



**Aleksandra Bujakiewicz, Dorota Zawieska, Michał Kowalczyk**

## **TRÓJWYMIAROWE MODELOWANIE OBIEKTU ARCHITEKTONICZNEGO**

### **THREE DIMENSIONAL MODELLING OF ARCHITECTURAL STRUCTURE**

*Politechnika Warszawska, Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Zakład Fotogrametrii  
Warsaw University of Technology, Institute of Photogrammetry and Cartography,  
Department of Photogrammetry*

**STRESZCZENIE:** Metody fotogrametrii cyfrowej są używane dla realizacji wielu zadań pomiarowych w różnych zastosowaniach bliskiego zasięgu. Coraz bardziej popularne w ostatnich latach „3D Architektoniczne Systemy Informacji”, zawierają zintegrowane dane geometryczne i tematyczne, dotyczące trójwymiarowych rzeczywistych modeli budowli i zabytków historycznych, rekonstruowanych w oparciu o obrazy cyfrowe. Zintegrowane dane z bazy topograficznej, wspomaganie metodami fotogrametrii lotniczej oraz z architektonicznych systemów informacji, tworzonych w oparciu o obrazy cyfrowe bliskiego zasięgu, współpracują z systemami CAD/GIS w celu tworzenia relacyjnych baz danych.

W niniejszym referacie przedstawiono próbę modelowania trójwymiarowego obiektu architektonicznego w oparciu o obrazy uzyskane aparatem cyfrowym. Do tego celu wykorzystano dwa aparaty cyfrowe Olympus E-10 i Nikon E990 dla których zostały przed etapem pomiaru określone parametry orientacji wewnętrznej oraz parametry opisujące wpływy błędów systematycznych. W celu rekonstrukcji modeli wybranych fragmentów konstrukcji architektonicznych wykorzystano program Orient/Orpheus, który umożliwił stworzenie modelu rzeczywistego obiektu tj. zarówno szkieletu badanej części konstrukcji jak i nałożenie tekstury na wybrane powierzchnie. Ze względu na właściwą orientację zdjęć i korekcję współrzędnych punktów obrazu o wpływy błędów systematycznych, uzyskano zadawalającą dokładność odtworzenia kształtu modelu konstrukcji architektonicznej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** fotogrametria cyfrowa, bliski zasięg, inwentaryzacja, architektura, modelowanie

## **1. WPROWADZENIE**

Metody fotogrametrii cyfrowej bliskiego zasięgu znajdują coraz więcej zastosowań dla różnego rodzaju pomiarów. Coraz bardziej popularne na świecie ‘**Architektoniczne Systemy Informacji**’ zawierają zintegrowane dane geometryczne i tematyczne, dotyczące trójwymiarowych rzeczywistych modeli budowli i zabytków historycznych,

rekonstruowanych w oparciu o obrazy cyfrowe. Cyfrowe systemy fotogrametryczne dla przetwarzania danych obrazowych współpracują z CAD/GIS w celu tworzenia relacyjnych baz danych (Nour el Din, Grussenmeyer, 2000).

Trójwymiarowe modele, uzupełnione teksturą są zapisywane w formacie VRML (Virtual Reality Modeling Language), który pozwala użytkownikowi z jednej strony łatwo interaktywnie wizualizować i sprawdzać dane, z drugiej strony pozwala dołączyć bardzo efektywnie wiele dodatkowych informacji do 3D modelu, takich jak, tekst, dźwięk, etc oraz pozwala wizualizować 3D modele w Internecie. Połączenie fotogrametrycznego 3D modelowania z technologią VRML, dostarcza wiele dodatkowych możliwości, zwłaszcza dla celów edukacyjnych i popularyzacyjnych.

**Rzeczywisty (realny) model** – VRM (Visually Realistic Model) jest 3D reprezentacją obiektu, który zawiera wszystkie informacje konieczne dla oglądania, rozpoznania i jego analizy. W modelach rzeczywistych są prezentowane nie tylko geometryczne zależności pomiędzy jego głównymi elementami (model szkieletowy), lecz także rzeczywista tekstura na wszystkich elementach. **Model szkieletowy** lub inaczej zwany **Numeryczny szkielet odniesienia** (Numerical Frame of Reference – NFR) jest najprostszą formą prezentacji 3D modelu, która pozwala określić główne parametry budowy i obliczyć na przykład jej pojemność. Taka prosta reprezentacja 3D jest wystarczająca dla wielu zastosowań związanych z ogólnym planowaniem i monitorowaniem, na przykład, dla ogólnego planowania i monitorowania środowiska. Taka uproszczona 3D reprezentacja jest zwykle dołączana do topograficznych baz danych dotyczących wybranego terenu, uzyskiwanych w oparciu o zdjęcia lotnicze, w celu generowania trójwymiarowych modeli miast czy modeli krajobrazu.

Jednakże, w przypadkach szczegółowych planów lub analiz stanu istniejącego dla zaplanowania np. pewnych prac konserwatorskich wykonywanych przez urbanistów, architektów czy innych specjalistów, tworzenia pełnej dokumentacji o stanie zabytków historycznych lub archeologicznych, potrzebne są rzeczywiste modele ze wszystkimi liniami strukturalnymi i teksturą. Baza danych tworzona dla takich szczegółowych elementów zwana jest **Obrazową bazą danych teksturalnych** (Texture Image Database – TID), która zawiera informacje rastrowe o danych teksturalnych obiektu w formie przetworzonych ortofotografii dla wszystkich wytypowanych powierzchni obiektu. W publikacji (Varshosaz, Dowman, Chapman, 2000) zostały zaprezentowane ogólne podstawy dla automatycznego przetwarzania i dostarczania tekstury dla żądanych powierzchni obiektu, zwane **Automatyczne narzędzie dla przetwarzania tekstury** (Automatic Texture Processing Tool).

Koncepcja integracji trójwymiarowych modeli rzeczywistych z danymi GIS w celu generowania tzw. 3D-GIS w zastosowaniu do inwentaryzacji zabytków historycznych została przedstawiona w (Kolbl, Cherradi, Hostettler, 2000). Jako pole doświadczalne wybrano zabytki historyczne rozmieszczone w dolinie Draa w Południowym Maroku. Równoległe prace badawcze związane z rozwojem systemu informacyjnego bazującego na 3D rzeczywistych modelach były prowadzone w Japonii przez (Hongo, Matsuoka, i in., 2000), we Włoszech przez (Bartolotta, di Naro i in., 2000), w Holandii i Austrii przez (Streilen, Hanke, Grussenmeyer, 2000). Prezentowany na Kongresie ISPRS w Amsterdamie, 'Hagia-Sophia Information System' opracowany przez Vienna oraz Istanbul Technical Universities (Dorffner, Kraus, i in. 2000), dotyczył jednego

z największych światowych zabytków kultury – Hagia Sofia w Istambule pochodzącego z okresu Cesarstwa Bizantyjskiego (zbudowane w latach 532–537).

Odtwarzając teksturę budowli w oparciu o obrazy, możliwe jest wykorzystanie amatorskich zdjęć archiwalnych dla odtworzenia tekstury powierzchni zniszczonych częściowo lub całkowicie zabytków historycznych. Przykładem takiego podejścia jest wykorzystanie przez (Wiedemann, Hemmleb, Albertz, 2000), archiwalnych zdjęć z Archiwum Meydenbauer w Berlinie dla rekonstrukcji modeli historycznych budowli, zniszczonych w czasie II wojny Światowej; – ‘Berliner Stadtschloss’ (dawna rezydencja Pruskiego Króla i Niemieckiego Cesarza) oraz ‘Bauakademie’ (sławna Szkoła Architektoniczna oraz Instytut Fotogrametrii Architektonicznej).

Inne podejście jest stosowane w przypadku fotogrametrycznej dokumentacji obiektów (eksponatów) archeologicznych, w których rekonstrukcja 3D modelu wiąże się z odtworzeniem numerycznego modelu (kształtu) jego całej powierzchni. Przykładem takiego podejścia jest, wykonany przez Uniwersytet w Innsbrucku, pomiar fotogrametryczny (wykorzystujący obrazy cyfrowe z aparatu amatorskiego), eksponatu sprzed 5000 lat, zwanego ‘Otzi’ (iceman mummy – mumia lodowego człowieka) oraz archeologicznego kamienia, zwanego ‘Hohler Stein’ (Hanke, 2000).

W niniejszym referacie przedstawiono próbę modelowania trójwymiarowego obiektu architektonicznego w oparciu o obrazy uzyskane aparatem cyfrowym. Do tego celu wykorzystano aparat cyfrowy Nikon E990, dla którego zostały przed etapem pomiaru określone parametry orientacji wewnętrznej oraz parametry opisujące wpływy błędów systematycznych. W celu rekonstrukcji modeli wybranych fragmentów konstrukcji architektonicznych wykorzystano program Orient/Orpheus, który umożliwił stworzenie zarówno szkieletu badanej części konstrukcji jak i nałożenie tekstury na wybrane powierzchnie. Ze względu na właściwą korekcję współrzędnych punktów obrazu o wpływy błędów systematycznych, uzyskano zadawalającą dokładność odtworzenia kształtu modelu konstrukcji architektonicznej.

## 2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA METODY POMIARU

W metodzie stosowanej w eksperymentach przyjęto następujące założenia:

- Pomiar fotogrametryczny bazuje na wstępnie wyznaczonych parametrach orientacji wewnętrznej kamery cyfrowej oraz parametrach opisujących błędy systematyczne obrazów. Wymaga to konieczność przeprowadzenia kalibracji kamery cyfrowej dla warunków fotografowania przewidzianych w etapie zasadniczego pomiaru, w oparciu o specjalne pola testowe. Warunkiem koniecznym wykorzystania w pomiarze wstępnie wyznaczonych parametrów jest ich powtarzalność w trakcie wykonania kolejnych obrazów.

Proces określania modeli rzeczywistych obiektów architektonicznych zawiera trzy główne etapy:

- odtworzenie orientacji zewnętrznej zdjęć, poprzez realizację wcięcia wstecz w oparciu o współrzędne punktów zdefiniowanych w układach obiektu i zdjęcia oraz znane parametry orientacji wewnętrznej i parametry opisujące błędy obrazów,
- tworzenie modelu szkieletowego konstrukcji architektonicznej,
- definiowanie odpowiednich powierzchni i wypełnienie ich teksturą.

## 2.1. Proces kalibracji amatorskich aparatów cyfrowych

Precyzja pomiaru fotogrametrycznego opartego na obrazach pozyskanych amatorskim aparatem cyfrowym jest uzależniona od dokładności odtworzenia kształtu wiązki promieni rejestrujących obraz. Wiązka ta jest zniekształcona zarówno z powodu istniejących błędów systematycznych i przypadkowych zobrazowania jak i nieznamośności parametrów orientacji wewnętrznej systemu.

W literaturze dotyczącej kalibracji kamer niemetrycznych można znaleźć wiele publikacji i raportów na temat metod kalibracji i skuteczności ich działania.

Ogólnie wiadomo, że zarówno niemetryczne aparaty analogowe (aparaty fotograficzne), jak i amatorskie aparaty cyfrowe są wyposażone w obiektywy o niższej jakości geometrycznej, tj. o znacznie większej dystorsji niż kamery metryczne, a ponadto nie jest dokładnie zdefiniowana ich orientacja wewnętrzna, tj. odległość obrazu i położenie punktu głównego. Nowoczesne aparaty cyfrowe są ponadto zwykle zmienno-ogniskowe (wyposażone w tzw. zoom), co oznacza, że odległość obrazu zmienia się w sposób ciągły w zależności od odległości fotografowania.

Ze względu na fakt, że amatorskie aparaty cyfrowe, jako systemy niemetryczne, nie są produkowane pod kątem wykorzystania ich do celów pomiarowych, zatem z założenia nie muszą zabezpieczać dokładnej powtarzalności odwzorowania wiązek opisujących kolejne zdjęcia. To wskazuje, że najbardziej skuteczną metodą kalibracji niemetrycznych obrazów cyfrowych jest samokalibracja. Metoda ta w różnych odmianach była stosowana od wielu lat. Jednakże skuteczność działania tej metody wymaga dużej liczby odwzorowań punktów na zdjęciach i odpowiedniej geometrii zdjęć. Wyrównanie jest wykonywane poprzez terratriangulację bazującą na metodzie wiązek, w której jako niewiadome traktuje się, poza punktami wyznaczanymi i elementami orientacji zewnętrznej zdjęć, również parametry orientacji wewnętrznej i współczynniki równań opisujących zniekształcenia zobrazowania, spowodowane błędami zdjęcia.

W celu uproszczenia pomiaru fotogrametrycznego obiektu architektonicznego kalibrację aparatu cyfrowego można wykonać we wstępnym procesie, jeśli spełniona jest wystarczająca dla wymaganej dokładności pomiaru, powtarzalność geometrii wiązki obrazowej odtwarzającej obraz. To oznacza, że parametry orientacji wewnętrznej oraz wpływ błędów systematycznych obrazów wykonanych amatorskimi aparatami cyfrowymi są powtarzalne w trakcie wykonania kolejnych zdjęć. Należy jednak wszystkie parametry kalibracji określić dla podobnych warunków w jakich zostaną wykonane zdjęcia.

Najprościej jest rozdzielić etap określenia wpływu błędów systematycznych zdjęcia od etapu wyznaczenia parametrów orientacji wewnętrznej systemu, stosując odpowiednio test płaski i test przestrzenny dla realizacji tych zadań.

Najczęściej stosowanym modelem matematycznym opisującym wpływ błędów zdjęcia jest model parametryczny, który zawiera niezależne składniki charakteryzujące trzy rodzaje błędów: afinizmu, spowodowanego różnicą skali odwzorowania wzdłuż osi 'ox' względem osi 'oy' oraz wzajemnego skręcenia tych osi względem siebie, dystorsji radialnej, oraz dystorsji tangencjalnej obiektywu.

Sumaryczny wpływ tych błędów na przesunięcie punktu na obrazie wzdłuż osi 'x' i 'y' opisuje równanie 1.

$$\begin{aligned} dx &= dx_a + dx_{ri} + dx_t \\ dy &= dy_a + dy_{ri} + dy_t \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

- wpływ afinizmu na współrzędne  $x$  i  $y$  opisany jest jako:

$$\begin{aligned} dx_a &= A (y_i - y_0), \\ dy_a &= B (y_i - y_0), \end{aligned}$$

$$A = (1 + ds) \sin d\beta,$$

$$B = (1 + ds) \cos d\beta - 1,$$

$ds$  – stosunek skali wzdłuż osi  $oy$  względem skali wzdłuż osi  $ox$  układu tłowego,

$d\beta$  – odchylenie kąta między osiami od wartości kąta prostego.

$x_i, y_i$  – współrzędne niepoprawione  $i$ -tego punktu

- wpływ dystorsji radialnej na współrzędne  $x$  i  $y$  opisany jest jako :

$$\begin{aligned} dx_{ri} &= x_i (k_1 r_i^2 + k_2 r_i^4 + k_3 r_i^6 + \dots + k_n r_i^{2n}), \\ dy_{ri} &= y_i (k_1 r_i^2 + k_2 r_i^4 + k_3 r_i^6 + \dots + k_n r_i^{2n}) \end{aligned}$$

$r$  – odległość od przyjętego środka rozchodzenia się promieni radialnych

$k_1, k_2, \dots, k_n$  – współczynniki opisujące dystorsję radialną

- wpływ dystorsji tangencjalnej na współrzędne  $x$  i  $y$  opisany jest jako:

$$\begin{aligned} dx_t &= [p_1 (r^2 + 2x^2) + p_2 2xy] [1 + p_3 r^2 + \dots] \\ dy_t &= [p_1 2xy + p_2 (r^2 + 2y^2)] [1 + p_3 r^2 + \dots] \end{aligned}$$

$p_1, p_2, \dots, p_n$  – współczynniki opisujące wpływ dystorsji tangencjalnej

## 2.2. Rekonstrukcja i modelowanie 3D konstrukcji architektonicznych

Pierwszym etapem fotogrametrycznego modelowania obiektu architektonicznego jest odtworzenie kształtu wiązek promieni rzutujących i ich orientacji zewnętrznej względem obiektu. W przypadku wykonania kalibracji aparatu cyfrowego, w poprzedzającym pomiar etapie, dokładność rekonstrukcji wiązek promieni jest uzależniona od powtarzalności parametrów orientacji wewnętrznej aparatu i wpływu błędów systematycznych zdjęć, w trakcie wykonania obrazów cyfrowych. W przypadku obrazów wykonanych z bliskich odległości, istotnym jest posiadanie danych z kalibracji wykonanej dla podobnych zakresów odległości fotografowania, jakich używa się w trakcie pomiaru obiektu.

Orientacja zewnętrzna zdjęć może być wykonana w dwojaki sposób; albo poprzez realizację niezależnego fotogrametrycznego wcięcia wstecz dla każdego zdjęcia w oparciu o znane położenie wybranej grupy punktów osnowy w układzie współrzędnych obiektu i obrazu, albo poprzez jednoczesne rozwiązanie stereotriangulacji dla całego bloku zdjęć. Wybór metody orientacji zewnętrznej zależy od liczby zdjęć wykonanych dla badanego obiektu i determinuje wymaganą liczbę osnowy polowej.

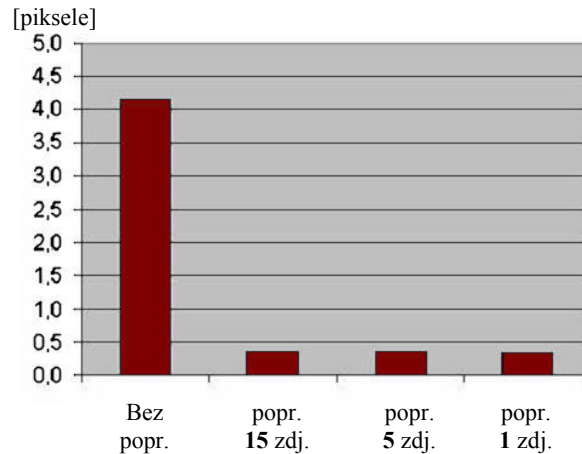
Właściwy proces modelowania rozpoczyna się od etapu tworzenia modelu szkieletowego konstrukcji architektonicznej w oparciu o wybrane punkty na poszczególnych strukturach architektonicznych, określone poprzez fotogrametryczne wcięcie w przód. Pomiar tych punktów na zdjęciach może być wykonany w trybie mono lub stereoskopowym w zależności od możliwości fotogrametrycznego systemu cyfrowego. Stosowane programy posiadają szereg funkcji ułatwiających to zadanie. Po utworzeniu modelu szkieletowego (numeryczny szkielet odniesienia), możliwe jest jego oglądanie, przesuwanie, obracanie, itd. Drugi etap modelowania polega na nałożeniu rzeczywistych tekstur na wszystkich lub wybranych powierzchniach konstrukcji. W tym celu możliwe jest definiowanie koloru lub typu powierzchni, nałożenie tekstur, wzorów lub rysunków pozyskiwanych z przetworzonych obrazów cyfrowych. Model szkieletowy konstrukcji wraz z obrazową bazą danych teksturowych stanowią rzeczywisty model konstrukcji zawierający wszystkie informacje, które są cenne dla tworzenia pełnej dokumentacji o stanie budowli, w szczególności zabytku historycznego czy archeologicznego.

### 3. OPIS EKSPERYMENTU

W prowadzonych w Zakładzie Fotogrametrii PW pracach eksperymentalnych, obiekt architektoniczny stanowiły dwa przeciwległe fragmenty konstrukcji Auli Głównej Politechniki Warszawskiej. Zdjęcia zostały wykonane aparatem cyfrowym Nikon E 990.

Kamera została wcześniej skalibrowana oraz przebadana pod kątem powtarzalności określonych parametrów orientacji wewnętrznej i wpływu błędów systematycznych zdjęć (Kowalczyk, 2003).

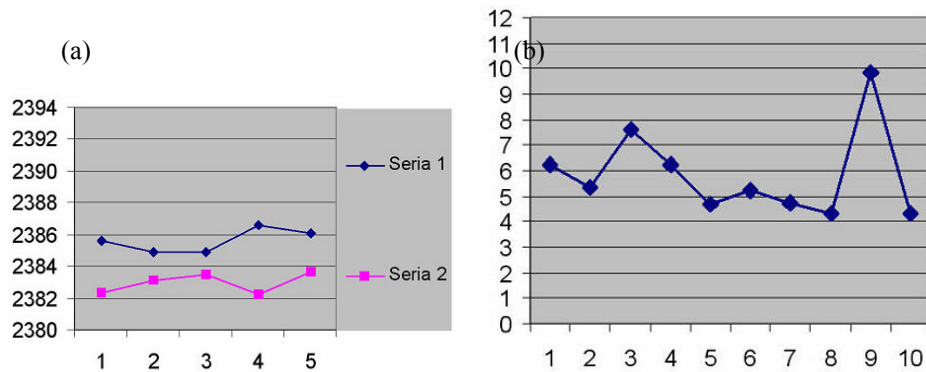
W tym celu wykonano serie zdjęć testu płaskiego i przestrzennego. Dla określenia powtarzalności wpływu błędów systematycznych zdjęć, wykonano po 5 zdjęć w trzech seriach dla testu płaskiego z 56 punktami kontrolnymi. Współrzędne tych samych punktów pomierzone na każdym z pięciu zdjęć w trzech seriach zostały poprawione trzykrotnie o wpływ błędów systematycznych, przyjmując wymiennie w parametrycznym modelu opisu błędów współczynniki określone dla danego zdjęcia, średnie z pięciu w danej serii, w której znajduje się zdjęcie, oraz średnie z wszystkich 15 zdjęć. Wartości średnich odchyłek (wyrażone w mierze pikselowej) pomiędzy pomierzonymi współrzędnymi poprawionymi o wpływ błędów systematycznych, a współrzędnymi teoretycznymi wynikającymi z rzutu punktów na płaszczyznę tłową, przedstawiono dla wszystkich przypadków na rysunku 1.



Rys. 1. Porównanie średnich odchyłek od współrzędnych teoretycznych

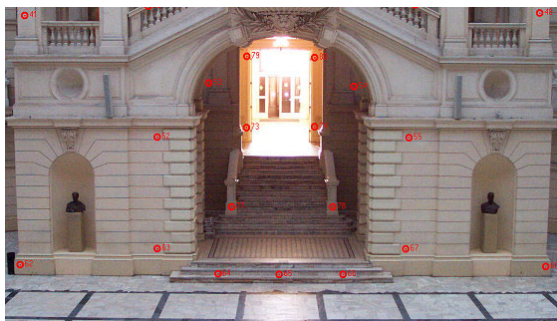
Jak wynika z analizy prezentowanych na rysunku 1 danych, wpływ błędów systematycznych dla zastosowanej kamery Nikon E990 został zredukowany ponad dziesięciokrotnie, do poziomu podpikselowej dokładności 0.2–0.3 piksela.

W celu określenia powtarzalności odtworzenia parametrów orientacji wewnętrznej kamery, wykonano zdjęcia testu przestrzennego, po pięć zdjęć w dwóch seriach, przy manualnym ustawieniu ogniskowej. Przed każdą serią wyłączano i włączano kamerę. Współrzędne punktów obrazu były mierzone z dokładnością 0.1 piksela. Wyniki powtarzalności parametrów orientacji wewnętrznej, odległości obrazowej  $c$  oraz położenia punktu głównego, przedstawiono na rysunku 2.

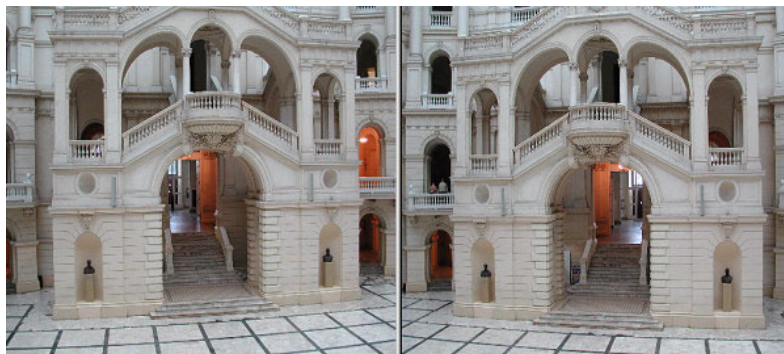
Rys. 3.2. (a) Graficzna prezentacja wartości  $c_k$  dla 5 zdjęć dwóch serii; (b) Graficzna prezentacja położenia punktu głównego w czasie sesji zdjęciowej

Jak wynika z analizy uzyskanych wyników, dla kamery Nikon, rozbieżności  $c_k$  w serii mieszczą się w granicach 2 pikseli, a między seriami dochodzą do 5 pikseli. Rozbieżności wyznaczonej odległości punktu głównego od początku układu tłowego w tej samej serii zdjęć mieszczą się w granicach 4 pikseli, a między seriami dochodzą do 2 pikseli.

Badany fragment Auli Głównej PW, obejmujący konstrukcję części wschodniej wraz z punktami osnowy oraz stereogram wykonany kamerą Nikon E 990 są pokazane na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Zdjęcie badanej wschodniej części konstrukcji architektonicznej Auli wraz z punktami osnowy

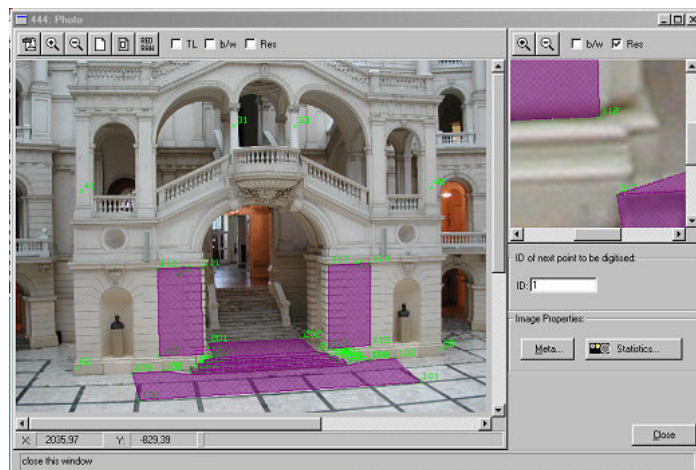


Rys. 4. Zdjęcia fragmentu wschodniej części Auli wykonane z dwóch stanowisk

Wykorzystując dwa moduły programu Orient/Orpheus wykonano następujące etapy:

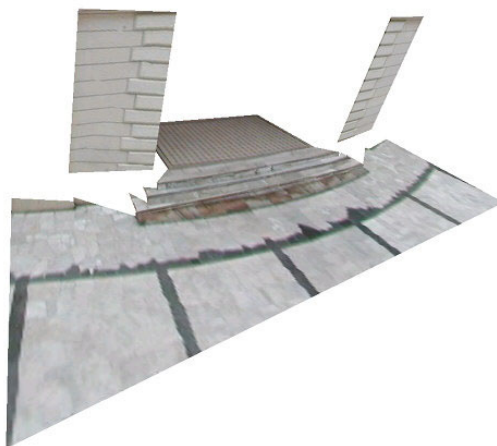
1. W oparciu o pomierzone monokularnie punkty osnowy odtworzono orientację zewnętrzną zdjęć.
2. Na podstawie pomierzonych i skorygowanych o błędy systematyczne obrazów punktów na konstrukcji oraz określonych parametrów orientacji zewnętrznej, definiowano odpowiednie płaszczyzny konstrukcji, definiujące jej model szkieletowy. W pierwszym eksperymencie obrazy nie poprawiono o wpływ błędów systematycznych (rys. 5).
3. W końcowym etapie naniesiono teksturę na wybrane powierzchnie.





Rys. 5. Definicja wybranych płaszczyzn konstrukcji architektonicznej

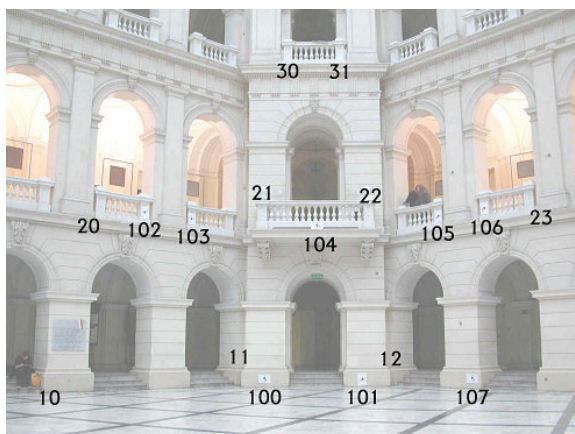
Na rysunku 6 zaprezentowano zwizualizowany trójwymiarowy model z naniesioną teksturą.



Rys. 6. Wizualizacja trójwymiarowego modelu z naniesioną teksturą

Jak wynika z analizy uzyskanego modelu fragmentu konstrukcji, widoczne są zniekształcenia, które są spowodowane tym, że nie zostały skorygowane błędy systematyczne zdjęć.

Drugi fragment mierzonej konstrukcji architektonicznej obejmował część zachodnią Auli PW, który wraz z 16 punktami osnowy, jest przedstawiony na rysunku 7.



Rys. 7. Zdjęcie fragmentu zachodniej konstrukcji architektonicznej Auli Głównej PW wraz z punktami osnowy

Na rysunku 8 pokazany jest stereogram badanej konstrukcji o przypadku w przybliżeniu 'normalnym'. Zdjęcia zostały wstępnie poprawione o wpływ błędów systematycznych, wyznaczonych a priori w procesie kalibracji.

Orientacja zewnętrzna zdjęć została wykonana w oparciu o punkty osnowy i ich obrazy poprawione o błędy systematyczne. Dokładność rekonstrukcji modelu fotogrametrycznego została oszacowana na podstawie odchyłek na punktach osnowy i punktach kontrolnych na podstawie których zostały obliczone następujące błędy średnie:

$$m_x = 0.016 \text{ m} \quad m_y = 0.016 \text{ m} \quad m_z = 0.026 \text{ m}$$

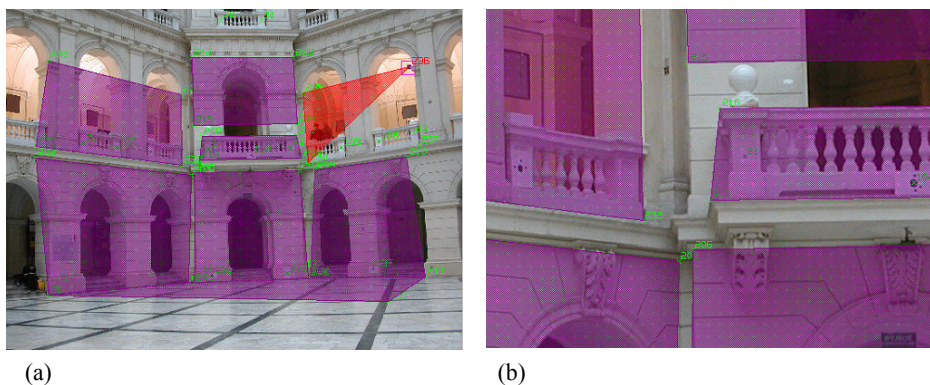
gdzie oś 'Z' jest skierowana wzdłuż kierunku fotografowania



Rys. 8. Zdjęcia fragmentu zachodniego Auli wykonane z dwóch stanowisk

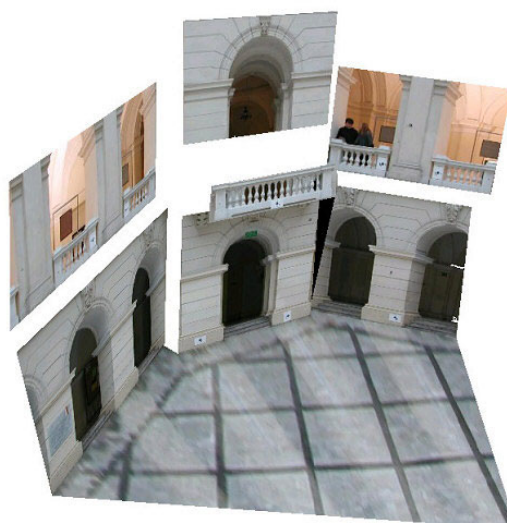
Definicja wybranych płaszczyzn konstrukcji została wykonana na podstawie pomierzonych na zdjęciach punktach naturalnych, identyfikowanych na krawędziach tych płaszczyzn.

Wybrane płaszczyzny oraz punkty są pokazane na rysunku 9 a, b.



Rys. 9. Definicja wybranych płaszczyzn konstrukcji architektonicznej

Wizualizacja trójwymiarowego modelu fragmentu konstrukcji z naniesioną teksturą została przedstawiona na rysunku 10.



Rys. 10. Wizualizacja trójwymiarowego modelu konstrukcji w zachodniej części Auli PW z naniesioną teksturą

Analizując opracowany na rys. 10 model konstrukcji, można zauważyć, że jest on pozbawiony zniekształceń. Spowodowane jest to tym, że zarówno w trakcie etapu orientacji zewnętrznej, obrazy punktów osnowy zostały poprawione o wpływ błędów systematycznych, jak i w etapie modelowania obiektu, wszystkie obrazy mierzone do tego celu, zostały także skorygowane o ten wpływ.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wykonany eksperyment dotyczył stosunkowo prostej konstrukcji architektonicznej, zarówno pod względem wymiaru jak i rozpatrywanych płaszczyzn, pozbawionej skomplikowanych linii strukturalnych i detali zdobniczych.

W większości przypadków obiekt architektoniczny stanowi skomplikowaną konstrukcję, składającą się z wielu brył i powierzchni pokrytych bogatymi elementami zdobniczymi, co wymaga wykonania większej liczby zdjęć i ich sieciowego jednoczesnego rozwiązania dla określenia przestrzennych modeli całej konstrukcji.

Wykonany projekt pilotowy miał na celu weryfikację działania oprogramowania wybranych fotogrametrycznych systemów/pakietów dla opracowania obrazów bliskiego zasięgu, dla zadań związanych z rekonstrukcją i modelowaniem rzeczywistych obiektów architektonicznych. Zastosowany w projekcie pakiet Uniwersytetu Wiedeńskiego 'Orient/Orpheus' spełnia stawiane wymagania, chociaż jest on mało przyjazny dla użytkownika. Posiada on jednak rozbudowany moduł stereotriangulacji z możliwością samokalibracji i analizy dokładności. Bardziej znanym i prostszym programem jest pakiet 'Photomodeler', który ma interdyscyplinarne zastosowanie, jednakże nie posiada modułów kontroli jakości i analizy dokładności, wymaganych dla realizacji prac badawczych.

#### BIBLIOGRAFIA

- BARTOLOTTA M., DI NARO S., BRUTTO M., VILLA B. (2000): Information Systems for Preservation of Cultural Heritage. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- BUJAKIEWICZ A., ZAWIESKA D., KOWALCZYK M., PODLASIAK P. (2003): Raport Grantu Dziekańskiego na badania własne 2002/2003, na temat 'Próba modelowania trójwymiarowego obiektu przestrzennego w oparciu o obrazy uzyskane aparatem cyfrowym'. Wydział Geodezji i Kartografii, Politechniki Warszawskiej.
- DORFFNER L., KRAUS K., TSCHANNERL J. (2000): Hagia Sophia – Photogrammetric Record of a world Cultural Heritage. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- HANKE K. (2000): The Photogrammetric Contribution to Archeological Documentation of Prehistory. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- HONGO K., MATSUOKA R., et al. (2000): Development of Image Based Information System for Restoration of Cultural Heritage. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- KOLBL O., CHERRADI F., HOSTETTLER H. (2000): Conception of an Integrated 3D GIS for Primary Data Acquisition and data Management; Applied to an Inventory of Historic

- Monuments. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- KOWALCZYK M. (2003): Badanie zakresu i stopnia możliwej automatyzacji pomiaru fotogrametrycznego bazującego na kamerze cyfrowej. Praca doktorska, Politechnika Warszawska. Warszawa.
- NOUR EL DIN M., GRUSSENMEYER P., KOEHL M. (2000): Modelling Historic Sites and Monuments in 3D Heritage Information Systems by Combining Aerial and Architectural Photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- STREILEN A., HANKE K., GRUSSENMEYER P. (2000): First Experiences with the Zurich City Hall Data Set for Architectural Photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- VARSHOSAZ M., DOWMAN I., CHAPMAN D. (2000): Towards Automatic Reconstruction of Visually Realistic Models of Buildings. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.
- WIEDEMANN A., HEMMLEB M., ALBERTZ J. (2000): Reconstruction of Historical buildings based on Images from the Meydenbauer Archives. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam.

### THREE DIMENSIONAL MODELLING OF ARCHITECTURAL STRUCTURE

#### S u m m a r y

Digital photogrammetry methods are used to solve various tasks of close range applications. The 3D Architectural Information Systems, which have been implemented in recent years, contain the integrated geometric data and semantic information on 3D realistic models of monuments and buildings reconstructed on base of digital imagery. The integrated data from Topographical Information System and 3D Architectural Information Systems, supported by aerial photogrammetry and close range photogrammetry respectively, are interconnected to the CAD/GIS system for generation of the relational data base.

In this paper, the 3D modeling of the chosen architectural structure has been made on base of digital images taken with two amateur digital cameras; Olympus E-10 and Nikon E990. Both cameras had been calibrated a priori to determine the parameters of interior orientation and image systematic errors. The 3D models of two parts of the architectural structure were reconstructed with the use of the Orient/Orpheus package, which allowed to generate the Visually Realistic Model (VRM) of the object, containing the Numerical Frame of Reference (NFR) for structure and Texture Image Database (TID) for the selected surfaces. It has been shown, that the suitable accuracy of 3D modeling of structure is received when the proper accuracy of correction for the image systematic errors and interior and exterior orientation of photographs are prevented.

KEY WORDS: digital photogrammetry, close range, registration, architecture, modelling

Recenzent: dr inż. Zdzisław Kurczyński, Politechnika Warszawska