

Zdzisław Kurczyński

KOMISJA I ISPRS : „SYSTEMY OBRAZOWANIA, PLATFORMY I OBRAZY” NA XIX KONGRESIE W AMSTERDAMIE

Streszczenie: Referat prezentuje stan wiedzy, techniki i technologii w zakresie zainteresowania Komisji I ISPRS. Przedstawiono postęp w okresie międzykongresowym – lata 1996-2000, oraz prezentacje dokonań podczas Kongresu. Szczegółowiej omówiono osiągnięcia w zakresie lotniczych kamer cyfrowych.

1. Postęp w zakresie systemów obrazowania w okresie międzykongresowym 1996 - 2000

Międzynarodowe Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ISPRS) prowadzi swoją działalność w 7 komisjach tematycznych, a każda komisja działa z kolei w ramach problemowych grup roboczych, które – w miarę potrzeb – mogą się zmieniać. Komisja I „Systemy obrazowania, platformy i obrazy” (ang.: Sensors, Platforms and Imagery) działa w 5 grupach roboczych. Kongresy ISPRS organizowane co 4 lata, są najwyższym forum spotkań międzynarodowego środowiska fotogrametrycznego, pozwalają na wymianę wyników badań, umożliwiają ocenę aktualnego stanu wiedzy i techniki, oraz dają możliwość określenia trendów rozwoju dyscypliny w najbliższych latach.

Grupa robocza WG I/1: Kalibracja i standaryzacja systemów obrazowania

W środowisku fotogrametrycznym rośnie świadomość wagi kalibracji geometrycznej i radiometrycznej satelitarnych systemów obrazowania. Dyskusje wskazują na potrzebę standaryzacji metod kalibracji i używanej terminologii. Procedury kalibracji cyfrowych systemów obrazowania zarówno laboratoryjnej jak i kalibracji „w locie” muszą być analizowane dla wypracowania propozycji ich standaryzacji. Jest to postrzegane jako długofalowe zadanie ISPRS. W ramach działalności grupy roboczej do władz ISPRS przesłano sugestie:

1. Należy przedsięwziąć kampanie terenowe dla radiometrycznej kalibracji różnych systemów obrazowania satelitarnego;
2. Kalibracja laboratoryjna powinna być sprawdzana i potwierdzana w warunkach lotu nad precyzyjnymi polami testowymi, z wykorzystaniem pokładowych systemów nawigacyjnych określających elementy orientacji zewnętrznej;

3. Należy przygotować badania kalibracji „w locie” przyszłych misji dostarczających zobrazenia satelitarne (CARTOSAT, SPOT-5, ALOS);
4. Należy udostępnić parametry kalibracji komercyjnych, wysokorozdzielczych systemów satelitarnych;
5. Więcej wysiłków należy przedsięwziąć dla testowania i kalibracji systemów obrazowania radarowego, podczerwonego i laserowego, celem określenia ich potencjału dokładnościowego dla generowania produktów topograficznych.

Grupa robocza WG I/2: Przetwarzanie wstępne, archiwizacja i dystrybucja danych obrazowych

W najbliższym okresie planuje się umieszczenie na orbitach kilku kolejnych wysokorozdzielczych systemów obrazowania. Gwałtownie wzrastać będzie ilość przesyłanych danych. Jednocześnie skraca się czas od pozyskania do dostarczenia danych bezpośrednio użytkownikowi. Stawia to nowe wyzwania i problemy przed wstępną obróbką danych obrazowych, ich archiwizacją i dystrybucją.

Grupa robocza WG I/3: Systemy obrazowania i platformy dla zastosowań topograficznych

Wysokorozdzielcze satelitarne systemy obrazowania.

We wrześniu ubiegłego roku umieszczono z sukcesem pierwszy satelitarny wysokorozdzielczy system obrazowania IKONOS, przydatny dla sytuacyjno-wysokościowych opracowań topograficznych. Tym samym została zapoczątkowana od kilku lat oczekiwana „nowa era” obrazowania satelitarnego. Otwiera to drogę dla wielu cywilnych zastosowań i opracowań wielkoskalowych. Znaczna część globu już jest pokryta przez obrazy MOMS-2P ze stacji MIR, oraz SPOT-5. To poprawiło stan opracowań kartograficznych bazujących na satelitarnych zobrazeniach z zakresu optycznego. W najbliższych miesiącach zostanie umieszczonych na orbitach kilka kolejnych „metrowych” systemów:

- Quick Bird z pikselem 0,82 m w zakresie panchromatycznym i 3,28 m w zakresie wielospektralnym;
- IKONOS 2 z takim samym wymiarem piksela;
- EROS B1 z pikselem 1 m w zakresie panchromatycznym i 4 m w zakresie wielospektralnym;
- OrbView 3a z pikselem 1 i 2 m w zakresie panchromatycznym i 4 m w zakresie wielospektralnym;
- IRS-P5 (Cartosat) z pikselem 2,5 m w zakresie panchromatycznym.

Systemy te (oprócz IRS-P5) pozwalają pozyskiwać obrazy stereoskopowe „z jednej orbity”.

Lotnicze kamery cyfrowe

Rozwój satelitarnych systemów obrazowania wpływa i stymuluje rozwój systemów lotniczych. Takie satelitarne kamery jak WAOSS, HRSC, DPA, MOMS mogą obecnie obrazować z pułapu lotniczego. Trwają prace nad skonstruowaniem lotniczych kamer cyfrowych które zastąpiłyby kamery tradycyjne. Dwóch głównych producentów lotniczych

kamer fotogrametrycznych: LH Systems, oraz Z/I Imaging zapowiedziało wypuszczenie na rynek do 2001 r. komercyjnych wersji takich kamer.

LH Systems we współpracy z DLR (Niemieckie Centrum Kosmiczne) zapowiedziały na 2000 r. kamerę opartą na koncepcji skanera elektro-optycznego z 3. linijkami CCD. Jest to koncepcja oparta na konstrukcji WAOSS – pierwotnie zaprojektowanej dla misji na Marsa. W wyniku pozyskuje się stereoskopowy obraz z pojedynczego szeregu. Takie rozwiązanie wymaga precyzyjnego i bezpośredniego pomiaru elementów orientacji zewnętrznej kamery (zarówno trajektorii lotu jak i kątów nachylenia).

Z/I Imaging zapowiada rozwiązanie bazujące na tablicy CCD. Takie rozwiązanie jest – z geometrycznego punktu widzenia – cyfrową repliką kamery tradycyjnej. To oznacza, że nie są wymagane istotne zmiany w algorytmach opracowanych dla tradycyjnych zdjęć „kadrowych” o geometrii rzutu środkowego. Takie rozwiązanie jest na dzień dzisiejszy ograniczone wielkością dostępnych tablic CCD.

Niewątpliwym „hitem” tegorocznego Kongresu były prezentacje obu kamer (więcej na ten temat w dalszej części).

Bezpośredni pomiar elementów orientacji zewnętrznej kamery w locie

Obserwuje się przyspieszenie prac nad bezpośrednim pomiarem w locie elementów orientacji kamer lotniczych poprzez integrację systemów GPS i Systemu Inercjalnego INS. Wykorzystanie techniki GPS dla określenia współrzędnych środka rzutów kamery stało się standardem. Pozostały pewne problemy z określeniem niejednoznaczności rozwiązania, które może być różne dla poszczególnych szeregów zdjęć, co wymaga na etapie aerotriangulacji modelowania parametrów dryftu i przesunięcia indywidualnie dla każdego szeregu. W połączeniu GPS z INS, wykorzystując filtrowanie Kalmana ta nieoznaczoność może być określona i mogą być wyznaczone z dużą dokładnością absolutne wartości pozycji i kąty nachylenia kamery. Pełny sukces jest dla pewnych obszarów globu ograniczony niezadowalającą znajomością odstepu geoidy od elipsoidy.

Możliwość określenia pozycji i kątów nachylenia platformy ma zasadnicze znaczenie dla kamer cyfrowych o koncepcji skanera elektrooptycznego z 3. linijkami detektorów CCD, oraz innych „dynamicznych” systemów jak np. lotniczy skaner laserowy. Włączenie danych INS dało istotny postęp w kierunku pełnego określenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć w locie i możliwości ich opracowania bez osnowy (tzw. rozwiązanie bezpośrednio – wprost). Dla niektórych zastosowań osiągnięto wystarczający poziom. Na obecnym etapie, ze względu na niezawodność rozwiązania, nadal uzasadniony jest etap aerotriangulacji z włączeniem danych GPS i INS do wyrównania niezależnych wiązek. To bardzo redukuje liczbę koniecznych fotopunktów. Dotychczasowe wyniki prac wskazują na to, że wkrótce zostanie osiągnięty poziom operacyjny. Zmieni to podejście do problemu aerotriangulacji i osnow fotogrametrycznych.

Satelitarna interferometria radarowa

W lutym br. zakończyła się 9-dniowa „Radarowa misja topograficzna” promu kosmicznego Endeavour, podczas której ponad 80% powierzchni globu ziemskiego pokryto obrazami z dwóch interferometrów radarowych. Pozwoli to na opracowanie Numerycznego Modelu Rzeźby Terenu o jakości odpowiadającej średnioskalowym mapom topograficznym (więcej informacji o misji i warunkach dystrybucji wyników patrz: Z. Kurczyński: Nowa era geoinformatyki. Geodeta nr 8, sierpień 2000).

Wniosek

W zakresie działalności grupy roboczej nastąpił postęp większy od spodziewanego. Organizacje kartograficzne posiadły możliwości poprawy i przyspieszenia stanu pokrycia globu ziemskiego produktami topograficznymi.

Grupa robocza WG I/4: Badanie geosfery i biosfery przez mikrofalowe i optyczne systemy obrazowania

Obszary aktualnych zainteresowań:

1. Ocena zapotrzebowania na wyniki badań geosfery i biosfery i dostępności danych w tym zakresie z systemów satelitarnych;
2. Ocena stanu rozwoju nowych technik i technologii w projektowaniu systemów mikrofalowych.

Grupa robocza WG I/5: Zaawansowane systemy obrazowania i platformy

W ramach grupy roboczej badana jest nowa koncepcja „mikrosatelitów” dla obserwacji Ziemi. Taki satelita tzw. „Hyper-Sat” to mały, o masie do 200 kg, stosunkowo prosty i zwarty system satelitarny, ale o wydajności przewyższającej wcześniejsze generacje satelitów, zorientowany na potrzeby użytkowników ograniczone do jednej misji.

Zainteresowanie tej grupy obejmuje również „hiperspektralne” systemy obrazowania, tj. systemy wielospektralne, które zawierają ponad 30 kanałów spektralnych, pokrywających zakres widzialny, oraz bliską, średnią i termalną podczerwień. Takie systemy będą włączone do programów „małych” satelitów obserwujących powierzchnię Ziemi.

2. Obecność problematyki Komisji I na Kongresie w Amsterdamie

Na XIX Kongres nadesłano do wszystkich 7 komisji około 1300 referatów. Do Komisji I: Systemy obrazowania, platformy i obrazy” nadesłano 51 referatów. Przegląd referatów pozwala wyrobić sobie pogląd o kierunkach rozwoju i zainteresowania czołowych ośrodków fotogrametrycznych.

Zakres tematyczny referatów można podzielić na następujące główne kierunki, w kolejności według liczby nadesłanych referatów:

1. Lotnicza interferometria radarowa (InSAR) dla generowania DTM;
 2. Lotnicze kamery cyfrowe;
 3. Korekcja geometryczna i radiometryczna systemów obrazowania;
 4. Satelitarne obrazowanie radarowe (SAR);
 5. Wysokorozdzielcze satelitarne systemy obrazowania
- oraz (w dalszej kolejności):
6. Obserwacja Ziemi przez „mikrosatelity”;
 7. Fuzja danych obrazowych pozyskanych różnymi systemami;
 8. Standaryzacja danych.

Kongres odbywał się od poniedziałku 17 lipca do niedzieli 23 lipca br. W sobotę i niedzielę poprzedzające główne sesje odbywały się całodzienne „wykłady” (5 cykli tematycznych), oraz „warsztaty”. Właściwe obrady przebiegały w ramach półtoragodzinnych sesji. Sesje biegiły równolegle w kilku salach. Można wyróżnić kilka typów sesji naukowo-technicznych:

- Sesje intertechniczne (IC) łączące problematykę dwóch lub więcej komisji;
- Sesje techniczne (TC) organizowane przez poszczególne komisje;
- Interaktywne sesje posterowe (TP);
- Sesje specjalne (SS) organizowane przez Radę ISPRS;
- Pokazy wystawców (ES).

W ramach Komisji I zorganizowano 2 sesje techniczne:

1. Satelitarne systemy obrazowania kłesk żywiolowych (TC-I-01);
2. Perspektywy rozwoju platform i systemów obrazowania dla potrzeb geoinformatyki (TC-I-02);
oraz sesję posterową;
3. Rozwój i zastosowania systemów obrazowania radarowego SAR (TP-I).

Problematyka Komisji I była również obecna w licznych sesjach intertechnicznych, np.:

- Dane z wysokorozdzielczych systemów (IC-03);
- Postęp w obrazowaniu radarowym SAR (IC-01);
- Orientacja geometryczna systemów obrazowania (IC-11a);
- Kalibracja systemów obrazowania (IC-04);
- Hiperspektralne obrazowanie i zastosowania (IC-21).

Równolegle z sesjami naukowo-technicznymi trwała wystawa oraz odbywały się prezentacje producentów sprzętu i oprogramowania. Powszechne zainteresowanie wzbudziły lotnicze kamery cyfrowe prezentowane na stoiskach LH Systems i Z/I Imaging.

3. Lotnicze kamery cyfrowe

Koncepcje rozwiązań konstrukcyjnych lotniczych kamer cyfrowych

Obrazowanie kamerami cyfrowymi ma szereg zalet w porównaniu z klasycznymi zdjęciami fotograficznymi:

- Wyeliminowanie kosztownego filmu i obróbki fotolaboratoryjnej;
- Wyeliminowanie czasochłonnego i kosztownego etapu skanowania zdjęć;
- Zakres dynamiczny i rozdzielczość radiometryczna obrazów cyfrowych jest znacznie większa od filmu. Zakres dynamiczny (tj. stosunek maksymalnej wartości sygnału z elektronicznego sensora do „szumu” sygnału) jest około 3 500:1, tj. $11 \div 12$ bitów, dla porównania, ten zakres dla zdjęć skanowanych wynosi około $6 \div 7$ bitów. Ta cecha oznacza znacznie lepszą wyróżnialność szczegółów w najjaśniejszych i najciemniejszych partiach obrazu. Ma to szczególne znaczenie przy obrazowaniu miast (cienie zajmują duże partie obrazu);
- Lepsza reprodukcja barw;
- Łatwiejsza droga do obrazowania wielospektralnego (ważne dla opracowań tematycznych);
- Radykalnie skrócony czas dostarczenia obrazów do odbiorcy;

Cywilne systemy satelitarne dostarczające obrazy o globalnym pokryciu liczą sobie prawie 30 lat. Obrazy te od dawna znalazły miejsce w licznych zastosowaniach. Skoro obrazy cyfrowe mają tyle zalet, to dlaczego do tej pory nie przeniesiono bogatego doświadczenia obrazowania satelitarnego na pułap lotniczy?

Koncepcja lotniczej kamery cyfrowej jest realizowana dwiema drogami. Pierwsza to koncepcja skanera elektrooptycznego. Sensorem w takim skanerze jest linijka czułych detektorów CCD umiejscowionych w płaszczyźnie tłowej obiektywu i zorientowana prostopadle do kierunku lotu. Obraz tworzy się w sposób ciągły, w miarę ruchu postępowego samolotu (czy satelity). Z punktu widzenia potrzeb pomiarowych szczególnie interesujące i perspektywiczne są skanery z trzema linijkami detektorów, obrazującymi ten sam pas terenu: jedna obrazuje „do przodu”, druga „nadirowo” i trzecia „wstecz”. W rezultacie jednego lotu otrzymuje się trzy obrazy stereoskopowe, o dobrej wyznaczalności wysokości. O zdolności rozdzielczej obrazów decyduje liczba czułych elementów – pikseli – w linijce CCD. Dostępne są linijki liczące 12 000 elementów, w zasięgu możliwości jest podwojenie tej liczby. Pod tym względem obraz taki zbliżył się do rozdzielczości klasycznego zdjęcia lotniczego.

Obraz skanerowy tworzy się w sposób ciągły, w miarę ruchu samolotu. Geometria obrazu jest inna niż zdjęcia fotogrametrycznego i dodatkowo obarczona zniekształceniami spowodowanymi niestabilnym ruchem samolotu (ciągła zmiana położenia i orientacji kątowej). W przypadku obrazowania satelitarnego ten problem nie występuje tak drastycznie ze względu na bardzo stabilny ruch satelity. W przypadku obrazowania z pułapu lotniczego należałoby – z dużą częstotliwością – precyzyjnie rejestrować elementy orientacji zewnętrznej każdej linii obrazowej, tj. trajektorię lotu (X, Y, Z) i kąty nachylenia (ω, ϕ, χ). Brak – do niedawna – takich możliwości, szczególnie rejestracji kątów nachylenia, stanowił przeszkodę w upowszechnieniu tego rozwiązania.

Drugą przeszkodę stanowi możliwa do osiągnięcia prędkość odczytu i zapisu sygnałów z czułych elementów linijki detektorów. Ten czas limituje możliwą do uzyskania rozdzielczość obrazu, której miarą jest terenowy wymiar piksela. Mówiąc inaczej: samolot musi lecieć na tyle wolno i na tyle wysoko (większy wymiar piksela), aby nadążyć z zapisem danych.

Problemy związane ze stabilnością geometryczną obrazu są nieobecne w przypadku drugiej koncepcji: kamery z prostokątną matrycą sensorów CCD. Jest to – z geometrycznego punktu widzenia – cyfrowy odpowiednik kamery fotograficznej. W tym rozwiązaniu występuje za to inna trudność: rozmiar tablicy CCD. Matryca ekwiwalentna pod względem rozdzielczości kamerze lotniczej musiałaby zawierać około 500 mln elementów ($23\ 000 * 23\ 000!$). Nic nie zapowiada pojawienia się takich sensorów w najbliższym czasie. Matrycę CCD produkuje się na „plastrze” półprzewodnika. Do niedawna bazowano na technologii „4-ro calowej” (średnica plastra), co pozwalało na produkcję tablic kwadratowych o wymiarach $60 * 60$ mm ($4K * 4K$ pikseli przy wymiarach piksela $15\ \mu\text{m}$). Obecnie dostępna technologia „5-cio calowa” pozwala produkować tablice o wymiarach $80 * 80$ mm ($9K * 9K$ przy pikselu $8.75\ \mu\text{m}$). Technologia „6-cio calowa” jest w fazie eksperymentów. W tej technologii zbudowano tablice CCD o rozdzielczości $10K * 5K$. W przypadku kamer z tablicami CCD aktualne pozostają ograniczenia związane z prędkością odczytu i zapisu sygnałów z sensorów.

Określenie elementów orientacji w locie. Integracja danych GPS/INS

Przeszkodą pomiarowego wykorzystania lotniczych obrazów skanerowych jest trudność dokładnej rejestracji trajektorii lotu i kątów nachylenia skanera. Rozwiązaniem jest zintegrowanie dwóch systemów: GPS i INS (Internal Navigation System). System GPS

pozwala rejestrować trajektorię lotu (X, Y, Z) z dokładnością nie gorszą niż 10 cm. Inercjalny system nawigacyjny INS mierzy przyspieszenia wzdłuż trzech osi, oraz zmiany kątowych pochyłeń kamery. Ciągłe integrowanie (sumowanie) tych pomiarów w czasie pozwala wyznaczyć bardzo dokładnie trajektorię lotu samolotu (z błędem rzędu 2 cm) i kąty pochylenia. Wadą systemów INS jest dryft, powodujący spadek dokładności pomiaru pozycji i kątów nachylenia z upływem czasu. Ten błąd systematyczny może być korygowany z danych GPS, zachowujących wysoką i stabilną w czasie dokładność. Z kolei dane INS są wykorzystywane do interpolacji pozycji podczas możliwych, krótkich przerw w łączności z satelitami GPS (np. „przesłonięcie” satelity skrzydłem samolotu podczas manewru nawrotu).

Systemy GPS i INS charakteryzują się więc różną i komplementarną propagacją błędów. Ich integracja jest realizowana w procesie obróbki zarejestrowanych danych z wykorzystaniem filtrowania Kalmana. Pozwala to wykorzystać zalety obu systemów. Stosowane w fotogrametrii systemy bazują na dostępnych na rynku systemach GPS i średniej klasy systemach INS (odgrywa tu rolę cena: cena systemu INS niskiej klasy jest rzędu 10 tys. USD, średniej klasy – 100 tys. USD, a wysokiej klasy - 1 mln USD). Liczne opracowania testowe wskazują, że zintegrowanie systemów GPS/INS pozwala obecnie z dużą częstotliwością (rzędu 50 ÷ 250 Hz) rejestrować położenie z dokładnością lepszą niż 10 cm i kąty orientacji z dokładnością 10" ÷ 30" tj. 0.003° ÷ 0.008°. (Niektórzy autorzy cytując wyniki eksperymentalnych opracowań podają nawet wyższe dokładności: błędy katowe poniżej 10"). Taka precyzja jest zbliżona do dokładności wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć fotogrametrycznych określanych w procesie aerotriangulacji blokowej. Jest to więc dokładność wystarczająca dla potrzeb lotniczych kamer cyfrowych z liniijką detektorów.

Kamery prezentowane na Kongresie

Dwóch głównych „aktorów” rynku producentów kamer lotniczych: firma LH Systems i Z/I Imaging już na rok przed Kongresem zapowiedziały zaprezentowanie lotniczej kamery cyfrowej. Takie zapowiedzi z prezentacją parametrów prototypów kamer miały miejsce podczas „Tygodnia Fotogrametrycznego” w Stutgarcie – wrzesień 1999 r. (więcej informacji patrz: Z. Kurczyński: Lotnicze kamery cyfrowe – stan obecny i perspektywy. Geodeta nr 11, listopad 1999). Zapowiedzi te potwierdzono w publikacjach (GIM International, październik 1999, sierpień 2000). Informacje na ten temat można było również znaleźć w witrynach internetowych firm. Te informacje nie tylko nie zaspakajały zainteresowania środowiska fotogrametrycznego, ale jeszcze wzmagaly oczekiwanie na kongresowe prezentacje.

Modułowa Kamera Cyfrowa DMC 2001

Modułowa Kamera Cyfrowa DMC 2001 (DMC – Digital Modular Camera) firmy Z/I Imaging bazuje na prostokątnej tablicy detektorów CCD. Dla zwiększenia rozdzielczości i pola widzenia wykorzystano koncepcję kamery wieloobiektywowej, w tym przypadku są to 4 kamery-moduły panchromatyczne, tak względem siebie zorientowane, że dają obrazy z minimalnym wzajemnym pokryciem. W procesie obróbki wstępnej z tych czterech obrazów generowany jest jeden obraz "wirtualny" o geometrii zgodnej z rzutem środkowym. Oprócz modułów panchromatycznych kamera zawiera dodatkowo do 4. modułów wielospektralnych, obrazujących w zakresie niebieskim, zielonym, czerwonym i podczerwonym. Pole widzenia tych modułów pokrywa się z polem widzenia zespołu panchromatycznego. Istotną cechą tego rozwiązania jest jego modułowość: można – zależnie od potrzeb – wykorzystywać wybrane z modułów. Kamera wykorzystuje standardowe zawieszenie stabilizowane T-AS, używane

z kamerą lotniczą RMK-Top, również rozmiary i ciężar kamery (50 do 80 kg, zależnie od liczby modułów) są zbliżone do tej kamery lotniczej. Kamera posiada system kompensacji rozmazania FMC.

Zdolność rozdzielcza kamery jest ograniczona wymiarami i rozdzielczością dostępnych na rynku tablic CCD. W przyszłości, kiedy pojawią się tablice o wyższej rozdzielczości, kilka modułów panchromatycznych będzie zastąpionych jedną kamerą.

Zaletą rozwiązania jest prosta geometria zdjęć. Pod tym względem jest to cyfrowa wersja kamery tradycyjnej. Oznacza to, że nie są konieczne zmiany w używanych dotychczas cyfrowych technologiach opracowania skanowanych zdjęć lotniczych.

Tabela 1. Podstawowe parametry kamery DMC-2001

Liczba głowic optycznych	Wymiary tablicy CCD [piksel]	Pole widzenia [°]
Moduł panchromatyczny: f = 120 mm, f : 4,0, cykl pracy: 2 s/obraz		
P 1 (1 obiektyw)	7 000 x 4 000	39° x 22°
P 2 (2 obiektywy)	7 000 x 7 500	39° x 42°
P 4 (4 obiektywy)	13 500 x 8 000	74° x 44°
Moduł wielospektralny: f = 25 mm, f : 4,0, cykl pracy: 2 s/obraz rozdzielczość radiometryczna: 12 bit		
RGB (3 obiektywy)	3 000 x 2 000	72° x 50°
RGB + IR (4 obiektywy)	3 000 x 2 000	72° x 50°

Zaprezentowana kamera wejdzie na rynek w roku 2001 (stąd nazwa kamery DMC-2001).

LH2 System ADS40

Lotnicza Kamera Cyfrowa ADS40 (Airborne Digital Sensor – ADS) została zaprezentowana przez firmę LH Systems. Powstała we współpracy z Niemieckim Centrum Kosmicznym DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). Konstrukcja tej kamery wykorzystuje koncepcję skanera elektrooptycznego z 3. linijkami detektorów CCD i bazuje na doświadczeniach kamer WAOSS zbudowanych dla misji marsjańskich.

Jest to więc kamera w płaszczyźnie tłowej której znajdują się 3 linijki panchromatyczne, obrazujące równocześnie „do przodu”, „nadirowo” i „wstecz”. Dla zwiększenia rozdzielczości w miejsce każdej linijki znajdują się obok siebie dwie linijki o długości 78 mm, każda zawierająca 12 000 pikseli, przesunięte względem siebie o pół piksela. W rezultacie uzyskuje się równocześnie 3 obrazy stereoskopowe, każdy o rozdzielczości 24 000 pikseli. Oznacza to, że – pod względem rozdzielczości – jakość obrazów dorównuje jakości zdjęć wykonanych kamerą fotogrametryczną. W płaszczyźnie tłowej w położeniu „nadirowym” znajdują się dodatkowo 4 linijki dające obrazy wielospektralne w zakresie niebieskim, zielonym, czerwonym i podczerwonym. Dla tej kamery został skonstruowany specjalny obiektyw, tzw. telecentryczny, spełniający specyficzne wymogi rejestracji cyfrowej, który projektuje obraz na linijki CCD „frontalnie” (tj. prostopadle do płaszczyzny tłowej), z dichroicznym układem dyspersyjnym dla kanałów wielospektralnych. O złożoności tego obiektywu może świadczyć to, że chociaż jest to obiektyw „półnormalnokątny” o ogniskowej $f=62$ mm pokrywający mniejszą powierzchnię niż kamera lotnicza, to jego rozmiary i waga są porównywalne z obiektywami kamery RC30.

Problem określenia elementów orientacji zewnętrznej – kluczowy dla konstrukcji typu skaner - rozwiązano poprzez zintegrowanie systemów GPS i INS dostarczonego przez

czołowego producenta takich systemów – firmę Applanix. Pozwala to precyzyjnie określać położenie kamery i kąty nachylenia dla każdej linijki obrazu.

Tabela 2. Podstawowe parametry kamery ADS40

Długość ogniskowej	62,5 mm
Wymiary piksela (w kier. lotu)	6,5 μ m
Linia panchromatyczna (przesunięta)	2 x 12 000 pikseli
Linie RGB i IR	12 000 pikseli
Kąt widzenia (w poprzek lotu)	64 ⁰
Kąt wcinający „do przodu” i „nadir”	26 ⁰
Kąt wcinający „do przodu” i „wstecz”	42 ⁰
Kąt wcinający „nadir” i „wstecz”	16 ⁰
Zakresy spektralne	czerwonony 608-662 nm zielony 533-587 nm niebieski 428-492 nm NIR 1 703-757 nm NIR 2 833-887 nm
Zakres dynamiczny	12 bit
Rozdzielczość radiometryczna	8 bit
Piksel terenowy (dla wys. lotu 3000 m)	16 cm
Szerokość obrazowanego pasa (dla wys. lotu 3000 m)	3,75 km
Częstotliwość odczytu linii obrazu	200-800 Hz
Pojemność pamięci masowej podczas misji	200-500 GB (do 4 godz. lotu)

Kamera ADS40 jest kompatybilna z innymi produktami firmy: wykorzystuje stabilizowane zawieszenie PAV-30, system zarządzania misją fotolotniczą ASCOT, a obrazy mogą być opracowywane na stacji SOCET SET®. Na ciągłość linii produkcyjnej wskazuje sama nazwa kamery ADS40, to kolejna – już cyfrowa – lotnicza kamera, po RC10, RC20 i RC30.

Podczas Kongresu wygłoszono kilka referatów z opisem i wynikami testowania właściwości geometrycznych i radiometrycznych kamery. Na stoisku zaprezentowano kamerę w działaniu. Na podkreślenie zasługuje fakt, że kamera jest kamerą komercyjną, wypuszczoną na rynek.

4. Podsumowanie

1. Umieszczenie na orbicie pierwszego, komercyjnego, „metrowego” systemu satelitarnego oznacza niewątpliwie rozpoczęcie nowej ery geoinformatyki. System IKONOS już obrazuje 80-100 tys. km² dziennie;
2. Wchodzą w użycie lotnicze kamery cyfrowe. Nie należy jednak oczekiwać, że zastąpią one szybko kamery tradycyjne. Przewiduje się, że w ciągu najbliższych 5 – 10 lat oba podejścia będą koegzystować z właściwymi sobie zakresami zastosowań, z ewolucyjnym przechodzeniem na kamery cyfrowe;
3. Precyzyjne określanie elementów orientacji zewnętrznej platform obrazowych poprzez integrację systemów GPS i INS osiągnęło poziom operacyjny. Zmieni to podejście do aerotriangulacji i osnów fotogrametrycznych;
4. Interferometria radarowa osiągnęła operacyjny poziom, co ma szczególne znaczenie dla obszarów zachmurzonych;

5. Lutowa misja promu kosmicznego Endeavour z interferometrami radarowymi pokryła 80% globu obrazami umożliwiającymi wygenerowanie DTM o jakości średnioskalowych map topograficznych. Zapowiedziano łatwy i powszechny dostęp do wyników misji.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Józef Jachimski