

**WYZNACZANIE IMPERFEKCJI KSZTAŁTU WYSMUKŁYCH
BUDOWLI W OPARCIU O ZNANE ELEMENTY ORIENTACJI
KĄTOWEJ KAMERY**

**DETERMINATION OF SHAPE IMPERFECTIONS OF LOFTY
STRUCTURES BASED ON KNOWN ELEMENTS OF ANGULAR
ORIENTATION OF THE CAMERA**

Jerzy Bernasik, Sławomir Mikrut

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: imperfekcja kształtu, elementy orientacji kątowej, kalibracja, kamera metryczna, fototeodolit cyfrowy

STRESZCZENIE: Artykuł prezentuje opracowaną na potrzeby projektu badawczego MNiSzW metodykę analizy obrazów cyfrowych i przetwarzania wyników pomiaru, umożliwiającą wyznaczanie imperfekcji kształtu wysmukłych budowli w oparciu o znane elementy orientacji kątowej kamery. Do obliczeń zastosowano zmodyfikowane procedury stosowane w przypadku pomiarów wychyleń od pionu wysmukłych budowli typu wieżowego. Skonstruowano i przetestowano autorski system mający spełniać funkcję „fototeodolitu cyfrowego”. Aparat metryczny Rollei 6008 z przystawką cyfrową P20 z zainstalowanymi 4 libellami jest mocowany na teodolicie Theo 010B. Urządzenie umożliwia wykonywanie zdjęć poziomych, oraz nachylonych pod kątem 23°. Do testów użyto obiektywu o ogniskowej 80 mm, którego kalibrację wykonano fabrycznie, przy ustawieniu ogniskowania na nieskończoność. Autorzy opracowali procedury pozwalające na wykonywanie automatycznych pomiarów na obrazie cyfrowym. Do wykrywania krawędzi obiektu i pomiaru na obrazie cyfrowym wykorzystano algorytmy podpixelowej analizy obrazu. Bazują one na detekcji pojedynczych punktów przekroji krawędziowych, a następnie w wpasowaniu odpowiedniej funkcji reprezentującej badany kształt obiektu. Algorytmy zostały oprogramowane w języku C++ i zaimplementowane do systemu. Zastosowane algorytmy pozwalają również na zbadanie dokładności lokalizacji krawędzi testowanych obiektów.

1. WSTĘP

Zgodnie z definicją dr inż. Adama Zaborskiego z Instytutu Mechaniki Budowli, Wydziału Inżynierii Lądowej, Politechniki Krakowskiej, imperfekcja to niedoskonałość, odchyłka geometrii albo właściwości od wyidealizowanych (Leksykon, 2008). Autorzy pod pojęciem imperfekcji kształtu wysmukłych budowli rozumieją różnice w geometrii kształtu obiektów wysmukłych (wieże, kominy itp.). To zagadnienie jest przedmiotem badań prowadzonych przez autorów w ramach projektu badawczego MNiSzW, których wstępne wyniki zaprezentowano w niniejszym artykule.

Celem badań było zbadanie przydatności algorytmów wyznaczania imperfekcji kształtu wysmukłych budowli w oparciu o znane elementy kątowej orientacji kamery.

Sama problematyka jest stosunkowo znana, jednak autorzy zaproponowali nowe podejście, polegające na budowie fototeodolitu cyfrowego w oparciu o wysoko-rozdzielczą kamerę cyfrową firmy RolleiMetric.

2. WSPÓLCZESNE KONSTRUKCJE CYFROWYCH FOTOTEODOLITÓW

Problem integracji kamery cyfrowej z teodolitem jest aktualnym zagadnieniem, nad którego rozwiązaniem pracuje się w wielu instytucjach naukowych i komercyjnych na całym świecie. Przykładem takiego rozwiązania może być zintegrowany system - teodolit z kamerą cyfrową, zaproponowany przez japońską firmę Topcon Corporation. Po raz pierwszy został on pokazany w Stuttgarcie na targach Intergeo 2004 pod nazwą tachimetru elektronicznego serii GPT-7000. Instrumenty tej serii są pierwsze na świecie jeśli chodzi o połączenie najnowszej cyfrowej technologii obrazu z tachimetrem elektronicznym. Jeden z nowszych systemów - wideotachimetr GPT 9000-A IS jest próbą integracji tachimetru oraz kamery cyfrowej. Pozwala on na bezlustrowy pomiar odległości wraz z rejestracją obrazu (Topcon, 2008). Instrumenty te jednak posiadają rozdzielczość matrycy CCD (1.3 MP), co ogranicza przydatność ich do celów typowo fotogrametrycznych.

W Polsce również podjęto próby integracji kamer cyfrowych z teodolitem. PGE KWB Belchatów S.A., Dział Mierniczy zakupił kamerę RolleiMetric z przystawką cyfrową P45 o rozdzielczości 39 mln pikseli. System ma służyć do comiesięcznej inwentaryzacji wyrobiska. Początkowo zintegrowano kamerę z tachimetrem elektronicznym, ale ze względów praktycznych zrezygnowano z tego pomysłu (konstrukcja była ciężka, problemy z przenoszeniem sprzętu, itp.). Aktualnie wykonano przystawkę pozwalającą na zamontowanie kamery na statywie i jej obrót w pionie i w poziomie. Pomiaru kątów dokonuje się poprzez umieszczenie tachimetru w miejsce kamery. Konstrukcja w chwili obecnej jest w fazie testowania.

3. KONSTRUKCJA FOTOTEODOLITU CYFROWEGO NA BAZIE KAMERY ROLLEIMETRIC 6008 AF

3.1. Kamera cyfrowa RolleiMetric 6008 AF i jej oprzyrządowanie

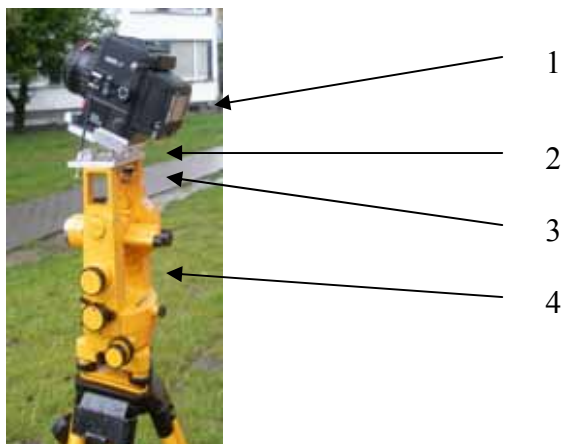
Doświadczenia wyniesione z prac nad adaptacją kamery Kodak DCS 760 do pomiaru wysmukłych budowli (Bernasik, Mikrut 2007) stanowiły punkt wyjścia dla koncepcji opisywanego fototeodolitu cyfrowego. Wnioski, które zaważyły nad przyjętymi rozwiązaniami można ująć w trzech grupach:

- nie uda się uzyskać wysokiej powtarzalności przestrzennej orientacji kamery, jeśli nie będzie ona stanowiła z libellami nierozzerwalnej całości,
- trzeba zrezygnować ze śrub rektyfikacyjnych, stosując w zamian prostą metodę wyznaczania stałych „poprawek rektyfikacyjnych” wykorzystywanych później w obliczeniach,
- nie dysponując pieniędzmi na zakup kamery cyfrowej o najwyższej rozdzielczości (planowano pierwotnie wykorzystanie kamery z przystawką cyfrową 39 megapikseli), która mogła spełnić wysokie wymagania dokładnościowe pomiaru wysmukłego obiektu, przyjęto koncepcję fotografowania częściami.

Kamera RolleiMetric 6008AF (rys.1) jest wyposażona w przystawkę cyfrową o wymiarach matrycy $36.684 \text{ mm} \times 36.72 \text{ mm}$, liczbie pikseli 4076×4080 (16.6 mln pikseli) i rozmiarze piksela $9 \text{ }\mu\text{m}$. Przy długoogniskowym obiektywie ($f = 80\text{mm}$), stosując „ręczny” pomiar obrazu, z dokładnością 0.33 piksela, można osiągnąć rozdzielczość kątową rzędu $24''$. Zbliżono się zatem do poziomu dokładnościowego standardowego teodolitu klasy Theo 020 (wystarczającego często w przypadku pomiaru punktów niesygnalizowanych). Przy podpikselowej dokładności pomiaru rzędu 0.1 piksela można osiągnąć dokładność precyzyjnego teodolitu klasy Theo 010. Odbywa się to jednak kosztem ograniczonego zasięgu kąowego kamery (tylko 25°). W sytuacji, gdy możliwy jest dokładny pomiar wysmukłej budowli tylko z niewielkiej odległości, mały zasięg pionowy zmusza do fotografowania i opracowywania wysokiego obiektu częściami. Dlatego przystosowano kamerę do rejestracji zdjęć poziomych i zdjęć nachylonych pod kątem 23° , co daje sensowny zasięg pionowy do 35.5° , przy dwustopniowej „zakładce” obydwu zdjęć. Dla porównania, zasięg górny kamery Photheo 19/1318 to niecałe 26° . W konstrukcji zastosowano libelle o przewodzie $30''$. Autorami proponowanego rozwiązania są: Jerzy Bernasik i Marek Palusiński (projekt rozwiązania mechanicznego). Ostateczną postać nowego fototeodolitu cyfrowego przedstawiają rysunki 2 i 3.



Rys.1. Kamera RolleiMetric 6008 AF z przystawką cyfrową



Rys. 2. Elementy teodolitu cyfrowego: 1 – kamera RolleiMetric, 2 – płyta metalowa z libellami, 3 – nasadka na teodolit, 4 – teodolit ZeissTheo 010B



Rys. 3a. Fototeodolit w ustawieniu do zdjęcia poziomego



Rys. 3b. Fototeodolit w ustawieniu do zdjęcia nachylonego (widoczny sygnał do zdjęć rektyfikacyjnych)

3.2. Wyznaczenie poprawek rektyfikacyjnych kamery

Poprawki rektyfikacyjne $d\kappa$, $d\omega$, $d\varphi$, które określają odchylenia kątowych elementów orientacji kamery od wymaganych od zrektfikowanej kamery, wyznaczono na polu testowym. Zastosowana „metoda zdjęć przeciwległych” (Bernasik, Mikrut, 2007) polega na zarejestrowaniu obrazów z dwóch przeciwległych stanowisk i pomiarze dwóch punktów krawędzi obiektu oraz sygnału ustawionego na przeciwległym stanowisku. Opracowaną metodę należało zmodyfikować, gdyż sygnał ustawiany na „przeciwległym stanowisku” nie mieści się w zasięgu pionowym (w tym konkretnym przypadku) zdjęcia

nachylonego; jego funkcję przejął punkt wspólny krawędzi budynku widoczny na obydwu zdjęciach. Jedno ze zdjęć pola testowego ukazuje rysunek 4.



Rys. 4. Zdjęcie nachylone pola testowego

Na stanowiskach rektyfikacyjnych (A i B) wykonano łącznie 12 zdjęć, na podstawie których wyznaczono ostateczne stałe katowe elementy orientacji kamery. Dla zdjęć poziomych wyznaczono: $\kappa = 0.0037755$, $\omega = -0.011701$, $\varphi = -0.001055$ oraz dla zdjęć nachylonych: $\kappa = 0.0046815$, $\omega = 0.399375$, $\varphi = -0.01055$ (kąty podano w radianach). Kontrola poprawności wyznaczenia poprawek dokonana na niezależnych odcinkach wykazała poprawność postępowania, zaś rozbieżności wskazują, że błąd średni „ręcznego” pomiaru punktu nie przekraczał 0.5 piksela. Finalnymi wartościami są współrzędne ekwiwalentne punktów (X_e , Z_e) w pionowej płaszczyźnie obiektu (krawędzi budynku), odległej o $Y_e = 28.90$ m, które zostały obliczone wg wzorów (1), (2), (3).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\kappa - \sin\varphi\sin\omega\sin\kappa & -\sin\varphi\cos\omega & \cos\varphi\sin\kappa + \sin\varphi\sin\omega\cos\kappa \\ \sin\varphi\cos\kappa + \cos\varphi\sin\omega\sin\kappa & \cos\varphi\cos\omega & \sin\varphi\sin\kappa - \cos\varphi\sin\omega\cos\kappa \\ -\cos\omega\sin\kappa & \sin\omega & \cos\omega\cos\kappa \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ c_k \\ z' \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$X_e = \frac{Y_e}{y} x \quad (2)$$

$$Z_e = \frac{Y_e}{y} z \quad (3)$$

4. METODYKA POMIARU I OBLICZEŃ WCHYLEŃ WYSMUKLEJ BUDOWLI

4.1. Pomiar wychylenia obiektu na zdjęciach

Współrzędne tłowe wyrażone są w układzie tłowym [mm], którego początkiem jest punkt PPA (PPS), natomiast współrzędne pikselowe dotyczą układu współrzędnych pikselowych obrazu [piksele]. Współrzędne tłowe mierzy się na zdjęciach wykonanych z co najmniej 2 stanowisk, obieranych parami na tej samej wysokości po obu stronach budowli. Najwygodniej jest traktować wierzchołek obiektu jako punkt odniesienia, o rzędnej równej H (wysokość znana np. z dokumentacji). W tej sytuacji poziom odniesienia nie jest poziomem zerowym (podstawa budowli). W takich wypadkach pomiar główny kształtu budowli, także w przypadku obserwacji teodolitowych, jest uzupełniany pomiarem najniższej jej części. W dalszych rozważaniach oznaczono: poziomy obserwacji - j , wspólny poziom najniższy - I , nr stanowiska - n .

Liczba poziomów obserwacji zależy od oczekiwań zleceniodawcy oraz rzeczoznawcy mającego opracować ekspertyzę. W wielu przypadkach, np. stare kominy ceglane, dla wykrycia miejsc występowania niebezpiecznych imperfekcji kształtu, konieczna jest większa liczba poziomów obserwacyjnych. W efekcie, tylko ciągle opracowanie przebiegu osi budowli pozwala wskazać miejsce groźnej dla stateczności budowli – anomalii kształtu. Z tego względu uzasadnione jest zastosowanie automatycznego (ciągłego) śledzenia przebiegu tworzących, a przez to, poprawne wyznaczenie przebiegu osi budowli.

Przestrzenny kształt wyznaczonej osi budowli, jako linii łączącej środki ciężkości poszczególnych poziomych przekroji, ilustruje się wykresami. Najczęściej są to trzy wykresy ukazujące:

- rzut poziomy osi budowli (na płaszczyznę XY),
- rzut osi na płaszczyznę pionową XZ ,
- rzut osi na płaszczyznę pionową YZ .

Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych, stwarza możliwość wyznaczania przebiegu osi w czasie prawie rzeczywistym, w czasie trwania prac polowych. Analiza wyników wykonana na miejscu (w terenie), daje możliwość przeprowadzenia ekspertyzy budowlanej obiektu zagrożonego katastrofą, praktycznie w czasie rzeczywistym.

4.2. Obliczenia wychyleń od pionu wysmukłej budowli

W obliczeniach należy wydzielić następujące etapy:

1. Obliczenie współrzędnych tłowych i ich transformacja przez obrót, przy znanych, stałych dla kamery kątowych elementach orientacji kamery.
2. Obliczenie współrzędnych ekwiwalentnych X_e , Z_e oraz składowych wychyleń budowli w pionowej płaszczyźnie prostopadłej do kierunku osi kamery $Q = X_e \text{ góry} - X_e \text{ dołu}$.
3. Obliczenie wypadkowych składowych DX , DY , DW .

Wstępnym i wartościowym rezultatem pomiaru są wychylenia Q . Składowe wychylenia: DX , DY , DW obliczone zostają z równań obserwacyjnych:

$$\frac{\Delta X_{S-K}}{d_{S-K}} DY - \frac{\Delta Y_{S-K}}{d_{S-K}} DX - Q = v \quad (4)$$

gdzie:

S – stanowisko, K – obiekt mierzony, ΔX , ΔY – przyrosty współrzędnych, DX , DY – wyznaczone odchylenia środka mierzonego przekroju od pionu wystawionego ze środka podstawy, v – poprawka do obserwacji Q .

Algorytm został sprawdzony na przykładzie pomiaru 100 metrowego komina mierzzonego z 3 stanowisk. Uzyskano następujące wyniki:

- stosując program A. Tokarczyka KOMIN : $DX = 93$ mm, $DY = 200$ mm,
- stosując wzór nr 4 : $DX = 93$ mm, $DY = 200$ mm.

Ponieważ poprawność metody fotogrametrycznej, na której oparto program KOMIN, potwierdzona została wielokrotnie przez porównanie z opracowaniami geodezyjnymi, możemy uznać zastosowaną metodykę obliczeń wychyleń od pionu za w pełni przydatną (Bernasik, 1983).

4.3. Algorytmy do wykrywania krawędzi obiektów

Jednym z zadań projektowanego systemu (cyfrowy fototeodolit + oprogramowanie) będzie automatyzacja procesu pomiaru na obrazie cyfrowym, poprzez precyzyjne wykrycie krawędzi badanego obiektu. W ramach niniejszego projektu dokonano analizy i oprogramowania algorytmów oraz stworzono aplikację do automatycznego pomiaru obiektów na obrazie cyfrowym. Do analizy wyznaczania kształtu obiektu wysmukłego zaproponowano dwa algorytmy.

ALGORYTM I

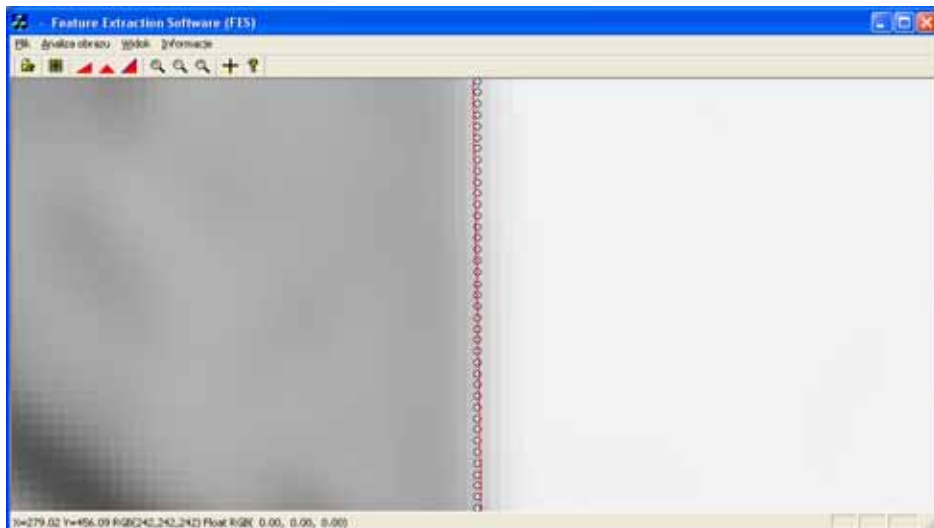
Bazuje na badaniu składowych RGB obrazu cyfrowego. Położenie krawędzi obiektu wyznaczone jest poprzez odpowiednie wagowanie jasności pikseli, tj. najwyższą wagę dostaje piksel krawędzi, natomiast mniejsze wagi piksele tła. Podpikselową dokładność uzyskuje się dzięki aproksymacji krzywej, reprezentującej krawędź w wyliczone punkty. Jest to metoda stosunkowo prosta, może służyć również do szybkiego znajdowania przybliżonych punktów do interpolacji.

ALGORYTM II

Algorytm bazuje na wykrywania krawędzi obiektu w oparciu o podpikselową analizę obrazu. Wykorzystano tutaj drugą pochodną obrazu cyfrowego pozwalającą na wykrycie linii poprzez interpolację miejsca zera na obrazie będącym po filtracji np. operatorem Laplace'a (Mikrut, 2003). Wykorzystano tę właściwość funkcji, że druga pochodna zeruje się tam, gdzie następuje punkt przegięcia funkcji wejściowej oraz maksimum pierwszej pochodnej. Algorytm ten został wcześniej opisany i przedstawiony w publikacjach (Jachimski, Mikrut 1998), (Mikrut, 2003). Algorytm wykorzystano również do automatyzacji fotogrametrycznego badania naprężeń lin odciągowych (Bernasik, 2001) oraz automatyzacji fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych (Bernasik, Mikrut, 2006).

Realizację wyliczenia drugiej pochodnej obrazu cyfrowego uzyskano poprzez „śledzenie” krawędzi obiektu na obrazie cyfrowym po filtracji operatorem Laplace'a.

W zaproponowanym algorytmie dokonano modyfikacji. Powstały w ramach wcześniejszych projektów badawczych autorski program komputerowy „Feature Extraction Software” (okno programu przedstawia rysunek 5), został rozszerzony o możliwości definiowania nowych macierzy filtracji obrazu, pozwalających uzyskać większe możliwości badanych jasności pikseli. Dokonano również modyfikacji mnożnika macierzy filtrującej, co pozwoliło na lepszą wizualizację wyników opracowania.



Rys. 5. Okno programu FES - wykryte piksele z aproksymowaną krzywą (w tym wypadku linią prostą)

Etapy realizacji algorytmu:

- wczytanie obrazu w formacie TIFF,
- wskazanie przybliżonego położenia krawędzi na 2 wybranych punktach obiektu,
- filtracja obrazu macierzą Laplace'a lub inną wybraną, ewentualnie zdefiniowaną przez użytkownika,
- wybór parametrów skanowania:
 - rodzaju skanowania tj. w poziomie, pionie lub automatyczne rozpoznanie,
 - szerokości pasa poszukiwania (na podstawie doświadczeń, zalecana jest wartość 3 tzn. 3 piksele po obu stronach linii dają pas 6 pikselowy),
 - waga dla poszczególnych kolorów (RGB), w przypadku wyboru algorytmu I,
- wybór algorytmu skanowania (w pliku config.cfg),
- wpasowanie krzywej w aproksymowane punkty,
- zapis wyników w postaci wektorów i plików ze statystyką wpasowywania krzywych.

Dokładność wpasowania oceniono na podstawie odchylenia standardowego wpasowywanych punktów w daną krzywą. W programie wprowadzono opcję usuwania tzw. grubych błędów poprzez zdefiniowanie wartości granicznych błędów (3 piksele).

Dokładność wpasowania funkcji w punkty krawędzi oszacowano na poziomie 0,1 piksela jako wartość średnią z kilkunastu pomiarów.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem artykułu było zaprezentowanie dotychczasowych prac, prowadzonych nad badaniem przydatności nowoskonstruowanego fototeodolitu cyfrowego oraz opracowanej metodyki pomiarowo-obliczeniowej, służącej do wyznaczania imperfekcji kształtu wysmukłych budowli w oparciu o znane elementy orientacji kątowej kamery.

Autorzy opracowali metodykę obliczeń oraz analizy obrazów cyfrowych i przetwarzania wyników pomiaru, umożliwiającą wyznaczanie i uwzględnianie kątowych elementów orientacji zewnętrznej kamery. Do obliczania wyników zastosowano zmodyfikowane procedury stosowane w przypadku pomiarów wychyleń od pionu wysmukłych budowli typu wieżowego. Skonstruowano i przetestowano autorską konstrukcję, mającą spełniać funkcję „fototeodolitu cyfrowego” opartą o kamerę cyfrową RolleiMetric 6008 AF.

Wstępne wyniki badań potwierdzają przyjęte założenia teoretyczne. Pierwsze pomiary pozwalają uznać zastosowany algorytm obliczeń wychyleń od pionu za w pełni przydatny. Wyniki automatycznej analizy obrazu również są zadowalające. Autorzy będą kontynuować prace nad systemem. Dotyczyć one będą głównie integracji „fototeodolitu cyfrowego” z autorskim oprogramowaniem. Rozwijane i optymalizowane będą również algorytmy detekcji krawędzi obiektów wysmukłych.

Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego MNiSzW nr N526 032 32/3385.

6. LITERATURA

Bernasik J., 1983. Terrofotogrametryczne wyznaczanie przemieszczeń i odkształceń na zasadzie różnicowej. *Zeszyty naukowe AGH Kraków, Zeszyt nr 77*, s. 65-83.

Bernasik J., 2001. Raport z realizacji projektu badawczego KBN Nr 9T12E01418. pt. „Automatyzacja fotogrametrycznego badania naprężeń lin odciągowych na drodze analizy obrazów cyfrowych” (materiały niepublikowane), Kraków.

Bernasik J., Mikrut S., 2006. Automatyzacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych. *Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Półrocznik AGH - Geodezja*. Kraków, Tom 12, Zeszyt 2, s. 141-149.

Bernasik J., Mikrut S. 2007. Zautomatyzowana korekcja błędów kątowej orientacji niemetrycznej kamery cyfrowej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Kraków, Vol. 17a, s. 33-42.

Jachimski J., Mikrut S., 1998. Próba subpikselowej lokalizacji linii konturowych z wykorzystaniem drugiej pochodnej obrazu cyfrowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Kraków, Vol. 8, s. 25-1 - 25-7.

Mikrut S., 2003. Wpływ skanowania i kompresji JPEG na wykrywanie obiektów liniowych i punktowych na obrazach cyfrowych. Rozprawa Doktorska. AGH Kraków.

Leksykon, 2008. <http://limba.wil.pk.edu.pl/~az/leksykon.php>

Topcon, 2008.

http://www.tpi.com.pl/uploads/file/pdf/katalogi/Kat_Instr_Geod_Topcon2008RBin211107.pdf

DETERMINATION OF SHAPE IMPERFECTIONS OF LOFTY STRUCTURES BASED ON KNOWN ELEMENTS OF ANGULAR ORIENTATION OF THE CAMERA

KEY WORDS: shape imperfection, angular orientation elements, calibration, metric camera, digital phototheodolite

Summary

The usefulness of algorithms of shape imperfection determination in lofty structures on the basis of known elements of spatial orientation was studied; the study was supported by a grant from the Ministry of Science and Higher Education's State Research Committee of Poland.

To solve the problem, a methodology for digital image analysis and measurement data processing was developed, which made it possible to determine and explore elements of external orientation of the camera. To perform the necessary calculations, procedures used to measure deviations of lofty, tower-like structures (industrial stacks, towers, columns, etc) from the vertical were modified. An original system, intended to work as a "digital phototheodolite," was constructed and tested. A Rollei 6008 metric camera equipped with a P20 digital back (16 million pixel resolution) and 4 levels installed was attached to a Theo 010B theodolite. The device allows to take horizontal and inclined (by 23°) photographs. The device was constructed at the University of Science and Technology in Kraków, Poland. The high resolution of the camera made it possible to obtain metric images of a very high geometric and radiometric quality. During the tests, a factory calibrated 80 mm focal length lens was employed, the lens focus being set at infinity.

Procedures that allow taking automatic measurements on digital images were worked out. In its final version, the system described will be coupled with a portable computer, which will render it operable in real time. Algorithms of subpixel image analysis were utilized to detect shape imperfections on digital images. The algorithms are based on detecting single points of edge cross-sections, whereby an appropriate function, representing the shape of the structure examined, was fitted. The algorithms were integrated into a software and implemented into a system that is being developed under research project support mentioned. The entire software is written in C++ language. The emerging system makes it also possible to examine the accuracy of edge location accuracy in the structures tested structures. Paper discusses results of the research and outcomes of preliminary tests conducted.

prof. dr hab. inż. Jerzy Bernasik
e-mail: jber@agh.edu.pl
tel. (12) 617 22 77
fax: (12) 617 39 93

dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
tel. (12) 617 23 02
fax: (12) 617 39 93