

Bogdan Jankowicz

POMIAR PROCESÓW SZYBKOSMIENNYCH Z ZASTOSOWANIEM FILMOWYCH KAMER CCD Z NASADKĄ STEREOSKOPOWĄ

Streszczenie

Przedstawione w artykule rozważania dotyczą zasad pomiaru procesów i obiektów szybkozmiennych metodami stereofotogrametrii filmowej przy zastosowaniu kamery filmowej CCD z nasadką stereoskopową.

Głównym celem przeprowadzonych badań była optymalizacja konfiguracji aparatury pomiarowej oraz opracowanie technologicznych zasad procesu pomiarowego. Badania przeprowadzono na przykładzie pomiaru położenia plamki laserowej, której obraz generowany w sposób przypadkowy przemieszczał się po powierzchni sferycznej. Rejestracji dokonano kamerą filmową SONY F355E CCD z nasadką stereoskopową. Następnie, po transformacji kolejnych „zamrożonych” obrazów filmowych do postaci cyfrowej otrzymano obrazy – parę stereoskopową, nadające się do dalszej obróbki na autografie cyfrowym VSD-AGH. Opisany sposób rejestracji procesów szybkozmiennych może znaleźć bardzo szerokie zastosowanie w technice pomiarowej.

1. Wprowadzenie

Stały rozwój technologiczny urządzeń wyposażonej w detektory obrazu typu Charge Coupled Devices - CCD (tzn. przyrządy o sprzężeniu ładunkowym), jak kamery filmowe video oraz cyfrowe aparaty fotograficzne, pozwala na coraz częstsze zastosowanie ich w rozwiązywaniu zagadnień pomiarowych.

Szczególną rolę kamery tego typu mogą odegrać w fotogrametrii, w przypadku obserwacji i pomiaru procesów o wysokiej dynamice zmian w czasie. W wyniku rejestracji otrzymujemy serię obrazów kolejnych położzeń mierzonego obiektu. Stan odkształcenia przedstawiony jest w danym układzie współrzędnych w funkcji czasu.

2. Metody badań procesów szybkozmiennych

Przedstawiony w niniejszym opracowaniu temat dotyczy zasad pomiaru procesów szybkozmiennych z zastosowaniem kamery filmowej CCD i nasadki stereoskopowej, której zastosowanie w tej konfiguracji jest nowością. Proponowany sposób uzyskania obrazów stereoskopowych eliminuje negatywne cechy metody opartej na filmowaniu z dwóch stanowisk kamery tj. jednoczesnego użycia dwóch instrumentów dla dokonania rejestracji w tym samym czasie rzeczywistym.

Podstawową zasadą pomiaru jest dążenie do zapewnienia stałości orientacji kamery. Zagadnienie opracowano na przykładzie kamery filmowej CCD z nasadką stereoskopową (jako jeden z opisanych poniżej wielu wariantów koncepcji), prowadząc obserwacje i pomiary przemieszczeń plamki laserowej po powierzchni sferycznej.

Stereoskopowy pomiar procesów szybkozmiennych (SPPS) z zastosowaniem aparatury CCD można zrealizować w zależności od koncepcji w różnej konfiguracji sprzętowej i programowej:

- jednocześnie z dwóch stanowisk z wykorzystaniem bazy fotogrametrycznej,
- z jednego stanowiska kamery CCD i aplikacją nasadki stereoskopowej.

Spośród metod jakie daje nam do wyboru zastosowanie kamer video CCD można wymienić:

1. SPPS z zastosowaniem kamery filmowej CCD z analogową rejestracją obrazu;
2. SPPS z zastosowaniem kamery filmowej CCD z cyfrową rejestracją obrazu;
3. SPPS z zastosowaniem cyfrowego aparatu fotograficznego (w ograniczonym zakresie);
4. SPPS z zastosowaniem klasycznych kamer fotogrametrycznych i zeskanowaniem wyjściowego obrazu w celu otrzymania obrazu cyfrowego.

Wymienione powyżej metody pozwalają na fotogrametryczne opracowanie par obrazów stereoskopowych na autografie VSD-AGH (Video Stereo Digitizer).

3. Opis przeprowadzonych badań

W przeprowadzonych badaniach ruch obiektu na obrazach testowych tworzony był przez losowo generowany ruch plamki laserowej po powierzchni sferycznej. Obraz plamki emitowany był za pośrednictwem diody laserowej II klasy o mocy 3 mW i długości fali światła 630 nm. Średnica plamki na powierzchni sferycznej wynosiła 3 mm.

Obserwacja i rejestracja obrazu zrealizowana została kamerą filmową firmy SONY F355E typu CCD o czułości przetwornika CCD – 5 lux ($F = 2$), na taśmie o zapisie analogowym w systemie Video 8/SP – PAL/CCIR, zakresie 5 do 100 000 lux i wymaganym natężeniu oświetlenia powyżej 300 lux. Kamera posiadała obiektyw o ogniskowej $f = 7...42$ mm i wyposażona była w system automatycznego ogniskowania obrazu Auto-Focus TTL oraz system rejestracji obrazu za pośrednictwem dwóch głowic wirujących ze skanowaniem helikalnym.

Istotnym elementem badań była aplikacja nasadki stereoskopowej na obiektyw kamery CCD. W tym konkretnym przypadku użyto stereoskopowej nasadki, fabrycznie przeznaczonej do obiektywu aparatu fotograficznego ZENIT 12XP, jednakże po dopasowaniu do obiektywu kamery SONY o średnicy wyjściowej 46 mm, założeniu odpowiednich pierścieni redukcyjnych i regulacji zbieżności zwierciadeł stereoskopu.

Parę obrazów stereoskopowych zarejestrowanych kamerą CCD poddano obróbce cyfrowej. Kamerę podłączono do komputera PC, wyposażonego w kartę video typu „frame-grabber” z oprogramowaniem „SVU”, umożliwiającym obsługę tej karty i przetwarzającym obraz zapisany na taśmie w systemie Video8 na format, w tym przypadku TIFF, dostosowany do współpracy z autografem VSD.

Przy użyciu opcji programowej „freeze” uzyskiwano dowolnie wybrane lub pożądane, ułożone we właściwej kolejności czasowej, wyodrębnione z filmu video

„zamrożone” obrazy (pary obrazów jednoczasowych), które następnie podlegały konwersji na jeden z formatów akceptowanych przez autograf VSD-AGH. VSD może pracować jako stereokomparator do pomiaru obrazów cyfrowych z dokładnością odpowiadającą ułomkom piksela, w zależności od skali powiększenia obrazu cyfrowego.

W powyższym przypadku dla określenia współrzędnych położenia plamki laserowej z pomiarów na VSD przyjmuje się oczywiście ten sam układ lokalny dla każdego wyodrębnionego obrazu.

Ponieważ w opisywanym przypadku rozpatruje się zmiany współrzędnych punktu (plamki laserowej) w funkcji czasu :

$$r(t)=[x,y,z](t),$$

właściwe jest, aby w polu widzenia kamery znalazł się licznik czasu (chronometr) o dużej dokładności i wartości najmniejszego wskazania, uzależnionej od szybkości zmian położenia obiektu (punktu) i wymaganej częstotliwości rejestracji tych zmian. Czasomierz umożliwi również synchronizację czasową (kolejne ułożenie) poszczególnych, wyodrębnionych obrazów, przeznaczonych do obróbki na VSD. Idealnym rozwiązaniem byłoby, aby podczas filmowania pomiarowego korzystano z czasomierza o wskazaniach co najmniej 1 ms.

Z każdej opracowanej na autografie VSD pary cyfrowych obrazów fotogrametrycznych otrzymujemy w układzie przestrzennym współrzędne położenia punktów, w tym przypadku plamki laserowej. Następnie przyporządkowując dla tych współrzędnych czwartą - czasową ze wskazań chronometru, dla konkretnej pary obrazów uzyskujemy czasoprzestrzenny rozkład położenia interesujących nas punktów (u) $r(t)$. Najprostszym sposobem zapisu jest wykaz współrzędnych w formie tabelarycznej, zaczynając od początkowego położenia obiektu, w opisywanym przypadku, plamki laserowej:

$$r(0.00 \text{ s})=[0.000 \text{ m}; 0.000 \text{ m}; 0.000 \text{ m}]$$

a na ostatnim kończąc :

$$r(t \text{ s})=[x \text{ (m)}; y \text{ (m)}; z \text{ (m)}],$$

dla przedziału czasu $[0.00; t]$ sekund.

Inny sposób to przedstawienie zmian obiektu dynamicznego w formie sekwencji map wektorowych ułożonych w kolejności czasowej $r(t)$ lub opracowanych jako siatki 3D.

Można również przedstawić zmiany współrzędnych rozpatrywanego obiektu rozdzielnie na każdą z nich w zależności od czasu na trzech różnych histogramach:

$$x(t); y(t); z(t)$$

Interesującym wydaje się też przedstawienie zmian dynamicznych obiektu za pośrednictwem map dynamicznych tzn. zsyntetyzowanych oraz zsynchronizowanych czasowo i dynamicznie, połączonych, pojedynczych map wektorowych, zawierających siatkę współrzędnych przedstawionych w formie obrazów

sekwencyjnych lub filmu. Wyniki badań nad tą metodą przedstawione zostaną w najbliższym czasie.

Przedstawiona powyżej metoda SPPS może wydawać się nieco uciążliwa z uwagi na konieczność wyposażenia komputera w specjalną kartę video „frame-grabber” oraz dodatkowe czynności związane z obsługą tej karty i jej oprogramowania. Zamiast stosowania tej karty do konwersji obrazu na postać cyfrową, można użyć cyfrowego aparatu fotograficznego, który umożliwi pozyskanie obrazu w formacie cyfrowym JPEG z ekranu monitora TV, na którym wyświetlany jest zarejestrowany w sposób ciągły obraz zjawiska dynamicznego. Takie badania wykonano przy użyciu wcześniej opisanej kamery SONY F355E oraz cyfrowego aparatu fotograficznego SONY MAVICA FD51 o ogniskowej obiektywu 47 mm i rozdzielczości VGA 640x480 pikseli. Uzyskany opisany sposobem obraz po transformacji do formatu akceptowanego przez Video Stereo Digitizer posłużył jako materiał wyjściowy do obróbki na tym autografie cyfrowym.

Dysponując natomiast w pełni cyfrową kamerą filmową 3CCD z cyfrową rejestracją obrazu na taśmę Mini-DV (kamera posiada trzy elementy CCD, które oddzielnie przetwarzają każdą z trzech barw składowych światła białego i dysponuje wyjściem umożliwiającym przesyłanie cyfrowych filmów video w czasie rzeczywistym), przy aplikacji nasadki stereoskopowej, wystarczy uzyskany obraz przetransponować z formatu JPEG na TIFF, akceptowany przez VSD.

Koszt cyfrowej kamery DV-3CCD, chociaż wyższy niż analogowej, opłaci się ze względu na krótszy czas obróbki cyfrowej obrazu, pewność działania, lepsze parametry statyczne i dynamiczne obrazu (rozdzielczość 3x810000 pikseli), a ponadto wygodę obsługi.

W przypadkach, gdy pomiar fotogrametryczny dotyczy procesów o stosunkowo niskiej dynamice tzn. zmiany współrzędnych przestrzennych w czasie są na tyle wolne, że rejestracja z szybkością ułamków Hertz'a do 2-3 Hz wystarcza, wtedy w przypadku np. braku dostępu do cyfrowej kamery video, celem realizacji SPPS można użyć cyfrowego aparatu fotograficznego po dostosowaniu do jego obiektywu nasadki stereoskopowej. W tych przypadkach można zastosować cyfrowy aparat fotograficzny np. Kodak DC200, który wyposażony w obiektyw o ogniskowej 38-115 mm, zapisuje dane w formacie JPG o rozdzielczości 768x512 pikseli przy 3 ekspozycjach na sekundę lub najwyższej jakości tj. 1536x1024 pikseli, ale przy ograniczeniu szybkości ujęć do 1 obrazu na 10 sekund.

Dokładność SPPS zdeterminowana jest rodzajem, rozdzielczością zastosowanego przetwornika obrazu CCD, jakością układu optycznego stereoskopu nasadkowego i błędów wynikłych przy ewentualnym przetwarzaniu obrazu na format cyfrowy przez kartę „frame-grabber” i wreszcie dokładnością samego przetwarzania na VSD.

Wyniki badań dokładnościowych SPPS zostaną przedstawione w późniejszym opracowaniu, gdyż zastosowanie bardziej profesjonalnych kamer filmowych do tych badań, np. kamera DV-3CCD, zdecydowanie podniesie tę dokładność.

4. Wnioski

Przedstawione metody SPPS umożliwiają pomiar procesów szybkozmiennych z jednego stanowiska pomiarowego, przy zastosowaniu pojedynczej kamery filmowej CCD. Tym samym nie jest wymagana czasowa synchronizacja obrazów wykonywanych dwoma kamerami video CCD z dwóch stanowisk.

Nie zawsze jednak konieczny jest pomiar dokładny zmian obiektów w czasie. Niekiedy wystarczy wizualne porównanie tych zmian. Przykładem takim może być obserwacja endoskopowa podczas zabiegu chirurgicznego. Miniaturowa kamera endoskopu nie zapewnia stereoskopowego widzenia – obraz jest płaski, chirurg ma utrudnione działanie w polu operacyjnym przez praktycznie całkowity brak oceny głębokości. Dlatego wyposażenie minikamery CCD w miniaturową nasadkę stereoskopową a monitora komputera w stereoskop zwierciadlany zapewni wymaganą precyzję działania w polu operacyjnym w trzech wymiarach.

Wyżej wymienione metody znaleźć mogą szerokie zastosowanie w budownictwie, przemyśle i nauce. Mogą służyć w pomiarach:

- drgań i wibracji (np. przęsła mostów),
- wychyleń budowli wysmukłych (np. wież),
- odkształceń dynamicznych (np. próby zderzeniowe pojazdów),
- procesów o charakterze wybuchowym (np. w technika wojskowa, wybuchowe tłoczenie blach),
- w biometrii (biostereometrii) (np. badanie szybkozmiennych procesów biologicznych),
- w bionice (np. badanie ruchu skrzydeł owada w projektach związanych z aerodynamiką konstrukcji maszyn latających).

Literatura

1. Józwik M., 1995, Wykorzystanie kamery cyfrowej i detekcji video w pomiarach geodezyjnych - referat, AGH, Kraków.

Autor

dr inż. Bogdan Jankowicz

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji

Akademia Rolnicza w Krakowie

30-045 Kraków, ul. Królewska 6

tel. (0-12) 633 18 11 w.103

e-mail: rmjankow@cyf-kr.edu.pl

Recenzował dr inż. Piotr Sawicki