

Romuald Kaczyński
Jan Ziobro

AEROTRIANGULACJA CYFROWA

1. Wstęp

Badania dotyczące wykorzystania korelacji obrazów cyfrowych dla fotogrametrii rozpoczęły się już w końcu lat 50-tych [Hobrough, 1959], gdzie wykorzystano wówczas technikę elektroniczną do znajdowania homologicznych punktów na dwóch zdjęciach z pokryciem stereoskopowym. W 1972 roku Helava buduje wspólnie z firmą Bendix dla wojska autograf analityczny AS-11B-X przeznaczony do automatycznego pomiaru NMT na podstawie obserwacji zdjęć lotniczych. Podstawy korelacji metodą "Least Square Matching" (LSM) publikuje Förstner w 1982 r.. Prof. Ackermann i Schneider publikują w 1986 r. rezultaty cyfrowej aerotriangulacji z przeniesieniem punktów wiążących metodą korelacji. Otrzymano wówczas dokładność rzędu 1/5 piksela. Helava w 1987 r. opracowuje dla potrzeb wojska w USA (Defence Mapping Agency) nowy instrument pod nazwą Digital Comparator Correlator System (DCCS), gdzie włączony był moduł oprogramowania do aerotriangulacji cyfrowej. W DCCS wykorzystano operator Förstner [Förstner, 1986] do automatycznego wyboru odpowiednich punktów wiążących. Pomiar odbywał się według metody opracowanej przez Grüna [Grün, 1985] z wykorzystaniem obrazów pomniejszonych (obrazy piramidalne) dla wstępnej, zgrubnej korelacji. Oprogramowanie z DCCS włączono następnie do oprogramowania skanera DSW 100 Helava, na którym można wykonywać aerotriangulację (wydajność około 40 modeli w ciągu 8-miu godzin pracy).

Tsingas [Tsingas, 1991] opublikował pierwsze wyniki otrzymane z automatycznej aerotriangulacji cyfrowej. Wykonanie jej odbywało się nie tylko na częściach obrazów, ale na całych zeskanowanych zdjęciach lotniczych aperturą 15 μm . Wybór i pomiar punktów wiążących odbywał się w określonych miejscach na zdjęciu z wykorzystaniem operatora Förstnera. Otrzymano dokładności rzędu 3.5 μm .

Od 1991 r. cyfrowe stacje fotogrametryczne Helava DPW i ImageStation INTERGRAPH dostępne są na rynku. Aktualnie dostępne są systemy z modułem do automatycznej aerotriangulacji:

- ImageStation z Photo-T i MATCH-AT;
- Helava;
- SoftPlotter i OrthoMAX firmy Vision International;
- PHODIS AT Zeiss;
- PRISM DATRON;
- TRASTER T10 MATRA CAP Systems.

Obecnie stosowane są dwie metody aerotriangulacji cyfrowej:

- 1). Metoda półautomatyczna, gdzie operator interaktywnie wybiera jeden punkt wiążący w pobliżu nominalnego położenia w pasie pokrycia podłużnego lub poprzecznego zdjęć lotniczych. Punkt ten transferowany jest metodą korelacji obrazów (*image matching*) na wszystkie zdjęcia na których występuje. W przypadku nie osiągnięcia założonych dokładności operator wybiera inny punkt. Półautomatycznym oprogramowaniem jest np. Photo-T zainstalowany na ImageStation INTERGRAPH.
- 2). Metoda automatyczna, gdzie punkty wiążące są automatycznie wybierane, transferowane i mierzone (na wszystkich zdjęciach w których występują) w dziewięciu nominalnie rozmieszczonych rejonach (oknach). Pomiar odbywa się nie w jednym punkcie, ale w grupie punktów znajdujących się w tych rejonach. Jako punkty wybierane są szczegóły terenowe (*feature points*) przy pomocy operatora Förstnera. Proces rozpoczyna się od najbardziej zgrubnego obrazu (z kilku wcześniej utworzonych obrazów piramidalnych poprzez pomniejszenie obrazu oryginalnego) wzdłuż i w poprzek bloku zdjęć, przechodząc poprzez obrazy bardziej dokładne aż do obrazu oryginalnego. Wspomaganie interaktywne bywa potrzebne jedynie w około 6% i to głównie w celu przybliżonego pomiaru w terenach zabudowanych, leśnych, oraz przy opracowaniu zdjęć lotniczych w skalach dużych i o małym pokryciu q .

Operator Förstnera używany jest do automatycznego wyboru punktów wiążących. Do końcowego pomiaru współrzędnych tłowych wykorzystuje się metodę korelacji z uwzględnieniem warunków rzutowych czyli tzw. metodę "object-space-multi-image-least square correlation" [Förstner 1982, Grün 1985]. Do zgrubnej korelacji korzysta się z obrazów piramidalnych. Punktami wiążącymi mogą być punkty sygnalizowane jak i naturalne. W przypadku używania punktów sygnalizowanych ich wymiar (po zeskanowaniu) powinien być rzędu 5x5 pikseli. Pozwala to na automatyczną detekcję i pomiar współrzędnych tłowych zdjęć z dokładnością rzędu 1/5 piksela. Dokładność bloku zdjęć po wyrównaniu, reprezentowana przez błąd średni pomiaru współrzędnych tłowych σ_0 wynosi wtedy około 4 μm .

Oprogramowaniem do automatycznej aerotriangulacji jest np. MATCH-AT opracowany przez firmę INPHO z Stuttgartu, który jest modułem w stacji ImageStation.

2. Wyniki testu OEEPE

W 1996r. European Organization for Experimental Photogrammetric Research (OEEPE) opublikował wyniki testu aerotriangulacji cyfrowej wykonanej na bloku testowym "FORSSA". W tablicy 1 przedstawiono wyniki otrzymane w różnych ośrodkach w Europie. Poniżej zamieszczono dane bloku:

- skala zdjęć bloku: 1:4000; $p=60\%$, q =od 24 % do 49 %;
- wysokość lotu 600 m;
- Kamera RC-20 WILD z $ck=153.2$ mm;
- 4 szeregi po 7 zdjęć w szeregu, razem 28 zdjęć;
- zdjęcia na diapozytywie barwnym;
- 97 fotopunktów sygnalizowanych w terenie białym krzyżem o wymiarach 60 x 10 cm na czarnym asfalcie. Dokładność pomiaru fotopunktów w terenie $mp < +/- 2$ cm.

Skanowanie oryginalnych, pociętych barwnych zdjęć lotniczych przeprowadzono z opcją jako zdjęcia czarno-białe na skanerze PS1 ZEISS/INTERGRAPH, z aperturą 15 μm . Obrazy cyfrowe z pikselem 30 μm wygenerowano z obrazów 15 μm . Tylko 14 fotopunktów (X,Y,Z z błędem $\text{mp} < 2 \text{ cm}$) z dostępnych 97 wykorzystano do wyrównania aerotriangulacji. Pozostałe fotopunkty użyto jako punkty kontrolne do oceny dokładności wyrównania.

Błędy obliczano ze wzoru:

$$mX = \sqrt{\frac{\sum \{(X_p - X_g)^2\}}{n}} \cdot \frac{1}{2}$$

gdzie: X_p – wartość współrzędnej z wyrównania

X_g – wartość pomierzona w terenie

n – ilość punktów kontrolnych.

Aerotriangulację cyfrową wykonano m.in. na stacjach roboczych DSW100 Helava (pierwsza generacja), ImageStation INTERGRAPH, OrthoMAX oraz na systemach opracowanych przez różne instytuty w Niemczech, Finlandii i Szwajcarii. Wyrównanie bloku przeprowadzono metodą niezależnych wiązek. W tablicy 1 zamieszczono wybrane wyniki wyrównania bloku dla zdjęć skanowanych pikselem 15 μm .

Tablica 1

Instrument	σ_0	RMS w [mm]			Błędy punktów kontrolnych w [mm]			Błędy środków rzutów w [mm]		
	μm	X	Y	Z	mX	mY	mZ	mX ₀	mY ₀	mZ ₀
ImageStation	5.5	29	26	56						
TUS	6.2	25	21	53	25	27	59	30	38	25
OrthoMax	3.9	19	25	24	18	15	43	48	62	38
OrthoMax	5.5	21	20	67	32	26	74	101	117	63
DVP Leica		19	22	40						
DIPS II	3.8	21	22	36	16	19	40	50	47	50
Finlandia	3.4	21	20	40	17	18	42	48	49	27

Dla porównania wyników aerotriangulacji cyfrowej wykonano również aerotriangulację metodą analityczną na autografie BC1 WILD i na monokomparatorze PK1 Zeiss.

Otrzymano następujące wyniki:

$\sigma_0 = 3.5 \mu\text{m}$, $m_x = 15 \text{ mm}$, $m_y = 20 \text{ mm}$, $m_z = 35 \text{ mm}$ dla PK1 Zeiss

$\sigma_0 = 3.3 \mu\text{m}$, $m_x = 22 \text{ mm}$, $m_y = 20 \text{ mm}$, $m_z = 36 \text{ mm}$ dla BC1 WILD

W tablicy 2 zamieszczono wybrane wyniki wyrównania bloku aerotriangulacji cyfrowej dla zdjęć skanowanych pikselem 30 μm .

Tablica 2

Instrument	σ_0	RMS w [mm]			Błędy punktów kontrolnych w [mm]			Błędy środków rzutów w [mm]		
	Mm	X	Y	Z	mX	mY	mZ	mXo	mYo	mZo
ImageStation	5.6	52	48	72						
TUS	5.3	24	28	74	20	21	51	68	67	35
OrthoMax	8	26	33	54						
OrthoMax	4.8	18	21	30	22	18	51	57	45	46
DVP Leica		25	33	37						
DIPS II	7.5	31	69	68	30	36	75	92	87	55
Finlandia	4.6	22	26	30	19	21	44	45	44	28
DPW Leica	5.5	50	45	73						

Oprogramowanie OrthoMax użyto w dwóch różnych ośrodkach. TUS oznacza Politechnikę w Stutgarcie, a Finlandia - Politechnikę w Helsinkach.

Przy wykonaniu aerotriangulacji cyfrowej należy zachować następujące warunki:

- zdjęcia lotnicze wykonane są nowoczesnymi kamerami lotniczymi na nowoczesnych filmach lotniczych;
- skanowane są oryginalne diapozytywy, a nie ich kopie;
- skanowanie odbywa się na precyzyjnych skanerach gwarantujących dokładność geometryczną rzędu 1 μm do 2 μm z pikselem od 15 μm do 30 μm ;
- w pokryciu podłużnym i poprzecznym występuje wystarczająca ilość punktów naturalnych, które mogą być użyte jako punkty wiązające;
- zapewniona jest wysoka dokładność (rzędu 1/5 piksela) półautomatycznego lub automatycznego pomiaru współrzędnych tłowych punktów.

Autorzy testu zamieszczają w opracowaniu następujące wnioski:

- wpływ wielkości piksela (15 czy 30 μm) na błąd σ_0 jest zanedbywalny, gdyż wynosi jedynie +/- 1 μm . Błąd σ_0 jest rzędu 4 μm do 6 μm ;
- różnica błędów określenia współrzędnych terenowych rzędu 2 cm do 3 cm dla zdjęć skanowanych pikselem 15 μm lub 30 μm jest praktycznie niezależna od wielkości piksela skanowania;
- dokładność wyznaczenia wysokości punktów sygnalizowanych praktycznie jest taka sama dla zdjęć skanowanych pikselem 15 μm jak i 30 μm . Można więc skanować zdjęcia pikselem 30 μm , co pozwala na czterokrotne zredukowanie wielkości plików;
- dokładność pomiaru współrzędnych tłowych i tzw. rozdzielczość pomiarowa (*measuring resolution*) w fotogrametrii analitycznej są na tym samym poziomie i wynoszą około 3 do 5 μm . W fotogrametrii cyfrowej rozdzielczość pomiarowa musi być lepsza niż 10 μm , a przy bardzo dokładnych pomiarach nawet wynosi poniżej 5 μm . Jest to część piksela od 1/3 do 1/10 z jakim skanowano zdjęcie lotnicze. Dla piksela skanowania 30 μm wynosi od 10 μm do 3 μm . Dla zdjęć skanowanych pikselem 15 rozdzielczość pomiarowa 1/2 piksela jest wystarczająca;
- punkty naturalne mogą być wykorzystane jako punkty wiązające, pod warunkiem, że obraz charakteryzuje się odpowiednią teksturą i kontrastem. Dokładność automatycznej aerotriangulacji cyfrowej z wykorzystaniem punktów naturalnych jest zbliżona do dokładności otrzymanej na podstawie punktów sygnalizowanych;

- zdjęcia skanowane pikselem 30 μm wymagają większej ilości fotopunktów niż zdjęcia skanowane pikselem 15 μm ;
- wielkość piksela skanowania ważna jest wtedy, gdy do pomiaru współrzędnych punktów wiążących wykorzystuje się metodę Feature Based Matching (FBM) w odróżnieniu od pomiaru metodą Least Square Matching (LSM);
- przy wykorzystaniu metody Area Based Matching (ABM) dokładność aerotriangulacji z wykorzystaniem punktów naturalnych jest prawie taka sama jak z wykorzystaniem punktów sygnalizowanych;
- na dokładność aerotriangulacji cyfrowej mają wpływ również skala zdjęć lotniczych, wielkość i kształt bloku, kształt i kontrast sygnałów użytych do sygnalizacji fotopunktów, dodatkowe dane takie jak np. pomiary środków rzutów metodą DGPS na samolocie;
- optymalną metodą wyrównania aerotriangulacji jest metoda niezależnych wiązek (np. PATB, BLUH, BINGO);
- kompresja obrazów metodą np. JPEG (do 1:5) nie wpływa praktycznie na spadek dokładności aerotriangulacji;
- w czasie 8 godz. pracy można opracować od 40 do 80 modeli;
- dokładność otrzymana dla bloku "FORSSA": $m_p < 1/4$ piksela dla zdjęć skanowanych pikselem 15 μm , co odpowiada $m_p < 3$ cm i $m_z < 4$ cm w terenie. Błąd $\sigma_0 = 4$ μm jest porównywalny z błędem otrzymanym metodą aerotriangulacji analitycznej;
- dokładność aerotriangulacji cyfrowej z wykorzystaniem punktów naturalnych jest zbliżona do dokładności aerotriangulacji analitycznej na punktach sygnalizowanych;
- przy wykorzystaniu metody korelacji obrazów nie ma istotnego znaczenia sygnalizacja fotopunktów w terenie. Punkty naturalne o odpowiednim kontraście są wystarczające.

Wyniki aerotriangulacji cyfrowej można natychmiast przedstawić w formie graficznej, gdyż są łatwo dostępne wszystkie dane (w tym również pomniejszone obrazy lotnicze).

Wynika stąd wniosek, że dokładność monoskopowego, interaktywnego pomiaru współrzędnych punktów na obrazie cyfrowym jest porównywalna z pomiarem współrzędnych punktów metodą analityczną.

3. Inne wyniki

Aerotriangulacja cyfrowa daje już obecnie bardzo wysokie dokładności porównywalne z tymi jakie otrzymuje się przy stosowaniu metody fotogrametrii analitycznej. Metoda cyfrowa wymaga mniej licznego personelu o wysokich kwalifikacjach i doświadczeniu zawodowym. Jest szybsza i mniej kosztowna od metody analitycznej i do niej należy przyszłość. Prace nad dalszą automatyzacją pomiarów trwają m.in. w Vexcel Imaging Corp. w Kolorado [Leberl, 1996]. Połączenie automatycznego skanowania filmu z roli ze stacją roboczą pozwoli na pełną automatyzację wykonania aerotriangulacji cyfrowej.

Poza testem OEEPE wykonywane są już produkcyjnie obserwacje aerotriangulacji metodą cyfrową. Poniżej przedstawiono niektóre wyniki.

Na Politechnice w Wiedniu stwierdzono, że przy monoskopowym pomiarze punktów na obrazie cyfrowym przez obserwatora wielkość σ_0 zależy od ich sygnalizacji i tak przy

obrazie z pikselem $15\mu\text{m}$ $\sigma_{\text{sygn}}=5\mu\text{m}$, a dla $30\mu\text{m}$ $\sigma_{\text{sygn}}=8\mu\text{m}$. Wartość σ przy pomiarze punktów naturalnych jest rzędu $16\mu\text{m}$. Stosunek σ_{sygn} do σ naturalnych jest więc 1:2.

Poniżej zamieszczono porównanie dokładności wykonania aerotriangulacji przez operatora metodą cyfrową i analityczną opublikowane przez Leberl [Leberl, 1996].

<u>Parametr</u>	<u>Metoda analityczna</u>	<u>Metoda cyfrowa</u>
σ	$6.5\mu\text{m}$	$6.8\mu\text{m}$
mx zdjęcie	$3.3\mu\text{m}$	$3.5\mu\text{m}$
my zdjęcie	$3.3\mu\text{m}$	$3.8\mu\text{m}$
mX teren	7.1cm	4.0cm
mY teren	6.3cm	4.3cm
mZ teren	2.2cm	1.6cm

Jak wynika z powyższego porównania dokładności otrzymane w fotogrametrii cyfrowej są takie same jak otrzymane w fotogrametrii analitycznej.

Firma Aerowest Photogrammetrie H. Benfer GmbH [Hartfiel, 1997] otrzymała następujące wyniki dla zdjęć wykonanych w różnych skalach i skanowanych pikselem $28\mu\text{m}$:

<u>Skala zdjęć</u>	<u>ck [mm]</u>	<u>óo [μm]</u>	<u>mx [μm]</u>	<u>my [μm]</u>
1:15000	300	6.3	3.5	4.2
1:4000	300	3.3	1.5	2.3
1:3500	150	5.4	2.0	4.0

Stwierdzono również, że kompresja obrazów metodą JPEG do stosunku 1:10 nie wpływa znacząco na stratę informacji i dokładność aerotriangulacji metodą cyfrową [Hahn, 1997].

Braun [Braun, 1997] podaje wyniki aerotriangulacji bloku 1200 zdjęć składającego się z 16 szeregów podłużnych i 4 poprzecznych, skanowanych pikselem $28\mu\text{m}$ na skanerze SCAI ZEISS i opracowanych na PHODIS AT ZEISS. Deniwelacja terenu około 1000 m. Użyto tylko 21 fotopunktów, a blok wyrównano programem PATB- GPS, z błędem $\sigma = 3.2\mu\text{m}$.

4. Wyniki uzyskane w IGiK

W Zakładzie Fotogrametrii IGiK aerotriangulację cyfrową metodą półautomatyczną stosuje się od początku 1997 roku. Poniżej zamieszczono wyniki otrzymane dla trzech bloków składających się ze zdjęć czarno- białych lub barwnych.

Blok “Rzeszów”

Zdjęcia wykonane były kamerą RC-20 WILD, o $ck=152$ mm, w skali 1:26 000, $p=60$ %, $q=30$ %, 4 szeregi, łączna ilość zdjęć 32 szt. Zdjęcia wykonane były w ramach programu Phare. Współrzędne 17 fotopunktów pomierzono w terenie metodą GPS, w układzie współrzędnych “42”. Średnie błędy współrzędnych pomiaru i ich identyfikacji: $mx=my=\pm 0.30$ m; $mz=\pm 0.20$ m.

Skanowanie barwnych, wtórnych diapozytywów wykonano na skanerze PhotoScan PS1 ZEISS/INTERGRAPH, pikselem $30\ \mu\text{m}$ z *photoalignment* (wyrównanie linii skanowania do układu tłowego kamery) i kompresją obrazu JPEG, $Q=25$. Podczas skanowania utworzono 6 obrazów pomniejszych (*overview*), w bloku (*tile*) 256, w formacie zapisu INGR typ 65.

Orientacje i pomiary wykonano na ImageStation 6487, metodą półautomatyczną w kanale czerwonym. Orientację wewnętrzną wykonano metodą automatyczną na 8 znaczkach tłowych, z transformacją afiniczną. Średnia wartość błędu pomiaru $\sigma=8\ \mu\text{m}$.

Przenoszenie 14 punktów wiążących (na każdym modelu) wykonano automatycznie metodą korelacji LSM. Dokładność przeniesienia poniżej 0.12 piksela, tj. $3.6\ \mu\text{m}$.

Blok wyrównano programem Photo-T z uwzględnieniem średniej wartości dystorsji liniowej, refrakcji atmosferycznej i krzywizny Ziemi.

W wyniku wyrównania otrzymano średni błąd typowego spostrzeżenia $\sigma=8.9\ \mu\text{m}$. Średnia wartość poprawek do współrzędnych fotopunktów: $mx=0.26$ m; $my=0.31$ m; $mz=0.14$ m. Średnie błędy współrzędnych punktów zagęszczających się: $mx=0.28$ m; $my=0.31$ m; $mz=0.57$ m.

Blok “Grabów”

Zdjęcia wykonane były kamerą LMK 1000 ZEISS Jena, o $ck=152$ mm z wysokości lotu 4100 metrów, w skali 1:26 000. Liczba szeregów 4; łączna ilość zdjęć 26.

Współrzędne 17 fotopunktów pomierzono metodą GPS w układzie “42”, ze średnim błędem identyfikacji i pomiaru $mx,y=0.75$ m i $mz=1.1$ m.

Parametry skanowania - podobne jak w bloku Rzeszów.

Pomiary przeprowadzono na ImageStation 6487 w IGiK w kanale czerwonym. Błąd pomiaru 8-u znaczków tłowych metodą automatyczną $\sigma=12\ \mu\text{m}$.

Przenoszenie 10-ciu punktów wiążących (na każdym modelu), automatycznie metodą LSM z dokładnością 0.12 piksela, tj. $3.6\ \mu\text{m}$.

Wyrównanie podobnie jak w bloku “Rzeszów” ze średnim błędem $\sigma=7.9\ \mu\text{m}$.

Średnia wartość poprawek do współrzędnych fotopunktów: $mx=0.69$ m; $my=0.74$ m; $mz=1.80$ m. Średnie błędy współrzędnych punktów zagęszczających się: $mx=0.44$ m; $my=0.43$ m; $mz=0.87$ m.

Blok “Bemowo”

Zdjęcia wykonane były przez PPGK kamerą RC-10 WILD, o $ck=213.75$ mm, z wysokości lotu 3200 m, w skali 1:15 000, przy pokryciu $p=60$ % i $q=40$ %. Liczba szeregów 3; ilość zdjęć 22.

Współrzędne 8 fotopunktów XYZ i 8 fotopunktów Z, pomierzono na mapach w skali 1:1000, w układzie lokalnym Warszawy “1925” z błędami średnimi: $mx=my=\pm 0.6$ m i $mz=\pm 0.4$ m.

Parametry skanowania - podobne jak w bloku Rzeszów.

Orientację wewnętrzną wykonano na 4-ech znaczkach tłowych, metodą automatyczną z błędem $\sigma_0=6 \mu\text{m}$. Przenoszenie 18-tu punktów wiążących (na każdym modelu) automatycznie metodą LSM i dokładnością 0.12 piksela, t.j. $3.6 \mu\text{m}$.

Wyrównanie (podobnie jak w bloku "Rzeszów") ze średnim błędem typowego spostrzeżenia $\sigma_0=6.8 \mu\text{m}$. Średnia wartość poprawek do współrzędnych fotopunktów: $m_x=0.60 \text{ m}$; $m_y=0.52 \text{ m}$; $m_z=0.37 \text{ m}$. Średnie błędy współrzędnych punktów zagęszczających się: $m_x=0.24 \text{ m}$; $m_y=0.24 \text{ m}$; $m_z=0.32 \text{ m}$.

Przy opracowaniu tych bloków testowano również wydajność technologii w celu określenia optymalnej liczby punktów wiążących modele i szeregi.

Z doświadczeń autorów wynika, że należy projektować 5 lub 6 punktów wiążących w pasie potrójnego pokrycia zdjęć; co wymaga pomiaru około 18 punktów na zdjęciu. Ta liczba punktów nie obniża wydajności pomiaru, natomiast istotnie zwiększa pewność wykrywania obserwacji odstających, zwłaszcza w terenach ubogich w kontrastowe szczegóły.

Dokładność pomiaru fotogrametrycznego dla bloku "Grabów" i "Rzeszów" jest niższa od oczekiwanej pomimo tego, że zdjęcia wykonane były nowoczesnymi kamerami. Wynika to z faktu, że do opracowania dostępne były tylko kopie wykonane z oryginalnych diapozytywów. Kopie te charakteryzują się nie tylko słabym kontrastem, ale również zniekształceniami geometrycznymi. Na ogólną liczbę 58 pomierzonych wtórnych diapozytywów dla 17 wystąpiły duże poprawki, rzędu $30 \mu\text{m}$, do obserwacji jednego z ośmiu znaczków tłowych.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego KBN Nr 9T12E00713.

Literatura

1. Ackermann F., Schneider W., 1986, *High Precision Aerial Triangulation with Point Transfer by Digital Image Correlation*, Int. Archive of ISPRS, Vol. 26, Part 3/1, Rovaniemi, pp. 18-27;
2. Ackermann F., Tsingas V., 1994, *Automated Digital Aerial Triangulation*. Proceedings of ASPRS, Vol. I, pp.1-12, Reno, Nevada, USA;
3. Ackermann F.: *Digitale Photogrammetrie*, Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Vol. 63, pp. 106-115;
4. Braun J., 1997, *Automated Photogrammetry with PHODIS*, Photogrammetric Week'97, Wichmann Verlag, pp. 33-40;
5. *Experimental Test on Digital Triangulation*, OEEPE Official Publication No. 31, March 1996;
6. Förstner W., 1986, *A Feature based Correspondence Algorithm for Image Matching*. Int. Archive of ISPRS, Vol. 26, Part 3/3, Rovaniemi, pp. 150-166;

7. Förstner W., 1982, *On the geometric precision of digital correlation*, ISPRS Arch. Vol. III, pp. 176-189, Helsinki;
8. Grün A., 1985, *Adaptive Least Squares Correlation. A powerful Image Matching Technique*, South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, 14(3), pp.175-187;
9. Hartfiel P., 1997, *Higher performance with automated aerial triangulation*. Photogrammetric Week'97, Wichmann Verlag, pp. 109-113;
10. Hahn M., 1997, *Automatic Control Point Measurement*, Photogrammetric Week'97, Wichmann Verlag, pp. 115-126;
11. Heipke C., 1996, *Automation of Interior, Relative and Absolute Orientation*, Int. Arch. of ISPRS, Vol. 31, Part B3, pp. 297-311;
12. Helava U., 1987, *The Digital Comparator Correlator System (DCCS)*, Proceedings of the Conference Fast Processing of Photogrammetric Data, Interlaken, pp. 404-418;
13. Hobrough G., 1959, *Automatic Stereo Plotting*, Photogrammetric Eng. 24(5), pp. 763-769;
14. Kölbl O., Crosetto M., 1996, *Digital aerotriangulation with commercial software products*, OEEPE Publication No. 31, pp. 81-100;
15. Leberl F., W., 1996, *Practical Concerns in Softcopy Photogrammetry Processing Systems*, Digital Photogrammetry. ASPRS, USA, pp. 230-238;
16. Mayr W., 1995, *Aspects of Automatic Aerotriangulation*, Photogrammetric Week'95, Wichmann Verlag, pp.225-234;
17. Tsingas V., 1991, *Automatische Aerotriangulation*, Photogrammetric Week'91, Stuttgart, pp. 253-268;
18. Tsingas V., 1996, *Automatic Aerial Triangulation*, OEEPE Publ. No. 31 , pp. 141- 146;

Recenzował: dr inż. Krystian Pyka