

Piotr Sawicki

TECHNIKI BLISKIEGO ZASIĘGU I WIDZENIE MASZYNOWE*

Wstęp

Pozyskiwanie obrazów cyfrowych, metody ich przetwarzania oraz nowoczesny poziom instrumentarium elektronicznego lat 90-tych znalazły swoje jednoznaczne odzwierciedlenie we wszystkich aspektach działalności Komisji V, a szczególnie w zakresie opracowań w robotyce, automatyce przemysłowej, pomiarach kontrolnych w różnych dziedzinach przemysłu, medycynie, sporcie etc., realizowanych w czasie rzeczywistym lub zbliżonym do czasu rzeczywistego.

Główne obszary zainteresowań działalności Komisji V dotyczyły przede wszystkim:

- pomiarów w zakresie bliskiego zasięgu i rejestracji w mikro odległości;
- rejestracji i monitorowania obiektów znajdujących się w ruchu i pod wpływem deformacji;
- systemów optycznych i zintegrowanych multisensoralnych systemów bliskiego zasięgu;
- systemów cyfrowych i hardware'owych rozwiązań w aplikacjach bliskiego zasięgu;
- analizy obrazów i algorytmów syntezy obrazów;
- technik automatycznego, semiautomatycznego i manualnego trybu opracowań w aplikacjach bliskiego zasięgu.

W pracach Komisji V zaprezentowano ogółem 108 referatów opublikowanych w materiałach archiwalnych ISPRS Vol. XXXI, P. B5, w tym 10 pozycji w interdyscyplinarnej Grupie Roboczej V/III, obejmującej wspólny obszar zainteresowań badawczych Komisji III i V.

Grupa robocza WG V/1

Metrologia wizyjna oparta na systemach ekspertowych

(Knowledge Based Vision Metrology)

W obszarze tematycznym tej grupy roboczej zostało opublikowanych 7 referatów, które omawiały wybrane, narzędziowe aspekty techniki komputerowej, tzw. rzeczywistości wirtualnej (Virtual Reality-VR) bądź też inaczej środowiska wirtualnego (Virtual Enviroments-VE), służącej do realizowania komputerowej interakcji w czasie rzeczywistym z 3D obiektem i jego otoczeniem.

Większość autorów omawiała przykłady zastosowania fotogrametrii cyfrowej w kształtującym się coraz wyraźniej obszarze wirtualnego modelowania środowiska modelu.

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

Interakcyjne odtworzenie lub modelowanie obiektu i jego otoczenia w czasie rzeczywistym jest jednym z podstawowych zagadnień w tym obszarze badań. Zastosowanie aktywnych sensorów w połączeniu z tradycyjnymi kamerami, bazującymi na sensorach CCD jest bardzo istotne dla szybkiej, kompletnej i dokładnej rekonstrukcji obiektu i jego środowiska.

Aplikacje w trybie off-line mogą być realizowane przy zobrazowaniu obiektu za pomocą kamer cyfrowych wysokiej rozdzielczości typu "still video". Natomiast w przypadku opracowania w trybie on-line obiektów znajdujących się w stanie dynamicznym, preferowane są obecnie relatywnie tanie (low-cost) rozwiązania oparte na kamerach CCTV typu CCD, pracujących w standardzie analogowego sygnału TV, sprzężonych z odpowiednimi interfejsami-kartami frame grabber, digitalizującymi videosekwencje. Realizacja, w czasie rzeczywistym lub zbliżonym do rzeczywistego, triangulacji on-line oparta jest na sekwencyjnej estymacji parametrów orientacji pojedynczych sensorów i automatyzacji akwizycji i analizy danych cyfrowych [Edmundson, V]. Podkreślana jest przy tym konieczność pełnej kalibracji systemu w przypadku 3D rekonstrukcji, modelowania i wizualizacji zarejestrowanego obiektu.

Technika rejestracji za pomocą wielu sensorów umożliwia optymalną wizualizację, analizowanie oraz kreowanie obiektu i jego otoczenia za pomocą techniki komputerowej. W konsekwencji, integracja różnego typu sensorów, np. kamery CCD, projektory laserowe, kamery stereometryczne [Brenner, V; El-Hakim, V], w jeden system dla tworzenia wirtualnego otoczenia obiektu i śledzenia jego ruchu, jest podstawowym zadaniem, którym liczne grono fotogrametrów powinno zająć się w najbliższych latach.

Przykładem pierwszych praktycznych rozwiązań tego typu jest system AIDA [Weik, V], w którym 3D rekonstrukcja obiektu i ekstrakcja informacji jest możliwa do uzyskania z sekwencji obrazów tworzących stereopary. Kolejnym przykładem jest system skonstruowany w NRC Ottawa [El-Hakim, V].

Metody tzw. sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence-AI) albo systemy ekspertowe w widzeniu maszynowym, oparte na zastosowaniu m.in. sieci neuronowych do kalibracji kamer i systemów wizyjnych oraz tworzenia procedur podejmowania funkcyjnych decyzji, nie były niestety wśród autorów opublikowanych prac, przedmiotem szczególnych badań.

Technika modelowania rzeczywistości wirtualnej może stać się w najbliższych latach powszechnym narzędziem użytkowym w konstruowanych wizyjnych systemach metrologicznych i ich aplikacjach.

Grupa robocza WG V/2

Systemy zobrazowań w bliskim zasięgu i ich osiągi

(Close-Range Imaging Systems and Their Performance)

W ostatnich latach w tradycyjnych analogowych i numerycznych opracowaniach np. z zakresu fotogrametrii architektonicznej oraz w fotogrametrycznym badaniu deformacji i przemieszczeń, stosowane są nadal klasyczne kamery pomiarowe na film lub płyty szklane. Jednak coraz powszechniejszym jest fakt ich stopniowego wypierania przez średnioformatowe semimetryczne kamery z płytką reseau, szczególnie w przypadku opracowań obiektów o znacznych rozmiarach, gdy konieczna jest rejestracja z wielu stanowisk o różnej konfiguracji zdjęć. Proces opracowania numerycznego wspomagany jest w takim przypadku pomiarami na cyfrowych monokomparatorach (skaner reseau RS1) o wysokim stopniu automatyzacji.

Kamery cyfrowe stworzyły natomiast nowy potencjał zastosowań w różnych dziedzinach techniki i przemysłu, determinowany stopniem zautomatyzowania procesu pomiaru obrazów, czasu (real-time lub quasi real-time) i trybu (on-line lub off-line) opracowania.

W latach 1992-1996 akwizycja cyfrowych danych obrazowych, techniki przetwarzania cyfrowego oraz pozycjonowania 2D i 3D, zyskały w fotogrametrii bliskiego zasięgu w istotny sposób na znaczeniu.

Tendencja ta znalazła swoje odzwierciedlenie w tematyce prezentowanych prac, które prawie wyłącznie dotyczyły problematyki fotogrametrii cyfrowej.

W grupie roboczej WG V/2 zaprezentowano ogółem 18 prac. Z tematyką badań tej grupy w bezpośredni sposób związanych jest jednak dalszych 21 referatów, zgłoszonych przez autorów do grup roboczych WG V/3 i WG V/4, które dotyczą praktycznych aspektów ich zastosowania.

W sumie zaprezentowano więc 39 prac w obszarze tematycznym, dotyczącym przede wszystkim:

- konstrukcji systemów elektroniczno-optycznej rejestracji;
- strategii kalibracji systemów;
- technik przetwarzania obrazów, algorytmów pomiaru współrzędnych punktów obrazów cyfrowych i 3D pozycjonowania punktów obiektu;
- analizy potencjału dokładności fotogrametrycznych opracowań cyfrowych w różnorodnych aplikacjach bliskiego zasięgu.

Cyfrowe dane obrazowe mogą być pozyskiwane obecnie za pomocą wielu systemów bezpośredniej akwizycji obrazów. Są to:

- standardowe kamery CCD 1/2" i 1/3" stosowane w systemach CCTV; rozdzielczość ca 750 x 580 pikseli; 25 obrazów/s w standardzie sygnału telewizyjnego CCIR (obraz cz/b) oraz PAL (kolor) lub 30 obrazów/s w RS 170 (obraz cz/b) i NTSC (kolor);
- kamery w standardzie wysokiej częstotliwości HDTV; rozdzielczość 2000 x 1000 pikseli; 30 obrazów/s;
- wielkoformatowe kamery CCD; rozdzielczość powyżej 2000 x 2000 pikseli; 2-7 obrazów/s, w zależności od rozdzielczości;
- urządzenia o sekwencyjnym systemie akwizycji obrazów tj. videoteodolity oraz kamery z mikro- i makro skanowaniem obrazów; rozdzielczość od 3000 x 2300 do 11000 x 14000 pikseli a nawet 20000 x 20000 pikseli; obiekty w ruchu nie mogą być rejestrowane, gdyż wzrasta czas i wielkość obrazów zapisywanych w pamięci;
- cyfrowe kamery studyjne oraz średnio- lub wielkoformatowe kamery analogowe z zamontowanym adapterem - cyfrowym chip'em o rozdzielczości do 6000 x 7500 pikseli;
- still video kamery o maks. rozdzielczości ca 3000 x 2000 pikseli z wewnętrzną pamięcią, z możliwością bezpośredniego zapisu kilku obrazów lub poprzez łącze PCMCIA nawet do kilkudziesięciu obrazów;
- kamery video S-VHS CCD i VHS CCD o rozdzielczości 640 x 480 (VGA) w połączeniu z odpowiednią kartą frame grabber FG do digitalizacji videosekwencji.

W ostatnich paru latach nową jakość w fotogrametrycznej cyfrowej technice rejestracji stanowią tzw. still video kamery o wysokiej rozdzielczości. Umożliwiają one pozyskanie obrazów cyfrowych bez konieczności stałego sprzężenia przewodem z komputerem. Dostępna w chwili obecnej komercyjna rozdzielczość rzędu 3000 x 2000 pikseli (np. kamera

Kodak DCS460) porównywalna jest formatem i dokładnością ze średnioformatowymi, semimetrycznymi kamerami pomiarowymi. Kamery still video sprzężone z przenośnymi komputerami klasy laptop stanowią wszechstronny, uniwersalny i praktyczny metrologiczny system off-line [Schneider, 1/], który ukierunkowany jest przede wszystkim na zastosowanie do badań kontrolnych i monitoringu obiektów przemysłowych, jak również w fotogrametrii architektonicznej.

Kamery cyfrowe, oparte na stacjonarnych stanowiskach roboczych, pozwalające na szybką i ciągłą rejestrację obrazów, predestynowane są do rejestracji procesów kinematycznych w czasie rzeczywistym w trybie on-line. Oznaką nowego kierunku w budowie fotogrametrycznych systemów bliskiego zasięgu są pierwsze próby bezprzewodowej transmisji drogą radiową danych cyfrowych z sensorów CCD do host komputera [Chikatsu, 1; Pollak, 1/].

Przedmiotem badań były również dotychczas używane metody jak również modernizowane techniki kalibracji kamer i systemów. Stosowane są przede wszystkim metody samokalibracji metodą wiązek według koncepcji pola testowego Wester-Ebbinghaus'a i Brown'a [Fryer, 1/]. Z uwagi na szybki postęp w budowie układów elektronicznych, analiza wpływu błędów radiometrycznych i ich korekcja na sekwencji obrazów cyfrowych, straciła w chwili obecnej na swym pierwotnym znaczeniu. Ten zakres analiz szczególnie eksponowany był w latach 1987-1992 w pracach takich autorów jak Beyer, Baltasvias, Lenz.

Wielu autorów prezentowało prace, których przedmiotem badań lub zastosowania były algorytmy dopasowania -"template matching", służące do cyfrowego automatycznego rozpoznania i pomiaru na obrazach punktów [Luhman, 1/] zdefiniowanych na obiekcie. Najczęściej cytowane i analizowane algorytmy estymacji położenia punktów to:

- operator elipsy bazujący na strukturalnie zdefiniowanej krawędzi (structural edge-based ellipse operator);
- operator ciężkości punktu (center of gravity operator);
- operator dopasowania szablonu (template matching);
- operator najmniejszych kwadratów (least squares matching).

Do automatycznej estymacji współrzędnych pikselowych punktów obrazu stosowany jest najczęściej algorytm LSM (Least Squares Matching), który pozwala uzyskać wysokie, cytowane poniżej dokładności, ale tylko w przypadku dokładnego zdefiniowania wzorca. Punkt pomiarowy powinien być w kształcie zbliżonym do koła, wielkością odpowiadając 3-5 pikseli na obrazie i posiadać odblaskową strukturę powierzchni.

Przy zastosowaniu kamer cyfrowych o wysokiej rozdzielczości 2K x 2K pomiar współrzędnych centrum zdefiniowanych, strukturalnych punktów obiektu jest możliwy praktycznie do wykonania w trybie automatycznym z podpikselową dokładnością rzędu $0.02 \div 0.03$ rozmiaru piksela, co odpowiada w przeciętnych, praktycznych warunkach opracowania dokładności względnej rzędu 1:140 000 wymiaru obiektu. W warunkach laboratoryjnych, na syntetycznie wygenerowanych obrazach dokładność pomiaru może wynosić nawet 0.01 wielkości piksela (ellipse operator). Istotny wzrost stopnia automatyzacji procesu pomiaru punktów uzyskano też dzięki zastosowaniu numerycznie kodowanych punktów pomiarowych.

W celu wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć i określenia 3D współrzędnych punktów obiektu stosuje się zazwyczaj rejestrację obiektu na wielu zdjęciach i rozwiązywanie metodą wiązek z jednoczesną opcją samokalibracji. Metoda bezpośredniej transformacji liniowej (DLT) wyznaczenia parametrów zdjęć i współrzędnych 3D cytowana jest tylko w kilku pracach, np. [Faig, 1/]. W celu wyznaczenia niewiadomych,

a przede wszystkim elementów orientacji zdjęć, zaleca się stosowanie technik estymacji odpornych.

W klasycznej obecnie metodzie wyrównania wiązek zaleca się stosowanie procedur wykrywania i eliminacji błędów grubych estymacji współrzędnych. Niektórzy autorzy dla rozwiązania układu równań preferują metody ortogonalizacji, np. za pomocą transformacji Givens'a [Edmundsen, V]. Stosowana jest przy tym dość powszechnie tzw. technika swobodnego wyrównania sieci.

W chwili obecnej standardem stają się systemy pomiarowe, składające się z konfiguracji kilku sensorów, w tym różnego typu w zależności od rodzaju aplikacji, opartych na platformie komputerów klasy PC lub stacji roboczych, które pracują odpowiednio w systemie operacyjnym Windows lub Unix.

Proces fotogrametrycznego cyfrowego zautomatyzowanego pomiaru i opracowania realizowany jest w szerokim spektrum zastosowań w mikro i bliskim zasięgu. Na podstawie analizy prezentowanych prac, przebiega on według następującej podstawowej procedury:

- akwizycja sekwencji obrazów cyfrowych;
- automatyczne lub semiautomatyczne rozpoznanie zdefiniowanych punktów na wszystkich obrazach (target points detection);
- estymacja współrzędnych pikselowych (metoda LSM);
- estymacja współrzędnych 3D obiektu metodą wiązek lub DLT wraz z procedurą eliminacji błędów grubych (data snooping);
- ekstrakcja informacji o obiekcie.

Zaimplementowane w systemie oprogramowanie powinno poza tym umożliwiać pełną obsługę sensorów, realizację różnych parametrów rejestracji, przetwarzanie wstępne-preprocessing danych cyfrowych oraz możliwość niezależnej lub jednoczesnej on-the-job techniki kalibracji kamer. Jednocześnie powinien być zapewniony transfer wyników opracowania i integracja z systemami CAD/CAM.

Dalsze badania nad cyfrowymi systemami fotogrametrycznymi będą obejmować prace nad zwiększeniem szybkości i stopnia automatyzacji generowania wyników pomiaru.

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. Andrzej Wróbel