

Piotr Sawicki

STAN OBECNY I TENDENCJE ROZWOJU FOTOGRAMETRII BLISKIEGO ZASIĘGU

Opracowanie zawiera syntetyczne omówienie przedmiotu i zakresu badań realizowanych w latach 1996-2000 w grupach roboczych Komisji V „Techniki bliskiego zasięgu i widzenie maszynowe” Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS). W pracy uwzględniono problemy naukowo-techniczne fotogrametrii bliskiego zasięgu, będące przedmiotem obrad i opublikowane w materiałach XIX Kongresu ISPRS w Amsterdamie.

1. Wprowadzenie

W latach 1996-2000 Komisja V „Techniki bliskiego zasięgu i widzenie maszynowe” (Close-Range Techniques and Machine Vision) Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) składała się z 5 zasadniczych grup roboczych oraz 2 dodatkowych międzykomisyjnych:

- WG V/1 – „Obrazowanie bliskiego zasięgu i metrologia”;
- WG V/2 – „Integracja systemów fotogrametrycznych z systemami CAD/CAM”;
- WG V/3 – „Modelowanie sceny dla potrzeb wizualizacji i rzeczywistości wirtualnej”;
- WG V/4 – „Ruch człowieka i analiza obrazów medycznych”;
- WG V/5 – „Dziedzictwo kultury światowej”;
- IC WG V/III – „Analiza sekwencji obrazów”;
- Grupa specjalnego zainteresowania – „Animacja”.

W globalnej działalności Komisji V można wyróżnić następujące bloki tematyczne badań:

- pomiary w bliskim i mikro zasięgu;
- rejestracja i monitorowanie ruchu i deformacji obiektów;
- optyczne i zintegrowane multisensoralne systemy bliskiego zasięgu;
- systemy cyfrowe i rozwiązania w aplikacjach bliskiego zasięgu determinowane czasem rejestracji;
- analiza obrazów i algorytmy syntezy obrazów;
- techniki obiektowo zorientowanego opracowania w trybie automatycznym, semiautomatycznym i manualnym w aplikacjach bliskiego zasięgu;
- modelowanie dla potrzeb wizualizacji i rzeczywistości wirtualnej;

- łączenie systemów CAD/CAM i systemów informacji z pomiarowymi systemami bliskiego zasięgu

Współczesna fotogrametria bliskiego zasięgu koncentruje swój zakres badań przede wszystkim na metodach cyfrowych i maszynowym widzeniu. W związku z tym szczególną uwagę zwrócono na analizę obrazów w czasie rzeczywistym, automatyczną kalibrację i orientację sensorów, matching obrazów, ekstrakcję cech obiektu, modelowanie 3D i rekonstrukcję scen 3D wspomagana rozwiązaniami ekspertowymi. Należy podkreślić fakt realizacji nowoczesnych opracowań bliskiego zasięgu z wykorzystaniem techniki wielokrotnych zobrazowań, konfiguracji wielu sensorów, jak też skanowania obiektu laserem.

XIX Kongres ISPRS w Amsterdamie był forum prezentacji i podsumowania 4 letniego okresu działalności, w tym również prac Komisji V. Komitet naukowy zgodnie z przyjętą koncepcją organizacji obrad Kongresu, zakwalifikował w Komisji V zgłoszone prace do prezentacji w 11 sesjach technicznych TC (*Technical commissions sessions*) oraz w 5 interaktywnych sesjach posterowych TP (*Interactive poster sessions*). Fakt ten wymownie świadczy o szerokim zakresie działalności i znaczeniu jakie pełni Komisja V w strukturze ISPRS, gdyż żadna inna komisja nie prowadziła obrad i prezentacji w tak licznych sesjach tematycznych. Tematyka tych sesji została bardziej szczegółowo zdefiniowana niż wynikałoby to z podziału Komisji V na grupy robocze, co wiernie odzwierciedla interdyscyplinarny i innowacyjny charakter prac badawczych i aplikacyjnych realizowanych w ramach prac tej komisji.

Dorobek Komisji V zaprezentowany w trakcie trwania Kongresu obejmował ogółem 161 referatów, w tym 54 referaty zaprezentowane zostały w sesjach technicznych (TC) i 107 w interaktywnych sesjach posterowych (TP). Z tej liczby w wydawnictwie Archiwum ISPRS Vol. XXXIII, Part B5/1 i Part B5/2 opublikowane zostały 134 prace.

Poniżej przedstawione i omówione zostaną zasadnicze problemy naukowo-techniczne, które w latach 1996-2000 były przedmiotem prac w grupach roboczych Komisji V, z uwzględnieniem prezentacji w ramach XIX Kongresu ISPRS w Amsterdamie. Pomimo przyjętego w Komisji V podziału widoczne jest wzajemne przenikanie się tematyki pomiędzy poszczególnymi grupami roboczymi.

2. Grupa Robocza V/1 – Obrazowanie bliskiego zasięgu i metrologia (*Close-Range Imaging and Metrology*)

Zakres badań w tej grupie roboczej obejmuje współcześnie następujące zagadnienia:

- systemy off-line i on-line w metrologii;
- rozwój cyfrowych systemów obrazowania;
- kalibracja sensorów i systemów;
- modele matematyczne i algorytmy metrologii wizyjnej;
- ocena działania systemów;
- nowe obszary zastosowań metrologii wizyjnej.

Przedmiotem badań szczegółowych jest przede wszystkim problem automatyzacji możliwie wszystkich faz fotogrametrycznego procesu opracowania. Rozwijane są nowej

generacji rozwiązania sprzętowe, tj. „inteligentne” kamery, stanowiska pomiarowe integrujące kilka, hybrydowych sensorów do akwizycji obrazów, off-line i on-line systemy wizyjne wykorzystujące obrazy Moire’. Dalszy postęp możliwy będzie poprzez zastosowanie zaawansowanych metod rozpoznawania celu i cech obiektu oraz automatyczną orientację sensorów. Techniki cyfrowej fotogrametrii bliskiego zasięgu powinny odgrywać dominującą rolę w przemysłowych pomiarach. Zintegrowane ze środowiskiem CAD pomiarowe systemy wizyjne powinny być podstawowym nieinwazyjnym narzędziem badania i kontroli w czasie rzeczywistym przebiegu skomplikowanych procesów produkcyjnych w różnych gałęziach przemysłu np. metalowym, elektronicznym, samochodowym etc. oraz inżynierii pomiarowej. Efekty tych badań mają prowadzić do zwiększenia stopnia automatyzacji pomiarów oraz dokładności, niezawodności i efektywności działania metrologicznych systemów wizyjnych.

3. Grupa Robocza V/2 – Integracja systemów fotogrametrycznych z systemami CAD/CAM (*Integration of Photogrammetric Systems with CAD/CAM*)

W tym obszarze tematycznym badania obejmują:

- przegląd obecnych systemów CAD/CAM (funkcjonalność, formaty danych etc.);
- rozwój metodologii i narzędzi dla integracji systemów fotogrametrycznych z systemami CAD/CAM;
- rozwój systemów CAD/CAM bazujących na obiektowo zorientowanych procedurach pomiaru;
- transfer technologii fotogrametrycznych do przemysłu, sektora produkcji i aplikacji inżynierskich.

Metody fotogrametryczne są efektywną techniką pozyskiwania informacji 3D o obiektach w procesie wspomaganego komputerowo projektowania, testowania, modelowania, produkcji, kontroli i dokumentacji różnego typu obiektów. Z drugiej strony systemy CAD pozwalają na nowoczesną wizualizację, modelowanie 3D i prezentację danych uzyskanych z sekwencji obrazów uzyskanych z pomiaru fotogrametrycznego. Systemy CAD mogą być traktowane jako baza danych do integracji danych różnego typu, w tym również danych pozyskanych metodami fotogrametrycznymi. Najnowsza koncepcja polega na wykorzystaniu znanych a priori danych geometrycznych 3D modelu obiektu utworzonego za pomocą narzędzi CAD w celu sterowania pomiarem fotogrametrycznym w trybie automatycznym lub semiautomatycznym.

Ścisła integracja fotogrametrycznych metod obrazowania i opracowania ze współczesnymi użytkowymi technikami wspomaganego komputerowego środowiska CAD/CAM/CAE/CAT powinna prowadzić do istotnego rozszerzenia spektrum przemysłowych i inżynierskich zastosowań fotogrametrii bliskiego zasięgu.

4. Grupa Robocza V/3 – Modelowanie sceny dla potrzeb wizualizacji i rzeczywistości wirtualnej (*Scene Modelling for Visualization and Virtual Reality*)

Działalność w tym zakresie badawczym polega na integracji metod fotogrametrii, grafiki komputerowej, przetwarzania obrazów i komputerowego widzenia. Szczegółowym przedmiotem badań jest obecnie:

- tworzenie wiernych modeli rzeczywistości wirtualnej (VR) na podstawie realnych scen i obiektów;
- integracja modeli i narzędzi do tworzenia rzeczywistości wirtualnej (VR) z fotogrametrią bliskiego zasięgu;
- doskonalenie aspektów użytkowych fotogrametrii bliskiego zasięgu (prędkość i automatyzacja);
- łączenie sensorów w celu tworzenia modeli rzeczywistych;
- poszukiwanie nowych zastosowań rzeczywistości wirtualnej (VR) bazującej na wysokiej dokładności modelach 3D generowanych metodami fotogrametrycznymi.

Stworzenie środowiska wirtualnego (*Virtual Enviroment*) techniką fotogrametryczną do zrealizowania komputerowej interakcji z obiektem 3D i jego otoczeniem wymaga akwizycji danych, ich cyfrowego przetwarzania, geometrycznego modelowania i „renderowania”. Wzrastająca integracja cyfrowych metod przetwarzania obrazów i grafiki komputerowej stworzyła w fotogrametrii nową jakość geometrycznego modelowania i wizualizacji. Spektakularnym przykładem jest technika nakładania (*rendering*) koloru, tekstury, cieni etc. i melanzowania (*blending*). Techniki te umożliwiają na przetworzonych obrazach 2D/3D generowanych przez komputer modelowanie powierzchni modelu w bardzo wielu kombinacjach.

Obecne badania obejmują prace nad automatyzacją procesu ekstrakcji cech obiektu, *matching'u* i procedur modelowania. Istotnym problemem jest optymalizacja optycznych i geometrycznych warunków rejestracji obiektu w celu jego późniejszej wirtualnej 3D fotogrametrycznej rekonstrukcji i komputerowego modelowania.

5. Grupa Robocza V/4 – Ruch człowieka i analiza obrazów medycznych (*Human Motion and Medical Image Analysis*)

Sformułowany zakres badań tej grupy roboczej obejmuje przede wszystkim następujące zadania :

- rozwój medycznych systemów zobrazowań w czasie rzeczywistym;
- analiza dynamiczna ruchu człowieka;
- medyczne obrazowanie 3D w antropometrii;
- prezentacja i wizualizacja 3D;
- popieranie kooperacji między komitetami naukowymi z zakresu fotogrametrii i medycyny.

Zasadnicze problemy badawcze związane są z hardware'owym wyposażeniem systemów pomiarowych i diagnostycznych. Stosowanie często różnorodnych sensorów, np. kamery cyfrowe, tomografy, ultrasonografy, mikroskopy, które działają na różnych zasadach fizycznych i według odmiennych algorytmów, powoduje trudności w identyfikacji danych i interpretacji wyników.

W chwili obecnej w znacznie mniejszym stopniu wykorzystuje się technikę automatycznego rozpoznawania i interpretacji obrazów. Dominuje sposób komputerowej wizualizacji i interaktywnej interpretacji obrazów wykonywany przez operatora. Znamiennym jest fakt, że techniczne możliwości grafiki komputerowej znacznie przewyższają zdolności

interpretacyjne obrazu. Problemem ciągle pozostaje np. definicja właściwej krawędzi lub brzegu obiektu przy pomiarach na cyfrowo przetwarzanych obrazach, szczególnie w przypadku obrazów barwnych lub multispektralnych. Należy więc prowadzić dalsze prace nad doborem odpowiednich filtrów i algorytmów detekcji obiektów.

Podstawowym celem obecnych przedsięwzięć jest tworzenie szybkich i skutecznych metod kalibracji systemów pomiarowych dla celów medycznych, optymalizacja technicznego wyposażenia do tworzenia środowiska wirtualnego rejestrowanego obiektu. Kolejnymi aspektami jest badanie dokładności bezwzględnej opracowania, skuteczności, niezawodności i wydajności zdalnych, nieinwazyjnych metod diagnozowania chorób oraz badania ruchu i kształtu ciała człowieka.

6. Grupa robocza V/5 – Dziedzictwo kultury światowej (*World Cultural Heritage*)

Działalność tej grupy roboczej koncentrowała się na zagadnieniach z zakresu fotogrametrii, teledetekcji i GIS znajdujących swoje zastosowanie w archeologii i architekturze. Jako główne zadania do realizacji zdefiniowano:

- zastosowanie fotogrametrii i technologii systemów informacji przestrzennej do rejestracji, opracowania i wizualizacji obiektów dziedzictwa kultury światowej;
- zastosowanie innowacyjnych technologii w celu akwizycji, przetwarzania danych, zarządzania informacją, wizualizacji i rozwoju nowych form opracowań;
- rozwój tanich systemów cyfrowych do rejestracji i dokumentacji dziedzictwa kultury światowej;
- popieranie bliskiej kooperacji narodowych i międzynarodowych grup roboczych;
- aktywna promocja stosowania cyfrowej metodologii rejestracji fotogrametrycznej i jej produktów.

Zakres szczegółowych problemów naukowo-technicznych w tej grupie roboczej uwzględniał w znacznym stopniu wyniki prac oraz doświadczenie innych grup roboczych. Polegał na ich zastosowaniu z uwzględnieniem specyficznych aspektów przedmiotu i sposobu opracowania, które są charakterystyczne dla archeologii i architektury. Obejmował badania i praktyczne prace w zakresie modeli matematycznych i algorytmów, pomiaru i przetwarzania danych, integracji różnych sensorów i łączenia danych, dokumentacji, modelowania i wizualizacji obiektów oraz integracji wyników opracowania ze środowiskiem CAD/CAM i systemami informacji przestrzennej.

7. Międzykomisyjna Grupa Robocza V/VIII – Analiza sekwencji obrazów (*Image Sequence Analysis*)

Badania w tej specjalnej grupie roboczej stanowią wspólny obszar zainteresowań Komisji V „Techniki bliskiego zasięgu i widzenie maszynowe” i Komisji III „Teoria i Algorytmy”. Jednak rzeczywisty zakres badań i aplikacji realizowany jest w znacznie szerszym obszarze. Dotyczy np. tak oryginalnych tematów jak zagadnienia z zakresu neurobiologii, konstrukcji systemów nawigacji pojazdów, mobilnych systemów sporządzania

map, jak również teledetekcji. W związku z tym główne zadania badawcze zostały określone następująco:

- strategia matching'u w sekwencjach obrazów;
- algorytmiczne aspekty kombinacji zobrazowań stereo i śledzenia ruchu obiektu;
- modelowanie błędów i propagacji niepewności;
- tworzenie i reprezentacja lokalnych danych przestrzennych;
- interpretacja danych przestrzennych w planowaniu ruchu obiektu;
- urządzenia do akwizycji i zapamiętania sekwencji obrazów;
- sprzęt do przetwarzania sekwencji obrazów w czasie rzeczywistym;
- łączenie informacji multisensoralnych.

Analiza sekwencji obrazów odgrywa szczególnie ważną rolę w wielu aplikacjach w dziedzinie robotyki i automatyki przemysłowej, które stosują widzenie komputerowe lub maszynowe. Ma również istotne znaczenie w fotogrametrii cyfrowej a szczególnie w cyfrowej fotogrametrii bliskiego zasięgu. Najbardziej reprezentatywne zastosowania technik analizy sekwencji obrazów w cyfrowej fotogrametrii bliskiego zasięgu to:

- śledzenie ruchu obiektu 3D;
- pomiary deformacji;
- analiza procesów dynamicznych;
- biomedyczna analiza ruchu;
- automatyzacja mono- i stereoskopowego procesu opracowania map;
- wspomaganie zbierania danych 3D w procesie animacji komputerowej;
- automatyzacja procesu aerotriangulacji cyfrowej.

Łączenie informacji multisensoralnych wymaga odpowiedniej selekcji informacji i właściwego doboru modelu błędów. Łączenie i integracja sensorów ma znaczenie w dziedzinie konstrukcji ruchomych robotów przemysłowych, w których informacja z systemu wizyjnego jest łączona z danymi otrzymywanymi z innych sensorów, typu dalmierz, hodometr, inercjalny system nawigacyjny-INS. Inne odniesienie problemu łączenia sensorów związane jest z rozwiązaniem aerotriangulacji, w której systemy GPS i INS stosowane są jako źródło danych dodatkowych do pozycjonowania środka rzutów kamery.

Obecny szybki rozwój w dziedzinie elektroniki użytkowej pozwoli wkrótce na praktyczne zastosowanie szybkich i wysokorozdzielczych kamer oraz chipów o dużych pamięciach do zapisu sekwencji obrazów. Równoległy dynamiczny rozwój techniki komputerowej umożliwi wkrótce wykonywanie dla wielu obrazów jednoczesnej analizy w czasie rzeczywistym.

8. Grupa secjalnego zainteresowania Komisji V – „Animacja” (*Special Interest Working Group on "Animation"*)

Obszar aktywności tej grupy roboczej koncentruje się na realizacji następujących zadań:

- popieranie współpracy grup użytkowników zajmujących się animacją komputerową w celu wymiany wiedzy, techniki i aplikacji;

- wymiana technologii i aplikacji opartych na systemach ekspertowych poprzez aktywny udział w konferencjach;
- promocja zastosowań nowych technologii poprzez kooperację z pokrewnymi grupami roboczymi ISPRS.

Współczesne techniki wizualizacji i animacji wykorzystują bardzo szeroki zakres danych pochodzących z różnych sensorów, np. zdjęcia satelitarne, lotnicze i naziemne, dane z pomiarów skanerami laserowymi, videoteodolitami, spektrometrami etc. Źródłem informacji są np. DTM, GIS, mobilne systemy sporządzania map jak również historyczne i aktualne mapy w różnych skalach etc. Do zaawansowanego łączenia i przetwarzania danych stosuje się algorytmy m.in. *matching'u*, ekstrakcji cech punktu, linii i obszaru, śledzenia ruchu w płaszczyźnie obrazu i przestrzeni obiektu oraz metody modelowania DTM.

Efekt zastosowania technik animacji widoczny jest w licznych opracowaniach z różnych dziedzin nauki, techniki i przemysłu, np. realistyczne przedstawienie i modelowanie krajobrazu, widoku miast z uwzględnieniem zmian historycznych, symulacja i modelowanie procesów dynamicznych w przemyśle i medycynie, analiza cech fizycznych obiektów (temperatura, gęstość, skład), tworzenie baz danych dla zdjęć pasa drogowego, rozpoznawanie znaków drogowych, estymacja ruchu obiektu i jego modelowanie etc.

W najbliższej przyszłości fotogrametria nie powinna być tylko źródłem pozyskiwania obrazów dla różnych branż zajmujących się praktycznym zastosowaniem techniki wizualizacji i animacji, ale powinna intensyfikować prace nad tworzeniem własnych oryginalnych rozwiązań i aplikacji.

Literatura

1. *Archiwum ISPRS Vol. XXXIII, Part B5/1;*
2. *Archiwum ISPRS Vol. XXXIII, Part B5/2;*
3. http://www.geod.ethz.ch/p02/wg_isprs/WG.V_III/WG.V_III.home.html;
4. http://www.isprs.org/technical_commissions/tc_5.html;
5. *ISPRS Highlights Vol. 5, No 1, s. 24-29.*

Recenzował: prof. dr hab. inż. Józef Jachimski