

Michał Kowalczyk

## WPLYW ROZMIARU OKRĄGŁEJ SYGNALIZACJI NA DOKŁADNOŚĆ I POWTARZALNOŚĆ POMIARU WSPÓLRZĘDNYCH TŁOWYCH

*Streszczenie.* W fotogrametrii cyfrowej (i nie tylko) zastosowanie właściwego rozmiaru i kształtu sygnalizacji punktów w terenie jest jednym z podstawowych czynników, wpływających na osiągnięte dokładności. W przypadku płaskich emblematów występuje problem, związany z nierównoległością płaszczyzny tłowej względem płaszczyzny znaku.

Celem badania było określenie rozmiaru sygnalizacji, pozwalającej na możliwie dokładną lokalizację punktów na zdjęciach. Podana jest też propozycja rozwiązania problemu w/w nierównoległości bez uwzględnienia elementów orientacji zewnętrznej. Stosowaną metodą pomiaru było „ważenie środka ciężkości”. Przyjętą postacią znaków były koła i pierścienie. W pomiarach zostały wykorzystane zdjęcia o różnym stopniu kompresji, z aparatu Olympus C-2500L.

### Wstęp

W pomiarach fotogrametrycznych wykorzystuje się punkty o znanych lub nieznanach współrzędnych terenowych. Zachodzi często potrzeba odpowiedniej sygnalizacji tych punktów [Fraser, Preuss, 1997, 1998]. Odbywa się to na bardzo wiele sposobów. Sygnalizacja uzależniona jest od kilku czynników związanych z całym procesem pomiaru fotogrametrycznego. Na jej postać ma istotny wpływ skala obrazowania, rozdzielczość zdjęcia i technika pomiaru współrzędnych tłowych. Sygnalizacja różni się w przypadku zdjęć analogowych w porównaniu do wykorzystania obrazów cyfrowych. Wynika to w znacznej mierze z zastosowanej techniki pomiaru.

Zdjęcia analogowe mogą być mierzone wyłącznie manualnie. Obserwator symetrycznie ustawia znaczek pomiarowy na interesujących punktach. Wielkość ich sygnalizacji pozostaje w określonej relacji do wielkości znaczka pomiarowego. Punkty te są znakowane symetrycznie, z precyzyjnie zaznaczonym środkiem tak, aby był jednoznacznie dostrzegalny.

Dla zdjęć cyfrowych, podobnie jak dla analogowych, znaczenie ma symetria sygnalizacji. Jednak precyzyjny rysunek sygnalizacji często staje się ofiarą próbkowania i trudność sprawia jednoznaczne identyfikowanie środka mierzonego punktu, zwłaszcza przy pomiarze manualnym. Ręczne określanie współrzędnych na zdjęciach cyfrowych zwykle prowadzi do niewykorzystania ich potencjału informacyjnego.

Gdy istnieje potrzeba szybkiego i precyzyjnego mierzenia na materiale cyfrowym, należy odrzucić większość analogowych technik pomiaru współrzędnych tłowych. Wybrana metoda pomiaru, jak i sygnalizacji punktów w terenie, powinna

charakteryzować się prostotą i uniwersalnością. Ponadto wskazane jest maksymalne zautomatyzowanie całego procesu badania zdjęcia, czyli wykorzystanie podstawowej przewagi zdjęć cyfrowych nad analogowymi, jaką jest właśnie możliwość całkowitej automatyzacji pomiaru.

Dokładność pomiarów na zdjęciach cyfrowych wynika nie tylko z ich rozdzielczości. Ponieważ brane są pod uwagę nie pojedyncze piksele, ale całe ich grupy, pomiar jest oparty na prawach statystyki. Teoretycznie precyzja wzrasta wraz ze wzrostem liczby badanych pikseli. Najczęściej stosowaną techniką jest metoda ważonego środka ciężkości (center weight) [Trinder, 1989]. Była ona wykorzystana w tych badaniach. Zaletą tej metody jest szybkość i dokładność działania. Zwalnia ona obserwatora z konieczności precyzyjnej lokalizacji środka sygnalizacji punktu.

Z uwagi na trudności z oświetleniem, stosuje się płaską, a nie np. kulistą sygnalizację punktów [Trinder, Jansa, Huang, 1995]. Podstawowym mankamentem płaskiej sygnalizacji punktów jest perspektywiczne przesunięcie jej środka w terenie względem wyznaczonego na zdjęciu, przy zastosowaniu zwykłych metod pomiaru na zdjęciach cyfrowych.

Celem tych badań było wyznaczenie minimalnej wielkości sygnalizacji punktów, dla której pomiar staje się maksymalnie powtarzalny. Ważne też było stwierdzenie w jakim stopniu jest to zależne od kompresji zdjęć [Mikrut, 2000].

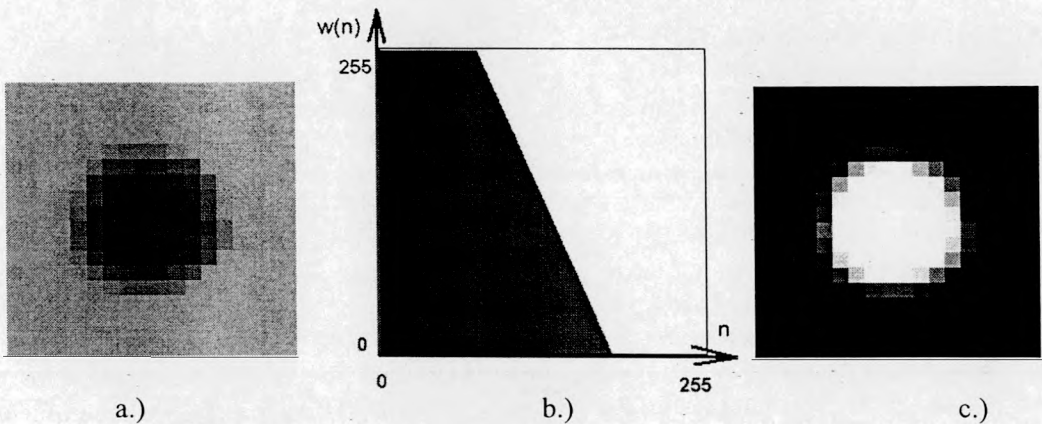
Innym celem było też określenie wpływu nierównoległości płaszczyzny tłowej względem płaszczyzny emblematu sygnalizacji, na systematyczne zniekształcenie wyników pomiaru [Robson, 1998]. Przedstawiona jest też propozycja jak skutecznie rozwiązać ten problem.

## Metoda pomiaru

Do wyznaczenia powtarzalności położenia punktów na zdjęciu służyła wspomniana metoda ważonego środka ciężkości. Jej użyteczność w pomiarach fotogrametrycznych potwierdziły już liczne badania przeprowadzone w wielu ośrodkach naukowych. Dokładność praktyczna jest szacowana nawet na ok.  $\pm 0.01$  piksela.

Polega ona na zastosowaniu odpowiedniej funkcji przyporządkowującej wagi określonym cechom (zwykle wartościom) pikseli. Należy tak dobrać kształt funkcji aby maksymalnie zredukować wpływy przypadkowe wartości pikseli (szумы). Chodzi tu o zmniejszenie udziału pikseli zniekształcających wynik.

Jeżeli mamy za zadanie wyznaczyć położenie środka ciężkości czarnego koła na białym tle, to działając tą metodą, należy nadać maksymalne wagi pikselom najciemniejszym, a zerowe jasnym, gdyż w pomiarze biorą udział jedynie brzegi emblematu. Najjaśniejsze i najciemniejsze powinny być odcięte od reszty. Do działania tej metody należy ponadto określić obszar obrazu na którym jest emblemat znaku. Zakres obszaru branego pod uwagę musi być oczywiście większy od znaku, po to żeby zyskać pewną niezależność wyniku od położenia takiej ramki pomiarowej.



Rys. 1 a.) widoczność znaku na zdjęciu cyfrowym.  
 b.) przyporządkowanie wag wartościom pikseli.  
 c.) ważność poszczególnych pikseli w obrębie znaku sygnalizowanego (jaśniejsze znaczy ważniejsze).

Przy wyznaczeniu ważonego środka ciężkości stosuje się następujące wzory:

$$\begin{pmatrix} \text{isr} \\ \text{jsr} \end{pmatrix} := \frac{\sum_{j=jp}^{jk} \sum_{i=ip}^{ik} i \cdot (w(v(i,j)_R)_R + w(v(i,j)_G)_G + w(v(i,j)_B)_B)}{\sum_{j=jp}^{jk} \sum_{i=ip}^{ik} (w(v(i,j)_R)_R + w(v(i,j)_G)_G + w(v(i,j)_B)_B)} \cdot \frac{\sum_{j=jp}^{jk} \sum_{i=ip}^{ik} j \cdot (w(v(i,j)_R)_R + w(v(i,j)_G)_G + w(v(i,j)_B)_B)}{\sum_{j=jp}^{jk} \sum_{i=ip}^{ik} (w(v(i,j)_R)_R + w(v(i,j)_G)_G + w(v(i,j)_B)_B)}$$

$v(i, j)$  - wartość R,G,B piksela w i-tej kolumnie i w j-tym wierszu

$w$  - wektor wag dla wartości R,G,B pikseli

$(ip, jp), (ik, jk)$  - lewy górny i prawy dolny narożnik zakresu sumowanych pikseli

## Stosowany sposób sygnalizacji

Zwykle sygnalizacja znaków służących to pomiaru na zdjęciach cyfrowych ma kształt okrągły [ Chibunichev, Heuvel, Chen, 1992]. Wpływa na to kilka czynników. Jednym z nich jest niezależność wyglądu od kąta obrotu w płaszczyźnie znaku. Koło, niezależnie jak go obrócimy wygląda podobnie. Innym argumentem przemawiającym za zastosowaniem kół może być łatwość identyfikacji, stosując automatyczne metody analizy obrazu (segmentacji). Przykładowo na tle budynku lub pola uprawnego koła są jednoznacznie rozpoznawalne.

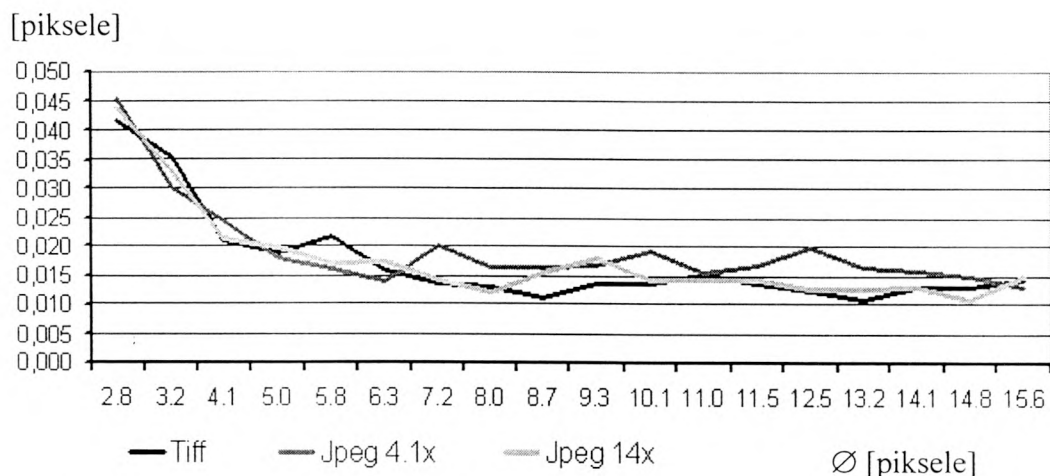
Nie zostały wykryte, w prowadzonych badaniach, znaczące różnice przy stosowaniu jasnych kół na ciemnym tle albo ciemnych na jasnym. Wydaje się to nieistotne. Wykorzystanie kół, dla których środek jest jednocześnie centrum sygnalizowanego znaku wskazuje na metodę ważonego środka ciężkości dla lokalizacji. Inne metody lokalizacji jak np. dopasowanie wzorca albo cech (template i feature matching) są ekonomicznie nieuzasadnione. Przyczyną tego jest możliwość zniekształceń obrazu znaku, gdy płaszczyzna tłowa kamery nie jest równoległa do płaszczyzny emblematu. Osobną kwestią jest złożoność obliczeniowa pozostałych metod (template i feature matching).

## Wpływ rozmiaru sygnalizacji na pomiar

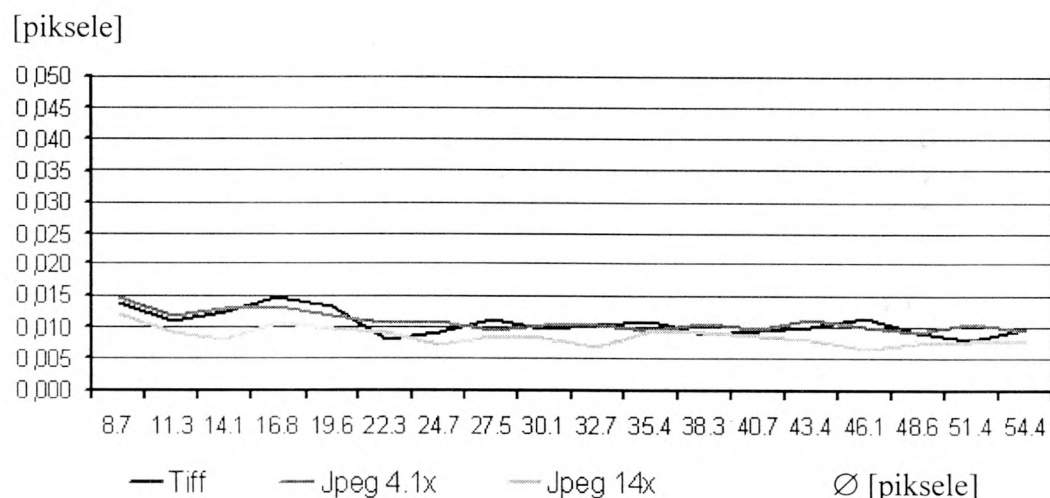
Przy wyznaczaniu współrzędnych tłowych ważną kwestią jest określenie właściwego rozmiaru znaku sygnalizowanych punktów. Dla zdjęć cyfrowych oraz stosowanej metody ważenia i sumowania pikseli, najlepiej ten rozmiar podawać właśnie w pikselach. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że optymalny rozmiar znaku na zdjęciu dotyczy ściśle określonych warunków pomiaru. Nie wskazane jest wyciąganie zbyt uogólniających wniosków na podstawie testów przeprowadzonych przy pomocy tylko jednej kamery. Daje to jednak pewne oszacowania pomocne przy projektowaniu pomiaru.

Do badań został wykorzystany jednoprzetwornikowy aparat Olympus C-2500L. Maksymalny rozmiar zdjęcia to 1712x1368 pikseli. Brane były pod uwagę zdjęcia nieskompresowane (format TIFF) oraz skompresowane ze stratą informacji w formacie Jpeg (4.1x i 14.0x). Płaskie pole testowe składało się z kół o 15-tu różnych rozmiarach. Dla każdego rozmiaru były po cztery koła nieregularnie rozmieszczone na powierzchni testu. Test był fotografowany przy dwóch różnych odległościach kamery, aby zwiększyć zakres badanych rozmiarów znaków. W każdym trybie zostało wykonane po 5 zdjęć (razem 30). Punkty były wpasowane przez wykonanie transformacji rzutowej na cztery narożne punkty. Została założona niezmiennosc testu w czasie pomiaru.

Wyniki powtarzalności pomiarów współrzędnych tłowych są podane osobno dla bliższej i dalszej odległości fotografowania. Dla dalszej badany był zakres rozmiarów emblematu znaku od 2.8 do 15.6 piksela na zdjęciu. Dla bliższej od 8.7 do 54.4 piksela.



Rys.2. Wyniki powtarzalności pomiaru dla większej odległości fotografowania



Rys.3. Wyniki powtarzalności pomiaru dla mniejszej odległości fotografowania.

### Nierównoległość płaszczyzny tłowej do sygnalizacji

Wnioski z badania błędu przypadkowego lokalizacji sugerują stosowanie jak największych znaków. Niestety wraz ze wzrostem rozmiaru znaku znaczenia nabierają pewne błędy systematyczne. Zniekształcenia związane z odwzorowaniem realizowanym przez obiektyw jak i wspomniana nierównoległość płaszczyzny tłowej

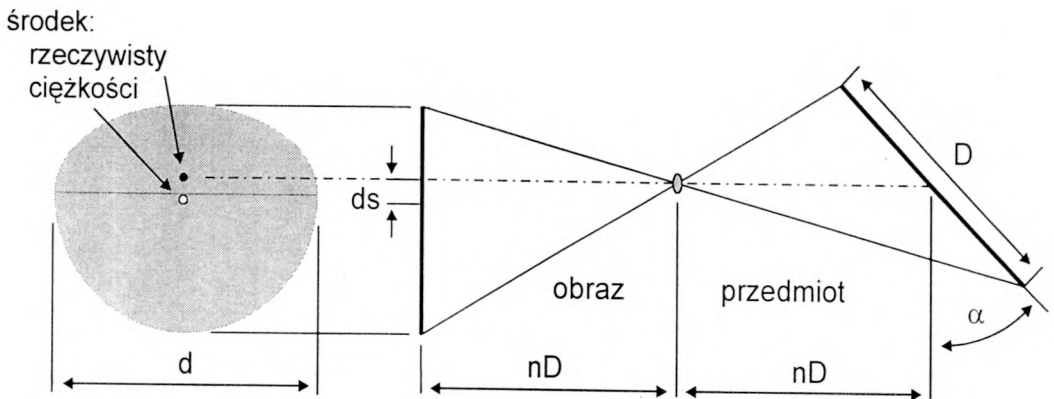


do płaszczyzny znaku. Ten ostatni problem, wielokrotnie badany [ Robson, 1998], będzie teraz przedmiotem analizy.

Należałoby sprawdzić wielkość przesunięcia środka ciężkości znaku względem jego teoretycznego położenia. Parametrami zmiennymi są: odległość od znaku wyrażona w liczbie średnic oraz jego kąt skręcenia. Systematyczne odchylenie jest podawane w stosunku do jego średnicy. Została przeprowadzona symulacja i pomiar na rzeczywistym zdjęciu obracającym rzutowo o stały kąt. Taki tryb postępowania został przyjęty aby całkowicie wyeliminować wpływ błędów systematycznych kamery.

## Symulacja

Badane było koło, którego środek ciężkości był wyznaczany po rzutowaniu na określoną płaszczyznę. Zostało ono podzielone na trójkąty. Środek każdego z nich był wyznaczony osobno. Następnie środek całej figury otrzymany został jako średnia ważona polami poszczególnych trójkątów. Teoretyczne położenie środka (nie środka ciężkości) koła pozostało niezmiennie po transformacji.



Rys.4. Systematyczne przesunięcie środka koła po transformacji

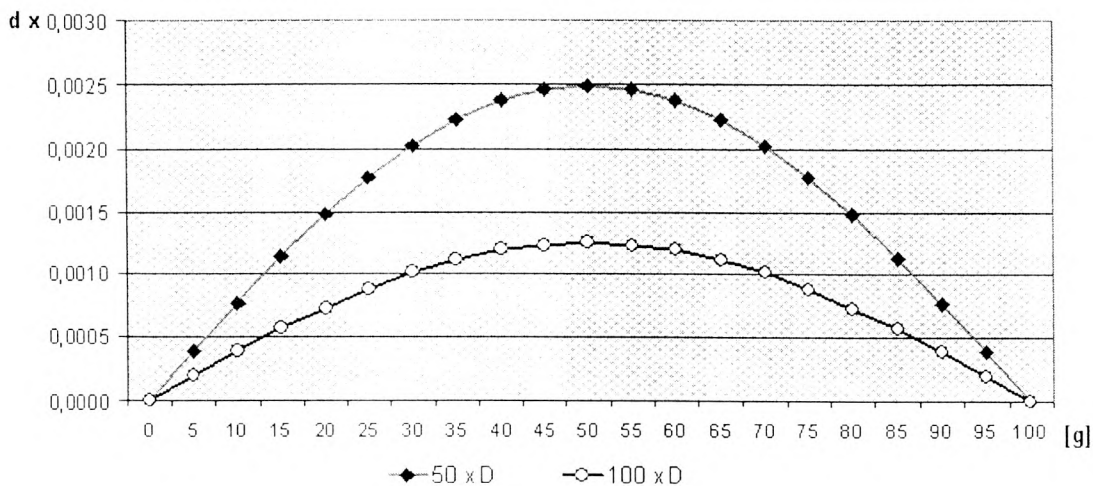
$D$  – średnica znaku w terenie

$\alpha$  – kąt skręcenia sygnalizacji względem płaszczyzny tłowej

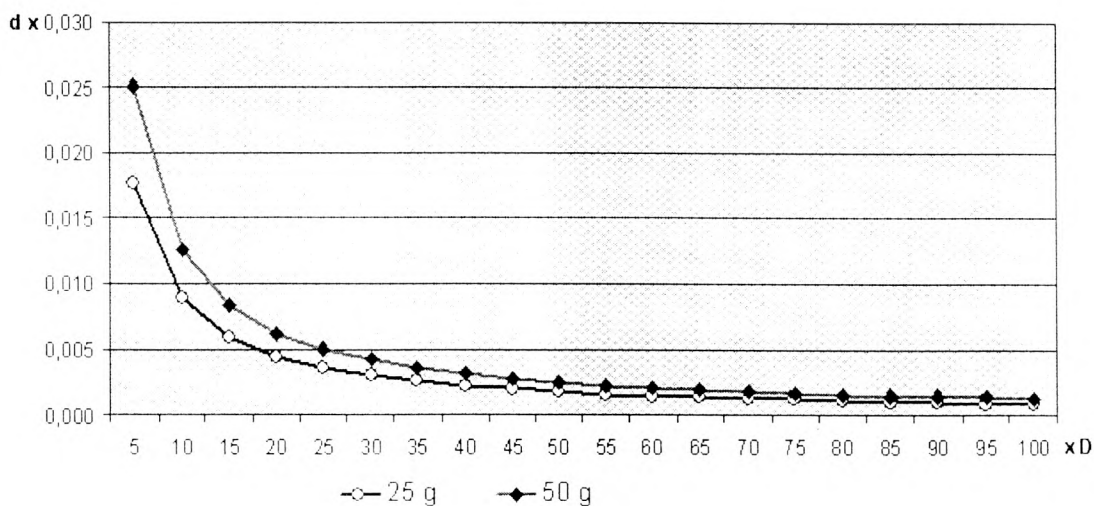
$d$  – średnica znaku na zdjęciu

$ds$  – systematyczne przesunięcie środka sygnalizacji

$nD$  – ustalenie tej samej odległości przedmiotu i obrazu od środka rzutów (uproszczenie)



Rys.5. Zależność błędu od kąta skreńnięcia znaku dla odległości równej 50 i 100 średnic znaku.



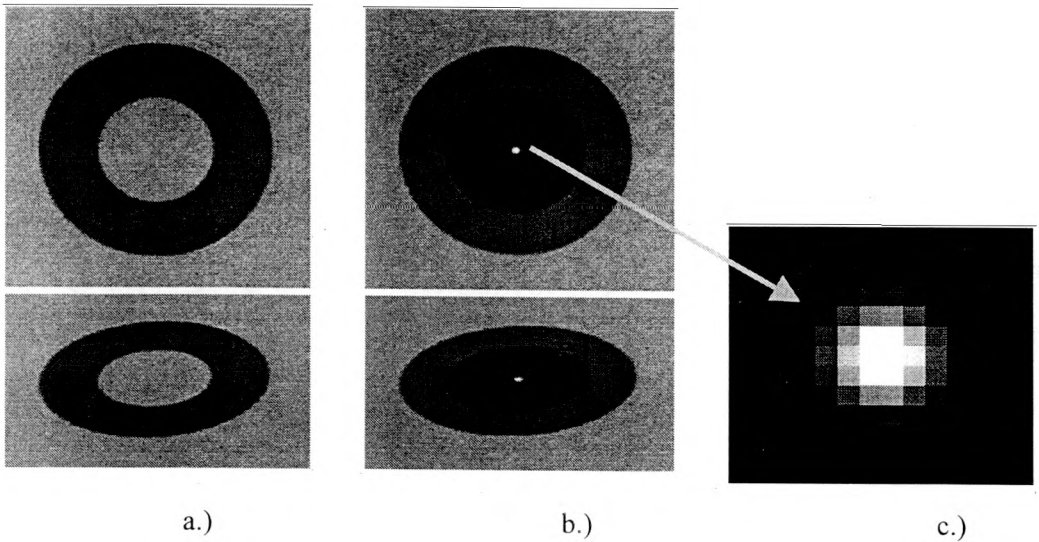
Rys.6. Zależność błędu od odległości wyrażonej w wielokrotności średnic znaku (dla kąta skreńnięcia 25 i 50 gradów względem płaszczyzny tłowej)

W celu otrzymania odchyłek wyrażonych w pikselach, należy wartości z osi OY (rys. 5 i 6) pomnożyć przez rozmiar znaku na zdjęciu (w pikselach).

## Próba rozwiązania problemu

Jeżeli badany błąd systematyczny jest niedopuszczalny w prowadzonych pomiarach i jego wektor jest niemożliwy do wyznaczenia, należy zastosować specjalną sygnalizację punktów. Polega ona na zastąpieniu kół pierścieniami. Gdy stosowane są pierścienie, możliwe jest wyznaczenie przesunięcia perspektywicznego środka sygnalizacji, stosując odpowiednią procedurę pomiarową. Badanie potwierdzające słuszność tej tezy zostało przeprowadzone tak aby wyeliminować inne błędy systematyczne (np. dystorsję). Z jednego zdjęcia zostało wygenerowanych kilkanaście przy określonym skokowo zmieniającym się kącie obrotu do transformacji. Zostało ono powtórnie odwzorowane przy zastosowaniu metody resamplingu zbliżonej do bilinearnej (zamiast odległości, pola wspólnego pokrycia).

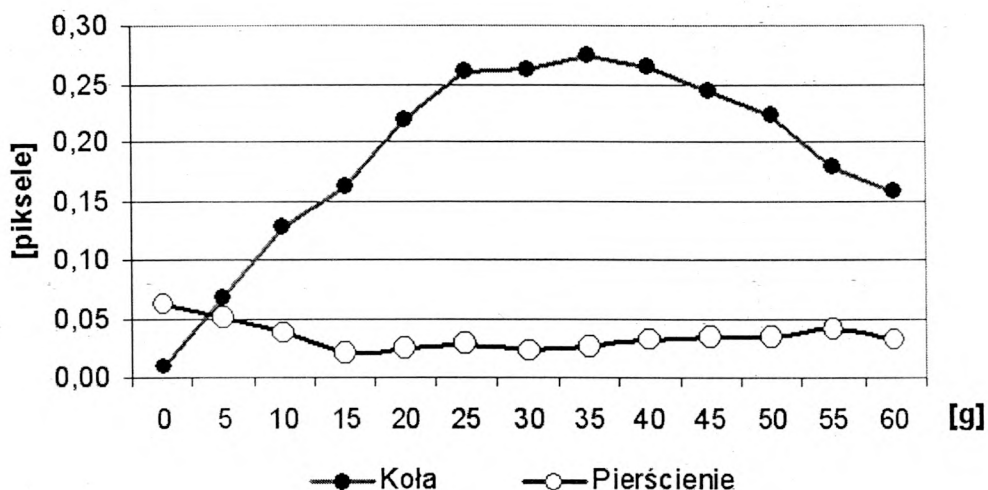
Tej samej operacji było poddawane zdjęcie oryginalne i „nakłute” cyfrowo. „Nakłucie” służyło do precyzyjnego oznaczenia położenia środka każdego znaku (było ich 8). Dzięki temu było wiadomo, gdzie ten teoretyczny punkt znajduje się na każdym obróconym przez resampling zdjęciu. Dokładność „nakłucia” potwierdzona powtórным pomiarem (metodą ważonego środka ciężkości) wynosiła ok.  $\pm 0.005$  piksela (brak przypadkowości dyskretyzacji).



Rys.7. Obraz sygnalizacji punktu przed i po obróceniu o założony kąt (50g)

- a.) zdjęcie oryginalne
- b.) zdjęcie „nakłute”
- c.) cyfrowe „nakłucie” (oznaczenie) zdjęcia





Rys.8. Wyniki pomiaru dla średnicy znaku ok. 80 pikseli i odl. ok 3000 pikseli od środka rzutów. Na osi pionowej podane są odchyłki od miejsca „naktucia”.

### Podsumowanie

Na podstawie badań można polecić stosowanie jak największych znaków dla zmniejszenia błędów przypadkowych pomiaru. Systematyczny wpływ geometrii odwzorowania jednak zwiększa się wraz ze wzrostem rozmiaru sygnalizacji.

Należy więc określić rozmiar i sposób oznaczania punktów, będący najlepszym kompromisem. Użycie pierścieni zamiast kół jest opłacalne, gdy występuje znaczne skrzywienie płaszczyzny znaku względem płaszczyzny tłowej kamery, przy stosunkowo niewielkich odległościach od środka rzutów. Daje to wskazanie na fotogrametrię bliskiego zasięgu.

Niestety, stosowanie pierścieni powiększa minimalny rozmiar sygnalizacji. Powinno się więc zbadać opłacalność wykorzystania danej sygnalizacji dla spełnienia określonych założeń dokładnościowych.

### Literatura:

- J.Chen, T.A.Clarke „The Automatic Recognition, Location and Labelling of Targets in Digital Photogrammetric Engineering Measurement”, ISPRS Washington 1992, Commission V.
- A.Chibunichev „Algorithms of digital target location and their investigations”, ISPRS Washington 1992, Commission V.

- C.S.Fraser „Automated Processes in Digital Photogrammetric Calibration, Orientation, and Triangulation”, *Digital Signal Processing* 8, 277-283 (1998)
- F.A. van den Heuvel, R.J.G.A. Kroon, R.S. Le Poole „Digital Close-Range Photogrammetry Using Artificial Targets”, *ISPRS Washington 1992, Commission V*.
- S.Mikrut, K.Pyka „Poszukiwanie miar oceny degradacji obrazów wskutek kompresji metodą JPEG”, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 10, 2000, str53-1: 53-9.
- R.Preuss „Sposoby odtwarzania orientacji zdjęć we współczesnych technologiach fotogrametrycznych”, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* Vol. 7, 1997, str35-45.
- S.Robson, M.R.Shortis „Practical Influences of Geometric and Radiometric Image Quality Provided by Different Digital Camera Systems”, *Photogrammetric Record*, 16(92): 225-248 (October 1998).
- J.C.Trinder „Precision of Digital Target Location”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, No. 6, June 1989, pp. 883-886.
- J.C.Trinder, J.Jansa, Y.Huang „An Assesment of the Precision and Accuracy of Methods of Digital Target Location”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(2): 12-20 1995.

Recenzował: prof. dr hab. Adam Linsenbarth