

BADANIE WYBRANYCH METOD MATCHINGU DO POMIARU PUNKTÓW NA CYFROWYCH OBRAZACH BLISKIEGO ZASIĘGU*

RESEARCH ON SELECTED MATCHING METHODS FOR THE MEASUREMENT OF POINTS ON CLOSE RANGE DIGITAL IMAGES

¹Piotr Sawicki, ²Bartosz Ostrowski

¹Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

²Instytut Elektroniki, Politechnika Łódzka

Słowa kluczowe: obraz cyfrowy, matching, pomiar punktów, bliski zasięg

Keywords: digital image, matching, point measurement, close range

Wprowadzenie

Współczesna fotogrametria bliskiego zasięgu powszechnie wykorzystuje zautomatyzowane procedury pomiaru i opracowania zdjęć cyfrowych. Stosowane techniki dopasowania (dostosowania), tzw. matchingu korespondujących fragmentów obrazów cyfrowych są to procedury wyznaczenia miary podobieństwa, położenia odpowiadającego najlepszej zgodności pomiędzy kolejnymi fragmentami obrazu $g(x,y)$ a obszarem referencyjnym $f(x,y)$.

Podstawowa klasyfikacja ze względu na sposób działania wyróżnia następujące grupy matchingu na obrazach cyfrowych (Mass, 1997; Schenk, 1999; Trinder et al. 1995):

- *Area Based Matching* – dopasowanie poszukiwanego fragmentu w odniesieniu do obrazu referencyjnego w obszarze grup pikseli na podstawie bezpośredniej informacji obrazowej w postaci poziomów jasności.
- *Feature Based Matching* – dopasowanie poszukiwanego fragmentu w stosunku do rozpoznanej cechy lokalnej lub globalnej obiektu.
- *Relational Matching* – wykorzystanie wzajemnych związków, zależności pomiędzy strukturą i cechami obrazu (operatory należące do tej grupy nie znalazły do tej pory operacyjnego zastosowania).

Podział technik matchingu obowiązujący ostatnio w fotogrametrii bliskiego zasięgu przyjmuje liczbę obrazów użytych do określenia miary rozpoznania i korelacji (Luhmann, 2000):

- Matching w dwuwymiarowej przestrzeni pojedynczego obrazu,

* Praca naukowa realizowana w latach 2004–2006 w ramach grantu KBN Nr 4T12E 003 26

- Matching obrazów (*image matching*) i rekonstrukcja obiektów 3D na podstawie co najmniej dwóch obrazów.

Jednym z podstawowych zadań fotogrametrii bliskiego zasięgu jest zautomatyzowany tryb pomiaru na pojedynczych obrazach cyfrowych punktów sygnalizowanych i odwzorowanych w postaci prostych form strukturalnych lub dyskretnych o wyodrębnionych cechach strukturalnych (Chen et al., 1992; Luhmann, 1996). Zautomatyzowany pomiar współrzędnych środków sygnalizowanych punktów (*targets*) w przestrzeni dwuwymiarowej obrazu wymaga użycia operatorów matchingu. Obszar referencyjny stanowi fragment rzeczywistego obrazu cyfrowego, który zawiera sygnalizowany punkt lub w przypadku znanej struktury poziomów szarości, syntetycznie wygenerowany wzorzec (*template*). Metody matchingu stosowane do pomiaru współrzędnych punktów na pojedynczych zdjęciach z założenia wymagają dobrego przybliżenia lokalizacji tych punktów na obrazach.

W przypadku fotogrametrii bliskiego zasięgu standardowe techniki matchingu stosowane w procedurach pomiaru cyfrowych zdjęć lotniczych nie są wystarczająco skuteczne, ze względu na niehomogeniczne właściwości geometryczne i radiometryczne tych samych punktów odwzorowanych na obrazach cyfrowych, które tworzą blok zdjęć. Wynika to z różnej konfiguracji i geometrii zdjęć w stosunku do obiektu. Wskutek tego na obrazach cyfrowych występują: zmienność skali, różne zniekształcenia perspektywiczne, zróżnicowane parametry radiometryczne spowodowane zmianą warunków oświetlenia obiektu i ekspozycji itp. Wybór właściwej i skutecznej metody matchingu do pomiaru punktów musi dodatkowo uwzględnić rodzaj opracowania, sposób pomiaru, oczekiwaną dokładność, sposób sygnalizacji (wielkość, kształt, strukturę, teksturę) punktów pomiarowych. Dlatego w cyfrowych pomiarach bliskiego zasięgu stosuje się również rozwiązania, które są połączeniem różnych metod matchingu.

Zautomatyzowany sposób pomiaru punktów występuje w wielu typowych opracowaniach cyfrowych bliskiego zasięgu, m.in.: w procesie kalibracji kamer cyfrowych, podczas orientacji zdjęć w autografach cyfrowych, na etapie pomiarów do rozwiązania sieci teratriangulacji, podczas analitycznej rekonstrukcji i badania deformacji maszyn i urządzeń oraz różnego typu obiektów inżynierskich, itp. (Atkinson, 1996; Luhmann, 2000).

Semiautomatyczne (rejony poszukiwania wzorca definiowane są przez operatora manualnie) oraz przy zastosowaniu punktów kodowanych lub odblaskowych, w pełni automatyczne procedury pomiaru zapewniają szybkość, wiarygodność i w praktyce podpikselową dokładność, nawet rzędu $\pm 0,01$ piksela. Pomiar manualny o szacowanej dokładności rzędu $0,2 \div 0,5$ piksela ograniczony jest tylko do naturalnych, dyskretnych punktów obiektu, ewentualnie do punktów, dla których operator automatycznego pomiaru staje się nieskuteczny.

Badane metody matchingu

Przedmiotem szczegółowych badań i analiz były cztery metody matchingu, które pozwalają uzyskać podpikselową dokładność pomiaru współrzędnych punktów na pojedynczych obrazach cyfrowych. Wybór tych metod uwarunkowany był potrzebą stworzenia dodatkowych narzędzi pomiarowych dla aplikacji metrologicznych w bliskim zasięgu cyfrowego systemu wideo-termalnego VISION PLUS (Sawicki, 2000). W stworzonym oprogramowaniu zaimplementowano metody:

Center of gravity – operator środka ciężkości (w pracy przyjęto oznaczenie CG), spotykany również pod nazwą *center weighted method* (Luhmann, 2000). Środek ciężkości znaku zostaje określony jako ważony środek współrzędnych pikselowych otoczenia, przy wzorcu obrazu wykazującym symetryczny rozkład poziomów szarości.

Center weighted method – właściwa metoda ważonego środka ciężkości, rozszerzona o funkcje gradientu (oznaczenie WC) (Luhmann, 2000). Wyznaczenie centrum szukanego znaku, którego struktura jest zdefiniowana przez wyraźną, progową zmianę poziomu szarości (np. krawędź koła), następuje przez wprowadzenie funkcji wag zależnych od gradientu jasności pikseli w obrazie. Metody ważonego środka ciężkości są nieodporne na szумы w postaci pojedynczych pikseli o odstających poziomach szarości w stosunku do otoczenia punktu.

Cross correlation – metoda wzajemnej korelacji obrazów (oznaczenie CC) (Kraus, 1993; Luhmann, 2000). Obliczona zostaje miara podobieństwa pomiędzy obrazem wzorca i obrazem poszukiwanym. W każdej pozycji obrazu referencyjnego w stosunku do korespondującego wycinka obrazu przeszukiwanego obliczany zostaje współczynnik korelacji. Stosowaną miarą podobieństwa jest normowany współczynnik cross-korelacji, który obliczany jest z odchyłeń standardowych i kowariancji. Metoda korelacji występuje również w opcji z szablonem (*template*) – syntetycznie wygenerowanym obrazem wzorca o zdefiniowanym położeniu środka.

Least Squares Matching – metoda korelacji najmniejszych kwadratów (LSM) (Grün, 1985). Metoda LSM bazuje na iteracyjnym procesie transformacji geometrycznej (rzutowa lub afiniczna) i radiometrycznej, liniowej transformacji poziomów szarości między obrazem wzorca a obrazem szukanym celem minimalizacji sumy kwadratów różnic wartości poziomów szarości między tymi fragmentami obrazu (*patches*). Obraz wzorca może być fragmentem (wycinkiem) rzeczywistego obrazu. Przy znanej strukturze poziomów szarości sygnałów pomiarowych można w sposób syntetyczny utworzyć obraz wzorcowy tzw. *template*. W takim przypadku metoda przyjmuje nazwę *Least Squares Template Matching*.

Przestrzeń kolorów RGB

Stosowane w fotogrametrii procedury matchingu wymagają dla obrazów barwnych transformacji wartości pikseli do jednowymiarowej, monochromatycznej przestrzeni przedziału poziomów szarości $[0, 255]$. Przy założeniu, że każda składowa R, G i B zapisana jest głębią 8 bit można wyznaczyć poziomy szarości z zależności (1) wg rekomendacji Standard Rec 601-1:

$$I = 0,299 \times R + 0,587 \times G + 0,114 \times B \quad (1)$$

gdzie I oznacza wypadkową wartość jasności monochromatycznej (luminancja oznacza poziom jasności). Sposób ten, jako średnia ważona najbardziej uwzględnia czułość oka ludzkiego na poszczególne składowe barw. Utworzenie zwykłej średniej arytmetycznej wartości składowych lub zastosowanie sposobu dwóch przesunięć bitowych i dwóch sumowań może stanowić zafałszowanie rzeczywistych wartości pikseli.

W fotogrametrii bliskiego zasięgu powszechnie stosowane są systemy bezpośredniej rejestracji oparte na aparatach i kamerach cyfrowych. Są one wyposażone w matryce wykonane w technologii CCD lub CMOS, których odwzorowanie barw na obrazie odbywa się w bardzo złożony sposób. W większości sensorów detektory światła pokryte są filtrem RGB

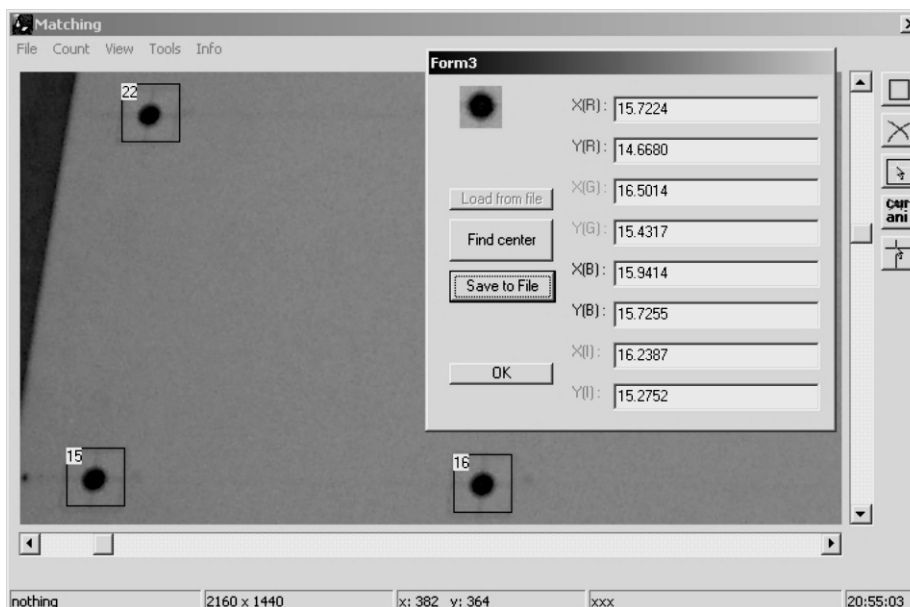
Bayer'a, w którym 50% informacji przenosi kanał zielony, natomiast po 25% kanały czerwony i niebieski. Inny sposób to stosowany ostatnio w firmie Sony filtr RGBE (dodany jest filtr o barwie szmaragdowej – *emerald*) oraz inne rozwiązania wprowadzone przez firmę Fujifilm, mające na celu zwiększenie rozpiętości tonalnej rejestracji.

Program „Matching”

Cztery opisane powyżej metody zostały zaimplementowane w autorskim programie "Matching" napisanym w języku programowania Delphi 7. Program przeznaczony jest do pomiaru w trybie semiautomatycznym współrzędnych pikselowych sygnalizowanych punktów zarejestrowanych na obrazach cyfrowych o dowolnej rozdzielczości.

Zastosowane w programie algorytmy matchingu mogą wykonywać pomiary na obrazach monochromatycznych w przedziale poziomów szarości [0, 255]. W przypadku obrazów barwnych obliczenia mogą być wykonywane niezależnie dla każdej składowej R, G, B w przedziale [0, 255] oraz dodatkowo dla wypadkowej wartości jasności I, która jest obliczona według wzoru (1).

Opracowany program charakteryzuje przyjazny interfejs użytkownika, który pozwala m.in. na: funkcjonalną wizualizację obrazów i aktualnego trybu pracy, zdefiniowanie obszarów zainteresowań, nadanie im nazw własnych (maks.30 znaków ASCII), określenie parametrów obliczeń (próg decyzyjny, precyzja obliczeń), wyświetlenie wyników pomiarów w postaci tabelarycznej, zapis wyników na dysku w dwóch formatach w zewnętrznych plikach tekstowych. Poza tym program posiada wszystkie typowe funkcje właściwe dla aplikacji Windows.



Rys. 1. Główne okno programu „Matching” z obszarami zainteresowań i oknem definiowania wzorca

Wykonanie pomiarów metodą korelacji wzajemnej (CC) oraz metodą korelacji najmniejszych kwadratów (LSM) wspomagane jest automatycznym obliczeniem metodą ważonego środka ciężkości (WC) lub manualnym sposobem zdefiniowania współrzędnych środka wzorca (*template*). W zmodyfikowanej metodzie ważonego środka ciężkości (WC) zastosowano filtrację obrazu za pomocą dwuwymiarowego filtru gradientowego – operatora Sobela. Przy oprogramowaniu metody LSM do rozwiązania zlinearyzowanego układu równań, rozszerzonych o gradienty jasności pikseli, zastosowano eliminację Gaussa.

W celu przyspieszenia procesu obliczeń program nie wykonuje sukcesywnego poszukiwania wzorca na całym obszarze obrazu, tylko na zdefiniowanych przez użytkownika obszarach zainteresowań. Pomiar punktów wybraną metodą matchingu wykonywany jest w 3 kanałach R, G, B oraz luminancji (poziomach jasności).

Badanie dokładności wybranych metod matchingu

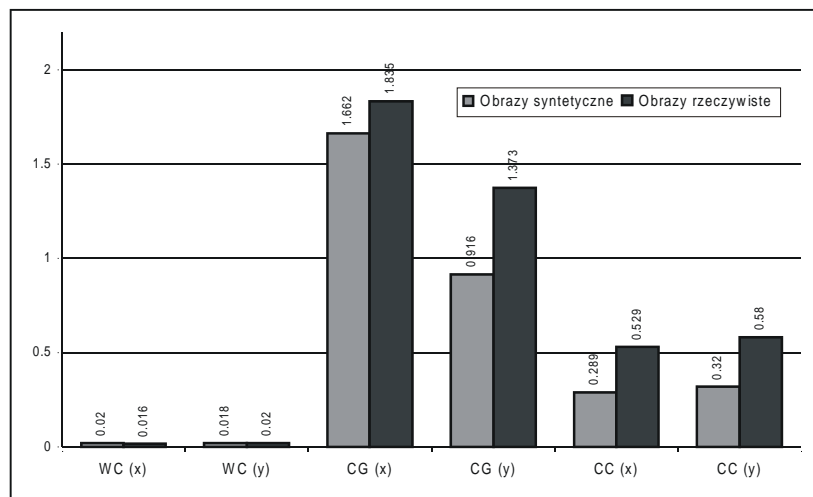
Badanie dokładności i jakości wymienionych wyżej metod matchingu przeprowadzono na syntetycznych i rzeczywistych zdjęciach (normalnych i nieznacznie pochylonych) 2D pola testowego. Wygenerowano syntetyczne kolorowe obrazy cyfrowe o rozdzielczości ca 2,1 K×1,5 K z symulowanym polem testowym, które posiadało 35 równomiernie rozmieszczonych punktów na szarym tle (R=232, G=226, B=214), tak jak rzeczywiste pole testowe. W kolejnych sesjach pomiarowych punkty w postaci strukturalnych, homogenicznych czarnych sygnałów miały średnicę odpowiednio 5, 11, 15, 25 pikseli. Krawędzie sygnałów zostały odpowiednio rozmyte. Utworzone 24 bitowe mapy zostały zakłócone szumem o charakterystyce zgodnym z rozkładem Gaussa i zapisane w formacie BMP.

Zdjęcia rzeczywistego pola testowego o 35 punktach wykonano aparatem cyfrowym typu *compact* Kodak DC 4800 (matryca CCD, 3,1 mln efektywnych pikseli, rozdzielczość obrazu 2,16K×1,44K) oraz lustrzanką cyfrową Kodak DCS Pro 14n (matryca CMOS, 13,7 mln efektywnych pikseli, rozdzielczość obrazu 4,5 K×3K).

Badanie dokładności metod matchingu przeprowadzono dla obrazów normalnych i nieznacznie pochylonych z punktami sygnalizowanymi o różnej wielkości w kanale jasności I oraz niezależnie w kanałach R, G, B. Ocenę wyników pomiarów badanych operatorów matchingu przeprowadzono za pomocą średniej odchyłki kwadratowej r_x , r_y dla wyznaczanych współrzędnych pikselowych (zewnętrzne kryterium oceny jakości pomiarów). W prezentowanej analizie zrezygnowano z odchylenia standardowego jako wewnętrznej miary dokładności.

Badanie dla jasności I dokładności metod WC, CG, CC w stosunku do metody LSM

W stosunku do wyników uzyskanych metodą LSM największe różnice, bez względu na wielkość sygnalizowanego punktu, rzędu średnio $\pm 1,3$ piksela (obrazy syntetyczne) i $\pm 1,6$ (obrazy rzeczywiste) wykazuje metoda CG. Metoda CC daje średnie różnice $\pm 0,3$ piksela (obrazy syntetyczne) i $\pm 0,55$ piksela (obrazy rzeczywiste) (rys. 2). Wyniki pomiaru metodą WC nie różnią się istotnie ($\pm 0,02$ piksela) dla obu typów obrazów od współrzędnych pikselowych wyznaczonych metodą LSM.

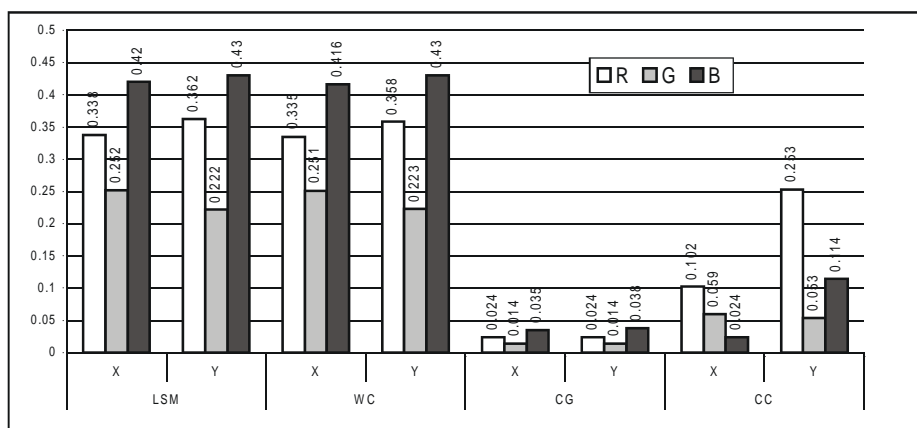


Rys. 2. Odchyłki r_x , r_y dla jasności I w metodach WC, CG, CC w stosunku do metody LSM

Wyniki pomiarów poszczególnymi procedurami matching'u dla jasności I złożonej z kanałów R, G, B i jasności monochromatycznej o głębi 8 bit nie różnią się w istotnie. Zgodnie z przewidywaniami znacznie większe wartości r_x , r_y otrzymano dla pomiarów na obrazach rzeczywistych, co było spowodowane wpływem dystorsji i aberracji optycznych obiektywu oraz szumów na obrazach.

Badanie dokładności metod LSM, WC, CG, CC w kanałach R, G, B w stosunku do jasności I

W obrazach sztucznie wygenerowanych, odchyłki średniokwadratowe r_x , r_y dla poszczególnych kanałów RGB w każdej z analizowanych metod otrzymują w stosunku do jasności I wartości rzędu $\pm 0,22 \div 0,43$ piksela, ponieważ poziomy szarości barw R, G, B dla tła sygnałów były bardzo do siebie zbliżone (rys. 3).

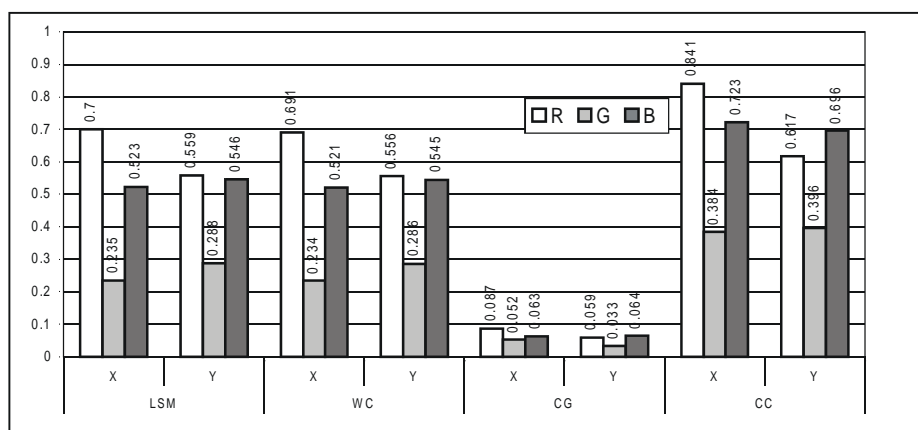


Rys. 3. Odchyłki r_x , r_y metod LSM, WC, CG, CC w kanałach R, G, B w stosunku do jasności I dla zdjęć syntetycznych

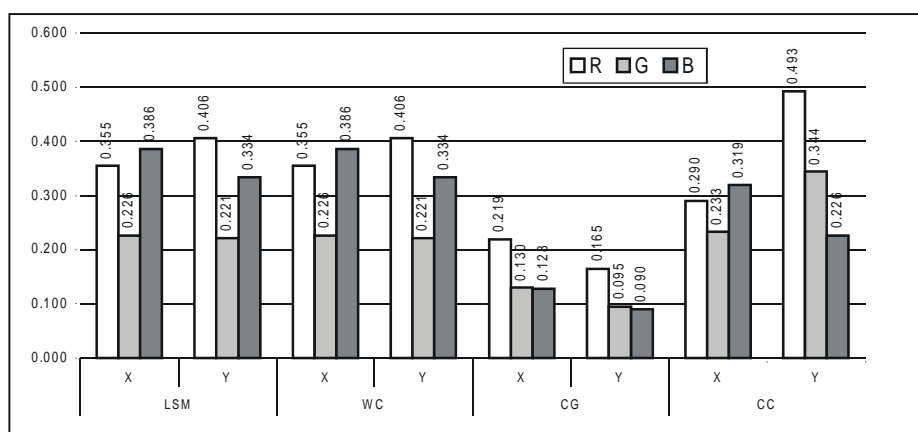
Najmniejsze wartości średnich odchyłek kwadratowych r_x , r_y daje CG środka ciężkości, która posiada prosty algorytm oparty na wagowaniu jasności. Zbliżone poziomy szarości w kanałach R, G, B powodują podobieństwo otrzymanych wyników. Największe odchyłki powstają w metodzie LSM, ponieważ obraz podlega dodatkowym przekształceniom geometrycznym, co może mieć wpływ na ostateczne wyniki pomiarów na obrazach syntetycznych.

Matching wykonany na obrazach zarejestrowanych aparatem Kodak DC4800 i DSC Pro 14 n powoduje najmniejsze odchyłki piksela w kanale zielonym G, największe w kanale, czerwonym R i niebieskim B, co bezpośrednio wynika z konstrukcji filtra Bayer'a (rys. 4, 5).

Wpływają na to wagi używane podczas interpolacji przy wytwarzaniu składowych kolorów R, G, B dla danego piksela oraz prawdopodobnie inny algorytm interpolacji kolorów z filtra, jak też inny stopień przepuszczania światła przez konkretne maski koloru filtra. Mniejsze błędy pomiaru można uzyskać, gdy matching będzie wykonywany tylko w kanale zielo-



Rys. 4. Odchyłki r_x , r_y metod LSM, WC, CB, CC w kanałach R, G, B w stosunku do jasności I dla zdjęć wykonanych kamerą Kodak DC 4800



Rys. 5. Odchyłki r_x , r_y metod LSM, WC, CB, CC w kanałach R, G, B w stosunku do jasności I dla zdjęć wykonanych kamerą Kodak DCS Pro 14 n

nym G (Kowalczyk, 2003). Wpływa na to charakterystyka obrazu barwnego generowanego przez filtr Bayer'a oraz największa waga, ca 0,6 dla koloru zielonego przy wyznaczaniu wartości jasności dla pikseli. Wykorzystywanie jasności pikseli do matchingu może prowadzić do bardziej błędnych wyników niż obliczenia prowadzone w kanale zielonym, gdyż składowe R i B wpływają tylko w ca 40% na wyliczaną jasność każdego piksela.

Wyników pomiarów wykonanych metodą LSM w programie „Matching” nie udało się zweryfikować posiadanym programem PICTRAN D/E niemieckiej firmy technet GmbH, ponieważ nie uzyskano informacji o zasadach działania zaimplementowanej metody *template* LSM. Wiadomo jest tylko, że program PICTRAN D/E wykorzystuje do przetwarzania obrazów cyfrowych zewnętrzną bibliotekę *Imagegear*. Obraz wynikowy jest średnią ważoną intensywności barw w 3 kanałach oryginalnego obrazu barwnego. Systematyczne różnice rzędu $\pm 0,2$ piksela w wynikach pomiaru obu programami wynikają więc prawdopodobnie z różnic w algorytmach matchingu lub innego sposobu wagowania składowych 3 kanałów.

Podsumowanie

Przy pomiarze punktów z subpikselową dokładnością najmniej dokładna jest metoda środka ciężkości oparta jedynie na jasności pikseli. Metoda ta daje zadawalające wyniki, gdy poziom jasności punktu jest dużo większy od jasności tła, na którym się on znajduje. Metoda ważonego środka ciężkości oparta na gradientach jasności pikseli eliminuje ten błąd. Na jej dokładność decydujący wpływ ma jakość zobrazowania punktów strukturalnych. W korzystnych warunkach pomiaru punktów, metoda ważonego środka ciężkości zapewnia porównywalną z metodą korelacji najmniejszych kwadratów (LSM) dokładność $\pm 0,01 \div 0,05$ piksela. Dokładność metod wzajemnej korelacji oraz LSM zależy od dokładności określenia środka wzorca. Mniejsze błędy pomiaru automatycznego wystąpią, gdy matching będzie wykonywany tylko w kanale zielonym G, zamiast w kanale jasności I, otrzymanym po konwersji obrazu do skali szarości.

Wyniki badań potwierdziły, że optymalna wielkość sygnalizowanego punktu powinna mieć średnicę $5 \div 15$ pikseli. Duże znaki o średnicy powyżej 25 pikseli znacznie wydłużają czas matchingu i powodują spadek dokładności pozycjonowania.

Współczesne systemy cyfrowej, bezpośredniej akwizycji obrazu stosowane w fotogrametrii bliskiego zasięgu charakteryzują się złożoną konstrukcją generowania i filtracji sygnału wizyjnego. Dlatego w pomiarach automatycznych z subpikselową dokładnością, celowe jest wykonanie analizy wpływu poszczególnych składowych R, G, B na skuteczność i dokładność procedur matchingu. Badania takie są również celowe przy opracowaniach wykorzystujących łączenie multisensoralnych cyfrowych danych obrazowych.

Literatura

- Atkinson K.B., 1996: Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing.
- Chen J., Clarke T.A., 1992: The Automatic Recognition, Location and Labelling of Targets in Digital Photogrammetric Engineering Measurement", ISPRS Washington, Com.V.
- Grün A.W., 1985: Adaptive Least Squares Correlation a Powerful Image Matching Technique. *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, 14(3), s. 175-187.
- Kowalczyk M., 2003: Badanie zakresu i stopnia możliwej automatyzacji pomiaru fotogrametrycznego bazującego na kamerze cyfrowej. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska.

- Kraus, K., 1993: Photogrammetry. Dümmler Verlag, Bon.
- Luhmann T., 1996: Results of the German Comparison Test for Digital Point Operators. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI Part B5/2 Com.V, s. 324-329.
- Luhmann T., 2000: Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen, Wichman Verlag, Heidelberg.
- Maas H.G., 1997: Mehrbildtechniken in der digitalen Photogrammetrie. *ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie*, Nr 62.
- Sawicki P., 2000: Digital multisensoral video-thermal system for close range metrology applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII Part B5/2 Com.V, s. 691-698.
- Schenk T., 1999: Digital Photogrammetry. TerraScience.
- Trinder J.C., Jansa J., Huang Y., 1995: An Assesment of the Precision and Accuracy of Methods of Digital Target Location. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(2), 12-20.

Summary

One of the basic aims of close-range photogrammetry is to provide an automatic mode for measurement of simple structure signalized points and discreet points with defined structure characteristics on single digital images. The automatic measurement of coordinates of signalized points centres on 2D images requires the use of matching operators.

Based on matching operators analysis, four methods of measurement of points coordinates with subpixel accuracy were selected for further detailed research from the Area Based Matching and Feature Based Matching group. These methods are:

- Center of gravity operator
- Center weighted method
- Cross correlation
- Least Squares Matching

A special software called "Matching" was created in Delphi 7 programming language in order to carry out the research. The above mentioned four procedures of matching were implemented in the software. The application is created for the measurement in semiautomatic mode of pixel coordinates of signalized points registered on digital images of any resolution. The matching may be carried out in greyscale [0, 255]. On colour images it is carried out in channels R, G, B and brightness I, which is calculated according to the following formula: $I = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$

The created application is characterized by user-friendly interface, which allows, among others, functional visualization of images and of the current work mode, defining areas of interest and naming them, determining calculation parameters, displaying measurement results in a table, recording the results on a disc in one of two formats, exporting the results to a text file etc. The application has all typical functions of Windows applications.

Execution of measurements in cross-correlation and LSM methods is aided by automatic calculation by the center weighted method or by manual determining of template coordinates. In the modified center weighted method image filtration by a gradient filter – the Sobel operator – is used. The Gauss elimination was used to solve the linearized equations system in programming of the LSM method. Research on accuracy and quality of matching methods was carried out on synthetic and real images of 2D test field with 35 targets. Synthetic colour 24 Bit digital images of 2.1K×1.5K were generated and recorded in the BMP file format. The images of the real test field with 35 targets were taken by Kodak DC 4800 (sensor CCD, 3.1 millions pixels, image resolution 2.2K×1.4K) compact type digital camera and by SLR digital camera Kodak DCS Pro 14n (sensor CMOS, 13.7 millions pixels, image resolution 4.5K×3K).

Research on matching methods accuracy for synthetic and real images in different orientations of the images and sizes of the targets was carried out in the brightness channel I and independently in the R, G, B channels. The results of the matching methods examined were assessed by means of mean square residual r_x, r_y for measured pixel coordinates.

There is no significant difference between results of matching procedures for each R, G, B channel, as well as monochromatic brightness I with 8 Bit depth. In comparison with the results of the LSM method, the biggest differences, regardless of the size of signalized point, of the order of ± 1.3 pixels on average for synthetic images and ± 1.6 pixels for real images, are achieved while using the center of gravity operator. Average differences in the cross correlation method amount to ± 0.3 pixels for synthetic images and ± 0.55 pixels for real images. There is no significant difference (± 0.02 pixels) between the results obtained by center weighted method for both types of images and the pixel coordinates achieved by the LSM method.

The matching of images registered with Kodak DC4800 and Kodak DCS Pro 14n cameras brings the smallest residuals in the green channel G, and the biggest in red (R) and blue (B) channels. This is the consequence of the Bayer's filter used and for the weights used during interpolation in defining R, G, B colors for a given pixel.

The results of the research proved, that the diameter of $5 \div 15$ pixels is the optimal size of targets. Big targets of the diameter of 25 pixels and more significantly extend the time of the matching and result in decrease of positioning accuracy.

The analysis of impact of each component R, G, B on effectiveness and accuracy of matching procedures should be carried out in automatic measurements with subpixel accuracy, as well as in elaborations combining multisensoral digital visual data.

dr inż. Piotr Sawicki
piotr.sawicki@geodezja.pl
tel. (0-89) 523 32 82, (0-89) 523 38 41
fax (0-89) 523 32 10

mgr inż. Bartosz Ostrowski
bostrow@p.lodz.pl
tel. (0-42) 631 26 35
fax (0-42) 636 22 38