

Lotnicza cyfrowa kamera fotogrametryczna

# Nowe wyzwania i szanse

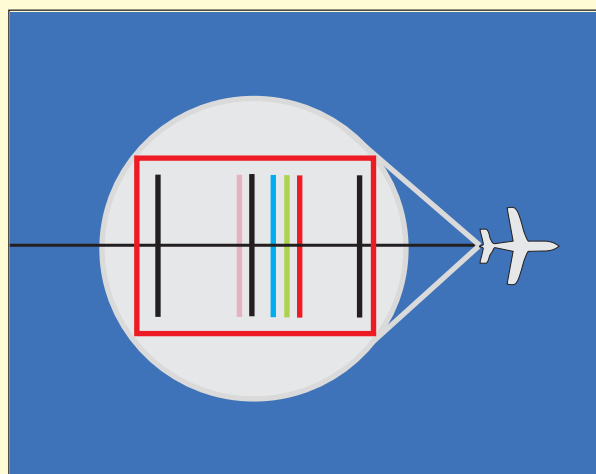
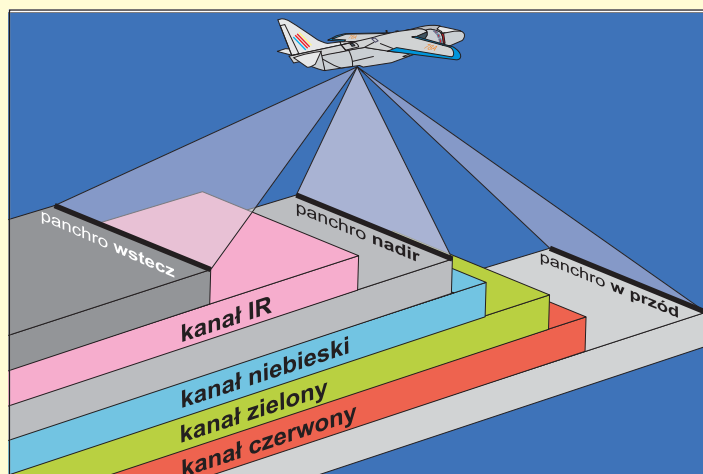
**ZDZISŁAW KURCZYŃSKI**

Jeszcze kilka lat temu trudna do wyobrażenia była – jako produkt rynkowy – lotnicza kamera cyfrowa dająca obrazy zbliżone pod względem jakości geometrycznej i radiometrycznej do zdjęć wykonywanych tradycyjnymi kamerami fotogrametrycznymi. Tymczasem w lipcu br. podczas Kongresu Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w Amsterdamie zostały zaprezentowane produkcyjne egzemplarze takich kamer. Co to oznacza?

Do niedawna jednym z hamulców rozwoju lotniczej fotogrametrii cyfrowej były niewielkie wymiary i liczba czułych elementów (pikseli) prostokątnych matryc CCD, nieporównywalne z typowym formatem kamer fotogrametrycznych (23 x 23 cm).

A gdyby nawet udało się skonstruować odpowiednio duże matryce, to nie do rozwiązania wydawał się problem szybkości transmisji olbrzymich zbiorów danych i ich zapisu w czasie rzeczywistym. Wprawdzie satelitarne cyfrowe systemy

obrazowania odniosły sukces, ale były to rozwiązania zbyt kosztowne, aby przenieść je na pułap lotniczy. W dodatku systemy satelitarne oparte są na koncepcji skanera elektrooptycznego, w której „czułym” elementem jest linijka elementów, a nie prostokątna matryca. Obraz dynamiczny tworzy się w sposób ciągły, w miarę ruchu satelity. To rozwiązanie jest możliwe w kosmosie, ponieważ ruch satelity jest bardzo stabilny. Taki skaner umieszczony na pokładzie samolotu dałby obraz obarczony bardzo znacznymi zniekształceniami spowodowanymi niestabilnym ruchem maszyny. Konieczny byłby precyzyjny pomiar elementów orientacji skanera (trajektoria lotu i kąt nachylenia) odbywający się z dużą częstotliwością i umożliwiający ich wyznaczenie praktycznie dla każdej linii obrazowania. Kilka lat temu takiej możliwości nie było.



Rys. 1. Obrazowanie skanerem elektrooptycznym czarno-białe stereoskopowe i barwne

Dzisiaj postęp technologiczny umożliwia to, co było niewyobrażalne jeszcze kilka lat temu. W przypadku fotogrametrii cyfrowej dotyczył on:

- produkcji linijek i matryc sensorów CCD,
- szybkości transmisji i zapisu sygnałów z elementów CCD na nośniki pamięci masowej,
- pomiaru elementów orientacji liniowej (położenie) i kątowej platformy, na której umieszczona jest kamera,
- budowy i upowszechnienia cyfrowych stacji fotogrametrycznych do opracowania zdjęć.

Od kilku lat na świecie prowadzone są eksperymentalne prace nad zbudowaniem lotniczej kamery cyfrowej. Ponad 3 lata temu czołowe firmy na rynku producentów kamer lotniczych (LH Systems i Z/I Imaging) uznały, że nadszedł odpowiedni moment, by intensywnie włączyć się w ten nurt. Priorytetowym celem stało się wyprodukowanie komercyjnej lotniczej kamery cyfrowej. O postępach prac środowisko fotogrametryczne było informowane przy okazji międzynarodowych spotkań. Podczas Tygodnia Fotogrametrycznego w Stuttgarcie we wrześniu ub.r. zapowiedziano prezentację kamer cyfrowych na Kongresie MTFiT w Amsterdamie. Artykuły w prasie specjalistycznej (m.in. „GIM International” 10/1999, 5/2000, 7/2000) oraz witryny internetowe producentów tylko „podgrzewały” oczekiwania środowiska. [O stanie zaawansowania prac nad lotniczą kamerą cyfrową Z. Kurczyński pisał w GEODECIE 11/99 – red.] Tę atmosferę zainteresowania i dyskusje wzmacniał fakt, że niezależnie rozwijane są dwie, istotnie różniące się, koncepcje budowy kamery cyfrowej.

Zgodnie z zapowiedziami podczas XIX Kongresu MTFiT w Amsterdamie zostały zaprezentowane produkcyjne modele kamer cyfrowych, które stały się niewątpliwym „hitem” wystawy kongresowej.

### Koncepcje konstrukcyjne

Rozwój koncepcji i rozwiązań konstrukcyjnych kamer cyfrowych poszedł w dwóch istotnie różniących się kierunkach.

**Pierwsza koncepcja** oparta jest na prostokątnej tablicy (matrycy) czułych elementów (sensorów), umiejscowionej w płaszczyźnie tłowej kamery, tj. w miejscu, gdzie dotychczas był film. Kameralną uzyskuje się zdjęcia (obrazy) kadrowe. Jest to więc geometryczny odpowiednik tradycyjnej kamery. Proces planowania i realizacji lotu fotogrametrycznego również nie różni się istotnie od tego, co



Rys. 2. Obraz otrzymany za pomocą skanera elektrooptycznego ADS40: oryginalny (bez żyrostabilizacji) i po rektyfikacji

znaliśmy dotychczas. Uzyskane kadrowe zdjęcia można w procesie technologicznym opracowania fotogrametrycznego traktować jak tradycyjne zdjęcia lotnicze po zeskanowaniu. Głównym ograniczeniem tego rozwiązania są wymiary i rozdzielczość dostępnych na rynku matryc CCD, pozostające daleko w tyle za tym, co oferuje tradycyjna wielkoformatowa kamera lotnicza [Kurczyński, 2000]. Ograniczenie to można złagodzić, budując zespół kamer tworzących obrazy z minimalnym wzajemnym pokryciem (np.  $2 \times 2 = 4$  kamery), co zwiększa obrazowany obszar i wynikową zdolność rozdzielczą. Dodatkowe moduły mogą umożliwić obrazowanie barwne.

**Druga koncepcja** oparta jest na idei skanera elektrooptycznego. W płaszczyźnie tłowej obiektywu, prostopadle do kierunku lotu, umieszczona jest linijka czułych elementów CCD (a nie tablica). Jest to koncepcja zapożyczona z rozwiązań od dawna stosowanych w kosmosie. Takim skanerem satelita obrazuje w sposób ciągły pas terenu. Jest to więc obraz „dynamiczny”, o geometrii różnej od geometrii rzutu środkowego (właściwego kamerom tradycyjnym). Obraz taki jest obciążony dodatkowymi dynamicznymi zniekształceniami spowodowanymi niestabilnym ruchem platformy. Ma to szczególne znaczenie w przypadku obrazowania z pułapu lotniczego w związku z silnymi zakłóceniami lotu samolotu. Dla wyeliminowania tych zakłóceń konieczny jest precyzyjny i bardzo częsty pomiar trajektorii lotu (X, Y, Z) i kątów nachylenia ( $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\chi$ ), tak aby w procesie późniejszej obróbki wstępnej skorygować położenie każdej linii obrazowej (rys. 2). Dopiero od niedawna taki pomiar jest możliwy z wystarczającą dokładnością.

Dla celów pomiarowych skaner posiada w płaszczyźnie tłowej zwykle nie jedną, lecz 3-5 linijek CCD. Jedna z nich obrazuje w kierunku „do przodu”, druga „nadiowo”, a trzecia „wstecz”. Uzyskuje się więc równocześnie 3 obrazy dające do-

bry efekt stereoskopowy i możliwość opracowań przestrzennych. Dodatkowe linijki CCD umieszczone w płaszczyźnie tłowej rejestrują dane w różnych zakresach spektralnych i pozwalają uzyskać barwny obraz (rys. 1).

## Porównanie obu koncepcji kamery cyfrowej

Próbując odpowiedzieć na pytanie, która z dwóch przedstawionych koncepcji konstrukcji kamery cyfrowej oferuje lepsze rozwiązanie, należy zauważyć, że każda z nich ma wiele zalet, ale i pewne ograniczenia.

### Kamera cyfrowa z matrycą CCD:

1. Jest prostsza w konstrukcji i bardziej dopasowana do istniejących technologii opracowania danych. Ta zaleta nie jest jednak tak oczywista, jeśli bierze się pod uwagę zespół kamer z matrycami CCD, złożony z kilku modułów panchromatycznych i kilku wielospektralnych.

2. Jej ograniczeniem jest rozmiar i rozdzielczość matryc CCD, których produkcja wciąż jest w fazie doskonalenia, a koszty szybko rosną wraz ze wzrostem wymiarów (stosunkowo dużo pikseli w matrycach jest wadliwych i na etapie produkcji są one odrzucane). Nie należy się spodziewać w bliskiej przyszłości wyprodukowania matryc o rozdzielczości porównywalnej z rozdzielczością tradycyjnego zdjęcia. Matryca taka musiałaby mieć wymiary około 20 000 x 20 000 elementów. Wyjściem jest łączenie kilku niezależnych kamer w zespół (z nieznacznym pokryciem ich pola widzenia). To oczywiście komplikuje rozwiązanie i podnosi jego koszty.

3. Zespół kamer z matrycami CCD jest bardziej modułowy i skalowalny. To pozwala lepiej dopasować kamerę do potrzeb użytkownika oraz rozłożyć w czasie rozbudowę kamery i związane z tym koszty.

4. Kamera nie wymaga współdziałania z precyzyjnym systemem GPS/INS (choć dałby on dodatkowe korzyści).

5. Kamera wymaga systemu kompensacji rozmycia obrazu spowodowanego ruchem samolotu podczas ekspozycji.

6. Obraz z matrycy CCD jest bardziej dopasowany do istniejących cyfrowych technologii fotogrametrycznych.

### Kamera z trzema linijkami CCD:

1. Produkcja linijek sensorów CCD jest dobrze opanowana, co daje potencjalnie większą zdolność rozdzielczą, większy wymiar piksela oraz lepszy stosunek szumu do sygnału, a w efekcie oznacza lepszą radiometryczną zdolność rozdzielczą.

2. Obrazy wielospektralne tworzone są przez ten sam obiektyw i mają identyczną geometrię. Pozwala to uzyskać idealną kompozycję barwną (obraz barwny), bez ewentualnej kolorowej obwódki charakterystycznej dla kompozycji powstałej z wyciągów pozyskanych z niezależnych kamer.

3. Większa zdolność rozdzielcza linijki CCD umożliwia obrazowanie szerszego pasa terenu przy zadanym terenowym wymiarze piksela. Obniża to koszty misji fotolotniczej.

4. Łatwiejsze jest uzyskiwanie tzw. prawdziwego ortofoto (*true orthophoto*). W tradycyjnej ortofotomapie elementy „wystające” z powierzchni terenu (budynki, drzewa itp.) odwzorowane są w rzucie środkowym. Ten efekt jest szczególnie widoczny w przypadku wielkoskalowych ortofotomap obszarów z wysoką zabudową (tylko przyziemie budynku jest położone zgodnie z rzutem ortogonalnym, dach jest przesunięty, widać boczne ściany budynku). Ten niekorzystny efekt można „naprawić” w procesie produkcji ortofotomapy, przesuwając dach budynku zgodnie z rzutem ortogonalnym oraz uzupełniając brakujące obrazy terenu (przesłonięte wysokim budynkiem) fragmentami z sąsiednich zdjęć. Wymaga to projektowania nalołów z większym pokryciem poprzecznym, specjalistycznego oprogramowania do ortorektifikacji i kompilacji ortofotomapy z wielu zdjęć. Obrazy z kamery cyfrowej z linijką CCD uproszczą ten proces.

	Kamera z trzema linijkami CCD	Kamera z matrycą CCD
Typowy wymiar sensora CCD	Linijka CCD o długości 100 mm	Matryca CCD 60 x 60 mm
Typowa rozdzielczość (liczba pikseli)	10 000 (mono lub kolor)	4000 x 4000 (9000 x 9000)
Technologia produkcji sensora CCD	Bardzo dobrze opanowana	Nadal w fazie rozwoju
Geometria obrazu	Złożona	Bardzo dobrze poznana
Kalibracja geometryczna	Opanowana	Opanowana
Jakość radiometryczna	Wyśmienita	Bardzo dobra
Możliwość obrazowania barwnego	Łatwo osiągalna	Nieco złożona
Współdziałanie z systemem GPS/INS	Konieczne	Opcjonalne
Dostępność hardware'u do pozyskiwania obrazów	Obecnie dostępny	Obecnie dostępny
Dostępność software'u do przetwarzania wstępnego i opracowania	Wymaga dalszego dopracowania	Już dostępny

Tabela 1. Porównanie kamer cyfrowych z matrycą CCD i linijkami CCD [Loedeman, 2000]

5. Każdy obiekt terenowy obrazowany jest 3-krotnie, co pozwala wykorzystywać korelację trzech obrazów stereoskopowych w procesie automatycznej aeriotriangulacji i budowy NMT. Poprawia to jakość i niezawodność tych procesów.

6. Obraz ze skanera obarczony jest dużymi zniekształceniami spowodowanymi niestabilnym ruchem samolotu. Wymaga to precyzyjnej rejestracji trajektorii lotu (X, Y, Z) i kątów nachylenia ( $\omega, \phi, \chi$ ). Od niedawna jest ona możliwa dzięki integracji systemów GPS i INS (inercjalny system nawigacyjny), ale rozwiązanie jest kosztowne (150-200 tys. dolarów) i wymaga korekcji oryginalnego obrazu (rys. 2).

7. Obraz ze skanera elektrooptycznego ma inną geometrię niż tradycyjne zdjęcie. Konieczne są zatem pewne modyfikacje istniejących algorytmów, aby dopasować tę geometrię do powszechnie używanych ciągów technologicznych. Pewną pomocą może tu być rozwój i uogólnienie satelitarnych obrazów „metrycznych” o identycznej geometrii.

Syntetyczne porównanie obu koncepcji kamery cyfrowej prezentuje tabela 1. Podsumowując, można zauważyć, że opisane wyżej rozwiązania wychodzą naprzeciw wymogom praktycznie całego asortymentu produkcji fotogram-



Rys. 3. Modułowa Kamera Cyfrowa DMC 2001 – Z/I Imaging: widok ogólny i od strony ramek tłowych



Rys. 4. Obraz otrzymany kamerą DMC 2001 (ogniskowa  $f = 50$  mm, wysokość lotu  $h = 300$  m, prędkość lotu  $v = 70$  m/s, piksel  $12 \mu\text{m}$ , piksel terenowy  $7$  cm, rozmycie obrazu  $7$  pikseli – skutecznie wyeliminowane)

trycznej oraz – dodatkowo – potrzebom tematycznych opracowań teledetekcyjnych.

### Modułowa Kamera Cyfrowa DMC 2001

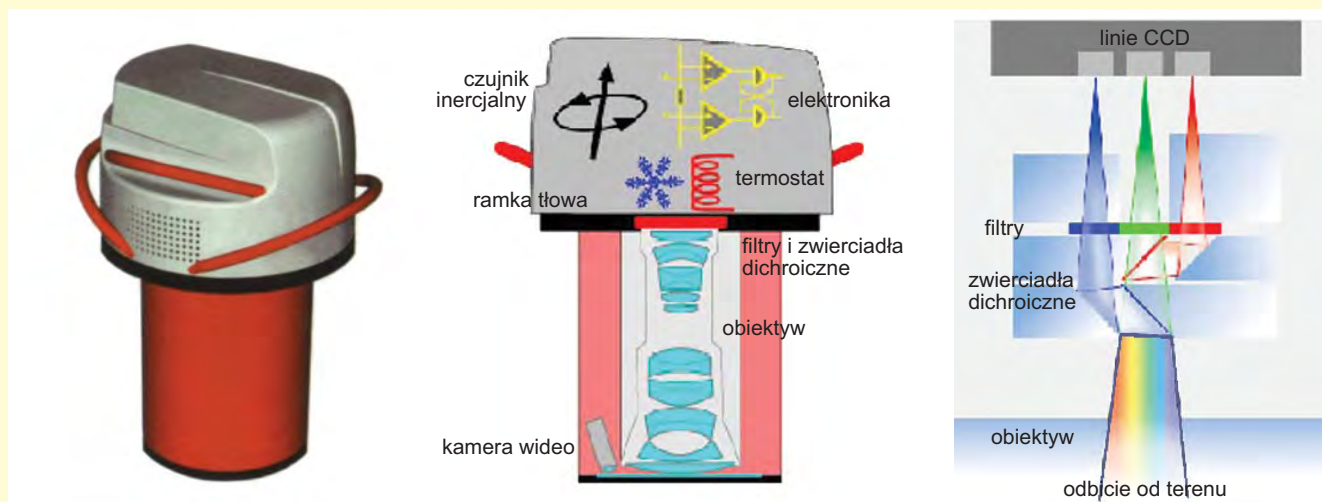
Modułowa Kamera Cyfrowa DMC 2001 (*Digital Modular Camera*) firmy Z/I Imaging bazuje na prostokątnej tablicy detektorów CCD (rys. 3). Dla zwiększenia rozdzielczości i pola widzenia wykorzystano koncepcję kamery wieloobiektywowej. W tym przypadku są to 4 kamery-moduły panchromatyczne, tak zorientowane względem siebie, 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 może zawierać dodatkowo do 4 modułów wielospektralnych obrazujących w zakresie niebieskim, zielonym, czerwonym i podczerwonym (ich pole widzenia pokrywa się z polem widzenia zespołu panchromatycznego). Istotną cechą tego rozwiązania jest jego modułowość (zależnie od potrzeb można wykorzystywać wybrane moduły).

DMC 2001 wykorzystuje standardowe zawieszenie stabilizowane T-AS używane z kamerą lotniczą RMK-Top. Również rozmiary i ciężar obu kamer (50 do 80 kg, zależnie od liczby modułów) są zbliżone. DMC 2001 ma system kompensacji rozmycia oparty na elektronicznym systemie integracji obrazu z opóźnieniem czasowym TDI (*Time Delayed Integration*). Jego istota sprowadza się do odczytu syg-

Liczba głowic optycznych	Wymiary tablicy CCD [piksel]	Pole widzenia [°]
<b>Moduł panchromatyczny:</b>		
obiektyw	$f = 120$ mm, $f : 4,0$	cykl pracy: 2 s/obraz
wymiar piksela	$6 \times 6 \mu\text{m}$	
P 1 (1 obiektyw)	$7000 \times 4000$	$39^\circ \times 22^\circ$
P 2 (2 obiektywy)	$7000 \times 7500$	$39^\circ \times 42^\circ$
P 4 (4 obiektywy)	$13\,500 \times 8000$	$74^\circ \times 44^\circ$
<b>Moduł wielospektralny:</b>		
obiektyw	$f = 25$ mm, $f : 4,0$ ,	cykl pracy: 2 s/obraz
wymiar piksela	$12 \times 12 \mu\text{m}$	
rozdzielczość radiometryczna	12 bitów	
RGB (3 obiektywy)	$3000 \times 2000$	$72^\circ \times 50^\circ$
RGB + IR (4 obiektywy)	$3000 \times 2000$	$72^\circ \times 50^\circ$

Tabela 2. Podstawowe parametry kamery DMC-2001 [Hinze, 2000]



Rys. 5. Lotnicza Kamera Cyfrowa ADS40 – LH Systems. Od lewej: widok ogólny schematu modułu optycznego, schemat układu dyspersyjnego

nałów z kolejnych wierszy tablicy CCD synchronicznie z przesuwem obrazu w płaszczyźnie tłowej. Skuteczność tego systemu ilustruje rys. 4.

Zdolność rozdzielcza urządzenia 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. Zaprezentowana kamera wejdzie na rynek w roku 2001.

## Lotnicza Kamera Cyfrowa ADS40

Zaprezentowana przez firmę LH Systems Lotnicza Kamera Cyfrowa ADS40 (*Airborne Digital Sensor*) (rys. 5) powstała w współpracy z Niemieckim Centrum Kosmicznym DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*). Konstrukcja tego urządzenia wykorzystuje koncepcję skanera elektrooptycznego z trzema linijkami detektorów CCD i bazuje na doświadczeniach kamer WAOSS zbudowanych dla misji marsjańskich. W jego płaszczyźnie tłowej znajdują się 3 linijki panchromatyczne obrazujące równocześnie „do przodu”, „nadirowo” i „wstecz” (rys. 1). Dla zwiększenia rozdzielczości w miejscu każdej linijki znajdują się obok siebie dwie linijki (odległości 78 mm, każda zawierająca 12 000 pikseli) przesunięte względem siebie o pół piksela. W rezultacie uzyskuje się równocześnie 3 obrazy stereoskopowe, każdy o rozdziel-

czości 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 rejestra-

cji cyfrowej. Projektacja obrazu na linijki CCD odbywa się „frontalnie” (tj. prostopadle do płaszczyzny tłowej). Przed płaszczyzną tłową znajduje się układ dyspersyjny dla kanałów wielospektralnych, w którym układ zwierciadeł dichroicznych rozszczepia promień na zakres niebieski, zielony i czerwony, a następnie kieruje je poprzez barwne filtry interferencyjne na linijki CCD obrazowania wielospektralnego (rys. 5). Jasność obiekty-

Obiektyw	ogniskowa:	f = 62,5 mm
	jasność:	1:4
	zdolność rozdzielcza:	150 par linii/mm
Wymiar piksela (w kier. lotu)	6,5 μm	
Linia panchromatyczna (przesunięta)	2 x 12 000 pikseli	
Linie RGB i IR	12 000 pikseli	
Kąt widzenia (w poprzek lotu)	64°	
Kąt wcinający „do przodu” i „nadir”	26°	
Kąt wcinający „do przodu” i „wstecz”	42°	
Kąt wcinający „nadir” i „wstecz”	16°	
Zakresy spektralne	panchromatyczny	465-680 nm
	czerwony	608-662 nm
	zielony	533-587 nm
	niebieski	428-492 nm
	NIR 1	703-757 nm
	NIR 2	833-887 nm
Zakres dynamiczny	12 bitów	
Rozdzielczość radiometryczna	8 bitów	
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	
Częstotliwość pomiaru elementów orientacji	200 Hz	
Pojemność pamięci masowej podczas misji	200-500 GB (do 4 godz. lotu)	
Masa kamery	moduł optyczny SH40:	70 kg
	jednostka kontrolna CU40:	22 kg
	jednostka pamięci masowej MM40:	3 kg
	interfejs operatora IO40:	8 kg

Tabela 3. Podstawowe parametry kamery ADS40 [Sandau, 2000]

wu wynosi 1:4, a zdolność rozdzielcza – 150 par linii/mm. O jego złożoności może świadczyć to, że chociaż jest „półnormalnokątny” (ogniskowa  $f=62$  mm) i pokrywa mniejszą powierzchnię niż kamera lotnicza, to jego rozmiary i waga są porównywalne z obiektywami kamery RC30.

Wyznaczenie elementów orientacji zewnętrznej – kluczowe dla konstrukcji typu skaner – przestało być problemem dzięki zintegrowaniu rozwiązań GPS i INS dostarczonych przez producenta takich systemów – firmę Applanix. Czujnik INS zintegrowany jest z ramką tłową kamery. Pozwala to precyzyjnie określać położenie kamery i kąty nachylenia dla każdej liniiki obrazu wykorzystywane następnie do korekcji geometrycznej (rys. 2).

Czynnikiem limitującym terenową zdolność rozdzielczą obrazów jest czas odczytu sygnałów z liniiki CCD i prędkość lotu samolotu. Dla kamery ADS40 częstotliwość odczytu linii wynosi około 800 Hz (czas odczytu linii 1,2 ms). Dla prędkości lotu 370 km/h daje to terenowy wymiar piksela równy 15 cm.

Kamera posiada hardware'owy system kompresji danych (2-20 razy). Transmisja danych do komputera pokładowego

odbywa się poprzez łącze światłowodowe o przepustowości 40 MB/s.

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. Klientom rozwijającym własne oprogramowanie do przetwarzania obrazów, ADS40 LH Systems będzie oferować zestaw koniecznych informacji i danych o nazwie InfoKit. Na ciągłość linii produkcyjnej wskazuje sama nazwa urządzenia: ADS40 to kolejna po RC10, RC20 i RC30 – już cyfrowa – kamera lotnicza.

Podczas kongresu amsterdamskiego ogłoszono kilka referatów z opisem i wynikami testów właściwości geometrycznych i radiometrycznych kamery. Na wystawie komercyjnej zaprezentowano urządzenie w działaniu. Są już doniesienia o sprzedaży pierwszych egzemplarzy.

## Lotnicza Kamera Cyfrowa HRSC

Doświadczenie Niemieckiego Centrum Kosmicznego DLR w budowie skanerów elektrooptycznych dla misji marsjańskich, wy-

korzystane we wspomnianych pracach nad ADS40, przyczyniło się do równoległego powstania Lotniczej Stereoskopowej Kamery Wysokiej Rozdzielczości HRSC-A (*High Resolution Stereo Camera – Airborne*) [Lehmann, 2000]. Jest to wąskokątna kamera oparta na idei skanera elektrooptycznego. Ma aż 5 (!) liniiek detektorów obrazujących w zakresie panchromatycznym i 4 liniiki wielospektralne obrazujące w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni (tabela 4).

Pierwsze próby lotnicze miały miejsce w maju 1997 r. Od tego czasu producent kamery intensywnie eksploatuje ją produkcyjnie, współpracując przy tym z francuską firmą ISTAR, a ostatnio również holenderską firmą Geodan Geodesic. Dotychczas zobrazowano i opracowano ponad 50 (!) miast europejskich. Obecnie kamera obrazuje miasta amerykańskie. Z tego bogatego doświadczenia produkcyjnego wynika, że kamera umożliwia tworzenie ortofotomap i numerycznych modeli terenu z dokładnością 10-20 cm. Dla wysokości lotu 6000 m kamera obrazuje pas terenu o szerokości 1250 m przy terenowym wymiarze piksela 24 cm, co pozwala wykonywać opracowania o dokładności sytuacyjnej 20 cm i wysokościowej 30 cm. Produkty takie znajdują zastosowanie m.in. w kartowaniu obsza-

# DLACZEGO ZA DARMO?...

**Aby skaner był naprawdę Funkcjonalny!**

Jeden z najlepszych na świecie programów do obróbki i kalibracji plików rastrowych dajemy za darmo.\*

\* Nasze skanery standardowe wyposażamy w zaawansowany edytor rastrowy RasterEX umożliwiający czyszczenie, filtrowanie, kalibrację i przygotowanie pliku do wektoryzacji lub druku. Za niewielką dopłatą wymienimy go na RasterEX Pro umożliwiający korekturę rastra na wektor, edycję wektorów (razem z plikiem źródłowym). Zestaw w zestawie "Procesor Kolorów" pozwala na eksportowanie wybranych kolorów lub odcięcia szarości na rozdzielone kanały kolorów w formacie RasterEX.

**i to wszystko... PO POLSKU!**

**GTCO CalComp PERIPHERALS**

**RASTEREX**

**AGRAF**  
GRAFIKA & SYSTEMY EDM

90-030 Łódź, ul. Nowa 29/31  
tel. (42) 674 10 43, fax (42) 676 27 13  
www.agraf.com.pl e-mail: agraf@agraf.com.pl

rów miejskich, obrazowaniu obszarów zagrożonych powodzią, kopalni odkrywkowych i brzegowych stref morskich. Dużo opracowań wykonuje się dla telekomunikacji. W obszarach miejskich z wysoką zabudową przydatna okazuje się możliwość uzyskiwania stereoskopii pod pięcioma różnymi kątami (daje to lepszy „wgląd” w głębokie ulice i podwórza).

Na uwagę zasługują pakiety oprogramowania dla automatycznej obróbki obrazów. W tym zakresie DLR współpracuje z Politechniką Berlińską. ISTAR wykorzystuje własne oprogramowanie SPOT3D, przeznaczone dla opracowań obrazów SPOT. We współpracy z Geodan rozpracowuje się techniki automatycznego rozpoznawania budynków oraz aktualizacji bazy topogra-

## Jaka będzie przyszłość lotniczej kamery cyfrowej?

Najpierw zapowiedzi, a następnie prezentacja produkcyjnych rozwiązań kamer cyfrowych podczas kongresu w Amsterdamie, spowodowały bardzo ożywioną dyskusję w środowisku fotogrametrycznym. Stawiane jest pytanie: czy kamera cyfrowa będzie stanowiła konkurencję dla używanych obecnie tradycyjnych wielkoformatowych kamer lotniczych? Odpowiedź jest bardzo złożona i musi uwzględniać wiele uwarunkowań wykraczających poza kwestie czysto techniczne. O konkurencyjności kamery cyfrowej w stosunku do tradycyjnej stanowić będzie kilka czynników:

ogniskowa	f = 175 mm
pole widzenia	12° (poprzecznie do kierunku lotu)
liczba linii CCD	9 (kolor: 4, stereo: 5)
liczba pikseli w linii	5184
wymiary pikseli	7 µm
rozdzielczość radiometryczna	10 bitów zredukowana do 8 bitów
częstotliwość skanowania	maks. 450 linii/s
kąty wcięć stereo	±18,9°, ±12,8°
orientacja	GPS/INS
zawieszenie	T-AS (stabilizowane)

Tabela 4. Podstawowe dane kamery HRSC-A

ficznej na podstawie wytworzonego „prawdziwego ortofoto”. Podkreślane są potrzeby integracji teledetekcji i GIS.

Jeszcze na ten rok zapowiedziano wypuszczenie dwóch nowych modeli tej kamery: ■ HRSC-AX z obiektywem wąskokątnym (f = 150 mm), pięcioma kanałami panchromatycznymi i czterema wielospektralnymi, ■ HRSC-AXW z obiektywem szerokokątnym (f = 47 mm), trzema kanałami panchromatycznymi i dwoma wielospektralnymi. Obie kamery wyposażone są w linijki detektorów liczące po 12 000 elementów CCD. Pozwolą one budować przestrzenne modele miast (pierwsza z dokładnością 25 cm, a druga – 50-80 cm).

Nie jest jasna rynkowa przyszłość tych kamer. DLR jako instytucja państwowa nie może zajmować się działalnością komercyjną. Wątpliwości budzi też równoległe zaangażowanie się w budowę i promocję kamery ADS40.

1. Opracowania fotogrametryczne przechodzą na technologie zorientowane cyfrowo. Wyłomem w tym są stosowane nadal tradycyjne zdjęcia lotnicze, które trzeba najpierw zeskanować, aby później opracować je cyfrowo. Powszechna jest świadomość zalet kamer cyfrowych, z drugiej jednak strony firmy fotogrametryczne sporo zainwestowały w dominujący obecnie ciąg „hybrydowy”, bazujący na tradycyjnej kamerze i specjalistycznym skanerze do zdjęć lotniczych. Żywotność tego sprzętu liczona jest na kilkanaście lat. Muszą więc zaistnieć ważne techniczne i rynkowe powody, aby skłonić „produkcję” do zmiany obecnych technologii i związanych z tym nowych, znacznych inwestycji.

2. Decydującym czynnikiem w upowszechnieniu kamer cyfrowych może okazać się dostęp szerokiego kręgu potencjalnych użytkowników do software’u oraz szczegółowych parametrów geometrycznych i radiometrycznych kamer, umożliwiający włączenie obrazów cyfrowych do technologicznego procesu opracowań fotogrametrycznych. W tym zakresie oczekiwane jest wsparcie samych producentów kamer.

3. Rozwiązania konstrukcyjne kamer cyfrowych idą w kierunku umożliwienia równoczesnego pozyskiwania zarówno stereoskopowych obrazów panchromatycznych (czarno-białych), jak i barwnych obrazów w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni. Oznacza to, że kamery te połączą dwie – obecnie niezależne – dziedziny opracowań bazujących na zdjęciach: pomiarowe opracowania fotogrametryczne i tematyczne opracowania teledetekcyjne. Twórcy kamer cyfrowych przewidują, że aż 50% (!) ich zastosowań związanych będzie z teledetekcyjnymi opracowaniami tematycznymi.

4. Ważnym czynnikiem będzie cena. Kamera cyfrowa kosztować będzie ok. 1 mln dolarów, co jest porównywalne z ceną oferowanych na rynku tradycyjnych kamer lotniczych. 5. Pojawienie się przewidywany rozwój satelitarnych obrazów z „metrowym” pikselem przejmie rynek zdjęć lotniczych w zakresie drobnych skal. Zdjęcia lotnicze (tradycyjne lub cyfrowe) zostaną zepchnięte do obrazowania w zakresie skal średnich i dużych, w tym szczególnie obszarów zurbanizowanych.

6. Ważąc „za” i „przeciw”, nie należy oczekiwać szybkiego zastąpienia tradycyjnej kamery lotniczej przez jej cyfrowy odpowiednik. Oba typy kamer będą koegzystować (z właściwymi sobie zakresami zastosowań) ze stopniowym przechodzeniem na rozwiązania cyfrowe. Taka sytuacja potrwa przez najbliższe 5-10 lat.

### Literatura:

- Fricker P. (2000), *Photogrammetry Goes Totally Digital*, „GIM International”, August 2000.
- Fricker P. (2000), *ADS40 – Why LH Systems Took the Three-line Road*, „GIM International”, July 2000.
- Hinz A. (2000), *DMC2001 System Concept and Data Processing Workflow*, „GIM International”, August 2000.
- Kurczyński Z. (1999), *Lotnicze kamery cyfrowe – stan obecny i perspektywy*, GEODETA nr 11, listopad 1999.
- Lehmann F. (2000), *The High Resolution Camera – Airborne (HRSC-A)*, „GIM International”, July 2000.
- Loedeman J. H. (2000), *Three-Line Linear versus Multi-Head Array*, „GIM International”, May 2000.
- Sandau R. (2000), *Design Principles of the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor*, XIX Congress, Amsterdam 2000, com. I.
- Petrie G. (2000), *ISPRS 2000 Technical Exhibition*, „GEO Informatics”, October/November 2000.

# PORTAL GEODEZYJNO-GEOINFORMATYCZNY

## www.gea.info.pl

Sprawdź, czy Twoja firma jest wśród 4 tys. firm