

Leszek Kolondra

KOREKCJA ORIENTACJI WEWNĘTRZNEJ APARATÓW CYFROWYCH DO OPRACOWAŃ NA AUTOGRAFIE VSD-AGH

1. Wstęp

Aparaty cyfrowe posiadające możliwość zapisu obrazu z dużą rozdzielczością znajdują coraz szersze zastosowania, także w fotogrametrii inżynierskiej. Konsultowany przez autora projekt, mający na celu skonstruowanie prototypu urządzenia do dynamicznego pomiaru skrajni toru kolejowego, wymagał zastosowania dwóch aparatów cyfrowych KODAK DC260. Pozyskiwane modele miały być opracowywane na fotogrametrycznej stacji cyfrowej VSD-AGH, jako najbardziej przydatnej na etapie testów, łatwo dostępnej i stosunkowo taniej. Zakładana, docelowa dokładność określania elementów skrajni w płaszczyźnie X,Z miała być nie gorsza niż ± 6 mm. Tak wysokie wymagania dla układu dynamicznego zmuszały do skrupulatnego przetestowania wszystkich etapów pośredniego pomiaru i opracowania stereomodeli. Podstawową przeszkodą w uzyskaniu założonej dokładności był brak możliwości bezpośredniego wprowadzenia do systemu VSD, oddzielnie dla każdego aparatu, poprawek do elementów orientacji wewnętrznej (położenie punktu głównego oraz różne wielkości ogniskowych aparatów cyfrowych). W pracy podano opis zastosowanego, skutecznego rozwiązania tej niedogodności systemu oraz kilka spostrzeżeń i wniosków dotyczących tego rodzaju opracowań.

2. Charakterystyka aparatów KODAK DC260 i opis kalibracji laboratoryjnej

Wykonawca prototypu zdecydował się na zakup, spośród wielu modeli dostępnych na rynku, dwóch amatorskich fotograficznych aparatów cyfrowych firmy KODAK DC260. O wyborze sprzętu zdecydowały względy techniczne, przede wszystkim możliwość programowego sterowania pracą aparatów, zarówno na etapie rejestracji jak i transmisji danych masowych zbieranych niemal w sposób ciągły. KODAK DC260 jest aparatem ze zmiennoogniskowym układem optycznym (niewymiennym), z możliwością wyboru trybu ogniskowania (ręcznie lub komputerowo) oraz możliwością wyboru wielkości ogniskowej (tylko poprzez sterowanie komputerowe). Z uwagi na to, że zmiana geometrii układu optycznego, a także każdorazowe wyłączenie i włączenie aparatu realizowane jest w sposób mechaniczny, poprzez silnik elektryczny, przeprowadzane testy miały odpowiedzieć czy cały układ optyczny i orientacja wewnętrzna są powtarzalnymi.

Oba aparaty poddane zostały kalibracji, którą wykonano w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH [2]. Wstępna część tych prac skoncentrowana była na stwierdzeniu stopnia powtarzalności geometrycznej obu aparatów, druga na wyznaczeniu danych kalibracyjnych. Testowanie powtarzalności pozwoliło wyeliminować z zestawu jeden z aparatów (wyniki powtarzalności: $m_x = \pm 1.15$ oraz $m_y = \pm 3.2$ piksela) i zastąpienie go innym egzemplarzem. Ostatecznie oba "dobre" aparaty charakteryzowały się powtarzalnością geometryczną na poziomie 0.3 - 0.4 piksela w obu kierunkach osi układu tłowego. Wielkości te przekraczają dwukrotnie wielkość przeciętnego odchylenia standardowego pomiaru 7 równomiernie rozmieszczonych punktów na 5 obrazach wykonanych w różnych kombinacjach zmian geometrii układu optycznego dla każdego z badanych aparatów. Świadomość istnienia tych błędów nakładała na obserwatora szczególną staranność w przeprowadzaniu orientacji wzajemnej stereomodeli.

Kalibracja wykonana została na polu testowym AGH (53 sygnalizowane punkty, których dokładność wyznaczenia współrzędnych X,Y,Z mieści się w przedziale 0.2 - 0.3 mm) poprzez wykonanie każdym z aparatów 5 zdjęć i ich pomiar na stacji VSD. Początek układu przyjęto w środku matrycy o wymiarach 1536 x 1024 pikseli. Parametry kalibracji obliczono programem ORIENT rozwiązując sieć 5 zdjęć metodą samokalibracji, uzyskując następujące wyniki [2]:

KODAK DC260 nr EKH83300321	KODAK DC260 nr 83800390
$X_o = 9.40 \pm 1.36 \text{ pix}$	$X_o = -6.46 \pm 1.44 \text{ pix}$
$Y_o = 13.44 \pm 1.11 \text{ pix}$	$Y_o = 28.61 \pm 1.15 \text{ pix}$
$C_k = 1686.61 \pm 1.08 \text{ pix}$	$C_k = 1676.86 \pm 1.14 \text{ pix}$
$K_1 = -6.725273 \pm 0.0949$	$K_1 = -7.462319 \pm 0.117$
$K_2 = 1.207439 \pm 0.0402$	$K_2 = 1.464036 \pm 0.0509$
$P_1 = 0.2232616 \pm 0.0493$	$P_1 = 0.15084 \pm 0.0532$
$P_2 = 0.2806928 \pm 0.0390$	$P_2 = 0.1540611 \pm 0.0407$

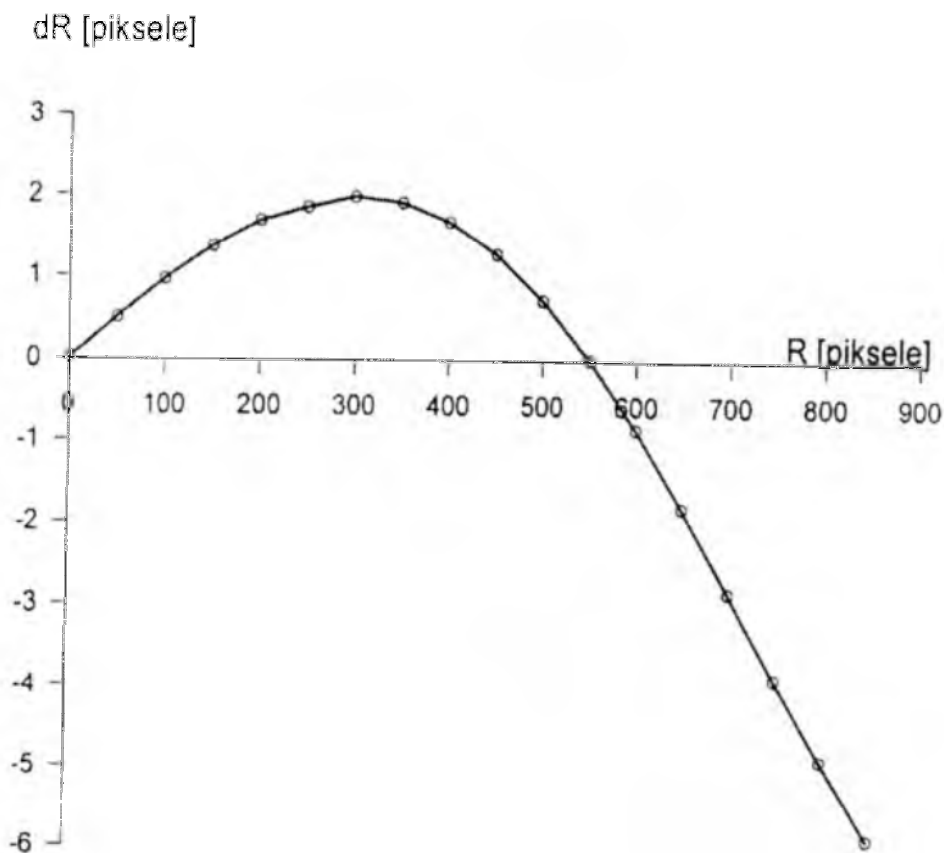
Dane z kalibracji wyznaczone zostały dla ogniskowej 37 mm oraz dla odległości fotografowania 10 m.

3. Opis wykonanych testów i podjętych rozwiązań

Końcowy test kontrolny, wykonany po szeregu wstępnych badaniach przeprowadzono na prototypie modelu w skali 1 : 2.5 przy następujących warunkach geometrycznych [3]:

- baza fotogrametryczna ok. 1.0 m,
- średnia odległość fotografowania 4 m,
- zdjęcia synchronicznie dwoma aparatami,
- elementy orientacji zewnętrznej - zrealizowano w przybliżeniu przypadek normalny,
- dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów dostosowania $m_p = \pm 0.5 \text{ mm}$,
- punkty dostosowania na pionowo usytuowanej ramie o wymiarach ok. 2.5 x 2.5 m.

- uśrednione wartości elementów orientacji wewnętrznej oraz parametry dystorsji obiektywów (obecna wersja oprogramowania VSD-AGH nie pozwala na bezpośrednie wprowadzenie tych wielkości, oddzielnie dla każdego aparatu).



Rys. 1. Wykres średniej dystorsji radialnej dla obu aparatów [2]

Pierwsze wykonane testy i ich analizy pozwoliły wysnuć poniższe wnioski:

- pomimo skrupulatnie wykonywanej orientacji wzajemnej modelu z dokładnością rzędu 0.2 piksela, w przypadkowych miejscach modelu nadal była wyraźnie dostrzegalna paralaksa poprzeczna,
- liniowe pomiary kontrolne wykonane w przestrzeni przedmiotowej znacznie odbiegały od wielkości określanych przy pomocy systemu VSD - nawet do 30 mm w głębi 1 m za ramą z punktami dostosowania,
- uśrednienie elementów orientacji wewnętrznej jest przypuszczalnie głównym źródłem stwierdzonych błędów.

Poprzez uśrednienie, wydawałoby się niewielkich, poprawek do położenia punktów głównych aparatów wprowadzano "świadomie" znaczne zniekształcenia powodujące deformacje wiązek promieni, w przeliczeniu na wielkości kątowe elementów orientacji zewnętrznej φ i ω wynosiły one odpowiednio: 0.30 i 0.29 [grad]. Uśrednienie obu ogniskowych aparatów wprowadzało w efekcie błędy w pomiarach kontrolnych elementów usytuowanych w różnej głębi przestrzeni przedmiotowej.

Dla potwierdzenia ostatnich konkluzji wykonano kolejny test wykorzystując do rejestracji zdjęć tylko jeden z aparatów. Przeprowadzone strojenie takiego modelu i

analiza wyników potwierdziły słuszność postawionej tezy - uzyskany model pozbawiony był dostrzeganej uprzednio szcążkowej paralaksy poprzecznej, a wykonane kontrolne pomiary liniowe w przestrzeni przedmiotowej nie odbiegały od wyznaczanych przy pomocy systemu VSD więcej niż o 1 mm.

Ze względu na charakter pomiarów fotogrametrycznych, wykorzystanie jednego aparatu cyfrowego nie wchodziło w rachubę, jak również niemożliwe było wprowadzenie do oprogramowania poprawek uwzględniających elementy orientacji wewnętrznej, oddzielnie dla każdego z aparatów.

W konsekwencji należało zaproponować inne rozwiązanie. Poprawki do położenia punktów głównych uwzględniono poprzez zmianę współrzędnych narożników matrycy pikseli, tj. decentrację układu, stosując poniższe wzory:

$$\begin{aligned} X_{zred.} &= X - X_0 \\ Y_{zred.} &= Y - Y_0 \end{aligned}$$

czyli dotychczasowe współrzędne wspólne dla obu aparatów:

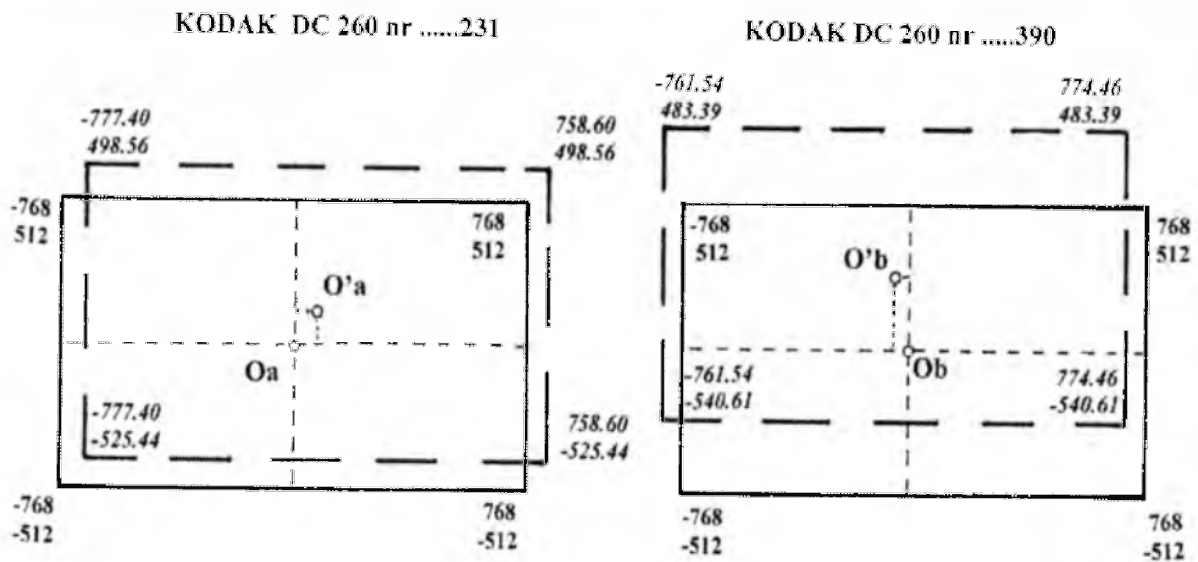
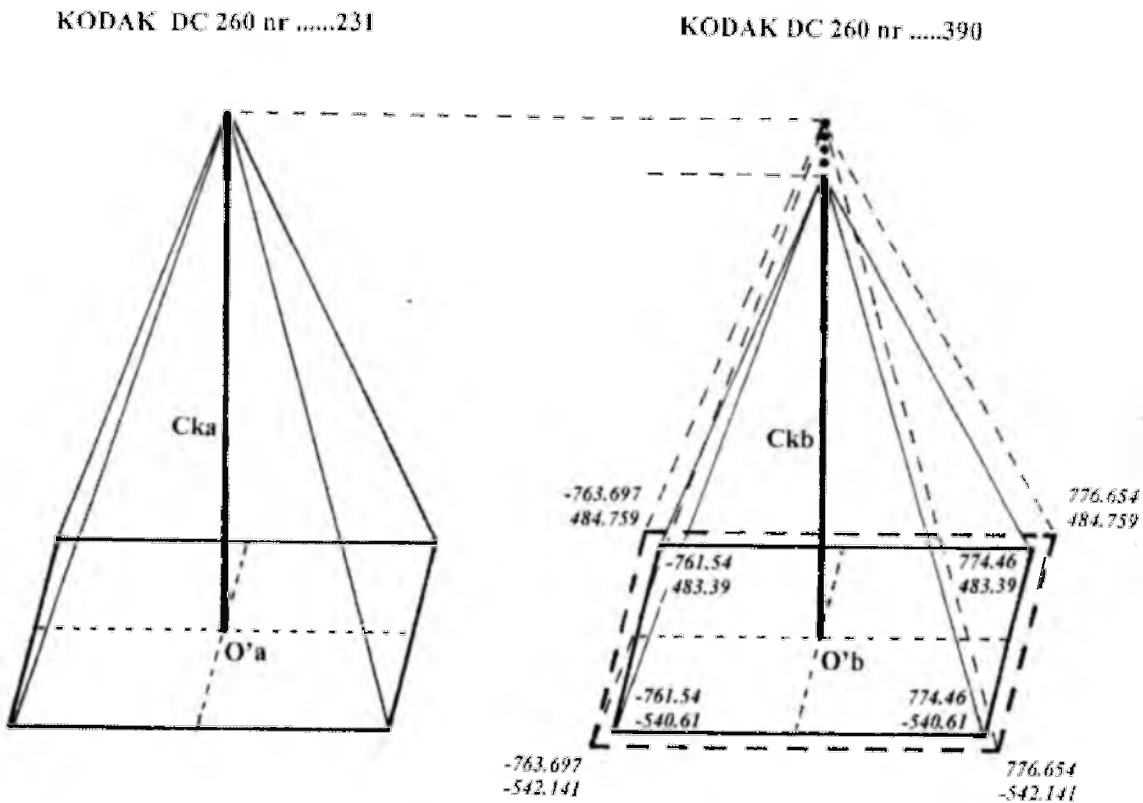
	X	Y
1	-768	512
2	768	512
3	768	-512
4	-768	-512

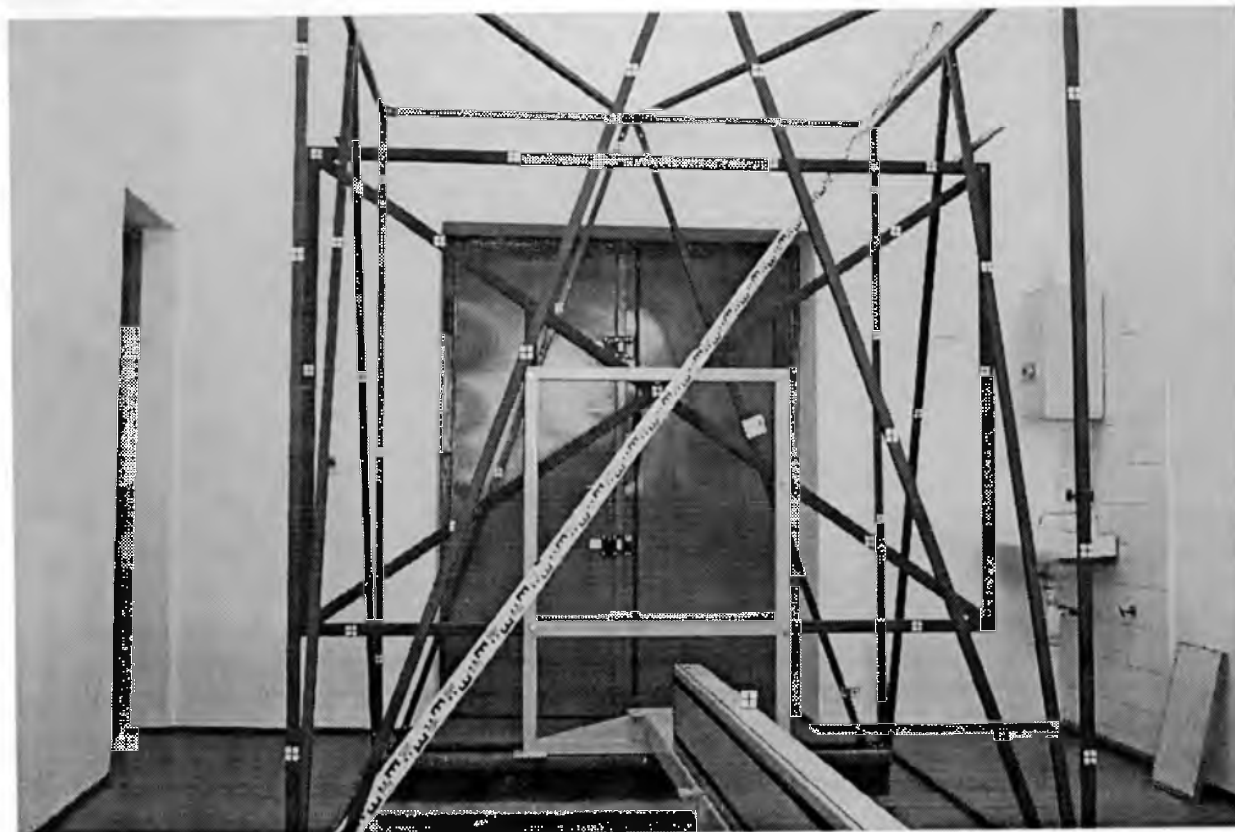
przyjęły dla poszczególnych aparatów wartości:

KODAK nr231			KODAK nr390		
	X	Y		X	Y
1	-777.40	498.56	5	-761.54	483.39
2	758.60	498.56	6	774.46	483.39
3	758.60	-525.44	7	774.46	-540.61
4	-777.40	-525.44	8	-761.54	-540.61

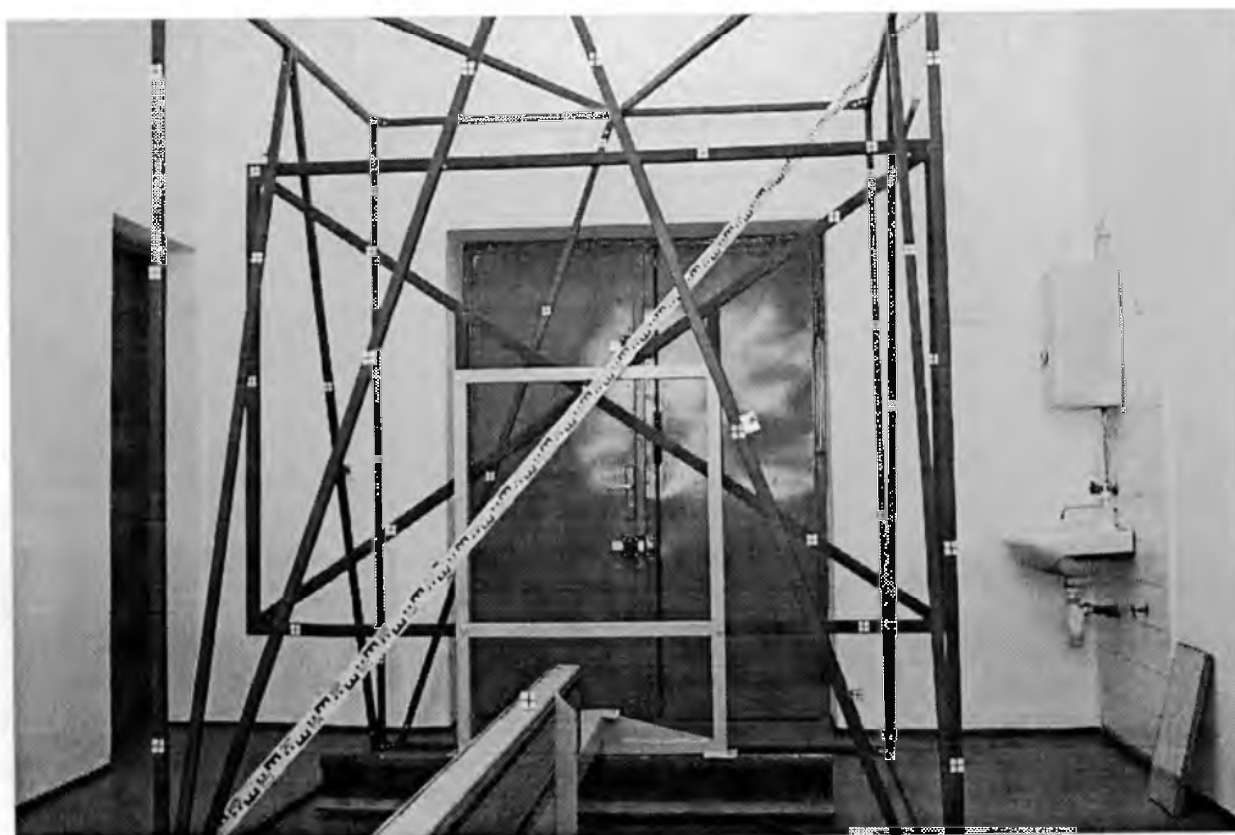
Różnicę wielkości ogniskowych uwzględniono poprzez przeskalowanie rozmiarów jednej z matryc proporcjonalnie do współczynnika W będącego ilorazem ogniskowych obu aparatów.

$$W = C_{ka} / C_{kb} = 1681.61 / 1676.86 = 1.005814439$$

Rys. 2. Decentracja współrzędnych układów łowych o wielkości składowych X_o i Y_o .Rys. 3. Przeskalowanie rozmiarów jednej z matryc pikseli z tytułu zrównania wielkości C_{ka} i C_{kb}



Rys. 4. Obraz lewy prototypu testowego z przestrzennym układem odniesienia



Rys. 5. Obraz prawy prototypu testowego z przestrzennym układem odniesienia.

Ostateczne współrzędne naroży matrycy pikseli aparatu KODAK nr390 otrzymały wartości:

	X	Y
1	-763.697	484.759
2	776.654	484.759
3	776.654	-542.141
4	-763.697	-542.141

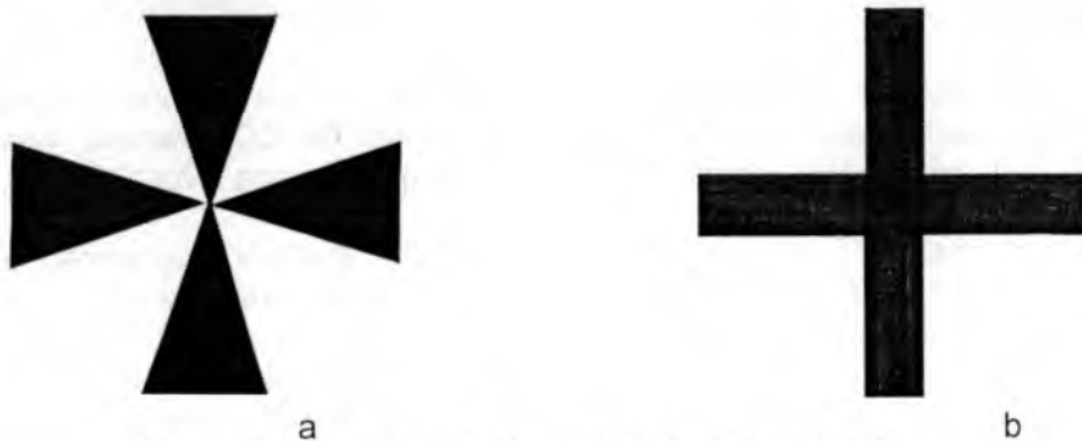
Parametry dystorsji obiektywów przyjęto w dalszych testach bez zmian, jako uśrednione, gdyż tylko taka opcja jest przewidziana w oprogramowaniu VSD-AGH. Podczas wykonywania orientacji bezwzględnej w opcji dotyczącej poprawek do położenia punktu głównego, deklarowano je jako zerowe, zaś w opcji dotyczącej ogniskowej, podawano wartość ($C_{ka} = 1681.61$), względem której wykonano przeskalowanie matrycy pikseli drugiego aparatu.

Analiza wyników strojenia modelu po tak zmodyfikowanych elementach orientacji wewnętrznej potwierdziła słuszność przyjętego rozwiązania. Szczałkowe paralaksy poprzeczne w układzie modelu, przy 18 punktach użytych do strojenia nie przekroczyły wielkości 0.07 piksela. Podczas pracy na modelu nie stwierdzono też paralaksy poprzecznej utrudniającej obserwację. Przy wpasowaniu modelu w osnowę punktów dostosowania uzyskano błąd poniżej 1 mm [3].

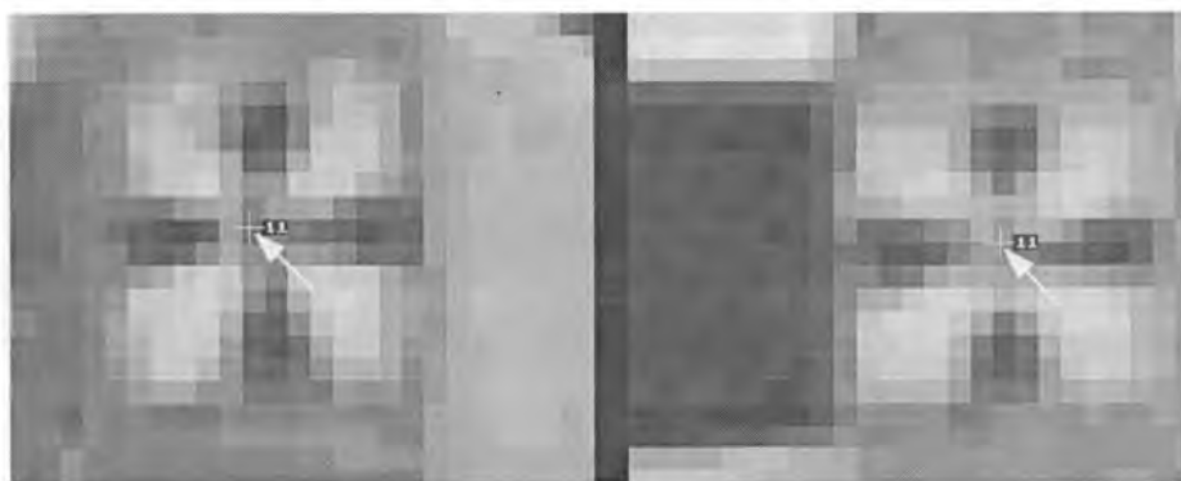
4. Wnioski

Przy wykorzystaniu dwóch aparatów cyfrowych do pozyskania obrazów tworzących stereomodel, dla uzyskania możliwie najdokładniejszych wyników przy użyciu fotogrametrycznej stacji cyfrowej VSD-AGH, należy uwzględnić poniższe uwagi:

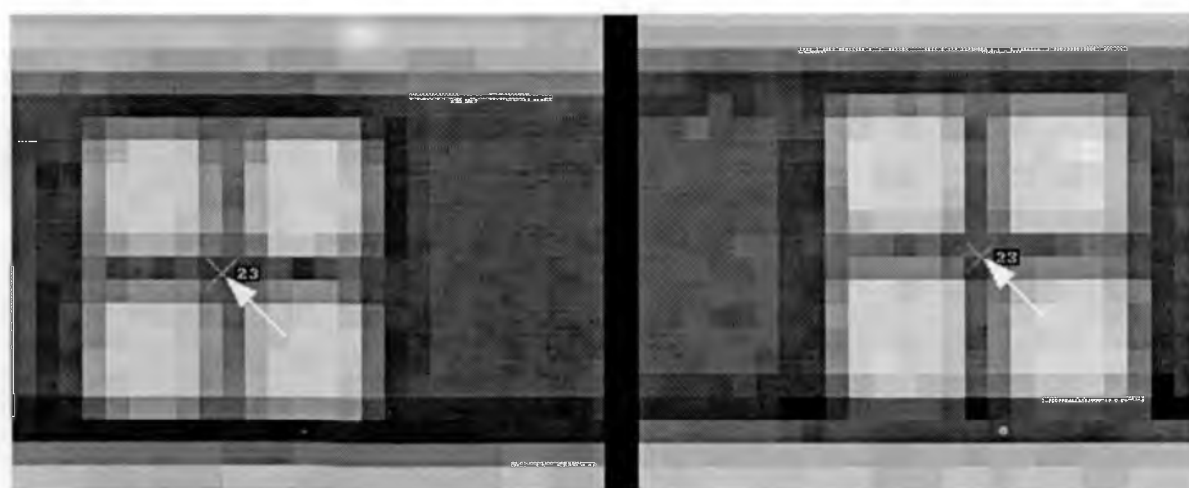
1. Należy znać elementy orientacji wewnętrznej wraz z parametrami dystorsji obu aparatów.
2. Sprawdzeniem winna być objęta powtarzalność geometryczna układów optycznych aparatów.
3. Elementy orientacji wewnętrznej winny być uwzględnione oddzielnie dla każdego z aparatów, w przyszłości programowo, gdy zaistnieje taka możliwość lub wg proponowanego rozwiązania, poprzez wykonanie decentracji obu układów współrzędnych tłowych oraz przeskalowanie wielkości prostokątnej matrycy pikseli jednego z aparatów uwzględniającej równość ogniskowych aparatów.
4. Kształt znaczków sygnalizacyjnych winien mieć inną, odmienną postać niż dotychczas, powszechnie stosowane znaki (okręgi współśrodkowe lub podobne do krzyża maltańskiego we wszelkich odmianach - te nie zdają egzaminu z uwagi na pikselową strukturę obrazu). Znakiem korzystniejszym jest krzyż równoramienny o odpowiednio dobranej, w zależności od odległości fotografowania, długości i szerokości ramion. Należy zwracać także uwagę, aby jedno z ramion krzyża było przytwierdzone do obiektu pionowo – rys. 6, 7 i 8.



Rys. 6. Znaki sygnalizacyjne stosowane podczas testów.



Rys. 7. Powiększony obraz znaku sygnalizacyjnego w kształcie „krzyża maltańskiego”



Rys. 8. Powiększony obraz znaku sygnalizacyjnego w kształcie krzyża prostego.

Literatura

1. Jachimski J., Trocha W., 1992, Determination of the position of crosses with the subpixel accuracy on the image taken with the CCD kamera, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.17 - B5, s.391, Washington.
2. Jachimski J., Tokarczyk R., Boroń A., 1999, Badanie przydatności aparatów cyfrowych KODAK DC260 do opracowań fotogrametrycznych - kalibracja aparatów (nie publikowany maszynopis).
3. Kolondra L., 1999, Sprawozdanie techniczne z wykonania badań testowych zestawu aparatów cyfrowych i opracowania wyników systemem fotogrametrycznym VSD-AGH. Wnioski (nie publikowany maszynopis), Katowice, V. 1999, s. 5-30.

Autor

mgr inż. Leszek Kolondra

Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego

40-037 Katowice, ul. Ligonia 46

tel. (0-32) 201 15 80

fax (0-32) 256 31 17

Recenzował dr inż. Piotr Sawicki