

Regina Tokarczyk
Sławomir Mikrut
Michał Huppert

FOTOGRAMETRYCZNY CYFROWY SYSTEM BLISKIEGO ZASIĘGU DLA POMIARU SKRAJNI KOLEJOWEJ*

Fotogrametryczny system zaprezentowany poniżej jest składnikiem systemu pomiarowego, który ma służyć do kontrolowania skrajni kolejowej czyli minimalnej dopuszczalnej przez instrukcję odległości obiektów od torów kolejowych.

Jest on modyfikacją i rozwinięciem cyfrowego systemu służącego do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej [Tokarczyk, Mikrut, 1999].

Celem pomiaru jest określenie przestrzennych współrzędnych punktów obiektów znajdujących się w pobliżu toru kolejowego, których zbyt bliskie toru położenie może zagrozić bezpieczeństwu transportu kolejowego. Zakres bezpiecznej odległości od toru określa tzw. skrajnia kolejowa – linia łamana okalająca tor, znajdująca się w płaszczyźnie do niego prostopadłej (Rys.1).



Rys. 1.

* Praca w ramach badań własnych Reginy Tokarczyk nt. "Fotogrametryczny system bliskiego zasięgu wykorzystujący aparaty cyfrowe" (nr AGH :10.10.150.344)

Nowoczesny system pomiarowy służący do kontrolowania skrajni winien zapewnić:

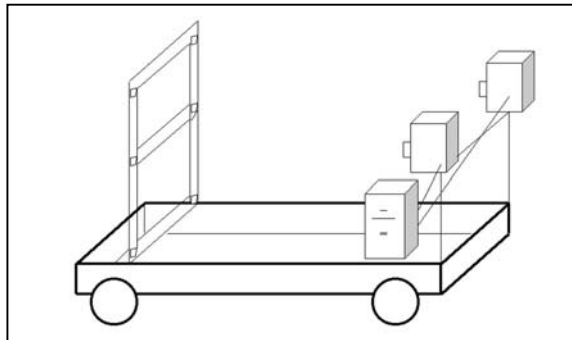
- wymaganą dokładność pomiaru;
- bezpieczeństwo pomiaru;
- wysoką wydajność i możliwie szybkie uzyskanie wyników.

Powyższe warunki może zapewnić pomiar fotogrametryczny, z natury rzeczy zdalny, a więc bezkontaktowy i zatem bezpieczny. Jeśli jest oparty na obrazach pozyskiwanych za pomocą kamer cyfrowych umożliwia automatyzację pomiaru i może dostarczać wyniki nawet natychmiast.

1. Założenia systemu pomiarowego

Fotogrametryczny pomiar opiera się na wykorzystaniu pary obrazów wykonanych skalibrowanymi kamerami cyfrowymi o osiach prawie poziomych i lekko zbieżnych. Do zorientowania kamer w lokalnym układzie odniesienia służą punkty dostosowania umieszczone na specjalnej konstrukcji ramowej, współrzędne tych punktów określone są za pomocą pomiaru geodezyjnego. Kamery i rama z punktami dostosowania zamocowane są na stałe na specjalnej platformie kolejowej (Rys. 2), oprócz nich znajduje się tu szereg innych urządzeń będących składnikami systemu pomiarowego. Zakłada się stałość wzajemnego położenia punktów dostosowania w układzie platformy jezdnej, kontrolowaną stabilność wzajemnego położenia kamer oraz położenia: kamera – rama z fotopunktami.

Ponieważ zobrażenia wykonywane będą podczas ruchu platformy, wymagana jest precyzyjna synchronizacja wyzwalanych migawek i szybki transfer zdjęć do pamięci komputera. Wyklucza to użycie aparatów fotograficznych, dla których te warunki nie są możliwe do spełnienia. Do zobrażeń wybrano dwie monochromatyczne kamery Pulnix TM 1040 o obiektywie $f = 12,5$ mm (lub $f = 16$ mm), rozdzielczości 1024 x 1024 piksela.



Rys. 2.

Pomiar punktów obiektów na zobrażeniach odbywa się w sposób monokularny, ich wybór umożliwia wyświetlenie obrysu skrajni w postaci wektorowej. Wynikiem pomiaru mają być współrzędne punktów w układzie toru, zatem konieczne jest przeliczenie ich z układu platformy do układu docelowego uwzględniając korekty wynikające ze zmieniającego się podczas jazdy położenia obu układów (przesunięcie wzdłuż toru, zmienne nachylenie torów, jazda po łukach itd.).

2. Charakterystyka systemu

2.1. Fotogrametryczna metoda pomiaru

Współrzędne punktów mierzonych obiektów wyznaczone są na podstawie fotogrametrycznego wcięcia w przód, w oparciu o zbudowany po orientacji wzajemnej zdjęć model przestrzenny i jego orientację bezwzględną. Obserwacje – mierzone na obrazach cyfrowych ekranowe współrzędne punktów przeliczane są do układu zaczepionego w środku obrazu, wprowadzane są do nich poprawki wynikające z istnienia dystorsji obiektywu, położenia punktu głównego i różnic w odległościach obrazowych obu kamer (przeskalowanie współrzędnych współczynnikiem będącym ilorzem stałej jednej z kamer przez średnią obu stałych). Tak obliczone współrzędne tło minimum pięciu punktów służą do wykonania orientacji wzajemnej zdjęć metodą Schuta [*Schut, 1966*], a pomierzone punkty dostosowania pozwalają na orientację bezwzględną [*Schut, 1967*] w układzie platformy jezdnej (w układzie ramy). Po tych czynnościach przygotowawczych, dysponując parametrami orientacji pary zdjęć wykonuje się pomiar dowolnego wybranego punktu, zostają obliczone jego współrzędne przestrzenne w układzie platformy i przeliczone na układ toru.

Wybór mierzonego obiektu umożliwił wyświetlenie na obu zdjęciach wektora skrajni – punkty skrajni podane w układzie toru przeliczane są na układ platformy a potem za pomocą funkcji DLT na współrzędne ekranowe.

Na każdej parze wyświetlanych zdjęć kontrolowana jest stałość elementów orientacji bezwzględnej i wzajemnej zdjęć przez pomiar niezgodności współrzędnych na fotopunktach i pomiar wielkości paralaksy na modelu.

2.2 Charakterystyka oprogramowania

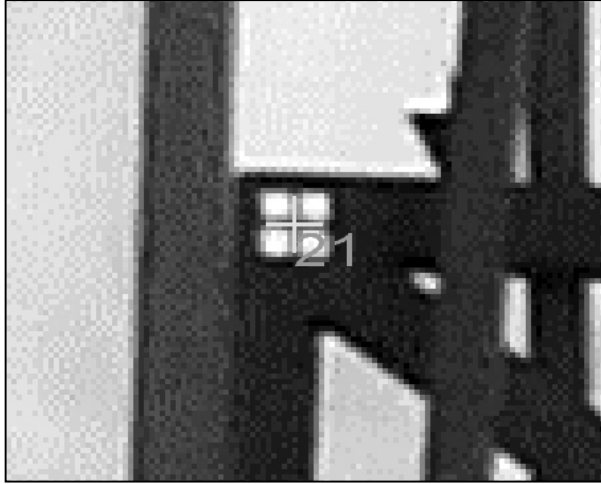
Program został napisany w języku C⁺⁺ i pracuje w środowisku Windows 95,-98 –NT. Obrazy cyfrowe muszą być w formacie .bmp, a akceptowany jest obraz zarówno czarno-biały jak i kolorowy.

Program pracuje na odpowiednio przygotowanych własnych plikach z danymi. Istnieje możliwość importu i eksportu danych dla różnych projektów. Program może przyjmować również na wejściu dane dla dwóch różnych kamer tzn. mogą występować zarówno zmienne parametry dystorsji jak i stała kamery. Odbywa się to poprzez uzupełnienie odpowiednio przygotowanego pliku w formacie ASCII.

W dalszych pracach przewiduje się możliwość pół-automatycznego pomiaru celów.

2.3. Organizacja pracy w systemie pomiarowym

Pracę z programem rozpoczyna się od wczytania pary zdjęć. Wyświetlane są one na połówkach ekranu, pomiar punktów na zdjęciach dokonywany jest za pomocą sterowanego myszką znacznika pomiarowego wykorzystując powiększanie obrazu. Pomierzone punkty są sygnalizowane krzyżami i opisane przyporządkowanymi im numerami (Rys. 3) oraz w zależności od rodzaju tła posiadają możliwość zmiany koloru sygnalizacji i opisu.



Rys. 3.

Orientacja wzajemna i bezwzględna kamer dokonywana jest podczas tzw. kalibracji systemu. Na stanowisku spoczynkowym platformy wykonuje się parę zdjęć, na zdjęciach oprócz fotopunktów na ramie zobrazowany jest szereg sygnalizowanych punktów rozmieszczonych w obrębie pokrycia wzajemnego zdjęć. Posłużą one do określenia dokładnej orientacji wzajemnej, bowiem na zdjęciach roboczych dobrze sygnalizowanymi punktami są tylko fotopunkty, ich rozmieszczenie nie jest optymalne do tej orientacji. Zakłada się, że elementy orientacji wzajemnej i bezwzględnej pary kalibracyjnej przechodzą na pary zdjęć roboczych. Prawidłowość wykonania obu orientacji kontrolowana jest w plikach tekstowych, zawierających między innymi paralaksy na modelu (wzajemna) i odchyłki na fotopunktach (bezwzględna).

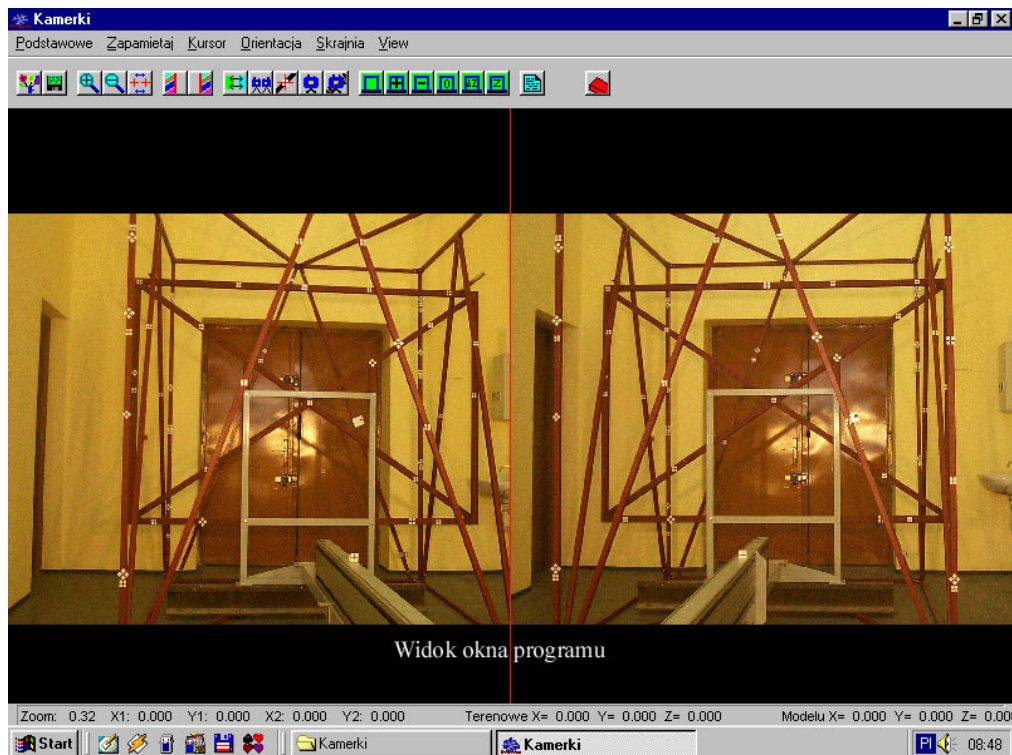
Po wczytaniu pary zdjęć wykonanych w trakcie jazdy (zdjęcia robocze) wyświetlane są krzyże na fotopunktach w tych miejscach, gdzie znajdowały się na parze kalibracyjnej. Jeśli wypadają one na znaczkach ramy – oznacza to, że orientacja wzajemna i bezwzględna jest zachowana. Jeśli nie – mierzy się trzy punkty kontrolne i kontroluje, na ile nowe współrzędne odbiegają od nominalnych. Na dowolnych wyraźnie definiowanych szczegółach w obrębie podwójnego pokrycia wyznaczana jest paralaksa na modelu. Przekraczanie dopuszczalnych różnic współrzędnych na fotopunktach przy zachowaniu dopuszczalnych paralaks na modelu oznacza iż nie jest zachowana orientacja bezwzględna, należy ją zatem wykonać powtórnie. Jeżeli przekroczone są dopuszczalne różnice współrzędnych na fotopunktach i dopuszczalne paralaksy na modelu, należy wykonać jeszcze raz obie orientacje.

Po wskazaniu na obu zdjęciach punktu obiektu, co do którego istnieje podejrzenie, że jest zbyt blisko toru, wyświetlany jest na obu zdjęciach wektor obrysu skrajni, znajdującej się w płaszczyźnie prostopadłej do toru przechodzącej przez mierzony punkt. To, czy punkt znajduje się wewnątrz obrysu, pozwala na decyzję zapisu współrzędnych przestrzennych punktu do pliku i dołączenie go do wektora obrysu.

Każda para zdjęć roboczych ma przyporządkowane sobie elementy orientacji wzajemnej i bezwzględnej umieszczane w odpowiednich katalogach, co umożliwia powtórny pomiar dowolnego punktu znajdującego się na tych zdjęciach.

3. Testowanie systemu

Pole testowe służące do testowania pomiaru fotogrametrycznego jest przestrzenną konstrukcją składającą się z listew, na których umieszczono znaczki pomiarowe (Rys.4).



Rys. 4.

Znajdują się one w trzech płaszczyznach w przybliżeniu równoległych. Było ono już wykorzystywane do testowania opracowania pary zdjęć o różnych elementach orientacji wewnętrznej na VSD [Kolondra 1999]. Między punktami pola testowego zostały pomierzone odległości kontrolne z dokładnością 1 mm.

Na obecnym etapie testowania systemu do pomiaru użyto zobrażeń wykonanych dwoma aparatami cyfrowymi Kodak DC260, o rozdzielczości 1536x1024 pikseli, przy nastawieniu orientacji wewnętrznej (sterowanej z komputera): *zoom* na minimum i ogniskowaniu na odległość 10 m. Aparaty były kalibrowane przy takich samych nastawieniach na polu testowym AGH [Boroń, Tokarczyk, 1999], wyznaczono dla nich: odległości obrazowe, położenie punktów głównych w odniesieniu do środka obrazu, współczynniki wielomianu dystorsji radialnej i tangencjalnej. Baza zdjęć wynosiła około 2 m, osie kamer były prawie poziome i lekko zbieżne. Fotopunkty (cztery) do orientacji bezwzględnej znajdowały się w jednej płaszczyźnie, ich współrzędne określono z dokładnością: $d_x = \pm 1$ mm, $d_y = \pm 1$ mm i $d_z = \pm 1$ mm.

Orientację wzajemną wykonano w oparciu o 11 punktów do uzyskania średniej paralaksy poprzecznej na modelu 0,002 piksela. Na punktach dostosowania uzyskano średnie odchyłki: $d_x = \pm 1$ mm, $d_y = \pm 0,2$ mm, $d_z = \pm 2,5$ mm.

Pomiar współrzędnych punktów pola, obliczenie odległości między punktami i porównanie ich z odległościami kontrolnymi dały następujące rezultaty:

- dla płaszczyzny najbliższej średni błąd wyznaczenia czterech odległości wyniósł 0,75 mm;
- dla płaszczyzny środkowej średni błąd wyznaczenia sześciu odległości wyniósł 1,05 mm;
- dla płaszczyzny najdalszej średni błąd wyznaczenia pięciu odległości wyniósł 1,2 mm.

Wymagana dokładność określenia punktów skrajni wynosi około 1,0 cm, zatem osiągnięte przez system dokładności są całkowicie zadawalające.

Literatura

1. Boroń A., Tokarczyk R., 1999, *Ocena dokładności rekonstrukcji obiektu z wykorzystaniem aparatu cyfrowego KODAK DC260*, Zeszyty Naukowe AGH – Półrocznik Geodezja;
2. Kolondra L., 1999, *Korekcja orientacji wewnętrznej aparatów cyfrowych do opracowań na autografie VSD-AGH*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 9;
3. Schut G. H., 1966, *An introduction to analytical strip triangulation with a FORTRAN program*, National Research Council of Canada, Division of Applied Physics, Ottawa;
4. Schut G. H., 1967, *Formation of strips from independent models*, National Research Council of Canada, Division of Applied Physics, Ottawa;
5. Tokarczyk R., Mikrut S., 1999, *Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol.9.

Recenzował: dr inż. Andrzej Wróbel