

AUTOMATYCZNA IDENTYFIKACJA SYGNALIZACJI PUNKTÓW NA OBRAZACH CYFROWYCH

***Streszczenie.** Pomiary fotogrametryczne bliskiego zasięgu wymagają jednoznacznego wskazania i identyfikacji punktów, zobrazowanych na zdjęciach. Zachodzi potrzeba szybkiego i pewnego odnalezienia ich sygnalizacji bez udziału obserwatora, a więc automatycznie. Obrazy cyfrowe stwarzają taką możliwość, ze względu na łatwy dostęp do każdego piksela. W referacie przedstawiono podstawowe sposoby sygnalizacji punktów na badanym obiekcie tak, aby możliwa była ich prawidłowa identyfikacja. Oprócz pokazania istniejących koncepcji na rynku światowym, podana jest też autorska propozycja nieskomplikowanego rozwiązania tego problemu. Proponowana metoda została zweryfikowana na rzeczywistym obiekcie.*

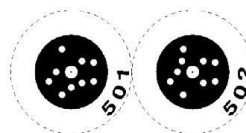
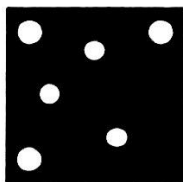
Identyfikacja punktów na zdjęciach jest jedną z podstawowych części pomiaru fotogrametrycznego. Etap ten polega na znalezieniu i oznaczeniu tych samych fragmentów rejestrowanego obiektu odpowiednim identyfikatorem na każdym zdjęciu. Jeżeli odbywa się to w sposób automatyczny to możliwe jest znaczne uproszczenie i przyspieszenie prac związanych z prowadzonym pomiarem. Wykonanie orientacji zewnętrznej, kalibracji lub innych fragmentów technologii fotogrametrycznej jest wówczas prowadzone bez nadzoru [Preuss 1997].

Istnieje obecnie bardzo wiele systemów pomiarowych, wprowadzających znaczną automatyzację pracy. Ważna jest przede wszystkim skuteczność ich działania. Koncepcja musi zapewnić niezawodność dostarczenia wyników w zmiennych warunkach rzeczywistego pomiaru.

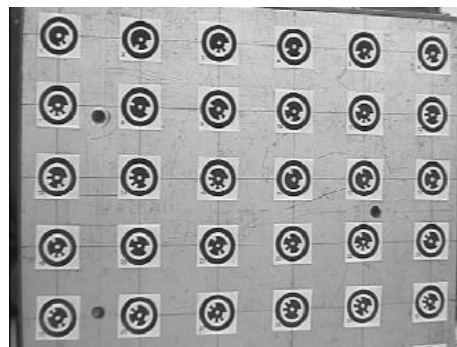
1. Koncepcje automatycznego pomiaru punktów na zdjęciu

Punkty, które mają być automatycznie identyfikowane i lokalizowane na zdjęciach, muszą zwykle posiadać odpowiednią sygnalizację. Powinna ona dać możliwość automatycznego przydzielenia identyfikatora i następnie precyzyjnego określenia położenia na obrazie cyfrowym.

Zależnie od stosowanej metody pomiaru, występuje szereg różnych sposobów ich znakowania. Zwykle jest to koło otoczone symbolami oznaczającymi przyporządkowany do danego znaku numer. Cały system znakowania powinien być odporny na możliwość skrócenia emblematu w dowolnej płaszczyźnie względem kamery, co jest konieczne w wielu zastosowaniach fotogrametrii z bliska, w których zakłada się dowolną geometrię zdjęć względem obiektu. Istniejące przykładowe rozwiązania oznaczeń kodowych przedstawione są na rysunku 1 [Hattori, Akimoto, Fraser, Imoto 2002; Schewe 2000; Stepanyants, Knyaz 2000].



(a)



(b)

Rys.1 Przykłady sygnalizacji punktów przeznaczonych do automatycznej identyfikacji i lokalizacji – (a) oraz obiekty nimi oznaczone (b).

Dodatkowo dla polepszenia dokładności pomiaru stosuje się znaki odbłaskowe [Sawicki 2002]. W tym przypadku wskazane jest zaciemnienie obiektu, a jedyne źródło światła, oświetlające odpowiednio obiekt, znajduje się w pobliżu kamery.

Z sygnalizacją punktów związanych jest szereg problemów. Jeden z nich stanowi konieczność stosowania emblematów (znaków) o stosunkowo dużych rozmiarach. Ich dokładność lokalizacji na zdjęciu cyfrowym jest wtedy lepsza, a rozróżnienie między sobą pewniejsze.

2. Automatyczna identyfikacja.

Podstawowym celem identyfikacji punktów jest znalezienie ich i odróżnienie między sobą. Punkty wspólne na zdjęciach są zwykle znajdowane przez porównywanie fragmentów obrazu. Można, na przykład, pobrać wycinek jednego zdjęcia i znaleźć jego odpowiednik na innym. Ta metoda, zwana „template matching”, jest najpowszechniej stosowana w systemach fotogrametrycznych, używanych dla przetwarzania zdjęć lotniczych [Atkinson 1996; Schenk 1999]. Jej wadą jest spora pracochłonność i podatność na pomyłki. Zależnie od rozmiaru wzorca jak i zdjęcia, zmienia się liczba potrzebnych operacji. W każdym miejscu zdjęcia należy przebadać każdy punkt wzorca. Dodatkowo, gdy wymagany błąd pomiaru jest mniejszy niż jeden piksel, należy porównywać obraz z całym kompletem wzorców, odwzorowywanych na obrazie co ułamek piksela.

Dla przyspieszenia obliczeń stosuje się pewne zabiegi. Niektóre metody polegają na badaniu obrazu przy zmiennym odstępnie pobieranych próbek (stopniowo

zmniejszając ten odstęp). Inne metody zawężają obszar poszukiwań. Znajduje się linie, na których powinny być szukane punkty (promienie rdzenne). Błędy grube identyfikacji mogą wynikać z powtarzalności pewnych miejsc na zdjęciach (powtarzalności tekstury).

Badanie korelacji z wzorcem komplikuje się w przypadku zdjęć naziemnych. Często zachodzi tu przypadek obrócenia zdjęć między sobą lub zmiany skali. Występuje wówczas znaczne ryzyko pomyłek i efektywność tego sposobu pomiaru jest wtedy bardzo wątpliwa. Zastosowanie metody „template matching” wiąże się tu nierozdzielnie ze znajomością elementów orientacji wzajemnej porównywanych obrazów.

W pomiarze bliskiego zasięgu, należy założyć brak jakichkolwiek informacji o położeniu kamery w momencie wykonywania zdjęć. To podejście wymusza zastosowanie odpowiedniej sygnalizacji niektórych punktów na obiekcie w celu ich łatwej identyfikacji i automatycznego pomiaru.

3. Wybór właściwego rodzaju sygnalizacji punktów dla automatycznego pomiaru ich obrazów.

Sygnalizacja punktów powinna posiadać, w miarę możliwości, następujące cechy:

- powinna wyróżniać się na obrazie (na tle innych obiektów)
- błąd lokalizacji i pomiaru powinien być dla każdego punktu podobny (niezależnie od skali, kierunku obserwacji, jak i obrotu kamery)
- emblematy sygnalizacji muszą różnić się między sobą

Dla spełnienia tych postulatów, stosuje się zwykle sygnalizację w postaci czarnego lub białego koła na kontrastowym tle. Otoczone jest ono zazwyczaj oznaczeniem kodowym. Warunek stałości błędu pomiaru jest najtrudniejszy do spełnienia, gdyż może być spełniony tylko dla jednego położenia środka rzutów kamery. Należy, w tej sytuacji, wybrać rozwiązanie kompromisowe, dopasowane do obiektu pomiaru i konfiguracji stanowisk kamer.

Istotnym parametrem jest wielkość sygnałów, która musi być dostosowana do odległości punktów od stanowisk kamer. Ważne są też cechy stosowanych aparatów jak c_k oraz rozdzielczość obrazu. Zwykle rozdzielczość układu optycznego aparatu jest dostosowana do elementu scalonego analizującego obraz. Przed wykonaniem sygnalizacji punktów obiektu, niezależnie od teoretycznych oszacowań, warto wykonać próbę identyfikacji sygnałów na zdjęciach. Różne badania dowodzą [Trinder 1989; Kowalczyk 2003], że sygnalizacja o średnicy minimalnie sześciu pikseli na zdjęciu, daje już pełną powtarzalność metody lokalizacji „center weight” (wagowanego środka ciężkości). Jeżeli jednak dodatkowo należy stwierdzić, czy analizowane sygnały są kołami, ich rozmiar musi być większy.

Do identyfikacji kół na obrazie stosuje się metody szybszej i bardziej uniwersalnej analizy obrazu, niż porównywanie z wzorcem. Dzięki znanym cechom poszukiwanych obiektów można proces ten podzielić na kilka prostych etapów. W czasie kolejnych przebiegów bada się pojedyncze piksele, a nie całe tablice.

Znalezienie obiektów o określonym kształcie jest jednym z zadań segmentacji obrazu [Pratt 1978]. Ma to obecnie zastosowanie w bardzo wielu systemach wizji maszynowej (wykorzystywanych nie tylko w fotogrametrii) [Boesemann, Godding, Huette 2000; Chen, Clarke 1992; Dold 1998]. Celem analizy, w tym przypadku, jest wyszukanie kół i elips niezależnie od ich spłaszczenia, obrócenia i wielkości. Metoda musi być uniwersalna, aby uwzględniała zmianę kształtu dwuwymiarowego znaku w momencie odwzorowania na zdjęciu. Zastosowanie przestrzennej sygnalizacji pociąga za sobą zarówno zwiększenie kosztów jak i ryzyko niejednorodności obrazu emblematu (np. jednostronne oświetlenie kuli) [Trinder, Jansa, Huang 1995], więc w czasie badania były uwzględnione jedynie płaskie znaki.

Najlepszy sposób identyfikacji sygnalizowanych punktów na zdjęciu powinien spełniać następujące kryteria:

- selektywność (odróżnianie szukanych obiektów między podobnymi)
- niezależność od kontrastu i jasności (oświetlenia)
- szybkość działania

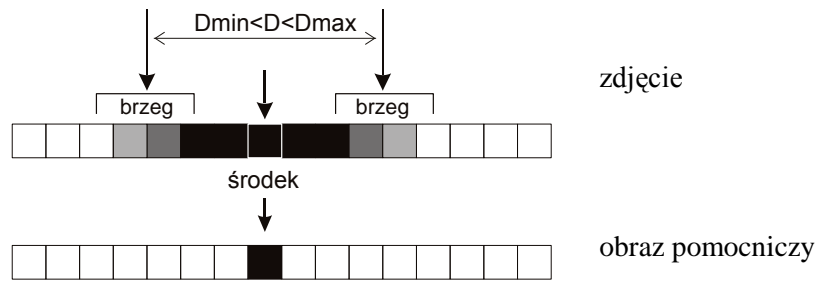
4. Założenia proponowanej automatycznej metody identyfikacji i pomiaru obrazów sygnalizowanych punktów.

Zbadany tu został sposób identyfikacji obrazów punktów osnowy sygnalizowanych na obiekcie jako jednorodne czarne koła otoczone kodem paskowym na białym tle [Heuvel, Kroon 1992; Fraser 1998]. Badanie polega na znalezieniu na zdjęciu punktów, które odwzorowały się w kształcie kół lub elipsoidalnych owali, a następnie odczytaniu ich numerów kodów na obrazie. Po znalezieniu każdego obiektu, o owalnym kształcie podobnym do elipsy, następuje próba odczytu kodu. Jeżeli spełnione są wszystkie założone warunki bezpieczeństwa, punkt zostaje zapamiętany pod określonym numerem i jego środek jest precyzyjnie lokalizowany (np. metodą waganego środka ciężkości).

Realizacja automatycznej identyfikacji sygnalizowanych punktów na zdjęciu odbywa się w następujących etapach:

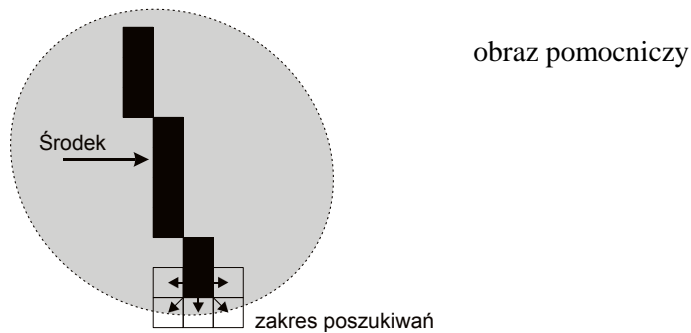
I. Szukanie obiektów podobnych do elips

1. Analizowanie poziomych linii obrazu w poszukiwaniu par krawędzi kontrastowych o założonych kryteriach. Znalezienie potencjalnych środków przekrojów przez elipsy. Zaznaczenie tych punktów na pomocniczym obrazie.



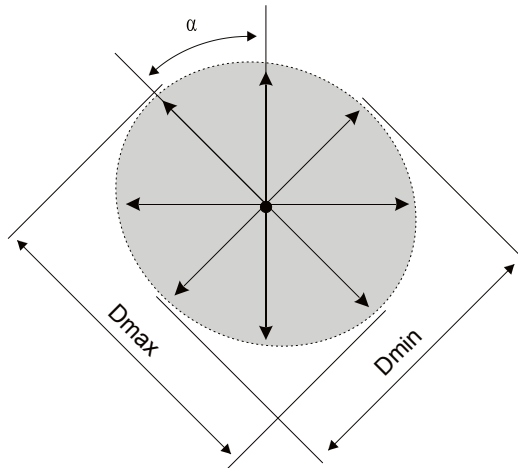
Rys.2 Selekcja poszukiwanego fragmentu obrazu

2. Znalezienie grup punktów zaznaczonych na obrazie pomocniczym i mających kształt linii pionowych (w przybliżeniu). Określenie położenia ich środków.



Rys.3 Znalezienie środka typowanego emblematu punktu

3. Dla każdego potencjalnego środka elipsy zbadanie otoczenia.
 - W n kierunkach określenie średnicy przez znalezienie dwóch przeciwległych krawędzi i zapisanie w tablicy [Hönisch 1992].
 - Znalezienie wartości minimalnej ($D_{min} = B \cdot 2$) i maksymalnej ($D_{max} = A \cdot 2$) w tablicy ze średnicami zmierzonymi
 - Określenie kąta α , przy wystąpieniu wartości maksymalnej



Rys.4 Badanie cech znalezionego owala

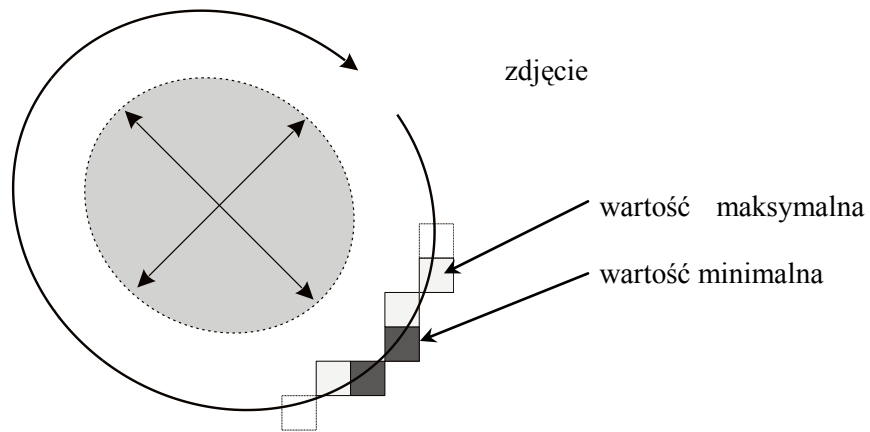
- Utworzenie osobnej tablicy ze średnicami dla elipsy teoretycznej o parametrach (A, B, α).
- Zbadanie zgodności obu tablic pod kątem kwalifikacji punktu

Parametry wpływające na wykrywalność znaków:

- odległość między punktami przy badaniu gradientu
- graniczna wartość gradientu
- minimalna i maksymalna średnica figury
- liczba segmentów aproksymowanej elipsy
- graniczna wartość zgodności figury mierzonej i elipsy teoretycznej

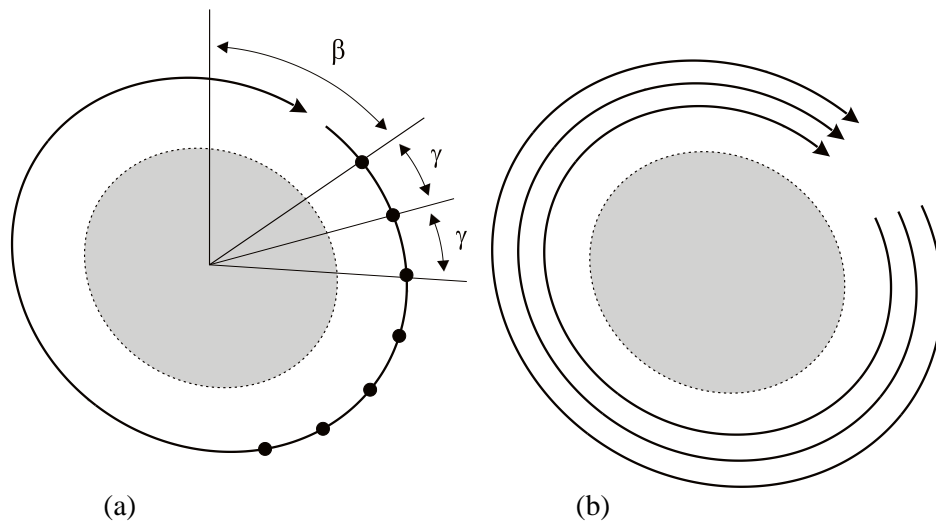
II. Odczytanie (rozpoznanie) numeru znaku

1. Wyznaczenie środka elipsy
2. Wyznaczenie elipsy przeszukiwań kodu według wcześniej wyznaczonego jej kształtu
3. Wzdłuż elipsy przeszukiwań znalezienie wartości maksymalnych i minimalnych pikseli (rys. 5)



Rys.5 Określenie parametrów radiometrycznych otoczenia owalnego emblematu

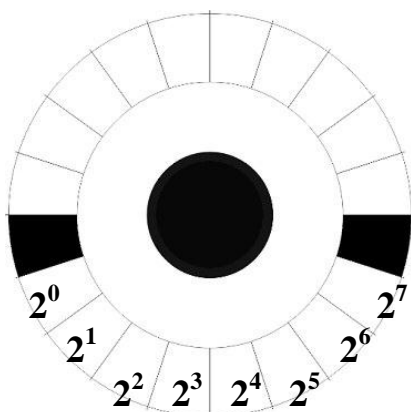
4. Odczyt, co określony kąt γ , wartości pikseli
5. Wpasoowanie początku odczytu kodu β tak, aby spełniał potrzebne kryteria czytelności np. odpowiednie pole wolne (rys. 6 a)
6. Kontrola powtarzalności kodu dla różnych wielkości elips przeszukiwań (rys. 6 b)



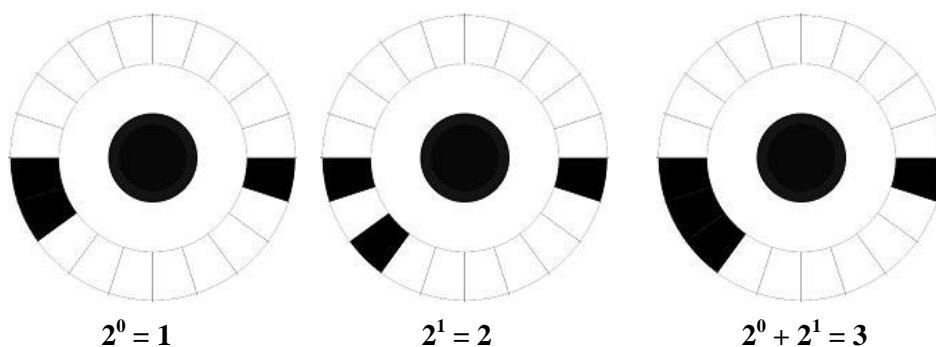
Rys.6 Znalezienie miejsca (a) i określenie powtarzalności odczytu numeru punktu (b).

- Parametry wpływające na automatyczne rozpoznawanie numerów punktów:
- Minimalna i maksymalna odległość odczytu od środka elipsy pierwotnie wyznaczonej
 - Postać kodu (wzorzec tablicy)
 - Liczba linii odczytu

Postać znaków i schemat odczytu zakodowanego numeru przedstawione są na rysunkach 7 i 8. Poprawność odczytu numeru, niezależnie od orientacji znaku w jego płaszczyźnie, uzyskiwana jest dzięki znacznikom umieszczonym po obu stronach centralnego koła. Wyznaczają one pole, w którym należy prowadzić badanie zaczernienia i na tej podstawie odczytać numer znaku.

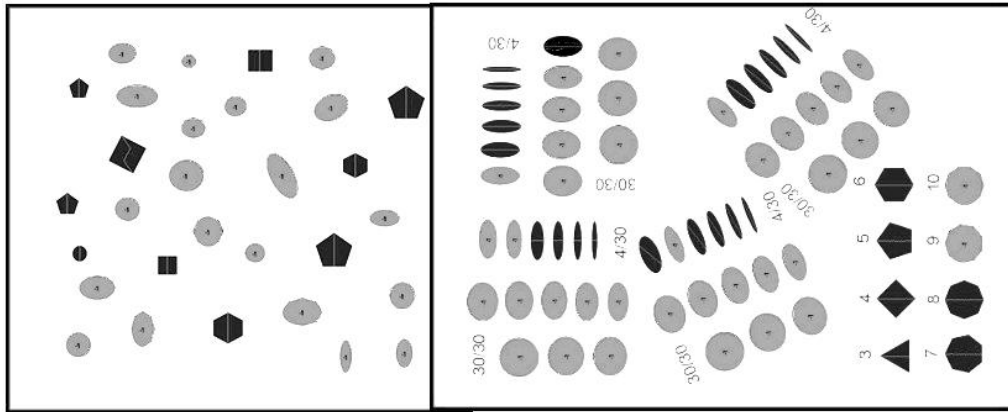


Rys.7 Sposób odczytu kodu. Oznaczone pola, zależnie od tego czy są zaczernione, mają odpowiedni wpływ na wynik.

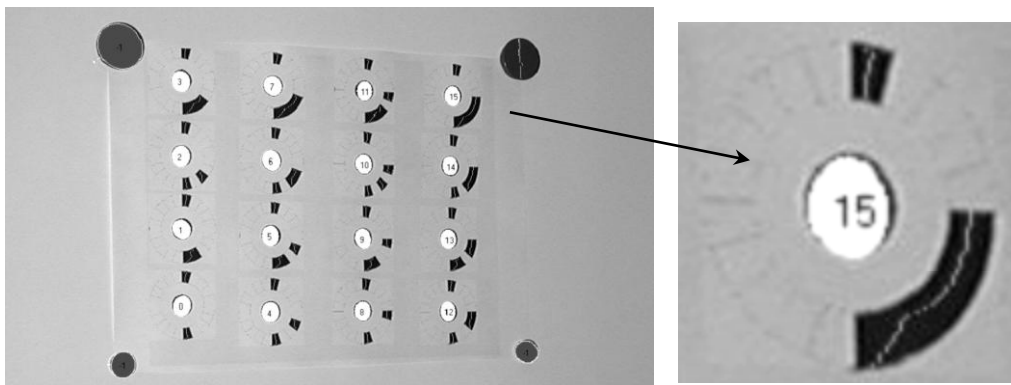


Rys.8 Przykłady sygnalizacji i przyporządkowane numery do automatycznego odczytu

Działanie procedury wyszukującej elipsy zostało skontrolowane pod kątem selektywności w różnych warunkach. Analizowane były obrazy zawierające podobnej wielkości figury geometryczne, przy zmiennym powiększeniu (rys.9).



Rys.9 Przykłady stosowanych testów symulowanych (sztucznie generowanych) wraz z rezultatami działania procedury wykrywającej sygnalizację (jaśniejsze elementy oznaczają wykrycie elips).



Rys.10 Przykład testu rzeczywistego (na podstawie zdjęcia) z wykryciem i zidentyfikowaniem odrębnych numerów punktów

Z przeprowadzonych testów wynika, że prezentowaną metodą wykrywane są, jako poszukiwane obiekty elipsoidalne, figury o rozmiarze powyżej pięciu pikseli, spłaszczeniu (stosunku szerokości do długości) od 9/15 i mające powyżej ośmiu regularnych boków. Świadczy to o potencjalnej przydatności badanej procedury do przeprowadzenia udanych testów, w rzeczywistych warunkach pomiaru fotogrametrycznego, gdzie sygnalizacja punktów na zdjęciach jest trudniejsza do identyfikacji.

5. Weryfikacja proponowanej metody identyfikacji i pomiaru obrazów sygnalizowanych punktów dla wybranego obiektu przestrzennego

W celu sprawdzenia proponowanej metody automatycznej identyfikacji i pomiaru obrazów sygnalizowanych punktów, przeprowadzony został eksperyment.

Punkty były zasygnalizowane kołami o średnicy 8 cm i otoczone kodem dwójkowym umożliwiającym ich rozróżnienie między sobą. Zostały one umieszczone w Dużej Auli Politechniki Warszawskiej i oznakowane numerami 1-8.

Zdjęcia zostały wykonane aparatem Nikon E990 (obraz 2048x1536 pikseli, $c_k \approx 2380$ pikseli), z odległości około 15 m od obiektu, dla którego wcześniej zostały określone parametry orientacji wewnętrznej i wpływy błędów systematycznych. W aparacie ustawiony był maksymalny kąt rozwarcia (zoom minimalny). Średnica sygnalizacji na zdjęciach wynosiła średnio około 12 pikseli. Procedura badania obrazów została wykonana za pomocą kompilatora Delphi 5. Przy ustawieniu odpowiednich parametrów działania, wszystkie punkty na zdjęciach były wykrywalne i możliwe do automatycznej identyfikacji oraz pomiaru (rys.11).



Rys.11 Sygnalizacja punktów na zdjęciu oraz wyniki ich identyfikacji i precyzyjnej lokalizacji

6. Podsumowanie

Skuteczność działania metod automatycznego rozpoznawania sygnalizacji punktów na obiekcie stale wzrasta. Proponowana przykładowa metoda sprawdza się przy zmiennej orientacji płaszczyzny emblematu znaku względem płaszczyzny tłowej kamery. Wykrywalność sygnalizacji jest także osiągnięta dla różnej skali obrazowania oraz gdy znaki są obrócone w swojej płaszczyźnie o dowolny kąt. Ta uniwersalność prezentowanej koncepcji zachęca do stosowania jej w pomiarach fotogrametrycznych bliskiego zasięgu.

Najważniejszą niedogodnością okrągłej sygnalizacji punktów na obiektach wciąż pozostaje konieczność stosowania znaków o niemałych rozmiarach, mimo że emblematy w postaci koła należą do najmniejszych spośród innych pomysłów. Postęp w produkcji analizatorów obrazu daje jednak nadzieję na możliwość redukcji, w

najbliższym czasie, minimalnych wymiarów sygnalizacji punktów na badanych obiektach. Zastosowanie ich, także w pomiarach lotniczych, stałoby się wtedy powszechne.

Literatura

- Atkinson K.B. (1996): „*Close Range Photogrammetry and Machine Vision*”, Whittles Publishing.
- Boesemann W., Godding R., Huette H. (2000): „*Photogrammetric Measurement Techniques for Quality Control in Sheet Metal Forming*”, Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- Chen J., Clarke T.A. (1992): „*The Automatic Recognition, Location and Labelling of Targets in Digital Photogrammetric Engineering Measurement*”, ISPRS Washington, Commission V.
- Chibunichev A. (1992): „*Algorithms of digital target location and their investigations*”, ISPRS Washington, Commission V.
- Dold J. (1998): „*The Role of the Digital Intelligent Camera in Automating Industrial Photogrammetry*”, Photogrammetric Record, 16(92): 199-212 (London October).
- Fraser C.S. (1998): „*Automated Processes in Digital Photogrammetric Calibration, Orientation, and Triangulation*”, Digital Signal Processing 8, 277-283.
- Hattori S., Akimoto K., Fraser C., Imoto H. (2002): „*Automated Procedures with Coded Targets in Industrial Vision Metrology*”, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, May.
- Heuvel F.A., Kroon R.J.G.A., Le Poole R.S. (1992): „*Digital Close-Range Photogrammetry Using Artificial Targets*”, ISPRS Washington, Commission V.
- Hönisch U (1992): „*Verification of Graphical Primitives in Gradient Direction Images*”, ISPRS Washington, Commission V.
- Kowalczyk M. (2003): „*Badanie zakresu i stopnia możliwej automatyzacji pomiaru fotogrametrycznego bazującego na kamerze cyfrowej*”, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Pratt W.K. (1978): „*Digital Image Processing*”, Wiley-Interscience publication, USA.
- Preuss R. (1997): „*Sposoby odtwarzania orientacji zdjęć we współczesnych technologiach fotogrametrycznych*”, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 7, str35-45.
- Sawicki P. (2002): „*Fotogrametryczne systemy do pomiaru punktów w bliskim zasięgu*”, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 12 b, Warszawa.
- Schenk T. (1999): „*Digital Photogrammetry*” TerraScience.
- Skaloud J., Schwarz K.P. (2000): „*Accurate orientation for airborne mapping systems*”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 66, No. 4, April, pp. 393-401.
- Stepanyants D.G., Knyaz V.A. (2000): „*PC-Based Digital Close-Range Photogrammetric System for Rapid 3D Data Input in CAD Systems*”, Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.

- Trinder J.C., Jansa J., Huang Y. (1995): „*An Assessment of the Precision and Accuracy of Methods of Digital Target Location*”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 50(2): 12-20.
- Trinder J.C. (1989): „*Precision of Digital Target Location*”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 6, June, pp. 883-886.

Recenzował: dr inż. Adam Boroń