenie fotopunktów na obszarze sceny, ale również w profilu wysokościowym. Występowanie tego rodzaju zależności w przypadku metody RPC zaobserwowali także Eisenbeiss i in. [2004].

Zastosowanie w procesie ortorektifikacji modelu DTED Level 2 nie powodowało pogorszenia się parametrów dokładnościowych ortofotomap w porównaniu z produktami uzyskanymi przy użyciu dokładnego modelu wysokościowego otrzymanego na drodze pomiarów fotogrametrycznych. Potwierdza to wyniki uzyskane przez Wolniewicz (2004), który stwierdził iż model DTED Level 2 może być stosowany w procesie ortorektifikacji wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych nawet na terenach górskich.

Porównując rezultaty uzyskane z zastosowaniem programów Geomatica i ISDM można stwierdzić, iż otrzymano zbliżone rezultaty. ISDM dał nieco lepsze rezultaty (mniejszy błąd RMS) dla wariantu wyrównania bloku, zwrócić jednakże należy uwagę na wyższe niż w przypadku Geomatica wartości błędów maksymalnych.

6. LITERATURA

Chmiel J., Kay S., Spruyt P., 2004. Orthorectification and Geometric Quality Assessment of Very High Spatial Resolution Satellite Imagery for Common Agricultural Policy Purposes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXV, Istanbul.

Eisenbeiss H., Baltsavias E., Pateraki M., Zhang L., 2004. Potential of Ikonos and QuickBird Imagery for Accurate 3D Point Positioning, Orthoimage and DSM Generation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXV, Istanbul.

European Commission, 2004. *Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery*. Directorate General Joint Research Centre - Ispra, Institute for the Protection and Security of the Citizen, Monitoring Agriculture with Remote Sensing Unit

Wolniewicz W., 2004. Porównanie wyników ortorektyfikacji obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości. *Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe – Fotogrametria, Teledetekcja i GIS w świetle XX Kongresu ISPRS*. Białobrzegi

ASSESSMENT OF THE GROUND CONTROL POINTS NUMBER AND DIGITAL TERRAIN MODEL QUALITY ON THE GEOMETRIC QUALITY OF HIGH-RESOLUTION SATELLITE ORTHOPHOTOMAP

KEY WORDS: Ikonos, high-resolution satellite orthophotomap, orbital method, RPC method, accuracy assessment, DTED

Summary

Paper presents results of the research conducted together by the Geodesy-Computer Science Joint-Stock Company COMPASS and AGH University of Science and Technology Department of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics. Several goals were intended to be achieved:

- Comparison of adjustment results obtained by implementation of orbital model and RPC coefficients.
- Accuracy evaluation of generated orthoimages.
- Assessment of the used Ground Control Points (GCPs) number influence on geometric quality of orthophotomaps.
- Comparison of Intergraph and PCI Geomatics software for high-resolution satellite orthophotomap generation with RPC coefficients.
- Evaluation of DTED Level 2 Digital Terrain Model applicability to high-resolution satellite orthophotomap generation.

Two overlapping panchromatic Ikonos images of Cracow city, its suburban areas and villages in neighbourhood were orthorectified. Mainly GPS measured GCPs were used with some additional points and all Control Points measured on aerial orthophotomap in scale of 1:5000. Elevation data were obtained with precise Digital Terrain Model generated from aerial photos in scale of 1:13000. In case of orbital model results achieved with 9, 10 and 11 GCPs used for each scene were compared. For RPC case 2, 4 and 9 points for each image were used. In both cases tests were conducted for separate scenes and with Tie points measurements. Accuracy assessment of generated orthoimages was done based on 22 control points (11 for each scene) not used for geometric correction.

Orthoimages generated with both methods tested have comparable geometric accuracy with RMSxy error below 1.5 meters, but in case of RPC method lower number of GCPs is needed. In both cases better results were achieved if used GCPs had been chosen within full elevation range of the scenes. Increasing of GCPs number doesn't increase orthoimage accuracy. Results obtained using tested softwares don't differ meaningfully. DTED Level 2 application instead of precise DTM doesn't cause decrease in geometric accuracy of generated orthoimages.

Dane autorów:

dr inż. Wojciech Drzewiecki
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl
telefon: (12) 6173993

mgr inż. Ewa Głowienka
e-mail: eglo@agh.edu.pl
telefon: (12) 6172288

dr hab. inż. Beata Hejmanowska
e-mail: galia@agh.edu.pl
telefon: (12) 6172288

mgr inż. Marcin Dzugaj
e-mail: mdzugaj@compass.pl
telefon: (12) 428 75 00

mgr inż. Tomasz Trybuś
e-mail: ttrybus@compass.pl
telefon: (12) 428 75 00