

DIGITALNE FOTOGRAMETRIČNE KAMERE: NOV SODOBNI PRISTOP

Peter Fricker, Rainer Sandau, Peter Schreiber *

Izvleček

Letalski digitalni senzorji že obstajajo. Prehod z analitične na digitalno fotogrametrijo je že zelo napredoval, meje med fotogrametrijo in daljinskim zaznavanjem pa vedno bolj bledijo. Ena izmed prednosti neposrednega zajema digitalnih podatkov iz zraka je, da je mogoče zajeti multispektralne in pankromatične podatke. Med sodobnimi letalskimi filmskimi kamerami, ki imajo visoko ločljivost, in satelitskimi senzorji visoke ločljivosti nedvomno obstaja na tržišču velika niša za ponudnike novih letalskih naprav.

Kot osnova za letalske digitalne senzorje sta na voljo dve konkurenčni tehnologiji – CCD linearnega in matričnega polja. Razmerje med ceno in kvaliteto CCD matričnih polj ni že samo po sebi dovolj, da bi bili njihovi snemalni pasovi in ločljivost primerljivi s filmskimi kamerami. Najbolj obetavna zamenjava za slednje so linearne polja, ki so razvrščena v trojkah na goriščni ravnini, usmerjena pa so naprej, nadirno in nazaj. V kombinaciji z GPS in INS sistemi nam ta konfiguracija daje geometrične rezultate, ki omogočajo, da na delovni postaji izvajamo enake fotogrametrične operacije, kot bi jih počeli s skeniranimi letalskimi posnetki. Poleg tega lahko postavimo multispektralne CCD črte na goriščno ravnino in s tem pripravimo podatke, ki so zaradi dodatnih prednosti geometrično pravilnega oblikovanja senzorja, stereo slik in natančnega geokodiranja značilni za daljinsko zaznavanje.

Skupni razvojni projekt podjetja LH Systems in nemškega vesoljskega centra (German Aerospace Centre) je botroval uspešni izdelavi trilinijskega senzorja. Testni model je uspešno preстал preizkusne polete, proizvodni model je bil predstavljen tržišču poleti leta 2000 na kongresu ISPRS v Amsterdamu.

1. UVOD

Konec leta 1998 je podjetje LH Systems izjavilo, da je njihov testni model letalskega digitalnega senzorja uspešno preстал polete. S tem je postalo jasno, da bo letalska filmska kamera neizogibno dobila ustrezno zamenjavo.

Podjetje LH Systems in njegov prednik Leica nikoli nista bila dejavna na področju interpretiranja slik, razen pri izdelavi stereoskopov. Novi senzor bo imel multispektralne linije na goriščni ravnini: z njim bomo lahko generirali natančne geometrične podatke o zemeljski površini, pa tudi podatke,

KLJUČNE BESEDE:

*digitalni senzor,
digitalna kamera,
inercialna meritev,
digitalna fotogrametrija,
multispektralne slike.*

dostopne uveljavljenim tehnikam daljinskega zaznavanja. Razlike, ki delijo fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje, se bodo s tem še dodatno zmanjšale, fotolaboratorij pa bo vedno manj v uporabi, saj je digitalne podatke mogoče neposredno prenesti iz letala v delovno postajo.

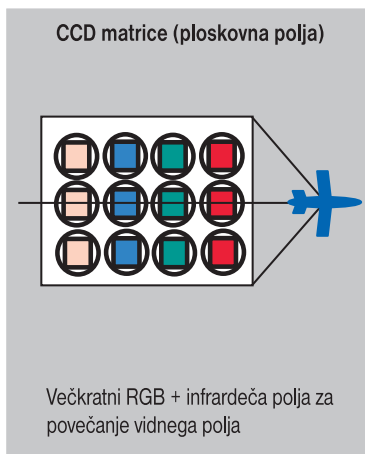
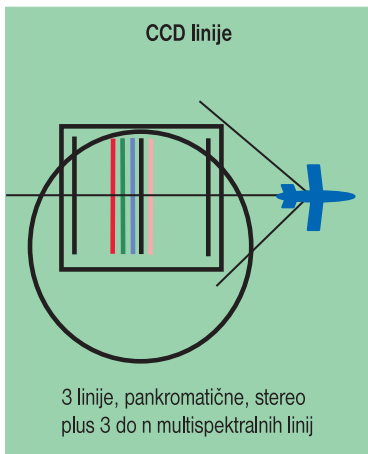
Razprava med zagovorniki letalskih posnetkov in tistimi, ki zagovarjajo snemanje iz vesolja, se nadaljuje. Aplikacije z najvišjo ločljivostjo, z velikostjo slikovnega elementa na terenu, ki se giblje med 1 cm in 10 cm, bodo verjetno še naprej rezervirane za filmsko kamero. Med omenjeno kakovostjo in metrsko ali še slabšo ločljivostjo, ki jo ponujajo satelitski operaterji, obstaja praznina, zato je povpraševanje po visokokakovostnih in multispektralnih podatkih izredno veliko. Tako satelitski kot tudi letalski senzorji imajo svoje prednosti, najverjetneje pa je, da bo v prihodnosti naglašeno združevanje obeh vrst podatkov. Uporabniki bodo izbrali tisti vir, ki jim bo zagotovil ustrezne podatke, zanašali pa se bodo na programsko opremo, s katero bodo lahko uporabljali vse podatke naenkrat. Podatki, pridobljeni iz vesolja in zraka, se bodo medsebojno dopolnjevali in ne bodo drug drugemu konkurenca.

2. LETALSKI DIGITALNI SENZORJI: ZAHTEVE

Če želimo kakor koli vplivati na tržno nišo, ki jo že desetletja zaseda visoko kakovostna filmska kamera, mora letalski digitalni senzor imeti naslednje lastnosti:

- široko vidno polje in širok snemalni pas,
- visoko ločljivost in natančnost, tako geometrično kot radiometrično,
- lastnosti črtnega senzorja,
- multispektralne slike,
- stereo.

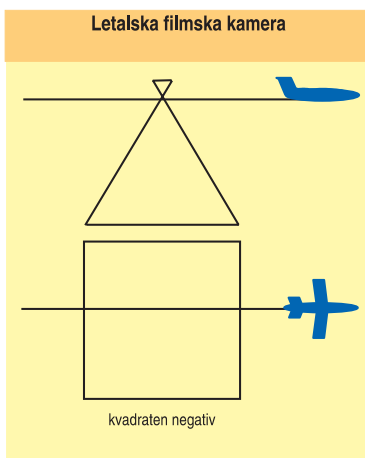
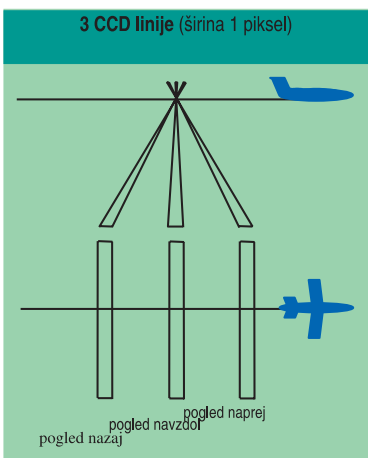
Na prvi pogled se nam zdi, da prva zahteva izključuje CCD matrična polja, ker imajo modeli iz leta 1999 ločljivost 4K x 4K pikselov ali manjšo, medtem ko je linearno polje z 12.000 piksli že dostopno, zahteva pa le tretjino linij. Od sedemdesetih let naprej so v Nemčiji opravili podrobne raziskave, ki so dokazale primernost treh pankromatskih linij na goriščni ravnini z dodatnimi multispektralnimi linijami blizu nadirnega pogleda. Večploskovna polja, ki zagotavljajo široko vidno polje in zmožnost multispektralnega zajema, na ta način postanejo nepotrebna (slika 1). Diagram na levi kaže, kako naj bi bila prekrita goriščna ravnina, če bi uporabili načelo treh linij: tri pankromatske linije dajejo geometrijo in stereo, dodatne črte (njihovo občutljivost nadzirajo filtri) pa multispektralne informacije. V diagramu na desni so prikazani CCD večploskovna polja in objektivni, ki so potrebni za zagotavljanje enake velikosti slikovnega elementa na terenu in enak multispektralni obseg kot trilinijski pristop.



Slika 1: Možnosti: CCD linearna in ploskovna polja

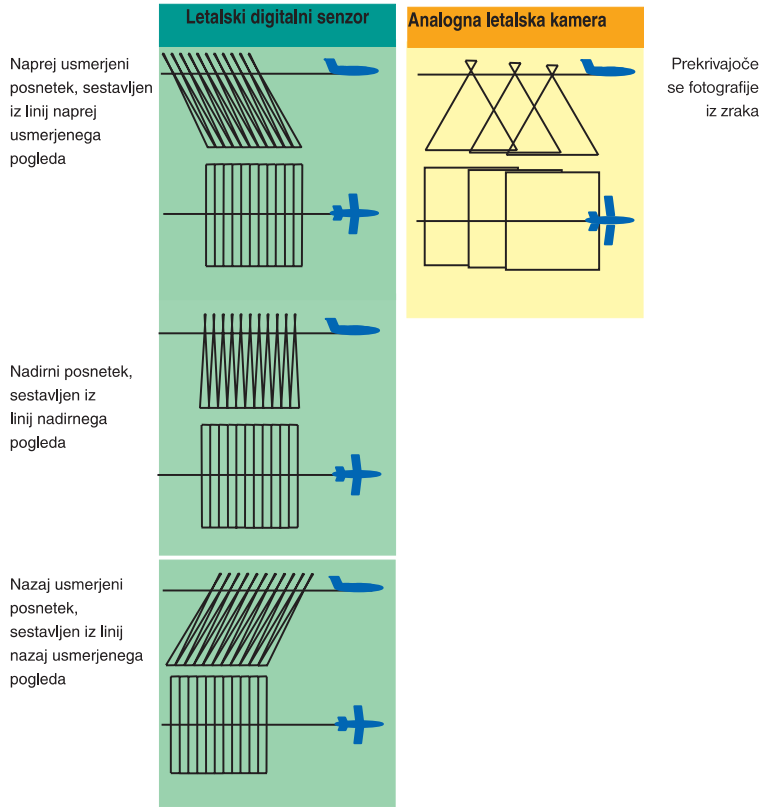
3. PRISTOP Z UPORABO TRILINIJSKEGA SKENERJA

Trilinijski koncept ima za rezultat poglede, ki so usmerjeni naprej, nadirno in nazaj (slika 2). Slika vsake skenirne linije se združi v pasove (slika 3). Lastnosti zamika reliefa v geometriji centralne perspektive pasovnega pristopa v primerjavi s konvencionalno geometrijo centralne perspektive so prikazane na sliki 4. Na levi je geometrija centralne perspektive trilinijskih slik, na desni pa že znana geometrija centralne perspektive filmske fotografije. Koti med vhodnimi podatki in tremi linijami so seveda konstantni. Tri linije nam omogočajo sestavo treh parov za stereoskopsko analizo, in sicer pasove 1 in 2, 2 in 3 ter 1 in 3. Pri filmskih kamerah je paralaktični kot funkcija osnovne oddaljenosti in baze. Še več, vsak objekt se pojavi na vseh treh pasovih, medtem ko se na filmu trojno prekriva le 60% površine fotografije.



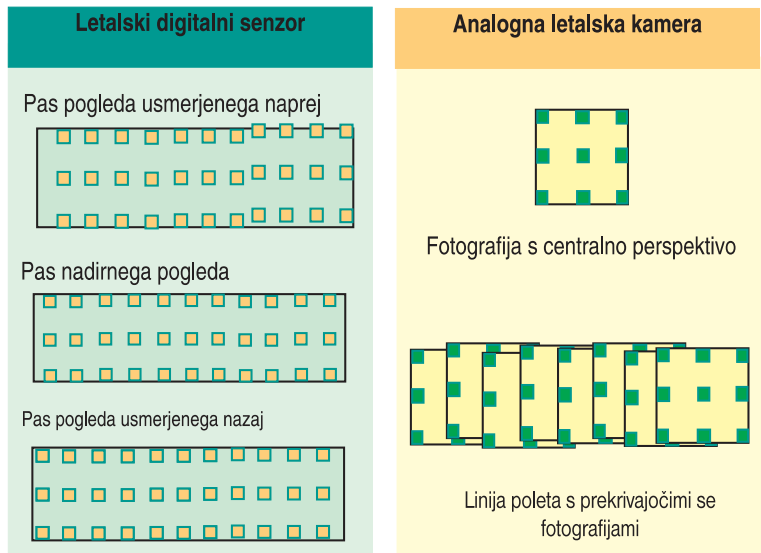
Slika 2: Osnovne geometrične lastnosti trilinijskega digitalnega senzorja in filmske kamere

Slika 3: Primerjava zajema slik s trilinijskim digitalnim senzorjem in filmsko kamero



346

Slika 4: Vpliv reliefa terena na sliko



4. RADIOMETRIČNA PREUČITEV

Najboljše mogoče razmerje signal - šum (SNR) je predpogoj za obdelavo in digitalizacijo signala, obdelavo in stiskanje podatkov ter njihov prenos ob majhnih motnjah. Razmerje signal - šum za CCD elemente je podan z naslednjo formulo:

$$SNR = \frac{n_s}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_{rms}^2 + \sigma_{fp}^2}} , \quad (1)$$

kjer je

- n_s : število elektronov signala,
- σ_s^2 : varianca števila elektronov signala,
- σ_{rms}^2 : varianca časovno odvisnega šuma,
- σ_{fp}^2 : varianca lokalnih razlik v občutljivosti,
(šum s ponavljajočim se vzorcem).

Število elektronov signala je premo sorazmerno s številom vpadaajočih fotonov (znotraj opredeljenega in ozkega intervala valovne dolžine). Šum elektronov signala zato podlega Poissonovi statistiki fotonskega šuma:

$$\sigma_s = \sqrt{n_s} . \quad (2)$$

Časovno odvisen šum CCD-ja in analognega kanala (srednji pogrešek šuma) je sestavljen iz:

- šuma začasnega temnega signala (Poissonova statistika),
- šuma resetiranja in šuma ojačevalca na čipu ("KTC-šum"),
- šuma prenosa,
- drugih elektronskih шумov (1/f šum, termični šum).

Zaradi cenitve slonijo naslednji izračuni na števcu elektronov šuma, in sicer:

$$\sigma_{rms} = 235e^- .$$

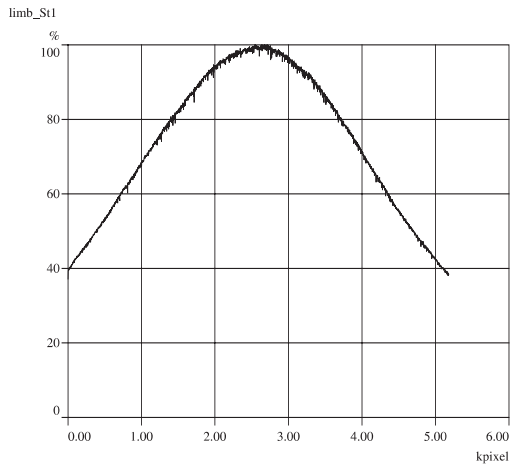
Šum s ponavljajočim se vzorcem ima dva vira, ta pa sta:

- neenakomernost foto odzivnosti (PRNU) CCD elementov,
- zmanjševanje svetlobne intenzitete na goriščni ravnini širokokotne optike.

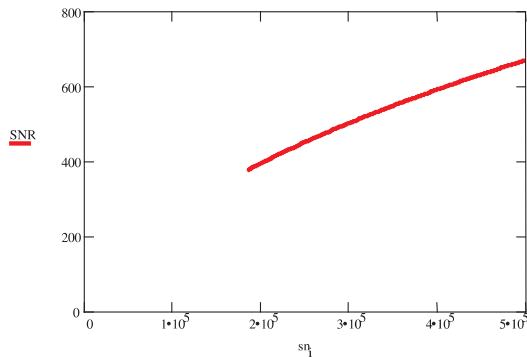
Če opazujemo en sam CCD element, neenakomernosti foto odzivnosti, recimo šuma s ponavljajočim se vzorcem pa ne upoštevamo, ugotovimo, da so pogoji enaki tistim, ki so predstavljeni na sliki 5. Omenjeno velja, če upoštevamo število elektronov zasičenosti, ki je večje od 500.000. Razmerje signal - šum (SNR) se poveča na 8 do 9 bitov (SNR = 250 ... 670), ko je število elektronov večje od 100.000.

Če opazujemo dejanske pogoje v goriščni ravnini širokokotnega objektivu, dobimo diagram, ki kaže signale na izhodu CCD linije, kakor je razvidno iz slike 6: v goriščni ravnini širokokotne optike ravna ploskovna osvetlitev ustvari CCD signal vključno z učinkom senčenja, ki je posledica optike in neenakomerne foto odzivnosti.

Slika 5: Delovanje ravne ploskovne osvetlitve v goriščni ravnini.



Slika 6: Razmerje signal-šum posameznega CCD elementa pri zasičenosti s 500.000 elektroni in z 235 elektroni srednjega pogreška šuma.



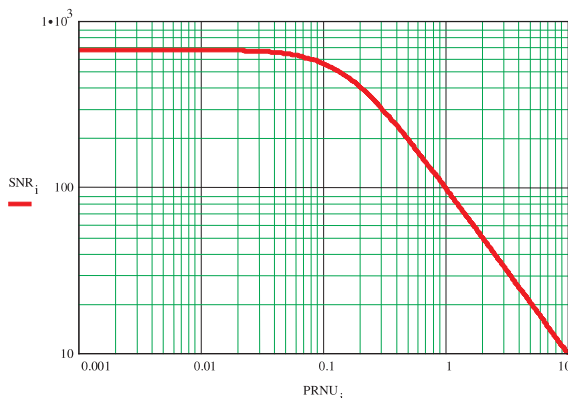
Vpliv senčenja objektiva (na robovih se intenziteta svetlobe zmanjša na približno 40%) in neenakomerne foto odzivnosti je jasno viden. Različna občutljivost CCD elementov je v podatkovnih zapisih običajno navedena kot vrednost neenakomerne foto odzivnosti v odstotkih vrednosti videotoka za obseg, ki je daleč pod številom zasičenosti (večinoma pri 50% U_{sat}). Tudi tukaj se bomo držali omenjene definicije. V linearnem obsegu CCD elementov je šum s ponavljajočim se vzorcem občutljivosti slikovnega elementa lahko neposredno izražen kot šum, ki je odvisen od signala in je konvertiran v časovno odvisen šum med prenosom naboja:

$$\sigma_{fp} = \frac{PRNU}{100\%} \cdot n_s = \frac{PRNU}{100\%} \cdot \sigma_s^2 \quad (3)$$

V odvisnosti od neenakomerne foto odzivnosti CCD elementov je razmerje signal - šum izraženo kot

$$SNR = \frac{\sigma_s}{\sqrt{1 + \left[\frac{PRNU}{100\%} \cdot \sigma_s \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{rms}}{\sigma_s} \right]^2}} \quad (4)$$

Slika 7 kaže največje možno razmerje signal - šum pri polni uporabi, ki je blizu zasičenosti (400.000 do 500.000 elektronov signala) in je v povezavi z neenakomerno foto odzivnostjo, zasnovano na zgoraj omenjenih parametrih. Do vrednosti neenakomerne foto odzivnosti, ki znaša 0,02%, določamo razmerje signal - šum izključno s pomočjo fotonskega šuma signala, srednjega pogreška šuma CCD elementa in šuma analognega kanala. Pri 0,1% postane vpliv neenakomerne foto odzivnosti dominanten. Pri testnem modelu novega letalskega digitalnega senzorja podjetja LH Systems, opisanega v poglavjih 6 in 7, se popravki neenakomerne foto odzivnosti opravljajo po posameznih slikovnih elementih.

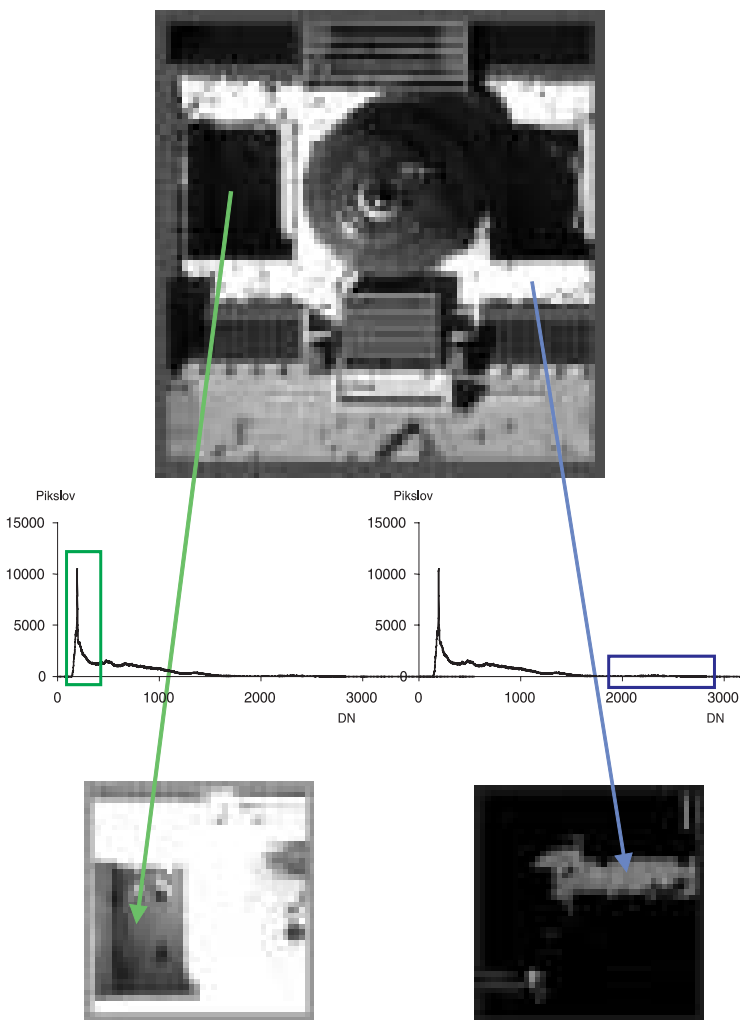


Slika 7: Razmerje signal - šum v povezavi z neenakomerno foto odzivnostjo, če predpostavljamo, da sta termični in elektronski šum Sel enaka 235 elektronom srednjega pogreška in je še število elektronov signala enako 500.000 e-

Svetlobno izgubo sistema objektivov (približno 30%) običajno popravimo istočasno s korekcijo neenakomerne foto odzivnosti. Pri ocenitvi ali korekciji neenakomerne foto odzivnosti svetlobna izguba ni bila upoštevana, ker ne prispeva neposredno k povečanju razmerja signal - šum. Svetlobna izguba vpliva le posredno, in sicer preko adaptacije signala analognemu kanalu. Korekcija svetlobne izgube objektivna omejuje razmerje signal - šum le delno.

Učinkovitost korekcije je razvidna na sliki 8, ki kaže sliko Reichstaga v Berlinu, posneta 23. aprila 1999 s testnim modelom letalskega digitalnega senzorja podjetja LH Systems. Višina poleta je znašala 3 km, velikost slikovnega elementa na terenu pa 0,25 m. Na radiometrično in optično pomanjšanih delih slike šuma ni moč zaznati.

Slika 8: Slika Berlina, posneta s testnim modelom letalskega digitalnega senzorja proizvajalca LH Systems



5. PREUČITEV FUNKCIJE PRENOSA MODULACIJE (MTF) *

Geometrična ločljivost sistema s kamero je dejansko odvisna od MTF-a sistemske optike / CCD slikovnega elementa. Dušenje vhodnega svetlobnega sevanja opisujejo kot funkcijo prostorske frekvence, kar lahko uporabimo kot osnovo za opredelitev kontrastne funkcije. MTF pove, kako kvalitetno se je originalni kontrast s terena prenesel v digitalno sliko.

Če upoštevamo le sistem z optiko / CCD slikovnim elementom, potem je MTF_{SYS} enak zmnožku sistemskih komponent MTF_{OPTICS} in MTF_{PIXEL} .

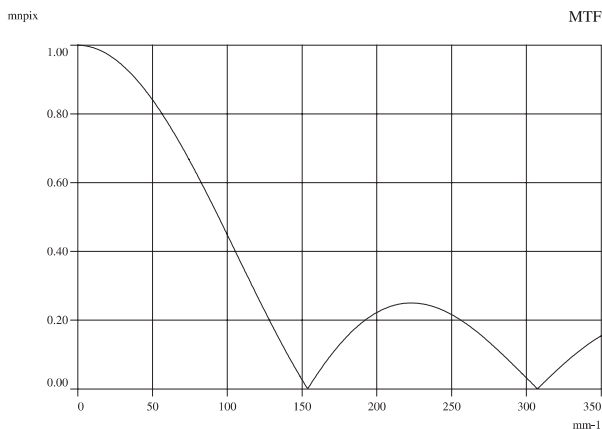
$$MTF_{SYS} = MTF_{OPTICS} * MTF_{PIXEL} . \quad (5)$$

MTF_{PIXEL} CCD slikovnega elementa je

$$MTF_{PIXEL} = \frac{\sin(\pi \cdot k \cdot x)}{(\pi \cdot k \cdot x)} , \quad (6)$$

kjer je k prostorska frekvenca izražena v mm^{-1} , Δ pa oddaljenost med slikovnimi elementi, ki tukaj znaša $6,5 \mu m$.

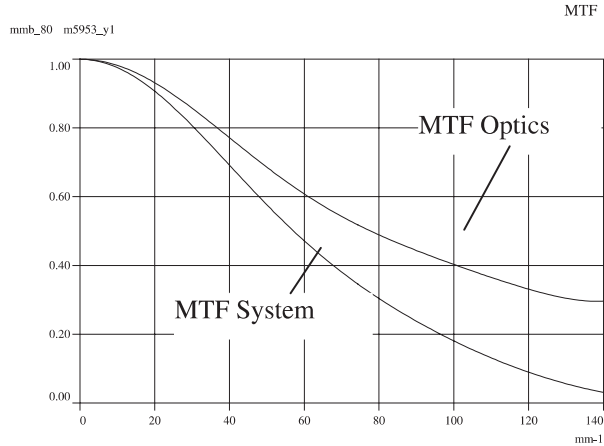
Funkcija MTF_{PIXEL} je prikazana na sliki 9.



Slika 9: MTF CCD slikovnega elementa, oddaljenost med središči slikovnih elementov znaša $6,5 \mu m$

*MTF - Modulation Transfer Function - funkcija prenosa modulacije

Slika 10: MTF_{OPTICS} od MTF_{SYS} testnega modela na optični osi

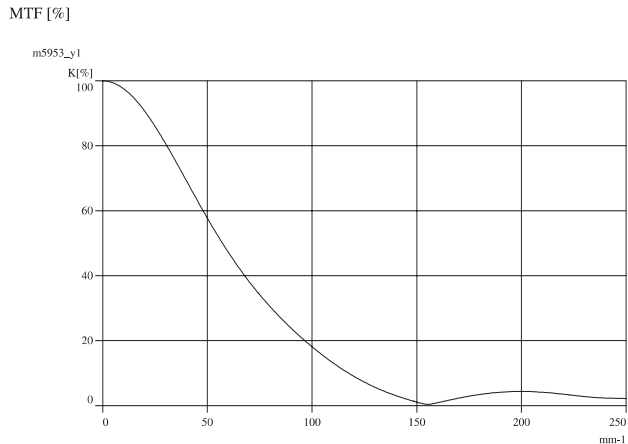


Slika zgoraj kaže MTF_{OPTICS} optike testnega modela, izmerjene na optični osi kalibrirnega laboratorija Inštituta DLR za tehnologijo vesoljskih senzorjev v Berlinu, Adlershof (DLR Institute for Space Sensor Technology). Druga krivulja na sliki 10 predstavlja MTF_{SYS} za nadirni slikovni element.

Za primerjavo z MTF-om slikovnega elementa na sliki 9 je na sliki 11 podan širši obseg MTF_{SYS} .

352

Slika 11: MTF slikovnega elementa, ki je blizu optične osi testnega modela

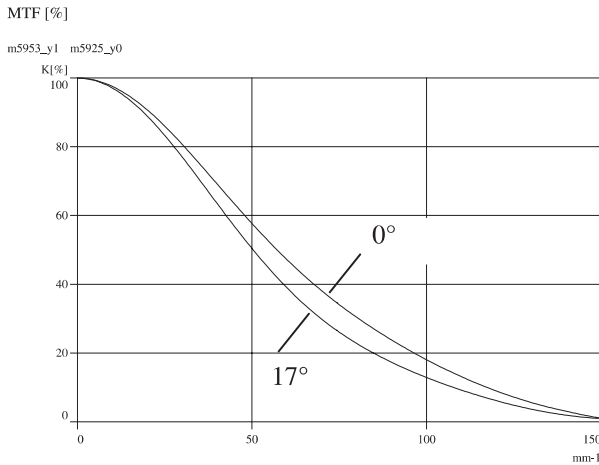


Ko je $MTF_{SYS} \approx 30\%$ pri Nyquistovi frekvenci:

$$k_{NY} = \frac{1}{2\Delta} \quad (7)$$

Δ je enako 6,5 μm , število k_{NY} pa 77 Lp/mm (parov linij na milimeter), je kontrastni potencial in s tem tudi sposobnost testnega modela, da zajame

slike, precej dobra. To velja tudi za nenadorna območja goriščne ravnine, ki jih uporabljajo nadirne in stereo CCD linije, saj MTF_{sys} ne odstopa znatno od prikazane krivulje. Slika 12 kaže izmerjeno krivuljo za sredino stereo naprej usmerjene linije (stereo kot 17°) v primerjavi s sredino nadirne linije.

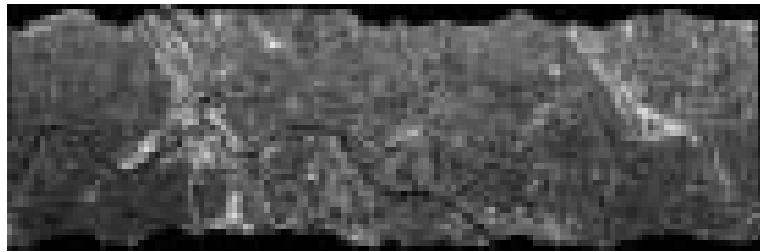
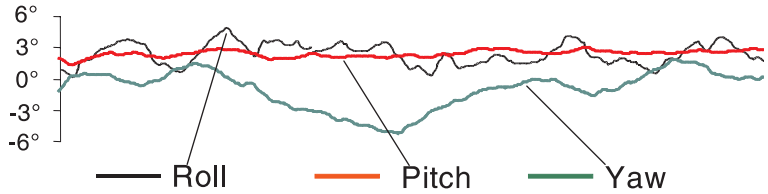
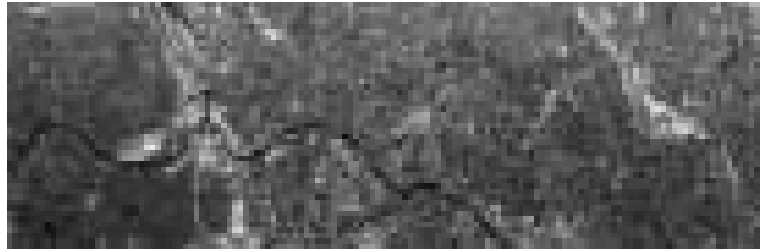


Slika 12: MTF sredine nadirne linije (0°) in sredine naprej usmerjene stereo linije (pri stereo kotu 17°)

6. OBDELAVA SLIK

Neobdelane slike se nam zdijo nenavadne, saj se letalo med poletom nagiba, relief pa se spreminja, kar povzroča, da linearna polja ponazarjajo zelo spremenljive pasove terena. Iz slike 13 so jasno razvidne slike, ki so bile zajete nad Berlinom z nadirnim senzorjem nove kamere. Smer poleta je bila z leve proti desni. Zgornja slika je neobdelana, spodnja pa je rektificirana in je zelo podobna običajni fotografiji, posneti iz zraka. Če pozorneje pogledate, boste opazili, da obstaja povezava med robovi rektificirane slike in obračanjem letala okoli svoje osi (angl. roll). Nagibi (angl. pitch) in odkloni (angl. yaw) letala od osi poleta so bili kompenzirani z usklajevanjem vsake posamezne skenirne linije z nagibom letala. Za to so uporabili podatke iz letalskih GPS in INS enot, ki so jih imeli na vsakem poletu. Začetna rektifikacija z uporabo omenjenih podatkov je bistvena celo za pregled slike. Postopki, kot so triangulacija, merjenje digitalnega modela reliefa, ortofoto in zajem oblik, se nato izvajajo po ustaljeni poti. Samodejni procesi, kot so določanje točk za triangulacijo in zajem digitalnega modela reliefa, so lahko zasnovani na trojnem določanju z uporabo treh pasov.

Slika 13: Slika, zajeta z novim senzorjem nad Berlinom



Glede na njihov položaj v goriščni ravnini in v kombinaciji z gibanjem letala ter spreminjanjem terena barvne črte prikazujejo neznatno drugačne dele zemeljskega površja. Zaradi tega je potrebno izvesti popolno rektifikacijo oziroma izdelati ortofoto, preden se barvni pasovi lahko pravilno registrirajo in transformirajo v barvne kompozitne slike, ki so primerne za analizo s programskimi paketi za daljinsko zaznavanje, ki so že na tržišču.

7. TESTNI MODEL IN TEHNIČNO SODELOVANJE

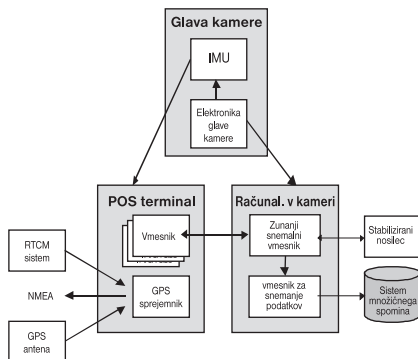
Zapletenost, cena in težavnost razvoja in izdelave novega letalskega digitalnega senzorja so izključile možnost samostojnega razvoja. V začetku leta 1997, še preden je bilo podjetje LH Systems ustanovljeno, je podjetje Leica Geosystems sklenilo dogovor o tehnološkem sodelovanju z Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) - nemškimi vesoljskim centrom v Berlinu. Tako je bilo zagotovljeno dolgoročno sodelovanje obeh strani pri razvoju senzorja, za izdelavo pa naj bi poskrbela Leica Geosystems. Izkušnje DLR-ja na tem področju so neprecenljive. Med številne težavne in impresivne dosežke na področju vesoljske in letalske tehnologije sodi tudi njihov zgodovinski preboj pri delu s senzorji, ki so zasnovani na trilinijskem načelu, sem sodijo WAOSS (Wide Angle Optical Stereo Sensor oziroma širokokotni

stereo optični senzor, ki je bil vgrajen v modul neuspele misije na Mars leta 1996) (Sandau and Bärwald, 1994), WAAC (Wide Angle Airborne Camera ali širokokotna letalska kamera) (Sandau and Eckhardt, 1996) in HRSC (High Resolution Stereo Camera ali stereo kamera visoke ločljivosti) (Albertz et al., 1996). Strokovnost DLR-ja se dobro dopolnjuje z znanjem in izkušnjami strokovnjakov podjetja Leica Geosystems v optiki, mehaniki in elektroniki, vključno z njihovim globokim razumevanjem potreb kupcev, kar so dosegli z desetletja dolgo proizvodnjo letalskih filmskih kamer. Samoumevno je bilo, da se bo dogovor, ki sta ga sklenila podjetje Leica Geosystems in DLR, prenesel tudi na LH Systems kmalu po njegovi ustanovitvi.

8. INTEGRACIJA SISTEMOV IMU* IN GPS

Za rekonstrukcijo slik visoke ločljivosti, ki smo jih pridobili iz podatkov, zajetih z linijskim skenerjem, moramo pridobiti podatke o orientaciji vsake linije. Izumitelji trilinijskega pristopa so matematično dokazali, da to lahko izvedemo z uporabo tehnik ujemanja slikovne vsebine, kakor to omogočajo sodobni programski paketi za aerotriangulacijo. Pomanjkljivost tega je, da je potreben čas za izvedbo izračuna tako dolg, da so opazovanja s pomočjo višinskih in pozicijskih senzorjev najenostavnejši način za skrajšanje omenjenega časa. Če uporabljamo izključno posredno metodo, bo obdelovanje podatkov zamudno, če pa uporabljamo le neposredno metodo, je obdelovanje izredno drago. Odločeno je bilo, da je potrebno poiskati optimalno rešitev z vključevanjem neposredno zajetih podatkov z GPS in IMU senzorji točno določene natančnosti v tehnike aerotriangulacije. Prednosti omenjenih rešitev sta:

- čas, ki je potreben za rektifikacijo podatkov, zajetih z linijskim skenerjem, se znatno zmanjša,
- razmerje cena - učinek IMU senzorjev srednjega cenovnega razreda se bo sčasoma pospešeno izboljševalo.



Slika 14: Glavne komponente tesne integracije IMU/GPS in kamere s trilinijskim senzorjem

*IMU - Inertial Measurement Unit - inercijska merilna naprava

Tesna povezava (slika 14) z goriščno ravnino digitalnega linijskega senzorja ima velik potencial v smislu nadaljnjega zmanjšanja navezovalnih točk na terenu.

Leta 1998 sta podjetji LH Systems in Applanix Corporation iz Kanade ustanovili delovno skupino, ki ima za nalogo poiskati potencialne rešitve in predlagati nove za doseganje tesne integracije IMU, GPS in linijskih senzorjev. Ustanovljena skupina deluje v skladu z dogovorom o sodelovanju med LH Systems in DLR.

Eden izmed plodov tega sodelovanja je testni model letalskega digitalnega senzorja, ki redno uporablja IMU in GPS senzorje proizvajalca Applanix Corporation.

9. PRAKTIČNI ZAKLJUČKI

Lastnosti filmskega in digitalnega pristopa smo primerjali v preglednici 1. Podjetje LH Systems je izbralo pristop s trilinijskim skenerjem iz zgoraj navedenih razlogov. Testni model je uspešno preстал letenje (glej sliko 15, preglednico 2), delo pa se nadaljuje v smeri proizvodnega modela, ki bo imel najmanj 20.000 slikovnih elementov v vsaki liniji, časi integracije bodo krajši, imel pa bo tudi pasove različnih spektrov. Proizvodni model je bil predstavljen na kongresu ISPRS v Amsterdamu.

*Preglednica 1:
Primerjalna preglednica
lastnosti letalske filmske
kamere in letalskega
digitalnega senzorja*

Lastnosti	Letalska filmska kamera	Letalski digitalni senzor
Čas letenja	80%	100%
Fotolaboratorij	Da	Ni potreben
12-bitno zaznavanje med poletom	Ne	Da
8/10-bitno skeniranje	Da	Ni potrebno
Obseg podatkov	80-50%	100%
Predobdelava	Ne	Da
GPS	Da (opcija)	Zelo koristen
INS	Redko	Zelo koristen
Projekcijski centri	Interpolirani (maloštevilni)	Interpolirani (številni)
Navezovalne točke na terenu	Da, maloštevilne ob uporabi GPS	Da, a ne številne ob uporabi INS/ GPS
Določanje veznih točk	Maloštevilne točke med slikami	Številne točke

Strokovnjaki za fotogrametrijo si bodo lahko izmenjevali podatke s tistimi, ki se ukvarjajo z daljinskim zaznavanjem. Prvič bodo lahko izdelovali proizvode s pomočjo podrobnih podatkov, ki izhajajo iz razumevanja multispektralnih slik in geometrične zanesljivosti fotogrametrije. V standardni izvedbi novega letalskega digitalnega senzorja bodo multispektralne slike izpeljane iz podatkov, ki se zajemajo s štirimi CCD senzorji, opremljenimi z ustreznimi filtri za rdečo, zeleno in modro barvo ter infrardeči del svetlobnega spektra.

Podatki bodo uporabljeni za izdelavo kompozitnih slik v dejanskih in prirejenih barvah, ki imajo za osnovo ortofoto, izpeljan iz pankromatskih trilinijskih CCD senzorjev.

Splošni podatki	
Vrsta	Trilinijski CCD stereo senzor
Slikovnih elementov po CCD liniji	12.000
Velikost slikovnega elementa	6,5 μm
Dinamični obseg	12-bitni (neobdelani podatki)
Radiometrična ločljivost	8-bitna
Normalizacija	8-bitna, linearna ali nelinearna
Vidno polje (prečno na smer poleta)	52°
Goriščna razdalja	80 mm
Snemalni pas na višini 3.100 m	3.000 m (1,9 milje), velikost slikovnega elementa na terenu je 25 cm
Stereo koti	17°, 25°, 42°
Snemalni interval na črto	1,2 ms
Filtrski obseg (pri λ_{50})	Pankromatski, 465 nm - 680 nm

Napajanje	
Vhodna napetost	28 V DC ali 220 VAC/50 Hz
Poraba energije: povprečje/(maksimum)	Prototip: 600 W / (1000 W)
	Glavni spomin: 600 W / (600 W)
	ASCOT: 80 W / (180 W)

*Preglednica 2:
Tehnične lastnosti
testnega modela*

Slika 15: Prototip letalskega digitalnega senzorja proizvajalca LH Systems, ki so ga uspešno uporabljali v drugi polovici leta 1998



Podjetje LH Systems namerava izdelati tak format podatkov, ki bo povezljiv s programsko opremo drugih proizvajalcev za daljinsko zaznavanje, ki se uporablja za obdelavo in analizo slik. Programski paket SOCET Set bo poskrbel za osnovne funkcije za obdelavo slik.

10. ZAHVALA

Avtorji bi se radi zahvalili DLR za njihov prispevek k razvoju testnega modela in preizkusnim poletom. Posebej bi se radi zahvalili dr. Reinhardu Schusterju, ki nam je posredoval rezultate kalibriranja testnega modela, ki smo jih v članku tudi predstavili.

Literatura:

Albertz, J., Ebner, H. & Neukum, G., 1996. *The HRSC/WAOSS camera experiment on the MARS96 mission – A photogrammetric and cartographic view of the project.* ISPRS Congress, Vienna, July 9-14.

Sandau, R. and Bärwald, W., 1994. *A three-line wide-angle CCD stereo camera for Mars-94 mission.* In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 30, Part B1, pp. 82-86.

Sandau, R. and Eckardt, A., 1996. *The stereo camera family WAOSS/WAAC for spaceborne/airborne applications.* In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 31, Part B1, pp. 170-175.

Recenzija: Redakcijski odbor simpozija ISPRS v Ljubljani, februar 2000

Prispelo v objavo: 2000-05-11