

**Marko Pejić,**  
poručnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## **AERODIGITALNI SENZORI – LH SYSTEMS ADS 40**

UDC: 528.711.1

### *Rezime:*

*U radu su prezentovane osnove prikupljanja prostornih podataka metodom daljinske detekcije i klasičnim fotogrametrijskim metodom. Ukazano je na kompromis između dva metoda koji nudi digitalna aerokamera. Kompanija LH Systems proizvela je digitalnu aerokameru ADS 40 koja nudi sasvim nov koncept prikupljanja prostornih podataka. Sistem kamere obezbeđuje panhromatske i trodimenzionalne informacije koristeći tri CCD linije i opcipno još pet linija iz multispektralnog opsega. Kamera skenira teren sa prostornom rezolucijom od 25 cm, površine od 300 kvadratnih kilometara, uz vreme trajanja leta koje je nešto kraće od jednog sata.*

*Ključne reči: daljinska detekcija, fotogrametrija, digitalna aerokamera, rezolucija, trolinijski senzor, multispektralna slika, matematički model snimanja.*

---

## **AIRBORNE DIGITAL SENSORS – LH SYSTEMS ADS 40**

### *Summary:*

*This paper presents basics of collecting spatial data with remote sensing and the classical photogrammetric method. A compromise between two methods, offered by a digital aero camera, is also suggested. The LH Systems has produced a new camera concept called Airborne Digital Sensor (ADS 40) which uses a new way of collecting spatial data. The camera system provides panchromatic and stereo information using three CCD lines and up to five more lines for multispectral imagery. The performance of the camera allows a three dimensional and multispectral image with a ground sample distance of 25 cm for an area of 300 square miles within a flight time shorter than one hour.*

*Key words: remote sensing, photogrammetry, digital aerial camera, resolution, three line sensor, multispectral imagery, mathematical model.*

---

### **Uvod**

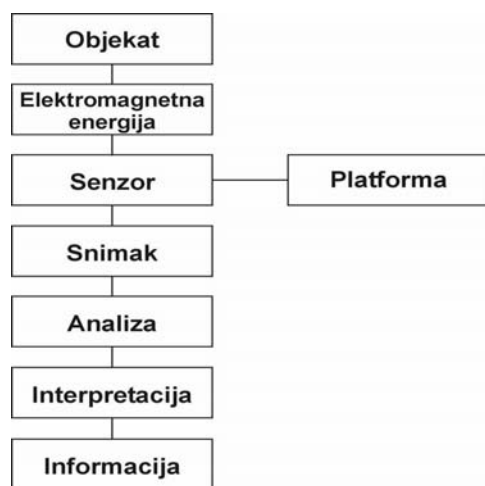
Globalnim razvojem industrije i porastom populacije na Zemlji javlja se sve veća potreba za prostornim podacima. Oni treba da omoguće široku lepezu informacija koje su korisne u različitim sferama primene.

Daljinska detekcija već se neko vreme pojavljuje kao nezamenjiv metod prikupljanja podataka masovnog (prostornog)

karaktera. Definiciju ovog ustaljenog termina kod nas je dao veliki broj autora. Ovde će biti navedena samo jedna koja potpuno objašnjava metod i otklanja sve eventualne stručne nesporazume: „Daljinska detekcija predstavlja metod prikupljanja informacija putem sistema koji nisu u direktnom, fizičkom kontaktu sa ispitivanom pojavom ili objektom“ [Evelyn Pruitt 1960].

Princip daljinske detekcije jednostavno se može sagledati na osnovu slike 1.

Za realnost, koja se apstrakuje ovim metodom, zainteresovani su različiti korisnici, a s obzirom na to da je objekat snimanja Zemljina površina, daljinska detekcija se primenjuje u geonaukama; u geodeziji i kartografiji za kartiranje, u geologiji za utvrđivanje geološke građe terena, u poljoprivredi za pedološki sloj i



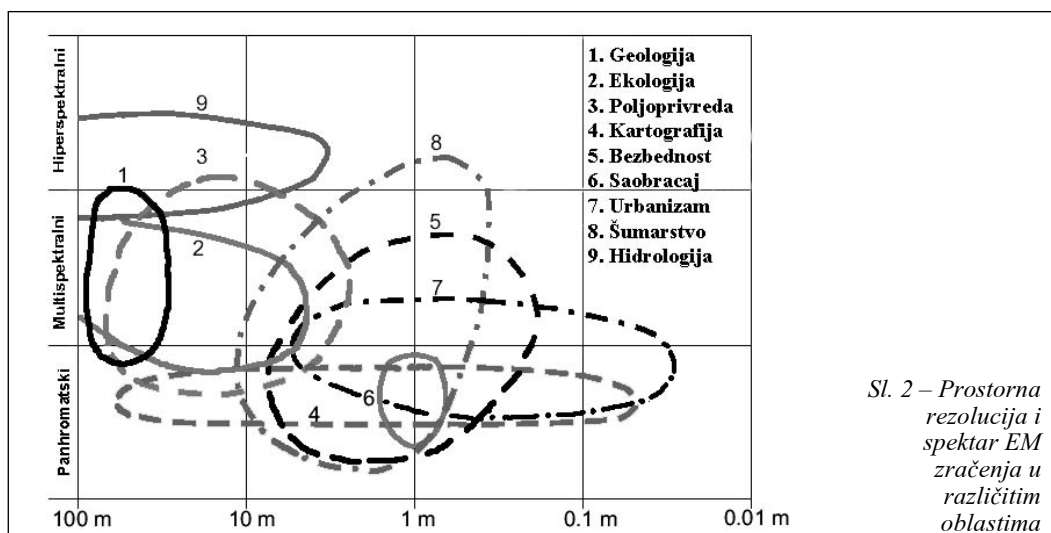
Sl. 1 – Princip daljinske detekcije

različite kulture, u šumarstvu za vegetacioni pokrivač, u hidrologiji za vode, itd. Tu su još i neke specifične potrebe, poput praćenja i predviđanja elementarnih nepogoda i prirodnih katastrofa usled pomeranja tla, zaštita životne sredine i druge. Takođe, važno je reći da sistem daljinske detekcije ima dugu tradiciju u vojnim primenama.

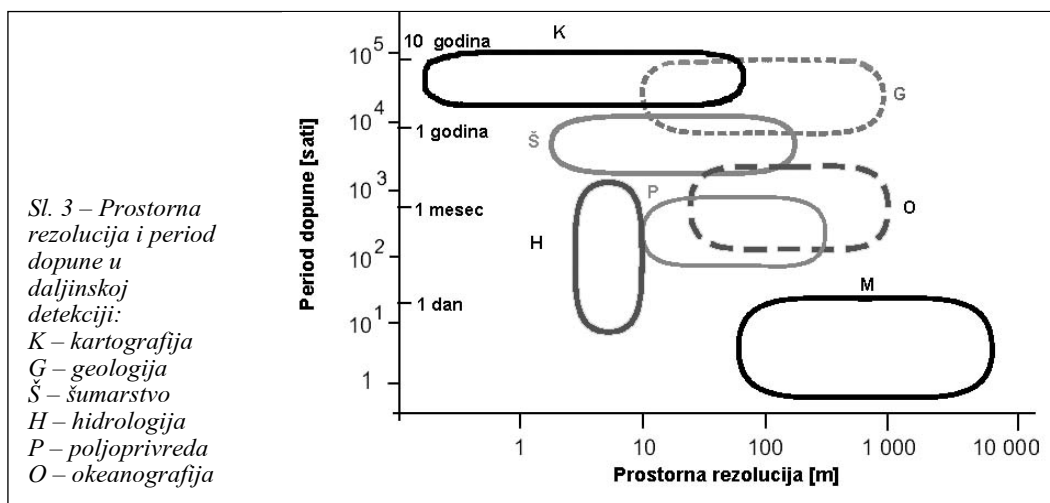
Na slici 2 prikazano je devet najvažnijih oblasti primene daljinske detekcije u funkciji njihovih potreba za prostornom i spektralnom rezolucijom.

Na slici 3 ilustrovana je potrebna prostorna rezolucija i period obnavljanja snimanja (dopune) za svaku oblast primene.

Razvojem informacionih tehnologija omogućeno je da daljinska detekcija, u kombinaciji sa GIS-om i njegovim aplikacijama, pruži korisne informacije kako tematskog, tako i prostornog karaktera. Ovakvi generisani informacioni modeli od posebnog su značaja u naučnim istraživanjima, a pored toga za njih su zainteres-



Sl. 2 – Prostorna rezolucija i spektral EM zračenja u različitim oblastima



sovane različite organizacije, vladine institucije, privatne kompanije i pojedinci.

Geodetska nauka posebno je zainteresovana za položajne informacije koje se dobijaju metodom daljinskog istraživanja. Prioritet i osnovni pokazatelj kvaliteta geodetskog proizvoda, ma u kom obliku on bio (numerički podatak, snimak, karta ...) njegova je položajna tačnost. U tom smislu, za kartiranje sadržaja sa položajnom tačnošću santimetarskog reda veličina, neophodni su izvorni podaci koji poseduju taj ili veći stepen tačnosti. Pored toga, sve je zapaženija tendencija da ti podaci budu, po mogućnosti, izvorno u digitalnom obliku. Snimci koji su do sada eksploatisani, a koji su primarno bili u digitalnom obliku, za noseću platformu su koristili satelite. S obzirom na veliku orbitalnu visinu, i tehničko nesavršenstvo senzora, rezolucije snimaka uglavnom su metarske. Kada se tome doda visoka cena snimaka, rezultat je da se ovi snimci nisu upotrebljavali za krupnorazmerno kartiranje. U poslednje vreme na tržištu se nalaze satelitski snimci

čije su prostorne rezolucije ispod 1 m. U većini slučajeva nemoguća je autonomnost korisnika u kreiranju kvaliteta snimka u smislu njegove tačnosti, prostornog zahvata, itd. S druge strane, postojeći sistemi za aerofotogrametrijska snimanja, i pored potpune automatizovanosti, autonomije u radu i razvijene softverske podrške, zasnovani su na fotografskom principu, pa je proizvod aerofoto snimanja merna fotografija. Ovakvi podaci, koji su u analognom obliku, prevode se u digitalni oblik skeniranjem. Skeneri moraju biti visokih performansi, u pogledu rezolucije skeniranja i tačnosti, što utiče na cenu procesa.

### Potencijal i principi senzora visoke rezolucije

U svetu su danas fotogrametrija i daljinska detekcija glavni snabdevači informacija o prostoru, objektima i pojavama na njemu. Prelaskom sa analitičke na „softcopy“ fotogrametriju sa digitalnim registrovanjem i obradom snimaka, kao i

korišćenjem GPS podataka, došlo se do racionalne i precizne metode u automatskoj izradi topografskih karata, potrebnih geodetskih podloga i prikupljanju drugih informacija o čovekovojoj okolini. Danas su digitalni snimci uobičajeni u geodeziji. Takođe, interpretacija snimaka i prepoznavanje objekata vrši se uz automatsku podršku.

Digitalna fotogrametrija nastala je pojavom digitalnih sistema za izradu snimaka, jednodimenzionalnih, rednih ili površinskih senzora, koji se već dugo uspešno koriste u satelitskoj daljinskoj detekciji. Za fotogrametriju je mnogo interesantnija digitalna aero kamera. Korišćenje digitalnih skenera na avionima dugo nije uzelo maha. Ove kamere su se koristile za snimanja u bliskom domenu. Za vojne potrebe u svetu se uveliko koriste digitalne kamere sa sensorima, koje u potpunosti zadovoljavaju postavljene zahteve. Ovi snimci su manjeg formata od standardnih aerofotogrametrijskih snimaka.

### **Razvoj senzora visoke prostorne rezolucije**

U prvom pokušaju da se konstruiše avio senzor u merne svrhe, ulogu pionira u ovom poduhvatu ostvarilo je društvo Photometrics. Korišćen je površinski senzor LFIS (Loral Fairchild Imaging System), veličine 4K×4K. U kameri su isprobana tri tipa senzora, i svi su imali dva glavna nedostatka: slab nivo zasićenosti u elektroniama i veliki broj defektnih linija. Matrica senzora očitava se sa 1 Mpiksel/s, što omogućava tri snimka u minuti.

Februara 1993. godine izvršeno je prvo aerosnimanje digitalnom kamerom

po maglovitom i oblačnom vremenu. Visina leta bila je 3500 m, brzina aviona 360 km/h, a uzdužni preklop oko 55%. Snimljeno je pet redova sa po 9 snimaka koji pokrivaju površinu 12 h 24 km<sup>2</sup>. Vizuelnom kontrolom snimaka uočene su senke po ivicama. Blještanje zbog refleksije svetlih površina je smetnja koja je smanjila odnose signal/šum na iznos 40. Zbog greške postavljanja senzora upravno na optičku osu objektiva kamere od 0,3 mm javila se nejasnoća na desnoj strani snimka koja je ispravljena naknadno pri obradi snimaka. Sračunati su ortofotosi i izrađen fotoplan sastavljanjem odabranih korisnih površina.

I pored brojnih nedostataka ovog eksperimenta koji je izveden pod nepovoljnim uslovima i sa nedovoljno ispitanim opremom, postignuti su ohrabrujući rezultati. Uočeno je da se detalj dobro reprodukuje u senkovitim zonama, pa je preporučeno da se ova tehnologija primenjuje za snimanje urbanih zona.

Kamera Loral Fairchild Imaging System pokazala je nedostatke koji nisu mogli da se prevaziđu. Zato je bilo potrebno naći novu kameru (Mitić, 1994). U narednom periodu bilo je manje ili više uspešnih pokušaja konstruisanja avio-senzora visoke prostorne rezolucije. Nakon jednodecenijskog razvoja senzora visoke rezolucije, na tržištu se konačno pojavila kamera ADS40 (Airborne digital sensor).

### **Zahtevi za senzore visoke rezolucije**

Aerofotogrametrijske kamere sa pratećom opremom decenijama su bile nezamenjive ako je bilo potrebno prikupiti podatke visoke položajne tačnosti. Merna

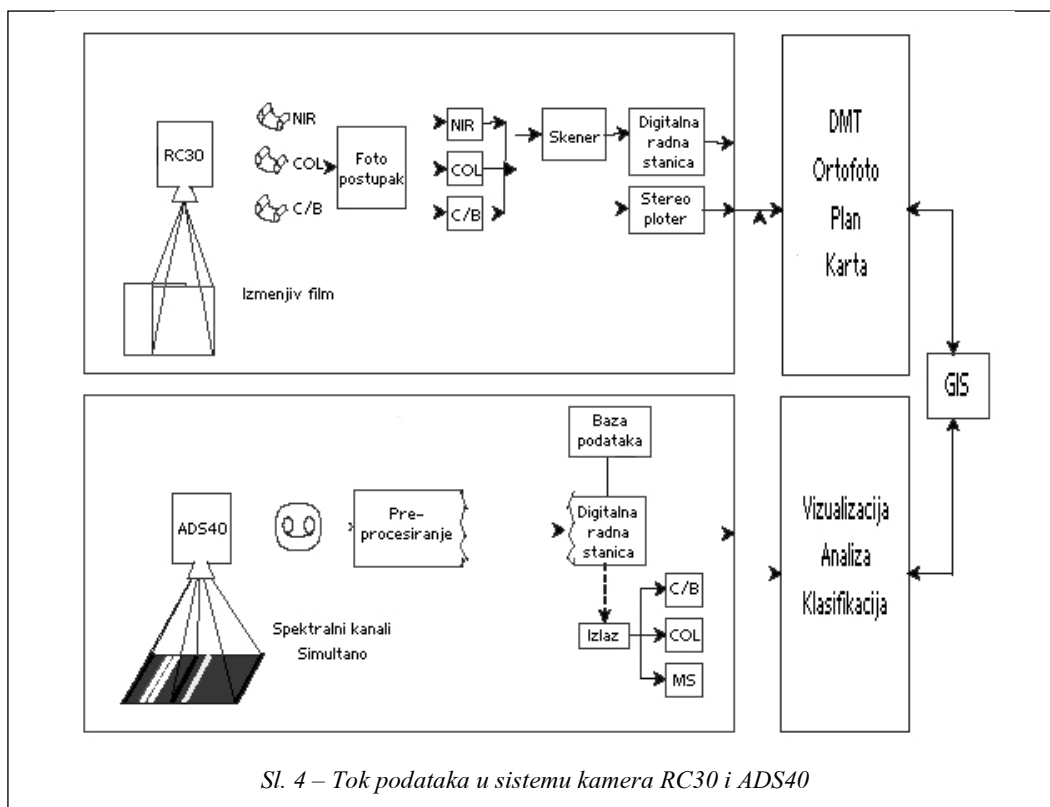
fotografija poseduje visoku moć razdvajanja. Visine leta aviona relativno su male, pa su prostorne rezolucije aerofoto-snimka dostigle vrednosti manje od 0,15 m. Snimci se skeniraju, a zatim se sadržaj kartira ili prave digitalni modeli terena. Korišćenjem različitih filtera moguće su i različite tehnike aerofoto snimanja.

Razvojem industrijske tehnologije i usavršavanjem CCD senzora stvoreni su uslovi za plasiranje na tržište merne aerokamere koja zadovoljava većinu geodetskih potreba sa aspekta prostorne rezolucije (0,16 m). Na slici 4 prikazan je tok podataka u klasičnom sistemu za snimanje (RC30) i sistemu digitalne aerokamere ADS40.

Da bi avio-digitalni senzor bio uticajniji na području na kojem je decenija-

ma bila neprikosnovena aerofotogrametrijska kamera, on mora da ispuni određene zahteve:

- široko vidno polje duž i upravno na pravac leta, radi smanjivanja vremena i troškova snimanja;
- linearne karakteristike, visoka osetljivost i veliki dinamički opseg;
- veličina CCD elemenata (piksel na slici) koja treba da omogući visoku prostornu rezoluciju;
- registrovanje područja van vidljivog dela spektra EM zračenja, što je potrebno u različitim sferama primene daljinske detekcije;
- kratke ekspozicije i periodi praznog hoda;

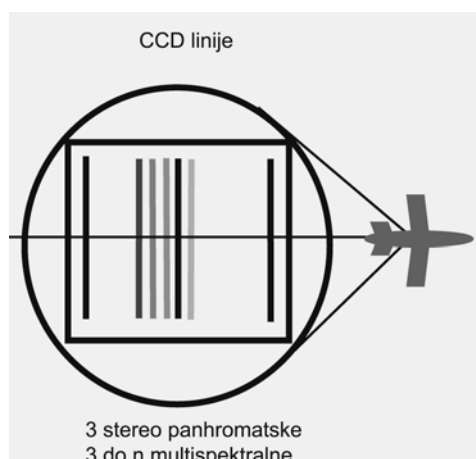


Sl. 4 – Tok podataka u sistemu kamera RC30 i ADS40

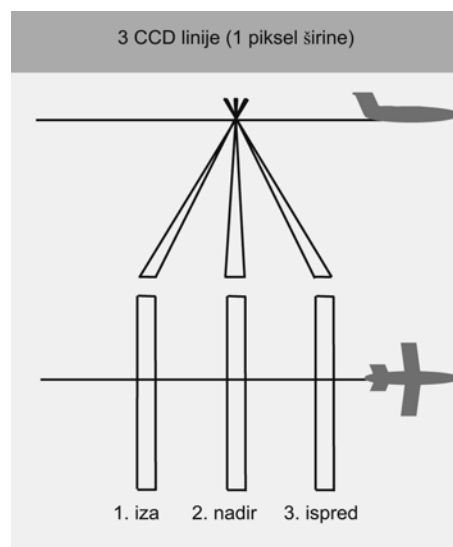
- radiometrijska kalibraciona procedura, kako bi se omogućila pouzdanost senzorske osetljivosti;
- obezbeđenje stereoeffekta jednom kamerom.

### Konstrukcija i karakteristike kamere ADS40

Sredinom 2000. godine zajedničkim projektom nemačkog aerokosmičkog centra (DLR) i LH Systems (Leica), postala je dostupna kamera koja pravi kompromis između klasičnih i satelitskih snimaka. Ona istovremeno snima u tri pravca: ispred, iza i u nadiranju. Obezbeđuje, dakle, panhromatske stereo informacije uz pomoć tri CCD linije i još pet iz multispektralnog područja, uključujući tu dve iz bliskog dela spektra svetlosnog zračenja (NIR) (slika 5). Svaka CCD linija za panhromatska merenja poseduje 24 000 elemenata, što rezultira vidnim poljem od  $64^\circ$  duž pravca leta (FOV). Žižna daljina objektiva je 62,5 mm. Poseduje dinamički opseg od 12 bita i period snimanja od 1,2 ms po liniji. Usled ovakvih performansi



Sl. 5 – Multispektralni potencijal kamere ADS40



Sl. 6 – Geometrijske karakteristike trolinijskog digitalnog senzora (Rainer Sandau 2000)

ADS40 obezbeđuje multispektralni i tro-dimenzionalni prikaz terena prostorne rezolucije od 0,25 m za snimljeno područje od oko  $800 \text{ km}^2$ , uz vreme leta oko 1 čas (Hans P. Roeser 2000).

Koncept trolinijskog senzora omogućuje informacije o objektima na Zemlji iz tri različita ugla, što omogućuje stereoskopsku vidljivost u procesu restitucije. Svaki linijski senzor detektuje pri jednom prolazu oblast (strip) širine 1 piksela. Povezivanjem svih snimljenih traka duž pravca leta nastaje snimak terena. Sa slike 6 jasno se vidi da se mogu kombinovati trake 1 i 2, 2 i 3, i 3 i 1, kako bi se postigao stereoeffekat u restituciji.

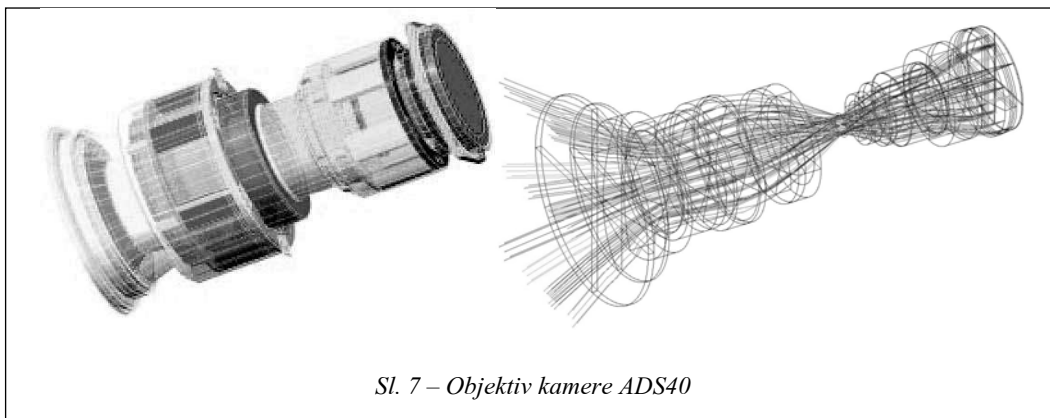
Senzor je optimiziran tako da svi njegovi parametri poput dimenzija, ravnih karakteristika, faktora konverzije, linearnih karakteristika, elektronskog interfejsa i cene odgovaraju postavljenim zahtevima.

Senzori visoke prostorne rezolucije pretpostavljaju kvalitetan optički sistem.

Objektiv prikuplja i prosleđuje prostorne, spektralne i radiometrijske podatke sa Zemljine površine do linijskog senzora. Po dimenzijama, težini, rezoluciji i svetlosnoj propustljivosti objektiv instaliran na ADS40 je sličan onom na kameri RC30. Međutim, razlike postoje, shodno različitim formama registrovanja podataka, pa su primenjena različita konstrukciona rešenja. Dok je minimalizovanje efekta distorzije prioritet kod mernih filmskih kamera, to je telecentričnost kod svih digitalnih kamera, a naročito kod ADS40, gde je zahtev za multispektralnom informacijom visoke rezolucije, prioritet.

Nekoliko spektralnih područja između 400 nm (plavo) i 900 nm (infracrveno), implementirano je u kompleksni sistem pomenutog objektiva, sa pratećim filterima za svako područje. Filteri su postavljeni neposredno uz CCD senzor iz konstruktivnih razloga. Zahtev koji je postavljen pred ovakav sklop jeste da filteri ne bi smeli da menjaju spektralnu moć prepoznavanja duž celog vidnog polja kamere. ADS40 koristi osam paralelnih senzorskih linija, tri panhromatska i pet spektralnih (crvena, zelena, plava i dve infracrvene). Na slici 7 prikazan je objektiv ove kamere.

Gubitak ugaone simetrije između objekta snimanja i objekta na snimku u ovakvoj konstrukciji, prisutan je jer nije moguće postići idealnu telecentričnost objektiva. Primaran zahtev je da vrednosti rezolucije na snimku moraju biti konstantne u celom vidnom polju, u oba smera duž i širom pravca leta aviona. To treba ostvariti uprkos varijacijama temperature, vazdušnog pritiska i visine leta. Greške su svakako neizbežne, međutim one treba da budu sistematskog karaktera, kako bi se omogućila rektifikacija snimaka u kasnijim fazama obrade. Radi toga konstrukcione karakteristike kamere koje odgovaraju zahtevima za visoku prostornu rezoluciju teško je postići. Prema tome, svi zahtevi koji su postavljeni pred kameru kao što su široko vidno polje, širok spektralni opseg, visoka rezolucija, telecentričnost i stabilnost u odnosu na spoljne uticaje ostvareni su pomoću objektiva koji je sličan onom na kameri RC30. Karakteristike ADS40 dobre su u onoj meri u kojoj su konstruktori uspeli da savladaju objektivna ograničenja, koja usled rane faze razvitka senzora još nisu na nivou na kojem bi mogli biti u budućnosti. Karakteristike kamere prikazane su u tabeli.



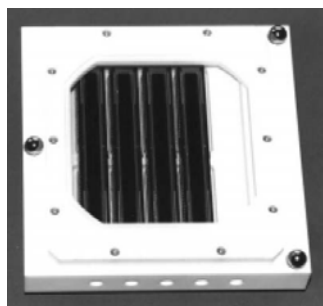
Sl. 7 – Objektiv kamere ADS40

Glavne karakteristike kamere ADS40

Zižna daljina	62,5 mm	Plava	428–492 nm
Veličina piksela	6,5 $\mu$ m	NIR1	703–757 nm
Panhromatske linije (preklop)	2 $\times$ 12 000 piksela	NIR2	833–887 nm
RGB i NIR linije	12 000 piksela	Dinamički opseg	12-bit
Vidno polje (popreko)	46°	Radiometrijska rezolucija	8-bit
Stereo ugao napred-nadir	26°	Prostorna rezolucija (H = 3000 m)	16 cm
Stereo ugao napred-nazad	42°	Linearni zahvat senzora (H = 3000 m)	3,75 km
Stereo ugao nadir-nazad	16°	Frekvencija čitanja po liniji	200–800 Hz
Crvena	608–662 nm	Memorijski kapacitet misije	200–500 GB
Zelena	533–587 nm		

Fokusnu ravan (slika 8) čini četiri CCD kućišta, termo kontrola CCD senzora i interfejs između optike, filtera i okoline. Svaka CCD panhromatska linija sadrži dva linearna reda sa po 12k elemenata (piksela) raspoređenih sa 0,5 piksela pomaka. Linije koje registruju oblasti RGB, NIR1 i NIR2 koriste jedan red sa 12 000 elemenata po liniji.

Fokusna ravan sadrži CCD linije sa minimumom neophodne elektronike. Svaka 24k CCD linija je sastavljena od dve 12k linije, koje se procesiraju potpuno odvojeno. Svaki par 12k može se nezavisno koristiti za različite delove spektra, a naravno i svaka 12k linija posebno. Dakle, sistem ADS40 teoretski se može upotrebiti kao 3  $\times$  24k (pan.) + 6  $\times$  12k (kolor) CCD linija. To je omogućeno zahvaljujući kompleksnoj elektronskoj štampanoj ploči. U svakoj ploči inkorporirane su sve neophodne funkcije za



Sl. 8 – Fokusna ravan

kompletno procesiranje analognog signala (ASP). Raspored elektronskih elemenata na ploči postavljen je tako da odgovara ergonomskim zahtevima kamere.

Kompjuterski sistem kamere čini nekoliko komponenti:

- kompjuter kao kontrolna jedinica i platforma za procesiranje podataka;
- sistem za skladištenje podataka slikovnog formata i drugih neophodnih parametara snimanja;
- elektronika pozicionog sistema;
- interfejs pilota i operatora kamere;
- I/O jedinica kao interfejs ostalih senzora i uređaja.

Karakterističan deo kompjutera je magistrala velike brzine za protok slikovnih podataka, dizajnirana tako da omogućí kompresiju podataka u realnom vremenu brzinom od 40 MB/s. Podržana su dva formata – jpeg i lossless.

Sistem za skladištenje podataka, koji se skupljaju tokom leta, konstruisan je shodno ekstremnim uslovima koji vladaju tokom leta. Kapacitet diska omogućuje autonomiju leta do četiri sata, sa brzinom zapisa od 40 do 50 MB/s.

Interfejs operatora kamere konstruisan je tako da omogućuje lako praćenje snimanja. Posедуje terminal visoke rezolucije i sistem „touch screen“. Interfejs pilota potpuno je nezavisan od operatora, i instaliran je u kokpitu letelice.



Jedinica I/O predstavlja fleksibilan interfejs ka eksternim uređajima. Baziran je na modulnom principu i pruža mogućnost povezivanja sa budućim multisenzorskim kontrolnim sistemom. Tako, biće omogućeno kombinovanje ADS40 zajedno sa ostalim sistemima za snimanje, kao što su kamera RC30, žirostabilizaciono postolje PAV30, kao i svaki drugi senzorski sistem, na primer spektrometar ili laserski skener.

FCMS (Flight and sensor control management system) kontroliše, koordinira i prati podsisteme kamere i prezentuje informacije uz pomoć grafičkog interfejsa, tako da se u toku snimanja mogu vršiti određene korekcije, kako bi se ispunili



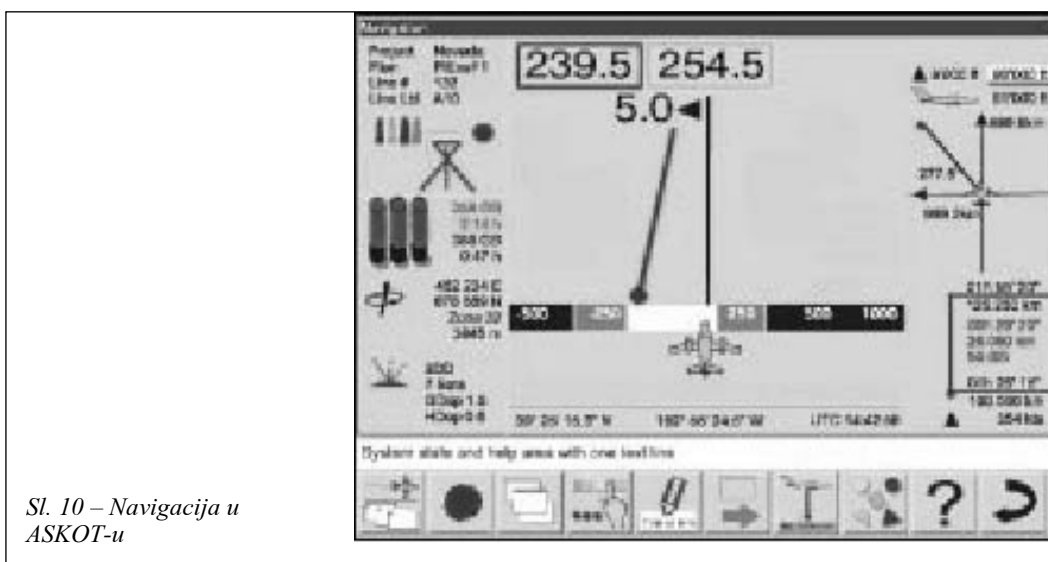
Sl. 9 – Komponente FCMS

postavljeni zahtevi snimanja. Komponente ovog sistema prikazane su na slici 9.

Upravljanje letom vrši se uz pomoć napredne softverske podrške sa razvijenim help funkcijama i uputstvima u Windows okruženju, sa grafičkim displejom „touch screen“.

Navigacioni sistem obezbeđuje precizno održavanje planiranog kursa za koji je odgovoran isključivo pilot. U odnosu na sistem RC 30 nema bitnijih promena, pa se koristi ista aplikacija ASKOT (Aerial Survey Control Tool), koja omogućuje, pored održavanja planiranog kursa, pozicioniranje i precizno održavanje visine. Operator i pilot mogu imati različita okruženja u smislu praćenja snimanja, odnosno mogu sami kreirati svoje okruženje u grafičkom i drugom smislu. Takođe, moguće je izvršiti snimanje bez operatora kamere, odnosno pilot može u nekim projektima sam obaviti snimanje. Na slici 10 prikazan je izgled ekrana tokom navigacije.

Senzorska kontrola je sistem koji funkcioniše potpuno automatski. Kontro-



Sl. 10 – Navigacija u ASKOT-u

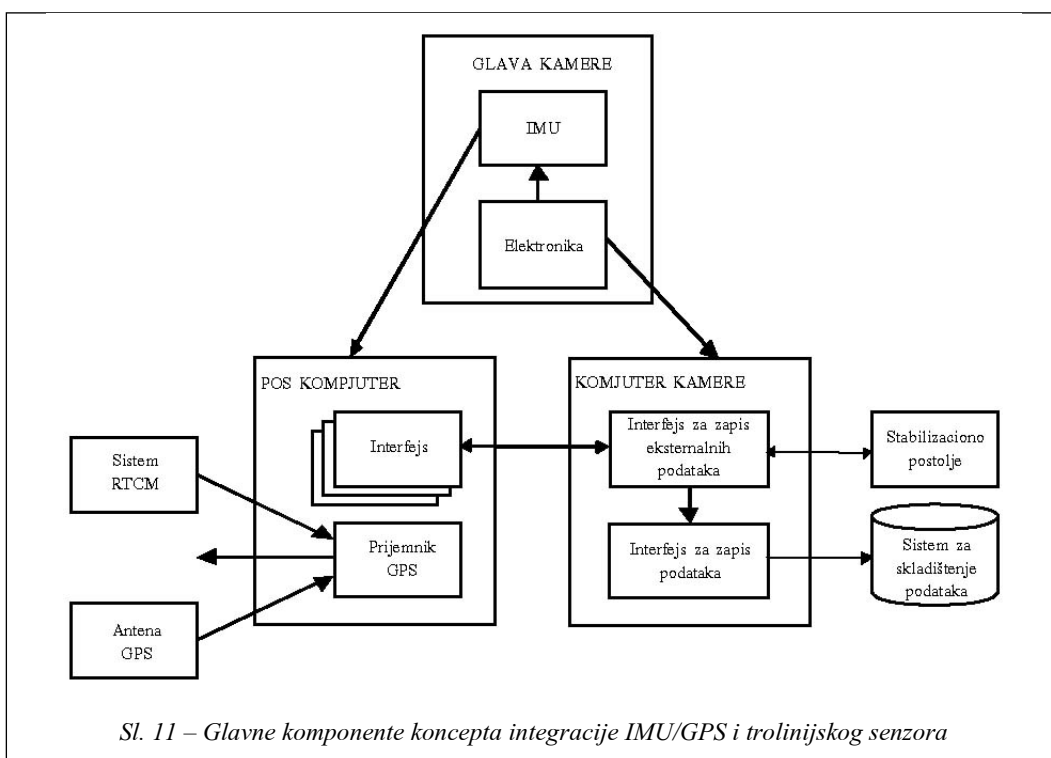
lišu se parametri bitni za realizaciju snimanja, koje indirektno definiše operator ili plan snimanja. Podaci o greškama u toku leta bitni su za kasniju manipulaciju snimcima.

Test i servis opciono omogućuju analizu raznih parametara koju vrše stručni timovi, radi unapređenja i razvoja sistema ADS40.

### Pozicioni sistem kamere

Da bi se snimci visoke rezolucije, nastali pomoću linijskog skenera, koristili za kartiranje objekata, oni moraju biti vezani za terenski koordinatni sistem. Principijelno, postoje dva koncepta. Triangulacija rektifikovanih snimaka vrši se uz pomoć, u fotogrametriji ustaljenih, matematičkih modela uz odgovarajuću softversku podr-

šku. Drugi način je da se u toku samog leta prikupljaju parametri potrebni za orijentaciju (položaj centra projekcije, parametri ugaonog kolebanja postolja kamere i eventualno koordinate kontrolnih tačaka na terenu). Prvi metod (indirektni) jeste vremenski zahtevniji, dok je drugi (direktni) ekonomski opravdaniji, i primenjen je u sistemu kamere ADS40. Pronađen je optimalni način prikupljanja neophodnih podataka na osnovu GPS prijemnika – Internal Position and Orientation System (POS) i senzora inercijalne merne jedinice (IMU) integrisanih u kameru, i korišćenje samo nekoliko pouzdanih koordinata referentnih GPS tačaka. Prednosti ovakvog koncepta orijentacije su da se obrada rektifikovanih snimaka znatno skraćuje i da je odnos cene i kvaliteta izlaznih rezultata na zadovoljavajućem nivou.



Sl. 11 – Glavne komponente koncepta integracije IMU/GPS i trolinijskog senzora

Integriranost sistema orijentacije sa fokusnom ravni CCD senzora (slika 11) ima veliki značaj u smislu redukovanja orijentacionih tačaka na terenu.

U sistem za orijentaciju uključene su četiri glavne komponente: internalna merna jedinica (IMU), POS kompjuterski sistem, GPS L1/L2 (faze nosećih talasa) prijemnik i softver za postprocesiranje GPS merenja.

### Matematički model snimanja pomoću senzora ADS40

Senzor ADS ne koristi skupo žirostabilizaciono postolje. Transformacija koordinata obavlja se pomoću precizno merenih koordinata GPS antene u letelici, i parametara nestabilnosti fokusne ravni. Rešenje, koje je takođe primenjeno na sistemu za aerofotogrametrijska snimanja RC30, svodi se na određivanje koordinata projekcionog centra kamere uz pomoć ekscentrično postavljene GPS antene i merenja vrednosti kolebanja fokusne ravni ( $\omega$ ,  $\varphi$  i  $\kappa$ ) kamere usled turbulencija i nepreciznosti navigacije, uz pomoć IMU modula. To teorijski isključuje potrebu za terestričkim merenjima, odnosno za aerotrijangulacijom. Međutim, u kombinaciji sa kontrolnim (orijentacionim) tačkama može se poboljšati tačnost definitivnih koordinata na snimku, pa se radi toga koncept kontrolnih tačaka merenih na terenu još uvek primenjuje.

Iako se georeferenciranje u svim fazama odvija potpuno automatizovano u grafičkom okruženju ORIMA, i merenja vrše uz pomoć aplikacije APM softverskog paketa SOCKET SET, ovde će biti naveden i ukratko prikazan matematički model aerometrijskog snimanja uz pomoć kamere ADS40.

Polazna jednakost za transformaciju merenih koordinata na PC platformi lokalnog koordinatnog sistema, čiji je primitiv piksel, u terenski koordinatni sistem koji ima za datum elipsoid WGS84, ne razlikuje se od klasičnog modela.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GPS} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \lambda \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PC} \quad (1)$$

Kao što se vidi u jednakosti (1), da bi se koordinate prevele iz lokalnog sistema u referentni GPS okvir, potrebno ih je rotirati matricom rotacije  $R = f(\omega, \varphi \text{ i } \kappa)$ , urazmeriti ( $\lambda$ ) i translirati za vrednost vektora koordinata projekcionog centra kamere ( $X_0, Y_0, Z_0$ ).

Razlika u odnosu na konvencionalni pristup u modelovanju terenskih koordinata je u činjenici da, za razliku od skoro trenutnog nastajanja aerofoto snimka, ovde snimak nastaje sukcesivno, skeniranjem linija širine jedan piksel. Dakle, svaka linija ima svoje parametre transformacije koji se prikupljaju u toku leta, i mora se odvojeno tretirati. Međutim, iz praktičnih razloga, a u svrhu racionalizacije, koristi se princip interpolacije svih koordinata snimka na osnovu samo pojedinih senzorskih linija koje poseduju veću pouzdanost u smislu tačnosti parametara apsolutne orijentacije:

$$\begin{aligned} x_i &= F(X_i, Y_i, Z_i, X_k, Y_k, Z_k, \omega_k, \varphi_k, \kappa_k, \\ &X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}, \omega_{k+1}, \varphi_{k+1}, \kappa_{k+1}) \\ y_i &= G(X_i, Y_i, Z_i, X_k, Y_k, Z_k, \omega_k, \varphi_k, \kappa_k, \\ &X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}, \omega_{k+1}, \varphi_{k+1}, \kappa_{k+1}) \end{aligned} \quad (2)$$

Kolinearna jednakost (2) omogućuje dobijanje slikovnih koordinata tačke  $i$ , koje predstavljaju funkciju od fiksnih orijentisanih linija  $k$  i  $k+1$ , za koje su

poznati parametri apsolutne orijentacije (Müller 1991). Rastojanje između susednih fiksnih linija definisano je kriterijumom minimalizovanja sistematskih grešaka koje su prouzrokovane nestabilnošću fokusne ravni u toku snimanja.

## Zaključak

Za nezavisno vrednovanje performansi sistema za aerosnimanje ADS40 potrebno je testirati kameru. S obzirom na to da nije postojala takva mogućnost, na osnovu dostupne literature i iskustava u ovoj oblasti mogu se izvesti određeni zaključci:

- kamera poseduje samo jedan objektiv, uz mogućnost registrovanja multispektralnih podataka tokom jednog snimanja, što obezbeđuje ekonomičnost snimanja sa bogatim asortimanom informacija o snimljenom terenu;

- sistem trolinijskog CCD senzora omogućuje kartiranje, uz izbor željenih linija za stereo restituciju;

- moguće je snimiti velika područja za kratak period, uz nivo kvaliteta u smislu prostorne rezolucije (0,16 m, N=3000 m) koji odgovara većini geodetskih potreba. Ta činjenica opravdava visoku početna ulaganja u ovu kameru, uz uslov optimalne eksploatacije;

- senzor još uvek ne omogućuje rezolucije kojima raspolaže aerofoto kamera, tako da će se filmski princip koristiti još neko vreme u fotogrametriji;

- nije obavezna triangulacija u većini slučajeva;

- kompatibilnost celog sistema kamere i mogućnost kombinovanja sa drugim sistemima (npr. RC30), uz softversku podršku u operativnom sistemu Windows, na PC plat-

formi, ne zahteva veća ulaganja u nabavku dodatne opreme i obuku kadra;

- nema potrebe za razvijanjem filma, kao ni za skeniranjem fotosnimaka, već su izvorni podaci u digitalnom obliku, pa se sa njima lakše manipuliše;

- u odnosu na satelitske snimke, pored veće prostorne rezolucije, nezavisno se može planirati i ostvariti željeni nivo kvaliteta snimaka;

- snimci se skladište na odgovarajućim medijima, uz zagarantovan nivo kvaliteta i nakon dužeg perioda.

Imajući u vidu vrednost prostorne rezolucije senzora može se pretpostaviti da se kamera ADS40 može koristiti u procesu izrade geobaze podataka topografske karte 1:25 000, kao i ostalih geodetskih podloga (ortofoto, sitnije razmere karata, itd.).

## Literatura:

- [1] Eckardt, A.: Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Performance of the imaging system in the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [2] Börner, A.: Institute for Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Test results obtained with the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [3] Scholten, F.: Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Digital 3D data acquisition with high resolution stereo camera-airborne (HRSC-A), ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [4] Hans, P.: ROESERA, DLR Institute of Sensor Technology and Planetary Exploration, Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin, Germany: New potential and applications of ADS, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [5] Pavlović, R.; Čupković, T.; Marković, M.: Daljinska detekcija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 2001.
- [6] Sandau, R.: LH Systems GmbH, Switzerland: Design principles of the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [7] Schuster, R.: Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Calibration of the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [8] Tempelmann, U.: LH Systems GmbH, Switzerland: Photogrammetric software for LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [9] www.lhsystems.com (ADS40\_Software\_Brochure.pdf; ADS40\_Brochure.pdf; ADS40\_Product\_Description.pdf).

