

Sprawozdanie z badań statutowych
Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej
w 1999 r.

Temat nr 11.150.47

Metody i przyrządy fotogrametrycznych, teledetekcyjnych i geoinformatycznych systemów pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania informacji

Kierownik tematu: Prof. dr hab. inż. Józef Jachimski

Podtematy:

1. *Inwentaryzacja zabytków sztuki z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej*

Wykonawcy: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski, dr inż. Adam Boroń, dr inż. Władysław Mierzwa, dr inż. Regina Tokarczyk, mgr inż. Marta Borowiec, mgr inż. Janusz Cieślak, mgr inż. Marcin Gul.

2. *Badanie przydatności aparatów cyfrowych do pomiarów fotogrametrycznych*

Wykonawcy: Dr inż. Regina Tokarczyk, dr inż. Adam Boroń, mgr inż. Sławomir Mikrut

3. *Analiza kierunków rozwoju fotogrametrii i teledetekcji*

Wykonawca: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski, dr inż. Władysław Mierzwa, dr inż. Stanisław Mularz, dr inż. Krystian Pyka

4. *Doskonalenie metod przetwarzania map i obrazów cyfrowych dla potrzeb analiz przestrzennych w Systemach Informacji Geograficznej (GIS).*

Wykonawcy: Dr inż. Stanisław Mularz, dr inż. Ryszard Florek Paszkowski, dr inż. Beata Hejmanowska, mgr inż. Wojciech Drzewiecki, mgr inż. Tomasz Pirowski

5. *Fotogrametria i teledetekcja w informatycznym społeczeństwie XXI wieku.*

Wykonawca: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski

Podtemat nr 1

Inwentaryzacja zabytków sztuki z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej

Wykonawcy: Prof.dr hab.inż. Józef Jachimski,
dr inż. Adam Boroń,
dr inż. Władysław Mierzwa,
dr inż. Regina Tokarczyk,
mgr inż. Marta Borowiec,
mgr inż. Janusz Cieślak
mgr inż. Marcin Gul

Od lat dziewięćdziesiątych zarysowuje się tendencja do prezentacji wyników inwentaryzacji architektonicznej w postaci komputerowej trójwymiarowej rekonstrukcji obiektu inwentaryzacji. Jest ona najbardziej kompletnym źródłem informacji o geometrii obiektu, można z niej uzyskać dowolnie definiowane rzuty i przekroje, otrzymywać zbliżenia detali, a pokrycie modelu obiektu przetworzonymi zdjęciami pozwala na dodatkowy efekt fotorealizmu.

Inwentaryzacji dokonuje się głównie metodami fotogrametrii bliskiego zasięgu używając do rejestracji obrazów kamer fotogrametrycznych i coraz częściej – aparatów fotograficznych klasycznych i cyfrowych. Stereogramy wektoryzowane są na fotogrametrycznych stacjach cyfrowych lub o wiele tańszych i przez to bardziej dostępnych cyfrowych autografach ekranowych opartych na komputerach PC.

Do obróbki efektów pomiaru fotogrametrycznego wykorzystuje się programy typu CAD, a opracowanie nie musi być wydrukiem, może być plikiem używanym przez taki program.

W ramach pracy dyplomowej Marcina Gula pt.: “Trójwymiarowa rekonstrukcja obiektu inwentaryzacji architektonicznej” pisanej pod moim kierunkiem wykonano kompletną inwentaryzację architektoniczną zabytkowego nagrobka znajdującego się na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie.

Zdjęcia do wektoryzacji obiektu wykonano kamerą semimetryczną Rolleiflex 6006, zaś do renderingu (pokrycia) – aparatem cyfrowym Minolta RD 175. Stereogramy zeskanowanych zdjęć z Rolleiflexa opracowano na autografie ekranowym VSD, tu efektem opracowania były pliki typu .dxf. Z kolei były one wejściem do przestrzennego połączenia zwektoryzowanych stereogramów w programie MicroStation 95. Wykorzystując różne możliwości tego programu skompletowano trójwymiarowy model obiektu w postaci tzw. *wire frame i surface model*. Uzupełniono go pokrywając skompletowane i zdefiniowane powierzchnie obiektu materiałem z dostępnej w oprogramowaniu palety oraz przetworzonymi obrazami cyfrowymi z Minolty. W efekcie otrzymano realistyczny i w pełni zwymiarowany model obiektu. Połączenie go z danymi opisowymi i ortofotomapą fragmentu Cmentarza Rakowickiego gdzie się znajduje daje przykład pełnej informacji o obiekcie.

Wynikiem pracy dyplomowej jest płyta CD zawierająca wszystkie pliki pozwalające na odczytanie powyższych informacji.

Praca została przedstawiona w materiałach Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji, Vol.9, 1999 r.

Ponadto wykonano analizę technologii opracowania barwnych rozwinięć malowideł na sklepieniach przestrzennych. Wyniki były prezentowane w czasie obrad plenarnych sympozjum Międzynarodowego Komitetu Fotogrametrii Architektonicznej w Brazylii (Recife, 03-06.10. 1999, prezentacja w załączeniu).

Opracowane i stosowane w Polsce metody inwentaryzacji obiektów zabytkowych były przedmiotem szczegółowej analizy, której wyniki przedstawiono w Wiedniu na Międzynarodowej Sesji zorganizowanej przez Instytut Fotogrametrii i Teledetekcji (27-28.09.1999)

Przegląd stosowanych w świecie metod inwentaryzacji zabytków jest tematem oddzielnej publikacji.

Załączniki

1. Marcin Gul, Regina Tokarczyk, "Przestrzenna rekonstrukcja zabytkowego obiektu".
Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 9, 1999 r.
2. Cieślak J. „Opracowanie fotoplanu malowideł fasady Klasztoru Cystersów w Lubiążu na podstawie kolorowych zdjęć niometrycznych”. Z.Naukowe AGH, „Geodezja”, Kraków 1999.
3. Jachimski J., Mierzwa W., „Architectural Photogrammetry in Poland”, Międzynarodowa Sesja, Instytut Fotogrametrii i Teledetekcji 28-29.09.1999, Wiedeń.
4. Jachimski J., Mierzwa W., “Representation of Historical Frescos Using Digital Photogrammetry”, Recife, Brazylia, 03 - 06.10.99.

Podtemat 2

Badanie przydatności aparatów cyfrowych do pomiarów fotogrametrycznych

Wykonawcy: Dr inż. Regina Tokarczyk,
Dr inż. Adam Boroń
Mgr inż. Sławomir Mikrut

W ramach kontynuacji powyższego tematu w 1999 roku wykonano badanie przydatności dwu aparatów cyfrowych Kodak DC200 jako elementów systemu służącego do pomiarów ciała ludzkiego dla celów rehabilitacji leczniczej.

System składa się z dwu kamer cyfrowych do pozyskiwania obrazów, lustra (odbicie tylnych partii ciała pacjenta jest rejestrowane równocześnie z przodem ciała nie odbitego w lustrze), oprogramowania pozwalającego na wyznaczenie przestrzennych współrzędnych wybranych punktów i zwizualizowanie punktów na ekranie komputera.

Wybór aparatów Kodak DC200 do badań podyktowany był kilkoma czynnikami:

1. obiektyw typu *free focus* zapewnia stabilność elementów orientacji wewnętrznej,
2. niezła rozdzielczość,
3. stosunkowo niska cena,
4. dostępność egzemplarzy do testowania (dzięki uprzejmości krakowskiego dystrybutora firmy Kodak).

Wadą tych aparatów jest wolny transfer obrazów do komputera przez łącze RS 232 przez jeden z portów oraz mało dokładna synchronizacja wyzwalań migawek - około 1 s.

Poniżej przedstawiono dane techniczne aparatów:

Typ aparatu	Aparat cyfrowy z wbudowanym fleszem, i funkcją autoekspozycji
Tryby ogniskowania	Free focus
Obiektyw	Ogniskowa 39 mm
Finalna ilość pikseli obrazu	1.0 milion pikseli
Finalna zdolność rozdzielcza	1152(h) x 864(v) pikseli
Komunikacja z komputerem	Port seryjny RS-232
Metoda kompresji obrazu	Jpeg, Flashpix
Pamięć obrazów	4 MB karta pamięci Kodaka
Max. Ilość obrazów.	14 o najwyższej jakości i rozdzielczości na kartę 4 MB
Rozdzielczość optyczna (CCD)	1160(h) x 872(v) pikseli
Ilość pikseli optycznych (CCD)	1.0 miliona pikseli
Kompensacja bieli	Automatyczna (światło dzienne), świetlówka, żarówka wolframowa, wyłączone
Zapis koloru	24 bity (8 /R, 8/G, 8/B)

Czułość	ISO 140
Zakres migawki	1/2 - 1/362 s.
Obiektywy wymienne	Brak
Zakres przysłony	F/4 do f/13.5
Waga	0,4 kg

Testowanie aparatów odbywało się analogicznie do procedury opisanej w sprawozdaniu z badań za 1998 rok z wyjątkiem sprawdzenia stabilności elementów orientacji wewnętrznej tych aparatów. Obiektyw *free focus* oznacza bowiem, że nie ma możliwości dostosowywania odległości obrazowej do odległości fotografowania, ostrość obrazu musi zapewnić głębia ostrości. Brak elementów ruchomych w obiektywie zapewnia stabilność orientacji wewnętrznej aparatu. Zatem badania testowe ograniczyły się do kalibracji aparatów oraz do sprawdzenia dokładności pomiaru fotogrametrycznego z ich użyciem.

Czynności te przeprowadzono na laboratoryjnym polu testowym opisanym w ubiegłorocznym sprawozdaniu. Do kalibracji wykonano po kilka zdjęć zbieżnych każdym z aparatów.

Współrzędne pikselowe odniesione do środka obrazu pomierzono za pomocą autografu ekranowego VSD, a obliczenie parametrów kalibracji każdego z aparatów dokonano metodą samokalibracji przy użyciu programu ORIENT (TU Wiedeń).

Parametry kalibracji zawierają:

położenie punktu głównego obrazu w odniesieniu do środka formatu, odległość obrazową oraz cztery współczynniki wielomianu aparosymulującego dystorsję obiektywu.

Skalibrowane aparaty zostały użyte do pomiaru mającego wykazać, jakich dokładności wyznaczenia punktów można się spodziewać. Z dwu stanowisk wykonano aparatami dwa zdjęcia zbieżne pola testowego znajdującego się w takiej odległości od aparatów, jaka jest spodziewana przy pomiarze badanych pacjentów.

Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie będące częścią składową systemu.

Dokładności na punktach kontrolowanych uzyskano rzędu $\pm 2,5$ mm, co jest dokładnością satysfakcjonującą dla tego typu pomiarów.

Dokładniejszy opis procedury kalibracyjnej i badań testowych jest opisany w publikacji autorstwa Reginy Tokarczyk i Sławomira Mikruta: "Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej", Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol.9, 1999 r.

Materiały te były prezentowane na Ogólnopolskim Sympozjum Naukowym nt. "Opracowania cyfrowe w fotogrametrii, teledetekcji oraz GIS" w Olsztynie-Mierkach we wrześniu 1999 roku (*więcej w dodatkowym sprawozdaniu dołączonym na końcu dokumentu*).

Załącznik:

1. Mikrut S., Tokarczyk R. "Fotogrametryczny system cyfrowy bliskiego zasięgu do pomiarów ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej", Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol.9, 1999 r.
2. R. Tokarczyk, A. Boroń : „Ocena dokładności rekonstrukcji obiektu z wykorzystaniem aparatu cyfrowego Kodak DC 260”. Półrocznik „Geodezja”, AGH, Kraków, 1999,

Podtemat 3 :

Analiza kierunków rozwoju fotogrametrii i teledetekcji

Wykonawcy: Prof. Dr hab. Józef Jachimski
Dr inż. Władysław Mierzwa
Dr inż. Stanisław Mularz
Dr inż. Krystian Pyka

Analiza kierunków rozwoju fotogrametrii i teledetekcji w Polsce jak i na świecie pozwala na uchwycenie dominujących tendencji, przewidywanych kierunków postępu oraz wyłonienia problemów i zagadnień wymagających rozwiązania. Analiza oparta jest na ocenie aktualnego stanu fotogrametrii i teledetekcji w Polsce. W ramach działalności powołanej w 1999r Komisji Geoinformatyki Polskiej Akademii Umiejętności, w pracach której uczestniczy pięciu pracowników Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH, przedstawiono na jednym z posiedzeń referat autorstwa: J.Jachimski, W.Mierzwa, St. Mularz, K.Pyka pt. „Cyfrowa fotogrametria i teledetekcja w Polsce”. W referacie tym w sposób syntetyczny przedstawiono na tle historii rozwoju fotogrametrii i teledetekcji w Polsce aktualny stan stosowania technik cyfrowych oraz ich rolę w tworzeniu systemów informacji przestrzennej. Referat ten, po rozszerzeniu o zagadnienia podjęte podczas dyskusji i opracowaniu redakcyjnym, został złożony do druku w nowo utworzonym periodyku naukowym Komisji Geoinformatyki PAU o nazwie „Geoinformatica Polonica”.

Fotogrametria i teledetekcja stała się obecnie jedną z podstawowych metod dostarczenia aktualnych i wiarygodnych danych do tworzonych na świecie i w Polsce systemów informacji przestrzennej. Na międzynarodowej Konferencji pt. „Zarządzanie informacją przestrzenną w nowym tysiącleciu”, która odbyła się w dniach 15-17.11.99 w AGH zaprezentowano referat pt. „Pozyskiwanie danych do systemów GIS metodami fotogrametrii i teledetekcji”. Referat ten został opublikowany w materiałach konferencyjnych. W ramach seminarium Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji, które odbyło się w maju 1999r w Rzeszowie przedstawiono (W.Mierzwa, K.Pyka) referat pt. „Komputerowy atlas województwa krakowskiego - stan aktualny i przyszłość”. W referacie tym przedstawiono: koncepcję atlasu, zakres tematyczny źródła danych, sposób ich wykorzystania, rolę zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych, przykłady wykorzystania do analiz oraz zamierzenia związane z jego rozszerzeniem i wdrożeniem. W załączeniu kopia prezentacji w POWER POINT.

Podtemat 4

Doskonalenie metod przetwarzania map i obrazów cyfrowych dla potrzeb analiz przestrzennych w Systemach Informacji Geograficznej (GIS).

Wykonawcy:

Dr inż. Stanisław Mularz,
Dr inż. Ryszard Florek Paszkowski
Dr inż. Beata Hejmanowska,
Mgr inż. Wojciech Drzewiecki,
Mgr inż. Tomasz Pirowski.

Wykorzystanie cyfrowych obrazów teledetekcyjnych dla zasilania i aktualizacji wielowarstwowej bazy danych w systemach informacji geograficznej (GIS) wymaga odpowiedniego ich przetworzenia. Stąd też wszechstronne i kompleksowe wykorzystanie danych teledetekcyjnych wymaga doskonalenia metod przetwarzania obrazu, w tym przede wszystkim opracowania procedur umożliwiających wydobycie, pożądaną dla interpretatora tematycznej treści zdalnych zobrazowań. Problematyka ta nabiera szczególnego znaczenia ze względu na fakt, iż w najbliższym czasie wejdą do eksploatacji satelitarne systemy nowej generacji (hiper- i ultraspektralne) charakteryzujące się rozdzielczością przestrzenną od 1 do 5 m oraz rozdzielczością spektralną od kilkunastu do kilkuset kanałów.

W roku 1999 prace prowadzono generalnie w trzech kierunkach:

- Badanie możliwości wykorzystania najnowszych technik z zakresu analiz GIS na przykładzie Komputerowego Atlasu Województwa Krakowskiego (KAWK), [2],
- Badanie wpływu błędności Cyfrowego Modelu Rzeźny Terenu (CMRT) na analizy GIS, [1].
- Analiza możliwości wykorzystania ortofotomapy w systemach GIS [3]

Klasyczne analizy GIS prowadzone są za pomocą tzw. "twardych" algorytmów decyzyjnych, w których np. wybór lokalizacji dokonuje się po analizie czynników zgodnie z zasadą, że dany obszar spełnia lub nie spełnia żądanego kryterium. W metodach zaawansowanych tzw. "miękkich" brany jest pod uwagę stopień przydatności i związane z nim prawdopodobieństwo, że dany teren spełnia żądane kryterium. W wyniku analizy metodą "twardą" uzyskuje się mapę przydatności, na której obszar może być przydatny lub nie dla danej lokalizacji. W wyniku analizy metodą "miękką" uzyskuje się natomiast mapę prawdopodobieństwa, że dany obszar spełnia żądane kryterium przydatności.

W ramach badań przeprowadzono 3 rodzaje analiz GIS:

- Symulację powodzi na podstawie CMRT obarczonego błędem (w metodzie "twardej" nie uwzględnia się błędności modelu)
- Wariantowy wybór lokalizacji obszaru pod zabudowę
- Wybór najkorzystniejszej drogi (analiza dla południowej części Krakowa).

Prowadzono również szczegółowe badania na temat wpływu błędności CMRT na analizy GIS. Jest to kontynuacja badań prowadzonych w roku 1998. Wyniki badań wskazują na znaczny wpływ błędności CMRT na prowadzone analizy GIS. Wnioski te wydają się być istotne z dwóch powodów. Po pierwsze dlatego, że w klasycznych metodach, najczęściej stosowanych, nie jest ona uwzględniana, a po drugie ze względu na to, że obecnie w wielu rejonach kraju są tworzone systemy typu GIS i zbliża się czas ich wdrażania i wykorzystywania, czyli również prowadzenia analiz GIS.

W ramach badań przeprowadzono analizę możliwości wykorzystania ortofotomapy w systemach GIS. W załączonej publikacji znajdują się wnioski autorów na temat technologii wykonywania ortofotomapy, uzyskiwanych dokładnościach, możliwości wykorzystania oraz perspektywy jej rozwoju.

Załączniki:

1. Mularz S., Drzewiecki W., Pirowski T., "Generowanie map spadków i ekspozycji pod nadzorem różnych systemów GIS." Półrocznik "Geodezja" AGH, Kraków, 1999 (w druku).
2. Drzewiecki W., Hejmanowska B., Pirowski T., "Przykładowe analizy przestrzenne w oparciu o Komputerowy Atlas Województwa Krakowskiego KAWK", Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Nr9, 1999, Olsztyn-Mierki
3. Florek-Paszkowski R., Rachwał R. „, Ortofotomapa cyfrowa wubrane aspekty technologiczne i aplikacyjne na podstawie pięcioletnich doświadczeń OPGK Kraków”, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Nr9, 1999, Olsztyn-Mierki

Podtemat 5.

Fotogrametria i teledetekcja w informatycznym społeczeństwie XXI wieku

Wykonawcy: Prof. Dr hab. Józef Jachimski

Sukcesy technologii opartych na przetwarzaniu obrazów cyfrowych stwarzają możliwości upowszechniania metod fotogrametrii i teledetekcji wśród szerokich rzesz odbiorców. Sieci internetowe stwarzają łatwy dostęp do banków danych, dzięki czemu obrazy lotnicze i satelitarne mogą być pozyskiwane w dowolnym miejscu. Racjonalne wykorzystanie zawartości informacyjnej obrazów wymaga jednak pewnego przygotowania odbiorców. Doświadczenia, jakie zebraliśmy dotychczas, m.in. w trakcie prowadzenia szkoleń dla administracji lokalnej i centralnej (w ramach programu PHARE) świadczą o dużych stratach gospodarczych, wynikających z braku umiejętności posługiwania się informacjami zawartymi w obrazach lotniczych i satelitarnych, a także w systemach informacji przestrzennej. Należy się spodziewać, że swobodę posługiwania się tymi informacjami można nabyć znacznie łatwiej, jeśli trening rozpoczęty zostaje w wieku szkolnym. Zakład nasz propaguje tę tezę i czyni starania o rozpoczęcie odnośnego projektu pilotażowego. Uzyskaliśmy już deklarację woli współpracy od kolegów z Politechniki Warszawskiej i od kolegów z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Mamy też obietnicę realnego poparcia od Głównego Geodety Kraju, który obiecuje ułatwić wyposażenie szkół biorących udział w projekcie pilotażowym w niezbędne zestawy zdjęć lotniczych. Mamy też obietnicę niewielkiego wsparcia finansowego. Istnieje poważna nadzieja, że projekt pilotażowy dotyczący badania dróg upowszechnienia wykorzystania obrazów lotniczych i satelitarnych może zostać uruchomiony od nowego roku szkolnego 2000/2001.

BADANIE PRZYDATNOŚCI APARATÓW CYFROWYCH KODAK DC 260 DO OPRACOWAŃ FOTOGRAMETRYCZNYCH - KALIBRACJA APARATÓW (OKREŚLENIE ELEMENTÓW ORIENTACJI WEWNĘTRZNEJ)

1. Badanie stabilności elementów orientacji wewnętrznej dla aparatów Kodak DC 260

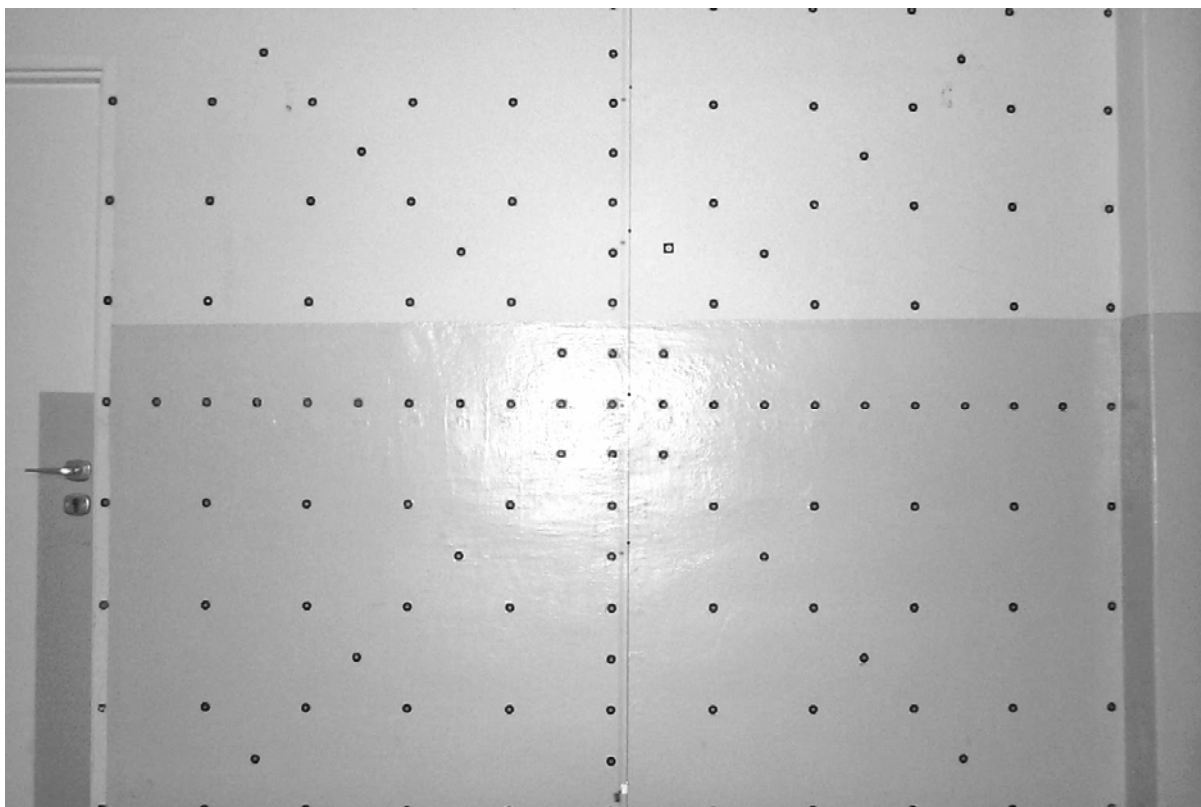
KODAK DC 260 jest aparatem typu *compact* z niewymiennym obiektywem zmiennoogniskowym (zoom), z możliwością wyboru manualnego trybu ogniskowania (zarówno przy obsłudze ręcznej jak i sterowaniu aparatem za pośrednictwem komputera) oraz z możliwością wyboru wartości ogniskowej. (tylko przy sterowaniu aparatem za pośrednictwem komputera). Możliwość realizacji wybranych wartości odległości przedmiotowej i ogniskowej jest warunkiem koniecznym dla przystosowania aparatu do celów pomiarowych jako kamery fotogrametrycznej. Dodatkowym, nie mniej ważnym warunkiem jest powtarzalność ustawianych parametrów przy kolejnych ekspozycjach. Dlatego, w pierwszym rzędzie, należało sprawdzić czy w tego typu sterowanych elektronicznie aparatach możliwe jest uzyskanie powtarzalności elementów orientacji wewnętrznej, warunkującej wykorzystanie ich w praktyce fotogrametrycznej.

Powtarzalność elementów orientacji wewnętrznej obrazów cyfrowych objawia się poprzez wierność geometryczną zobrazowań tego samego obiektu wykonanych z tego samego stanowiska przy wielokrotnym ustawianiu tych samych parametrów ogniskowania i ogniskowej. Ponieważ zarówno realizacja nastawionego ogniskowania jak i ogniskowej odbywa się na drodze przesuwu obiektywu i elementów optycznych obiektywu z wykorzystaniem silnika elektrycznego, dlatego od precyzji działania tego elektro-opto-mechanicznego zespołu zależeć będzie powtarzalność ustawień, a tym samym elementów orientacji wewnętrznej.

Przyjęty program testowych zobrazowań miał odpowiedzieć, po analizie geometrycznej, na pytanie: czy istnieje ich powtarzalność geometryczna, a w przypadku jej braku : jakimi czynnikami jest spowodowana.

Dla wykonania testowych obrazów aparat umieszczono na stabilnym statywie naprzeciw płaskiego pola testowego z równomiernie rozmieszczonymi punktami kontrolnymi (rys 1). Zorientowano go w taki sposób aby punkty kontrolne dokładnie wypełniały cały kadr. Następnie wykonano 5 ekspozycji wg następującego programu:

- 1 ekspozycja: po włączeniu aparatu, nastawieniu ogniskowania na odległość 3m. i ogniskowej 37 mm.
- 2 ekspozycja: powtórne wyzwolenie migawki bez zmiany jakichkolwiek ustawień,
- 3 ekspozycja: wyłączenie aparatu i powtórne włączenie z ustawieniem parametrów tak jak przy pierwszej ekspozycji
- 4 ekspozycja: zmiana ogniskowej i ogniskowania, a następnie powrót do parametrów wyjściowych
- 5 ekspozycja: wyłączenie aparatu i powtórne włączenie z ustawieniem parametrów tak jak przy pierwszej ekspozycji.



Rys. 1 Jeden z obrazów testowych dla badania stabilności elementów orientacji wewnętrznej

Do analizy powtarzalności zobrazowań wybrano 7 punktów rozmieszczonych równomiernie na powierzchni obrazu. Pomiar współrzędnych tych punktów na obrazach cyfrowych wykonano z wykorzystaniem analitycznego autografu cyfrowego VSD, przy stałym 10-krotnym powiększeniu obrazu (rozdzielczość pomiaru 0.1 piksela). Dla określenia dokładności pomiaru wykonano wielokrotny pomiar na jednym obrazie. Przeciętna wartość odchylenia standardowego na mierzonych punktach wyniosła ± 0.15 piksela. Wielkość ta stanowi kryterium powtarzalności położenia tych samych punktów na pozostałych obrazach. W dalszej kolejności pomierzono te same punkty kontrolne na pozostałych 4 obrazach. Porównanie współrzędnych pomierzonych punktów kontrolnych wykonano w stosunku do pierwszego zarejestrowanego obrazu.

W pierwszym etapie przebadano 2 aparaty Kodak DC 260 o numerach EKH 83300208 i EKH 83300231. Uzyskano następujące wyniki powtarzalności:

- dla aparatu EKH 83300208 : $m_x = \pm 1.15$ piksela. $m_y = \pm 3.2$ piksela.
- dla aparatu EKH 83300231 : $m_x = \pm 0.3$ piksela. $m_y = \pm 0.4$ piksela.

Dla pierwszego aparatu stwierdzone błędy powtarzalności są zbyt duże dlatego, za zgodą Sprzedawcy, dokonano podmiany tego aparatu na inny o numerze EKH 83800390.

Dla tego, nowego, aparatu uzyskano następujące błędy powtarzalności: $m_x = \pm 0.35$ piksela. $m_y = \pm 0.27$ piksela.

Analizując uzyskane wyniki można powiedzieć, że oba aparaty posiadają błędy powtarzalności na poziomie ok. dwukrotnie wyższym niż dokładność pomiaru na zdjęciach, niemniej jednak ze względu na rzutowy charakter tych błędów będą one eliminowane na etapie orientacji wzajemnej na VSD.

2. Kalibracja aparatów cyfrowych KODAK DC 260

Kalibrację dwu aparatów cyfrowych Kodak DC260 o numerach fabrycznych: EKH 83800390 i EKH 83300231 przeprowadzono na polu testowym AGH (Rys.2.). Składało się ono z 53 punktów zaszykalizowanych sygnałami w postaci koncentrycznych kół, rozmieszczonych w przybliżeniu na płaszczyźnie. Dokładność współrzędnych punktów pola wynosi: dla współrzędnej

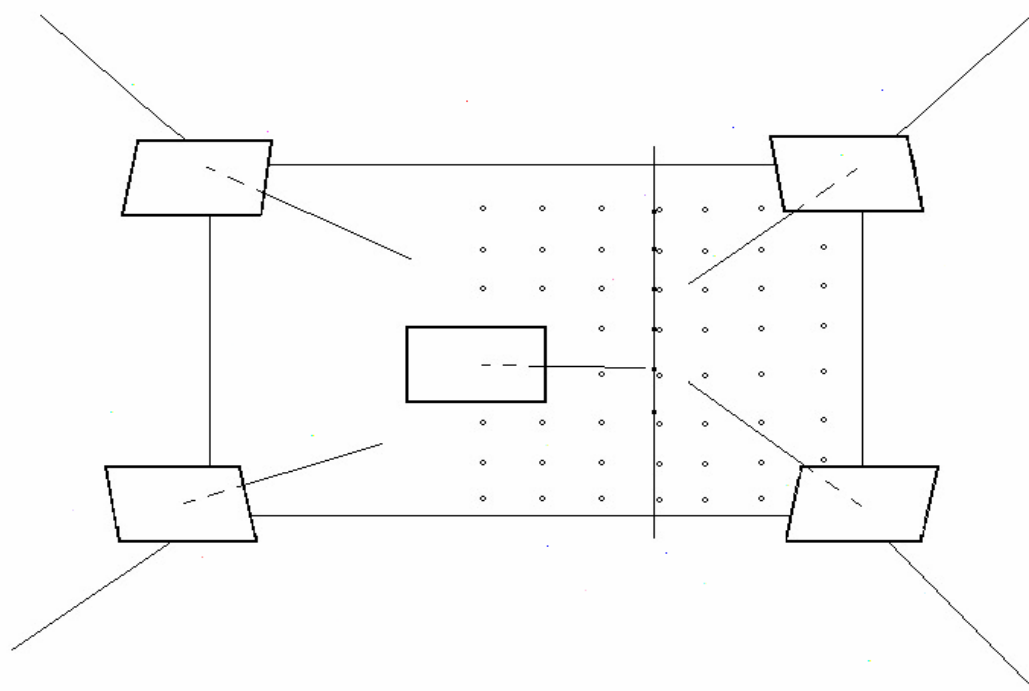
X	± 0.2 mm
Y	± 0.3 mm
Z	± 0.2 mm

W skład pola wchodzi też 13 punktów podobnie sygnalizowanych, o nie znanych współrzędnych, rozmieszczonych poza płaszczyznę poprzednio wymienionych punktów.



Rys. 2. Pole testowe wykorzystywane do kalibracji aparatów

W celu określenia parametrów kalibracji wykonano po 5 zdjęć każdym aparatem fotograficznym. Stanowiska rozmieszczono tak, aby zapewnić możliwie jak najkorzystniejszy pod względem geometrycznym kształt sieci zdjęć (Rys.3).



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia zdjęć do kalibracji

W trakcie kalibracji aparaty połączone były z komputerem i z niego sterowano nastawianiem ogniskowej, odległości fotografowania i wyzwalaniem migawki. Zdjęcia wykonano dla wspólnych nastawień elementów orientacji wewnętrznej: ogniskowa 37 mm., odległość fotografowania 10 m. Współrzędne obrazowe punktów pola pomierzono wykorzystując cyfrowy autograf analityczny VSD. Przyjęto układ na zdjęciu, którego początek znajduje się w środku zdjęcia. W tak przyjętym układzie współrzędne naroży obrazu cyfrowego wynoszą:

- lewy górny narożnik $x = -768$; $y = 512$
- prawy górny narożnik $x = 768$; $y = 512$
- prawy dolny narożnik $x = 768$; $y = -512$
- lewy dolny narożnik $x = -768$; $y = -512$

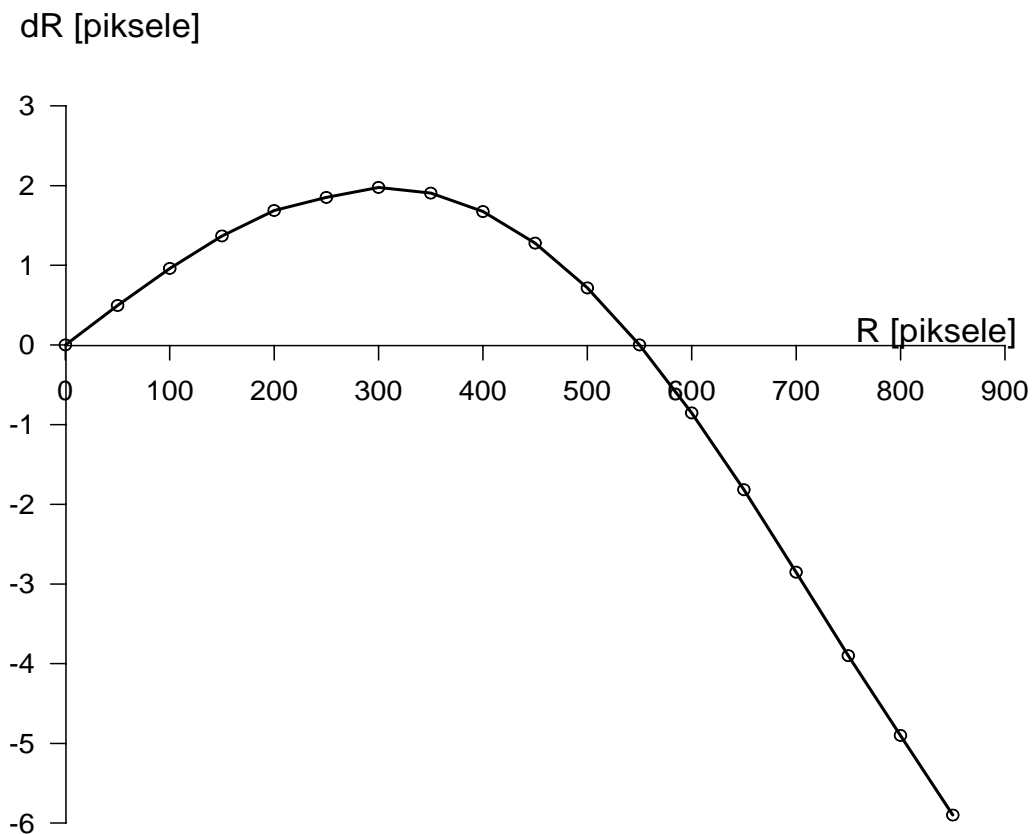
Parametry kalibracji każdego aparatu fotograficznego obliczono rozwiązując metodą samokalibracji sieć pięciu zdjęć. Poląga ona na równoczesnym obliczeniu i wyrównaniu wszystkich niewiadomych, a więc: współrzędnych punktów wyznaczanych, poprawek do współrzędnych punktów dostosowania, elementów orientacji zdjęć lub ich grupy, błędów obrazu. Dystorsję obiektywu aproksymowano wielomianem zawierającym dwa parametry dystorsji radialnej i dwa tangencjalnej. Do obliczeń wykorzystano program ORIENT, w którym wyrównanie fotogrametrycznej sieci dokonywane jest metodą niezależnych wiązek. W załącznikach 1 i 2 zamieszczono fragmenty protokołów obliczeń, w których znajdują się wartości obliczonych i wyrównanych niewiadomych wraz z błędami ich wyznaczenia. W wyniku kalibracji uzyskano następujące parametry kalibracji:

Aparat Kodak DC260 nr EKH83300231

$x_0 = 9.40 \pm 1.36$ pxl
 $y_0 = 13.44 \pm 1.11$ pxl
 $c_k = 1686.61 \pm 1.08$ pxl
 $K_1 = -6.725273 \pm 0.0949$
 $K_2 = 1.207439 \pm 0.0402$
 $P_1 = 0.2232616 \pm 0.0493$
 $P_2 = 0.2806928 \pm 0.0390$

Aparat Kodak DC260 nr EKH83800390

$x_0 = -6.46 \pm 1.44$ pxl
 $y_0 = 28.61 \pm 1.15$ pxl
 $c_k = 1676.86 \pm 1.14$ pxl
 $K_1 = -7.462319 \pm 0.117$
 $K_2 = 1.464036 \pm 0.0509$
 $P_1 = 0.15084 \pm 0.0532$
 $P_2 = 0.1540611 \pm 0.0407$



Rys. 4. Wykres średniej dystorsji radialnej z obu aparatów

3. Badanie dokładności pomiaru fotogrametrycznego z wykorzystaniem skalibrowanych aparatów Kodak DC 260

W celu zbadania dokładności pomiaru fotogrametrycznego z użyciem skalibrowanych aparatów fotograficznych wykonano stereogram zdjęć w przybliżeniu normalnych i poziomych, ogniskowanych identycznie jak dla kalibracji, sterowanie ogniskowaniem i wyzwalamie migawki dokonywane było również tak jak przy kalibracji, to znaczy za pomocą komputera. Pomiar wykonano na tym samym polu testowym, jakie wykorzystano do kalibracji. Odległość do fotografowanych punktów testu wynosiła około 7m, a baza fotografowania - około 1.7 m. Stereogram wykonano używając obu badanych aparatów. Jako punkty kontrolowane (punkty służące do oceny dokładności stereogramu) wykorzystano punkty pola testowego, zarówno te które posiadały współrzędne geodezyjne z pomiaru bezpośredniego jak i te których współrzędne określone zostały w trakcie kalibracji. Ogółem wykorzystano 15 punktów kontrolowanych.

Stereogram posłużył do wykonania trzech wersji obliczeniowych:

W pierwszej przyjęto elementy orientacji wewnętrznej i parametry dystorsji indywidualne dla obu aparatów. Współrzędne kilkunastu punktów pola i elementy orientacji zewnętrznej zdjęć (kamer) wyznaczono w jednym procesie wyrównawczym w oparciu o cztery punkty dostosowania, użyto do tego programu ORIENT.

W wyniku pomiaru uzyskano na punktach kontrolowanych błędy (Załącznik3)

$$m_x = \pm 0.7 \text{ mm}$$

$$m_y = \pm 4.7 \text{ mm}$$

$$m_z = \pm 1.5 \text{ mm}$$

Druga wersja obliczeń dokonanych z użyciem ORIENTA różniła się od pierwszej przyjęciem parametrów kalibracji wspólnych dla obydwu aparatów, przyjęto uśrednione parametry kalibracji:

$$x_0 = 1.47 \text{ pxl}$$

$$y_0 = 21.02 \text{ pxl}$$

$$c_k = 1681.73 \text{ pxl}$$

$$K_1 = -7.093796$$

$$K_2 = 1.3357375$$

$$P_1 = 0.1870508$$

$$P_2 = 0.21737695$$

W wyniku otrzymano błędy na punktach kontrolowanych: (Załącznik 4):

$$m_x = \pm 0.8 \text{ mm}$$

$$m_y = \pm 5.4 \text{ mm}$$

$$m_z = \pm 1.6 \text{ mm}$$

W trzeciej wersji wykonano pomiar za pomocą autografu VSD. Parametry kalibracji zdjęć przyjęto wspólne, bo tylko taką opcję przyjęto w oprogramowaniu autografu.

Zgodnie z procedurami wykonano orientacje: wewnętrzną, wzajemną (Załącznik 6) i bezwzględną (Załącznik 7) , mierząc te same punkty wyznaczane co przy poprzednich

wersjach i używając tych samych punktów dostosowania. Na punktach kontrolowanych uzyskano dokładności (Załącznik 5):

$$m_x = \pm 1.2 \text{ mm}$$

$$m_y = \pm 9.6 \text{ mm}$$

$$m_z = \pm 3.2 \text{ mm}$$

Powyższe wyniki byłyby znacznie korzystniejsze, jeżeli wyeliminować spośród punktów kontrolowanych punkt 27 (patrz załączniki), który znajdował się poza płaszczyzną pozostałych. Ponadto można zauważyć, że uśrednienie parametrów orientacji dla obu aparatów nieznacznie tylko obniżyło dokładność pomiaru, co jest wnioskiem bardzo korzystnym dla użytkowników VSD.

Dokładności uzyskane w płaszczyźnie XZ są wysokie i nie odbiegają od dokładności uzyskiwanych dla innych, wyższej klasy aparatów cyfrowych. Dla opracowania analitycznego mieszczą się one w przedziale od 0.2 do 0.4 piksela, a dla opracowania na VSD od 0.4 do 0.7 piksela.

Prof. dr hab.inż. Józef Jachimski

dr inż. Regina Tokarczyk

dr inż. Adam Boroń