

Jan Ziobro  
Romuald Kaczyński

## ANALIZA WPLYWU STOPNIA KOMPRESJI OBRAZU CYFROWEGO ORAZ APERTURY SKANOWANIA NA PÓZNIEJSZY AUTOMATYCZNY POMIAR

### 1. Wstęp

W artykule zawarto opis i wyniki badań dotyczących dwóch ważnych parametrów dla technologii cyfrowej fotogrametrii: stopnia kompresji stratnej zdjęć skanowanych i wielkości piksela skanowania zdjęć lotniczych. Parametry te były analizowane ze względu na ich wpływ na dokładność pomiarów fotogrametrycznych.<sup>1</sup>

Kompresja obrazów cyfrowych metodą JPEG jest stosowana w fotogrametrii w celu podniesienia wydajności technologii. Metoda ta istnieje od kilku lat i posiada standard wydany przez ISO w 1993 roku. W odróżnieniu od innych metod kompresji obrazu jest ona wspomagana przez specjalne procesory. Inne metody kompresji stratnej jak metoda fraktalna czy metoda fraktalno-falowa, również wydajne jak JPEG, gdy chodzi o stopień kompresji, są realizowane programowo, przez co czas kompresji i dekompresji jest kilkaset razy dłuższy niż w metodzie JPEG z użyciem procesora. Należy nadmienić, że bezstratne metody kompresji są mało efektywne gdy chodzi o stopień kompresji obrazów wielotonowych.

Formaty obrazów oparte na kompresji JPEG są dalej rozwijane, czego przykładami są: format FlashPix powstały 1996 roku, a promowany przez największe firmy branży informatycznej: Intel, Kodak, Microsoft i Hewlett-Packard, oraz nowy standard formatu TIFF wersja 6.0, który uwzględnia kompresję JPEG. Obecnie procesory JPEG są produkowane przez parę firm, nie tylko dla kompresji pojedynczych obrazów ale również dla kompresji sekwencji filmu cyfrowego.

Kompresja tą metodą jest stosowana przez firmy produkujące sprzęt i oprogramowanie fotogrametryczne: Intergraph i od niedawna Zeiss. Zalety stosowania JPEG są podane w publikacjach: [Kern, 1996; Intergraph, 1996; Lane, 1994].

Opis metody podany jest w wielu publikacjach<sup>2</sup>, w niniejszej będą przytoczone tylko te cechy, które są istotne dla omawianych badań. Taką cechą JPEG jest jej stratność powodująca degradację obrazu tym większą im większy stopień kompresji chcemy uzyskać

<sup>1</sup> Pracę wykonano w ramach grantów KBN nr 9T12E00211 i nr 9T12E 00713  
Publikacja ta jest skrótem artykułu, który ukaże się w Pracach Naukowych IGiK.

<sup>2</sup> Opis metody JPEG jest podany w publikacjach: Algarni 1996, Kern 1996, Chip special 1996, Lane 1994, Zabrodzki 1994

Drugą istotną cechą metody jest kumulowanie się degradacji w przypadku powtórnej kompresji obrazu – przy wprowadzaniu zmian w obrazie i zapisaniu go do zbioru dyskowego z kompresją – a takie sytuacje występują w technologii cyfrowej fotogrametrii. Ta ostatnia cecha jest pomijana w publikacjach fotogrametrycznych na temat JPEG, a będzie omówiona w niniejszym artykule.

Jako stopień kompresji możliwy do stosowania, w fotogrametrii cyfrowej – nie powodujący pogorszenia wyników pomiaru, podawane są w literaturze wartości z dość szerokiego przedziału: od 1:3 do 1:10. Ponadto są one podawane w różnych miarach: w procentach degradacji obrazu; w wartościach współczynnika skalowania macierzy kwantyzacji, co również nie jest jednoznaczne gdyż jeszcze należy podać sposób jego określania; jako stosunek wielkości pliku z obrazem po kompresji do wielkości pliku bez kompresji lub jako odwrotność tego stosunku, (zwracając na to uwagę [Kern, Carswell, 1996]).

Celem badań było określenie największego stopnia kompresji obrazu, przy którym możliwy jest jeszcze automatyczny pomiar.

Drugim celem badań było określanie wpływu wielkości piksela skanowania na dokładność wyników pomiaru metodą automatyczną (półautomatyczną). Metod tych jest kilka, a ich klasyfikacja jest podana w publikacjach: [Förstner, 1995; Heipke, 1996; Schenk, 1996]. Pozwalają one na pomiar współrzędnych na zdjęciach z dokładnością od 0.03 piksela do 0.5 piksela. Praktycznie uzyskiwana dokładność jest jednak ograniczona przez zdolność pomiarową zdjęcia lotniczego.

Od wielkości piksela zależy wydajność technologii stosowanych w fotogrametrii cyfrowej i zastosowanie zbyt drobnego piksela znacznie wydłuża czas opracowań.

## 2. Metodyka

Badanie oparto o analizy przebiegu i wyników automatycznego pomiaru współrzędnych tłowych. Automatyczny pomiar wymaga podobieństwa struktury pikselowej (tekstury) wokół mierzonego punktu na zdjęciach tworzących stereogram. Kompresja JPEG zaburza teksturę i tym samym bezpośrednio wpływa na dokładność pomiaru współrzędnych, a w skrajnym przypadku – zbyt dużej kompresji - uniemożliwia pomiar tą metodą (dla założonej dokładności).

Wpływ kompresji obrazu na automatyczny pomiar badano za pomocą dwóch równie ważnych ocen :

- liczbie pomiarów, które się nie powiodły wskutek nieosiągnięcia założonej dokładności wyznaczenia punktu na drugim zdjęciu stereogramu, tj. dokładności równej 0.12 wielkości piksela;
- statystycznej oceny wyniku orientacji wzajemnej zdjęć stereogramu.

W automatycznym, interaktywnym pomiarze niepowodzenie pomiaru na danym punkcie, powoduje że operator wybiera inny punktu do pomiaru. W badaniu, liczba powtórzonych pomiarów była notowana, a więcej niż 5 powtórzeń (przy 20 mierzonych

punktach na stereogramie), było podstawą do stwierdzenia że pomiar automatyczny nie jest możliwy.

Ocena pomiaru współrzędnych tłowych za pomocą wyniku orientacji wzajemnej zdjęć ma dużą zaletę - znana jest wartość oczekiwana paralaksy poprzecznej - wartość zerowa. Nadliczbowości obserwacji i ich wyrównanie pozwalają na oszacowanie średniego błędu pomiaru współrzędnej tłowej. Błąd ten jest obliczany przez system na którym wykonywano pomiary.

Druga część badania dotyczyła powtórnej kompresji. Występuje ona w przypadku, gdy do obrazu kompresowanego wprowadza się zmiany i przed zapisaniem go do zbioru dyskowego również poddaje się go kompresji. Zmiana obrazu może polegać na:

- zmniejszeniu wymiarów obrazu, np. na wycięciu jego części;
- przepróbkowaniu obrazu, np. na wytworzeniu obrazu epipolarnego lub na wytworzeniu ortofotografii;
- zmianie jasności pikseli, np. na zmianie jasności i kontrastu obrazu.

W technologii fotogrametrycznej na obrazach z powtórą kompresją wykonywany jest automatyczny pomiar wysokości dla numerycznego modelu terenu - na obrazach epipolarnych. Obrazy epipolarne jako zbiory dyskowe, występują w systemach nieco starszych. W nowych systemach dla fotogrametrii cyfrowej, dzięki dużej wydajności procesorów obrazowych, obrazy epipolarne istnieją tylko jako zbiory tymczasowe, tak że nie ma potrzeby ich kompresowania, [Madani 1997, Zeiss 1997].

W badaniu skutków powtórnej kompresji ograniczono się do zmiany polegającej na obcięciu z obrazu zdjęcia lotniczego, (które wcześniej było kompresowane), 4 początkowych linii i 4 początkowych kolumn pikseli, a następnie zdjęcie kompresowano i zapisano do zbioru dyskowego. Należy nadmienić, że kompresja metodą JPEG wykonywana jest oddzielnie dla fragmentów obrazu (bloków kompresji), o wymiarach 8 na 8 pikseli, a zatem taka zmiana wymiarów obrazu powoduje największe zmiany granic wszystkich bloków kompresji.

Na tych zdjęciach automatycznie pomierzono współrzędne tłowe i przeprowadzono ocenę pomiaru, w ten sam sposób jak opisano wcześniej, jak dla zdjęć jednokrotnie kompresowanych. Taki przebieg nie odpowiada produkcyjnemu przebiegowi pomiaru, jednak ocena skutków kompresji jest wolna od szeregu czynników ubocznych zniekształcających wynik badania. Wystąpiłyby one gdyby badanie oparto na ocenie dokładności automatycznie pomierzonych wysokości.

Badanie skutków kompresji obrazu poprzedziły dwa inne badania. Pierwszym było badanie wpływu wielkości piksela skanowania i stopnia kompresji obrazu na automatyczny pomiar znaczków tłowych. To badanie jest istotne z paru powodów:

- dokładność pomiaru znaczków tłowych wpływa na wszystkie inne pomiary;
- kompresja obrazu metodą JPEG jest przeznaczona dla obrazów wielotonowych, a obrazy znaczków tłowych i ich otoczenia nie są takimi obrazami;
- linie tworzące znaczki tłowe mają grubość porównywalną z rozmiarem piksela skanowania, co powoduje, że obrazy znaczka na kolejnych zdjęciach znacznie się różnią, nawet na zdjęciach niekompresowanych.

W badaniu posłużono się dwiema ocenami:

- liczbą pomiarów które się nie powiodły wskutek nieosiągnięcia założonej dokładności pomiaru. Przy niepowodzeniu pomiaru automatycznego operator ręcznie wykonywał pomiar, a trzy niepowodzenia pomiaru na zdjęciu były podstawą do stwierdzenia, że pomiar automatyczny nie jest możliwy;
- średnim błędem odchyłki mierzonych współrzędnych, po transformacji afinicznej z układu obrazowego na układ tłowy.

Drugie z badań dotyczyło dokładności automatycznego pomiaru współrzędnych tłowych na niekompresowanych obrazach zdjęć lotniczych. Badanie to miało za cel :

- ustalenie odniesienia dla wyciągania wniosków o wpływie kompresji obrazu na pomiar;
- określenie dokładności pomiaru jaką można uzyskać dla różnych wielkości piksela skanowania, na zdjęciach o wysokiej jakości.

Badanie to przeprowadzono w podobny sposób jak dla zdjęć kompresowanych, z tą różnicą, że pomiary wykonano dwukrotnie:

- pierwszy raz operator wybierał do pomiaru punkty charakteryzujące się wysokim kontrastem otoczenia, nawet kosztem dość znacznego odstępstwa od ich projektowego położenia;
- drugi raz pomiar wykonano na punktach w pobliżu projektowego położenia i przy ograniczonym do 1 minuty czasie na wybór i pomiar punktu. Pomiar punktów będących szczegółami terenowymi o wysokim kontraście z otoczeniem pozwala na uzyskanie większej dokładności, ale parokrotnie wydłuża czas pomiaru.

Materiałem badawczym były zdjęcia wykonane kamerą LMK 3000, firmy Zeiss (o odległości obrazu 152 mm), czarno-białe negatywy terenu podmiejskiego i wielkomiejskiego, w skali 1:6200. Ten typ zdjęć wybrano ze względu dużą liczbę szczegółów i zróżnicowaną teksturę. Do badań wzięto trzy stereogramy (6 zdjęć).

Zdjęcia skanowano za pomocą skanera PS1 firm Zeiss/Intergraph, bez kompresji obrazu. Zdjęcia skanowano 4 krotnie z wielkościami piksela: 15  $\mu\text{m}$ , 22.5  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  i 60  $\mu\text{m}$ ; rozpiętość tonalna zdjęć została odwzorowana przynajmniej na 200 stopniach szarości. Następnie obrazy kompresowano na stacji fotogrametrycznej ImageStation 6487, za pomocą procesora do kompresji firmy C-cubed Microsystems, ośmioma stopniami kompresji, (w zakresie od 1:3 do 1:15) i zapisywano do zbioru dyskowego. Dla wybranych do badań trzech stereogramów, dla wymienionych wielkości piksela i stopni kompresji utworzono w sumie ok. 100 stereogramów, na których wykonano pomiar współrzędnych tłowych 20 punktów, (przy wymaganych 5 punktach dla jednoznacznego wyznaczenia orientacji wzajemnej). Punkty rozmieszczone były na całej powierzchni stereogramu, w formie siatki 4 na 5 punktów.

Pomiary wykonano na systemie cyfrowym ImageStation 6487, firmy Intergraph, w sposób interaktywny – operator wybierał punkt do pomiaru na jednym zdjęciu, w pobliżu zaprojektowanego, nominalnego położenia, a dokładne przeniesienie punktu na drugie zdjęcie stereogramu i pomiar współrzędnych tłowych przeprowadzane było automatycznie, metodą klasyfikowaną jako *least squares matching (LSM)*, o nazwie L.S. Refinement. Metoda ta jest jedną z dokładniejszych i pozwala na pomiar współrzędnych z dokładnością 0.1 piksela lub lepszą, w zależności od zróżnicowania tekstury. Pomiary wykonano

przy oknie pomiaru 33 na 33 piksele, wymaganej zbieżności procesu 0.04 piksela i średnim błędzie nie przekraczającym 0.12 piksela.

### 3. Wyniki badań i wnioski

W dalszej części artykułu zamieszczono wyniki badań i wnioski dotyczące:

- pomiaru znaczków tłowych;
- dokładności pomiaru na obrazach niekompresowanych;
- pomiaru na obrazach jednokrotnie kompresowanych;
- pomiaru na obrazach powtórnie kompresowanych.

#### 3.1. Badanie wpływu wielkości piksela skanowania i stopnia kompresji na automatyczny pomiar dla orientacji wewnętrznej

Orientację wewnętrzną zdjęć przeprowadzono w oparciu o automatyczny pomiar 8 znaczków tłowych. Dla przeliczenia współrzędnych obrazowych na współrzędne tłowe i dla korekcji skurczu zdjęcia była stosowana transformacja afiniczna. Pomiaru na ImageStation dla celów orientacji są przedstawione w publikacji ( Ziobro 1997); tu należy tylko wspomnieć o zasadzie pomiaru. Polega ona na porównaniu obrazu znaczka tłowego, z obrazem wzorcowym, którym jest obraz znaczka tłowego pomierzonego ręcznie na pierwszym z opracowywanych zdjęć.

Dla stopni kompresji od 1:3 do 1:10 i wielkości piksela skanowania 15, 22.5 i 30  $\mu\text{m}$  średnie błędy mieściły się w przedziale od 2.1  $\mu\text{m}$  do 4.5  $\mu\text{m}$ , a maksymale poprawki do współrzędnych znaczków od 3.6  $\mu\text{m}$  do 8.8  $\mu\text{m}$ . Dla powyżej wymienionych zakresów pomiary przebiegały bez przeszkód, poza pojedynczymi przypadkami pomiaru znaczka przez operatora.

Dla stopnia kompresji 1:15 deformacje tekstury uniemożliwiły zarówno automatyczny jak i ręczny pomiar.

Dla piksela skanowania 60  $\mu\text{m}$  automatyczny pomiar nie był w pełni możliwy (więcej niż trzy znaczki były mierzone ręcznie), nawet dla obrazów bez kompresji. Linie tworzące znaczek tłowy mają tą samą szerokość co wielkość piksela i wskutek tego obrazy tego samego znaczka na kolejnych zdjęciach znacznie się różnią.

Z powyższego badania wynika, że :

- piksel skanowania 60  $\mu\text{m}$  jest zbyt duży dla celów automatycznego pomiaru. Pomimo tego, zdjęcia o tym pikselu zakwalifikowano do dalszych badań, a pomiar znaczków wykonano ręcznie;
- stopień kompresji 1:15, powoduje zbyt dużą degradację tekstury i nie jest możliwy do stosowania przy pomiarach fotogrametrycznych.

#### 3.2. Badanie dokładności pomiaru na obrazach niekompresowanych

Próbe tę przeprowadzono dwukrotnie dla czterech różnych wielkości piksela. W pierwszej z nich pomiar wykonano na specjalnie wybieranych punktach – na szczególnie wysokim kontraście w stosunku do otoczenia, np. prostokątnych załamaniach granicy

chodnika i trawnika lub kontrastowych, punktowych szczegółach, o średnicy od 5 do 15 pikseli. Dokładność pomiaru na takich szczegółach jest istotnie większa niż pomiaru na punktach gdzie tekstura w ich otoczeniu nie wykazuje znacznych zmian jasności. Taki pomiar nie nadaje się do zastosowania technologicznego, gdyż czas jego wykonania jest 2 do 4 razy dłuższy. Natomiast pozwala on ocenić łącznie - zdolność pomiarową zdjęć oryginalnych, jakość skanowania i metodę automatycznego pomiaru. Długi czas pomiaru wynika z długiego czasu wyboru punktu do pomiaru, gdyż poza warunkiem wysokiego kontrastu wymagane jest spełnienie innych warunków na wybór punktu, takich jak: zgodność z projektowym położeniem punktu; płaski fragment terenu; brak w pobliżu elementów pokrycia terenu lub obiektów poruszających się.

Drugą próbę wykonano przy warunku, że punkt powinien leżeć w pobliżu projektowego położenia, a czas na wybór i pomiar jednego punktu nie powinien przekraczać 1 minuty, co odpowiada warunkom produkcyjnym.

Należy dodać, że w pomiarze jednego stereogramu, w dwóch rejonach zaprojektowanych punktów występowała paralaksa szczątkowa o wielkości około 12  $\mu\text{m}$  - na zdjęciach skanowanych z każdą z czterech wielkości piksela. Pozwala to twierdzić, że zdjęcia oryginalne tego stereogramu posiadały lokalną deformację. Punkty te nie zostały usunięte z obliczeń.

Uzyskano następujące błędy średnie pomiaru współrzędnej tłowej, odpowiednio dla wielkości piksela skanowania :15, 22.5, 30 i 60  $\mu\text{m}$ :

- dla pomiaru na szczegółach o wysokim kontraście

2.4  $\mu\text{m}$       2.1  $\mu\text{m}$       2.2  $\mu\text{m}$       3.1  $\mu\text{m}$ ;

- dla pomiaru produkcyjnego:

2.9  $\mu\text{m}$       3.4  $\mu\text{m}$       3.3  $\mu\text{m}$       4.5  $\mu\text{m}$ .

Poszczególne wartości są średnią z wyników dla trzech stereogramów.

Porównanie wyników dla różnych wielkości piksela pozwala zauważyć, że:

- dla wielkości piksela 15, 22.5 i 30  $\mu\text{m}$  różnice między wartościami błędów nie przekraczają:

- 0.3  $\mu\text{m}$  ,t.j. ok. 15 % wielkości średniego błędu, przy pomiarze kontrastowych szczegółów;

- 0.5  $\mu\text{m}$ , tj. ok. 15 % wielkości średniego błędu, przy pomiarze produkcyjnym;

- dla wielkości piksela 60  $\mu\text{m}$  wyniki są gorsze niż dla trzech mniejszych pikseli, gdyż średnie błędy są większe od wartości uzyskanych dla mniejszych pikseli, odpowiednio o ok. 0.9  $\mu\text{m}$  ( 40% ) i o ok. 1.3  $\mu\text{m}$  (40%). Natomiast z porównania wartości błędów wyrażonych w ułamku piksela skanowania wynika, że względnie najlepszy wynik został osiągnięty właśnie dla piksela 60 $\mu\text{m}$ .

Z powyższych spostrzeżeń można wyciągnąć wniosek, że dla pikseli skanowania 15, 22.5 i 30  $\mu\text{m}$  głównym czynnikiem wpływającymi na wynik jest zdolność pomiarowa oryginalnych zdjęć lotniczych, a w mniejszym stopniu wielkość piksela w powiązaniu z dokładnością metody automatycznego pomiaru. Dla piksela 60  $\mu\text{m}$  dominacja wymienionych czynników jest przeciwna - większy jest wpływ wielkości piksela i metody pomiaru. Wniosek ten, oraz niemożność wykonania automatycznego pomiaru znaczków tłowych, pozwala twierdzić, że piksel 60  $\mu\text{m}$  jest zbyt duży.

Mały wpływ wielkości piksela na różnicę w dokładność pomiaru dla pikseli skanowania 15 i 30  $\mu\text{m}$ , potwierdzają wyniki badania aerotriangulacji OEEPE [Lammi, Sarjakoski, 1996], gdzie wyniki dla 30  $\mu\text{m}$  były gorsze tylko od 10% do 20% od wyników dla piksela 15  $\mu\text{m}$ .

### 3.3. Badanie wpływu jednokrotnej kompresji obrazu

Pomiary wykonano dla 3 stereogramów, pikseli skanowania 15, 22.5 i 30  $\mu\text{m}$  oraz dla 6 stopni kompresji zdjęć od 1:3 do 1:10. Pomiary wykonano w sposób zbliżony do produkcyjnego, tak jak to opisano w punkcie 3.2..

W trakcie pomiarów notowano liczbę niepowodzeń – przekroczenie wielkości założonego średniego błędu pomiaru - 0.12 piksela.

Dla piksela 30  $\mu\text{m}$  i stopnia kompresji 1:10, pomiaru nie można było wykonać z powodu zbyt dużej liczby powtórzeń pomiarów wynikającej z degradacji tekstury. Dla pozostałych wszystkich stereogramów liczba punktów które należało ponownie wybrać i pomierzyć, nie przekraczała 5 na stereogramie.

Z analizy średnich błędów współrzędnych tłowych, wynika że mieszczą się one wszystkie w przedziale od 2.9  $\mu\text{m}$  do 3.6  $\mu\text{m}$ . Porównując te wyniki z wynikami pomiarów uzyskanych na obrazach bez kompresji, można powiedzieć że w badanych zakresach zmienności - stopnia kompresji i wielkości piksela skanowania (za wyjątkiem stereogramów z pikselem 30  $\mu\text{m}$  i stopniem 1:10), dokładności pomiarów różnią się niewiele i bez widocznego związku ze stopniem kompresji.

Obserwacje tekstury obrazu, przy powiększeniu ok. 50 razy, pozwalają zauważyć, że dla piksela 15  $\mu\text{m}$  degradacja uwidacznia się przy stopniu kompresji 1 : 4.0. Dla piksela 30  $\mu\text{m}$  jest już ona zauważalna przy stopniu 1 : 3.0. Przy większych stopniach widać również zarysy bloków kompresji.

Z badania wynika, że:

- stopień kompresji 1:7 można stosować, choć przy dużych powiększeniach obrazu są widoczne zarysy bloków kompresji;
- stopień kompresji 1:10 jest zbyt duży, gdyż dla piksela 30  $\mu\text{m}$  pomiar był niemożliwy. Powyższe stwierdzenie jest bardziej rygorystyczne niż wnioski z badań podanych w publikacji: [Jaakkola, Sarjakoski, 1996], gdzie autorzy zajmowali się zmianami położenia szczegółów liniowych na zdjęciach kompresowanych JPEG, a zadowolający wynik dała kompresja 1:10.

### 3.4. Badanie wpływu powtórnej kompresji obrazu

Badanie wykonano dla jednego stereogramu, pikseli skanowania 15 i 30  $\mu\text{m}$  oraz 5 stopni kompresji, od 1:3 do 1:7. Z obrazu zdjęcia lotniczego, (które wcześniej było kompresowane), obcinano 4 początkowe linie i 4 początkowe kolumny pikseli, a następnie obraz kompresowano i zapisywano do zbioru dyskowego. Pomiar współrzędnych tłowych wykonano w sposób produkcyjny – tak jak to już wcześniej opisano.

Dla piksela skanowania 15  $\mu\text{m}$  i stopnia kompresji 1:7, pomiaru nie dało się wykonać ze względu na zbyt dużą degradację tekstury. Dla piksela 30  $\mu\text{m}$  pomiary powiodły się tylko dla stopni kompresji 1:3 i 1:3.5 – dla stopni : 1:4.0, 1:5.0 i 1:7.0 nie były one możliwe.

Błędy średnie współrzędnych tłowych, znajdują się w przedziale od 2.3  $\mu\text{m}$  do 4.3  $\mu\text{m}$ .

Z obserwacji zmian tekstury wynika, przy powiększeniu ok. 50 razy, że dla piksela 15  $\mu\text{m}$  wyraźne zmiany tekstury można dostrzec dla stopnia kompresji 1:4. Dla piksela 30  $\mu\text{m}$  łatwo zauważalne różnice występują już dla stopnia 1:3.0.

Badanie pozwala twierdzić, że powtórna kompresję obrazu można stosować dla stopni 1:3.0 i 1:3.5. Większe stopnie powodują widoczne zmiany w obrazie lub uniemożliwiają automatyczny pomiar.

W publikacji [Kern, Carswell, 1996] autorzy podają wyniki badania dotyczące automatycznego pomiaru numerycznego modelu terenu na zdjęciach kompresowanych JPEG, ze stopniem kompresji 1:3, jednak nie podali czy obrazy epipolarne były kompresowane. Pomiary numerycznego modelu terenu wykazały, że kompresja nie pogorszyła dokładności wyników.

## 4. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań, mimo iż nie wyczerpują wszystkich aspektów omawianych zagadnień (np. kompresja barwnych zdjęć lotniczych), można określić wartości parametrów dla ich technologicznego stosowania.

Wielkość piksela skanowania zdjęć powinna znajdować się w przedziale od 15  $\mu\text{m}$  do 30  $\mu\text{m}$ . Przy wyborze wielkości należy brać pod uwagę: zdolność pomiarową oryginalnych zdjęć; wrażliwość stosowanej metody automatycznego pomiaru na rozmiar piksela, jak również dalsze etapy opracowania zdjęć lotniczych np. wielkość piksela z jaką będzie wytwarzana ortofotomapa.

Stopień kompresji obrazu zdjęcia lotniczego powinien być wybierany w zależności od stosowanej technologii pomiaru:

- przy jednokrotnej kompresji, dla piksela skanowania 15 i 22,5  $\mu\text{m}$  można stosować maksymalny stopień 1:7, a dla piksela 30  $\mu\text{m}$  stopień 1:5;
- przy stosowaniu powtórnej kompresji - przy stosowaniu kompresji obrazów epipolarnych - nie powinien być on większy niż 1:3.5 dla piksela 15  $\mu\text{m}$  i 1:3.0 dla piksela 30  $\mu\text{m}$ .



Automatyczne przeniesienie punktu na zdjęcie sąsiednie i pomiar współrzędnych tłowych metodą LSM, na zdjęciach dobrej jakości, pozwala na uzyskanie dokładności ok. 3.2  $\mu\text{m}$ .

## Literatura

1. Algarni D.A., 1996, *Compression of remotely sensed data using JPEG*, XVIII Congress ISPRS, Wiedeń;
2. Kern Ph. F., Carswell J.D., 1996, *An investigation into the use of JPEG image compression for digital photogrammetry: Does the compression images affect measurement accuracy?*, Internet - intergraph.com;
3. *Chip special, 1996, Obrazy cyfrowe*, Vogel Publishing;
4. Förstner W., 1995, *Matching strategies for point transfer*, Photogrammetric Week' 95, Wichmann Verlag;
5. Harvey P., Kubic K., 1996, *Experimental study of optimal digital mapping parameters*, XVIII Congress ISPRS, Wiedeń;
6. Heipke Ch., 1996, *Automation of interior, relative and absolute orientation*, XVIII Congress ISPRS, Wiedeń;
7. Intergraph, 1996, *The Image Station Digital Photogrammetry Workflow*, Internet - intergraph.com;
8. *Intergraph, 1996, Photoscan: Photo scanning system*, Internet - intergraph.com;
9. *Intergraph, 1994, ImageStation Digital Mensuration — user's guide*;
10. *Intergraph, 1994, ImageStation Auto Orto — user's guide*;
11. Jaakkola J., Sarjakoski T., 1996, *OEEPE research project aerotriangulation using digitized images. Final result*. XVIII Congress ISPRS, Wiedeń;
12. Lammi J., Sarjakoski T., 1995, *Image compression by the JPEG algorithm*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 10/1995;
13. Lane T., 1994, *FAQ — JPEG*, Electronic mail of the independent JPEG Group, tgl@netcom.com;
14. Madani M., 1997, *Intergraph integrated NT — Digital photogrammetry system*, Internet - intergraph.com;
15. Pawełczyk P., 1996, *OLiVR — trójwymiarowa przyszłość Internetu — tendencje*, Enter 1/96;
16. Schenk T., 1996, *Digital aerial triangulation*, XVIII Congress ISPRS, Wiedeń;
17. Wrzaskała W., 1997, *Ujarzmić piksele — tendencje, formaty plików*, Chip 3/97;

18. Zabrodzki J. i inni, 1994, *Grafika komputerowa*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa;
19. Zeiss, 1997, *Photogrammetry user meeting*, Oberkochen;
20. Ziobro J., 1997, *Analiza parametrów orientacji przy cyfrowym opracowaniu zdjęć lotniczych*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, 1997, Zeszyt 95.

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa