

Józef Jachimski

FOTOGRAMETRYCZNA INWENTARYZACJA OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH*

1. Wstęp

Obiekt zabytkowy w rozumieniu niniejszego przeglądu referatów prezentowanych na XXVIII Kongresie ISPRS w Wiedniu, jest zabytkiem materialnej kultury człowieka. Celem inwentaryzacji jest określenie kształtu, wymiarów i położenia obiektu w przestrzeni oraz innych cech obiektu możliwych do zidentyfikowania poprzez analizę obrazów rejestrowanych w wybranych zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Do problemów inwentaryzacji zalicza się też projektowanie i prowadzenie komputerowych relacyjnych systemów informacji o obiektach zabytkowych, które zawierać mogą informacje znacznie wykraczające poza opis geometrycznych cech obiektu.

2. Dokumentacja obiektów archeologicznych

W klasycznym ujęciu inwentaryzacji obiektów zabytkowych można wydzielić: fotogrametryczną dokumentację zespołów urbanistycznych, tzw. fotogrametrię architektoniczną, zajmującą się dokumentowaniem obiektów architektury, fotogrametryczną inwentaryzację odkrywek archeologicznych oraz fotogrametryczną dokumentację eksponatów muzealnych. Na przestrzeni lat fotogrametria częściej używana bywała do opracowywania dokumentacji zabytkowych zespołów urbanistycznych oraz pojedynczych budowli lub ich części, niż do dokumentowania stanowisk archeologicznych lub drobnych obiektów muzealnych. Ostatnio stan ten ulega zmianie, a archeolodzy pod pojęciem fotogrametrii archeologicznej postrzegają wszystkie prace inwentaryzacyjne wykonywane z wykorzystaniem fotointerpretacji, fotogrametrii lub teledetekcji, a dotyczące stanowisk archeologicznych, niezależnie od precyzji i skali opracowania. *Bohler i Heinz [V]* twierdzą, że „trudny, a zarazem interesujący aspekt projektów archeologicznych polega na tym, że są bardzo zróżnicowane pod względem rodzaju i rozmiarów mierzonych obiektów”, a dokumentację wykonuje się najczęściej w skalach od 1:1 do 1:1000, ale zdarzają się też opracowania w skalach drobniejszych (np. materiały dotyczące wykrywania przyszłych stanowisk archeologicznych w oparciu o obrazy satelitarne wykonano w skali 1:25 000). W swoim opracowaniu podają zarówno opis wykorzystania obrazów satelitarnych SPOT do poszukiwania miejsc spodziewanych stanowisk wykopaliskowych w Chinach, opis wykorzystania zdjęć lotniczych do sporządzania map terenów objętych badaniami, jak i opis inwentaryzacji rzeźb metodami fotogrametrii bliskiego zasięgu. Wyniki opracowań prezentują w formie map wektorowych, fotoplanów i półtonalnych widoków w rzucie ukośnym.

* Publikację opracowano na podstawie referatów prezentowanych na XVIII Kongresie ISPRS w ramach Komisji Nr V „Techniki bliskiego zasięgu i widzenie maszynowe”

Bogaty materiał doświadczalny dotyczący wykorzystania interpretacji prawie pionowych i ukośnych zdjęć lotniczych w badaniach archeologicznych przedstawia *Doneus [17]*, który wprowadza w swoim opracowaniu pojęcie archeologii lotniczej. Miejsca przyszłych znalezisk archeologicznych wyróżniają się na tle otoczenia tonem obrazu lub jego kolorem, a często też wysokościowym zróżnicowaniem powierzchni terenu. Umożliwia to badania z wykorzystaniem nieprzetworzonych zdjęć lotniczych i stereogramów, zeskanowanych obrazów poddanych obróbce cyfrowej (filtrowanie), z wykorzystaniem półtonalnych widoków w rzucie ukośnym, a także z wykorzystaniem fotoplanów z nakładką warstwicową lub tematyczną nakładką wektorową. Projekty rekonstrukcji osiedli prezentowane są na tle półtonalnych widoków w rzucie ukośnym (np. fortyfikacje osiedla słowiańskiego). *Doneus* ma swobodny dostęp do austriackich archiwów zdjęć wojskowych, a nawet, dzięki porozumieniu zawartemu przez uprawnione do tego ministerstwa, ma wpływ na wybór obszarów obejmowanych nowymi nalotami ćwiczebnymi, w których często bierze udział. Umożliwia to wykonywanie na dużą skalę poszukiwań stanowisk archeologicznych i objęcie ich właściwą ochroną. Trudno przecenić tak wielką dbałość władz Austrii o zachowanie świadectw przeszłości w dobie, kiedy zagrożone są one zniszczeniem związanym z dynamicznym rozwojem miast i budową nowych tras komunikacyjnych.

Opis działań mających na celu wytworzenie ortofotoplanów i DTM dla potrzeb poszukiwań archeologicznych przedstawia też *Guerra [18]* oraz *Martins Gomes i inni [19]*.

Inwentaryzacja odkrywek archeologicznych, prowadzona w sposób ciągły w celu dokumentowania kolejnych faz prac wykopaliskowych, może być z powodzeniem wykonywana metodami fotogrametrycznymi. Dzięki osiągnięciom fotogrametrii analitycznej umożliwiającym wykorzystanie kamer amatorskich lub semimetrycznych w pracach pomiarowych, realistyczne staje się wykonywanie terenowych prac fotogrametrycznych przez niefotogrametrów, w tym przy udku przez archeologów. A to stwarza rzeczywistą szansę dla fotogrametrii archeologicznej. *Grussenmeyer i Perdrizet [20]* relacjonują doświadczalną inwentaryzację prac wykopaliskowych prowadzoną w Rumunii z wykorzystaniem stojaka w kształcie szubienicy o wysokości 6 m, na którym zawieszony jest aparat fotograficzny 24x36 mm; z wykorzystaniem programu ORIENT (TU w Wiedniu) oraz autografu analitycznego Planicomp P33 Zeissa uzyskują dokładności rzędu +/- 2 cm. Próbę fotogrametrycznej dokumentacji postępu robót wykopaliskowych podjęli w Japonii *Chikatsu i inni [21]*. Na linie rozpiętej między masztami na wysokości 9 m zawiesili kamerę CCD. Do kalibracji obrazów stosowali odcinki pomierzone w terenie. Przewidują możliwość wykorzystania bezprzewodowej kamery CCD do pozyskiwania zobrażeń z pokładu balonu lub latawca albo zdalnie sterowanych modeli statków latających i wykonywanie opracowań w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

3. Dokumentacja obiektów muzealnych

Geometryczna dokumentacja ruchomych znalezisk archeologicznych i eksponatów muzealnych może być prowadzona metodami fotogrametrycznymi ogólnego zastosowania, z wykorzystaniem obrazów rejestrowanych np. w podczerwieni [*Duppe, 19*]. *Yokoyama [22]* przedstawia swoją, ale opartą na znanym od dawna sposobie rejestracji obrazów, metodę wytwarzania ortofotografii obiektów muzealnych w czasie rzeczywistym. Obiekt inwentaryzowany tą metodą oświetlany jest żarówkami z trzech stron przez wąskie szczeliny. Szczeliny reflektorów są tak ustawione, że światło rozchodzi się w jednej płaszczyźnie, uwidaczniając w ciemnym pomieszczeniu jedynie wąską linię przekroju inwentaryzowanego

obiektu. Ten przekrój rejestrowany jest kamerą fotograficzną lub kamerą CCD, po czym inwentaryzowany obiekt przesuwany jest nieznacznie w kierunku prostym do płaszczyzny świetlnej, co pozwala zarejestrować obraz następnego przekroju. Proces jest kontynuowany do momentu zarejestrowania wszystkich przekrojów świetlnych, które składają się na całościowy obraz obiektu w rzucie ortogonalnym. Obraz CCD podlega korekcji w trakcie naświetlania, polegającej na odrzuceniu pikseli stanowiących szumy zapisu. Dla podkreślenia konturów na obrazie obiektu stosuje się filtr Gaussa-Laplace'a.

Inny sposób dokumentowania eksponatów muzealnych, to automatyczne wykonywanie repliki obiektu. *Stambouloglou [V]* przedstawia opis dwuetapowego wytwarzania gipsowej repliki marmurowej rzeźby o wymiarach 1,20 x 1,10 x 0,15 m. W pierwszym etapie wykonana została precyzyjna fotogrametryczna rejestracja obiektu (kamera UMK-10), na podstawie której zbudowano numeryczny model powierzchni z dokładnością $\pm 0,3$ mm. DTM wykorzystano do wygenerowania linii warstwicznych o skoku 1 mm, które posłużyły do numerycznego sterowania maszyną wykonującą repliki. Z uwagi na bardzo duże wymiary repliki, trzeba było ją grawerować w 9 częściach. Czas automatycznego grawerowania każdej części wyniósł 8 godzin (grawerowano w dwu podejściach: zgrubnie i wygładzając). *Scaioni [V]* podaje opis podobnego zagadnienia w odniesieniu do sporządzania marmurowych kopii rzeźb katedry w Mediolanie, zagrożonych przez duże skażenie środowiska. Rejestrację przestrzennego kształtu rzeźb wykonał z wykorzystaniem systemu do fotogrametrycznych pomiarów cyfrowych InduSCAN Zeissa, wyposażonego w cyfrową kamerę stereometryczną JenScan 4500MC (2992 x 2048 pikseli, piksel o wymiarach 2,75 μ m, obiektyw Lamegon 3,5/14 mm). Model numeryczny powierzchni, niezbędny do sterowania maszyną grawerującą, obliczono programem InduSURF.

4. Terrotriangulacja dla potrzeb inwentaryzacji zabytków

Główne osiągnięcie współczesnej fotogrametrii analitycznej stanowią metody określania geometrii obiektu w oparciu o blok zdjęć, z równoczesnym wyznaczaniem elementów orientacji zewnętrznej i wewnętrznej oraz parametrów korekcji obrazu, w tym dystorsji (samokalibracja). Metody te umożliwiają wykonywanie dokładnej inwentaryzacji budowli i innych zabytkowych obiektów z wykorzystaniem aparatów fotograficznych powszechnego użytku, a więc uniezależniają wykonanie fotogrametrycznej inwentaryzacji obiektu od dostępu do kosztownych kamer pomiarowych. Międzynarodowy Komitet Fotogrametrii Architektonicznej (CIPA) zorganizował pole testowe i zachęcił ośrodki fotogrametryczne do udziału w badaniach nad dokładnością fotogrametrycznej inwentaryzacji budowli architektonicznych z wykorzystaniem zdjęć formatu 6 x 6 cm i 24 x 36 mm. *Almagro i inni [V]* prezentują wyniki tego międzynarodowego eksperymentu, w którym udział wzięło 16 europejskich ośrodków fotogrametrycznych, w tym jeden z Polski (Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH w Krakowie). Obiekt (Otto Wagner Pawilion w Wiedniu) o wymiarach 15 x 8 x 10 m. zarejestrowano z kilkunastu stanowisk rozmieszczonych na poziomie terenu wokół budowli. Uzyskano dokładności geometryzacji budowli mieszczące się w granicach 1 do 2 cm, co w pełni potwierdziło przydatność testowanej metody do inwentaryzacji budowli zabytkowych. W ramach eksperymentu potwierdzono możliwość ograniczenia liczby punktów kontrolnych do niezbędnego minimum 3 punktów, bez istotnego uszczerbku dla dokładności. W konkluzji referatu Autorzy potwierdzają oczywisty fakt, że dokładność opracowania zależy od skali zdjęć, stabilności metrycznej charakterystyki kamery i od dokładności instrumentu użytego do pomiaru

obrazów. W opracowaniu dotyczącym tego samego obiektu testowego *Patias i Streilein [V]* prezentują wyniki inwentaryzacji wykonanej popularną kamerą video (JVC GR-S77E Camcorder), która dostarcza obrazy w formie analogowego zapisu na taśmie magnetycznej. Obrazy te zostały przetworzone do postaci cyfrowej przy rozmiarze piksela korespondującym z wymiarem piksela płytki CCD w kamerze (8,5 μm , 728 x 568 pikseli) i pomierzone ręcznie na ekranie monitora komputerowego z wykorzystaniem funkcji ZOOM. Uzyskano dokładności geometryzacji obiektu rzędu 1,5 cm, co odpowiada około 0,8 piksela przy zastosowaniu metody pre-kalibracji oraz 1 cm (0,5 piksela) przy zastosowaniu metody samokalibracji. Doświadczenie to unaocznia możliwość stosowania bardzo prostych metod cyfrowej rejestracji obiektu dla uzyskiwania pełnowartościowej dokumentacji pomiarowej.

5. Autografy analityczne i cyfrowe przystosowane do potrzeb inwentaryzacji zabytków

Pomiar obrazów punktów wiążących zdjęcia fotograficzne stanowiące blok oraz problemy wektoryzacji treści modeli stereoskopowych dla potrzeb inwentaryzacji obiektów zabytkowych omawiają *Orlińska i Preuss [V]*. Na przykładzie autografu analitycznego Planicomp P3 Zeissa oraz Stecometru Zeissa (adaptowanego przez Autorów w Politechnice Warszawskiej do automatycznego korygowania paralaksy poprzecznej w czasie opracowywania modelu stereoskopowego, dzięki czemu uzyskuje on cechy autografu analitycznego) omawiają główne cechy proponowanej technologii. Specjalne oprogramowanie umożliwia wprowadzanie pomierzonych współrzędnych tłowych do programu ORIENT (TU Wiedeń) lub do własnego programu TERRANET w celu określenia elementów orientacji wewnętrznej i zewnętrznej zdjęć oraz współrzędnych punktów kontrolnych, a także przeniesienie tych danych z powrotem do autografu w celu automatycznego budowania modelu ze zdjęć stereoskopowych. Przy opracowaniu pojedynczych stereogramów system umożliwia wykonywanie bezwzględnej orientacji modelu z wykorzystaniem współrzędnych punktów kontrolnych albo z wykorzystaniem w terenie pomierzonych elementów orientacji zewnętrznej kamery, albo w układzie zorientowanym obiektowo - z wykorzystaniem surowych wyników pomiarów terenowych (odległości i różnice wysokości). Rekonstrukcja geometrii obiektu zabytkowego przebiega przy współpracy autografu analitycznego z programem MicroStation, a obiekt może być rejestrowany różnymi liniami o dobranych kolorach w 62 warstwach tematycznych.

Do potrzeb inwentaryzacji zabytków przystosowany został też cyfrowy autograf analityczny Video Stereo Digitizer (VSD) skonstruowany w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. *Jachimski i Zieliński [V]* omawiają cechy, jakimi powinien się charakteryzować taki przyrząd. Wspomniany VSD pozwala wykonywać pomiar współrzędnych obrazowych na obrazach cyfrowych i wyprowadzać wyniki pomiaru w formacie akceptowanym przez program ORIENT, celem pozyskania współrzędnych punktów kontrolnych oraz elementów orientacji zdjęć. Model stereoskopowy może być budowany ze zdjęć o znanych lub nieznanach elementach orientacji wewnętrznej. Zdjęcia o znanych elementach orientacji wewnętrznej mogą być orientowane w oparciu o punkty kontrolne lub w oparciu o surowe wyniki pomiarów terenowych. W przypadku budowania modelu ze zdjęć niemetrycznych stosowana jest bezpośrednio funkcja DLT. Wyniki pomiaru modelu stereoskopowego zapisane mogą być w formie współrzędnych obrazowych w wielu kodowanych warstwach tematycznych i w dowolnym czasie mogą być przeliczane przez program VSD do wybranego układu współrzędnych; stwarza to możliwość prowadzenia wektoryzacji stereogramów przed pozyskaniem informacji pozwalających na wykonanie orientacji bezwzględnej, a także

na przeorientowanie modelu bez konieczności ponownej wektoryzacji. Warstwy tematyczne zapisywane są w formacie DXF umożliwiającym wprowadzenie ich do systemu AutoCAD. Wbudowana funkcja autokorelacji ułatwia pomiar pojedynczych punktów. Funkcje umożliwiające powiększanie i pomniejszanie obrazów w trakcie opracowania, nakładanie warstw tematycznych mapy wektorowej na obrazy cyfrowe na ekranie monitora, a także funkcje wspierające wektoryzację (pomiar wektorów prostokątnych, dołączanie linii łamanej do dowolnego punktu istniejącego wektora, konturowanie „trajektorią” składającą się z krótkich wektorów o wybranej długości), powodują, że VSD jest dobrze przystosowany do inwentaryzacji obiektów architektonicznych. Operowanie obrazami cyfrowymi umożliwia natychmiastowe wywołanie w VSD dowolnego wcześniej zorientowanego stereogramu bez konieczności powtarzania jakichkolwiek prac przygotowawczych; daje to architektom, archeologom i historykom sztuki szansę pracy na wcześniej przygotowanych modelach, a więc zwalnia ich całkowicie z potrzeby rozumienia procesów fotogrametrycznych. Niska cena tego autografu dodatkowo może sprzyjać przyspieszeniu wdrażania metod fotogrametrycznych do prac prowadzonych przez archeologów i konserwatorów zabytków.

6. Automatyzacja wektoryzacji obiektu w oparciu o obrazy cyfrowe

Powyżej wspomniane metody budowy bloku terratriangulacji ze zdjęć, też niemetrycznych, stwarzają możliwość daleko posuniętej automatyzacji opracowania dokumentacji obiektu, jeśli wspierane są procedurami fotogrametrii cyfrowej i systemem CAD. *Streilein [17]* przedstawia własny obiektowo zorientowany system semi-automatycznej wektoryzacji DIPAD. Inicjalizacja automatycznego procesu pomiarowego przeprowadzana jest w oparciu o przybliżony model obiektu istniejący w systemie CAD. Podstawowa zasada działania systemu sprowadza się do tego, że komputer przeprowadza pomiary automatycznie na obrazach cyfrowych i zapewnia poprawną gospodarkę danymi, podczas gdy operator zapewnia poprawne „rozumienie obrazu” polegające na wysokim poziomie grupowaniu danych. Użytkownik wskazuje odpowiednie części obiektu w środowisku CAD przez przybliżanie geometrycznej topologii. Algorytm fotogrametryczny porównuje tę topologię z informacjami zawartymi na wielu obrazach obejmujących ten fragment budowli, iteracyjnie poprawia przybliżony model obiektu w środowisku CAD i dostarcza informacji o uzyskanych dokładnościach. Model budowli rozczłonkowany jest w systemie CAD na prostsze bryły, a także na graficzne obiekty elementarne, takie jak np.: punkty, linie proste, powierzchnie wypełnione, itp., które istnieją zarówno w środowisku 2D jak i 3D. Dodatkowo mogą być zdefiniowane dwuwymiarowe obiekty elementarne wyższego rzędu, takie jak: koła, łuki, elipsy, itp. Z takich obiektów elementarnych budowana jest reprezentacja budowli w systemie CAD. Automatyczny pomiar polega na analizie obrazów cyfrowych i wyodrębnianiu z nich linii krawędziowych (linii rozgraniczających obszary różniące się jasnością obrazu). Filtrowanie obrazu operatorem Sobla określa zgrubnie położenie linii krawędziowych, które doprecyzowane jest z podpixselową dokładnością na drodze wierszowej i kolumnowej analizy gradientu obrazu, poprzez wpasowanie wielomianu drugiego stopnia w krzywą gradientu. Taka analiza położenia krawędzi weryfikowana jest szeregiem warunków, które pozwalają odrzucić mniej prawdopodobne rozwiązania. Autor wykonał swoją metodą dokumentację międzynarodowego obiektu testowego (Pawilon O. Wagnera w Wiedniu). Na podstawie 38 obrazów cyfrowych pozyskanych z użyciem kamery video (JVC RG-S77E, sensor 6,4 x 4,8 mm, 728 x 568 pikseli o wymiarach 8,8 x 8,5 μm) z odległości około 16 m, przy niezmiennej minimalnej ogniskowej $f=8,5$ mm (skala około

1:1800) określił programem DIPAD 1611 punktów opisujących geometrię obiektu z dokładnością $m_x=1.1$ cm, $m_y=1.3$ cm, $m_z=0.7$ cm, co odpowiada około $6.7 \mu\text{m}$ (około 0,8 piksela) w skali obrazu. Uzyskane dokładności są porównywalne z dokładnościami uzyskanymi w wyżej opisanych międzynarodowych eksperymentach, ale - jak stwierdza Autor - wynik uzyskano mniejszym wysiłkiem i w krótszym czasie. Numeryczny model budowli można w środowisku CAD przedstawiać w różnych rzutach z wykorzystaniem wszystkich możliwości jakie stwarza rzeczywistość wirtualna. Problemy związane z eksperckim grupowaniem danych i protokołem przekazania danych do CAAD w systemie DIPAD omawia szerzej *Hirschberg [V]*.

Podobne do powyższego przeznaczenie posiada system AIDA prezentowany przez *W'eik'a i Grau'a [V]*. Ten ekspercki system ma na celu rekonstrukcję powierzchni budowli, które mają być wykorzystane w aplikacjach CAD. Wykorzystując obrazy zarejestrowane kalibrowaną kamerą stereometryczną określa się głębokość sceny na drodze analizy korelacji. Dla zmniejszenia wpływu szumów informacyjnych stosuje się dodatkowo informację a priori o mierzonym obiekcie. Dla określenia interpretacji sceny w formie powiązań semantycznych stosuje się symbole przypisane do szczegółów obrazu. Wraz z opisem sceny mogą być wprowadzane geometryczne warunki wywodzące się z bazy wiedzy o obiekcie. Każdy z tych warunków opisuje relację między częściami składowymi modelu (np. prostokątność ścian) albo między sceną 3D a szczegółami obrazu 2D (np. krawędzie lub informacje dotyczące głębi). W ostatnim przypadku krawędzie 3D i orientacje części składowych modelu są powiązane warunkami z odpowiednimi szczegółami obrazu 2D. W związku z istniejącymi szumami danych, wstępne warunki bywają niejednoznaczne i trzeba to uwzględnić przy optymalizacji rozwiązań numerycznych, uzyskując w wyniku model najlepiej spełniający nałożone warunki. Takie postępowanie obejmuje sukcesywne poprawianie geometrii odtwarzanej bryły w trakcie dołączania do analizy obrazów pozyskanych z kolejnych stanowisk. W efekcie uzyskuje się zoptymalizowaną geometrię bryły i najprawdopodobniejsze elementy orientacji obrazów. Autorzy deklarują, że system AIDA pozwala wytwarzać realistyczne modele budowli, które mogą być wykorzystane do sterowania symulatorami lub w scenach wirtualnych przy produkcji filmów.

7. Fotoplany obiektów zabytkowych

Prezentacja wyniku fotogrametrycznej inwentaryzacji obiektu zabytkowego może być wykonana w formie wektorowej lub w formie fotoplanu. *Hanke [V]* i *Pomaska [V]* proponują sposób ogólnego podejścia do sporządzania fotoplanów i półtonalnych widoków perspektywicznych obiektu. Nowe podejście jest ściśle zorientowane obiektowo, a opiera się na założeniu, że każdy obiekt można rozłożyć na szereg bardziej lub mniej regularnych części, które poddają się opisowi w środowisku CAD. Rekonstrukcja obiektu w środowisku CAD zawiera pełny opis geometrii 3D i może być podstawą przestrzennej projekcji obrazów półtonalnych w dowolnym odwzorowaniu, bardzo użytecznych w prezentacji dokumentacji obiektów zabytkowych, co prezentowane jest na przykładach. Podobnym zagadnieniem w odniesieniu do wytwarzania ortofotografii fasad budowli zajmuje się *Wiedemann [V]*, który proponuje wykonywanie różniczkowego przetwarzania wielopłaszczyznowych fasad z wykorzystaniem informacji o przestrzennym kształcie obiektu zapisanej w systemie CAD. *Styliadis i inni [V]* omawiają metodę określania elementów orientacji zewnętrznej kamery przez automatyczne lub półautomatyczne dopasowanie wzajemne obrazu fasady i obrazu odpowiedniej części przestrzennego modelu budowli w systemie CAD.

Landes i inni [V] omawiają problem tworzenia archiwów obrazów fotograficznych, które mają dobre parametry geometryczne, ale nie zawierają krzyży reseau. Obrazy takie, pozyskane np. kamerą Pentax PAMS 645 formatu 49,5 x 39,6 mm, wyposażoną w próżniowe urządzenie do wypłaszczania filmu, dobrze nadają się do wykonywania fotoplanów, na których obraz obiektu nie jest zakłócony obrazami krzyży reseau.

Problemem wykonywania fotoplanów obiektów niepłaskich w rozwinięciu na płaszczyznę zajmuje się *Karras i inni [V]*. Fotoplany w rozwinięciu wytwarzane są w oparciu o przestrzenny model obiektu, który umożliwia obliczenie matematycznej powierzchni rozwijalnej na którą dokonana zostanie projekcja modelu obiektu, a także określenie relacji między obiektem i fotogramem (monoploting). Powierzchnia obiektu dzielona jest na fragmenty, których cyfrowe obrazy podlegają oddzielnej różniczkowej transformacji do układu w rozwinięciu (transformacja afiniczna, lub DLT).

8. Przykłady fotogrametrycznej inwentaryzacji obiektów zabytkowych

Sz szczególnie cenne zastosowania metod opracowania zdjęć niometrycznych dotyczą rekonstrukcji geometrii zburzonego obiektu w oparciu o amatorskie zdjęcia archiwalne. *Ioannidis i inni [V]* opisują rekonstrukcję geometrii XIX-wiecznego budynku, którą wykonano w oparciu o stare zdjęcia amatorskie i archiwalne zdjęcia lotnicze, z wykorzystaniem zachowanych map i cząstkowych planów tej budowli. W efekcie opracowania powstał model CAD i szereg ortofotoplanów fasad.

Przykład dokumentacji fotogrametrycznej zabytkowego ołtarza w Mediolanie przedstawia *Baj [V]*. Wobec braku zgody konserwatora na sygnalizowanie punktów kontrolnych na obiekcie, zastosowano projekcję świetlnej siatki pomocniczej na ołtarz. Przykład fotogrametrycznej inwentaryzacji XVI-wiecznej willi w Wenecji przedstawia *di Thiene [V]*. Przykład inwentaryzacji XVI-wiecznego pałacu w Luksemburgu podaje *Freudenreich [V]*. Blok zdjęć pozyskanych metryczną kamerą reseau Rolleiflex 3003 policzono programem Rolleiflex Metric MR2, model geometryczny budowli utworzono w AutoCAD, zaś prezentację bryły budowli w rzutach ukośnych uzyskano z wykorzystaniem programu AccuRender, pracującym wewnątrz programu edycji rysunków AutoCAD-u. Komputerowy model zabytkowej wieży Pulci i jej otoczenia (Florencja), opracowany z wykorzystaniem autografu analitycznego i programu CAD na podstawie lotniczych i naziemnych stereogramów, przedstawia *Arrighi [V]*. Przykład rekonstrukcji w systemie AutoCAD geometrii zabytkowego miasta w Tajlandii prezentuje *Ogleby [V]*. Do rekonstrukcji, będącej w toku, wykorzystuje się archiwalne plany oraz współczesne zdjęcia lotnicze i naziemne. Wektoryzację stereogramów skanowanych na precyzyjnym skanerze PhotoScan Zeissa wykonuje się z wykorzystaniem ImageStation Intergraph.

9. Systemy informacji o zabytkach

Dwa referaty dotyczą projektowania systemów informacji o obiektach zabytkowych. *Baratin i inni [V]* i *Florenzano i inni [V]* przedstawiają temat badawczy PAROS mający na celu zbudowanie systemu, który będzie łączył informacje natury geometrycznej z historycznymi i kulturowymi. Przewiduje się, że system będzie posiadał wzorce oraz reguły i definicje typomorfologiczne, które umożliwią kreowanie obiektów ilustrujących hipotezy archeologiczne i architektoniczne.

10. Podsumowanie

Bogaty materiał prezentowany na sesjach Komisji V w czasie Kongresu obejmuje pełną gamę tematyki dotyczącej inwentaryzacji zabytków. Prezentowane jest wyznaczanie elementów orientacji bloku zdjęć niometrycznych metodą niezależnych wiązek, wektoryzacja stereogramów z wykorzystaniem autografów analitycznych i cyfrowych, automatyzacja wektoryzacji obrazów cyfrowych, monoploting, wykonywanie fotoplanów obiektów w rzucie prostopadłym i ukośnym oraz w rozwinięciu, wykorzystanie techniki CAD do budowania wirtualnego modelu obiektu, a także założenia budowy systemów informacyjnych dla potrzeb prac związanych z ochroną zabytków. Na podkreślenie zasługuje fakt, że coraz więcej jest rozwiązań zorientowanych obiektowo i opartych o systemy eksperckie. Pojawia się też coraz więcej opracowań dotyczących archeologicznych zastosowań fotogrametrii, a także fotogrametrycznych opracowań dla potrzeb muzealnictwa, w tym automatycznego sporządzania kopii rzeźb.

Najważniejszy wniosek, jaki nasuwa lektura opracowań i klimat dyskusji podczas kongresu jest następujący: z technologicznego punktu widzenia fotogrametria jest obecnie bardzo dobrze przystosowana do masowego użycia dla potrzeb inwentaryzacji obiektów zabytkowych. Zarówno niska cena sprzętu, którym można wykonywać opracowania na profesjonalnym poziomie (fotogrametria cyfrowa), jak i łatwość obsługi programów komputerowych, stwarzają doskonałą platformę do popularyzacji fotogrametrii wśród nefotogrametrów. Nadszedł czas wykonywania inwentaryzacji fotogrametrycznych przez architektów i archeologów, tak, jak teraz wykonują często tę inwentaryzację z wykorzystaniem taśmy mierniczej, teodolitu i niwelatora. Trzeba jednak podkreślić, że inwentaryzacja fotogrametryczna jest łatwiejsza i stwarza znacznie większe możliwości.

Uwaga

Odsyłacze bibliograficzne z liczbą rzymską odnoszą się do spisu opracowań prezentowanych w czasie Kongresu, który zamieszczony jest na końcu niniejszego zeszytu. Rzymska liczba podana po nazwisku autora określa numer komisji do której należy cytowany tytuł.

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa