

JAN ZIOBRO
ROMUALD KACZYŃSKI

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

ZARYS TREŚCI: Przedstawiono badania dotyczące wpływu kompresji obrazu metodą JPEG i wielkości piksela skanowania na automatyczny pomiar na zdjęciach lotniczych.

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 fotogrametrycznych¹.

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 r. 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 stosowane 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 r., 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.

¹ Pracę wykonano w ramach grantów KBN nr 9T12E00211 i nr 9T12E00713.

Obecnie procesory JPEG są produkowane przez parę firm, nie tylko do kompresji pojedynczych obrazów, ale również do 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 publikacjach², w niniejszej będą przytoczone tylko te cechy, które są istotne dla omawianych badań. Taką cechą JPEG jest jej stratność powodująca tym większą degradację obrazu, im większy stopień kompresji chcemy uzyskać.

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 tym 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; zwracają na to uwagę Kern i Carswell [1996].

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

Drugim celem badań było określenie wpływu wielkości piksela skanowania na dokładność wyników pomiaru metodami automatycznymi (półautomatycznymi). 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; zastosowanie zbyt drobnego piksela znacznie wydłuża czas opracowań.

² Np. Algarni [1996], Kern [1996], Chip special [1996], Lane [1994], Zabrodzki [1994].

2. METODYKA

Badanie oparto na analizach 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 przypadku zbyt dużej kompresji uniemożliwia pomiar tą metodą (dla założonej dokładności).

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

- liczba pomiarów, które się nie powiodły wskutek nieosiągnięcia założonej dokładności wyznaczenia punktu na drugim zdjęciu stereogramu, tj. 0,12 wielkości piksela;
- statystyczna ocena wyniku orientacji wzajemnej zdjęć stereogramu.

W automatycznym, interaktywnym pomiarze niepowodzenie pomiaru na danym punkcie powoduje, że operator wybiera do pomiaru inny punkt. 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 cyfrowej fotogrametrycznej na obrazach z powtórna 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 zdjęciach powtórnie skompresowanych automatycznie pomierzono współrzędne tłowe i przeprowadzono ocenę pomiaru w taki sam sposób jak opisano wcześniej. Taki przebieg nie odpowiada produkcyjnemu przebiegowi pomiaru, jednak ocena skutków kompresji jest wolna od wielu czynników ubocznych zniekształcających wynik badania. Wystąpiłyby one gdyby badanie oparto na ocenie dokładności automatycznie pomierzonych wysokości.

Badanie skutków kompresji obrazu poprzedziły trzy 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 szerokość 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 na celu:

- 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 cechujące 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.

Trzecie badanie dotyczyło związku między współczynnikiem kompresji Q , stosowanym w oprogramowaniu firmy Intergraph, a uzyskiwanym stopniem kompresji obrazu, to znaczy stosunkiem wielkości zbioru z obrazem po kompresji do wielkości zbioru z obrazem niekompresowanym.

Materiałem badawczym były zdjęcia wykonane kamerą LMK 3000 firmy Zeiss (o odległości obrazu 152 mm), czarno-białe negatywy terenu podmiejskiego i wielkomiejskiego, w skali 1:6 200. Ten typ zdjęć wybrano ze względu na 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 μm , 22,5 μm , 30 μm i 60 μm ; 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-cube 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. 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:

- związku między współczynnikiem kompresji Q a stopniem kompresji;
- pomiaru znaczków tłowych;
- dokładności pomiaru na obrazach niekompresowanych;
- pomiaru na obrazach jednokrotnie kompresowanych;
- pomiaru na obrazach powtórnie kompresowanych.

3.1. Badanie zależności między współczynnikiem kompresji Q a stopniem kompresji obrazu

Współczynnik Q służy do skalowania macierzy kwantyzacji i tym samym do zmiany stopnia kompresji obrazu, liczonego jako stosunek wielkości zbioru z obrazem po kompresji do wielkości zbioru z obrazem niekompresowanym. Badanie miało na celu określenie zależności między współczynnikiem Q stosowanym w systemie ImageStation i stopniem kompresji uzyskiwanym dla zdjęć użytych do badań. Stopień kompresji (lub jego odwrotność) pozwala na porównanie z wynikami uzyskiwanymi w systemach fotogrametrycznych z inaczej zdefiniowanym współczynnikiem kompresji.

Doświadczenie wykonano kompresując zdjęcie 419 ze współczynnikiem Q w zakresie od 23 do 204, dla 4 wielkości piksela skanowania. Wyniki są zestawione w tabeli 1. Porównano również stopnie kompresji dwóch zdjęć o różnym charakterze fotografowanego terenu : zdjęcie 419 z terenem podmiejskim i zdjęcie 434 z terenem miejskim i wielkoprzemysłowym, zdjęcia te były skanowane pikselem $30 \mu\text{m}$. Wyniki zamieszczone są w tabeli 2. W badaniu z obrazów zdjęć lotniczych obcięto ramki tłowe.

Tabela 1. Stopień kompresji uzyskany w zależności od współczynnika Q i od wielkości piksela skanowania

Q	$15 \mu\text{m}$	$22,5 \mu\text{m}$	$30 \mu\text{m}$	$60 \mu\text{m}$
23	1:2,9	1:3,1	1:3,0	1:3,0
29	3,4	3,6	3,5	3,5
35	3,9	4,2	4,0	4,0
49	5,0	5,4	5,0	5,0
76	7,1	7,6	7,0	7,0
123	10,3	10,9	10,0	10,1
204	15,8	16,9	15,0	15,4

*Tabela 2. Stopień kompresji dla zdjęć o różnym charakterze fotografowanego terenu:
teren podmiejski - zdjęcie 419;
teren miejski i wielkoprzemysłowy - zdjęcie 434*

<i>Q</i>	<i>zdjęcie 419</i>	<i>zdjęcie 434</i>
20	1:2,71	1:2,76
25	3,15	3,21
30	3,53	3,59
35	3,92	3,97
40	4,32	4,36
50	5,19	5,18
60	5,89	5,83
70	6,61	6,50
90	8,01	7,80
110	9,31	9,02
130	10,68	10,23
150	12,07	11,47
170	13,28	12,49
190	14,72	13,62
210	16,01	14,72

Z analizy wyników można wyciągnąć następujące wnioski:

- stopień kompresji, dla zdjęć użytych do badania, praktycznie nie zależy od wielkości piksela skanowania;
- stopień kompresji dla zdjęcia terenu podmiejskiego i dla zdjęcia terenu miejskiego przy tym samym współczynniku Q jest praktycznie jednakowy;
- zależność między współczynnikiem Q a stopniem kompresji jest liniowa.

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

Orientację wewnętrzną zdjęć przeprowadzono na podstawie o automatycznego pomiaru 8 znaczków tłowych. Do przeliczenia współrzędnych obrazowych na współrzędne tłowe i do korekcji skurczu zdjęcia była stosowana transformacja afiniczna. Pomiarzy 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 μm średnie błędy mieściły się w przedziale od 2,1 μm do 4,5 μm , a maksymalne poprawki do współrzędnych znaczków od 3,6 μm do 8,8 μm . 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 μm automatyczny pomiar nie był w pełni możliwy (więcej niż trzy znaczki były mierzone ręcznie), nawet dla obrazów bez kompresji. Linie tworzące znaczek tłowy mają tę 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 μm jest zbyt duży dla celów automatycznego pomiaru; pomimo to, 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.

3.3. Badanie dokładności pomiaru na obrazach niekompresowanych

Próbie tę przeprowadzono dwukrotnie dla czterech różnych wielkości piksela. W pierwszej z nich pomiar wykonano na specjalnie wybieranych punktach - na szczegółach o 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 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, takich jak: zgodność z projektowym położeniem punktu, płaski fragment terenu, brak w pobliżu elementów pokrycia terenu lub obiektów poruszających się w trakcie wykonywania zdjęć lotniczych.

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 (433-434) w dwóch rejonach zaprojektowanych punktów występowała paralaksa szczątkowa o wielkości około 12 μm , 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.

Wyniki zostały zestawione w tabelach 3 i 4. W tabelach zamieszczono średnie błędy współrzędnej tłowej dla danego stereogramu i wielkości piksela skanowania. W ostatnim wierszu podano wartości średnie błędów liczone z wyników trzech stereogramów. Można zauważyć, że odchylenia od średniej sięgają nawet 50% jej wartości. Wielkość średniego błędu podano w dwóch miarach: górna jest wyrażona w mikrometrach, dolna w ułamku piksela, którym skanowano zdjęcie lotnicze.

Uzyskano następujące średnie błędy pomiaru współrzędnej tłowej, odpowiednio dla wielkości piksela skanowania: 15, 22,5, 30 i 60 μm :

- dla pomiaru na szczegółach o wysokim kontraście

2,4 μm	2,1 μm	2,2 μm	3,1 μm
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------
- dla pomiaru produkcyjnego:

2,9 μm	3,4 μm	3,3 μm	4,5 μm .
-------------------	-------------------	-------------------	---------------------

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 μm różnice między wartościami błędów nie przekraczają:
 - 0,3 μm , t. j. ok. 15 % wielkości średniego błędu przy pomiarze kontrastowych szczegółów;
 - 0,5 μm , tj. ok. 15 % wielkości średniego błędu przy pomiarze produkcyjnym;
- dla wielkości piksela 60 μm wyniki są gorsze niż dla trzech mniejszych pikseli, gdyż średnie błędy są większe od wartości uzyskanych dla mniejszych pikseli, odpowiednio o ok. 0,9 μm (40%) i o ok. 1,3 μm (40%); natomiast z porównania wartości błędów wyrażonych w ułamku piksela skanowania wynika, że względnie najlepszy wynik został osiągnięty właśnie dla piksela 60 μm .

Z powyższych spostrzeżeń można wyciągnąć wniosek, że dla pikseli skanowania 15, 22,5 i 30 μm głównym czynnikiem wpływającym na wynik jest zdolność pomiarowa oryginalnych zdjęć lotniczych, a w mniejszym stopniu wielkość piksela w powiązaniu z dokładnością metody automatycznego pomiaru. Dla piksela 60 μm 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 μm jest zbyt duży.

Mały wpływ wielkości piksela na różnicę w dokładności pomiaru dla pikseli skanowania 15 i 30 μm potwierdzają wyniki badania aerotriangulacji OEEPE (Lammi, Sarjakoski [1996]), w którym wyniki dla 30 μm były gorsze tylko od 10% do 20% od wyników dla piksela 15 μm .

Tabela 3. Średnie błędy współrzędnej tłowej w pomiarze na szczegółach o wysokim kontraście

	15 μm	22 μm	30 μm	60 μm
419-420	1,9	1,7	1,8	1,7
	0,12	0,08	0,06	0,03
427-428	1,5	1,3	0,9	3,6
	0,10	0,06	0,03	0,06
433-434	3,8	3,3	3,8	4,1
	0,25	0,15	0,13	0,07
średnia	2,4	2,1	2,2	3,1
	0,16	0,09	0,07	0,05

Tabela 4. Średnie błędy współrzędnej tłowej w pomiarze produkcyjnym

	15 μm	22 μm	30 μm	60 μm
419-420	3,1	2,2	3,4	5,0
	0,21	0,10	0,11	0,08
427-428	2,2	4,3	2,3	3,8
	0,15	0,19	0,07	0,06
433-434	3,3	3,6	4,1	4,6
	0,22	0,16	0,13	0,08
średnia	2,9	3,4	3,3	4,5
	0,19	0,15	0,11	0,07

3.4. Badanie wpływu jednokrotnej kompresji obrazu

Pomiary wykonano dla trzech stereogramów, pikseli skanowania 15, 22,5 i 30 μm oraz dla sześciu 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, tj. 0,12 piksela.

Wartości średnich błędów współrzędnej tłowej, w mikrometrach, zestawiono w tabelach 5, 6 i 7. W górnych wierszach tabel podano wartość stopnia kompresji i odpowiadającego mu współczynnika Q, z jakimi były kompresowane zdjęcia danego stereogramu. W pierwszych kolumnach wyników, pod nagłówkiem "1:1", zamieszczone są wartości średniego błędu uzyskane dla zdjęć niekompresowanych. W ostatnich wierszach tabel podano średnie wartości błędu z pomiaru trzech stereogramów.

W celu zilustrowania degradacji tekstury obrazu spowodowanej kompresją JPEG zamieszczono trzy przykłady tekstur zdjęć skanowanych pikselem o wielkości 15 μm . Pierwszy z nich przedstawia teksturę obrazu niekompresowanego. Dwa pozostałe są teksturami obrazów kompresowanych o akceptowalnym, maksymalnym stopniu kompresji.

Przykład drugi przedstawia teksturę obrazu jednokrotnie kompresowanego, o stopniu 1:7. Na obrazie można dostrzec zarysy bloków kompresji i znaczne zmiany tekstury, szczególnie we fragmentach o małym kontraście. Natomiast obrazy krawędzi szczegółów sytuacyjnych wydają się być nie zmienione.

Przykład trzeci przedstawia teksturę obrazu powtórnie kompresowanego, o stopniu kompresji 1:3,5. Na obrazie nie widać zarysów bloków kompresji, można jednak dostrzec zmiany w teksturze we fragmentach obrazu o małym kontraście.

Dla piksela 30 μm 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 μm do 3,6 μm , (ostatnie wiersze tabel). Porównując te wyniki z wynikami pomiarów uzyskanych na obrazach bez kompresji można powiedzieć, że w badanych zakresach zmienności, stopnia kompresji i wielkości piksela skanowania dokładności pomiarów różnią się niewiele i bez widocznego związku ze stopniem kompresji.

W ustalaniu akceptowalnego stopnia kompresji pominięto największą jego wartość zakładając, że jest to wartość graniczna, we wnioskach podano wartość niższą.

Obserwacje tekstury obrazu, przy powiększeniu ok. 50 razy, pozwalają zauważyć, że dla piksela 15 μm degradacja uwidacznia się przy stopniu kompresji 1:4. Dla piksela 30 μm jest już ona zauważalna przy stopniu 1:3. Przy większych stopniach pojawiają się 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 μm pomiar był niemożliwy; powyższe stwierdzenie jest bardziej rygorystyczne, niż wniosek z badań podanych w publikacji: Jaakkola, Sarjakoski [1996], w której autorzy zajmowali się zmianami położenia szczegółów liniowych na zdjęciach kompresowanych JPEG, a zadowalający wynik dała kompresja 1:10.

Tabela 5. Średnie błędy współrzędnej tłowej dla zdjęć skanowanych pikselem 15 μm

	1:1	1:3	1:3,5	1:4,0	1:5,0	1:7	1:10
	1	23	29	35	49	76	123
419 – 420	3,1	3,9	2,3	3,2	3,8	3,1	2,7
427 – 428	2,2	2,6	3,1	2,9	2,5	3,2	2,4
433 – 434	3,3	3,9	4,2	4,0	3,7	3,8	4,1
<i>średnia</i>	2,9	3,5	3,2	3,4	3,3	3,4	3,1

Tabela 6. Średnie błędy współrzędnej tłowej dla zdjęć skanowanych pikselem 22,5 μm

	1:1	1:3	1:3,5	1:4,0	1:5,0	1:7	1:10
	1	23	29	35	49	76	123
419 – 420	2,2	3,3	3,7	3,5	2,2	2,5	2,9
427 – 428	4,3	2,3	2,1	2,6	2,9	2,4	2,6
433 – 434	3,6	4,0	3,5	3,9	4,7	3,9	5,3
<i>średnia</i>	3,4	3,2	3,1	3,3	3,3	2,9	3,6

Tabela 7. Średnie błędy współrzędnej tłowej dla zdjęć skanowanych pikselem 30 μm

	1:1	1:3	1:3,5	1:4,0	1:5,0	1:7	1:10
	1	23	29	35	49	76	123
419 – 420	3,4	3,2	3,3	2,7	3,3	2,4	--
427 – 428	2,3	3,1	1,9	3,6	3,1	2,5	--
433 – 434	4,1	3,8	3,5	3,9	4,0	4,5	--
średnia	3,3	3,4	2,9	3,4	3,5	3,1	--

3.5. Badanie wpływu powtórnej kompresji obrazu

Badanie wykonano dla jednego stereogramu (427-428), pikseli skanowania 15 i 30 μm oraz pięciu stopni kompresji od 1:3 do 1:7. Z obrazu zdjęcia lotniczego (które wcześniej było kompresowane) obcinano cztery początkowe linie i cztery początkowe kolumny pikseli, a następnie obraz kompresowano, przy współczynniku kompresji Q o tej samej wartości jak w pierwszej kompresji, i zapisywano do zbioru dyskowego. Powtórna kompresja z tym samym Q daje praktycznie taki sam stopień kompresji jak w pierwszej kompresji. Pomiar współrzędnych tłowych wykonano w sposób produkcyjny - tak jak to już wcześniej opisano. Wartości średnich błędów współrzędnej tłowej, w mikrometrach, zestawiono w tabelach 8 i 9. W pierwszej kolumnie, pod nagłówkiem "1:1", zamieszczone są wartości średniego błędu uzyskane dla zdjęć niekompresowanych.

Dla piksela skanowania 15 μm i stopnia 1:7 pomiaru nie udało się wykonać ze względu na zbyt dużą degradację tekstury. Dla piksela 30 μm pomiary powiodły się tylko dla stopni 1:3 i 1:3,5, dla pozostałych były niemożliwe.

Z obserwacji zmian tekstury przy powiększeniu ok. 50 razy wynika, że dla piksela 15 μm i dla stopni kompresji 1:4 i 1:5 zmiany tekstury są znacznie wyraźniejsze niż dla dwóch mniejszych stopni, szczególnie dla fragmentów obrazu o mało zróżnicowanej teksturze. Dla piksela 30 μm tak samo należy ocenić zmiany tekstury obrazu przy stopniu kompresji 1:3,5.

Badanie pozwala stwierdzić, że powtórna kompresję obrazu można stosować dla stopni 1:3,0 dla piksela skanowania 30 μm i 1:3,5 dla piksela 15 μm . Większa kompresja powoduje widoczne zmiany w obrazie lub uniemożliwia 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 zaznaczyli, czy obrazy epipolarne były kompresowane. Pomiary numerycznego modelu terenu wykazały, że kompresja nie pogorszyła dokładności wyników.

Tabela 8. Średnie błędy współrzędnej tłowej dla zdjęć skanowanych pikselem 15 μm i powtórnie kompresowanych

stopień kompresji	1:1	1:3	1:3.5	1:4	1:5	1:7
średni błąd współrzędnej tłowej	2,2	3,2	3,9	3,7	2,3	--

Tabela 9. Średnie błędy współrzędnej tłowej dla zdjęć skanowanych pikselem 30 μm i powtórnie kompresowanych

stopień kompresji	1:1	1:3	1:3.5	1:4	1:5	1:7
średni błąd współrzędnej tłowej	2,3	3,2	4,3	--	--	--

4. PODSUMOWANIE

Mimo, że przeprowadzone badania nie wyczerpują wszystkich aspektów omawianych zagadnień (np. kompresja barwnych zdjęć lotniczych), można określić na ich podstawie wartości parametrów dla ich technologicznego stosowania.

Wielkość piksela skanowania zdjęć powinna znajdować się w przedziale od 15 do 30 μm . Przy wyborze 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 μm można stosować maksymalny stopień 1:7, a dla piksela 30 μm stopień 1:5;
- przy stosowaniu powtórnej kompresji, przy stosowaniu kompresji obrazów epipolarnych, stopień ten powinien być nie większy niż 1:3,5 dla piksela 15 μm i 1:3,0 dla piksela 30 μm .

Automatyczne przeniesienie punktu na zdjęcie sąsiednie i pomiar współrzędnych tłowych metodą LSM, na zdjęciach dobrej jakości, pozwala na uzyskanie dokładności ok. 3,2 μm .







LITERATURA

1. Algarni D.A. [1996]: *Compression of remotely sensed data using JPEG*. Vienna: XVIII Congress ISPRS.
2. Carswell J.D., Kern Ph. F. [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*. Vienna: XVIII Congress ISPRS.
6. Heipke Ch. [1996]: *Automation of interior, relative and absolute orientation*. Vienna: XVIII Congress ISPRS.
7. Intergraph [1996]: *The Image Station Digital Photogrammetry Work flow*. 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. Vienna: XVIII Congress ISPRS.
12. Lammi J., Sarjakoski T. [1995]: *Image compression by the JPEG algorithm*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Nr 10.
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 Nr 1.
16. Schenk T. [1996]: *Digital aerial triangulation*. Vienna: XVIII Congress ISPRS.
17. Wrzaskała W. [1997]: *Ujarzmić piksele - tendencje, formaty plików*. Chip Nr 3.
18. Zabrodzki J. i inni [1994]: *Grafika komputerowa*. Warszawa: WNT.
19. Zeiss [1997]: *Photogrammetry user meeting*. Oberkochen.
20. Ziobro J. [1997]: *Analiza parametrów orientacji przy cyfrowym opracowaniu zdjęć lotniczych*. Prace IGIK, z. 95.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Andrzej Majde

JAN ZIOBRO
ROMUALD KACZYŃSKI

ANALYSIS OF IMPACT OF COMPRESSION DEGREE
OF DIGITAL IMAGE AND SCANNING APERTURE
ON AUTOMATED MEASUREMENTS

S u m m a r y

Results of studies concerning two parameters important for digital photogrammetry: degree of compression of photographs scanned by JPEG method and size of scanning pixel were presented in the article. These parameters were analysed due to their impact on accuracy of semi-automatic photogrammetric measurements.

Compression of the scanned aerial photographs by JPEG method is applied by companies, which produce photogrammetric hardware and software: Intergraph and recently Zeiss. Loss of image quality, dependent on degree of compression, is the essential feature of the method. Equally important is cumulation of image degradation in case of double compression - when size of image is changed or resampling is done - which often happens in digital photogrammetry. The last feature is omitted in photogrammetric publications concerning JPEG; it was discussed in this article.

Range of degree of compression acceptable in digital photogrammetry, which does not influence accuracy of measurements, varies according to literature quite widely: from 1:3 to 1:10. Moreover, it is given in different way: as percent of image degradation or as coefficient of scaling quantization matrix.

Determination of the highest degree of image compression, acceptable for automated measurements, was the first aim of this study.

The second objective of the study was related to determination of impact of size of scanning pixel on accuracy of measurements done by automated (semi-automated) method.

The examinations were based on accuracy analysis of automated measurements of coordinates of fiducial marks. In order to make automated measurement, the texture around the measured point on a stereopair must be similar. JPEG compression disturbs image texture and in consequence directly influences accuracy of measurements of coordinates; in extreme cases it does not allow to make measurements with this method. The determination of accuracies obtained with the use of least square matching (LSM) method was studied in further works.

Assessment of accuracy of relative orientation of aerial photographs forming stereopair was assumed as a base for evaluating measurement accuracy for varying degree of image compression. Inner and relative orientation are done

at the beginning, and their accuracy is of crucial importance for final products of digital photogrammetry.

Photographs taken with high-quality, Zeiss LMK 3000 aerial camera - black-and-white negative images of sub-urban and urban area at a scale of 1:6200 - were used for examinations. In total 3 stereopairs were utilised (6 photographs).

Relative orientation was done for each stereopair, for different pixel sizes and degrees of compression. Orientation has been performed on the basis of 20 measured points, evenly distributed within stereopair, using 4x5 point grid; it ensured high level of extra observations. Measurements were done on the digital plotter Image Station 6487 interactively - operator selected point for measurement on one photo, while precise transfer of this point to the second photo and measurement of coordinates was carried out automatically, using LSM method.

The second part of study dealt with impact of cumulating degradation of image texture during its double compression. This problem exists, when epipolar (normalised) images are created from scanned and compressed photographs. In this stage called stereosampling stereoscopic, nadir, distortion and earth curvature free images, with image lines parallel to stereopair base, are formed. Epipolar image also can be JPEG compressed - but this is the double compression. Resulting in cumulation of image texture degradation, as its geometry is different from the scanned photo. Epipolar images as disk files appear in older systems. In new systems these images exist only as temporary files, owing to high efficiency of image processors, so there no need to compress them.

The following parameter values can be determined on the basis of the described examinations, although the study is not fully complete (it does not cover problem of compression of colour aerial photographs):

Size of scanning pixel should be between 15 and 30 μm . While selecting it, the following aspects should be taken into account: resolution of original photographs, sensitivity of the method of automated measurement on pixel size, as well as further steps of elaboration of aerial photographs, e.g. pixel size for orthophotomap.

Degree of compression should be selected, depending on the applied method of measurement:

- for single compression and 15 - 22.5 μm pixel size 1:7 maximum degree of compression can be applied; for 30 μm pixel size - 1:5.
- for double compression of epipolar images the degree of compression should not exceed 1:3.5 (for 15 μm pixel size) and 1:3 (for 30 μm pixel size).

Automatic transfer of point to the adjacent photo and measurement of coordinates of fiducial marks with the use of LSM method enables to achieve the following accuracies:

- 0.16 of pixel size - for 15 μm scanning pixel;
- 0.10 of pixel size

Translation: Zbigniew Bochenek

ЯН ЗИОБРО
РОМУАЛЬД КАЧИНЬСКИ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ КОМПРЕССИИ
ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
И АППРЕТУРЫ СКАНИРОВАНИЯ
НА ПОСЛЕДУЮЩЕЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Резюме

Представлено описание и результаты исследований, касающихся двух важнейших параметров для технологии цифровой фотограмметрии: степени убыточной компрессии снимков, сканированных методом JPEG, и величины пикселя сканирования аэрофотоснимков. Эти параметры были анализированы ввиду их влияния на точность полуавтоматических фотограмметрических измерений.

Компрессия сканированных аэрофотоснимков методом JPEG используется фирмами, производящими фотограмметрическое оборудование и программное обеспечение: Intergraph и с недавних пор Zeiss. Существенной чертой компрессии JPEG является её убыточность, вызывающая деградацию изображения тем большую, чем большую степень компрессии мы хотим получить. Второй существенной чертой метода является нагромождение деградации в случае повторной компрессии изображения - при изменённых размерах изображения или при переопробовании изображения - а такая ситуация имеет место в технологии цифровой фотограмметрии. Эта последняя черта обходится в фотограмметрических публикациях на тему JPEG, а рассматривается в данной статье.

Как возможная для применения в цифровой фотограмметрии степень компрессии - не вызывающая ухудшения результатов измерения - даются в литературе значения довольно широкого интервала: от 1:3 до 1:10. Кроме того даются они в разных мерах: в процентах деградации изображений, в величинах коэффициентов шкалы матрицы квантизации.

Первой целью исследований было определение самой большой степени компрессии изображения, при которой ещё возможно автоматическое измерение.

Второй целью исследования было определение влияния величины пикселя сканирования на точность результатов измерения автоматическим (полуавтоматическим) методом.

Исследования были основаны на анализе точности автоматических измерений координат меток. Автоматическое измерение требует сходства пиксельной структуры (текстуры) вокруг измеряемой точки на двух снимках, составляющих стереограмму. Компрессия JPEG нарушает текстуры и этим самым непосредственно влияет на точность измерения координат, а в крайнем случае - при слишком большой компрессии - делает невозможным измерение этим методом. Следующей целью исследования было определение точности получаемых автоматическим методом измерений "least squares matching" (LSM).

В качестве меры точности измерений, выполненных при изменяющейся степени компрессии снимка и величине пикселя, принято оценку точности взаимной ориентировки снимков, составляющих стереограмму аэроснимков. Внутренняя и взаимная ориентировки являются начальными измерениями, а их точность имеет основное влияние на точность финальных продуктов фотограмметрической технологии.

Материалом исследования были снимки, выполненные камерой высокого качества LMK 3 000 фирмы Zeiss - чёрнобелые негативы городской и пригородной местности в масштабе 1:6 200. Для исследований были взяты три стереограммы (6 снимков).

Для данной стереограммы, величины пикселя и коэффициент компрессии была проведена взаимная ориентировка. Ориентирование производилось на основе 20 измеренных точек, расположенных на поверхности всей стереограммы, в виде сетки 4 на 5 точек, что обеспечивало высокий уровень сверх положенного количества измерений. Измерения производились на цифровом автографе ImageStation 6487 интерактивным способом - оператор выбирал точку для измерения на одном снимке, а точное перенесение точки на другой снимок стереограммы измерение координат проводилось автоматически методом LSM.

Вторая часть исследования касалась влияния нагромождения последствий деградации текстуры изображения при повторной его компрессии. Речь идёт именно о том этапе технологии, в котором из сканированных и компрессированных снимков образуются эпиполярные (нормализованные) изображения. Этот этап, называемый стерео ресемплингом, заключается в создании стереоскопических изображений строго вертикальных, лишённых деформаций, вызванных дисторсией и кривизной земли, а также с линиями изображений параллельными к базису стереограммы. Эпиполярное изображение тоже может быть компрессировано методом JPEG - причём это является повторной компрессией изображения, с последствием накопления деградации текстуры, ибо его геометрия является другой, чем сканированного снимка. Эпиполярные изображения как дисковые файлы (множества) выступают в системах несколько старших. В новых системах эпиполярные изображения существуют лишь как временные файлы, благодаря большой производительности процессоров изображения, так что отсутствует потребность их компрессирования.

На основе результатов исследования, несмотря на то, что они не исчерпывают всех аспектов рассматриваемых вопросов (например, компрессия цветных аэрофотоснимков), можно определить величины параметров для их технологического применения.

Величина пикселя сканирования снимков должна находиться в интервале от 15 μm до 30 μm . При выборе величины следует учитывать: разрешающую способность оригинальных снимков; чувствительность применяемого метода автоматического измерения на величину пикселя, как и дальнейшие этапы обработки аэрофотоснимков, например, величину пикселя, с которой будет создаваться ортофотокарта.

Степень компрессии должна выбираться в зависимости от применяемой технологии измерения:

- при однократной компрессии для пикселя сканирования 15 и 22,5 μm
- можно применять максимально степень 1:7, а для пикселя 30 μm степень 1:5;
- при применении повторной компрессии - при компрессии эпиполярных изображений - не должна быть выше, чем 1:3,5 для пикселя 15 μm и 1:3.0 для пикселя 30 μm

Автоматическое перенесение точки на соседний снимок и измерение координат меток методом LSM даёт возможность получать точности:

- 0,16 величины пикселя - для пикселя сканирования 15 μm
- 0,10 величины пикселя - для пикселя сканирования 22,5 и 30 μm .

Перевод: Róża Tolstikowa