

# GEODETSKI VESTNIK

izdaja zveza geodetov slovenije

published by the association of surveyors, slovenija, yugoslavia

3

letnik 33, ljubljana, 1989



**ŠTEVILKA 3-89**

**LETNIK 33, STR. 76-159, LJUBLJANA, SEPTEMBER 1989**  
**UDK 528**

**Uredniški odbor:**

predsednik: dr. Albin Rakar  
v.d. glavnega in odgovornega urednika: Matjaž Grilo  
urednik za znanstvene prispevke: Andrej Bilc  
člana: Franci Bačar, Miroslav Logar

Pri urejevanju te številke so sodelovali: Mojca Kosmatin-Fras, Zmago Fras in Zoran Stančič

Izdajateljski svet predstavljajo delegati društev, Skupnosti geodetskih delovnih organizacij, Republiške geodetske uprave, Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo in uredniškega odbora.

Prevod v angleščino: Mojca Kosmatin-Fras  
Lektorstvo: Aljoša Kavčič

Izhajajo štiri številke letno.

Prispevke pošljite na naslov: Matjaž Grilo, Geodetski zavod SRS, Šaranovičeva 12, 61000 Ljubljana, tel.: (061) 327-861 int.53

Za navedbe in morebitne napake v rokopisu odgovarja avtor sam.  
Rokopisov ne vračamo.

Tisk: Tiskarna in knjigovoznica Radovljica  
Naklada: 1000 izvodov

Izdajo Geodetskega vestnika sofinancira Raziskovalna skupnost Slovenije.

Po mnenju Republiškega sekretariata za prosveto in kulturo št.4210-35-75 z dne 24.1.1975 je glasilo oproščeno temeljnega davka od prometa proizvodov.



št. ....

# KAZALO

---

## UVODNIK

## IZ ZNANOSTI IN STROKE

- Razvoj fotogrametrije in vpliv na proizvodnjo informacije (B. Makarovič)  
*Photogrammetry development and impact on the information production* 76
- Digitalna fotogrametrija (Z. Stančič)  
*Digital photogrammetry* 90
- Digitalni ON-LINE sistemi v bližnjelikovni fotogrametriji (Z. Fras)  
*Digital on-line systems in close range photogrammetry* 96
- Kalibracija video kamere za potrebe fotogrametrične dokumentacije arheoloških izkopavanj (Z. Stančič)  
*Video camera calibration for the photogrammetric documentation of archaeological excavations* 114
- Tehnike digitalne obdelave posnetkov - orodje v rokah fotogrametra (M. Čeh, T. Gvozdanovič, M. Kosmatin-Fras)  
*Digital image processing techniques - a tool in hands of photogrammetrist* 122
- Opis OFF-LINE izdelave digitalnega ortofota v praksi (M. Kosmatin-Fras)  
*Description of off-line digital orthophoto generation in a practice* 133
- Analiza in obdelava podatkov skaniranih s sateliti (A. Tretjak, D. Šabič, I. Orešnik)  
*Analyse and processing of data scanned by satelits* 142

OPISI IN DEFINICIJE IZRAZOV 153

OBVESTILA 155

KOLEDAR 157

IMENOVANJA NA FAGG 158

## UVODNIK

---

Kot smo obljubili. Pred vami je druga, tematska številka Geodetskega vestnika. Lahko bi se reklo, da je eksperiment tistih, ki se z izdajanjem našega strokovnega glasila ukvarjamo. Tematska številka - uglasena na temo DIGITALNA FOTOGRAMetriJA.

Po mnogočem se razlikuje od prejšnjih števil. Prevladujejo strokovni članki, manj je zanimivosti in društvenih novic. Pa vendar ne zaradi koncepta te številke, ampak zaradi mrtve sezone v delu društev in naše osrednje zveze.

Ne delamo si utvar, da bo takšen koncept urejanja Geodetskega vestnika naletel na vsesplošno hvalo, pa vendar upamo, da smo strokovno temo zaokrožili na višji nivo, jo s tem naredili aktualno in dostopno vsakomur, ki ga ta plat geodezije vsaj malo zanima. Zaradi pomanjkanja tovrstne literature pri nas, pa lahko postane tudi učni pripomoček, ki bo zadovoljil osnovno poznavanje te pri nas še precej nove in nepoznane veje fotogrametrije. Če nam je to uspelo, je ves naš trud bogato poplačan.

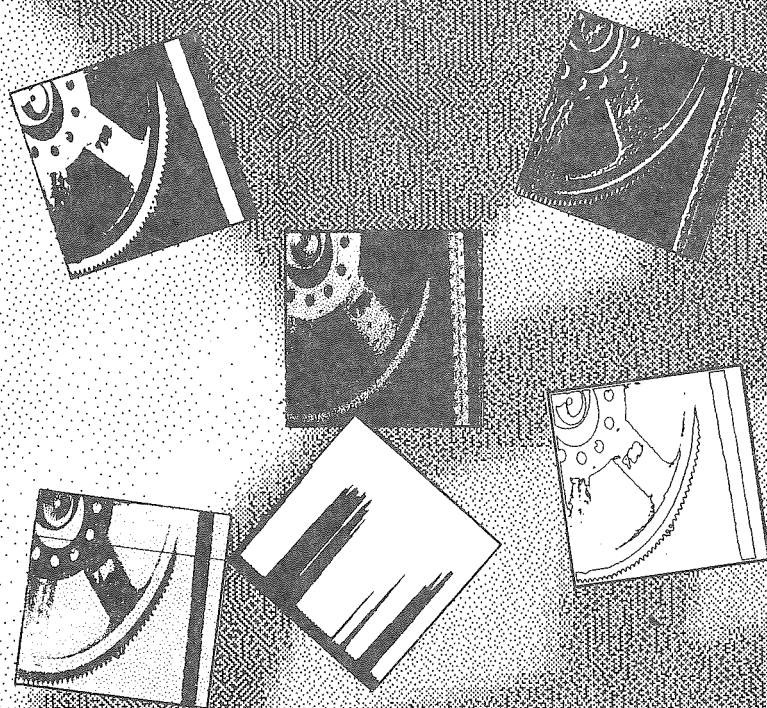
Na koncu dolgujem zahvalo Mojci Kosmatin-Fras, Zoranu Stančiču in Zmagu Frasu za izdatno pomoč in nasvete pri urejanju. Vsi skupaj smo se trudili narediti aktualno in strokovno močno številko našega strokovnega glasila.

Presodite sami!

Od vaših odzivov je odvisno ali se bo takšna uredniška politika nadaljevala ali ne.

v.d. urednika Geodetskega vestnika  
Matjaž Grilc

DIGITAL



FOTOGRAHERIJ

---

## RAZVOJ FOTOGRAMETRIJE IN VPLIV NA PROIZVODNJO INFORMACIJE

---

dr. Branko Makarovič

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences  
Junij 1989, Enschede, Nizozemska

### AVTORSKI IZVLEČEK

*Namen članka je prikazati novejši razvoj fotogrametrije v okviru geo-informacijske tehnologije in različnih uporab bližnjleslikovne fotogrametrije. Vsebina je razdeljena v tri dele: splošni vidik, novi tehnični dosežki in vpliv na proizvodnjo.*

*Splošni vidik se nanaša na kontekst, odnose med strokovnimi področji, razmejitve med fotogrametrijo in daljinskim zaznavanjem ter definiranje fotogrametričnih tehnik in procesov. Novi tehnični dosežki zadevajo snemanje, digitalno procesiranje slik, integracijo proizvodnje in integrirane sisteme.*

*Vpliv na proizvodnjo je opredeljen z zunanji in notranji vplivnimi faktorji proizvodne ustanove. Proizvodnja geo-informacije obsega snemanje, aerotriangulacijo, modeliranje reliefa, transformiranje slik in modeliranje terenskega detajla. Bližnjleslikovne uporabe so specializirane in jih zato ni mogoče obravnavati poenoteno.*

*Članek zaključuje kratek pregled razvojnih trendov.*

### AUTHORS' ABSTRACT

*The paper aims at reviewing of the new developments in photogrammetry in the context of geo-information technology and of the various close range applications.*

*The contents comprise three main parts, i.e., general considerations, new technical achievements, and their impact on production.*

*General considerations address the context, the relationships among the professional fields, delineation between photogrammetry and remote sensing, and some definitions of the photogrammetric techniques and processes.*

*New technical achievements concern the aerial survey mission, digital image processing, integrated systems.*

*Impact on production can be represented in terms of the external and internal factors of a production institution. The production of geo-information comprises aerial photography, aerotriangulation, terrain relief modelling, image transformations, and modelling terrain features. Close range applications are user-specific, and can therefore not be treated as an entity.*

## UVOD

Ta članek ima dvojni namen: posredovati kratek pregled razvoja v fotogrametriji in oceniti vpliv tega razvoja na današnjo in bodočo tehniko fotogrametrične proizvodnje informacije. Poudarek je na geo-informaciji (GI), čeprav so bližnjelikovne uporabe (BS) tudi vključene.

Vsebina je razdeljena na tri dele:

- splošni vidiki,
- novi tehnični dosežki,
- vpliv na proizvodnjo.

"Splošni vidiki" so omejeni na nekaj definicij in predvsem na vpogled v nekatere važnejše aspekte. Namen tega dela je ustvariti širši miselni okvir ter s tem prispevati k boljšemu razumevanju tehničnega razvoja v fotogrametriji, ki je predmet drugega dela članka in ima poudarek na digitalni tehniki. Glede na izredno hiter in raznolik razvoj na tem področju (posebno bližnjelikovne fotogrametrije) je ta del le sumaričen in zato nepopoln. Zadnji del je posvečen praktičnim vidikom in oceni uporabnosti novih dosežkov v dejanskih proizvodnih razmerah.

### I. SPLOŠNI VIDIKI

Naslednji aspekti in problemi predstavljajo pretežno neodvisne oz. šibko-odvisne fragmente, ki pa skupaj bistveno prispevajo k okvirnim razmeram za tehnični razvoj. Ti aspekti zadevajo: kontekst, odnose med vplivnimi disciplinami (t.j. strokovnimi področji), razmejitve med fotogrametrijo (F) in "remote sensing" (daljinsko zaznavanje), fotogrametrične naloge (funkcije), metode in opremo (proizvodna sredstva), splošno definicijo fotogrametričnih procesov in primarno (celotno) oz. diferencialno izvedenost.

V naslednjem poglavju je dan kratek opis teh okvirnih aspektov.

#### 1/ Kontekst

Kontekst opredeljuje širše ozadje določene tehnologije oz. sistema. Faktorje, ki vplivajo

na kontekst, je mogoče razdeliti v tehnološke in proizvodne.

#### a) Tehnološki faktorji

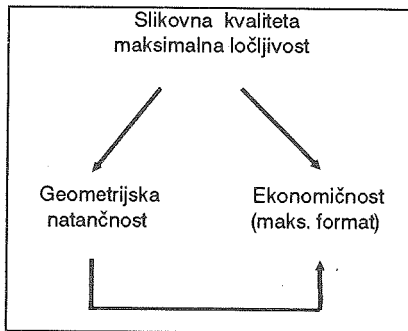
Le-te je umestno diferencirati glede na:

- razvojno stanje v geo-informacijski tehnologiji: (v širokem smislu), fotogrametriji (GI, BS) in drugih vplivnih disciplinah (osnovnih, sorodnih in uporabnikov GI in BS)
- kompleksnost tehnologije oz. sistemov:



#### b) Proizvodni faktorji:

- potrebe uporabnikov: geo-informacijski uporabniki (cca 10%), bližnjelikovni uporabniki (cca 90%),
- odvisnost med kvaliteto geo-informacije in ekonomičnostjo proizvodnje. Snemalne razmere so optimalne, kadar je ločljivost slik maksimalna in je geometrična natančnost zadostna. To omogoča manjše merilo posnetkov kot sicer in s tem prekritje določenega področja terena z manjšim številom posnetkov (slika 1).



Slika 1: Trikotnik optimiranja

- stanje v proizvodnih (GI,BS) ustanovah.

Vplivni faktorji so organizacijska struktura, viri, tehnično stanje, itn.

Prehod v digitalno tehnologijo zahteva temeljite notranje prilagoditve v ustanovah.

## 2/ Odnosi med vplivnimi disciplinami

Z vidika geo-informacijske tehnologije je mogoče ločiti tri skupine disciplin: vstopne, osrednje in izstopne (slika 2). Vsako od teh disciplin je mogoče razdeliti v dve podskupini: eno, ki daje znanje in tehnična sredstva in drugo, ki jih uporabi.

Osnovne discipline so npr. matematika, fizika, mikroelektronika, računalniška tehnologija, itn.

Sorodne discipline so geodezija, geomorfologija, hidrografija, geofizika, itn. Discipline uporabnikov so kataster, komunalne službe, ustanove za planiranje uporabe zemljišč, za nizke gradnje, za nadzor in zaščito okolja, itn.

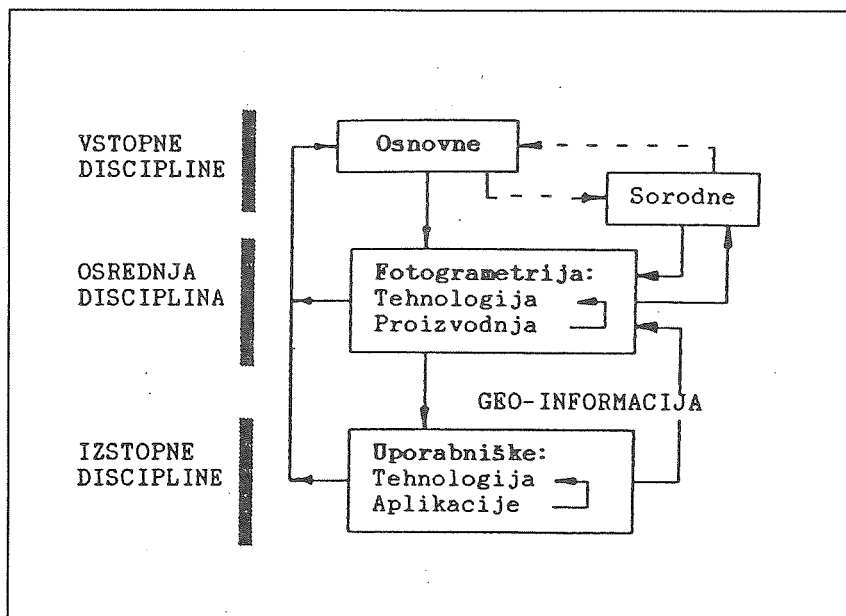
V bližnjelikovnih uporabah se "fotogrametrija" in "uporabniška disciplina" prekrivata. Pri tem je v sliki 2 geo-informacija nadomeščena z informacijo, ki je specifična za vrsto uporabe.

Specifikacije za informacijo (proizvod) lahko določimo v iterativnem postopku pogajanj med uporabnikom in proizvajalcem. Tak postopek naj bi vodil k optimiranju proizvodnje in uporabe informacije.

## 3/ Razmejitev med področjem fotogrametrije in področjem daljinskega zaznavanja

Razmejitev med fotogrametrijo in daljinskim zaznavanjem in identificiranje medsebojnih relacij služi ne le preprečevanju zmede med disciplinami, temveč omogoča temeljitejšo formuliranje geo-informacijskih projektov oziroma programov in ustreznih specifikacij, bolj dosledno komunikacijo v proizvodnem okolju in prispeva k jasnosti v strokovni literaturi in pri izobraževanju.

Fotogrametrija in daljinsko zaznavanje služita za zajemanje informacije z razdalje



Slika 2: Odnosi med vplivnimi disciplinami

(brez dotika objekta) na zemlji, v zraku in v vesolju. V obeh primerih je lahko procesiranje in reprezentacija slik analogna oz. digitalna (danes je v daljinskem zaznavanju skoraj izključno digitalna).

Fotogrametrija uporablja pretežno filmske kamere, v zadnjem času tudi elektronske (CCD) kamere. Služi za zajemanje geo-informacije vseh meril in različnim bližnjelikovnim namenom. Daljinsko zaznavanje uporablja izključno elektronske senzorje, kot so multispektralni (MSS) in infrardeči (IR) senzorji, radarske sisteme (SLA, SAR) in

zadnji čas tudi elektronske (CCD) kamere. Zadnje predstavljajo skupno območje med fotogrametrijo in daljinskim zaznavanjem; razlike nastopajo pri uporabi. Daljinsko zaznavanje služi pretežno za zajemanje geo-informacije manjših meril (1:100 000), predvsem za globalne pojave na zemlji in za zajetje specifične informacije (predvsem v širšem spektralnem območju). Za razliko od fotogrametrije je uporabljeno daljinsko zaznavanje predvsem iz vesolja.

Nekatere pomembne lastnosti obeh tehnik so zbrane v tabeli 1.

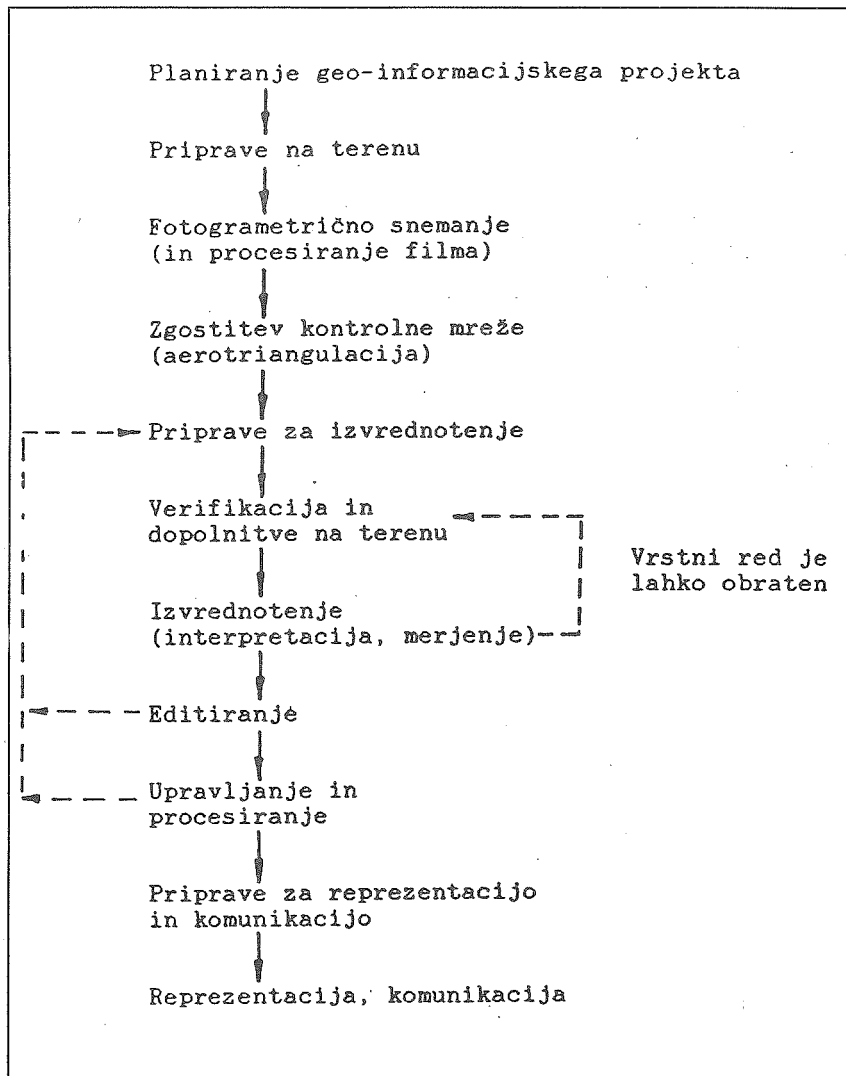
| LASTNOST          | TEHNIKA                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Fotogrametrija                                                                                                                                | Remote sensing                                                                                                                                                                                     |
| <b>PREDNOSTI</b>  | Visoka geom. kvaliteta<br>Visoka ločljivost<br>Malo vzdrževanja<br>Nizka do srednja cena<br>Fleksibilnost snemanja (iz zraka, na zemlji)      | Široko spektralno območ.<br>Široko dinamično območje<br>Snemanje ponoči in skozi oblake (SLAR, SAR)<br>Dolgoročno periodično snemanje<br>Zajetje velike površine<br>Takojšen prenos slik na zemljo |
| <b>OMEJITVE</b>   | Odvisnost od vremena in časa<br>Omejeno spektralno območje<br>Omejeno dinamično območje<br>Kratkotrajno snemanje<br>Transport filma na zemljo | Nizka oz. srednja kvalit.<br>Nizka oz. srednja ločljivost (na zemlji)<br>Visoka cena (sistema, operacije)<br>Nefleksibilnost snemanja (iz vesolja)                                                 |
| <b>UPORABNOST</b> | Zajemanje GI vseh meril, poseb. velikih<br>Detaljna tematska snemanja<br>Različne bližjeslik. uporabe                                         | Globalna tematska sneman.<br>(geol., oceanog., hidrol., vegetacije)<br>Zajemanje GI manjš. meril<br>Rekognosciranje velikih površin                                                                |

Tabela 1: Lastnosti fotogrametrije in daljinskega zaznavanja

#### 4/ Postopek fotogrametričnega zajemanja geo-informacije

Celoten postopek fotogrametričnega zajemanja geo-informacije obsega 11 operativnih faz, ki so povezane v zaporedno verigo (slika 3).

Fotogrametrično izvedenost posnetkov posreduje informacijo v skladu s specifikacijami. Pri tem so možne tri proizvodne smeri: modeliranje reliefa terena (grafično, digitalno), transformiranje slik (redresiranje, orto-transformacija in druge) in modeliranje terenskega detajla (z izjemo reliefa; grafično, digitalno).



Slika 3: Faze fotogrametričnega zajemanja geo-informacije

Za vsako od teh glavnih proizvodnih smeri je več postopkov. Vsak postopek (model procesa) povezuje vrsto med seboj povezanih operacij, ki jih je mogoče realizirati delno avtomatično in delno interaktivno (preko operaterja).

## 5/ Tehnika izvedenja (za GI)

Tehnika izvedenja združuje ustrezne metode in sredstva (opreme). Osnovni metodi sta enoslikovna (mono) in stereoslikovna; sredstva za realizacijo pa so lahko analogna, analitična in digitalna (tabela 2).

Postopke fotogrametričnega izvedenja je mogoče prikazati posplošeno s štirimi fazami. Te so: priprava vstopne informacije

obstoječe geo-informacije so diferenčne. S tehničnega vidika je diferenčno izvedenja bolj zahtevno kot prvotno izvedenja. Najprej je potrebno izločiti razlike med novimi posnetki in obstoječo geo-informacijo; in po izvedenju je potrebno integrirati novo informacijo v obstoječo bazo. Integracija lahko zahteva lokalni "resampling" (glej terminološki slovarček). V tehničnem smislu predstavlja prvotno izvedenja poenostavljen primer diferenčnega izvedenja.

Prehod iz grafične v digitalno GI tehnologijo nudi priložnost za učinkovito obnovo in dopolnitev z diferenčnim izvedenjem. Le-to pridobiva na pomenu v kontekstu digitalne fotogrametrije.

| METODA | SREDSTVA                  |                        |                 |                          |                            |
|--------|---------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|
|        | Analogna                  | Hibridna A             | Analitična      | Hibridna D               | Digitalna                  |
| MONO   | Redreserji<br>Orto-instr. | povezani s računalnik. | Mono instr.     | -:-                      | Mono instr.<br>Orto instr. |
| STEREO | Stereo instrum.           | povezani s računalnik. | Stereo instrum. | Skenerji<br>Digitalizat. | Stereo sistemi             |

Tabela 2: Tehnike fotogrametričnega izvedenja

in interpretacija slik, merjenje in transformiranje geometrije, naknadno procesiranje izstopne informacije in kartiranje (slika 4). Ustrezne operacije je mogoče uvrstiti v geometrično oziroma semantično področje.

Iz slike 4 je razvidno, da so operacije razvrščene izmenično v geometrično in semantično področje, kar opozarja na izrazito interaktivnost obeh domen.

Prikaz izvedenja v sliki 4 je zelo posplošen; vsako varianto izvedenja je mogoče modelirati z ustreznim specifičnim postopkom. Prvotno izvedenja prekrija celoten prostor projekta oziroma programa. Poznejše revizije in dopolnitve

## II. NOVI DOSEŽKI

Hitra ekspanzija mikroelektronike, računalniške in komunikacijske tehnologije zadnjih let se močno odraža v razvoju informacijske tehnologije ter s tem tudi v razvoju digitalne fotogrametrije. Na teh področjih se tehnično znanje podvoji v obdobju treh do štirih let, kar vpliva tako na obnovo proizvodnih sistemov kot tudi na kontrolo kvalitete in podporo (servis, vzdrževanje) sistemov.

Ker razvoj geo-informacijske in bližnjeliskovne fotogrametrije vse bolj divergira, je umestno vsako od teh smeri obravnavati ločeno. Obema smerema fotogrametrije so skupne tri osnovne teme razvoja:

| FAZA<br>PROCESA    | PODROČJE                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | GEOMETRIČNO                                                                                                                                               | SEMANTIČNO                                                                                                                                                                                                                                      |
| PRIPRAVI           | <p>Pripravi kontrolne podatke</p> <p>Identific. kontrolne točke</p> <p>↓</p> <p>Označi (oštevilči)<br/>kontrolne točke</p>                                | <p>Pripravi apriorno<br/>informacijo</p> <p>Pripravi slike</p> <p>Interpretiraj in izloči<br/>relevanten detajl</p> <p>Označi (kodiraj) detajl</p>                                                                                              |
| IN                 |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                 |
| INTERPRE-<br>TIRAJ |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                 |
| MERI               | <p>Meri kontrolne točke</p> <p>Izračunaj orientacijo</p> <p>Meri (digitaliziraj)<br/>detajl</p> <p>↓</p> <p>Transformiraj sliko v<br/>karto oz. teren</p> | <p>Uvedi kodo (indeks)<br/>detajla</p>                                                                                                                                                                                                          |
| IN                 |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                 |
| TRANSFOR-<br>MIRAJ |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                 |
| PROCESIRAJ         | <p>Editiraj geometrijo</p> <p>↓</p> <p>Oceni geometrično kvalit.</p> <p>↓</p> <p>(generaliziraj geometrijo)</p>                                           | <p>Editiraj detajl</p> <p>↓</p> <p>Oceni semantično kvaliteto</p> <p>↓</p> <p>(Generaliziraj detajl)</p> <p>Pripravi kontrolne podatke<br/>za grafično prezentacijo</p> <p>↓</p> <p>pripravi kontrolne podatke<br/>za grafično prezentacijo</p> |
| NAKNADNO           |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                 |
| KARTIRAJ           | <p>Kartiraj (prikaži)<br/>geometrijo</p>                                                                                                                  | <p>Kartiraj (prikaži) detajl<br/>in tekst</p>                                                                                                                                                                                                   |

Slika 4: Faze in operacije fotogrametričnega izrednotenja

- tehnike snemanja;
- analitično in digitalno procesiranje;
- integracija proizvodnje in integrirani sistemi.

## 1/ Tehnike snemanja

Glede na lokacijo snemalnih kamer oziroma drugih senzorjev za formiranje slik ločimo med vesoljem (v satelitu), zrakom (v letalu, helikopterju, balonu), kopnim in vodo.

a) Snemanje iz vesolja in zraka posreduje slike terena za zajemanje geo-informacije.

Razvoj zadeva navigacijo snemanja, pozicioniranje snemalnih stojišč, elektronske kamere (in komunikacijo), raznovrstne slike, kvaliteto slik in naprave za dodatne podatke.

Pomembni dosežki so zabeleženi na področju:

- visokokvalitetnih filmskih kamer (s kompenzacijo premika slike in filmi z visoko ločljivostjo),
- multispektralnih filmskih kamer,
- elektronskih (CCD) kamer (linijske, površinske),
- elektrooptičnih multispektralnih (MSS) in infrardečih (IR) senzorjev,
- radarskih snemalnih sistemov (SLAR, SAR).
- Razvoj naprav oziroma sistemov za zajemanje dodatnih podatkov med snemanjem zadeva:
- sisteme za globalno pozicioniranje (GPS) in za navigacijo snemanj iz zraka (GPS in CCNS: Computer Controlled Navigation System);
- radarske oziroma laserske višinsmere (za merjenje profila terena).

b) Snemanja na kopnem in pod vodo služijo raznim bližnjefotografskim namenom.

Speciliziranost bližnjefotografskih aplikacij zahteva prilagoditev snemalnega sistema okoliščinam objekta in specifikacijam za izstopno informacijo. Najpogostejši uporab-

niki bližnjefotografske tehnike so industrija, medicina, gradbeništvo, arhitektura, arheologija, policija in drugi.

Za snemanje velikih objektov iz kratke razdalje je mogoče razvrstiti več elektronskih kamer tako, da se slikovna polja deloma prekrivajo, in jih povezati s skupnim računalnikom. To omogoča sinhrono (istočasno) procesiranje slik in prikaz za interaktivno uporabljanje oziroma avtomatično krmiljenje procesov v industrijski proizvodnji. Pri tem je snemanje, procesiranje in krmiljenje zunanjih naprav združeno v enoten proces.

## 2/ Analitično in digitalno procesiranje

Obe tehniki sta primerni tako v geo-informacijski kot tudi v bližnjefotografski fotogrametriji. Razlika zadeva reprezentacijo slik, ki je v analitični tehniki analogna, v digitalni pa digitalna. Geometrična informacija je v obeh primerih digitalna. Tipičen predstavnik analitične tehnike je analitični stereoinstrument. Digitalni sistem obsega rastrski skaner-digitalnik, fotogrametrični delovni terminal in računalnik (s perifernimi enotami).

a) Geo-informacijska proizvodnja

Na današnji razvojni stopnji prevladuje analitična tehnika. Prevladuje predvsem zaradi visoke ločljivosti analognih slik in optičnih (opazovalnih) sistemov (do 150 lp/mm) ter velikega zornega polja (do premera 40 mm) okularjev analitičnih stereoinstrumentov.

Kombinacija visoke ločljivosti z velikim zornim poljem ("slikovno okno") je bistveni predpogoj za učinkovito interpretacijo in ekstrakcijo semantične informacije in s tem za ekonomičnost proizvodnje geo-informacije (slika 1).

Za aerotriangulacijo in za modeliranje reliefa terena ni potrebna ekstremno visoka ločljivost slik; zato je v te namene dokaj uspešna digitalna tehnika, ki uporablja digitalne slike z znižano ločljivostjo.

- Aerotriangulacijo (AT) je mogoče skoraj povsem avtomatizirati. Primer je Digital Comparator Correlator System

(DCCS, HAI, USA), ki omogoča avtomatično izbiro veznih točk korelacijo ter merjenje slikovnih koordinat in izravnavanje bloka.

Neodvisno od avtomatizacije je možno uvesti v izravnavanje aerotriangulacijska snemalna stojišča kamere kot kontrolne točke. Ta stojišča je mogoče določiti med snemanjem z GPS in z naknadnim procesiranjem z visoko natančnostjo.

- Digitalno modeliranje reliefa terena (DMR) s pomočjo digitalnih slik je danes osrednja tema avtomatizacije v fotogrametriji. V ta namen so možne različne strategije in algoritmi. Sisteme za DMR je mogoče opredeliti v sinhrono in asinhrono. V principu sinhroni sistemi niso potrebni. DMR obsega predprocesiranje, korelacijo homolognih segmentov slik, naknadno procesiranje (z določanjem točk DMR) in editiranje. Te faze so spremljane s kontrolo kvalitete. Kadar nastopijo nepredvidene težave oz. prekinitev avtomatičnega procesa, lahko poseže v sistem operater s pomočjo delovnega terminala. Osrednji problem je korelacija homolognih slikovnih segmentov, ki nadomešča vizualno zaznavanje in manualno merjenje stereoskopskih slik. Korelacija temelji na oceni podobnosti homolognih segmentov slik, običajno z uporabo statističnih kriterijev. Postopek je mogoče poenostaviti oziroma izboljšati z uvedbo geometričnih pogojev npr. z uvedbo jedernih žarkov, kolinearnosti žarkov v prostoru oziroma drugih apriornih podatkov. Proces je običajno postopen, od grobe (približne) do natančne korelacije. Kadar je potrebna maksimalna natančnost (npr. pri aerotriangulaciji) in so izpolnjene določene predpostavke, je umestno uporabiti v zadnji iteraciji izravnavanje po metodi najmanjših kvadratov. Za DMR to običajno ni potrebno.
- Digitalna informacija slik zadeva geometrijo ter intenziteto oziroma

barvo slik. Možne so poljubne transformacije. Najbolj pogosta geometrična transformacija je iz perspektivne v ortogonalno projekcijo. Tehnika je že več let operativna in uporabljana predvsem za transformiranje raznih RS slik v določeno terestrično koordinatno mrežo. RS slike so v osnovi digitalne in imajo nizko do srednjo ločljivost; zato so posebno ugodne za digitalno procesiranje.

Postopek geometričnih transformacij obsega več faz. Najprej je potrebno določiti mrežo pikselov v novi sliki in to transformirati v mrežo stare slike. Sledi interpolacija (običajno bilinearna) intenzitete (oziroma barve) novih pikselov iz najbližjih starih. Nato je mogoče reprezentirati novo sliko po potrebi z dodatnim procesiranjem, kot npr. z uporabo filtrov za izboljšanje slikovne kvalitete, ojačanje kontrasta, poostritve robov, itd.

Poleg poljubnih transformacij omogoča digitalna tehnika tudi sestavljanje transformiranih slik v večje homogene enote (mozaike brez vidnih prehodov med slikami) in uvedbo dodatne informacije v obliki linij, imen in števil.

- Avtomatična analiza in razumevanje slik (interpretacija) in ekstrakcija semantične informacije je kritična tema raziskovalnega dela v širšem smislu, ne le v fotogrametriji in RS. Pri tem ima "umetna inteligenca" (oziroma "ekspertni sistemi") zelo važno vlogo. Za slike terena (iz vesolja in zraka) je problem avtomatiziranja izredno kompleksen; kljub obsežnemu raziskovalnemu delu so doslej dosežki dokaj skromni. Delni uspehi so bili zabeleženi na področju klasifikacije MSS slik iz satelitov in pri segmentaciji slikovne informacije.

Zadnji razvoj mikroprocesorjev in medijev za spomin daje novo perspektivo za uspeh na tem področju. Vendar bi bilo iluzorno pričakovati popolno avtomatizacijo ekstrakcije semantične informacije. Premaknila se bo le meja med interaktivno in avtomatično ekstrakcijo.

### b) Bližnjelikovne aplikacije

Bližnjelikovni sistemi so lahko sinhroni (istočasni vstop in izstop) oziroma asinhroni z daljšim časovnim presledkom med vstopom in izstopom. V sinhronih sistemih je snemanje in procesiranje združeno v enoten proces. Sinhroni sistemi združujejo elektronske kamere, različne spomine (za vstopne slike, procesiranje in izstopne slike), procesorje (pomožne, glavne), registrirne naprave, sredstva za komunikacijo in delovni terminal.

Vsaka vrsta bližnjelikovne uporabe zahteva posebno konfiguracijo komponent opreme in posebne programe. Najpogostejše je zahtevana geometrična informacija o objektu, ki je lahko nepremičen oziroma premičen, kot je npr. lokacija, velikost, oblika, orientacija, premik in deformacija. Na splošno (z izjemami) ni potrebna visoka geometrična natančnost; hitrost operacije je lahko bolj kritična.

Pogosto je mogoče označiti površino objekta umetno (npr. s posebnim projektorjem), z vzorcem, ki omogoča natančno avtomatično merjenje.

Bližnjelikovne aplikacije so običajno (z izjemami) manj zahtevne glede ekstrakcije semantične informacije. Zato zadošča srednja ločljivost slik (npr. CCD kamer), kar zelo poenostavi procesiranje, komunikacijo in prikaz.

### 3/ Integracija proizvodnje in integrirani sistemi

Vprašanja kaj in zakaj integrirati sta medsebojno odvisni. Odgovor na prvo vprašanje je: sistem z okoljem, komponente v sistemu, strukture in komunikacije.

Na vprašanje zakaj integrirati je odgovor: za zadovoljitev potreb, izhajajočih iz spremenjajoče se tehnologije (zunanje: npr. informacijske tehnologije v širokem smislu, standardizacije, prehoda h kvalitativnim in bolj diferenciranim geo-informacijam) in zaradi notranjih potreb sistema (kot so povečanje proizvodne kapacitete, znižanje

stroškov, izboljšanje kvalitete, ravnesje interaktivnih in avtomatičnih operacij, racionalno izkoriščanje virov, učinkovito vzdrževanje itd.).

Integracija vključuje vrsto različnih strokovnih disciplin (slika 2), opremo, programe in informacijo.

Tehnologija integracij predstavlja znanje, ki je potrebno za razvoj, uporabo in podporo integriranih sistemov. Integriran sistem je proizvod procesa integracije. Pri tem so osrednjega pomena definicija vstopne in izstopne informacije, tekoč nemoten pretok informacije, kompatibilnost komponent, skladnost struktur informacije in komunikacije, kontrola kvalitete in podpora (servis, vzdrževanje, dokumentacija, itd.).

Proces integracije vsebuje optimiranje posameznih proizvodnih smeri in sistema kot celote.

#### a) Geo-informacijski proizvodni sistemi

Komponente geo-informacijskih sistemov je mogoče opredeliti v vstopne, osrednje in izstopne. Povezane so lahko v različne konfiguracije: zaporedne, paralelne, centralne, distributivne in fragmentne. Danes vse bolj prevladujejo distributivne (razvejane) konfiguracije z delno centralizacijo. Komponente je mogoče tudi povezati v ločene podsisteme primerne za posamezne proizvodne smeri.

Vstopne komponente so:

- geodetski instrumenti in sistemi (vključno GPS in "totalne postaje");
- fotogrametrični instrumenti in sistemi: komparatorji, foto-digitalniki, stereoinstrumenti (analogni, analitični, digitalni);
- delovni terminali;
- RS: vstopni mediji (magnetni diski, trakovi);
- kartografski digitalniki;
- druge komponente: vstopni mediji (magnetni trakovi, diski).

Osrednje komponente so: računalniki, mik-

roprocesorji, mediji za spomin, lokalne komunikacijske mreže, delovni terminali in druge periferne naprave.

Izstopne komponente so: avtomatične kartirne mize, AN registrirne naprave, grafični printerji, delovni terminali (AN, grafični) in drugo.

Nekatere vstopne, osrednje in izstopne komponente so lahko povezane v povratne zanke.

Primarni cilj integracije je optimiranje geo-informacijske proizvodnje. Proizvodnja obsega naslednje smeri: snemanje terena, zgostitev kontrolnega omrežja, modeliranje reliefa terena, transformiranje slik in modeliranje detajla na terenu (z izjemo reliefa). Zaporedje teh proizvodnih smeri je pomembno za nemoten pretok informacije v sistemu kot celoti. Pri tem je bistvenega pomena učinkovita izmenjava geo-informacij in kontrolnih podatkov med geo-informacijsko bazo in proizvodnimi sredstvi.

Na področju integriranih sistemov zadevajo današnje raziskovalne teme predvsem formuliranje splošnih teoretičnih konceptov in razvoj ekspertnih sistemov za posamezne proizvodne smeri. To med drugim vključuje integracijo "baze geo-informacijskega znanja" z "bazo slik terena", tehnike superpozicije in oceno primernosti oziroma uporabnosti geo-informacije s stališča različnih uporabnikov.

#### b) Bližnjelikovne uporabe in sistemi

Velika raznolikost bližnjelikovnih uporab in sistemov otežkoča njihovo sistematično obravnavanje. Vsaka aplikacija oziroma varianta zahteva poseben proces. Raznolikost komponent je v posameznih bližnjelikovnih sistemih manjša kot v geo-informacijskih sistemih, ker je proces bolj specializiran. Sinhroni sistemi so bolj zahtevni od asinhronih zaradi visoke hitrosti snemanja premičnih objektov, hitrega procesiranja slik, interne komunikacije, prikaza in krmiljenja. Pri tem je pretok informacij zelo intenziven, medtem ko zadošča zmerna kapaciteta spomina.

### III. VPLIV NA PROIZVODNJO

Pred uvedbo novih tehnik v proizvodnjo oziroma pred nabavo novih sistemov je potrebno:

- realno oceniti njihovo operativno zrelost oziroma primernost za uporabo v dejanskih (in potencialnih) proizvodnih okoliščinah;
- zagotoviti ustrezno podporo kot je usposabljanje osebja, servis, vzdrževanje, dokumentacija, itd.

Zato je potrebno dognati vse pomembne vplivne faktorje; lete je umestno opredeliti v zunanje in notranje.

Zunanji faktorji so: potrebe po geo-informaciji oziroma po bližnjelikovnih uporabah (oboje diferencirano), spremenjajoča se tehnologija, delitev dela z drugimi ustanovami, pritisk k modernizaciji (za vzdrževanje konkurenčnosti na trgu), itd.

Notranji faktorji so: obstoječe (in potencialno) tehnološko stanje v ustanovi, osebje (usposobljenost, motiviranost za tehnično obnovo), organizacijska struktura (fleksibilnost), kompatibilnost nove in stare tehnike (problemi prehoda), stopnja uporabe sistemov (in drugih virov), pričakovani vplivi nove tehnike (kratkoročni oziroma dolgoročni, tehnični, finančni, družbeni), itd.

Vplivni faktorji predstavljajo izhodišče za določitev kriterijev za oceno ustreznosti nove tehnike v danih (oziroma potencialnih) operativnih okoliščinah.

#### 1/ Geo-informacijska proizvodnja

Fotogrametrična proizvodnja geo-informacij obsega pet osnovnih proizvodnih smeri: snemanje terena (ST), zgostitev kontrolnega omrežja (aerotriangulacije), modeliranje reliefa (MR), transformiranje slik (TS) in modeliranje terenskega detajla (MD). V naslednjem pregledu teh smeri s stališča proizvodnje je pozornost posvečena digitalni tehniki (z izjemo snemanja).

- Snemanje je odločujoče za ekonomičnost in kvaliteto geo-informacijskega zajemanja (slika 1). Ekonomičnost je odvisna od površine terena zajete s posamezno sliko: čim večja je površina, tem manj posnetkov je potrebnih za prekritje določenega teritorija.

Kvaliteta in popolnost semantične informacije pa je odvisna od ločljivosti slik (prevsem prostorne). Zato je bistvena uporaba visokokvalitetnih kamer večjega formata (s kompenzacijo premika in visokoločljivim filmom) in kvaliteta fotolaboratorijske opreme in procesov.

Elektronske CCD kamere imajo zaradi nizke do srednje ločljivosti omejeno uporabnost. Primerne so do neke mere za geo-informacije manjših meril in za posebne tematske namene. Ustrezni sistemi za procesiranje takih slik še niso povsem operativni (z nekaj izjemami).

Natančna navigacija snemanja in pozicioniranje snemalnih stojšč z GPS sta zelo uspešna predvsem za snemanje velikih površin terena z majhnim številom kontrolnih podatkov. V nasprotnem primeru pridobitev z integracijo GPS v snemalni sistem in aerotriangulacijo ni bistvena.

- Aerotriangulacijo (AT) je smiselno avtomatizirati za masovno proizvodnjo v državah z velikim teritorijem. V nasprotnem primeru je aerotriangulacijski sistem pretežno neizkoriščen (v kolikor ni univerzalen in s tem uporaben za druge proizvodne smeri).

Avtomatični sistemi za aerotriangulacijo so danes na meji med eksperimentalno stopnjo in operativno zrelostjo. Vendar je nabavna cena visoka. Primer je DCCS-HAI (ZDA), ki je prvi sistem na trgu; le-ta bo razvit najprej za avtomatično zajemanje DMR.

- Digitalno modeliranje reliefa (DMR) zavzema že nekaj časa osrednje mesto v razvoju avtomatizacije fotogrametričnih procesov. Prvotni avtomatični sistemi so bili pretežno sinhroni (UN-

AMACE, Buker Ramo, ZDA in GPM II, IV, Northway Gestalt, Kanada). Bili so zelo dragi in zahtevni glede vzdrževanja.

Pozneje so bili uvedeni polsinhroni sistemi (analitični stereoinstrumenti s CCD kamerami in digitalnim korelatorjem, npr. Kern DSR CORRELATOR). Danes se vse bolj uporabljajo asinhroni sistemi (npr. DSCC, DMA in DCSS, HAI, ZDA), kjer je procesiranje razdeljeno v več faz. Ti sistemi so še pretežno v razvojni oziroma eksperimentalni fazi.

Od sinhronih sistemov sta dejansko operativna le UNAMACE in GPM II, IV; služita predvsem za proizvodnjo DMR manjših in srednjih meril (manjših od 1:50 000). Proces nadzoruje operater, ki posreduje po potrebi.

Polsinhroni sistemi omogočajo avtomatično izvedbo sicer polavtomatičnih merjenj točk DMR mreže z analitičnimi stereoinstrumenti. Pri stacionarnem merjenju višin nadomeščajo operaterja elektronske kamere in digitalni korelator.

Polsinhroni sistemi so razmeroma počasni, ne posebej natančni in ne najbolj zanesljivi. Predstavljajo vmesno rešitev med polavtomatičnimi (ročno nastavljanje višine) in sinhronimi avtomatičnimi sistemi.

Asinhroni sistemi nimajo pomembnih časovnih omejitev pri proizvodnji, kar omogoča vključevanje zahtevnih strategij in algoritmov. Zato je mogoče uvesti v proces apriorne podatke, analizirati slikovno informacijo pred korelacijo, izvesti večstopenjsko korelacijo (z adaptivnim optimiranjem), temeljito editirati izstopno informacijo in preverjati kvaliteto v vseh fazah procesiranja. Te dodatne kvalitete pomenijo postopen premik v avtomatični proizvodnji DMR od srednjih k večjim merilom.

Asinhroni sistemi so danes še pretežno v razvojni in eksperimentalni fazi.

- Transformiranje slik (TS) z uporabo digitalne tehnike je povsem operativno. Algoritmi za transformiranje vstopne in izstopne slike so lahko poljubni.

Izstopno sliko je mogoče formirati iz več vstopnih slik; dele, ki so zakriti (nevidni) na eni vstopni sliki, je mogoče privzeti iz sosednje (prekrijujoče se) vstopne slike. Podobno je mogoče nadomestiti spremenjene dele starih transformiranih slik z informacijo iz novih slik, kar omogoča lokalno revizijo digitalnih slik.

V izstopni sliki je tudi mogoče združiti informacijo, zajeto z različnimi senzorji (oziroma kamerami) ob različnem času, oziroma ustvarjati sintetične slike iz različnih vstopnih slik.

Digitalne slike imajo normalno znižano ločljivost zaradi relativno velikih pikslov (večjih od 20 mikrometrov) in dodatne izgube zaradi "resamplinga". Posledica je velika izguba semantične informacije, oziroma pri ustreznem povečanju merila snemanja (vstopnih slik) drastično znižanje ekonomičnosti celotnega projekta (slika 1). Z vidika semantične informacije in ekonomičnosti je analitična tehnika transformiranja slik (npr. z OR1-Wild, Orthocomp-Zeiss) racionalnejša od digitalne (npr. Eudicart - Eurosense).

- Modeliranje terenskega detajla (MD; z izjemo reliefa) z digitalno tehniko je še zelo oddaljeno od avtomatizacije. Večina današnjih eksperimentalnih avtomatičnih sistemov za analizo in razumevanje slik (fotointerpretacijo) je prirejenih za določen, dobro definiran terenski detajl v določenem kontekstu in za precejšnjo apriorno informacijo. Celo v tako poenostavljenih razmerah je avtomatična ekstrakcija detajla zelo problematična in dokaj nezanesljiva. Vsekakor pa vpogledi, pridobljeni pri razvoju avtomatičnega MD, prispevajo k razumevanju procesov analize in sinteze ter s tem k sistemiziranju manualnega MD. Današnja stopnja razvoja omogoča primerno pred-procesiranje slik za lažjo, hitrejšo in zaneslivejšo manualno interpretacijo.

## 2/ Bližnjieslikovne aplikacije

Avtomatični digitalni bližnjieslikovni sistemi so v različnih uporabah že dosegli stopnjo operativne zrelosti. Sinhroni sistemi so se

uveljavili predvsem v industriji in nekaterih drugih inženirskih področjih, kjer je procesiranje pretežno (oziroma izključno) geometrično. Pri tem so snemanje, kontrolni podatki in geometrično modeliranje objekta integrirani v enoten proces. S temeljito pripravo, visokokvalitetnim instrumentarijem in procesiranjem je danes mogoče doseči natančnost izpod enega mikrometra (v slikovni ravnini).

Nasprotni ekstrem uporabe bližnjieslikovne fotogrametrije predstavlja pretežno avtomatična analiza raznih slik v medicini (rentgenskih, ultrazvočnih, itd.) za diagnosticiranje. V teh primerih je procesiranje pretežno (oziroma izključno) na nivoju intenzitete oziroma barve slike.

Za srednjeročno in dolgoročno nadziranje bolezni je potrebno slike shranjevati in jih primerjati z novimi. Množica teh (analognih) slik je zelo velika, zato jih ni mogoče shranjevati za daljši čas v arhivih. Digitalna tehnika omogoča reduciranje slikovne informacije na bistveno, s tem racionalno shranjevanje (v majhnem prostoru) in hiter prikaz oziroma procesiranje.

Število bližnjieslikovnih aplikacij in raznolikost bližnjieslikovnih sistemov je velika. Razen tega je razvoj zelo hiter, kar onemogoča kratek in hkrati izčrpen pregled uporab in izkušenj v praksi.

## IV. RAZVOJNI TRENDI

V proizvodnji geo-informacij je mogoče ugotoviti naslednje trende:

- prehod od manjših k vse večjim merilom,
- povečano raznolikost vsebine geo-informacije,
- povečano digitalna reprezentacija geo-informacij,
- prehod od primarno celotnih zajemanj geo-informacij k selektivnemu diferencialnemu zajemanju,
- prehod od fragmentnih k integriranim bazam geo-informacij,

- vzpostavitev ravnovesja med geo-informacijskimi specifikacijami in načini uporabe geo-informacij.

Z vidika geo-informacijske tehnologije so važni naslednji trendi:

- prehod od analitične k (delno) digitalni tehniki zajemanja in procesiranja,
- prehod od manualnih k (delno) avtomatičnim procesom (z uvedbo ekspertnih sistemov),
- povečana kompatibilnost komponent, sistemov in geo-informacij,

- prehod od komponent k integriranim sistemom (z optimiranjem),
- prenos poudarka v fotogrametriji z geometrične na semantično informacijo,
- shranjevanje geo-informacij v komprimirani obliki,
- prehod od avtomatičnih sinhronih sistemov k asinhronim sistemom.

V bližnjieslikovni fotogrametriji je splošen trend k digitalnim avtomatičnim sistemom, ki so integrirani v nadrejene sisteme uporabnikov.

---

# DIGITALNA FOTOGRAMETRIJA

---

mag. Zoran Stančič,  
dipl. inž. geod.

Filozofska fakulteta, odd. za arheologijo, Ljubljana  
junij 1989, Ljubljana, YU

## AVTORSKI IZVLEČEK

*Zadnjih deset let se fotogrametrične raziskovalne dejavnosti osredotočajo na razvoj digitalne fotogrametrije. Nova metoda zahteva revizijo celega fotogrametričnega procesa od zajemanja podatkov do kartografskega prikaza. V tem članku je prikazan zgodovinski razvoj fotogrametrije kot znanosti in tehnologije. Podan je tudi pregled aktualnih raziskav na tem področju.*

## AUTHOR'S ABSTRACT

*In the last ten years, photogrammetric research activities are focussed on the development of the digital photogrammetry. New method demands a revision of the photogrammetric process as a whole: from data collection up to the cartographic presentation. This paper presents a historical development of photogrammetry as a science and technology as well as current research activities on the method.*

## 1. UVOD

Sredi petdesetih let so dokaj skromno objavljeni prvi dosežki raziskav s področja digitalne fotogrametrije (Rosenberg 55). Te raziskave so ostale v senci vrhunskih uspehov analogne fotogrametrije. Tedaj je bila namreč računalniška oprema še na tako nizki stopnji razvoja, da je bilo celo numerično izvajanje fotogrametričnih operacij neekonomično. Bliskovit razvoj tehnologije proizvodnje računalnikov v šestdesetih in sedemdesetih letih postavi realne osnove za razvoj digitalne fotogrametrije. Toda šele ob koncu sedemdesetih let se najmočnejše raziskovalne organizacije začno ukvarjati s tovrstnimi raziskavami. Postavlja se jasno vprašanje: Kje je sedaj fotogrametrija in katere so smeri razvoja?

V tem tekstu želimo predvsem definirati digitalno fotogrametrijo in jo postaviti na pravo mesto v kontinuiteti razvoja fotogrametrije kot znanosti in tehnologije. Le tako bomo lahko videli v katere smeri se danes aktualna fotogrametrija razvija in katere svetovne trende moramo tudi sami slediti. Hkrati je podan kratek pregled naših

raziskovalnih dosežkov na tem področju.

## 2. RAZVOJ FOTOGRAMETRIJE

Fotogrametrija se danes nahaja v enem od prelomnih trenutkov razvoja. Tehnični razvoj znanosti in tehnologije poteka v fazah. Vsaka faza razvoja temelji na izumu ali tehničnem prodoru, ki mu sledi razvoj tehnologije. Ko le-ta doseže popoln razcvet in postane metodološko "popisan list", sledi obdobje stagnacije. To obdobje lahko prekinemo s serijo novih izumov in tehničnih prodorov. Oglejmo si kratek pregled zgodovine fotogrametrije kot jo poda Torlegard (88).

Fotogrametrija se je razvila kot nadomestilo klasičnim geodetskim metodam meritev za potrebe izdelave topografskih kart. Že v prvi polovici prejšnjega stoletja postane skoraj standardna metoda meritev fotogrametrično snemanje s "fototeodoliti" in računanje kotov iz posnetkov (Manual of Photogrammetry 66). Pravi razmah doživi

fotogrametrija z razvojem zanesljivih balonov. Ti se začno uporabljati za potrebe topografskega snemanja iz zraka.

Skoraj hkrati se fotogrametrična metoda meritev aplicira tudi na netopografskem področju. Leta 1858 ob izmeri katedrale v Wettzlaru nemški graditelj Albrecht Maydenbauer komaj preživi padec z gradbenega odra (Braun 69). Zato se odloči, da bo skušal "smrtno nevarno" klasično izmero arhitektonskih spomenikov v bodoče zamenjati s fotogrametrično izmero.

Na prelomu stoletja skoraj istočasno Pulfrich in Fourcade neodvisno razvijeta stereokomparator kot pripomoček za opazovanje in merjenje koordinat homolognih točk na dveh posnetkih. Počasnost postopka izvedenja pogojuje razvoj analognega stereoavtografa, ki ga konstruiral slovenski oficir v avstroogrski vojski von Orel. Uspešna uporaba letal za potrebe rekognosciranja v prvi svetovni vojni pripomore k apliciranju letal za potrebe aerotriangulacije. Tako so postavljene realne osnove za apliciranje fotogrametričnih metod za izdelavo topografskih kart iz zraka. Pride do naglega razvoja fotogrametrije, ki je slonel izključno na analognih metodah. Tako je sredi tega stoletja avtonomno obvladala vsa področja fotogrametrije izključno analogna fotogrametrija. Prav z metodami analogne fotogrametrije so praviloma po vsem svetu in tudi pri nas izdelane vse topografske karte.

Z uveljavljanjem na netopografskih področjih, se v analognih fotogrametričnih metodah pojavijo problemi, ki jih v aerofotogrametriji ni. Ti problemi so vezani predvsem na zmožnosti analognih restitucijskih inštrumentov pri izvedenju. Omejitve le-teh pri nagibu snemalnih osi, možnostih stereoeffekta pri velikih višinskih razlikah, goriščni razdalji snemalne kamere in nastavitvi baze so praviloma velike (Carbonell 75). Fotogrametrične restitucijske inštrumente v bližnjeslikovni fotogrametriji lahko razdelimo v tri skupine (Karara 85):

- inštrumenti za normalne primere, ki so pogosto del bližnjeslikovnega

"kamera/restitucijski inštrument" sistema - primer Wild C120/Wild A 40,

- univerzalni restitucijski inštrumenti - primer Zeiss C-8 Stereoplanigraph,
- topografski aerorestitucijski inštrumenti, ki lahko sprejmejo rahlo nevertikalne bližnjeslikovne posnetke - primer Topocart - Jenoptik.

Potrebe po razvoju netopografske fotogrametrije pokažejo velike pomanjkljivosti klasičnih analognih metod. Lahko ugotovimo, da celo univerzalni analogni restitucijski inštrumenti še zdaleč niso tako univerzalni, saj so praviloma le bolj ali manj specializirani za določene fotogrametrične primere. Postopno se artikulira tudi potreba po optimizaciji številnih postopkov v analognih metodah, kot so na primer relativna orientacija, absolutna orientacija ...

V petdesetih letih pridejo na tržišče prvi računalniki. Kmalu se prično uporabljati v fotogrametriji - predvsem za potrebe aerotriangulacije. Ponavadi je bil prvi korak k analitični fotogrametriji opremljanje analognih inštrumentov s pripravami za numerično čitanje modelnih koordinat. Nastanejo takoimenovani hibridni sistemi (Makarovič 70) - analogni inštrumenti podprti z on - line računalnikom. Hkrati analitična fotogrametrija pogojuje razvoj sodobnih stereo in monokomparatorjev. Postavljena je na laž splošno veljavna trditev tridesetih let, ki je nastala ob navdušenju nad izrednimi rezultati analognega izvedenja, da namreč analitične metode nimajo nobene bodočnosti. Kot višek tehnologije analitičnih metod nastanejo analitični ploterji - inštrumenti, ki se po univerzalnosti ne morejo primerjati z "univerzalnostjo" tudi najbolj razvpitih analognih inštrumentov. Omogočajo izvedenja posnetkov z goriščnimi razdaljami od nekaj centimetrov do nekaj metrov. Konvergenca ali večji nagibi slikovnih osi (30 in več stopinj) pa ne predstavljajo nobenih omejitev.

Ob vsem tem analitične metode pogojujejo pravo revolucijo v bližnjeslikovni fotogrametriji. Na podlagi razvitih algoritmov za nemerske kamere, kot so direktna linearna transformacija (ki sta jo razvila Abdel-Aziz in

Karara), rešitev z 11 parametri (Bopp & Krauss 78) in poenostavljena rešitev z 11 parametri (Adams 81) pride do široke uporabe na netopografskem področju. Vendar pa moramo ugotoviti, da analitična fotogrametrija svoj strmi razvoj počasi zaključuje. Razvojno vzeto so analitične metode začele stagnirati. So standardne možnosti fotogrametričnega izvedenja, ki jih obvlada že fotogrametrični operater.

Vendar pa to še ni konec razvoja fotogrametrije. Že v prvi polovici osemdesetih let se kot poglavitno področje razvoja odpre takoiimenovana digitalna fotogrametrija. Povzemimo poizkus obratovanja Baehra (85), ki pravi, da v digitalni fotogrametriji celotno vsebino posnetkov (to je metrične in semantične informacije) numerično kodiramo. Dobimo takoiimenovan digitalni posnetek, ki ga nato z računalnikom poljubno procesiramo.

Kot že rečeno, prvi koraki so v digitalni fotogrametriji storjeni že v petdesetih letih. Vendar pa šele leta 1972 s satelitom LANDSAT dobimo digitalne posnetke, ki so bili že uporabni za kartografske potrebe. Vendar pa ti digitalni posnetki niso bili tudi v celoti digitalno izvedeni. Potrebe po razvoju robotike oziroma zmožnosti čutenja robotov pogojujejo razvoj digitalnih fotogrametričnih sistemov. Nenadoma smo se znašli v položaju, ko so konstruktorji robotov razvijali metode že znane fotogrametrom (na primer principi korelacije). Tako je zelo prosperitetna industrijska panoga pogojevala nagel razvoj nove veje fotogrametrije - digitalne fotogrametrije.

### 3. DIGITALNA FOTOGAMETRIJA

Bliskovit razvoj mikroelektronike in polprevodniške tehnologije je vplival na vsa področja človekovega delovanja. Sodobni mikročipi in digitalni senzori so botrovali potrebi po temeljiti reviziji fotogrametričnih procesov, posebno v fazi snemanja, obdelave in shranjevanja podatkov. Uporaba digitalnih, torej nefotografskih kamer, omogoča direkten prenos podatkov v računalniške medije. S stališča računalniških znanosti je torej kamera le periferia

vhodna enota računalnika. Digitalna slika se po zajemanju avtomatično obdelava v računalniku. Računalnik torej nadomesti hkrati restitucijski inštrument in celo operaterja na njem. Neobstoj same fotografije v procesu je pogojeval predlaganje drugačnega termina, namesto fotogrametrije - videogrametrija (Hobrough & Hobrough 85). Ker pa je ta termin ožji in izključuje uporabo na primer skanirane fotografije, se ga za sedaj izogibajmo.

Praktična uporaba digitalne fotogrametrije se sprva omeji na slikovno korelacijo pri hibridnih analitično-digitalnih restitucijskih inštrumentih (glej Fras, ta edicija) in izdelavo digitalnega ortofota. Na drugi strani so potrebe konstruktorjev robotov pogojevale predvsem čim hitrejši popolnoma avtomatiziran proces, ki so ga imenovali real-time fotogrametrija. Termin real-time pomeni v računalniških znanostih obdelavo vhodnih podatkov v sistemu tako hitro, da rezultate dobimo navidez istočasno z vhomom podatkov. Za sedaj si je real-time fotogrametrija zastavila za cilj izpeljavo celega procesa obdelave znotraj enega video cikla, torej čas med dvema zaporednima zajemanjema iste točke na videodetektorju, to pa je 1/30 ali 1/25 sekunde, pač glede na videostandard (Gruen 88:210).

Prvi koraki k digitalni fotogrametriji predstavljajo reševanje nekega specifičnega procesa (praviloma krmiljenje robota ali kontrolo kvalitete). Problemi, ki so jih ob tem morali reševati fotogrametrični strokovnjaki v sodelovanju s konstruktorji robotov, so značilni za sam proces. Ponavadi je fotogrametrični postopek pravzaprav poenostavljen, saj je v teh primerih omejen le na analizo položaja točno določenih in signaliziranih točk, zelo pogosto pa je položaj teh točk že vnaprej približno znan. Na drugi strani je nakazan problem real-time obdelave, ki je vezan predvsem na zmogljivosti strojne računalniške opreme in pa popolno avtomatizacijo procesa kot celote.

Hkrati je razvoj digitalnih tehnik za te specifične potrebe iniciral razvoj metode tudi za druga področja uporabe. Tako so se fotogrametrični strokovnjaki lotili

problemov, ki jim že tradicionalno pripadajo. Tako Novak (88) predlaga uporabo računalnika za potrebe digitalnega redresiranja slik v arhitektonski fotogrametriji. Agnard et al. (88) so razvili programsko opremo, ki naredi iz osebnega računalnika enostaven analitični stereorestitucijski instrument. Fotografski stereopar se skanira, z zrcalnim stereoskopom operater opazuje tridimenzionalno sliko na monitorju, "miško" pa uporablja za vodenje nitnega križa. Računalnik on-line računa prostorske koordinate objekta. Tudi Kosmatin-Fras (88 in ta edicija) predlaga off-line digitalni ortofoto sistem, ki se v marsičem razlikuje od prikazane splošne sheme. Med drugim je ugotovljeno, da lahko z metodo fotogrametričnih meritev s CCD kamerami z večjih stojšč dosežemo relativno natančnost dosti več kot 1:10000, kar zadošča za srednje zahtevne potrebe v industrijski fotogrametriji (Shortis 88). V (Stančič 89) analizira uporabo digitalne fotogrametrije za potrebe dokumentiranja arheoloških izkopavanj.

Ob vseh informacijah o eksperimentalni strojni podpori fotogrametričnih sistemov si velja ogledati nekaj specifičnih problemov, ki ob tem nastanejo (El-Hakim 86 in Fras, ta edicija). Pridobivanju slike sledi redukcija šuma in izboljšava slike. Cilj te faze je zagotoviti optimalne pogoje na celotnem posnetku. Uporabljajo se različne programske operacije, ki jih izbira uporabnik. Sledi faza segmentacije in ekstrakcije oblik (strojno izvajanje), ki predstavlja skupaj ugotovitve posameznih oblik na posnetku. Rekognosciranje tarč in odkrivanje robov objekta (oblike) je naslednja izredno pomembna faza procesa, ki se izvaja tako s strojno kot tudi s programsko opremo s pomočjo vhodnih informacij o objektu. Faza lociranja tarč se obdelava po različnih že razvitih algoritmičnih (Mikhail et al. 84, Gruen 85). Raziskave kažejo, da se ob analizi okolice tarče 3 x 3 pikselov ali 5 x 5 pikselov da doseči natančnost pod 0,1 piksla (Mikhail et al. 84). Sledi faza vzporejanja dveh ali večih posnetkov za potrebe določanja prostorskih koordinat. Postopek se izvaja v dveh fazah. Najprej se na podlagi oslonilnih točk določijo elementi orientacije kamere in parametri kalibracije, v naslednji fazi pa se vzporejajo vse točke razen oslonilnih. Iz teh

podatkov se izračunajo sive vrednosti izhodne matrike.

Vidimo torej, da je fotogrametrični proces kot celoto možno v precejšnji meri avtomatizirati. Vendar pa se postavlja vprašanje, kje so v tem trenutku meje digitalne fotogrametrije. Obstajata predvsem dve glavni omejitvi (Helava 88). Na eni strani je to strojna omejitev, to je pomanjkanje primernih digitalnih kamer (glej več v Stančič, ta edicija). Velja namreč, da je trenutno le nekaj digitalnih kamer, ki imajo ločljivost manjšo od 10 mikrometrov. Primer take kamere je Kodak Megaplug, ki pa je tudi temu primerno draga. Skratka, pojavlja se osnovni problem, ki je povezan z najboljčutljivejšo fazo fotogrametrične tehnološke linije kot celote, to je fazo zajemanja podatkov. Gre torej za problem bistveno manjše količine podatkov že ob zajemanju. Če primerjamo ločljivosti kamer, se moramo zavedati, da se ob linearnem povečanju ločljivosti količina podatkov poveča kvadratno. Vendar pa moramo poudariti, da pri reševanju tega problema fotogrametrični strokovnjaki lahko sodelujemo le kot konzultanti.

Hkrati pa je odprta pri digitalni fotogrametriji avtomatizacija identifikacije in fotointerpretacije. Medtem ko so tehnike digitalne obdelave posnetkov že vrsto let standardno orodje (glej Čeh et al., ta edicija), se postavi vprašanje izbora pravih tehnik in njihova zaporedja ter identifikacije objektov. Jasno je, da tega problema ne bomo mogli zadovoljivo rešiti brez najsodobnejših orodij, med katerimi sta na prvem mestu umetna inteligenca in ekspertni sistemi. In prav to je področje raziskav, ki ga nujno moramo prevzeti fotogrametrični strokovnjaki.

Dejstva, da je do operativno popolnoma avtomatizirane univerzalne digitalne fotogrametrične tehnološke linije še daleč, pa nas ne sme onemogočati v aplikacijah te tehnike na številna področja z manjšo stopnjo avtomatizacije. Ob vseh možnostih uporabe v bližnjeliskovni fotogrametriji moramo nujno poudariti tudi prednosti digitalnih tehnik v postopkih pridobivanja in obdelave informacij v GIS (Makarovič, ta edicija).

Digitalna fotogrametrija prinaša s sabo celo vrsto novosti, ki bodo močno vplivale na dožemanje fotogrametrije kot znanosti in tehnologije. Tako se med drugim pojavljajo napovedi, da se bo prav zaradi razvoja digitalne fotogrametrije (kjer celotna obdelava slike teče na bolj ali manj univerzalnih računalnikih, ne pa na specialnih analognih ali analitičnih inštrumentih) močno zmanjšal interes po nakupu fotogrametričnih restitucijskih inštrumentov. Tega se zavedajo tudi proizvajalci fotogrametrične opreme, ki se čedalje bolj usmerjajo prav v to vejo razvoja. V prihodnosti bo celoten fotogrametrični proces opravil primeren računalnik, kjer bo edina fotogrametrična "stvar" programska oprema.

#### 4. ZAKLJUČEK

Z gotovostjo lahko zatrdimo, da je digitalna fotogrametrija danes najaktualnejše področje razvoja fotogrametrije kot znanosti in tehnologije. Bliskovit razvoj računalnikov je zahteval temeljito revizijo fotogrametričnega procesa kot celote. Številna dejstva, ki kažejo nagel razvoj aplikacij fotogrametričnih metod na

netopografskem področju, predvsem pa v industriji in medicini, postavljajo fotogrametrijo v novo luč. Prav zato se fotogrametrični strokovnjaki ne smemo postaviti v standardno pozicijo zaščite svojega znanja in vztrajanja na tradicionalnih metodah. Le z razvojem svojega znanja in uveljavljanjem le tega v družbi bomo dosegli primeren odnos družbe do fotogrametrije in geodezije. Ne smemo dovoliti, da bi šel razvoj novih digitalnih metod mimo nas. V tem procesu moramo tvorno sodelovati in tudi prodati svoje znanje. To znanje pa niso samo topografske karte in ciklična snemanja (pa najbodo še tako dragocena in pomembna) temveč predvsem poznavanje metod in tehnologije obdelave slik in pridobivanje vseh potrebnih informacij iz njih na najhitrejši in najcenejši možni način tako za potrebe GIS, kot tudi za bližnjelikovne potrebe.

In prav digitalna fotogrametrija, ki omogoča predvsem nižjo ceno fotogrametričnega sistema, večje možnosti avtomatizacije, možnosti real-time procesiranja in elektronskega prenosa slike na daljavo je orodje, ki nam lahko zagotovi primerno mesto v družbi, ki smo ga na žalost geodeti izgubili.

---

#### LITERATURA

- Adams L.P., 1981. The Use of Non-Metric Cameras in Short Range Photogrammetry" *Photogrammetria*, 36: 51-60
- Agnard J.P., Gagnon P.-A. in Nolette C., 1988 "Microcomputers and Photogrammetry A New Tool: The Videoplotter" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54: 1165-1167
- Baehr H.P., 1985 "Digitale Bild-verarbeitung" Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe
- Bopp H. in Krauss H., 1978 "An Orientation and Calibration Method for Non-Topographic Applications" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44: 1191-1196
- Braum F., 1969 "Elementarna fotogrametrija" Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- Carbonell M., 1975 "Instruments recently developed for architectural photogrammetry" *Photogrammetria*, 30: 107-114

El-Hakim S.F., 1986 "Real-Time Image Metrology with CCD Cameras" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52: 1757-1766

Gruen A., 1985 "Adaptive kleinste Quadrate Korrelation und geometrische Zusatzinformationen" Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 9/85: 309-312

Gruen A., 1988 "Towards Real-Time Photogrammetry" Photogrammetria, 42: 209-244

Helava U.V., 1988 "On System Concepts for Digital Automaition" Photogrammetria, 43, 57-71

Hobrough G.L. in Hobrough T.B., 1985 "A Future for Realtime Photogrammetry" Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 9/85: 312-315

Karara H.M., 1985 "Close - Range Photogrammetry: Where Are We and Where Are we Heading?" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51: 537-544

Kosmatin-Fras M., 1988 "Teoretične osnove izdelave digitalnega ortofoto" Geodetski vestnik, 32: 25-30

"Manual of Photogrammetry" 1966 American Society of Photogrammetry, third edition, USA

Makarovic I.B., 1970 "Hybrid Stereo Restitution Systems" Photogrammetric Engineering, 36: 1086-1092

Mikhail E.M., Akey M.L. in Mitchell O.R., 1984 "Detection and Sub-pixel Location of Photogrammetric Targets in Digital Images" Photogrammetria, 39: 63-83

Novak K., 1988 "Application of a Still Video Camera in Architectural Photogrammetry" Proc. of XI.th CIPA Symposium, (v tisku)

Rosenberg P., 1955 "Information Theory and Electronic Photogrammetry" Photogrammetric Engineering, 21: 543-555

Shortis M.R., 1988 "Precision Evaluations of Digital Imagery for Close-Range Photogrammetric Applications" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1395-1401

Stančič Z., 1989 "Computervision - A tool for Intra-site Plan Production" Proc. of Union International des Sciences Prehistoriques et Protohistoriques, Commission 4, (v tisku)

Torlegard K., 1988 "Transference of Methods from Analytical to

Digital Photogrammetry" Photogrammetria, 42: 197-208

---

# DIGITALNI ON-LINE SISTEMI V BLIŽNJESLIKOVNI FOTOGRAMETRIJI

---

Zmago Fras  
dipl.inž.geod.

Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo  
Katedra za fotogrametrijo in kartografijo  
junij, 1989, Ljubljana

## AVTORSKI IZVLEČEK

*Najnovejši napredki v razvoju polprevodniške in mikroračunalniške tehnologije in drastično padanje cen izdelkov, ki bazirajo na omenjenih tehnologijah, omogočajo izdelavo orodij za enostavno zajemanje in obdelavo digitalnih posnetkov in njihovo najširšo uporabo. V članku so najprej opisane posamezne enote za elektronsko zajemanje slik in tehnične rešitve vodilnih svetovnih proizvajalcev te opreme. V nadaljevanju so prikazane različne rešitve sistemov za obdelavo digitalnih posnetkov in predstavljen postopek popolnoma avtomatiziranega točkovnega iz vrednotenja. V zaključku so omenjene nekatere naloge, ki jih je treba na področju digitalne fotogrametrije še rešiti.*

## AUTHOR'S ABSTRACT

*Recent advancements in computer and sensor technology have improved the capabilities and reduced the costs of digital components so drastically that digital processing systems are becoming increasingly available. In the paper, the units for electronic image acquisition and technical equipment solution of leading world producers are described. Then, different solutions of digital image processing techniques and the procedure of fully automated point compilation are presented. In the conclusion, some further tasks in the field of digital photogrammetry that are to be solved, are mentioned.*

## 1. UVOD

Prvi poizkusi popolne avtomatizacije fotogrametričnega procesa od zajemanja preko obdelave do prezentacije obdelanih slikovnih informacij segajo že v 50-a leta.

Za realizacijo popolnoma avtomatiziranih fotogrametričnih sistemov za civilne potrebe, ki so danes kot eksperimentalni sistemi že razviti v nekaterih raziskovalnih institucijah v svetu, pa je bilo potrebnih kar nekaj tehnoloških revolucij, ki pa so potekale bistveno hitreje kot v 19. stol. in začetku 20. stol. Tako je bilo potrebnih skoraj sto let, da so se po iznajdbi fotografije pojavili prvi analogni instrumenti in še nadaljnjih 50 let je moralo preteči, da so bili analitični instrumenti vpeljeni v civilno prakso.

Prvi korak v smeri novih popolnoma avtomatiziranih fotogrametričnih sistemov predstavlja izstrelitev prvega satelita iz serije LANDSAT, s katerega so bili narejeni prvi **digitalni posnetki**. S tem je bil postavljen nov mejnik v načinu zajemanja informacij o prostoru.

Drugi korak predstavlja hiter razvoj računalniške tehnologije, ki je omogočila uspešno obdelavo ogromnega števila podatkov, zajetih s satelitov. Razviti so bili popolnoma novi algoritmi za obdelavo digitalnih posnetkov, s katerimi na začetku nejasne digitalne posnetke prevedemo v človeku razumljive in sprejemljive posnetke. Z nadgradnjo in povezovanjem osnovnih algoritmov pa lahko iz digitalnih posnetkov

izluščimo tudi informacije, katere na osnovnem posnetku za človeško oko niso vidne.

Najširšo uporabo te v začetku vesoljske tehnologije in tretji korak pri dosegu željenega cilja pa predstavlja razvoj polprevodniške in mikroračunalniške tehnologije, ki omogočata izdelavo orodij za **enostavno** zajemanje in obdelavo digitalnih posnetkov.

Praksa in možnosti naprednih fotogrametričnih metod, ki bazirajo na obdelavi digitalnih posnetkov, imajo širok krog uporabe. To se v največji meri odraža na področju bližnjelikovne fotogrametrije, kjer je že tako široko področje uporabe z novo tehnologijo zajemanja in obdelave posnetkov razširjeno še na real-time aplikacije, kot so pridobitev rezultatov na mestu snemanja, pridobivanje 3-D koordinat na neposreden način (brez beleženja situacije na filmski material) kontrola kvalitete, kontrola dinamičnih procesov v industriji, kontrola in vodenje robotov. Natančnost in stabilnost kamer, ki uporabljajo digitalno tehnologijo za zajemanje slikovnih informacij, se naglo izboljšuje. Hitrost in kapaciteta mikroračunalnikov konstantno narašča. Vse to v povezavi s padanjem cen prerokuje real-time fotogrametriji lepo bodočnost (El-Hakim 86).

## 2. ELEKTRONSKO ZAJEMANJE (RASTERSKA DIGITALIZACIJA) SLIK

Elektronsko zajemanje slik sestavljajo:

- zaznavanje svetlobe s fotosenzorji,
- adresiranje senzorjev,
- A/D pretvorba,
- hranjenje slike.

### 2.1. Video kamere

Video kamere delimo glede na način zaznavanja slike v dve skupini. Prvo predstavlja **vidicon** kamera, ki bazira na tehnologiji vakuuma, v katerem elektronski žarek skanira svetlobno občutljive elemente in tako ustvarja "vzorec" slike. Zaradi neizogibno navzoče velike geometrične

distorzije v slikah, dobljenih z vidicon kamerami, le-te niso primerne za sisteme namenjene veliki natančnosti meritev (El-Hakim 86, Real 86).

Druga skupina kamer bazira na polprevodniški tehnologiji. Večina teh kamer uporablja **CCD** (Charge Coupled Devices) ali **CID** (Charge Injection Device) senzorje namesto filma za zajemanje slikovnih informacij. "Slikovno" ravnino pri obeh tipih senzorjev sestavljajo diskretni svetlobno občutljivi elementi, ki so lahko kovinsko-oksidni polprevodniki (MOS) ali fotodiode. Razporeditev teh elementov je lahko linijska ali matrična. Geometrična natančnost teh slikovnih ravnin je omejena samo s tovarniško natančnostjo namestitve senzorskih elementov. Položaj elementa v matriki ali liniji predstavlja njegovo addresso, preko katere je definiran položaj slikovnih elementov digitalno zajete slike.

Energija svetlobe, ki pade na posamezen element, ustvari naboj (Charge), proporcionalen skupni intenziteti svetlobe. Naboji iz posameznih elementov se zbirajo in pošiljajo v ojačevalce, ki poda sliko v obliki spremenljajoče se napetosti. Pri tej pretvorbi in prenosu take slike pa pride zaradi različnih zunanjih vzrokov (šum pretvornika, ojačevalca, ...) do sistematičnega popačenja slike. Vplive raznih шумov odpravimo s kalibracijo kamer (Stančič, ta edicija).

Kamere s CCD (CID) senzorji so kompatibilne z digitalno strojno opremo in procesnimi tehnikami (Real 86). Njihove prednosti so:

- majhne dimenzije,
- majhna teža,
- dolga življenska doba,
- direktna povezava z računalnikom,
- enostavno vzdrževanje.

**Zelo važno je, da so senzorji časovno stabilni v poziciji in občutljivosti, kar pomeni, da lahko kamero kalibriramo.**

Poleg naštetih prednosti pa lahko izdvojimo dve slabosti CCD kamer (izraz CCD kamere

je postal sinonim za video kamere s senzorsko slikovno ravnino):

- vezani smo na skoraj laboratorijske pogoje dela, ki jih s seboj prinaša direktna povezava z računalnikom,
- majhno merilo snemanja in s tem povezana natančnost v merilu 1:1.

Merilo snemanja je povezano z velikostjo matrike senzorjev. Povprečna velikost matrik je 700H x 550V pikslov, velikost pikslov pa okoli 15 x 15 mikronov. Navkljub zelo dobri natančnosti, doseženi v slikovnem merilu, to je 0.1 piksla, je zaradi majhnega merila snemanja natančnost v merilu objekta 10-krat slabša, kot jo dosegamo z analognimi metričnimi kamerami. Slika 2.1 predstavlja barvno vidicon kamero in nekaj tipičnih CCD kamer (ASPRS 89 - Non Topographic Photogrammetry)).

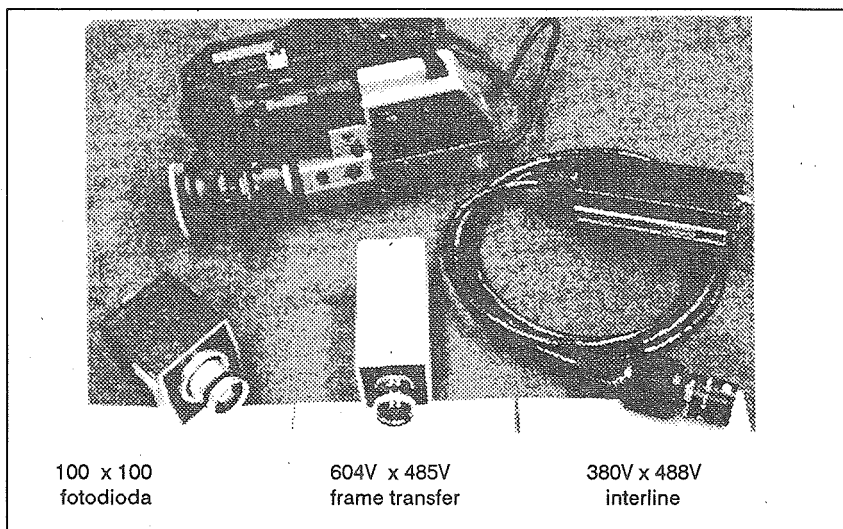
Številni raziskovalci in proizvajalci (v glavnem vodilne firme na področju fotografske tehnike in tehnologije) skušajo te pomanjkljivosti CCD kamer odpraviti. V nadaljevanju bodo predstavljeni trije poizkusi delne odprave slabih strani CCD kamer.

#### 2.1.1. Canon RC701 (RC706) video kamera

Kot osnova služi ohišje navadnega fotoaparata, ki mu je dodan zoom objektiv s svetlobno vrednostjo 1: 1.2 in omogoča kontinuirano spreminjanje goriščne razdalje med 11 in 66 mm.

Namesto filma je v ohišje fotoaparata nameščen CCD senzor, ki transformira analogno sliko v elektronski signal. V kameri RC701 je uporabljen barvni 2/3-inčni CCD senzor velikosti 780H x 490V pikslov (skupaj 380.000 pikslov). Tehnične specifikacije prikazuje tabela 2.1 (Novak 88).

Novost pri tej kameri pa je, da za zajemanje slike ne rabimo računalnika. Analogni elektronski videosignal, ki ga ustvarja CCD senzor se shranjuje **direktno** na floppy disk (dimenzije 54 x 60 mm). Na en disk lahko shranimo do 50 "polovičnih" slik. Izraz "polovična" slika pomeni, da zajeto sliko sestavljajo elektronski signali iz vsake druge senzorske vrstice. Ker je vertikalna resolucija bistveno manjša od horizontalne, se vmesne vrstice enostavno kopirajo (enak princip uporabljajo televizijski in video monitorji).



Barvna vidicon kamera (v ozadju) in nekaj tipičnih CCD kamer (v ospredju)  
Slika 2.1

|                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| Proizvajalec       | Canon                       |
| Model              | RC701 (706)                 |
| Število pikslov    | 780Hx480V<br>(780Hx780V)    |
| Velikost senzorja  | 8.8x6.6 mm                  |
| Tip senzorja       | matrični CCD                |
| Registracija slike | Floppy disk<br>54x50 mm     |
| Čas snemanja       | 1/8 - 1/2000                |
| Hitrost slikanja   | p/s frekv.<br>2/5/10 slik/s |
| Občutljivost       | 24 DIN                      |

p ... posamezen posn.

s ... serija posn.

Tabelat

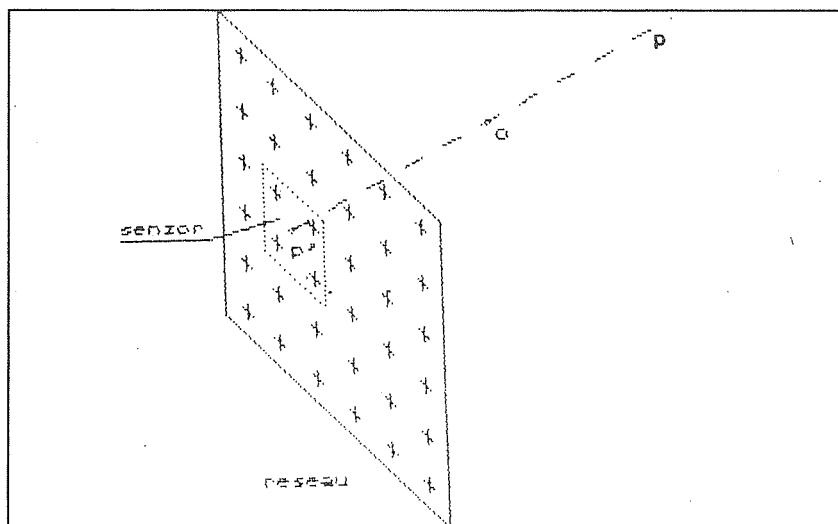
Izdelana je tudi različica zgoraj omenjene kamere RC706, ki ima vgrajen senzor velikosti 780 x 780 pikslov (skupaj 600.000 pikslov), pri kateri se na disketo zapiše celotna slika.

Takšna kamera ohranja vse prednosti CCD kamer, poleg tega pa omogoča veliko fleksibilnost pri delu na terenu. Edina pomankljivost, ki še ostane, je manjša natančnost, ki pa vseeno dovoljuje aplikacije v arhitekturi (rektifikacije fasad in fotomontaže).

## 2.1.2. Rollei "reseau-scanning" kamera

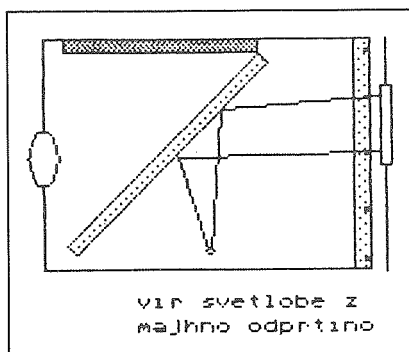
Za doseg zadovoljive natančnosti in resolucije z "maloformatnimi" CCD senzorji moramo končno sliko sestaviti iz več manjših, bolj natančnih kosov, orientiranih v lokalnem slikovnem koordinatnem sistemu. Firma Rollei rešuje to s svojim sistemom "reseau-scanning" v kameri Rolleimetric RSC.

Povezava posameznih delnih slik, dobljenih s senzorji, je izvedena preko reseau mreže, ki je nameščena v slikovni ravnini fotoaparata. Pogoji za uspešno povezavo posameznih delnih slik je, da se vedno vsaj štiri reseau križi projicirajo na senzor. Tako lahko za vsako delno sliko izvedemo strogo perspektivno transformacijo v skupen slikovni sistem (slika 2.2). Sistem, ki premika senzor in leče



Princip "reseau-scanning" v fotogrametrični kameri

Slika 2.2



Projeciranje reseau mreže na senzor  
Slika 2.3

vzporedno s slikovno ravnino, je zato lahko zelo enostavne konstrukcije.

Zaradi zanesljivosti upodobitve reseau križev sta reseau mreža in fotogrametrično področje posneta ločeno. Medtem, ko je zaslonka kamere zaprta, notranji vir svetlobe preko steklene plošče osvetli reseau mrežo. Zaradi zelo majhne odprtine izvora svetlobe so reseau točke projicirane z zelo veliko globinsko ostrino. To dejstvo poenostavlja konstrukcijo v toliko, da ni potrebe, da sta reseau plošča in senzor v isti

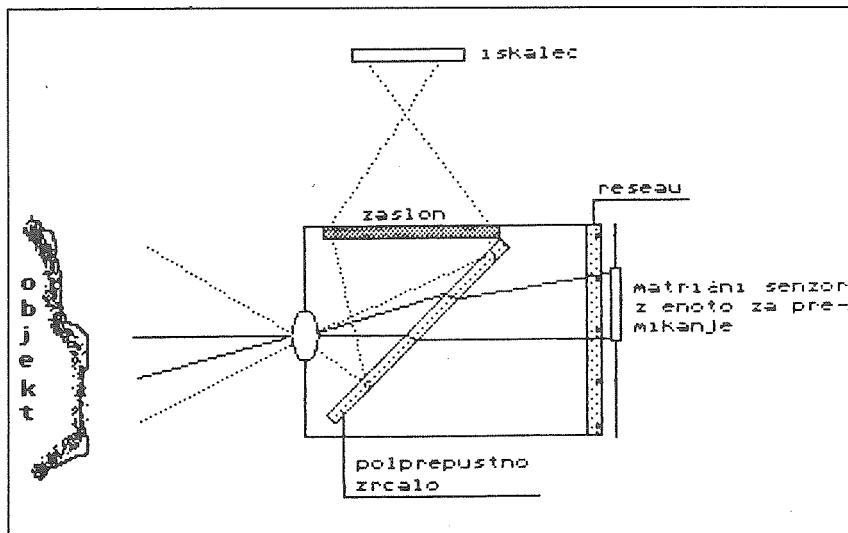
ravnini. Ob odprti zaslonki se na senzor projicira še objekt (Luhman 87) (sliki 2.3 in 2.4).

Taka konstrukcijska rešitev sicer poveča natančnost, zmanjša pa fleksibilnost kamere.

### 2.1.3. Eikonix digitalni slikovni sistemi

Eikonix je ena vodilnih firm na področju digitalnega zajemanja slik v ZDA. Zadnjih nekaj let deluje v okviru Eastman Kodak Company.

Z razliko od Rollei-a, ki povezuje posamezne dele slike preko reseau mreže, so se pri Eikonixu odločili za sistem preciznih koračnih motorjev, ki premikajo in natančno pozicionirajo senzor. Sliko zajemajo po vrsticah in ne več po koščkih, podobno kot pri skanerjih na satelitih. Za povečanje natančnosti pa mora biti število elementov v senzorju bistveno večje kot pri "maloformatnih" senzorjih. Tako imajo kamere firme Eikonix tudi do 4096 elementov v eni vrstici. Karakteristike posameznih tipov kamer podaja tabela 2.2 (reklamni material - povzel avtor). Za razliko od obeh prej omenjenih rešitev je izhodna slika že v



Registracija objekta na senzorju  
Slika 2.4

| Proizvajalec                | E I K O N I X            |                          |                          |                          |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Model                       | Serijsa 850              | Serijsa 78/99            | Eikonix 1000             | Eikonix 1412             |
| Polje                       | linarno<br>4096 elem.    | linarno<br>2048 elem.    | linarno<br>4096 elem.    | linarno<br>4096 elem.    |
| Resolucija                  | 20mil. piks.<br>na sliko | 5 mil. piks.<br>na sliko | 16mil. piks.<br>na sliko | 16mil. piks.<br>na sliko |
| Področje<br>skaniranja      | min. 16mm<br>max. 00     | min. 16mm<br>max. 00     | min. 16mm<br>max. 00     | min. 16mm<br>max. 00     |
| Geometrična<br>ponovljivost | ± 1.6 pixla              | ± .82 piksla             | 2 mikrona                | 2 mikrona                |
| Čas skaniranja              | 16 sek. do<br>nekaj min. | 16 sek. do<br>nekaj min. | 16 sek. do<br>nekaj min. | 16 sek. do<br>nekaj min. |
| Velikost piksla             | ---                      | ---                      | 7 x 5 µm                 | 7 x 5 µm                 |
| št. bitnih<br>nivoov        | 8                        | 12                       | 8                        | 12                       |

Tabela 2.2

digitalni obliki, ker je že v ohišju kamere vgrajen A/D pretvornik.

Posledica velikosti senzorja in A/D pretvornika, nameščenega v ohišju kamere, so povečane dimenzije kamere.

2.2. Analogno/digitalna pretvorba; "zajemanje" zaslonske slike in hranjenje slike

Video kamere dajejo kot izhod analogni video signal, ki ga lahko direktno prikažemo na monitorju oz. zapišemo na magnetni medij. Informacija, ki jo nosi video signal, je kodirana v obliki enodimenzionalnega signala t. j. napetosti, ki se časovno spreminja. Z računalnikom pa ne moremo obdelovati napetosti kot fizične količine. Iz tega razloga je potrebno video signal digitalizirati. To izvedemo z analogno/digitalnimi pretvorniki. Kljub digitalizaciji pa slika še ni primerena za obdelavo z računalnikom. Slika, ki jo daje kamera, se zamenja vsakih 1/25 sekunde (evropski normativ). Takšne "premikajoče" slike pa seveda ne moremo uspešno izvednotiti pri objektih, ki se premikajo. Zadnji del pri digitalnem zajemanju slike tako predstavlja zajemanje ene zaslonske slike (v angleščini to označujejo z izrazom **image frame grab**) in hranjenje le-te.

Zajemalec ene zaslonske slike oz. frame grabber je v bistvu razširitvena kartica za računalnik, ki jo sestavljajo:

- video spomin (opcija),
- matematični procesor (opcija),
- ura,
- A/D pretvornik (trije za barvne slike),
- sinhronizator.

Ta razširitvena kartica nam torej omogoča shranjevanje zaslonskih slik v 1/25 sekunde (ob predpostavki, da sta kapaciteta in hitrost spominskega medija ustrezni). Tako "ujeto" sliko v spominu računalnika lahko takoj obdelujemo.

### 3. VIDEO PROCESORJI ZA OBDELAVE V REALNEM ČASU

Reševanje 3-D problemov pri meritvah in kontrolah zahteva združitve hitrih fotogrametričnih algoritmov s tehnikami transformacije in redukcije slik (nizki nivo) in procesi razumevanja slik (visoki nivo). Frekvenca digitalnega procesiranja slik za obdelave v realnem času mora biti vsaj 25-30Hz. Na današnji stopnji razvoja tehnik za obdelavo in analiziranje digitalnih slik lahko govorimo o obdelavi v **realnem času** samo pri uporabi enostavnih algoritmov, namen-

| osnovni slikovni operatorji         |                                                                                                  |                                                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ARITMETIČNI<br>(točkovno avtonomni) | en niz podatkov                                                                                  | > premiki, izrezovanje, normalizacija, primerjanje s pragom (thresholding) |
|                                     |                                                                                                  | > transformacije s pomočjo prevedbene tabele                               |
|                                     | več nizov podatkov                                                                               | > seštevanje, odštevanje, množenje, deljenje                               |
|                                     |                                                                                                  | > test enakosti                                                            |
|                                     |                                                                                                  | > poleate (grafika, slike, tekst)                                          |
| LOKALNI<br>(okolica točke)          | > n:m konvolucija za izvedbo digitalnih visoko, nizko in pasovno frekvenčnih prostorskih filtrov |                                                                            |
| STATISTIČNI                         | > izravnava in specificiranje histogramov                                                        |                                                                            |
| GEOMETRIČNI                         | > merilo, rotacije, translacije, zvijanje, prevzoreenje                                          |                                                                            |
| KORELACIJA:<br>FURIER. TRANSF.      | > iskanje, primerjanje                                                                           |                                                                            |
| MORFOLOŠKI                          | > redukcija in opis slik za računalniško analizo in razumevanje                                  |                                                                            |

Tabela 3.1

jenih za enostavne točkovne transformacije oz. redukcije točkovno avtonomne aritmetične operacije - glej tabelo 3.1) (Real 86). Vse ostale funkcije pa se izvajajo le v približno realnem času.

Osnovna problema pri obdelavi v realnem času sta ogromna količina podatkov in kompleksnost procesnih algoritmov. V sistemih, kjer sta važna izhoda obdelave podatkov **hitrost in precizni rezultati**, kar se v veliki meri nanaša tudi na fotogrametrične kontrole, običajni splošno uporabni procesorji niso najboljša rešitev. Nadomeščajo jih specialni procesorji, ki imajo že vgrajene osnovne operatorje za obdelavo slik, kar znatno poveča hitrost. Osnovni operatorji so navedeni v tabeli 3.1 in jih moderni slikovni procesorji vsebujejo v najrazličnejših kombinacijah.

Izbira možnih konfiguracij strojne opreme je danes zelo pestra. Kljub raznolikosti pa lahko te možne konfiguracije s stališča uporabljene strojne opreme razvrstimo v štiri večje skupine (Real 86):

- slikovni procesni sistem, zgrajen okoli splošno uporabnega mini računalnika razreda mikro VAX II z dodatnimi koprocessorji,

- specialni, samostojni, učinkoviti sistemi za posamezne aplikacije v realnem času, ki vključujejo kamere, glavni računalnik, koprocessorje, pomnilniške enote in programsko opremo za obdelave v realnem času (cena osn. verzije se giblje okoli 30.000 USD),
- procesorji za obdelavo digitalnih signalov na enem čipu,
- razširitvene kartice za procesiranje digitalnih posnetkov namenjene mini in osebnim računalnikom (cena od 8.000 DEM navzgor).

#### 4. SISTEMI ZA OBDELAVO DIGITALNIH POSNETKOV

Iz zornega kota fotogrametra lahko trdimo, da se pojavljata dve konceptualni rešitvi sistemov z možnostjo obdelave digitalnih posnetkov.

##### 4.1. Analitični fotogrametrični instrumenti z enoto za digitalizacijo posnetkov

Ta rešitev je nastala v prehodnem obdobju, ko so se tehnike obdelave digitalnih posnetkov šele uveljavljale.

Konstrukciji analitičnega ploterja je dodana samo enota (maloformatna CCD kamera) za digitalizacijo majhnih kosov posnetkov. Senzorji so nameščeni nad posnetki in povezani z računalnikom oz. sistemom za digitalno korelacijo. Na ta način je mogoče avtomatizirati oz. odvisno od strukture modela delno avtomatizirati orientacijo modelov in zajemanje podatkov. Operater je tako rešen rutinskih utrujajočih opravil in samo nadzira delovni proces ter intervenira, če je potrebno. Tako opremljeni analitični ploterji omogočajo **popolnoma avtomatsko digitalizacijo DMR-a**. Le v točkah, za katere sistem ne more najti ustrezne korelacije za višino (neizrazite terenske oblike), pri digitalizaciji le-te operater določi ustrezno višino. Taka zasnova instrumenta omogoča tudi skoraj **avtomatsko izdelavo digitalnega ortofota**, za izdelavo katerega tako ne rabimo več posebnih instrumentov. **Delno so avtomatizirani tudi postopki notranje in zunanje orientacije**, saj lahko takšen sistem sam prepozna signalizirane točke oz. najde identične točke na dveh posnetkih, ki so podane s koordinatami.

Takšna rešitev je ob vseh drugih možnostih za številne aplikacije bližnjესlikovne fotogrametrije predraga, pa tudi učinkovitost v procesu izvedenja je samo za 30% večja (Shortis 88).

#### 4.2. Računalniško orientirani video merski sistemi

Pri teh sistemih ni več razlike med fotogrametričnim instrumentom in računalnikom, ki krmili določene operacije, ampak je jedro celotnega sistema računalnik in video zaslon. Računalniška in video tehnologija v teh sistemih vplivata na vse faze, od zajemanja, obdelave in hranjenja podatkov celo do takšne mere, da so vse tri faze popolnoma avtomatizirane. Gruen je poimenoval takšne sisteme "Digital stations".

Računalniško orientirani video merski sistemi združujejo naslednje komponente:

- eno ali dve CCD kameri,
- A/D pretvornik,

- procesorski računalnik za hitro izvajanje osnovnih obdelav digitalne slike, kot so poudarjanje slike, detekcija robov, določevanje obrisa in konvolucija,
- kontrolni (host) računalnik,
- izhodne enote.

Z vidika zajemanja podatkov, s čimer je tesno povezana izhodna natančnost, lahko te sisteme delimo na:

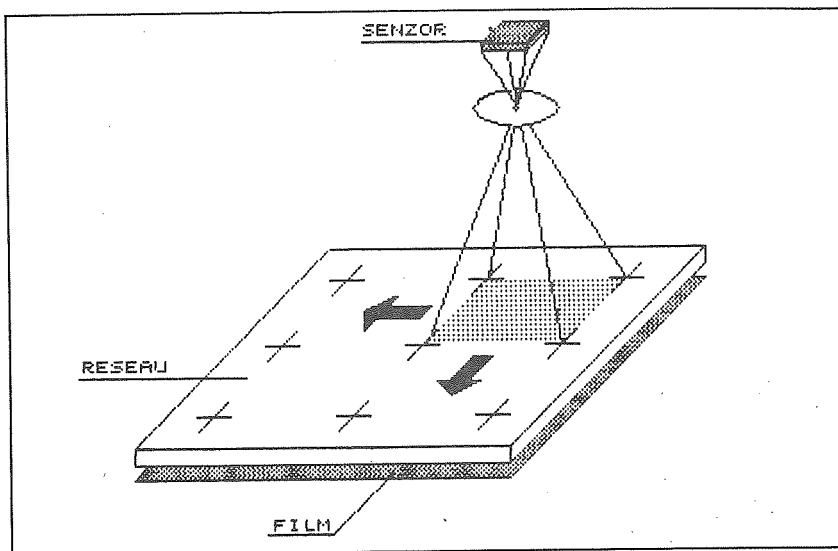
- posredne sisteme in
- direktne sisteme.

##### 4.2.1. Posredni sistemi

Posredni sistemi bazirajo na komparatorskem principu in rasterski digitalizaciji analognih predlog. Rastersko digitalizacijo analognih predlog lahko izvedemo s skanerji (mizni in bobni skanerji) ali CCD kamerami v on ali off-line povezavi z ostalimi elementi sistema. Zaradi enostavnosti, priročnosti, vseh ostalih prednosti CCD kamer in ne nazadnje bistveno manjših investicijskih vlaganj so CCD kamere prevladale v aplikacijah bližnjესlikovne fotogrametrije kot enota za rastersko digitalizacijo analognih predlog (El-Hakim 86).

Zaradi posredne digitalizacije ti sistemi niso primerni za izvedenja dinamičnih procesov. Tako nismo strogo vezani na obdelave v realnem času in lahko posvetimo nekaj več časa rasterski digitalizaciji analognih predlog, s čimer povečamo vhodno natančnost rasterske slike.

Kot je znano, je največja slabost CCD kamer majhna senzorska površina, ki meri okoli  $100 \text{ mm}^2$ . Prav tako ni zaslediti tendenc, da bi v bližnji prihodnosti izdelali CCD kamere, katerih senzorska površina bi vsaj približno odgovarjala dimenzijam danes uporabljenih analognih posnetkov. Vhodno natančnost zato lahko povečamo le tako, da analogno predlogo digitaliziramo v več delnih slikah v večjem merilu. Povezavo teh delnih slik v skupen slikovni koordinatni sistem lahko rešimo na optično-mehanski ali optično-numerični način (Wester-Ebbinghaus 86).

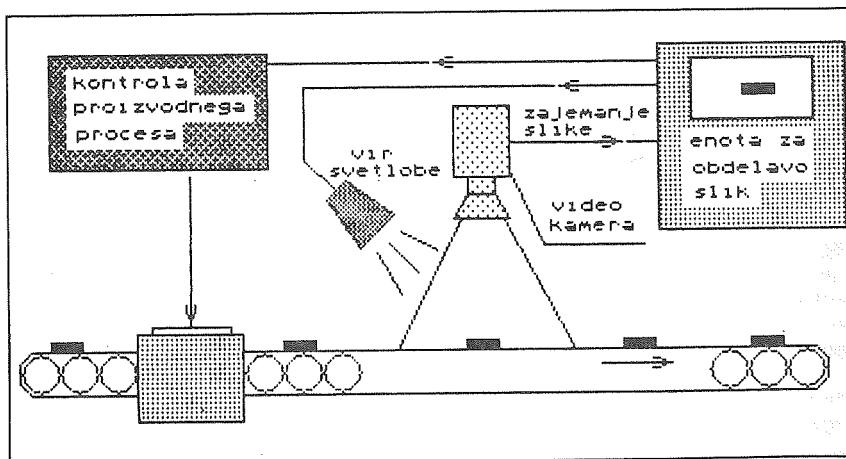


Princip "reseau-scanninga", kot je uporabljen v  
reseau - skanerju RS1 firme Rollei  
Slika 4.1

- Pri optično-mehanskem načinu je povezava delnih slik izvedena z mehansko konstrukcijo, po kateri se premika kamera oz. senzorska površina in nam omogoča v vsakem trenutku natančno določitev položaja delne slike v skupnem slikovnem koordinatnem sistemu. Izvedba take

konstrukcije je zaradi visokih zahtev po natančnosti zelo draga in občutljiva na vplive okolice.

- Pri optično-numeričnem načinu pa izvedemo povezavo delnih slik v skupen slikovni koordinatni sistem na numeričen



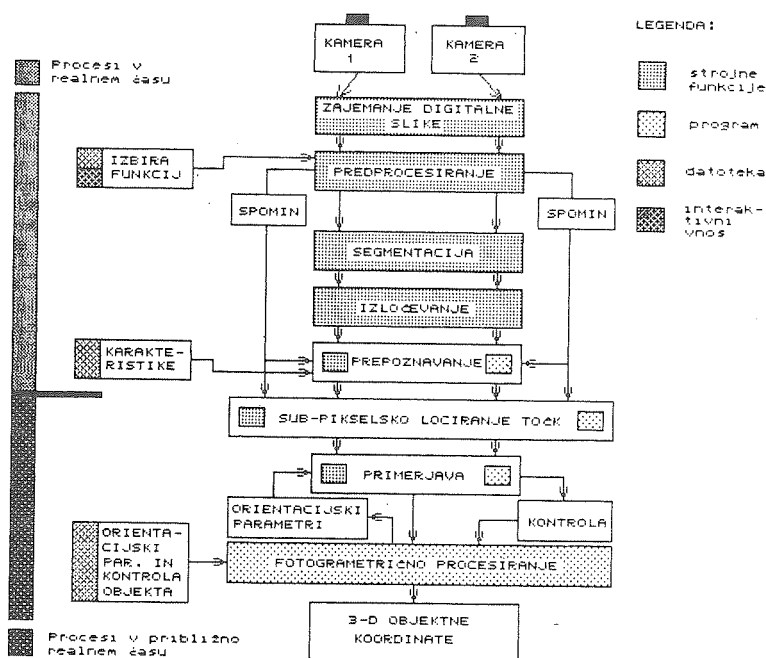
Machine vision system za prepoznavanje in sortiranje  
Slika 4.2

način, ob predpostavki da uporabljamo pri digitalizaciji analognih slik reseau mrežo, nameščeno neposredno pred analogni predlogo. V postopku rasterske digitalizacije moramo potem samo zagotoviti, da se vsaj štirje križi reseau mreže preslikajo v delno sliko (slika 4.1). Le-to nato z bilinear- no transformacijo na reseau križih prevedemo v skupen slikovni koordinatni sistem. Mehanska rešitev takega sistema ni zahtevna (Luhman 87).

#### 4.2.2. Direktni (real-time) sistemi (machine vision systems)

O direktnih (real-time) sistemih govorimo takrat, ko so realna scena, rasterska digitalizacija in rezultati izvedenja v on- line povezavi v realnem času.

Ti sistemi izvirajo iz želje industrije po avtomatizirani proizvodnji (robotizaciji) v 3-D prostoru in jih v tujini poznajo in razvijajo pod imenom **machine vision systems**. Dobesedni prevodi (npr. sistemi s strojnim vidom) skoraj nikoli ne ustrezajo pravemu pomenu, zato je boljše opisno (z definicijo) podati pomen prej omenjenega izraza. Definicija o **machine vision** je bila sprejeta že leta 1985 s strani MVA/SME (Machine Vision Association of the Society of Manufacturing Engineers) in AVA (Automated Vision Association) in se glasi (Wong 86): uporaba enot za optično nekontaktno zaznavanje za avtomatsko sprejemanje in interpretacijo digitalnih slik realnega prostora, z namenom zajemanja informacij in/ali kontrole strojev ali procesov.



Blok diagram avtomatskega stereo merskega sistema  
Slika 4.3

Glede na definicijo pokrivajo aplikacije machine vision velik del fotogrametričnih aplikacij v realnem času, predvsem v bližinskem področju.

V svetu, pri nas pa nekoliko manj, so že uveljavljeni sistemi za prepoznavanje in sortiranje izdelkov v procesu proizvodnje (slika 4.2) (Haggren 86). V teh sistemih so fotogrametrične operacije omejene na določitev merila slike in dvodimenzionalne transformacije slike. Popolnejša in pomembnejša vloga fotogrametrije v machine vision sistemih danes je v 3-D točkovnih merjenjih in kontrolnih aplikacijah. Zahtevnejše operacije, kot so kontinuirana 3-D merjenja in lociranje interpretiranih podatkov v objektu, so za današnjo stopnjo razvoja "standardne" strojne opreme še nerešljiv problem (Haggren 86).

#### 4.2.3. Postopek izvedenja

Proces izvedenja je faza fotogrametričnega kontrolnega procesa, za katero še do pred kratkim fotogrametri nismo verjeli, da se da popolnoma avtomatizirati in da so rezultati meritev (prostorske koordinate, odstopanja, potrebne korekcije) znani v istem trenutku, kot so bile izvedene meritve.

Zanimanje znanstvenikov s področij kot sta fizika in elektrotehnika za razvoj avtomatiziranih proizvodnih procesov (robotizacije) je ob sodelovanju fotogrametrov in seveda ob podpori hitro se razvijajoče računalniške procesne in video tehnike privedlo do izgradnje prvih popolnoma avtomatiziranih sistemov za izvedenja. Seveda je ta popolna avtomatiziranost še omejena in to na točkovne kontrolne procese objektov z dobro signaliziranimi kontrolnimi točkami. Prav tako je trenutno omejena natančnost takšnih sistemov. Edini poseg operaterja predstavlja vnos parametrov za kamero in vnos orientacijskih točk, iz katerih po fotogrametričnih postopkih izračunamo orientacije posnetkov (El-Hakim 86,88).

Postopek popolnoma avtomatiziranega izvedenja digitalnih posnetkov (slika

4.3) na računalniško vodenih video merskih sistemih lahko razdelimo v dve fazi:

- ustrezna obdelava digitalnega posnetka, tako da je primeren za "meritve",
- določitev slikovnih in prostorskih koordinat objekta po fotogrametričnih postopkih.

Postopek izvedenja je globalno enak za mono in stereo digitalne posnetke, razlikuje se le v fotogrametričnih postopkih, preko katerih pridemo do prostorskih koordinat objekta.

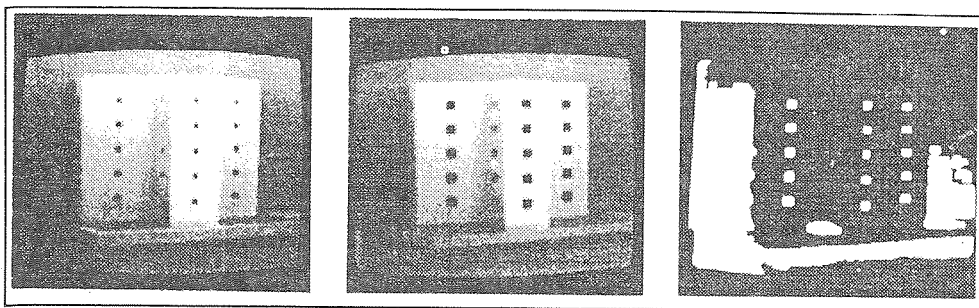
Kot je razvidno iz slike 4.3 lahko posamezne faze izvedemo s programsko oziroma specialno strojno opremo. Kakšen način reševanja posameznih faz bomo uporabili, je odvisno od finančnih sredstev (specialna strojna oprema je nekajkrat dražja od programskih rešitev), ki so nam na razpolago in časa v katerem moramo rešiti podano nalogo (specialna strojna oprema je nekajkrat hitrejša od programskih rešitev).

Ker postopek izvedenja, ki ga prikazuje diagram (slika 4.3), ni splošno poznan, je primerno posamezne faze nekoliko bolj detajlno opisati.

#### - Predprocesiranje

Fazo predprocesiranja digitalnega posnetka predstavljata dve operaciji: redukcija šumov in povečava kontrastnosti slike (angl. enhancement). Šume reduciramo tako, da iz večih zaporedno zajetih digitalnih slik (odvzeta slika brez ekspozicije za eliminacijo vgrajenega šuma) izračunamo povprečno sliko. Število zaporedno zajetih digitalnih slik, ki jih vzamemo za računanje povprečne slike, je odvisno od dinamičnosti scene, ki jo želimo izvednotiti.

Proces povečevanja kontrastnosti digitalne slike omogoča, da na digitalni sliki poudarimo važne, interesantne oblike, kot so tarče, robovi in "zadušimo" ostale. Poudarjanje kontrastov izvajamo s številnimi linearnimi in nelinearnimi konvolucijami (modulacijami). Te operacije se izvajajo na strojnem nivoju in vsebujejo nekaj deset vgrajenih funkcij, ki jih izbiramo



a) originalna digitalna slika

b) digitalna slika s povečanimi kontrasti

c) binarna digitalna slika

Slika 4.4

v odvisnosti od zunanjih parametrov, kot so osvetlitev, tekstura tarč in ozadja, refleksija, ... . Izbrane funkcije (dobimo jih s testiranjem) oz. njihove številke vnesemo v datoteko ali interaktivno (intenzivno spreminjanje zunanjih parametrov). Po fazi povečave kontrastov je digitalna slika primerna za nadaljnji proces. Isto sliko pa rabimo še v fazi lociranja tarč (več v poglavju o lociranju), zato jo shranimo v spominu.

#### - Segmentacija

Da ne obdelujemo v nadaljnjih postopkih celotne digitalne slike, ampak samo predele, ki nas zanimajo, želimo te predele izločiti (angl. extraction) z digitalne slike. Za lažje izločevanje oblik z digitalne slike le-to prevedemo v binarno obliko. "Binarizacija" digitalne slike je kritična faza, ker so vse nadaljnje operacije odvisne od nje. Zato izbiramo prag (angl. threshold) različno za posamezne dele slike, odvisno od svetlostnih pogojev na digitalni sliki. Glede na te pogoje razdelimo digitalno sliko v več delnih digitalnih slik (oken; angl. window) in za vsako posebej določimo prag iz histograma porazdelitve sivih vrednosti. Te operacije izvajamo z namensko strojno opremo. Efekte prvih dveh faz prikazuje slika 4.4 (El-Hakim 86).

#### - Izločevanje

Rezultat segmentacije je digitalna slika, sestavljena iz belih "pack" na črni podlagi

(lahko tudi obratno). Operacija izločevanja oblik izolira vsako "packo" in ji dodeli karakteristično ime (angl. unique label). Te operacije izvajamo z namensko strojno opremo.

#### - Prepoznavanje

Za ločevanje "pack", ki predstavljajo tarče, od ostalih, izračunamo karakteristične parametre za vsako tarčo. Ti parametri lahko podajajo razmerje med višino in širino, med momentoma vztrajnosti velike in male osi, ... . Na podlagi razlik (seveda z določenimi tolerancami) med temi parametri in danim setom parametrov za idealne tarče, ki so shranjene na vhodni datoteki, sistem avtomatsko odloča ali je "packa" razpoznan za tarčo ali ne. Vsem "prepoznanim" packam spremenimo ime, ostale "packe" pa izbrišemo iz spomina.

#### - Lociranje

Vsaka prepoznana "packa", ki predstavlja tarčo, pokriva področje večih pikslov, zato je potrebno locirati središče tarče s sub-pikselsko natančnostjo. Središče tarče lahko izračunamo v eni ali dveh fazah, odvisno od željene natančnosti in strukture tarč. Za enakomerno obravane tarče na kontrastnem ozadju predstavljata center tarče koordinati centroida področja, ki ga pokriva "packa". V primeru, da center tarče definira bela pika na črni podlagi (ali obrat-

no), upoštevamo za določitev centra tarče poleg binarne digitalne slike še digitalno sliko sivih vrednosti, ki smo jo v fazi predprocesiranja shranili na spominski medij. Kot v prvem primeru najprej izračunamo koordinati centroida "packe", nato pa iz sive vrednosti piksla, v katerega pade centroid in sivih vrednosti sosednjih pikslov v okviru matrike 3x3 ali 5x5 po interpolacijski metodi izračunamo koordinati centra tarče.

Raziskave so pokazale, da je natančnost koordinat centra tarče, ki ga predstavljata koordinati centroida "packe", močno odvisna od stopnje nejasnosti robu tarče in da lahko le-to izboljšamo z interpolacijo sivih vrednosti centralnega in sosednjih pikslo. Seveda pa se zaradi dvofaznosti računski čas, potreben za takšen natančnejši izračun, znatno poveča.

#### - Primerjava in fotogrametrično procesiranje

Vsa predhodna računanja se izvajajo za posamezne posnetke in so načelno lahko neodvisna od števila posnetkov.

V primeru, da imamo samo en posnetek, operacijo primerjave preskočimo in preidemo na fotogrametrično procesiranje digitalnih posnetkov. Na podlagi prepoznanih orientacijskih točk (kako in zakaj je opisano v nadaljevanju pri stereo paru) izračunamo po fotogrametričnem notranjem vrezu orientacijske parametre digitalnega posnetka. Predpogoj za nadaljnjo obdelavo in možnost pridobitve 3-D koordinat je, da imamo na razpolago digitalni višinski model za konkreten objekt. Iz višinskih podatkov in orientacijskih parametrov posnetka izračunamo redresirano digitalno sliko oz. digitalni ortofoto.

Za stereo par digitalnih posnetkov pa moramo pred fotogrametričnim procesiranjem še poiskati ekvivalentne točke na obeh digitalnih posnetkih. To fazo imenujemo primerjava (angl. matching) in v njej vsako točko levega digitalnega posnetka primerjamo s točkami na drugem digitalnem posnetku. Zaradi enoličnosti nadaljnega postopka opravimo to fazo v dveh korakih.

V prvem koraku obdelamo samo orientacijske točke, ki jih potrebujemo za izračun parametrov orientacije in kalibracije kamere. Te točke lahko identificiramo glede na vnaprej podano lego, razporeditev in oštevilčbo ali pa tako, da ima vsaka orientacijska točka značilno, od vseh ostalih (orientacijskih in kontrolnih) točk različno obliko. Po identifikaciji teh točk nato za vsak digitalni posnetek s fotogrametričnim notranjim vrezom upoštevaje pogoj kolinearnosti izračunamo orientacijske parametre. V primeru, da so relacije med kamerama znane in fiksne, lahko ta korak preskočimo.

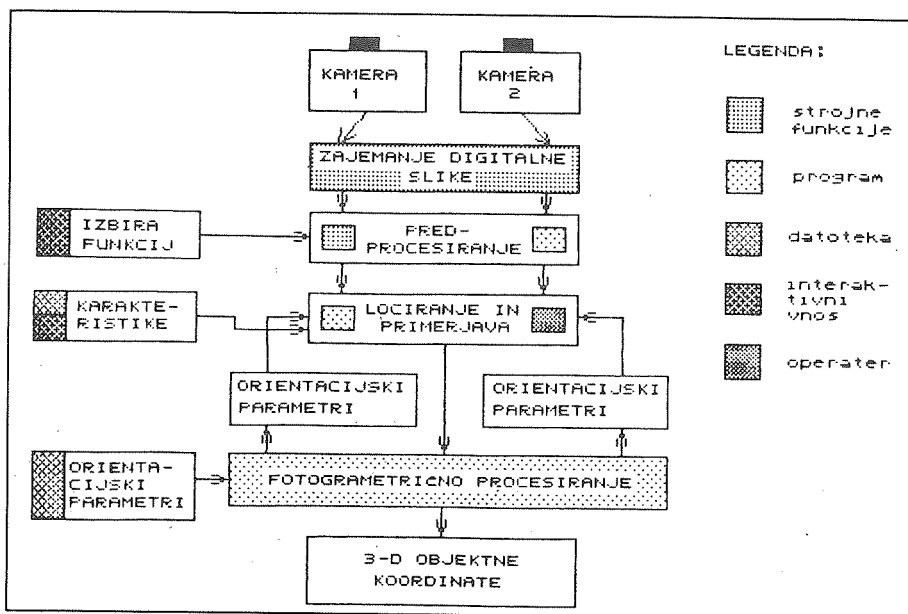
V drugem koraku zajamemo vse ostale točke. Iz slikovnih koordinat točke na prvem digitalnem posnetku, ki ji iščemo par na drugem digitalnem posnetku in iz orientacijskih parametrov obeh digitalnih posnetkov dobimo zvezo med slikovnimi koordinatama  $x$  in  $y$  na drugem digitalnem posnetku. Zvezo nam predstavlja enačba premice (jedrnega žarka)

$$x^2 = a \cdot y^2 + b$$

kjer sta koeficienta  $a$  in  $b$  izračunana iz zgoraj omenjenih parametrov. Slikovne koordinate vseh točk drugega digitalnega posnetka testiramo s podano premico in tarča, katere koordinati najboljše (seveda v ustreznih tolerancah) zadostita enačbi, je najverjetnejša rešitev. V primeru, da slikovni koordinati nobene od točk na drugem digitalnem posnetku znotraj ustreznih toleranc ne zadostita enačbi, točko oz. tarčo izločimo.

#### - Izračun 3-D objektnih koordinat

Rezultat predhodne faze so ali pari identičnih točk na obeh digitalnih posnetkih ali digitalni ortofoto. Iz slikovnih koordinat točk na stereo paru in iz orientacijskih parametrov izračunamo objektne koordinate tarč po fotogrametričnem zunanjem vrezu. Digitalni ortofoto pa nam že predstavlja ortogonalno projekcijo snemanega objekta, iz katerega lahko dobimo za vsako signalizirano točko njene 3-D koordinate. Če smo v fazi izločevanja oblik zajeli tudi robove objekta, nam potem vektorizirani ortofoto predstavlja načrt objekta. Seveda pa



Blok diagram osnovnih operacij za izvedenost digitalnih posnetkov  
Slika 4.5

faza vektorizacije in nadaljnje obdelave vektorske slike ne poteka več v realnem času.

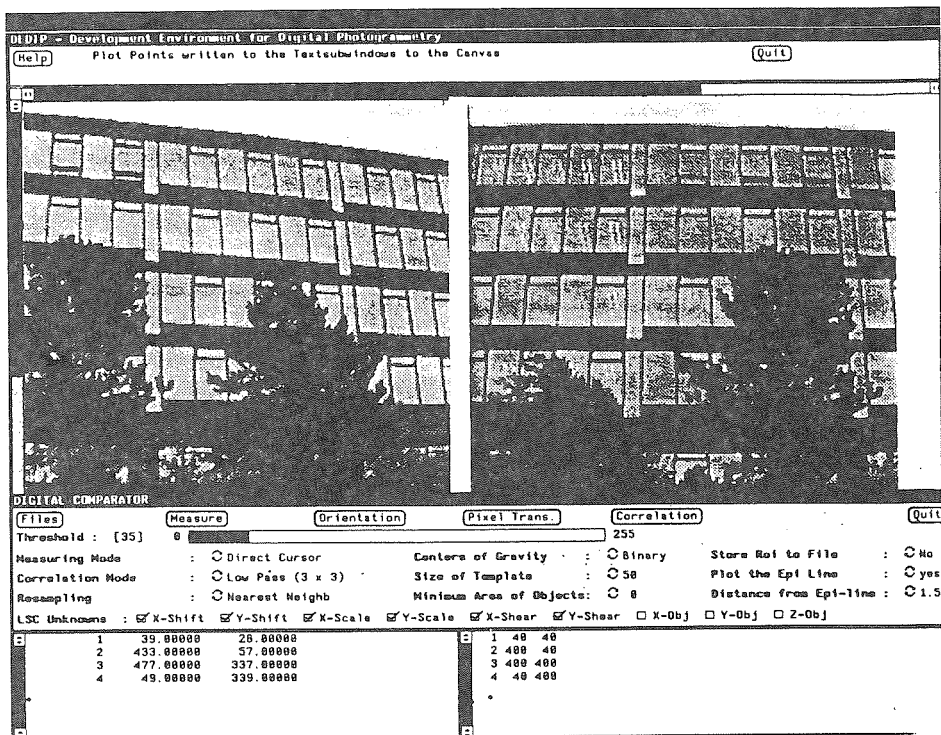
Za prvih šest operacij porabimo za vsako točko 10 do 20 milisekund, za operaciji primerjanja in fotogrametričnega procesiranja pa za vsako točko približno 50 do 60 milisekund (El-Hakim 86). Razlika v hitrosti obdelave se pojavlja zato, ker izvajamo prvih šest faz na strojnem nivoju s specialnimi procesorji, zadnji dve fazi pa uporabljata tudi programe, ki so pisani v okolju splošno uporabnih procesorjev, ki niso specialno namenjeni digitalnemu procesiranju slik (angl. digital image processing) (Čeh, Gvozdanovič, Kosmatin-Fras ta edicija).

Vse aplikacije v bližnjeliskovni fotogrametriji pa ne zahtevajo popolnoma avtomatske obdelave v realnem času (aplikacije v arhitekturi, arheologiji, podvodnih snemanjih, ...), prav tako pa v vseh aplikacijah nismo zadovoljni z relativno majhno natančnostjo, ki nam jo nudijo popolnoma avtomatizirani sistemi (inženirske aplikacije). Natančnosti v

samem procesu obdelave digitalnih posnetkov ne moremo povečati, lahko pa le-to povečamo v fazi zajemanja digitalnih posnetkov (glej poglavje 4.2.1.). Aplikacije, ki ne zahtevajo popolnoma avtomatske obdelave v realnem času, lahko izvajamo tudi na sistemih, ki nimajo vseh v poglavju 4.2 naštetih komponent. Pri tem predvsem mislimo na možnost združitve posebnega procesnega računalnika in krmilnega računalnika v eni enoti, ki je lahko že IBM PC/AT kompatibilni računalnik z razširitveno kartico, ki omogoča uporabo najosnovnejših operatorjev za obdelavo digitalnih slik (glej tabelo 3.1). V naših razmerah predstavlja takšen sistem idealno rešitev za razvoj računalniško podprtih video merskih sistemov. Če se vrnemo nazaj na obdelavo digitalnih posnetkov, mora zgoraj opisani sistem omogočati izvajanje najosnovnejših operacij pri izvedenosti digitalnih posnetkov kot jih prikazuje slika 4.5.

#### - Predprocesiranje

Postopek se ne razlikuje od že opisanega.



Slika 4.6

### - Lociranje in primerjava

V nadaljnjih postopkih obdelujemo digitalni sliki kot celoti. Orientacijske točke lociramo z nitnim križem, ki je sestavni del slike. Točke, ki so nedvoumno signalizirane, lahko enostavno definiramo na obeh posnetkih, pri točkah, ki pa niso signalizirane, pa si lahko pomagamo s stereoskopom (predhodno orientiran par posnetkov), ki je nameščen pred zaslonom in s stereo opazovanjem določimo pripadajoči sliki točk na obeh digitalnih posnetkih (Agnard & co. 88).

Z razvojem sistema skušamo predvsem fazi lociranja in primerjave avtomatizirati kolikor nam narekujejo naše potrebe in dovoljujejo možnosti.

### - Fotogrametrično procesiranje

Iz točk, ki jih vizualno prepoznamo kot orientacijske točke, izračunamo orientacijske parametre obeh posnetkov po fotogrametričnem notranjem vrezu, upoštevaje pogoj kolinearnosti. Za vse ostale točke pa po izračunu orientacijskih parametrov izračunamo prostorske objektne koordinate.

Način izvedenotenja na takih sistemih je precej podoben (v osnovni verziji) izvedenotenju na komparatorju oz. na analitičnih ploterjih, s to razliko, da obdelujemo digitalne posnetke. Slika 4.6 prikazuje delovno okolje takimenovanega "digitalnega" komparatorja (Novak 88).

### 4.2.4. Natančnost

Večina računalniško orientiranih video merskih sistemov je še v eksperimentalni fazi, zato lahko o natančnosti, ki jo nudijo

taki sistemi, sklepamo samo iz posameznih raziskav. Kritično mesto glede natančnosti je že takoj na začetku, to je pri zajemanju digitalnih slik.

Tako nam posredni sistemi omogočajo dosego relativne natančnosti tudi do 1 : 250 000 (Haggren 86), medtem ko današnji direktni (machine vision systems) sistemi omogočajo maksimalno relativno natančnost v rangi 1 : 10 000 (Shortis 88)..

Seveda pa je treba še enkrat poudariti, da je med obema tipoma sistemov bistvena razlika v času, ki je potekel od zajemanja slike do končnih rezultatov.

## 5. ZAKLJUČEK

Avtomatsko merjenje in kontrola dinamičnih 3-D procesov je zanimivo novo področje, ki zahteva fotogrametrične ekspertize. Današnji in jutrišnji sistemi za zajemanje in procesiranje digitalnih posnetkov zahtevajo razvoj novih algoritmov za rešitev problemov prehoda iz 2-D v 3-D. Super čipi povezani s hitrimi sposobnimi fotogrametričnimi algoritmi za procesiranje digitalnih posnetkov lahko omogočijo prenos precizne 3-D inteligence v računalniško podprto proizvodnjo, medicino in druge discipline, ki jih pokriva bližnjeliskovna fotogrametrija. Problem real-time zahtev lahko rešijo v veliki meri paralelne obdelave na večjih računalnikih (paralelna arhitektura). Zato je potrebno enako skrb posvečati razvoju algoritmov in računalniške opreme kajti le uspešna kombinacija obeh bo dala željene rezultate.

Na koncu bi želel opozoriti na nekaj nalog (Wong 86), ki jih bo treba v prihodnosti na področju digitalne fotogrametrije še rešiti.

### - Razvoj stereo digitalnih sistemov

Digitalna primerjava (korelacija) konjugiranih posnetkov ostaja še vedno največji "porabnik" časa pri generiranju trodimenzionalnih podatkov o objektu. Tak proces je ponavadi izveden v treh korakih:

- določitev orientacije jedrnih žarkov na obeh posnetkih,

- primerjanje vseh svetlobnih intezitet pikslov, ki ležijo vzdolž jedrnega žarka s svetlobno vrednostjo iskanega piksla na levem posnetku,
- določitev konjugiranih slikovnih točk.

Z ustreznou konstrukcijo nosilca kamer, takó da smer jedrnih žarkov koincidira s senzorsko linijo kamere, bi lahko eliminirali prva dva koraka in s tem znatno zmanjšali računanja, povezana s korelacijo. Seveda bodo taki sistemi omejeni samo na normalni primer in zaradi majhnega razmerja baza : oddaljenost snemanja koristni samo v bližnjeliskovnih aplikacijah. Trenutno bi bili taki sistemi uporabni pri avtomatizirani proizvodnji in kontroli, v arhitekturi in arheologiji, kjer je zahtevana manjša natančnost.

### - Natančnost centriranja tarč

Merjenje slikovnih koordinat tarč je osnovna operacija fotogrametričnih merenj v aplikacijah bližnjeliskovne fotogrametrije. Rezultati številnih raziskav, ki so bile posvečene natančnosti izvedenotjenja operaterjev na mono in stereo komparatorjih, niso v digitalni fotogrametriji direktno uporabni. Človeški faktor nima več vpliva na te procese in je natančnost določitve centra tarče odvisna samo od velikosti najmanjšega slikovnega elementa in uporabljenih algoritmov. Za uspešno rešitev tega problema je potrebno raziskati in poznati vpliv velikosti, oblike in kontrastnosti tarč na natančnost določitve centra in tako priti do optimalne natančnosti digitalnih meritev.

### - Slikovna korelacija

Digitalna slikovna korelacija je bila predmet intenzivnih raziskav v zvezi z razvojem računalniško podprtih sistemov za izvedenotjenje (analitični ploterji). Trenutni obstoječi algoritmi za digitalno korelacijo se težko primerjajo s sposobnostmi operaterja. V aplikacijah bližnjeliskovne fotogrametrije je digitalna korelacija še kompleksnejša zaradi različnih konfiguracij postavitve kamer in kompleksnosti snemanje scene. Nadaljnje raziskave bodo morale podati osnove za boljše razumevanje natančnosti

digitalne korelacije in na podlagi tega predstaviti nove sposobnejše algoritme.

#### **- Samo-kalibracija in samo-orientacija**

Da bodo lahko digitalni sistemi čimbolj neodvisni od človeka kot operaterja, bo potrebno izdelati algoritme za avtomatsko prepoznavanje oslonilnih točk in na podlagi njih samo-določitve parametrov notranje in zunanje orientacije znotraj posamezne aplikacije.

#### **- Splošni algoritmi za multi-slikovno fotogrametrijo**

V aplikacijah bližnjefotogrametrije je pogost primer, da posamezen objekt posnamemo z več kot treh stojišč, pri čemer pa so lahko kamere na posameznih stojiščih različne. Analitične rešitve za take primere so v svetu že izdelane. Za digitalne sisteme bo potrebno razviti sposobnejše algoritme, ki bodo sposobni v **realnem času** opraviti naslednje operacije:

- identifikacijo oslonilnih in kontrolnih točk,

- identifikacijo najboljšega stereopara za kartiranje dela objekta,
- zvesti digitalno korelacijo za konjugiran par digitalnih posnetkov,
- povezavo prostorskih podatkov enega stereopara v 3-D model objekta,
- absolutno orientacijo za generiranje digitalnega modela,
- analizo pogreškov in natančnosti,
- tvorjenje grafičnih in numeričnih izhodov.

#### **- Sistemi z umetno inteligenco**

Končni cilj razvoja digitalnih fotogrametričnih sistemov bodo oz. so sistemi, ki bodo znali sami rešiti vse fotogrametrične naloge in sprejemati logične odločitve v mikrosekundah. Taki sistemi bodo zasnovani na bazah znanja, ki bodo predstavljale v prihodnosti seveda ob ustrezni programski podpori "umetno inteligenco".

## LITERATURA:

Agnard, J. P., Gagnon, P. A. & Nolette, C. (1988): "Microcomputers and Photogrammetry A New Tool: The Videoplotter", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, 8/1988, stran 1165 - 1167.

El-Hakim, S. F. (1986): "A real-time system for object measurement with CCD cameras", članek predstavljen na simpoziju "Real-Time Photogrammetry - A New Challenge", 16. - 19.06. 1986, Ottawa, Canada, IAPRS Vol.26, Part 5, stran 363 - 373.

El-Hakim, S. F. (1988): "Limiting factors of real-time image metrology", članek predstavljen na kongresu ISPRS, Kyoto, Japonska, IAPRS Vol. 27/B2, stran 97 - 109.

Gruen, A. W. (1989): "Digital Photogrammetric Processing Systems: Current Status and Prospects", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, 5/1989, stran 581 - 586.

Haggren, H. (1986): "Real-time photogrammetry as used for machine vision applications", članek predstavljen na simpoziju "Real-Time Photogrammetry - A New Challenge", 16. - 19.06. 1986, Ottawa, Canada, IAPRS Vol.26, Part 5, stran 374 - 382.

Luhman, Th. (1986): "Automatic point determination in a reseau-scanning system", članek predstavljen na simpoziju "Real-Time Photogrammetry - A New Challenge", 16. - 19.06. 1986, Ottawa, Canada, IAPRS Vol.26, Part 5, stran 400 - 408.

Luhman, Th., Wester-Ebbinghaus, W. (1987): "Digital image processing by means of reseau-scanning", 41. Photogrammetrischen Woche, Stuttgart, 14. - 19.09.1987, str. 123 - 130.

Novak, K. (1988): "Application of a Still Video Camera in Architectural Photogrammetry", članek na XI. International Symposium of CIPA, 4. - 7.10. 1988, Sofija, Bolgarija, 12 strani.

Petrie, G. (1983): "The philosophy of digital and analytical photogrammetric systems", University of Glasgow, Scotland, 1983, 28 strani.

Pomaska, G. (1988): "Rolleimetric - ein Systemkonzept fuer photogrammetrische Ingenieur Anwendungen", Bildmessung und Luftbildwesen, 56. Jahrgang, 6/1988, stran 189 - 198.

Real, R. R. (1986): "Components for video-based photogrammetry of dynamic processes", članek predstavljen na simpoziju "Real-Time Photogrammetry - A New Challenge", 16. - 19.06. 1986, Ottawa, Canada, IAPRS Vol.26, Part 5, stran 432 - 444.

Shortis, M. R. (1988): "Precision Evaluations of Digital Imagery for Close-Range Photogrammetric Applications", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, 10/1988, stran 1395 - 1401.

Torlegard, K. (1987): "New challenges of close range photogrammetry", 41. Photogrammetrischen Woche, Stuttgart, 14. - 19.09.1987, str. 57 - 64.

Wester-Ebbinghaus, W. (1986): "CCD reseau-scanning - a new principle for digital image processing", članek predstavljen na simpoziju "Real-Time Photogrammetry - A New Challenge", 16. - 19.06. 1986, Ottawa, Canada, IAPRS Vol.26, Part 5, stran 432 - 444.

Wong, K. W. (1986): "Stereo solid state camera systems", članek predstavljen na simpoziju "Real-Time Photogrammetry - A New Challenge", 16. - 19.06. 1986, Ottawa, Canada, IAPRS Vol.26, Part 5, stran 454 - 458.

---

# KALIBRACIJA VIDEO KAMERE ZA POTREBE FOTOGRAMETRIČNE DOKUMENTACIJE ARHEOLOŠKIH IZKOPAVANJ

---

mag. Zoran Stančič,  
dipl. inž. geod.

Filozofska fakulteta, odd. za arheologijo, Ljubljana  
junij 1989, Ljubljana, YU

## AVTORSKI IZVLEČEK

*Na Oddelku za arheologijo Univerze v Ljubljani raziskujemo možnosti aplikacij digitalne fotogrametrije za dokumentiranje arheoloških izkopavanj. V prvi fazi smo analizirali geometrične pogreške video kamere JVC GZ - S3 s postopki kalibracije v testnem polju. V tekstu so podani rezultati kalibracije, kot tudi pregled video kamer, primernih za postopke digitalne fotogrametrije.*

## AUTHOR'S ABSTRACT

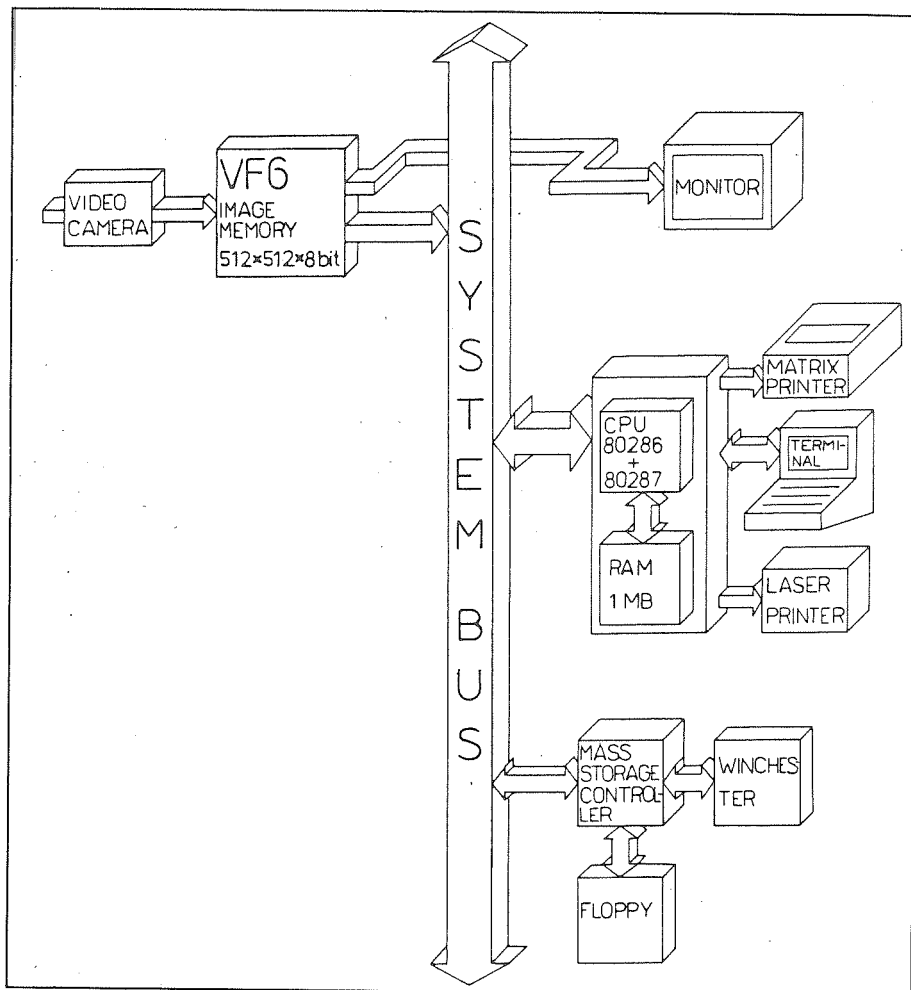
*On the Department of Archaeology, at the University of Ljubljana we are analysing possibilities of the digital photogrammetry applied to the documentation of archaeological excavations. Geometrical distortions of the JVC GZ - S3 have been analysed. In the paper the results of the camera calibration are presented as well as the overview of the video cameras suitable for the digital photogrammetry applications.*

## 1. UVOD

Na Oddelku za arheologijo že vrsto let razvijamo sodobne metode fotogrametričnega dokumentiranja v sodelovanju s številnimi posamezniki in institucijami, predvsem pa z Oddelkom za geodezijo na FAGG ljubljanske Univerze. V skladu s svetovnim trendom razvoja fotogrametrije in zaradi že znanih pomanjkljivosti klasičnih fotogrametričnih tehnik smo se odločili za raziskave s področja aplikacij digitalne fotogrametrije. Celoten sistem naj bi temeljil na zasnovah digitalnega ortofota (glej definicijo v Kosmatin-Fras 88 in ta edicija). Analogen signal ene video kamere naj bi primerna strojna oprema digitalizirala. Na podlagi podatkov o laboratorijski kalibraciji kamere naj bi digitalizirane podatke korigirali za radiometrične in geometrične pogreške. Iz podatkov o digitalnem modelu objekta in izračunane prostorske rotacijske matrike bi izračunali matriko izhodnih sivih vrednosti. Tako dobljen ortofoto bi prikazali na monitorju, shranili na magnetni enoti ali pa ga materializirali na laserskem tiskalniku (slika 1).

Vprašanje, zakaj uporabiti tako sodobne fotogrametrične metode v arheologiji, je upravičeno. Uporabo digitalne fotogrametrije pogojujejo naslednja dejstva:

- linijski prikaz arheoloških struktur (podobno stanje je tudi v arhitektonski dokumentaciji) je zelo problematičen, saj so tovrstni spomeniki zelo bogati z detajli,
- dokument izkopanih arheoloških struktur je potrebno zagotoviti čimprej. Do sedaj smo ta problem reševali tako, da smo zagotovili povečavo pravokotne fotografije za potrebe interpretacije na terenu samem v improvizirnem fotolaboratoriju. Posnetke smo nato izvednotili v pisarni (Stančič & Šivic 88),
- najem fotorestitucijskih inštrumentov je relativno draga rešitev,
- izvednotenje bližnjelikovnih posnetkov z nemersko kamero na analognih restitucijskih inštrumentih je primerno



Zasnova strojne opreme digitalnega fotogrametričnega sistema  
Slika 1

le za rešitve srednje natančnosti (srednji pogrešek  $\pm 5\text{cm}$ ). Tovrstne posnetke je potrebno iz vrednotiti analitično.

Kvalitetna dokumentacija arheoloških izkopavanj je lahko ključnega pomena pri razumevanju samega najdišča. Videotehnika se že uporablja kot sredstvo dokumentiranja ob arheoloških izkopavanjih. Vendar je do sedaj ta tehnika uporabljena za zapis semantičnega

sporočila, propagandne namene, kulturni marketing in kot pedagoško sredstvo (końgres Theoretical Archeology Group, 1987 in poročilo o njem Novaković et al. 87). Dosti pomembnejšo uporabo videa predlaga Jouliau (88), ki predlaga video v kombinaciji z računalnikom kot sredstvo sistematičnega dokumentiranja arheoloških izkopavanj.

Uporabo digitalne fotogrametrije za potrebe (imenujmo to) real-time slikovne dokumen-

tacije ob arheoloških izkopavanjih pa lahko opazujemo še z drugega zornega kota. Medtem ko so metode digitalne fotogrametrije še v eksperimentalni fazi, so nam potrebni številni testni primeri. Testni primeri pa so predvsem tisti, kjer je kvaliteta (natančnost) izvedenosti na fotogrametričnih normah relativno majhna. In prav arheološka dokumentacija, kjer je potrebna natančnost izvedenosti okoli 1:5000, oziroma  $\pm 1\text{cm}$  (Šivic 84), je lahko tako testno področje. Informacije, ki jih dobimo na teh testnih področjih, nam omogočajo razvoj metod in kasnejšo aplikacijo v topografske namene.

## 2. KAMERE V DIGITALNI FOTOGRAMETRIJI

Tako kot v analogni in analitični fotogrametriji je ena ključnih faz fotogrametričnega procesa zajemanje podatkov. Dobro zajeti podatki so predpogoj za kakovostne rezultate. Prav zato moramo tej fazi dela, predvsem pa fotogrametrični kameri posvetiti zlasti veliko pozornost. Vendar pa tu velja poudariti, da v digitalni fotogrametriji zaradi pomanjkanja primer-  
nih digitalnih kamer po samem zajemanju slike nastopi tudi transformacija analognega signala v digitalnega, ki ga opravi posebna oprema. Prav ta faza pa je vir dodatnih pogreškov, ki jih ob izvedenosti moramo upoštevati. Hkrati velja poudariti, da se sodobne video kamere uporabljajo tako za fotogrametrične potrebe kot tudi za potrebe daljinskega zaznavanja (Makarovič, ta edicija).

Proces zajemanja podatkov razdelimo na podfaze:

- elektrooptično skeniranje,
- prenos slikovnih podatkov,
- A/D pretvorba,
- shranjevanje slike.

V idealnih pogojih naj bi vse te postopke opravila kvalitetna digitalna kamera. Ker pa so tovrstne kamere šele v razvoju in kot take izredno drage, uporabljamo analogne video kamere, ki opravijo le prvi dve podfazi procesa zajemanja podatkov. Uporaba

analognih video kamer in nato digitalizacija signala imata sicer posledice za geometrično natančnost slike (Daehler 88), vendar so le-te manjše kot drugi sistemski pogreški.

### 2.1. Elektrooptično skeniranje

Analogne video kamere so kamere, ki kot izhod producirajo analogni elektronski video signal. Glede na način pridobivanja slike jih razdelimo na kamere, ki temeljijo na video ceveh (slika se pridobi na podlagi zunanjega fotoelektričnega efekta - fotoemisija) in fotodetektorjih (slika se pridobi na podlagi notranjega fotoelektričnega efekta - fotoprevodnosti). Proces pridobivanja slike pri slikovni video cevi je obraten procesu pridobivanja slike pri televiziji. Kamere s fotodetektorji imajo vgrajene svetlobno občutljive slikovne elemente, ki danes praviloma temeljijo na silikonskih čipih s strukturo polprevodnikov iz kovinskih oksidov. V primerjavi s kamerami z videocevmi (ki imajo tudi različne zasnove) imajo kamere s fotodetektorji naslednje prednosti (Gruen 88: 218):

- stabilna geometrija slike,
- širok spektralni pas (0,4 mikrometra - 1,1 mikrometra),
- boljše barve,
- manjša poraba energije,
- majhna, lahka, robustna konstrukcija,
- brez poškodb pri preosvetlitvi,
- ne zastarajo,
- magnetsko neobčutljive,
- cenejše.

Hkrati pa tudi naslednje pomanjkljivosti:

- manjša svetlobna občutljivost,
- manjša ločljivost,
- manjša hitrost zajemanja slike.

Fotodetektorji so lahko v kameri razporejeni na različne načine:

- optično-mehanični skaner, v katerem sistem rotirajočih ali oscilirajočih zrcal usmerja delček slike na enega ali več elementov,

- linearno razporejeni elementi v kameri, kjer je večje število elementov v ravni črti, cela slika pa se skanira tako, da se premika bodisi cela kamera ali pa senzorji v sami kameri,
- ploskovno razporejeni elementi, kjer področje cele slike pokrivajo svetlobno občutljivi elementi.

Hkrati pa fotodetektorje lahko razdelimo glede na način odčitavanja električnega naboja na CID (Charge Injection Device), CCD (Charge Coupled Device) in fotodiode. Danes na tržišču že močno prevladujejo kamere s CCD senzorji, tako so te kar sinonim za celo skupino kamer s fotodetektorji. Vendar pa na splošno velja poudariti, da je bistvena prednost kamer s fotodetektorji v primerjavi s kamerami z videocevnimi dejstvo, da so fotodetektorji s časom stabilni, tako pozicijsko kot tudi po občutljivosti. Prav to pa je glavni razlog, da se danes za fotogrametrične namene uporabljajo izključno kamere s fotodetektorji in sicer praviloma s CCD čitanjem električnega naboja.

Najmanj občutljive CCD kamere imajo sliko sestavljeno iz 128 x 128 slikovnih elementov, pri velikosti slike okoli 8 x 8 mm. Najnovejše kamere (primer Kodak Megaplug) imajo pri približno isti velikosti slike 1320 x 1035 slikovnih elementov. Velikost enega slikovnega elementa je torej že manjša od 10 mikrometrov. Detaljniji prikaz CCD kamer in njihovega delovanja je podal Gruen (88).

## 2.2. Prenos slikovnih podatkov

Tako pridobljena slika je analogna. Za potrebe računalniške obdelave slike je potrebno analogni signal prenesti do digitalizatorja ali pa sliko prikazati na video zaslonu ter jo registrirati. Prenos se opravlja po enem od video standardov. Za Č/B sliko veljajo naslednji trije standardi (podobni obstajajo tudi za barvno sliko):

- RS - 170, uveljavljen v Severni in Južni Ameriki ter na Japonskem,
- CCIR, uveljavljen v Evropi,

- RS - 330, uporablja se le kot standard za rasterske skannerske sisteme.

V RS - 170 je cela slika sestavljena iz 525 vrstic. Sliko tvori pravzaprav dve "polsliki", ena je sestavljena iz samih sodih, druga pa iz samih lihih vrstic. V enem video ciklu se pokaže najprej ena polslika nato pa še druga. Cel videocikel se obnavlja s frekvenco 30Hz.

Na drugi strani je v sistemu CCIR slika iz 625 vrstic. Slika se na podoben način kot v RS - 170 standardu, obnavlja se s frekvenco 25Hz.

## 2.3. A/D pretvorba in shranjevanje slike

Naslednja izredno pomembna faza je digitalizacija slike. To delo opravi analogno/digitalni (A/D) pretvornik. Le ta analogni video signal digitalizira. Hkrati s pretvorbo (digitalizacijo) slike naj bi zagotovil tudi shranjevanje slike. Vse to delo opravijo "frame grabberji" (prevod je dokaj težaven, zato bom uporabljal kar izraz A/D pretvornik, čeprav je to le del operacij, ki jih "frame grabber" opravlja). A/D pretvornik ima lahko različno ločljivost (praviloma med 246 x 256 in 1024 x 1024 pikslov). Hkrati lahko postavi različno število sivih vrednosti za vsak slikovni element. Tako na primer 8 bitov omogoča 256 različnih vrednosti začetitve. Seveda moramo A/D pretvornik izbrati tako, da bo kompatibilen z enoto za obdelavo - procesiranje slike. Takoj je jasno, da mora za hitro in sprotno shranjevanje slike imeti A/D pretvornik dokaj velik spomin (ena 512x512x8 bitna slika zavzame v 8 bitnem A/D konverterju 256 kbytov spomina). Ob vsem tem je praviloma A/D konverter opremljen s celo vrsto dosti bolj kompleksnih funkcij kot je le sama digitalizacija signala. Zelo pogosto je opremljen z dodatno grafično strojno opremo, matematičnim procesorjem...

## 3. KALIBRACIJA KAMERE

Kljub številnim prednostim kamer, ki temeljijo na polprevodniških čipih, pred kamerami z video cevjo, smo bili prisiljeni uporabiti kamero z video cevjo. Razlog je bil

zelo enostaven - druge, sodobnejše kamere nismo imeli. Uporabili smo kamero JVC GZ-S3. Sodi v zgornji razred amaterskih video kamer. Kamera producira analogen video signal. Velikost slikovne cevi je 1/2 inča.

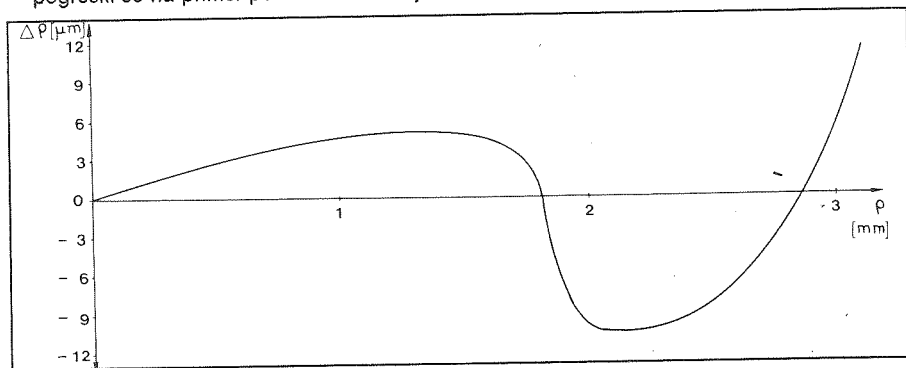
Vendar pa kamera JVC GZ-S3 kot večina drugih amaterskih kamer ni opremljena za fotogrametrična snemanja. Tako ne poznamo goriščne razdalje kamere, kot tudi ne glavne točke posnetka, hkrati pa lahko pričakujemo večjo distorzijo objektiva v primerjavi z metričnimi kamerami. Prav zato bi za kalibracijo morali uporabiti kompleksen matematični model. Splošno vzeto bi bil najbolj primeren postopek analitična blok izravnavna z dodatnimi parametri za samokalibracijo. V kolikor bi nas zanimali le goriščna razdalja in položaj glavne točke posnetka, bi se odločili za enostaven izračun na podlagi že izdelanih algoritmov (Rawiel 80). Vendar smo se osredotočili predvsem na kakovost optične preslikave in geometrične deformacije celotnega sistema fotogrametričnega snemanja za potrebe digitalne fotogrametrije.

video slike, ki je najbolj jasno pri premikanju kamere ob snemanju svetlega objekta na temnem ozadju. Tako kaže piksel ob premiku kamere svetlobno vrednost, ki je vsota prave svetlobne vrednosti objekta in ostanek od svetlobne vrednosti objekta, ki je sneman že pred časom. Sodobne CCD kamere ta efekt močno zmanjšajo, pojavi pa se takoimenovano "cvetenje", ki ga povzročajo elektroni, ki se razletijo po sosednjih pikslih ob kontaktu s senzorjem. Na drugi strani obstaja tudi problem neučinkovitosti prenosa sivih vrednosti od zajemanja do shranjevanja. Med prenosom se določen del električnega naboja izgubi, kar rezultira v shranjevanju nižje sive vrednosti, kot je zajeta. Hkrati obstajajo geometrični pogreški, ki pomenijo degradacijo matematičnega modela slikovne preslikave. Številni faktorji vplivajo na degradacijo tega modela, ki temelji na zakonih centralne projekcije. To so predvsem distorzija objektiva, položaj in deformacije elektronskega senzorja, nepravokotnost optične osi na slikovno ravnino, nepravokotnost slikovnih osi...

### 3.1. Postopek kalibracije

Ob uporabi video kamer za fotogrametrične namene moramo upoštevati vrsto pogreškov, ki jih združimo v dve večji skupini: radiometrični in geometrični pogreški (El-Hakim 86). Radiometrične pogreške razumemo kot vse pogreške, ki jih povzroča neučinkovitost samega elektronskega senzorja in prenosa podatkov. Ti pogreški so na primer posledica "vlečenja"

Odločil sem se za kalibracijo nemerske kamere v testnem polju. Seveda sem pri izračunu izpeljal določena posplošenja. Tako sem analiziral pravzaprav celoten skup vseh pogreškov kot en sam pogrešek. Nisem izpeljal analize posameznih pogreškov kot so na primer simetrična in nesimetrična radialna distorzija, tangencialna distorzija ter decentrična distorzija,



Geometrični pogreški kamere JVC GZ - S3

Slika 2

pogreški deformacije samega senzorja. Posnetke testnega polja sem izrisal na laserskem printerju, ki pa je bil tudi dodaten vir pogreškov. Zanimal me je v prvi vrsti skupen učinek vseh geometričnih pogreškov snemanja in prezentacije.

Slika video kamere JVC GZ-S3 je sestavljena iz 625 vrstic, vsaka vrstica pa iz nekje med 250 in 320 točk (točnega števila nisem mogel ugotoviti). Ker sliko tvorijo v enem video ciklu le sode ali lihe vrstice, je osnovna vertikalna resolucija 312 vrstic. Pri izračunu horizontalne ločljivosti pa bom upošteval najnižjo možno število točk v vsaki vrsti, torej 250. Kamere uporabljajo elektronske video cevi različnih dimenzij, praviloma premera 1/2, 2/3 in 1 inch. Vendar pa je dimenzija same slike bistveno manjša, slika ne pokriva maksimalne možne kvadratne površine preseka video cevi. Tako so video slike za posamezne premere video cevi 6x4,5mm, 8,8x6,6mm ter 12,7x9,5mm (Gruen 88: 228 in Shortis 88: 1396). JVC GZ-S3 kamera ima video cev premera 1/2 inča. Tako izračunamo dimenzijo piksla, ki nam tudi definira osnovno ločljivost kamere. Osnovni element slike, piksel (picture element) je torej dimenzij 24 x 14,4 mikrometra.

Nato smo pričeli s pripravami za laboratorijsko kalibracijo video kamere na testnem polju. Postavili smo testno polje iz kontrastnega črno-belega vzorca. Kontrolne točke so bile postavljene na razdalji 1 dm in sicer s srednjim pogreškom  $\pm 0,2$ mm. Medtem ko so nekateri avtorji želeli doseči čim večjo možno vzporednost slikovne ravnine in ravnine testnega polja (Curry et al. 86), smo mi izhajali iz dejstva, da lahko podobne rezultate dosežemo s približno vzporednima ravninama. Pogoje je, da pogreške zaradi nevzporednosti eliminiramo z računanjem srednje vrednosti za diametralno nasprotno točko testne mreže.

Sledila so snemanja testne mreže s kamero iz večih razdalj in z različnimi nastavitvami zooma. Posnetke smo on-line prenesli do A/D konverterja, jih tam digitalizirali in izdelali kopije posnetkov na laserskem tiskalniku Hewlett Packard Laser Jet II v približno 10-kratni povečavi. Na tako dobjenih pos-

netkih bi nato morali s posebnim postopkom izračunati natančen položaj kontrolnih točk (Wong & Ho 86), vendar smo zaradi velike povečave zelo enostavno določili položaj kontrolnih točk kar z grafičnim presekom. Vsem kontrolnim točkam smo izmerili slikovne koordinate na stereokomparatorju 1818 Zeiss Jena na Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, ki omogoča čitanje slikovnih koordinat na  $\pm 0,02$ mm.

Ob upoštevanju večih posnetkov iz različnih razdalj in nastavitev zooma smo izračunali srednjo vrednost skupnih geometričnih pogreškov kamere. Med posameznimi posnetki so se pojavile večje razlike, ki smo jih tudi pričakovali. Znano je namreč dejstvo, da so prav kamere z video cevmi pozicijsko dokaj nestabilne. Pa vendar, na sliki 2 so prikazani skupni geometrični pogreški testirane kamere v odvisnosti od radialne razdalje od slikovnega centra. Rezultati kažejo, da lahko pričakujemo v srednjem delu slike s premerom 2mm skupne geometrične pogreške pod  $\pm 10$  mikrometra, kar je približno 0,7 piksla. Glede na znane rezultate kalibracije CID kamere (Curry et al. 86), kjer so geometrične pogreške ocenili na 0,2 piksla oziroma približno 10 mikrometrov, smo lahko zadovoljni. Pa vendar dejstvo, da kamere z video cevmi niso po občutljivosti in natančnosti dovolj stabilne, kar kažejo tudi naše raziskave, pogojujejo uporabo sodobnejših kamer, ki uporabljajo fotodetektorje. Vse kaže, da bodo vsi trendi razvoja kamer šli v CCD tehnologijo.

#### 4. A/D PRETVORNIKI

Za digitalizacijo analognega video signala smo uporabili "frame grabber" VFG podjetja Visiometric Inc. Le-ta je prirejen za osebne računalnike PC XT/AT. Omogoča digitalizacijo slike tako, da celo sliko razdeli na 512 x 512 pikslov. Za vsak piksel obstaja 256 možnih nivojev sivine - zapis je 8 bitni. Digitalizator ima torej 256 kbytov spomina.

Primarno obdelavo slike omogoča user friendly menu, ki ima že vgrajene nekatere osnovne programske funkcije, kot so na primer rezanje slike, vstavljanje teksta, enostavno zoomiranje ... Možno je tudi

programiranje v assemblerju ter višjih jezikih C in Fortran.

Ob vsem tem je možen prikaz slike s tehniko, ki jo lahko imenujemo "pseudo color". Različnim nivojem sivine pikslov se pripiše določena barva. Tako so lahko nianse sivih tonov spremenjene v za človeka dosti bolj razpoznavne različne barve. Z uporabo video cevi, ki omogočajo širši spekter registriranja proti IR delu spektra (do 1,1 mikrometra), ali CCD senzorjev, ki imajo podobne kvalitete, lahko preidemo v IR snemanje. Ta tehnika se že uporablja kot nadomestilo dragih fotografskih snemanj za potrebe fotointerpretacije (primer uporabe v gozdarstvu glej Meisner in Lindstrom 85).

## 5. ZAKLJUČEK

Ob dejstvu, da so prav kamere tisti del digitalne fotogrametrične opreme, ki se danes najbolj razvija, velja opozoriti na nekatere probleme. Medtem, ko sodobne fotogrametrične kamere omogočajo ločljivost vsaj 50 linijskih parov na mm (v kombinaciji s filmi s posebnimi emulzijami pa mnogokrat večjo), je velikost piksla pri video kamerah še nad 10 mikrometrov, ponavadi pa okoli 14 mikrometrov (z redkimi izjemami npr. Kodak Megaplus). Lahko izračunamo, da je ločljivost klasičnih fotogrametričnih kamer ekvivalentna velikosti piksla nekje okrog 7 mikrometrov.

Vidimo torej, da je sama ločljivost video kamer vsaj dvakrat manjša, količina informacij pa je pri tem razmerju seveda štirikrat manjša. Trendi razvoja CCD tehnologije kažejo na zmanjševanje velikosti piksla, vendar pa se bo z zmanjšanjem piksla pojavil problem količine informacij, saj bodo potrebni večji in močnejši računalniki za njihovo obdelavo.

Na drugi strani se ploskovni fotodetektorji pojavljajo v relativno majhnih dimenzijah, ponavadi 1/2 ali 2/3 inča. Te pomanjkljivost skušajo odpraviti z združevanjem večih senzorjev (celo 800-krat 800 CCD senzorjev); z razpršitvijo slike z optičnim sistemom in nato z zajemanjem delčkov slike s posameznimi senzorji ali pa z uporabo linearnih senzorjev (nekaj konkretnih rešitev glej v Fras, ta edicija).

Problemi, s katerimi se trenutno ukvarja elektronska industrija, nas ne smejo onemogočiti v raziskavah uporabnosti digitalne fotogrametrije. Izzivu fotogrametrije bodočnosti se ne smemo izogibati.

## Zahvala

Zahvaljujem se Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo ter Elektrotehniški fakulteti za posojeno opremo. Pri snemanju in izračunu mi je pomagal Bojan Zakeršnik, dipl.inž.geod..

## LITERATURA

- Curry S., Baumrind S. in Anderson M., 1986 "Calibration of an Array Camera" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52: 627-636
- Daehler J., 1988 "Probleme beim elektronischen Bildeinzug mit dem analogen Videosignal" Bildmessung und Luftbildwesen, 56: 205-217
- El-Hakim S.F., 1986 "Real-Time Image Metrology with CCD Cameras" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52: 1757-1766
- Gruen A., 1988 "Towards Real-Time Photogrammetry" Photogrammetria, 42: 209-244
- Joulian F., 1988 "Video et Archeologie" Les nouvelles de l'archeologie, 32: 54-56
- Kosmatin-Fras M., 1988 "Teoretične osnove izdelave digitalnega ortofoto" Geodetski vestnik, 32: 25-30
- Meisner D.E. in Lindstrom O.M., 1985 "Design and Operation of a Color Infrared Aerial Video System" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51: 555-560
- Novaković P., Đorđević A. in Stančić Z., 1987 "Theoretical Archaeology Group '87" Arheo, 6: 38-40
- Rawiel R., 1980 "Eine Methode zur Bestimmung der inneren Orientierung in der Nahbildmessung" Bildmessung und Luftbildwesen, 48: 36-42
- Shortis M.R., 1988 "Precision Evaluations of Digital Imagery for Close-Range Photogrammetric Applications" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1395-1401
- Staničić Z. in Šivic P., 1988 "Photogrammetric Documentation of Archaeological Excavations" Proc. of XI.th CIPA Symposium (v tisku)
- Šivic P., 1984 "Fotogrametrična dokumentacija arheoloških izkopavanj" Četvrto jugoslovensko svetovanje o fotogrametriji, druga knjiga, Budva: 131-139
- Wong K.W. in Ho W.-H., 1986 "Close-Range Mapping with a Solid State Camera" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52: 67-74

# TEHNIKE DIGITALNE OBDELAVE POSNETKOV - ORODJE V ROKAH FOTOGRAMETRA

Marjan Čeh, dipl.inž.geod. in Tomaž Gvozdanović, dipl.inž.geod.  
Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana

Mojca Kosmatin-Fras, dipl.inž.geod.  
Geodetski zavod SRS, Ljubljana  
junij 1989, Ljubljana, YU

## AVTORSKI IZVLEČEK

*Tehnike digitalne obdelave posnetkov se uspešno uporabljajo v vseh fazah digitalne fotogrametrije. V članku smo podali opis uporabe teh tehnik v fotogrametriji. Razložili smo nekatere osnovne pojme s področja digitalne obdelave posnetkov, na slikovnih primerih pa smo predstavili učinke nekaterih enostavnih operacij na sivih vrednostih digitalnega posnetka.*

## AUTHOR'S ABSTRACT

*The techniques of digital image processing are efficiently implemented in all the stages of digital photogrammetry. The paper deals with the usage of these techniques in photogrammetry. Some terminology used in image processing is explained. The effects of some simple grey value operations are presented.*

## 1. UVOD

Nobena veda se danes ne more uspešno razvijati brez upoštevanja izsledkov drugih bolj ali manj sorodnih ved. To velja tudi za fotogrametrijo, ki vedno bolj postaja interdisciplinarna veda.

Razvoj tehnik digitalne obdelave slik ne spada v osnovno področje fotogrametrovega zanimanja. S tem se ukvarjajo predvsem matematiki, elektrotehniki, računalnikarji idr. Na področju digitalne fotogrametrije ima fotogrameter opravka z digitalnimi posnetki, razvite metode in tehnike digitalne obdelave posnetkov zato lahko uporabi kot učinkovito orodje za svoje potrebe.

Digitalna obdelava posnetkov" (angl. digital image processing) pove, da posnetke obdelujemo v računalniku. Fotolaboratorij, v katerem analogne posnetke obdelujemo na analogen način, je zamenjal računalnik. Rezultati računalniške obdelave pa so veliko bolj učinkoviti. Včasih dobimo občutek, da računalnik kot "čarovnik" na

sliki pričara tisto, kar je bilo očem prej skrito. Vendar računalniška obdelava v resnici ne more prikazati tistih informacij, ki v osnovnem posnetku niso vsebovane (Hoeksma et al. 88).

Uporaba tehnik digitalne obdelave posnetkov v fotogrametriji omogoča avtomatizacijo nekaterih fotogrametričnih procesov, ki so bili še do nedavnega izključno odvisni od človeka. Avtomatiziramo lahko enostavne operacije s filtri za izboljšanje slikovne kvalitete, ojačanje kontrasta, poostritve robov, itd., geometrične transformacije (npr. digitalni ortofoto) in veliko bolj zapletene postopke, kot so slikovna korelacija, avtomatizirana analiza in razumevanje posnetkov (interpretacija) ter ekstrakcija semantične informacije (Makarović, ta edicija).

V fotogrametriji je uporaba teh tehnik tako raznovrstna in obsežna, da je na kratko ni možno predstaviti. Pri nas te tehnike malo

poznamo, zato smo se v članku omejili na predstavitev nekaterih enostavnih operacij s posnetki, katerih rezultati so vizualno zelo učinkoviti in dajejo slutiti praktično neomejene možnosti uporabe tehnik digitalne obdelave posnetkov.

Vsebinsko smo članek razdelili v dva dela. V prvem razlagamo nekatere osnovne pojme s področja digitalne obdelave posnetkov, v drugem delu pa na slikovnih primerih predstavljamo "učinke" nekaterih operacij na sivih vrednostih slikovnih elementov. Rezultat posamezne operacije na vhodnem posnetku je zelo odvisen od karakteristike posnetka. Ker smo želeli prikazati predvsem učinke posameznih operacij, žal pa na razpolago nismo imeli ustreznih fotogrametričnih posnetkov, smo uporabili posnetke z "nefotogrametrično" vsebino.

Slikovne primere obdelave digitalnih posnetkov smo izdelali s programskim paketom za digitalno obdelavo posnetkov AIM (Atari Image Manager). Ta programski paket je rezultat večletnega razvoja "skupine za prepoznavanje vzorcev" na univerzi v Delftu (Delft University of Technology, Faculty of Applied Physics) in med drugim služi za vaje študentov na tej fakulteti.

## 2. OSNOVNI POJMI IN DELITVE POSTOPKOV V DIGITALNI OBDELAVI POSNETKOV

Digitalni posnetek (angl. digital image) je v numerični obliki kodiran zapis metričnih in semantičnih informacij, ki jih lahko obdelujemo z digitalnim računalnikom. Najbolj preprosto si digitalni posnetek lahko predstavljamo kot matriko, v kateri njeni členi predstavljajo nivoje sivine oz. sive vrednosti (angl. grey level) slikovnih elementov (pikslov), položaj posameznega člena v matriki pa definira njegovo geometrično lokacijo. Definirati moramo še koordinate izhodišča matrike (npr. prvega elementa) in velikost piksla, s tem pa je zagotovljena metričnost informacij.

Če na digitalni posnetek gledamo z matematičnega vidika, je vsak digitalni posnetek matrika, obratno pa ni nujno. Vse

operacije, ki jih lahko izvajamo na matrikan, lahko izvajamo tudi na digitalnih posnetkih (Rosenfeld 69).

Digitalni posnetek, ki ga želimo obdelovati v računalniku, imenujemo vhodni posnetek (angl. input image). Rezultat računalniške obdelave je izhodni posnetek (angl. output image).

Na vhodnem posnetku izvajamo različne matematične operacije. V splošnem operacije delimo na (Goepfert 87):

- operacije na sivih vrednostih,
- geometrične operacije,
- frekvenčne operacije.

Operacije na sivih vrednostih so operacije, ki posameznim slikovnim elementom spremenijo le sivo vrednost. Geometrični odnosi pri tem ostanejo nespremenjeni.

Geometrične operacije spremenijo geometrične odnose med posameznimi slikovnimi elementi.

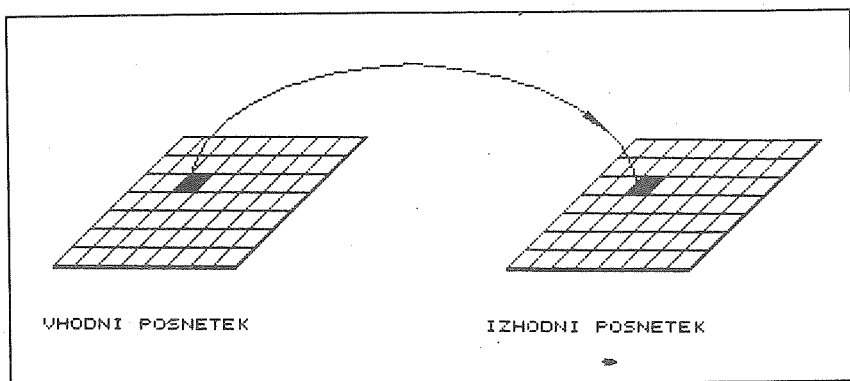
Frekvenčne operacije so operacije v frekvenčnem prostoru posnetka.

V članku se bomo omejili na opis nekaterih operacij na sivih vrednostih. Ena izmed geometričnih transformacij (digitalni ortofoto) je podrobneje obdelana v posebnem članku (Kosmatin-Fras, ta edicija), frekvenčne operacije pa so za razlago zelo zahtevne in jih zato tu izpuščamo. Glede na število slikovnih elementov v eni operaciji delimo operacije na (Hoeksma et al. 88):

- točkovne,
- lokalne,
- globalne.

Točkovne operacije so prostorsko neodvisne in so definirane samo s sivo vrednostjo slikovnega elementa. Na vrednost izhodnega slikovnega elementa vpliva le en sam vhodni slikovni element (slika 1).

Pri lokalnih operacijah upoštevamo okolico slikovnega elementa. Izhodni slikovni element tako izračunamo iz sivih vrednosti več vhodnih slikovnih elementov (slika 2).



Točkovne operacije  
Slika 1

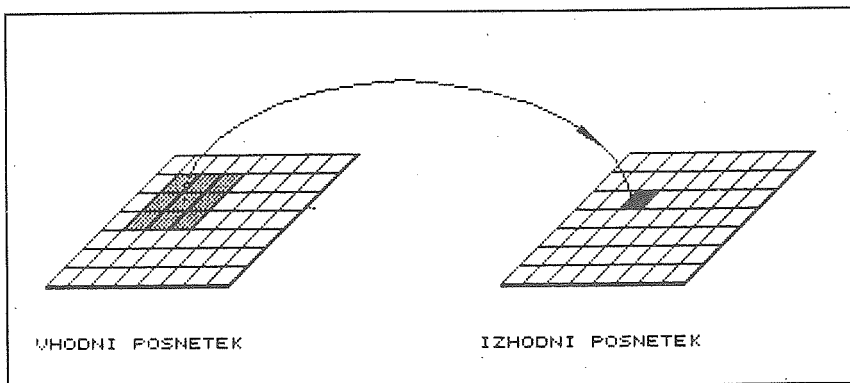
Okolica slikovnega elementa (angl. neighbourhood) je določeno število slikovnih elementov, ki obkrožajo slikovni element in je lahko v obliki "okna" (npr. podmatrika 3x3, 5x5, itd. elementov), križa, ipd.

Pri globalnih operacijah pa na rezultat izhodnega slikovnega elementa vplivajo vsi slikovni elementi vhodnega posnetka.

Točkovne operacije so računsko najhitrejšje operacije, računalniške algoritme pa ni težko izdelati. Lokalne operacije zahtevajo hitrejšje algoritme, število potrebnih operacij pa je med drugim odvisno od velikosti izbrane okolice. Računsko najbolj intenzivne operacije so globalne operacije.

Digitalno obdelavo posnetkov običajno razdelimo v faze, ki so hierarhično razporejene od spodaj navzgor takole: zapis slike v digitalno obliko (analogno digitalna pretvorba), predprocesiranje, segmentacija, postprocesiranje, analiza in interpretacija (Hoeksma et al. 88).

Z analogno digitalno pretvorbo dobimo "surovo" digitalno sliko. Le-ta vsebuje popačenja, ki jih je v posnetek vnesel sistem za analogno digitalno pretvorbo. S postopki predprocesiranja običajno želimo posnetek obnoviti in izboljšati. Namen obnavljanja posnetka je dobiti čim bolj verno obliko njegovega originala. Pri postopkih izboljšanja pa gre za bolj hevristične postopke, s katerimi posnetek obdelamo tako, da nam bolj ugaja (Pavešić 88). Med pos-



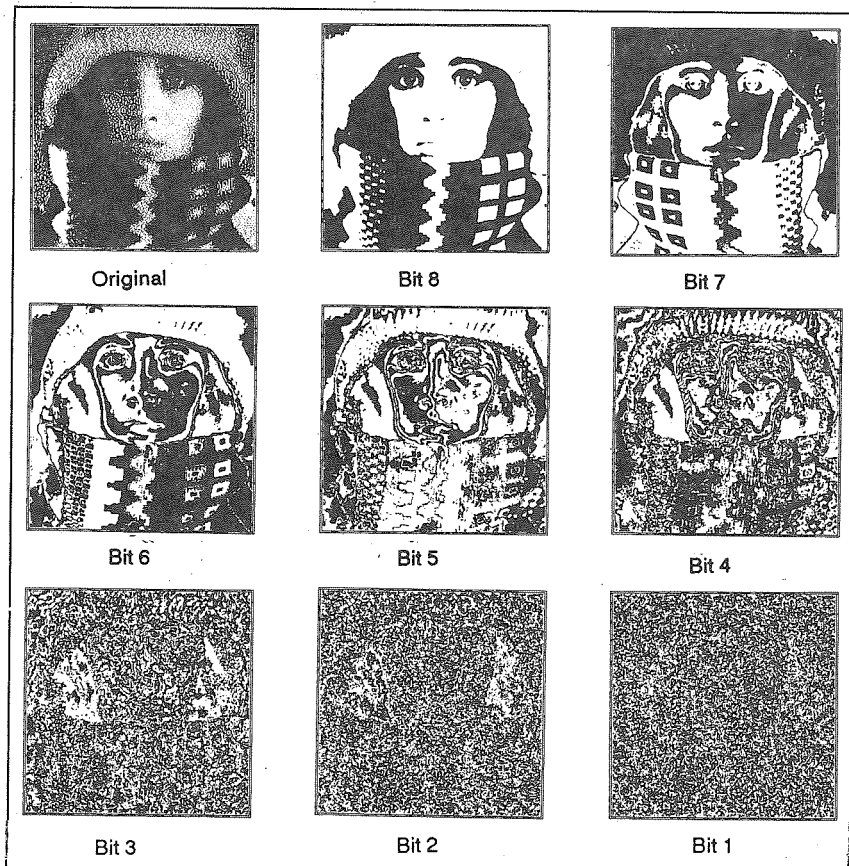
Lokalne operacije  
Slika 2

topke izboljšanja posnetkov štejemo med drugim izločanje šuma iz posnetka, povečavo kontrasta, poudarjanje robov itd. S postopki segmentacije slikovne elemente vhodnega posnetka grupiramo v področja podobnih atributov. Osnovni atributi so sive vrednosti, barva in tekstura. Če za osnovo segmentiranja vzamemo sivo vrednost slikovnih elementov, govorimo o amplitudni segmentaciji (Ribarić 88). Področje segmentiranja posnetkov sega tudi na področje psihologije, ki daje odgovore na to, kako človek izločuje sliko iz ozadja. Postopki segmentacije posnetka so zelo pomembni za uspešno nadaljevanje postprocesiranja, analize in interpretacije posnetka. Postprocesiranje izboljšuje rezultate segmentacije. Najvišji nivo predstavlja analiza in interpretacija posnetka, ki

vsebuje elemente umetne inteligence. Zadovoljiva avtomatizacija analize in interpretacije posnetkov bo najbrž še dolgo trd oreh za raziskovalce.

### 3. OPERACIJE NA SIVIH VREDNOSTIH SLIKOVNIH ELEMENTOV

Količina informacije, ki jo digitalni posnetek vsebuje, je odvisna od velikosti slikovnih elementov (vzorčenje) in od števila različnih nivojev sivine (kvantizacija). Število različnih stopenj sivine izražamo s številom bitov računalniškega zapisa. Običajno je zapis enega slikovnega elementa shranjen v osmih bitih (en byte), to je  $2^8 = 256$  različnih nivojev sivine. V tem primeru je količina potrebnega računalniškega



Posnetek prikazan v osmih bitnih ravlinah  
Slika 3

spomina v bytjih enaka številu slikovnih elementov posnetka.

Digitalni posnetek lahko predstavimo z binarnimi posnetki po posameznih bitnih ravninah (za gornji primer je osem bitnih ravnin - slika 3). Če posnetek "razstavimo" na tak način, opazimo, da niso vse bitne ravnine enako pomembne za končni posnetek. Običajno je v nižjih bitnih ravninah opazen šum posnetka, ki njegovo informacijo popolnoma "zamegli".

Semantična vsebina digitalnih posnetkov je lahko zelo različna. Eden izmed pomembnih pokazateljev značilnosti razporeditve sivih vrednosti na posnetku je njegov histogram. Le-ta je definiran kot porazdelitev pogostosti posameznih sivih vrednosti na posnetku. Histogram lahko prikažemo s tabelo ali graфом. Če je iz histograma posnetka razvidno, da niso vsi nivoji sivine izrabljeni, to pomeni, da informacijska vsebina posnetka ne izkorišča vseh možnih bitov zapisa. Kvantitativno vsebino informacije posnetka objektivno ocenimo z entropijo posnetka (Goepfert 87)

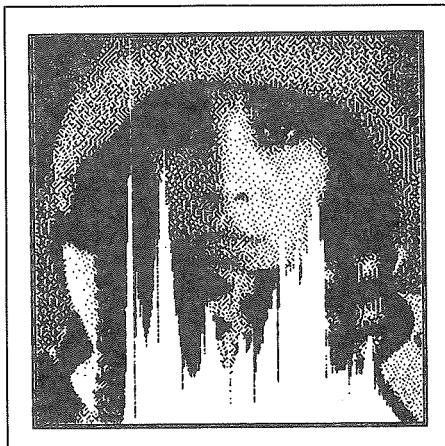
$$E = - \sum_{s=0}^{255} hr(s) * \log_2 hr(s)$$

E ..... entropija  
hr(s) .... relativna pogostost sive vrednosti s

Če z analizo histograma ugotovimo, da niso vse razpoložljive sive vrednosti izkoriščene (slika 4), lahko na posnetku z operacijo izravnave histograma (angl. histogram equalization) sive vrednosti raztegnemo na vse razpoložljive vrednosti. S tem delno povečamo kontrast posnetka (slika 5). Ta operacija spada med točkovne operacije.

Med točkovne operacije spada tudi t.i. postopek primerjanja s pragom (angl. thresholding). Sicer pa ta postopek spada med enostavne primere amplitudne segmentacije. Osnovni namen postopka je binarizacija vhodnega posnetka. Rezultat je torej posnetek, ki ima samo dve različni vrednosti (0 in 1) slikovnih elementov. Ta

postopek je uspešen le takrat, če se objekt na posnetku pojavlja kot relativno uniformno področje in če je tudi ozadje uniformno ali z drugimi besedami, če je histogram posnetka bimodalen (ima dva vrha) (Ribarić 88). Izbrati moramo prag T, ki predstavlja določeno sivo vrednost. Vsak slikovni element primerjamo s tem pragom. Postavimo pogoj: če je siva vrednost slikovnega elementa manjša od T, se spremeni v 0, če je večja od T, se spremeni v 1 (ali obratno). Rezultat binarizacije je precej od-



Vhodni posnetek s histogramom  
Slika 4



Posnetek z izravnanim histogramom  
Slika 5

visen od izbire praga  $T$ . Prag  $T$  najbolj enostavno določimo iz histograma, če je le-ta bimodalen. Za prag  $T$  izberemo sivo vrednost v "dolini" med vrhoma. Rezultati postopka primerjanja s pragom so prikazani na slikah 6, 7 in 8. Vhodni posnetek, ki je prikazan na sliki 3, je binariziran s tremi različnimi vrednostmi  $T$ . Na sliki 6 je na osnovi analize histograma izbran optimalni prag ( $T = 132$ ), na sliki 7 je prag postavljen prenizko ( $T = 80$ ), na sliki 8 pa previsoko ( $T = 180$ ).

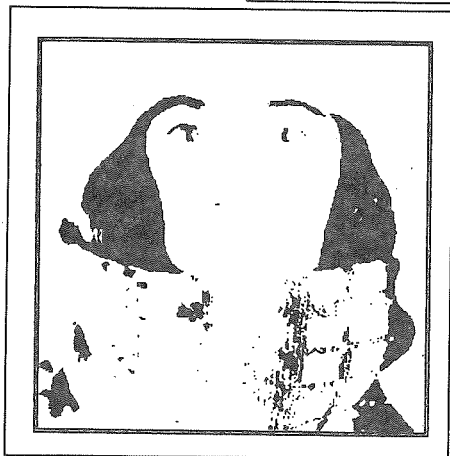
Lokalne operacije običajno izvajamo s

pomočjo filtrov. Le-ti so lahko linearni ali nelinearni, nespremenljive velikosti in oblike ali paspremenljive velikosti in oblike. Filtre, ki so mešanica linearnih in nelinearnih filtrov, imenujemo adaptivni filtri (Hoeksma 88). Filtri imajo v splošnem nalogo, da ločujejo željene in neželjene informacije in neželjene odstranijo (Baehr 85).

Linearno filtriranje posnetka običajno izvedemo s konvolucijo filtrirne matrike in okolice slikovnega elementa. To storimo tako, da množimo elemente okolice z is-



Primerjava s  
pragom,  $T=132$   
Slika 6



Primerjava s pragom,  $T=80$   
Slika 7



Primerjava s pragom,  $T=180$   
Slika 8

toleznimi členi filtrirne matrike in produkte seštejemo. Primeri nekaterih najbolj pogostih koeficientov za posamezne linearne filtre so:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- Gaussov filter za glajenje

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

- filter za poudarjanje detajlov

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -2 & 0 & -2 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

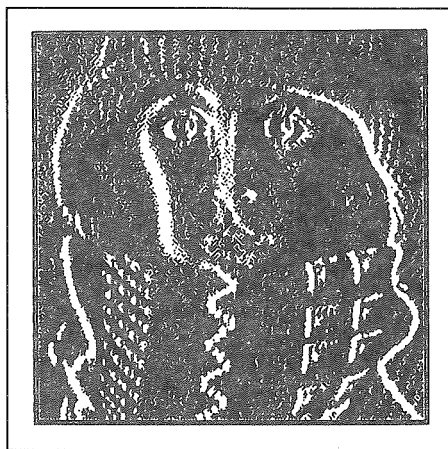
- horizontalni gradientni filter

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

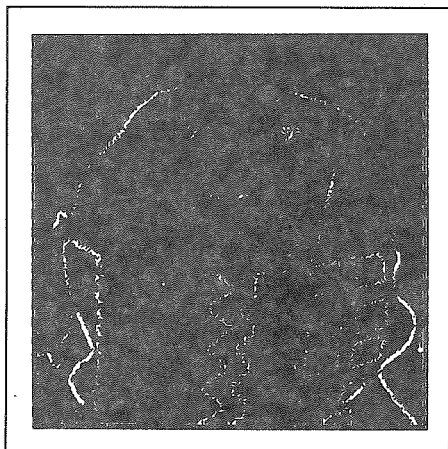
- vertikalni gradientni filter

Posebna značilnost t.i. gradientnih filtrov je, da detaje na posnetku ostrijo. Gradient slikovne funkcije  $G(s(x,y))$  je definiran kot odvod slikovne funkcije po  $x$  in odvod slikovne funkcije po  $y$ . Usmerjen je v smeri največje spremembe funkcije, njegova dolžina pa pove velikost spremembe. Z gradientom torej prepoznavamo ostre prehode sivih vrednosti na posnetku, ki jih nato lahko poudarimo.

Na sliki 9 je prikazan učinek horizontalnega gradientnega filtra, na sliki 10 pa Robertsovega filtra na posnetek, ki je prikazan na sliki 3. S horizontalnim gradientnim filtrom dobimo psevdo-plastičen efekt v horizontalni smeri. Robertsov gradientni filter pa za vsak slikovni element vzame tisti delni gradient (horizontalni ali vertikalni), ki je večji.

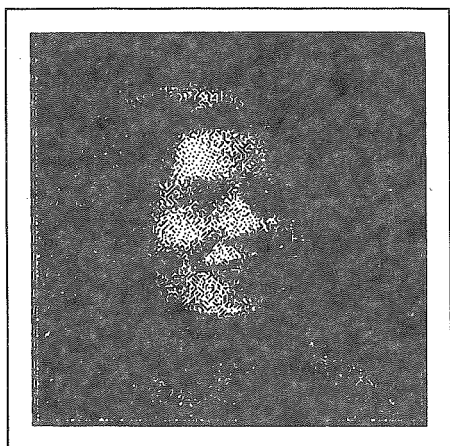


Učinek horizontalnega gradientnega filtra  
Slika 9

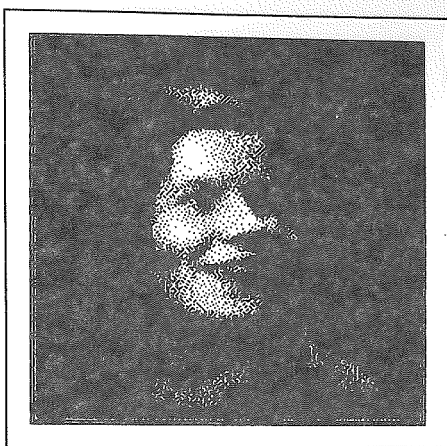


Učinek Robertsovega gradientnega filtra  
Slika 10

Na vhodnem posnetku je iz različnih razlogov lahko prisoten šum, ki se kaže v obliki temnih in svetlih točk posutih po posnetku (angl. salt-and-pepper noise). Takšen šum lahko učinkovito odstranimo s posnetka z medianinim filtrom, ki je nelinearni filter. Si-vo vrednost izhodnega slikovnega elementa nadomestimo z mediano elementov okolice. Mediana diskretnega zaporedja je definirana kot tisti člen zaporedja, od katerega je pol členov zaporedja večjih ali



Posnetek s šumom  
Slika 11

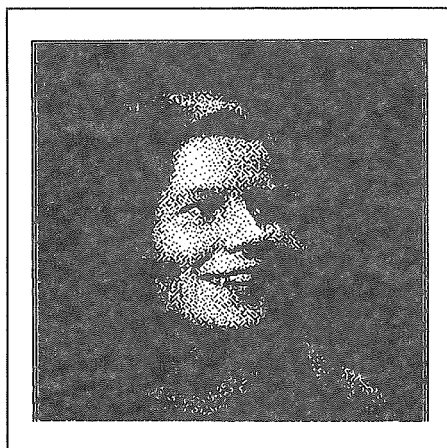


Učinek medianinega filtra  
Slika 12

enakih, pol pa manjših ali enakih. Na sliki 11 je prikazan posnetek, na katerem je prisoten šum. Rezultat medianinega filtra je prikazan na sliki 12, kjer ni več belih in črnih "pik". Na tako očiščeni sliki smo poudarili detajle z linearnim filtrom, rezultat je prikazan na sliki 13.

Zelo učinkovita nelinearna filtra sta tudi t.i. lokalni minimum filter in lokalni maksimum filter. S prvim filtrom določimo lokalni minimum okolice na vhodnem posnetku in ga priredimo slikovnemu elementu izhodnega posnetka. S tem dosežemo razširitev temnih področij posnetka (slika 14). Z drugim filtrom pa določimo lokalni maksimum okolice na vhodnem posnetku in ga priredimo slikovnemu elementu izhodnega posnetka. Rezultat je posnetek, ki ima razširjena svetla območja (slika 15).

Za fotogrametrijo je zelo zanimiva operacija izločevanja robov detajlov na posnetku. Učinek takšne operacije je ta, da iz posnetka dobimo črtno "risbo" (npr. iz posnetka fasade dobimo načrt fasade). Vendar te operacije niso tako zelo enostavne. Težko je namreč definirati, kaj je rob detajla. Učinek je tako odvisen od kriterijev, ki jih postavimo in pa tudi od operacije oz. zaporedja operacij, ki jih izberemo. Na sliki 16 je prikazan rezultat določenega zaporedja operacij, ki izločijo robove detajlov iz



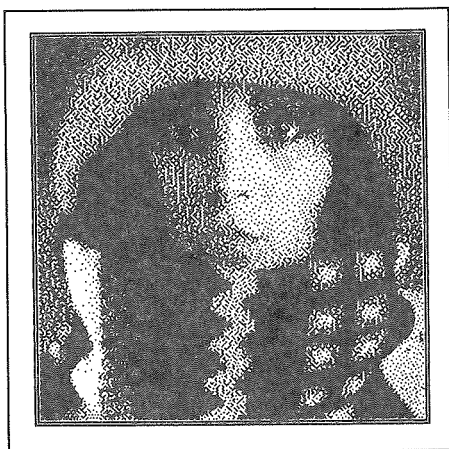
Učinek filtra za poudarjanje detajla  
Slika 13

posnetka na sliki 3, ki pa bi bile na tem mestu preobsežne za razlago.

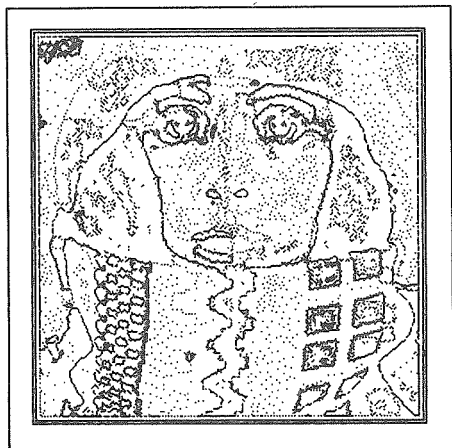
Zgoraj prikazane operacije na posnetkih so le nekatere izmed osnovnih, enostavnih, a vendar učinkovitih operacij na sivih vrednostih. Običajno pa željen učinek dosežemo šele z določenim zaporedjem različnih operacij. Splošnega pravila za obdelavo digitalnih posnetkov ni, zato se moramo za posamezne operacije odločati



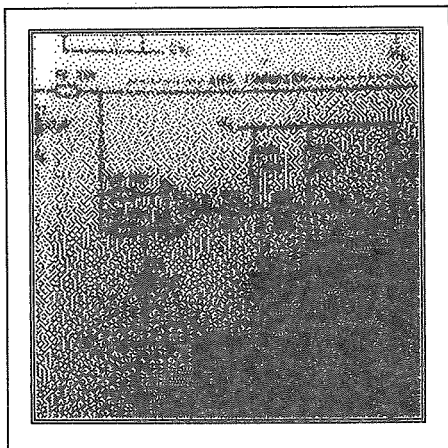
Razširitev temnih območij na posnetku  
Slika 14



Razširitev svetlih območij na posnetku  
Slika 15



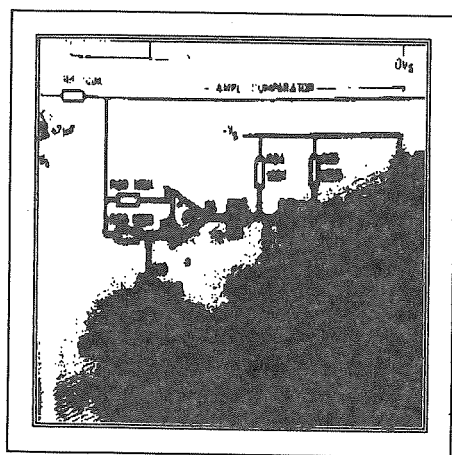
Izločeni robovi detajla  
Slika 16



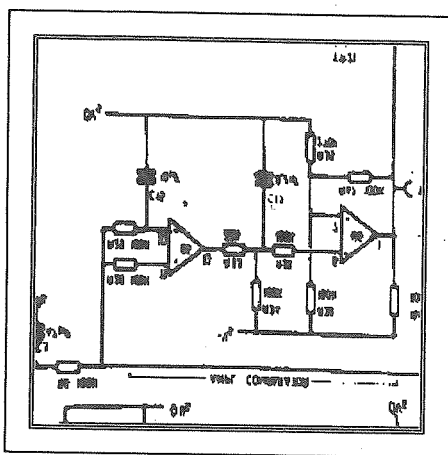
Osnovni posnetek  
Slika 17

na konkretnem posnetku. To delo je zelo kreativno, saj imamo na voljo praktično neomejeno število kombinacij različnih operacij. Za ilustracijo, kako pomembno je pravilno izbrano zaporedje posameznih operacij, navajamo še naslednji, zadnji primer.

Na posnetku (slika 17) želimo izvesti postopek primerjanja s pragom (binarizacija slike), da bi izločili risbo. Rezultat je prikazan na sliki 18 in očitno ne zadovoljuje naših pričakovanj. Na osnovnem posnetku smo nato izvedli lokalni maksimum filter in dobili novo sliko, na kateri smo izvedli še lokalni minimum filter (s tem smo določili ozadje na posnetku). Tako dobljeno sliko



Binariziran osnovni posnetek  
Slika 18



Binariziran posnetek po izločitvi ozadja na  
osnovni sliki  
Slika 19

smo nato odšteli od osnovnega posnetka (posnetku smo "odšteli" ozadje) in na tako obdelanem posnetku izvedli še postopek primerjanja s pragom. Rezultat je presenetljiv (slika 19).

#### 4. ZAKLJUČEK

Uporaba tehnik digitalne obdelave posnetkov v digitalni fotogrametriji je zelo razširjena in sega praktično v vse njene faze. Nekaj osnovnih tehnik, ki so prikazane v tem članku, le nakazuje široke možnosti, ki jih tak način obdelave posnetkov ponuja. Danes želimo fotogrametri uporabnikom

posredovati informacije v čim krajšem času. Uporaba digitalnih tehnik sicer omogoča avtomatizacijo številnih fotogrametričnih postopkov, vendar še vedno ostaja problem obdelave v realnem času (real-time). Osnovna problema sta ogromna količina podatkov in kompleksnost procesnih algoritmov. Na tržišču že obstajajo specialni slikovni procesorji, ki imajo določene operacije realizirane na strojnem nivoju (Fras, tabela 3.1, ta edicija). Reševanje posebnih fotogrametričnih nalog, kot so slikovna korelacija, analiza in interpretacija posnetkov idr., pa spada na področje raziskav fotogrametrov.

## LITERATURA

Baehr, H.P. (1985): "Digitale Bild-verarbeitung, Grundlagen der Digitalen bildverarbeitung", Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe

Goepfert, W. (1987): "Raumbezogene Informationssysteme", Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe

Hoeksma, T., Herweijer, A. (1988): "AIM Tutorial"

Milder, N.J., Kostwinder, H.R. (1988): "Remote Sensing Digital Image Processing, Patern Recognition", International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (skripta)

Pavešić, N. (1988): "Postopki izboljšanja in obnavljanja slik", Seminar Digitalna obrada slike, Zagreb

Ribarić, S. (1988): "Segmentacija slike", Seminar Digitalna obrada slike, Zagreb

Rosenfeld, A. (1969): "Picture Processing by Computer", Academic Press, London

---

# OFF - LINE IZDELAVA DIGITALNEGA ORTOFOTA V PRAKSI

---

Mojca Kosmatin-Fras  
dipl.inž.geod.

Geodetski zavod SR Slovenije, Inštitut  
junij 1989, Ljubljana, YU

## AVTORSKI IZVLEČEK

*V prispevku so na kratko opisani prvi rezultati off-line izdelave digitalnega ortofota na osebнем računalniku. Opisano tehnologijo je v celoti izdelal Inštitut Geodetskega zavoda SR Slovenije. Doseženi rezultati so ohrabrujoči za nadaljnji razvoj.*

## AUTHOR'S ABSTRACT

*The paper reports briefly on the first results of an off-line digital orthophoto generation on a personal computer. The complete technology presented was developed by the Institute of Geodetski zavod SR Slovenije. The results obtained are encouraging for further investigations.*

## 1. UVOD

Digitalna fotogrametrija je v zadnjih nekaj letih dobila veliko vlogo v splošni fotogrametrični produkciji. Nedvomno je eden izmed njenih najbolj vsestransko uporabnih in komercialno zanimivih produktov digitalni ortofoto.

Glavni problem pri izdelavi digitalnega ortofota je velika količina podatkov, ki jih moramo obdelati. Zato za praktično uporabo potrebujemo enostavne algoritme in učinkovite računalniške programe.

Danes so osebni računalniki zelo razširjeni predvsem zaradi nizke cene, enostavne uporabe in relativno velike sposobnosti za izvajanje različnih nalog. S praktičnega vidika je uporaba osebnega računalnika za izdelavo digitalnega ortofota možna in smotrna.

V prispevku so podani prvi rezultati celotne tehnologije za off-line izdelavo digitalnega ortofota na osebнем računalniku kompatibilnem z IBM PC AT, ki jo je razvil Inštitut Geodetskega zavoda SR Slovenije.

Pri off-line izdelavi digitalnega ortofota je potrebno izvesti analogno-digitalno (A/D) pretvorbo vhodnega posnetka in digitalno-analogno (D/A) pretvorbo ortofota. V ta namen smo pri raziskavi uporabili Hell-ov skanerski sistem, ki je last Gorenjskega tiska v Kranju. Ta skanerski sistem je v osnovi izdelan za uporabo v grafično-tiskarski industriji. Njegove tehnične karakteristike zadoščajo za našo fotogrametrično nalogo. V sodelovanju s strokovnjaki Gorenjskega tiska v Kranju smo uspešno rešili problem ekstrakcije slikovne matrike iz surovih skeniranih podatkov.

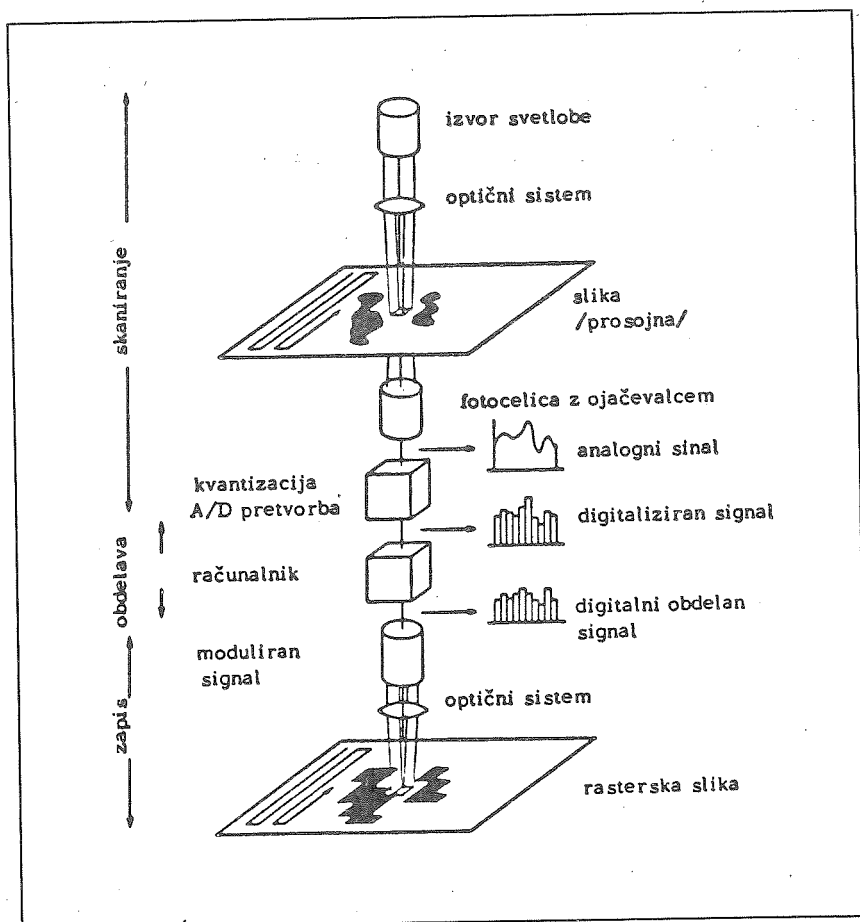
Celotna raziskava, vključno z izdelavo računalniških programov, je trajala dve leti. Rezultati testa so potrdili pravilnost zasnovane tehnologije.

Rezultati im metoda so predstavljeni tudi na "Sejmu softvera '89" v Splitu, od 6. do 8. junija 1989.

## 2. PRINCIP OFF-LINE ZAJEMANJA IN OBDELAVE DIGITALNIH SLIK

Princip zajemanja in obdelave digitalnih slik je prikazan na sliki 1. Svetlobo, ki jo daje izvor svetlobe, usmerimo skozi optični sistem na majhen ploskovni element - **piksel** (angl. picture element). Povprečna količina prepuščene ali odbite svetlobe (odvisno od tega ali je slikovna podloga prosojna ali neprosojna) na ploskovnem elementu se v fotocelici registrira, ojača in pretvori v električni signal določene jakosti, ki se pretvori v digitalno število. Le to shranimo na

računalniškem mediju. Digitalno sliko, ki jo imenujemo tudi **vhodna matrika sivih vrednosti** oz. splošno slikovna matrika (angl. picture matrix), z različnimi matematičnimi in statističnimi operacijami obdelujemo - **procesiramo**. Rezultat procesiranja vhodne matrike je **izhodna matrika sivih vrednosti**. Le to pretvorimo nazaj v električni signal, ki ga (moduliranega) pretvorimo v ustrezno majhno količino svetlobe, ki jo preko optičnega sistema pošljemo na majhen ploskovni element (pixel) na svetlobno občutljiv material (fotografski papir, film, ipd.). Slika, ki nastane na fotografskem

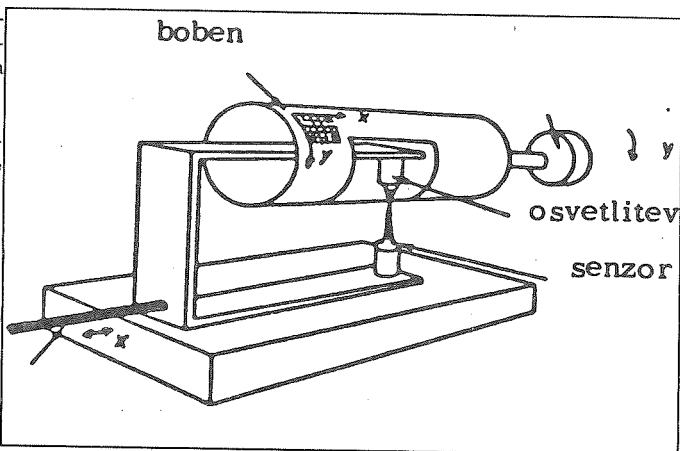


Princip off - line zajemanja  
Slika 1

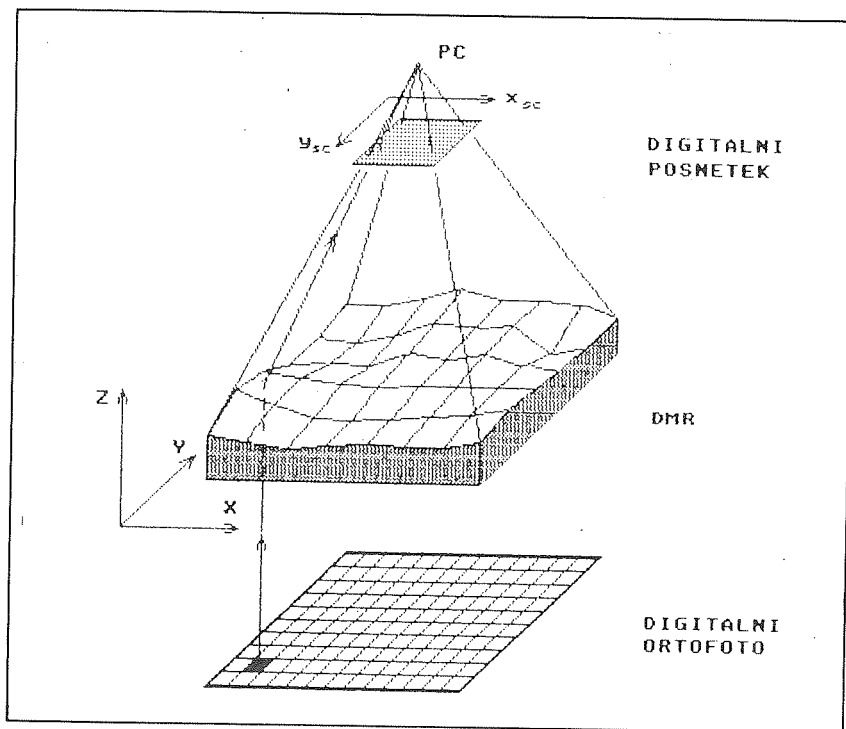
materialu, ni več zvezna, temveč je sestavljena iz rastra slikovnih elementov.

V fotogrametriji in kartografiji zaenkrat še prevladujejo off - line sistemi (sekundarni sistemi), ki analogno podlago (posnetek, karto ipd.) pretvorijo v digitalni zapis. Za analogno - digitalno (A/D) pretvorbo so najbolj vsestransko uporabni optični skanerji, ki dosegajo visoko

geometrično natančnost. Ta je omejena le z valovno dolžino uporabljene svetlobe in kvaliteto optike. V to skupino spadajo bobni in skanerji.



Scanner z vrtečim valjem  
Slika 2



Princip izdelave digitalnega ortofota  
Slika 3

Za potrebe naše naloge smo fotogrametrični posnetek skanirali na bobnem skanerju podjetja Hell, last Gorenjskega tiska iz Kranja.

Pri bobnih skanerjih skanirno predlogo vpnemo na boben. Predloga lahko svetlobo prepušča - senzor meri količino prepuščene svetlobe, pri neprosojnih predlogah pa senzor meri količino odbite svetlobe (geometrična resolucija je manjša kot pri merjenju prepuščene svetlobe).

Na sliki 2 je prikazan princip delovanja bobnega skanerja (prosojna podloga). Skanirna predloga je vpeta na prozoren boben, ki se lahko vrti okoli centralne osi. Znotraj bobna se nahaja izvor svetlobe, ki svetlobne žarke preko optičnega sistema usmerja na majhen ploskovni element predloge. Količino prepuščene svetlobe na zunanji strani bobna zaznava senzor. Količino prepuščene svetlobe se najprej pretvori v električni tok, ki se nato spremeni v digitalno vrednost. Vrtenje bobna okoli svoje osi definira smer y-osi. Skaniranje se izvaja v smeri, ki je na smer vrtenja pravokotna (x-os). Skaniranje v x-smeri se izvaja bodisi s premikanjem izvora svetlobe, optike in senzorja, bodisi z translacijo bobna v tej smeri. S stopenjsko nastavitvijo koraka v x-smeri (število slikovnih elementov / skanirno linijo) in y-smeri (število skanirnih linij / mm) lahko geometrično resolucijo nastavimo na različne stopnje (slikovni element je lahko kvadrat ali pravokotnik).

### 3. FOTOGRAMETRIČNI KONCEPT IZDELAVE DIGITALNEGA ORTOFOTA

Ortofoto je fotografija, ki objekte kaže v njihovi pravilni ortografski poziciji. Ortofoto je tako geometrično enakovreden konvencionalnim linijskim in simbolnim planimetričnim kartam oz. načrtom. Ortofoto je izdelan iz perspektivnega posnetka s postopkom diferencialnega redresiranja, ki eliminira slikovno spačenje zaradi nagiba posnetka in razgibanosti terena.

Danes lahko ortofoto izdelamo z računalniško podprtimi ortofoto instrumenti ali z digitalno izdelavo v računalniku.

Fotogrametrični koncept off-line izdelave digitalnega ortofota, ki je prikazan na sliki 3, je precej enostaven in lahko razumljiv.

Čeprav je ideja opisana v nekaterih tujih člankih (Baehr 85, Arbiol et al. 87), se nam zdi prim

Digitalni ortofoto je produkt diferencialnega redresiranja digitaliziranega fotograma (običajno aeroposnetka), ki ga izvedemo z digitalnim računalnikom.

Osnovni vhodni podatki so:

- a) digitaliziran fotogram,
- b) elementi notranje in zunanje orientacije posnetka,
- c) transformacijski parametri, ki povezujejo slikovni koordinatni sistem in skanerski koordinatni sistem,
- d) digitalni model reliefa.

ad a) Digitalno sliko običajno dobimo s skaniranjem analognega posnetka. V bistvu potrebujemo slikovno matriko, ki jo dobimo iz surovih skaniranih podatkov (le-ti vsebujejo več informacij).

ad b) Elementi notranje orientacije kamere se nahajajo v kalibracijskem protokolu kamere. Elemente zunanje orientacije posnetka pa izračunamo bodisi z aerotriangulacijo bodisi z metodo fotogrametričnega notranjega ureza.

ad c) Povezavo med digitalno in analognο sliko lahko vzpostavimo z eno izmed planimetričnih transformacij. Za rešitev te naloge moramo izmeriti koordinate določenega števila dobro definiranih točk v obeh koordinatnih sistemih.

ad d) Digitalni model reliefa lahko dobimo na več načinov, med drugim z merjenjem fotogrametričnega stereomodela.

Za izvedbo diferencialnega redresiranja obstajata dve metodi: neposredna in posredna. Pri neposredni metodi po kolinearni enačbi iz slikovnih koordinat vhodnega piksla izračunamo element v ortofoto matriki, ki mu priredimo sivo vrednost vhodnega piksla. Rezultat te metode je neizpolnjena izhodna matrika ortofota. Posredna metoda je za uporabo v praksi

boljša. Pot izračuna je pri tej metodi ravno obratna. V predstavljeni tehnologiji smo uporabili posredno metodo, ki jo bomo zato natančneje opisali.

Diferencialno redresiranje izvedemo v štirih korakih.

### 1. KORAK

Za vsak izhodni piksel ( $X_o, Y_o$ ) v ustrezni celici digitalnega modela reliefa interpoliramo vrednost Zor.

### 2. KORAK

Izračunamo slikovni koordinati ( $x, y$ ) po kolinearni enačbi:

$$x = x_o - C^* = \frac{r_{11}(X_o - X_o) + r_{21}(Y_o - Y_o) + r_{31}(Z_o - Z_o)}{r_{13}(X_o - X_o) + r_{23}(Y_o - Y_o) + r_{33}(Z_o - Z_o)}$$

$$y = y_o - C^* = \frac{r_{12}(X_o - X_o) + r_{22}(Y_o - Y_o) + r_{32}(Z_o - Z_o)}{r_{13}(X_o - X_o) + r_{23}(Y_o - Y_o) + r_{33}(Z_o - Z_o)}$$

pri čemer je:

$x_o, y_o$  ... slikovne koord. glavne točke

$c$  ... konstanta kamere

$X_o, Y_o, Z_o$  ... koordinate perspektivnega centra

$r_{ij}$  ... elementi rotacijske matrike

### 3. KORAK

Z afino transformacijo pretvorimo slikovne koordinate ( $x, y$ ) v vhodno slikovno matriko:

$$x_{sc} = a_1 + a_2 * x + a_3 * y$$

$$y_{sc} = a_4 + a_5 * x + a_6 * y$$

### 4. KORAK

Ker koordinate ( $x_{sc}, y_{sc}$ ) običajno ne sovpadajo s centrom piksla vhodne matrike,

moramo sivo vrednost za izračunano lokacijo prirediti. Sivo vrednost lahko priredimo na več načinov, največkrat uporabljeni so: metoda najbližjega sosedstva, bilinearna interpolacija in bikubna interpolacija. Prirejena siva vrednost se shrani v ortofoto matriki.

Korake 1 do 4 ponovimo za vse elementne ortofoto matrike.

Končni rezultat digitalnega diferencialnega redresiranja je ortofotomatrika, to je digitalna slika ortofota. Za analogni prikaz ortofota moramo izvesti digitalno-analogeno pretvorbo.

### 4. OPIS RAZVITE TEHNOLOGIJE

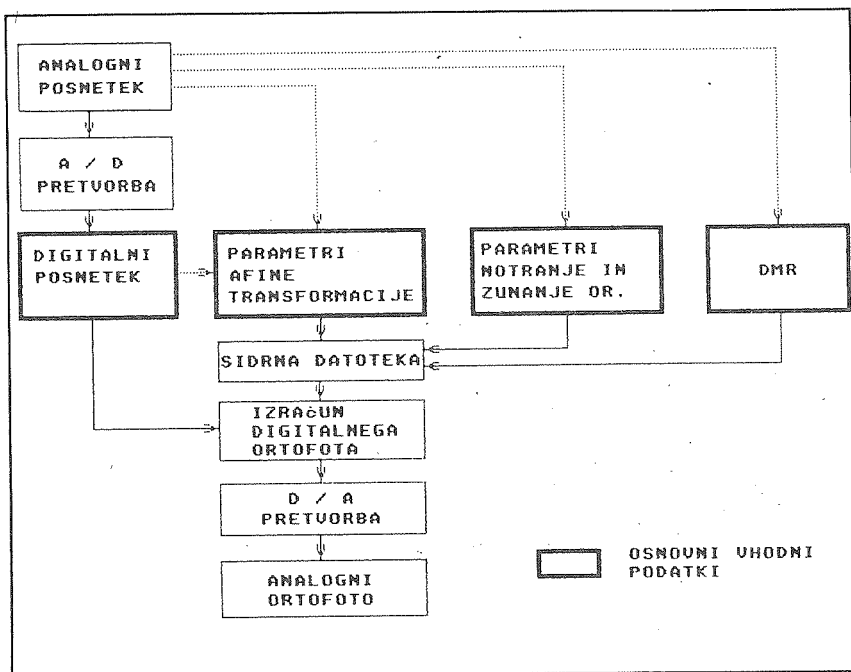
Če želimo prej opisani fotogrametrični koncept izdelave digitalnega ortofota realizirati v praksi, potrebujemo primeren hardware in software. To nalogo lahko rešimo z različnimi konfiguracijami.

Pri naši raziskavi smo uporabili tole konfiguracijo hardware-a:

- Hell-ov skanerski sistem (skaner + reproskaner),
- IBM PC AT kompatibilni računalnik (640 kb RAM-a, 40 Mb spomina na trdem disku) in barvni monitor (EGA grafična kartica).

Računalniški software smo v celoti razvili na Inštitutu Geodetskega zavoda SRS. Programi so napisani v MS Fortranu 77, Turbo Basicu in Turbo Pascalu. Vsi programi imajo preproste algoritme, zato da je izdelava ortofota kar najhitrejša. Ker bo pri operativnem izvajanju najbrž potrebne programe še v manjši meri spreminjati, le-ti še niso povezani v programski paket.

Da smo zmanjšali količino potrebnega računanja, smo uporabili metodo t.i. sidrnih točk. Korake 2 do 4 iz poglavja 2 izvedemo le za točke mreže digitalnega modela reliefa. Nato izračunamo parametre bilinearne interpolacije med osnovno mrežo DMR in v koordinatni sistem digitalne slike projicirano mrežo DMR. Vsak posamezen piksel ortofota, ki je znotraj določene celice DMR, transformiramo v



Delovni postopek izdelave digitalnega ortofota

Slika 4

vhodno sliko le z uporabo parametrov bilinearne interpolacije za tisto celico. Ta algoritem zelo poveča hitrost izračuna.

Razviti software je sestavljen iz štirih samostojnih glavnih programov in dveh pomožnih programov. Podajamo kratek opis teh programov.

### GLAVNI RAČUNALNIŠKI PROGRAMI

Program za :

- izračun parametrov affine transformacije; vhodni podatki: najmanj 3 točke z danimi koordinatami v slikovnem in skanerskem koordinatnem sistemu;
- izračun elementov zunanje orientacije z fotogrametričnim notranjim urezom; vhodni podatki: najmanj 3 oslonilne točke z danimi koordinatami v terenskem in slikovnem koordinatnem sistemu;

- izračun parametrov bilinearne interpolacije sidrnih točk; vhodni podatki: elementi notranje in zunanje orientacije, parametri affine transformacije, osnovna mreža digitalnega modela reliefa;
- izdelavo digitalnega ortofota; vhodni podatki: parametri bilinearne interpolacije (zapisani na datoteki), parametri, ki definirajo ortofoto matriko (velikost piksla, število pikslov, itd.).

### POMOŽNA RAČUNALNIŠKA PROGRAMA

Program za:

- izločitev slikovne matrike iz surovih skaniranih podatkov;
- grafično predstavitev slike na ekranu; program služi tudi za identifikacijo in merjenje koordinat točk na digitalni sliki, ki so predvidene za izračun parametrov affine transformacije.

Celoten operativni postopek izdelave digitalnega ortofota, ki je grafično predstavljen na sliki 4, smo razdelili na naslednje aktivnosti:

**a) priprava podatkov:**

- fotogrametrične meritve na aeroposnetku,
- zbiranje podatkov o digitalnem modelu reliefa, če že obstoja,
- merjenje DMR-ja na stereo-instrumentu, če le-ta še ne obstoja ali če velikost mreže ne ustreza;

**b) fotogrametrični izračuni:**

- izračun elementov zunanje orientacije,
- izračun parametrov afine transformacije,
- izračun parametrov bilinearne interpolacije;

**c) skaniranje in prenos podatkov:**

- skaniranje aeroposnetka (ali njegovega dela),
- prenos skaniranih podatkov z magnetnega traku na osebni računalnik,
- izločitev digitalne slike iz surovih podatkov;

**d) diferencialno redresiranje digitalnega posnetka;**

**e) analogna prezentacija ortofota:**

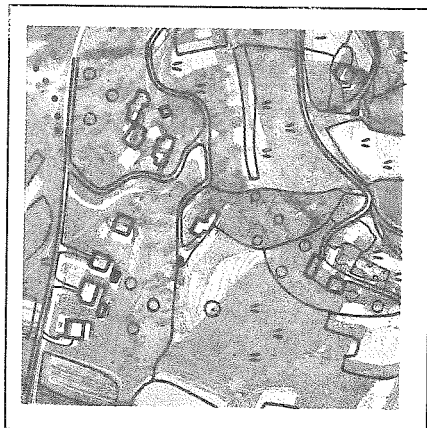
- prenos digitalnega ortofota z osebnega računalnika na magnetni trak,
- zapis ortofota na film.

## 5. TESTNI PODATKI IN REZULTATI

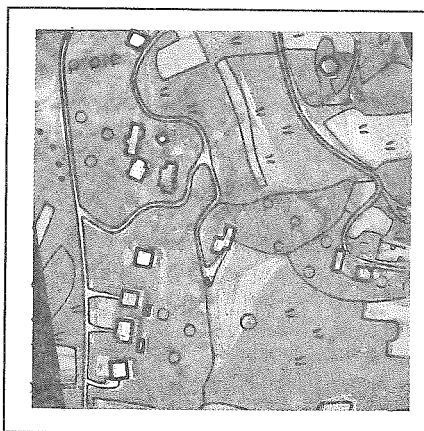
Pri razvijanju tehnologije smo računalniške programe ali samo določene algoritme testirali na simuliranih podatkih. Testi, ki smo jih izvedli, niso služili le za preverjanje delovanja programov temveč tudi za preizkus zasnovanega fotogrametričnega koncepta. Prvi test na pravih podatkih smo izvedli šele, ko smo imeli izdelane vse računalniške programe.

Zaradi enostavnosti testa smo na aeroposnetku v približnem merilu 1 : 5000 izbrali območje 5 cm x 5 cm. Na izbranem območju so relativno velike višinske razlike (okoli 60 m), tako da je slikovno spačenje dobro zaznavno. Na testnem območju smo umetno signalizirali devet enakomerno porazdeljenih točk. Območje smo skanirali z velikostjo piksla 0.1 mm. Digitalni model reliefa smo izmerili v stereomodelu na stereoinstrumentu WILD A10 z velikostjo stranice kvadratne mreže 25 m.

Ko smo izvedli vse postopke, ki so opisani v poglavju 3, smo dobili ortofoto območja v



Aeroposnetek  
Slika 5



Ortofoto  
Slika 6

natančnem merilu 1 : 5000. Računalniški čas za izdelavo ortofota je znašal 15 minut.

Izdelan ortofoto smo morali preveriti. Za prvo vizualno kontrolo smo na Wild-u A10 izrisali dobro definirane linije (ceste, kulturne meje, objekte, itd.). Z vizualno primerjavo teh linij, ki smo jih prekrili preko ortofota, nismo odkrili nobenih pomembnejših odstopanj (glej sliko 6). Za primerjavo smo preko originalnega posnetka prekrili fotogrametrično izrisane linije, kjer se vidijo velika odstopanja (glej sliko 5).

V splošnem je geometrična natančnost izdelanega ortofota odvisna od kvalitete in natančnosti vhodnih podatkov in uporabljenega matematičnega modela. V praksi je za uporabnike najbolj zanimiva planimetrična natančnost ortofota. Običajno le-to določimo tako, da na ortofotu identificiramo nekaj kontrolnih točk in primerjamo izmerjene koordinate z znanimi vrednostmi. V ta namen smo izbrali devet umetno signaliziranih točk na testnem območju. Ker terenskih koordinat teh točk nismo poznali, smo določili razlike koordinat med merjenimi slikovnimi koordinatami (na

monokomparatorju) in iz ortofota izračunanimi slikovnimi koordinatami. Absolutne razlike v koordinatah so znašale od 0.01 mm do 0.19 mm v merilu posnetka, to je znotraj 1 m na teren

## 6. ZAKLJUČEK

Rezultati off-line izdelave digitalnega ortofota na osebнем računalniku, ki smo jih predstavili, so prvi koraki na področju digitalne fotogrametrije na Inštitutu Geodetskega zavoda SR Slovenije. Namen raziskave je bil izdelati uporabno in čim bolj preprosto tehnologijo za produkcijo ortofoto kart na območju Slovenije v bližnji prihodnosti.

Čeprav je potrebno izvesti še nekatere raziskave, so doseženi rezultati vzpodbudni.

## ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem strokovnjakom iz Gorenjskega tiska v Kranju in tov. Roku Vidmarju iz Univerzitetnega računskega centra za razumevanje in pomoč pri realizaciji naloge.

## LITERATURA

Arbiol, R., Colomina, I., Torres, J. (1987): Experiences with Gestalt DTM for Digital Orthophoto Generation, Presented paper to the ASPRS-ACSM Convention, Baltimore.

Arbiol, R., Colomina, I., Torres, J. (1987): A System Concept for Digital Orthophoto Generation, Presented paper to the Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, Interlaken.

Baehr, H.P. (1985): "Digitale Bildverarbeitung, Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung", Karlsruhe.

Baehr, H.P. (1987): "Das digitale Orthophoto - Basis für neue Möglichkeiten rechnergestützter Kartographie", Kartographische Nachrichten, 4/87

Goepfert, W. (1987): "Raumbezogene Informationssysteme", Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe

Kosmatin - Fras, M. (1989): "Teoretične osnove izdelave digitalnega ortofota", Geodetski vestnik 1-2, letnik 32, Ljubljana.

Kosmatin - Fras, M. (1989): "Izdelava ortofotografij s tehniko digitalnega procesiranja slik na osebнем računalniku", Sejam softwarea 1989, Seminari, Split 6.-8.06.1989

Mayer, W., Heipke, C.F. (1988): "A contribution to Digital Orthophoto Generation", IAPRS, Vol. 27, Part B11

---

## ANALIZA IN OBDELAVA PODATKOV SKANIRANIH S SATELITI

---

TRETJAK dr. Ana, dipl.ing.agr.;  
ŠABIČ Danijela, dipl.ing.mat.;  
OREŠNIK Irena, dipl.ing.agr.;

Zavod SR Slovenije za statistiko  
junij 1989, Ljubljana, YU

### AVTORSKI IZVLEČEK

*Podane so osnove delovanja satelitov za opazovanje površine Zemlje in opis skaniranja površine Zemlje. Opisane so radiometrične in geometrične korekcije in njihov pomen za uporabnika. Prikazan je princip obdelave skaniranih podatkov s satelitom.*

### AUTHOR'S ABSTRACT

*The basic principles of satellite remote sensing techniques are explained, the generation of a scanned image of Earth's surface and the radiometric and geometric corrections presented with respect to user's needs. The techniques to evaluate and interpret these data are presented.*

### UVOD

4. oktobra 1957, je bil v vesolje izstreljen prvi satelit. To je bil sovjetski satelit SPUTNIK. Šele 1972 leta pa je bil izstreljen satelit za civilne potrebe opazovanja pojavov na površini Zemlje. To je bil ameriški satelit ERTS-1, prvi iz serije LANDSAT satelitov. S to letnico se tudi začel razvoj nove stroke, tako imenovane satelitske teledetekcije ali daljinskega zaznavanja s sateliti.

Kaj pomeni izraz 'detekcija'? Pomeni, da nekaj odkrivamo.

'Teledetekcija' pomeni, da odkrivamo nekaj iz daljave.

Izraz 'digitalna teledetekcija' pa pomeni, da iz daljave merimo oz. odkrivamo z numeričnimi postopki željeno ali iskano lastnost nekega predmeta ali pojava.

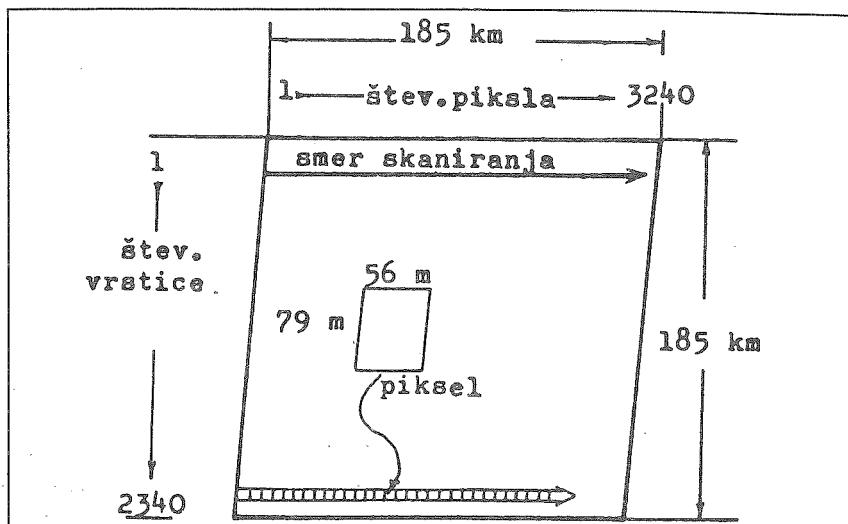
In končno izraz 'digitalna satelitska teledetekcija' pomeni, da merimo lastnosti predmeta ali pojava s pomočjo satelita, to je iz velike oddaljenosti.

Ogledali si bomo delovanje satelitov za opazovanje površine Zemlje, oziroma kako nastane satelitski posnetek Zemlje, nato

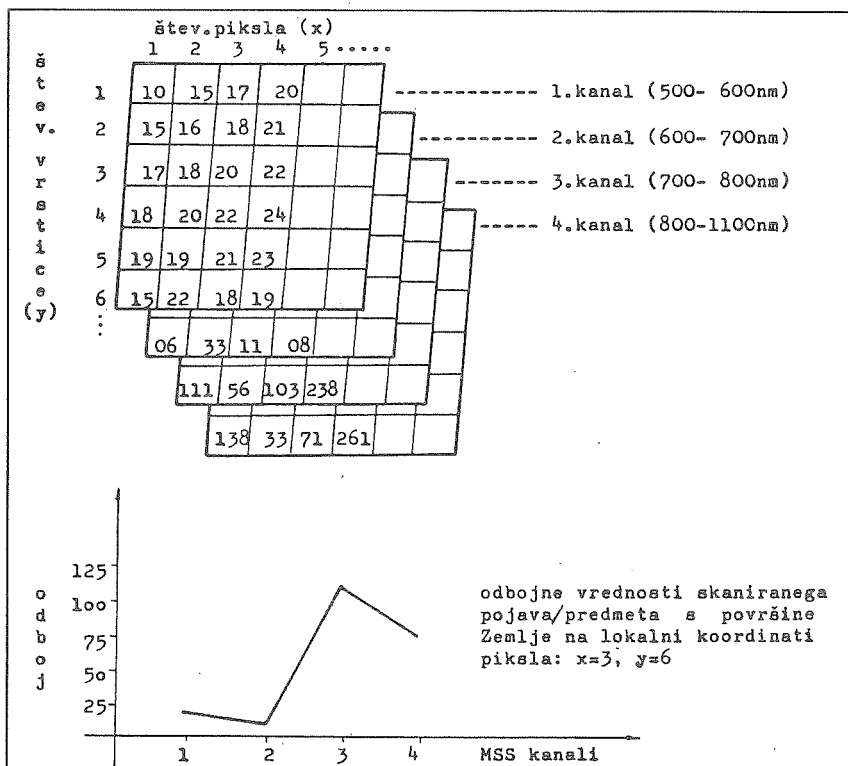
pa še osnove obdelave digitalnih, satelitsko zajetih podatkov s površine Zemlje.

Sateliti za opazovanje površine Zemlje so heliosinhroni, torej krožijo po točno določeni tirnici na višini 915 ali 725 km okoli Zemlje. Ves čas kroženja zbirajo s 185 km širokega pasu na Zemlji podatke odboja in sevanja elektromagnetnega valovanja (EMV; slika 1). Vsak predmet na Zemlji namreč odbija del prejete sončne energije, lahko patudi sam seva energijo določene valovne dolžine.

Detektorji na satelitu so selektivno občutljivi; to pomeni, da zajemajo odboj EMV le iz določenih pasov elektromagnetnega valovanja. Jakosti prejetega impulza EMV oziroma številu fotonov, ki jih v danem trenutku zabeleži detektor na satelitu, le-ta priredi numerično vrednost v razponu od 0 do 255 števil. Površini/predmetu, ki odbija vso prejeto sončno energijo (npr. bel predmet), bo detektor na satelitu določil vrednost 255. Predmetu/površini, ki vso sončno energijo absorbira (npr. črn predmet), pa bo določil vrednost 0.



Slika 1: shema skaniranja z landsat satelitom



Slika 2 : shema izseka iz skanirane MSS scene

Kot smo že omenili, sateliti krožijo okrog Zemlje in ves čas skanirajo oziroma zbirajo numerične vrednosti odbitega ali sevanega EMV s površine Zemlje. To delajo tako, da zabeležijo povprečno vrednost EMV s površine na Zemlji, ki je velikosti: 56mx79m ali 30mx30m ali 20mx20m ali 10mx10m. Tem površinam pravimo slikovni elementi ali pikslji (slika 2). Velikost pikslov je odvisna od tipa skanerja na satelitu.

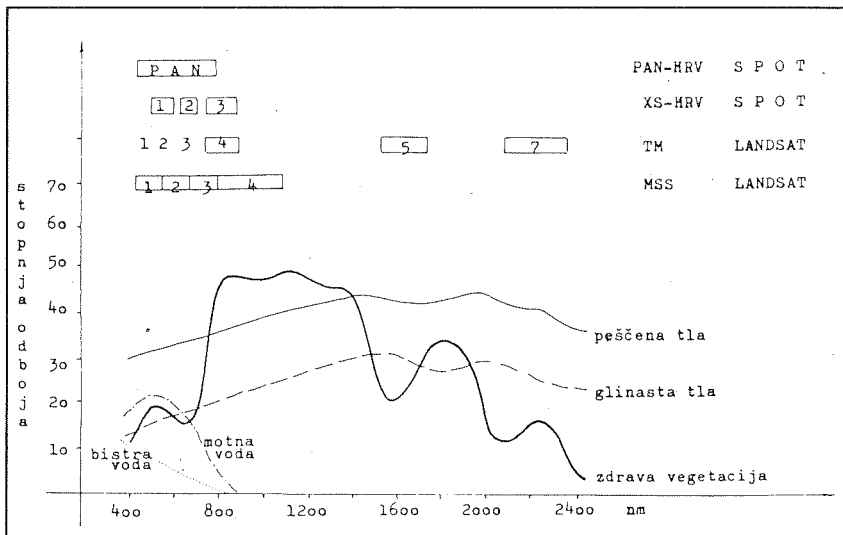
Skaner z ločljivostjo 56mx79m se imenuje **MSS** (MultiSpectral Scanner); skaner z ločljivostjo 30mx30m **TM** (Thematic Mapper). MSS in TM skanerja sta nameščena na NASA satelitih tipa Landsat. Skanerja z ločljivostjo 20mx20 in 10mx10m se imenujeta **HRV** (Haute Resolution Visible) in sta nameščena na francoskem satelitu SPOT. Pas skaniranja je na Landsat satelitih širok 185 km in na SPOT satelitu 60 km. Na sprejemnih postajah, kjer telemetrično sprejemajo skanirane podatke, le-te zapisujejo na magnetne trakove. Podatki v dolžini skaniranja 185 km za satelite Landsat in v dolžini skaniranja 60 km za satelit SPOT predstavljajo eno skanirano sceno.

Različni skanerji so občutljivi za različne valovne dolžine oz. skanirajo v različnem številu kanalov (slika 3).

Pomembna lastnost satelitsko skaniranih podatkov je torej njihova **ločljivost ali resolucija**. Ločimo štiri vrste resolucije:

1. **Spektralna ločljivost** se nanaša na širino in število valovnih dolžin EMV, za katere je občutljiv senzor na satelitu. Te intervale občutljivosti senzorja imenujemo tudi kanale ali bande (slika 3).

2. **Površinska ločljivost** je mera najmanjše možne sepa-rabilnosti skanerja med dvema ploskovnima ali linijskima objektoma oz. pojavoma. Pri skaniranju se s površinsko ločljivostjo navaja dimenzijo projiciranega hipnega ali trenutnega območja zaznave skanerja na površini Zemlje. Okrajšano se uporablja kratica IFOV (Instantaneous Field Of View). Ta podatek se vedno nanaša le na središče skanirane scene in ima v praksi odklone, ki so na posnetku navedeni skupaj z ostalimi tehničnimi podatki naročene scene. Povprečno površinsko ločljivost cele scene podajamo z izrazom piksel.



Slika 3: značilne spektralne krivulje odboja in vpijanje EMV nekaterih pojavov-predmetov na površini Zemlje ter občutljivost detektorjev na skanerjih satelitov

V praksi je uveljavljeno pravilo, da lahko med seboj razločujemo predmete ali pojave na Zemlji le s tistim skanerjem, ki ima površinsko resolucijo vsaj za polovico manjšo od velikosti proučevanega predmeta. Vedeti pa moramo, da sama površinska ločljivost ne jamči, da bomo proučevani predmet ali pojav na površini Zemlje ločili od sosednjih pojavov ali predmetov, če se med seboj ne ločijo tudi po svojih spektralnih lastnostih v določenih kanalih.

3. **Časovna ločljivost** se nanaša na pogostnost preleta satelita nad isto točko na površini Zemlje v določenem časovnem intervalu. Časovna ločljivost se vedno nanaša na frekvenco preleta in ne na samo možnost skaniranja. Tako ima npr. francoski satelit SPOT frekvenco preletov na 26 dni, ker pa lahko spreminja kot skanerja, lahko območje Slovenije skanira pod različnimi koti vsak drugi dan. Periodičnost skaniranja omogoča spremljanje časovnih sprememb, torej proučevanje dinamičnih pojavov, kar je zlasti pomembno za kmetijstvo in pri nesrečah večjega površinskega obsega.

Ko se uporabnik odloča za nakup skanirane scene mora poznati in upoštevati podatke ločljivosti za posamezen tip satelita in skanerja ter za določen datum skaniranja.

Množica podatkov, ki jo uporabnik dobi, ko kupi eno skanirano območje tipa MSS, TM ali SPOT, je razvidna iz razpredelnice:

| tip skanerja | velikost območja v km | število kanalov | velikost piksla/m | število podatkov/sceno |
|--------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| MSS          | 185 x 185             | 4               | 56 x 79           | 34 225 000             |
| TM           | 185 x 185             | 7               | 30 x 30           | 228 179 000            |
| HRV-XS       | 60 x 60               | 3               | 20 x 20           | 27 000 000             |
| HRV-PAN      | 60 x 60               | 1               | 10 x 10           | 36 000 000             |

Jasno je, da je tako množico podatkov mogoče obvladati le z računalnikom. Zdaj, ko vemo, kako dobimo satelitsko skanirane podatke in kakšne vrste podatki so to, pogledjmo še, kako te podatke obdelujemo in analiziramo.

Namen vsake obdelave in analize daljinsko zaznavnih podatkov so informacije o nekem

pojavu ali predmetu: **kakšen** pojav/predmet je to, **kje** vse se nahaja, v kolikšnem **obsegu** se pojavlja ter v kakšnem **stanju** je.

Prva stopnja obdelave satelitsko skaniranih podatkov je **predprocesiranje**. Vedeti moramo, da se pri skaniranju površine Zemlje pojavljajo določene **napake**, ki jih v grobem delimo v **radiometrične** in **geometrične**.

Radiometrične napake nastajajo zaradi neusklajenega delovanja senzorjev na skanerju satelita. Te lahko korigirajo že na sprejemnih postajah.

Geometrične napake pa so posledica vrtenja Zemlje, ukrivljenosti Zemlje, panoramske distorzije skaniranja, nelinearnosti skaniranja in nihanja satelita od začrtane orbite letenja. Napake, ki so posledica nelinearnosti skaniranja in nihanja satelita, so značilnosti posameznega tipa satelita oziroma skanerja. Te lahko korigirajo na sprejemnih postajah. Druge pa lahko zadovoljivo korigiramo le s poznavanjem terena, zato te korekcije večinoma izvajajo uporabniki sami. Končni učinek uporabe računalniških programov za geometrične korekcije je posnetek, ki ima lastnosti merila in projekcije karte. Zahtevana stopnja natančnosti geometrične korekcije skaniranega posnetka je odvisna od merila skaniranega piksla in od namena uporabe skaniranih podatkov. Če želimo na primer oceniti biomasa kmetijskih površin večjega območja, se lahko zadovol-

jimo tudi z geometrično nekorigiranimi podatki. Če želimo oceniti kmetijske površine, pa je potrebno skanirane podatke geometrično korigirati do tiste natančnosti, ki jo omejuje velikost piksla.

Druga stopnja obdelave skaniranih posnetkov je **izboljšava posnetkov**. Z matematičnimi algoritmi lahko spreminjamo odbojne vrednosti **posamičnim pikslom** določene scene ali pa uporabljamo transformacije na **vseh pikslih** scene. Prvi pristop uporabljamo pri izboljšavi dela posnetka, npr. pri odstranjevanju učinkov meglic v dolinah. Drugi pristop pa kadar želimo

izostriti posamezne pojave z ostrenjem robov pojava ali z večanjem kontrasta med pojavi, npr. pri določevanju geoloških prelomnic.

Sledi analiza vsebine posnetka, ki jo delimo v analizo linearnih elementov in analizo tematskih elementov.

Analizo linearnih elementov lahko opredelimo kot vizuelno obdelavo skaniranega posnetka. Pri tem interpretator analizira posnetek na ekranu in z digitalnikom sam vnaša mejne vrednosti linearnih pojavov. Kriterij odločitve je torej subjektiven in odvisen od strokovnega znanja in interpretatorja.

Analizo tematskih elementov običajno imenujemo klasifikacijo skanirane scene. Valovne dolžine, v katerih satelit skanira, tvorijo pri računalniški obdelavi večrazsežen prostor, v katerem se odbojne vrednosti enakih ali sorodnih pred-

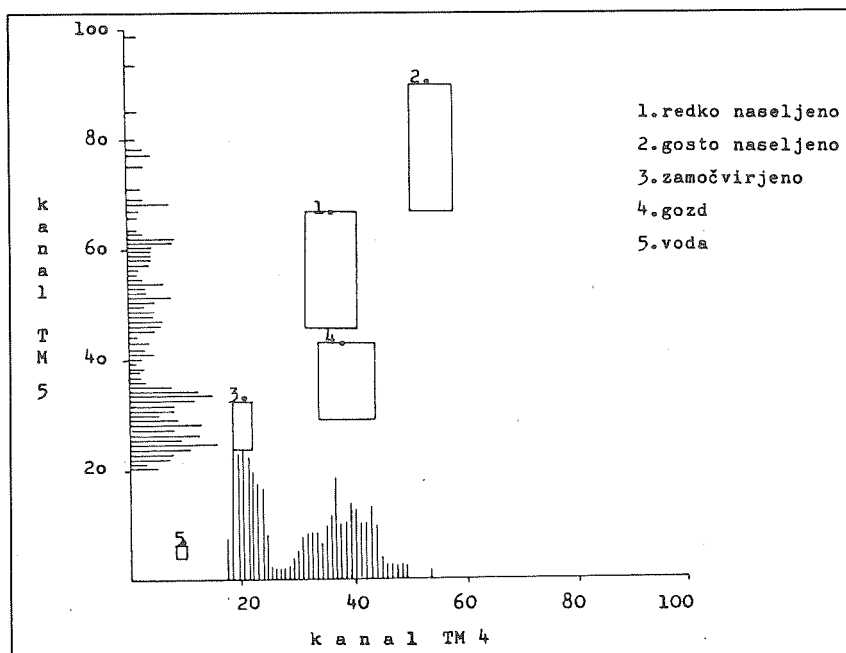
metov/pojavov razvrščajo v skupine, kopice ali klastre (slika 4).

Obdelava podatkov odboja EMV, ki so razvrščeni v večrazsežnem prostoru valovnih dolžin je možna na dva načina:

1. Nenadzorovano razvrščanje slikovnih elementov v kopice (klastre), ki predstavljajo razrede rabe tal.

2. Nadzorovano razvrščanje slikovnih elementov v vnaprej določene razrede rabe tal.

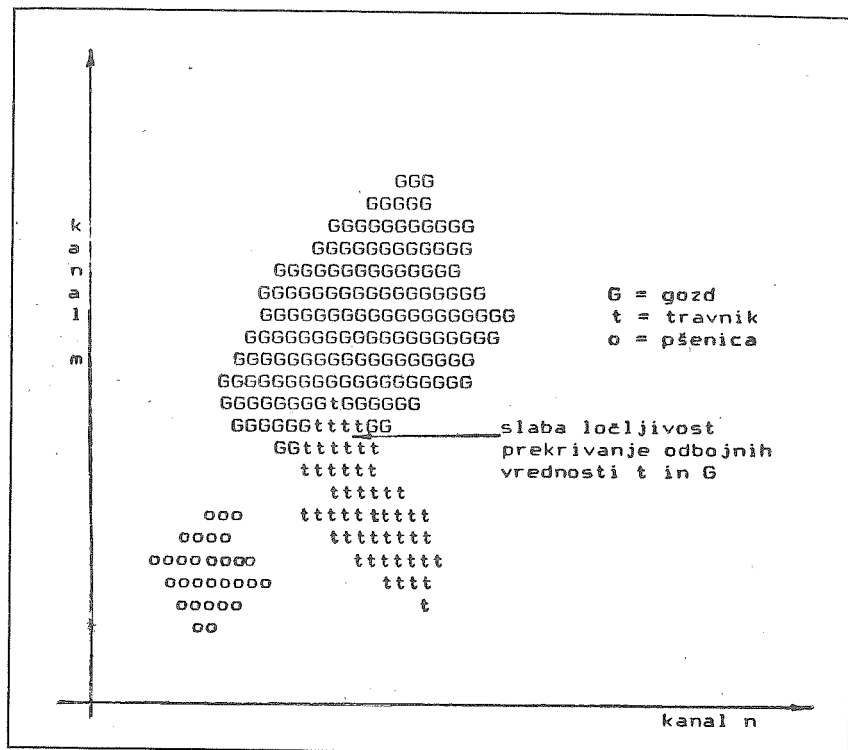
Za prvi način obdelave podatkov potrebuje računalniški program le koordinate območja, ki ga obdeluje ter poljubno, to je vsebinsko smiselno število razredov, v katere bo razvrstil vse odbojne vrednosti proučevanega območja. Število izbranih razredov, ki jih v tem primeru imenujemo klastre, lahko določimo sami. Če pa poz-



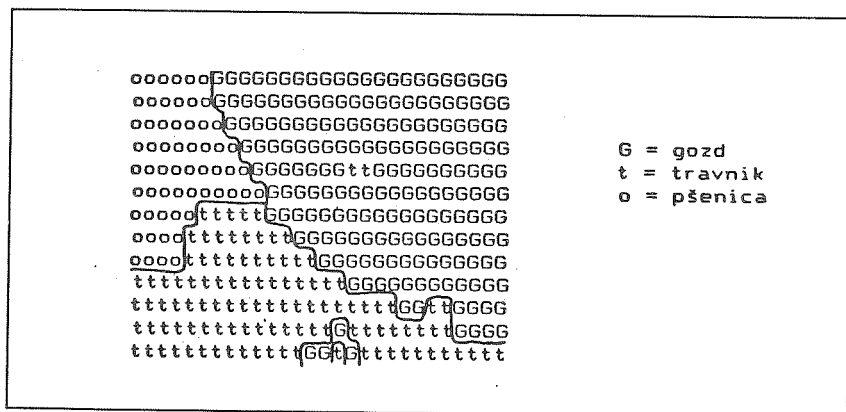
Slika 4: odbojne vrednosti vzorčnih površin petih razredov izrabe tal v 2-razsežnem prostoru kanalov TM-4 in TM-5 z izračunanim  $\bar{x}$  (središče pravokotnika) in variabilnostjo  $\pm SD$  (meje pravokotnika) (Povzeto po: Jensen, J.R.; 1986)

namo odbojne vrednosti sorodnih pojavov, lahko tudi vnaprej določimo matematična središča klastrov. Z ustreznim računalniškim programom nato razvrstimo vse

piksle v posamezne razrede rabe tal in zanesljivost te klasifikacije preverimo še z ustreznim kartografskim izpisom (slika 5).



Slika 5a: razvrstitev pixlov v tri klastre ali razrede izrabe tal



Slika 5b: kartografski izpis pixlov, razvrščenih v 3 razrede izrabe tal

Ta način obdelave podatkov uporabljamo pri prvi tematski analizi posnetka, ko skušamo za izbrani posnetek ugotoviti število med seboj ločljivih razredov rabe tal. Obdelava je primerna tudi za izračun homogenosti vzorčnih površin pri kontrolirani klasifikaciji. V primeru, ko slabo poznamo lokalne razmere skaniranega območja ali pa ne moremo uporabiti drugih dopolnilnih podatkov s terena, je ta metoda edina, s katero lahko razvrstimo slikovne elemente v posamezne razrede rabe tal.

Pri nadzorovanem razvrščanju odbojnih vrednosti posameznih razredov izrabe tal pa potrebujemo podatke o vrsti in stanju vzorčnih površin na terenu ter njihove koordinate. Zato moramo podatke na terenu zbrati v času, ko satelit skanira. Vsak terenski vzorec mora biti dovolj velik, da je reprezentativen glede na variabilnost pojava in glede na ločljivost skanerja.

V naslednji stopnji obdelave prenesemo koordinate vzorca v skanirane podatke in izračunamo statistike teh vzorčnih ali vadbeneh površin. Te statistike nam povedo, v kolikšni meri bo možno na skanirani sceni opredeliti vse slikovne razrede v izbrane razrede tal in s katero kombinacijo kanalov bomo najboljše ločevali posamezne pojave na terenu. V razpredelnici so izpisi odbojnih vrednosti za vadbene podatke dveh razredov rabe tal Vipavske doline-občine Ajdovščina. Povprečne vrednosti vadbeneh podatkov vseh petih razredov rabe tal pa so prikazane v sliki 6.

## KORUZA

| kanal | X     | SD   |
|-------|-------|------|
| TM2   | 36,96 | 1,09 |
| TM3   | 32,88 | 2,00 |
| TM4   | 95,36 | 8,67 |
| TM5   | 69,60 | 5,16 |
| TM7   | 22,37 | 3,56 |

### korelacijski koeficienti

|   | 2      | 3      | 4      | 5     |
|---|--------|--------|--------|-------|
| 3 | 0,754  |        |        |       |
| 4 | -0,558 | -0,740 |        |       |
| 5 | 0,653  | 0,770  | -0,569 |       |
| 7 | 0,665  | 0,796  | -0,778 | 0,866 |

### kovariančna matrika

|   | 1      | 2       | 3       | 4      | 5      |
|---|--------|---------|---------|--------|--------|
| 1 | 1,190  |         |         |        |        |
| 2 | 1,648  | 4,016   |         |        |        |
| 3 | -5,275 | -12,857 | 75,133  |        |        |
| 4 | 3,678  | 7,971   | -25,463 | 26,655 |        |
| 5 | 2,580  | 5,678   | -23,979 | 15,905 | 12,659 |

## ODPRTE NJIVE

### kanal X SD

|     |        |      |
|-----|--------|------|
| TM2 | 43,47  | 1,56 |
| TM3 | 48,61  | 2,29 |
| TM4 | 60,48  | 5,53 |
| TM5 | 100,51 | 5,97 |
| TM7 | 53,51  | 3,04 |

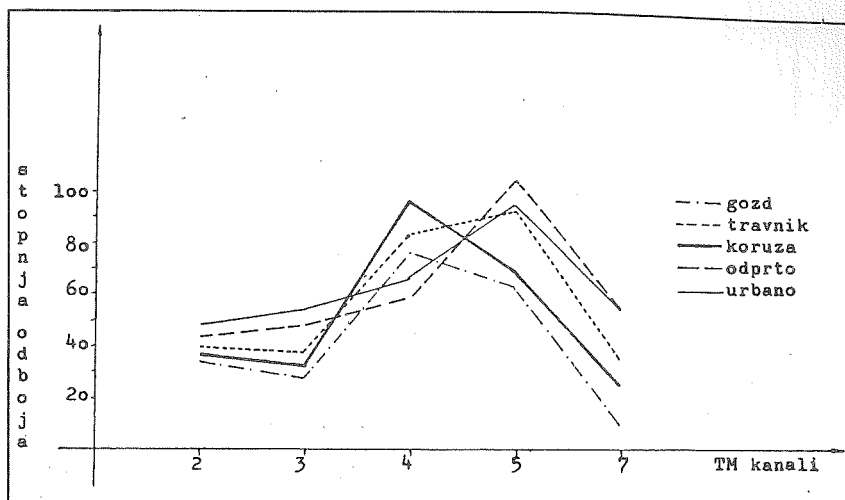
### korelacijski koeficienti

|   | 2     | 3     | 4     | 5     |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 3 | 0,980 |       |       |       |
| 4 | 0,639 | 0,634 |       |       |
| 5 | 0,570 | 0,639 | 0,631 |       |
| 7 | 0,677 | 0,740 | 0,483 | 0,872 |

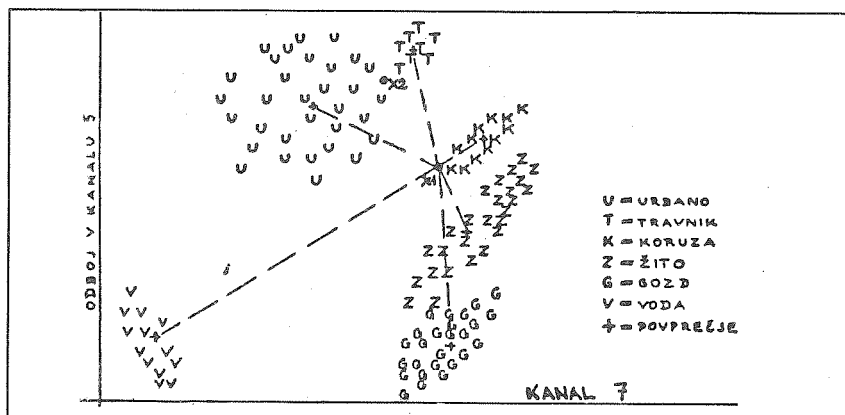
### kovariančna matrika

|   | 2      | 3       | 4      | 5       | 7     |
|---|--------|---------|--------|---------|-------|
| 2 | 57,484 |         |        |         |       |
| 3 | 76,551 | 106,099 |        |         |       |
| 4 | 33,362 | 44,939  | 47,369 |         |       |
| 5 | 65,471 | 99,750  | 65,739 | 229,462 |       |
| 7 | 59,614 | 88,511  | 38,546 | 153,332 | 134,7 |

Naslednja faza obdelave je razvrščanje skaniranih odbojnih vrednosti v pripadajoče razrede rabe tal. Najbolj pogosto uporabljene klasifikacijske metode so: metoda najmanjših razdalj, ki sloni na izračunu evklidne razdalje med posameznimi slikovnimi elementi in povprečnimi vektorji (grafikon 1); paralelopiped metoda, ki upošteva variacijske širine vadbeneh podatkov vsakega razreda (grafikon 2) in metoda maksimalne verjetnosti, ki upošteva variabilnost vadbeneh podatkov posameznih razredov in njihovo korelacijo med kanali valovnih dolžin (grafikon 3). Ta je najbolj pogosto uporabljena, čeprav je računalniško bolj zahtevna in tudi bolj počasna, vendar se najboljše prilagaja posebnostim skaniranih podatkov (grafikon 4). Ti imajo namreč visoko stopnjo variabil-



Slika 6: povprečne vrednosti odboja vadbenih vzorcev petih razredov izrabe tal območja občine Ajdovščina, skanirano s TM-Landsat satelitom 2.8.86

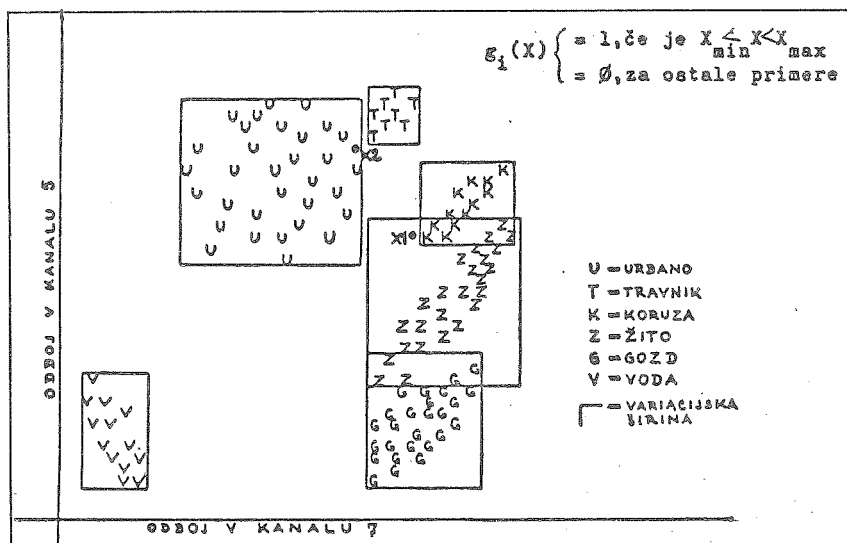


Grafikon 1: shematični prikaz razvrščanja osnovnih elementov v posamezne razrede rabe tal po metodi najmanjših razdalj (povzeto po : Lillesand in Kiefer, 1979)

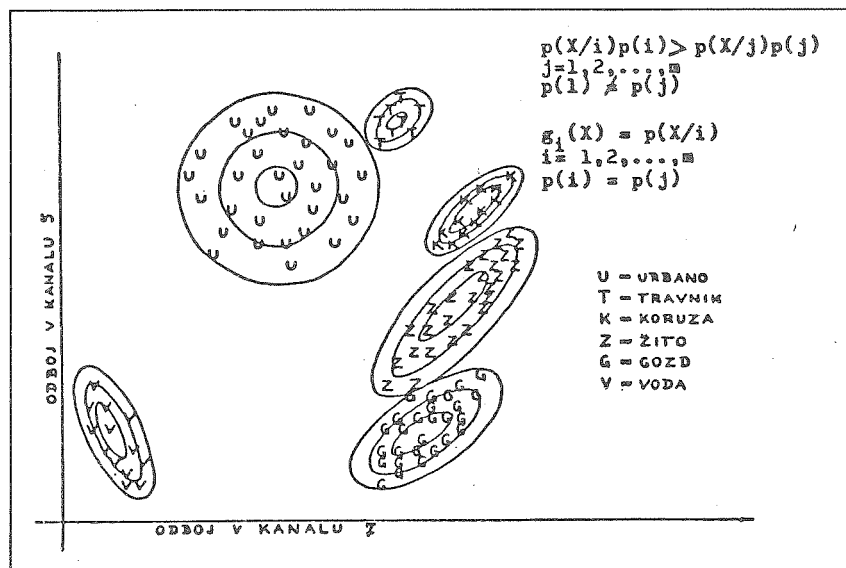
nosti, kar pogojuje pogosto prekrivanje posameznih razredov v n-razsežnem prostoru valovnih dolžin.

Končni rezultat obdelave digitalnih, satelitsko skaniranih podatkov je skupen

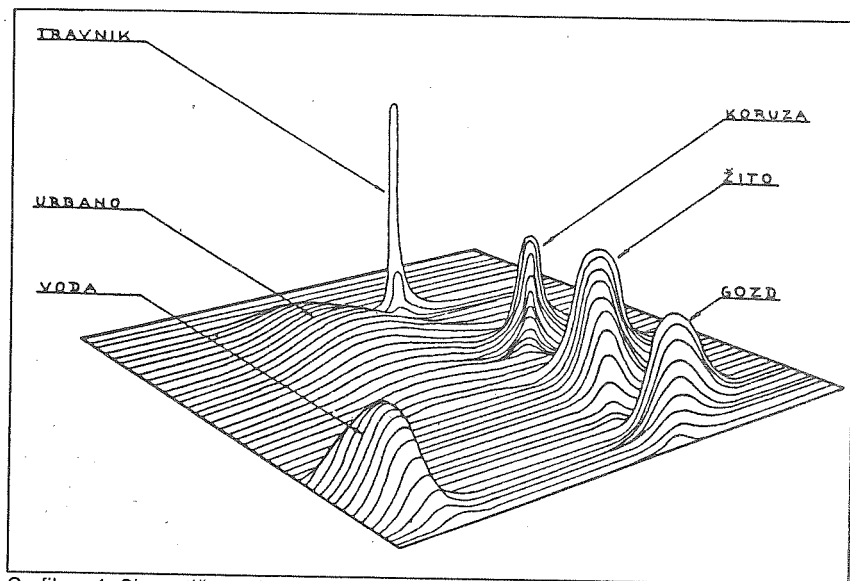
prikaz površin (ha) razredov rabe tal in analogen (kartografski) prikaz razvrstitve razredov rabe tal v prostoru. Za oba rezultata mora interpretator izračunati še oceno zanesljivosti in oceno natančnosti, s čimer posreduje oceno kakovosti izdelka.



**Grafikon 2:** shematičen prikaz razvrščanja slikovnih elementov v razrede rabe tal po paralelopiped metodi (povzeto po: Lillesand in Kiefer, 1979)



**Grafikon 3:** tirnice enake verjetnosti porazdelitvenih funkcij šestih razredov rabe tal, izračunane z metodo maksimalne verjetnosti



Grafikon 4: Shematičen prikaz verjetnostnih porazdelitvenih funkcij šestih razredov rabe tal, izračunanih z metodo **maksimalne verjetnosti** (povzeto po : Lillesand in Kiefer, 1979)

Na koncu si oglejmo še nekatere prednosti skaniranih podatkov pred klasičnimi, tako imenovanimi analognimi načini zbiranja podatkov o pojavih v prostoru. Skanirani podatki omogočajo:

- hitro analizo podatkov velikih površin;
- enolično obdelavo množice raznolikih podatkov;
- obdelavo podatkov v n-razsežnem prostoru;
- indeksiranje podatkov;
- multitemporalno analizo, to je časovno spremljanje sprememb v prostoru;
- povezovanje z drugimi numeričnimi in prostorsko opredeljenimi podatki;
- izdelavo informacijskega sistema v prostoru in s tem možnost izdelave geografsko informacijskega sistema - GIS.

## LITERATURA

Baronti, S., 1989, Geometric Corrections of Remotely Sensed Images, H4.SMR/383-02, ICTP, Italy, pp:1-9.

Burrough, P. A., 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford Science Publications, Oxford.

Congalton, R.G., 1988, A Comparison of Sampling Schemes Used in Generation Error Matrices for Assessing the Accuracy of Maps Generated from Remotely Sensed Data, Photogrammetric Eng. & R.S., Vol.54, No.5, pp: 593-601.

Curran, P.J. and Williamson, H.D., 1988, Selecting a spatial resolution for estimation of per-field green leafarea index, Int. J. Remote Sensing, Vol. 9, No. 7, pp: 1243-1250.

Hellden, U., 1987, An Assesment of Woody Biomass, Community Forests, Land Use and Soil Erosion in Ethiopia. A feasibility study on the use of remote sensing and GIS-analysis for planning purposes in developing countries, Lund studies in Geography, Lund University Press.

Jensen, J. R., 1986, Introductory Digital Image Processing, Prentice-Hall, NJ.

Lillesand, T. M. and KIEFER, R.W., 1979, Remote Sensing and Image Interpretation, John Willey and Sons, NY.

Rhind, D., 1988, A GIS research agenda, Int. J. Geographical Information Systems, Vol.2, No.1, pp: 23-28.

Šabič, D., 1989, Nekontrolirana klasifikacija in optimizacija sheme vadbenih vzorcev satelitsko skaniranih podatkov s klaster analizo računalniškega paketa SPSS/PC, GV, Ljubljana, pp: 1-12.

Tretjak, A., Bochanek, Z., Kawczynsky, C., 1983, Study of the application of various transformation techni techniques to Landsat data for an improved land-use classification, Final report at ITC-Enschede, The Netherlands, pp: 1-35.

Tretjak, A., Poljak, M., Hlavaty, M., Šabič, D., Gruden, A., Podgornik, R., Banovec, T., 1987, Uporaba satelitskih metod teledetekcije za ocenjevanje izrabe tal in potrebe kmetijstva in gozdarstva, Zvezni razis- kovalni projekt, FAO:TCP/YUG-4502(T), pp: 1-87.

Tretjak, A., 1988, računalniška obdelava satelitsko skaniranih podatkov, Seminar digitalna obrada slike, Savjet za istraživanja i fotointerpretaciju u suradnji sa Elektrotehničkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu, JAZU, Zagreb, 10.-12.okt.88, pp: 1-12.

## OPISI IN DEFINICIJE IZRAZOV

| SLOVENSKO                                                                 | ANGLEŠKO                  | POMEN                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| analogno/digitalna pretvorba                                              | analog/digital conversion | pretvorba analognega zapisa (posnetek, karta, ipd.) v digitalni zapis, ki ga lahko obdelujemo v računalniku.                                                                                                            |
| digitalna fotogrametrija                                                  | digital photogrammetry    | fotogrametrična obdelava posnetkov, katerih celotna vsebina (t.j. metrične in semantične informacije) je numerično kodirana.                                                                                            |
| digitalna obdelava posnetkov (slik), obdelava digitalnih posnetkov (slik) | digital image processing  | metode in tehnike obdelave digitalnih posnetkov z računalniki.                                                                                                                                                          |
| digitalni posnetek (slika)                                                | image                     | zapis elektromagnetnega valovanja v obliki matrike sivih vrednosti.                                                                                                                                                     |
| izhodna matrika                                                           | output matrix             | slikovna matrika, ki je rezultat digitalnega procesiranja.                                                                                                                                                              |
| prevzorčenje                                                              | resampling                | preslikava vsebine digitalnega posnetka, ki je vzorčen s poljubnim rastrom v drug poljuben raster (prim.: prevzorčenje pri ortofotu).                                                                                   |
| siva vrednost, nivo sivine                                                | grey value, grey level    | naravno število, običajno med 0 in 255, ki pove intenziteto začetne slikovnega elementa.                                                                                                                                |
| slikovni element, piksel                                                  | picture element, pixel    | najmanjši element digitaliziranega posnetka. Njegova številka vrednost predstavlja sivo vrednost, njegova lega v slikovni matriki pa je določena s koordinatami njegovega centra.                                       |
| slikovna matrika                                                          | image matrix              | slikovni elementi zapisani v obliki matrike.                                                                                                                                                                            |
| strojni vid                                                               | machine vision            | pod izrazom razumemo uporabo enot za optično nekontaktno zaznavanje za avtomatsko sprejemanje in interpretacijo digitalnih slik realnega prostora, z namenom zajemanja informacij in/ali kontrole strojev ali procesov. |
| vhodna matrika                                                            | input matrix              | slikovna matrika pred procesiranjem, običajno rezultat A/D pretvorbe.                                                                                                                                                   |
| vzorčenje                                                                 | sampling                  | aproksimacija analognega zapisa (posnetek) s poljubnim rastrom.                                                                                                                                                         |

zajemalec zas-  
lonske slike

frame grabber

razširitvena računalniška kartica, ki  
omogoča zajemanje ene zaslonske slike in  
hranjenje le-te s frekvenco 1/25s.

\*

real-time  
photogrammetry

frekvenca končnih rezultatov je reda velikos-  
ti 1s. Za doseg te frekvence rezultatov  
potrebujemo specialno strojno opremo in al-  
goritme.

\*

nedorečeni slovenski prevodi angleških izrazov

Pripravila:

Zmago Fras in Mojca Kosmatin-Fras

S članki v tej tematski številki smo želeli opozoriti na nove razvojne trende v fotogrametriji: v svetu in obenem prikazati rezultate aktivnosti, ki so bile v zadnjem času realizirane v Sloveniji s temo digitalna fotogrametrija. Pričujoči članki so samo izsečki iz široke problematike, ki skušajo zbuditi zanimanje širše strokovne javnosti. Tisti, ki jih bo pri prebiranju te številke zamikalo izvedeti še kaj več, lahko posežejo po člankih v tujih revijah, ki so navedeni na koncu posameznih prispevkov. Pripravili pa smo še nekaj obvestil, ki predstavljajo kažipot v katerih knjigah je tematika o digitalni fotogrametriji sistematično obdelana in kje v svetu lahko še letos pridete do aktualnih in poglobljenih informacij s tematiko digitalna fotogrametrija.

Najprej bi opozorili na dve izredni knjigi, ki na zelo nazoren in dokaj enostaven način prikazujeta tematiko iz vidika uporabe v fotogrametriji in daljinskem zaznavanju ter vključevanju v prostorske informacijske sisteme.

**HANS-PETER BAEHR: "Digitale Bild-verarbeitung, Anwendung in Photogram-metrie und Fernerkundung", Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1985, 401 strani.**

Avtor oz. izdajatelj prof.dr. H. P. BAEHR je vodja Instituta za fotogrametrijo in topografijo (IPT) na univerzi Fridericiana v Karlsruhe-u. Težišče dela instituta je uporaba novih tehnik, katerim je osnova hiter razvoj računalniške in senzorske tehnologije, v fotogrametriji, kartografiji, geoznanostih in inženirskih meritvah.

Knjiga je delo večih avtorjev. Njihovi prispevki v tej knjigi so sestavni del predavanj in seminarjev na (IPT). Skupaj predstavljajo osnovne in aktualne možnosti uporabe digitalne obdelave posnetkov v fotogrametriji in daljinskem zaznavanju. Knjiga je razdeljena v naslednjih 13 poglavjih:

1. poglavje: Osnove digitalne obdelave posnetkov - H. P. Baehr,

2. poglavje: Strojna oprema in programski paketi - J. Wiesel,

3. poglavje: Izdelava digitalnega ortofota - J. Wiesel,

4. poglavje: Izdelava kart s pomočjo digitalnega ortofota in metod digitalne obdelave posnetkov - J. Peterle,

5. poglavje: Od digitalnega ortofota do digitalne ortofoto karte - G. Schweinfurth,

6. poglavje: 3-D prikazi kot podpora pri planiranju - H. Kuhn,

7. poglavje: Netopografske aplikacije - G. Schweinfurth,

8. poglavje: Postopek korelacije, osnove in uporaba - J. Wiesel,

9. poglavje: Postopek stereo slikovne korelacije - J. Piechel,

10. poglavje: Sistemi za zajemanje prostorskih informacij v daljinskem zaznavanju in fotogrametriji; stanje in bodočnost - H. P. Baehr,

11. poglavje: Digitalno multispektralno klasificiranje - F. Quiel,

12. poglavje: Klasificiranje s pomočjo dodatnih informacij - B. Pfeiffer,

13. poglavje: Geometrični modeli - H. P. Baehr. Težišče knjige je v poglavjih o digitalnem ortofotu, digitalni korelaciji in daljinskem zaznavanju, ki so tudi glavna področja raziskav na ITP. Za laike so temam predhodno dodane teme z osnovami za lažje razumevanje tematike (to so poglavja 1, 2, 8, 10).

Zaradi velikega števila avtorjev seveda knjiga nima popolnoma homogene strukture. Tudi posamezna poglavja niso, kot je v učbenikih navada, obdelana od a - ž. Ponuja pa nam ta knjiga nekaj, kar v učbenikih težko zasledimo t.j. aktualno uporabo digitalnih tehnik obdelave posnet-

kov v fotogrametriji in daljinskem zaznavanju. Kljub temu, da so v knjigi predstavljeni le praktični primeri, ki so jih izvedli na ITP, pa knjiga v našem okolju pomeni pravcato manjšo enciklopedijo v kateri so opisani postopki, rešitve in možnosti uporabe digitalno obdelanih posnetkov v geodetski praksi.

Knjigo lahko naročite na naslov:

Herbert Wichmann Verlag GmbH  
D-7500 Karlsruhe 1  
Postfach 4320  
Cena knjige je 49,50 DEM in ima oznako  
ISBN 3-87907-149-7.

**WOLFGANG GOEPFERT: "Raum-bezogene Informationssysteme - Datenerfassung, Verarbeitung, Integration, Ausgabe auf der Grundlage digitaler Bild und Kartenverarbeitung", Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1987, 278 strani.**

Avtor prof. dr. W. Goepfert je profesor na Institutu za fotogrametrijo in kartografijo na Visoki tehnični šoli v Darmstadtu. Objavil je že številna znanstvena dela na področju fotogrametrije, daljinskega zaznavanja, digitalne obdelave slik in kartografije.

V knjigi je prvič v takem obsegu teoretično in podprto s praktičnimi primeri obdelan tehnološki razvoj od zajemanja informacij do digitalne obdelave informacij. Seveda je ta razvoj obdelan v okviru področij, ki jih je avtor že do sedaj obdeloval.

Knjiga je razdeljena v naslednjih 7 poglavij:

1. poglavje: Osnove,
  - pridobivanje informacij iz kart in posnetkov,
  - avtomacija grafičnih informacij,
  - rasterski podatki,
2. poglavje: Operacije na sivih vrednostih rasterskih podatkov,
3. poglavje: Ponavljajoče (frekvenčne) operacije na rasterskih podatkih,

4. poglavje: Geometrične operacije na vektorskih in rasterskih podatkih,

5. poglavje: Ploskovna korelacija rasterskih podatkov,

6. poglavje: Združitev točkovnih, vektorskih in rasterskih podatkov v informacijskem sistemu; tematska izvedenost,

7. poglavje: Možnosti uporabe informacijskega sistema, ki vsebuje združene podatke iz posnetkov in kart in 3 dodatke:

Dodatek A: Pari Fourierjevih transformacij,

Dodatek B: Definicije pogosto uporabljenih funkcij,

Dodatek C: Izravnava po metodi najmanjših kvadratov.

Kot je že iz samega pregleda poglavij razvidno, se avtor v knjigi v največji meri ukvarja z obdelavo rasterskih podatkov in zbiranjem podatkov do združitve v prostorskem informacijskem sistemu. V zadnjih dveh poglavjih pa nekoliko več govori tudi o prostorskih informacijskih sistemih.

Avtorjev pristop izbrani materiji je zelo sistematičen. Knjiga ima vse kvalitete dobrega učbenika. Bralca na precej poljuden način najprej vpelje v novo kompleksno materijo. Ob številnih, v tekst vključenih, numeričnih primerih lahko nato bralec preverja in utrjuje pridobljeno znanje. Ob vsem tem pa mu avtor v knjigi nakaže tudi možnosti uporabe nove tehnologije v bližnji prihodnosti.

Knjiga je natisnjena na zelo kvalitetnem papirju s številnimi kvalitetnimi barvnimi in č/b slikami. Zanimiva bo za vse, ki se ukvarjajo s prostorskimi informacijskimi sistemi, še posebej pa za tiste, ki jih zanima oz. ki se ukvarjajo z digitalno obdelavo posnetkov.

Knjigo lahko naročite na naslov:

Herbert Wichmann Verlag GmbH  
D-7500 Karlsruhe 1  
Postfach 4320  
Cena knjige je 98 DEM in ima oznako ISBN  
3-87907-165-9.

## KOLEDAR

SEPTEMBER 89

**11. - 16., 42. Photogrammetrische Woche, Stuttgart**

**42. Teden fotogrametrije, Štuttgart**

### TEMATIKA

- Fotogrametrično zajemanje podatkov za prostorske informacijske sisteme,
- Digitalna fotogrametrija - realnost in perspektive,
- Meritve s pomočjo GPS in laserja.

Prijave za 42. Teden fotogrametrije v Štuttgatu lahko pošljete na naslov:

Universitaet Stuttgart, Institut fur Photogrammetrie,  
Keplerstrasse 11, D-7000 Stuttgart 1  
telefon 0711/121-3386,  
fax 0711/121-3500.

**18. - 20., Conference on Optical 3-D Measurement Techniques - Applications in Inspection, Quality Control, and Robotics, Vienna**

**Konferenca o 3-D optičnih merskih tehnikah - aplikacije v nadziranju, kontroli kvalitete in robotiki, Dunaj**

### TEMATIKA

- Teoretične formulacije, načrtovanje in karakteristike fotogrametričnih in geodetskih metod, ki bazirajo na sistemih za digitalno obdelavo posnetkov,
- Oblikovanje modelov za izvedenotenje, načrtovanje algoritmov, študije operacionalnih in programskih možnosti za hitre in zanesljive procedure za pozicioniranje točk,
- Načrtovanje, funkcionalnost in karakteristike integriranih senzorskih sistemov,
- Strojna oprema, računalniški algoritmi, kontrola kvalitete in programi za real-time "machine vision" sisteme, ki so

uporabljeni v industrijskih kontrolnih procesih, pri zaznavanju sprememb, navigaciji, robotiki.

Informacije o možnosti prijav dobite na naslovu:

Zmago FRAS, FAGG - Katedra za fotogrametrijo in kartografijo, Jamova 2, Ljubljana  
telefon 061/268-741 int 24.

V mesecu septembru bo izšla tudi posebna številka Photogrammetric Engineeringa in Remote Sensinga s temo "Image processing" (obdelava digitalnih slik).

Še kratka informacija o dogajanjih v letu 1990.

SEPTEMBER 90

**03. - 07. ISPRS Symposium - Close-Range Photogrammetry Meets Machine Vision, Zuerich**

**ISPRS simpozij - Bližnjeflikovna fotogrametrija - strojni vid, Zuerich**

### TEMATIKA

- Digitalni in real-time bližnjeflikovni fotogrametrični sistemi,
- Kalibracija in lastnosti digitalnih slikovnih sistemov v bližnjeflikovni fotogrametriji,
- Analiza in sinteza digitalnih slik v bližnjeflikovni fotogrametriji,
- Strukturna in industrijska merjenja z upoštevanjem CAD/CAM aspektov,
- Fotogrametrija v arhitekturi in arheologiji, - Biostereometrija v medicini,
- Robotski vid

Informacije o simpoziju dobite na naslovu:

Symposium of ISPRS Commission V  
Institute of Geodesy and Photogrammetry  
ETH-Hoenggerberg, 8093 Zuerich, Switzerland  
tel.: +41-1 377 3051,  
fax.: +41-1 371 55 48.

Zbral in pripravil za objavo Zmago FRAS.

## IMENOVANJA NA ODDELKU ZA GEODEZIJO

Svet VTOZD Gradbeništvo in geodezija je na svoji 8. redni seji dne 25.5.1988 izvolil:

mag. Antona Prosenca, dipl.geod.kom.inž. v naziv višji predavatelj za področje prostorsko planiranje,

Aleša Breznikarja, dipl.inž.geod.v naziv asistent za področje nižja geodezija in Inženirska geodezija,

Dušana Kogoja, dipl.inž.geod.v naziv asistent za področje nižja geodezija in Inženirska geodezija,

Svet VTOZD Gradbeništvo in geodezija je na svoji 9. redni seji dne 29.6.1988 izvolil:

Janeza Ovna, dipl.inž.geod., stažista asistenta v naziv asistent za področje fotogrametrija.

Svet VTOZD Gradbeništvo in geodezija je na svoji 5. redni seji dne 22.6.1989 izvolil:

Boža Kolerja, dipl.inž.geod. v naziv asistent za področje nižje geodezije in Inženirske geodezije.

### DISERTACIJA:

Dne 7.6.1988 je uspešno zagovarjal svojo doktorsko disertacijo tov. Milan Juvančič, dipl.inž.geod. pred komisijo, ki so jo sestavljali: prof.dr. Jože Koželj, prof.dr. Florijan Vodopivec, prof.dr. Branko Rojc in prof.dr. Franc Gašperšič.

### MAGISTERIJ

Dne 28.6.1988 je zagovarjal svojo magistrsko nalogo tov. Zoran Stančič, dipl.inž.geod., pred komisijo, ki so jo sestavljali: prof.dr. Peter Šivic, doc.dr. Božidar Slapšak, izr.prof.dr. Branko Rojc in prof.dr. Vjekoslav Donassy.

Naslov naloge: "Metodologija fotogrametrične dokumentacije arheoloških izkopavanj".

Dne 26.5.1989 je zagovarjal svojo magistrsko nalogo tov. Miran Ferlan, dipl.inž.geod., pred komisijo, ki so jo sestavljali: prof.dr. Florijan Vodopivec, prof.dr. Bogdan Kilar in prof.dr. Ranko Todorovič.

Naslov naloge: "Izdelava računalniških programov z izravnavo koreliranih meritev".

Dne 31.5.1989 je zagovarjal svojo magistrsko nalogo tov. Dušan Kogoj, dipl.inž.geod., pred komisijo, ki so jo sestavljali: prof.dr. Florijan Vodopivec, prof.dr. Bogdan Kilar in prof.dr. Ranko Todorovič.

Naslov naloge: "Analiza pozicijske natančnosti določitve horizontalnih premikov v mikro mrežah Ljubljane".

### DIPLOMANTI NA ODDELKU ZA GEODEZIJO:

Diplomanti v letu 1988

#### VIŠJI ŠTUDIJ:

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Srečko Kociper  | Damjan Kvas      |
| Tadej Ledinek   | Dean Kordež      |
| Mirko Žveplan   | Polona Učakar    |
| Benjamin Repina | Drago Štern      |
| Helena Illovar  | Dušan Mitrovič   |
| Iztok Franca    | Darija Hrovatič  |
| Bojan Šuc       | Roman Češarek    |
| Bojan Jeram     | Denis Šehič      |
| Mario Ličina    | Mojca Štravs     |
| Srečko Paderšič | Andreja Rožmanec |

#### VISOKI ŠTUDIJ

Bojan Stopar - Negeodetske metode merjenja deformacij

Tadej Pfajfar - Računalniška podpora pri izdelavi zakoličbenih načrtov

Branko Kovač - Izbor obstoječih in predvidenih geodetskih podatkov za določene porabnike

Iztok Kariž - Registracija deformacij ladje pri splovitvi

Irena Kibarovski - Računalniško podprto prikazovanje objektov na načrtih velikih meril

Alenka Kelvišar - Možnosti novih lokacij individualne gradnje v okviru obstoječih naselij v izvenmestnem prostoru Ljubljane

Roman Rener - Računalniška podpora kartografskih redakcijskih načrtov

Tomaž Ambrožič - Izdelava programa za izravnavo ravninske mreže za ATARI in IBM

Ivica Vosila - Planiranje, delovni proces in izdelava pomorskih navigacijskih kart 1:300 000

Tadeja Krajnik - Primerjava središč manjših naselij v okolici Kranja na temelju situacijske analize in izhodišča za njihovo prenovu

VPIS V ŠOLSKEM LETU 1988/89

| LETNIK        | VISOKI     | VIŠJI     |
|---------------|------------|-----------|
| I.            | 50         | 45        |
| II.           | 21         | 13        |
| III. (5s)     | 13         | 16        |
| IV.           | 14         | -         |
| Skupaj        | 98         | 71        |
| Absolven.     | 16         | -         |
| <b>SKUPAJ</b> | <b>114</b> | <b>71</b> |

UDK 528.7+528.83.001.1

FOTOGRAMetriJA, DALJINSKO ZAZNAVANJE, PRIDOBIVANJE PODATKOV, RAZVOJ

**MAKAROVIČ, Branko**

7544 LB Enschede, Netherland, Rekkenbrink 79

**RAZVOJ FOTOGRAMetriJE IN VPLIV NA PROIZVODNJO INFORMACIJE**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

Avtor v članku opisuje razvoj fotogrametrije in njeno vlogo pri pridobivanju informacij.

M. Grilc

=====

UDK 528.7.000.93

FOTOGRAMetriJA, ZGODOVINSKI ASPEKT

**STANČIČ, Zoran**

61000 Ljubljana, YU

**DIGITALNA FOTOGRAMetriJA**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

V članku avtor opisuje fotogrametrijo iz zgodovinskega aspekta. Opisane so tudi nekatere raziskave s tega področja.

M. Grilc

=====

UDK 528.722

FOTOGRAMetriJA, INSTRUMENTI ZA IZVREDNOTENJE

**FRAS, Zmago**

61000 Ljubljana, YU, Tržaška 49

**DIGITALNI ON-LINE SISTEMI V BLIŽNJESLIKOVNI FOTOGRAMetriJI**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

Avtor v članku podaja pregled sistemov in digitalnih tehnik obdelave v bližnjесlikovni fotogrametriji.

M. Grilc

=====

UDK 528.7+528.83.001.1

PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING, DATA ACQUISITION, DEVELOPMENT

**MAKAROVIČ, Branko**

7544 LB Enschede, Netherland, Rekkenbrink 79

**PHOTOGRAMMETRY DEVELOPMENT AND IMPACT ON THE INFORMATION  
PRODUCTION**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989),No.2,pg.

In the paper the author describes photogrammetry development and it's impact on information acquisition.

M.Grilo

UDK 528.7.000.93

PHOTOGRAMMETRY, HISTORICAL ASPECT

**STANČIČ, Zoran**

61000 Ljubljana, YU

**DIGITAL PHOTOGRAMMETRY**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989),No.2,Pg.

Photogrammetry from the historical aspect is described in the paper. Some researches in this field are given.

M.Grilo

UDK 528.722

PHOTOGRAMMETRY, PHOTOGRAMMETRIC INSTRUMENTS

**FRAS, Zmago**

61000 Ljubljana, YU, Tržaška 49

**DIGITAL ON-LINE SYSTEMS IN CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989),No.2,Pg.

A review of systems and digital techniques in close range photogrammetry is given.

M.Grilo

FOTOGRAMetriJA, INSTRUMENTI, PRIDOBIVANJE PODATKOV, ARHEOLOGIJA

**STANČIČ, Zoran**

61000 Ljubljana, YU

**KALIBRACIJA VIDEO KAMERE ZA POTREBE FOTOGRAMETRIČNE  
DOKUMENTACIJE ARHEOLOŠKIH IZKOPAVANJ**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

Avtor opisuje bližnjieslikovno fotogrametrijo kot pomoč pri dokumentiranju arheoloških izkopa

M.Grilo

=====

UDK 528.722

FOTOGRAMETRIJA, INSTRUMENTI ZA IZVREDNOTENJE, TEHNIKE

**ČEH Marjan**  
61000 Ljubljana, YU

**GVOZDANOVIČ, Tomaž**  
61000 Ljubljana, YU

**KOSMATIN-FRAS, Mojca**  
61000 Ljubljana, YU

**TEHNIKE DIGITALNE OBDELAVE POSNETKOV-ORODJE V ROKAH FOTOGRAMETRA**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

Avtorji v članku opisujejo različne računalniške tehnike za obdelavo digitalne slike.

M.Grilo

=====

UDK 528.7

FOTOGRAMETRIJA

**KOSMATIN-FRAS, Mojca**

61000 Ljubljana, YU

**OPIS OFF-LINE IZDELAVE DIGITALNEGA ORTOFOTA V PRAKSI**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

Podane so strokovne osnove za izdelavo digitalnega ortofota. predstavljen je praktični primer izveden na osebem računalniku.

M.Kosmatin-Fras

=====

UDK 528.722+528.85:902

**PHOTOGRAMMETRY, INSTRUMENTS, DATA ASQUISITION, ARCHEOLOGY**

**STANČIČ, Zoran**

61000 Ljubljana, YU

**VIDEO CAMERA CALIBRATION FOR PHOTOGRAMMETRIC DOCUMENTATION OF  
ARCHEOLOGICAL EXCANATIONS**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989),No.2,Pg.

Close range photogrammetry as a tool for documentation of archeological excanations is presented.

M.Grilc

UDK 528.722

**PHOTOGRAMMETRIC, PHOTOGRAMMETRIC INSTRUMENTS, TECHNIQUES**

**ČEH Marjan**

61000 Ljubljana, YU

**GVOZDANOVIČ, Tomaž**

61000 Ljubljana, YU

**KOSMATIN-FRAS, Mojca**

61000 Ljubljana, YU

**DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES - A TOOL IN HANDS OF  
PHOTOGRAMMETRIST**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989),NO.2,Pg.

Different computer techniques for digital image processing are described by the authors.

M.Grilc

UDK 528.7

**PHOTOGRAMMETRY**

**KOSMATIN-FRAS, Mojca**

61000 Ljubljana, YU

**DESCRIPTION OF OFF-LINE DIGITAL ORTOPHOTO GENERATION IN A PRACTICE**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989),No.2,Pg.

Professional bases for digital ortophoto production are given. A practical test made on personal computer is presented.

M.Kosmatin-Fras

DALJINSKO ZAZNAVANJE, APLIKACIJA, SATELITI

**TRETJAK, Ana**  
61000 Ljubljana, YU

**ŠABIČ, Danijela**  
61000 Ljubljana, YU

**OREŠNIK, Irena**  
61000 Ljubljana, YU

**ANALIZA IN OBDELAVA PODATKOV SKANIRANIH S SATELITI**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), št.2, str.

Članek opisuje različne aspekte uporabe podatkov pridobljenih s pomočjo satelitov.

M.Grilo

=====

REMOTE SENSING, APPLICATION, SATELLITS

**TRETJAK, Ana**  
61000 Ljubljana, YU

**ŠABIČ, Danijela**  
61000 Ljubljana, YU

**OREŠNIK, Irena**  
61000 Ljubljana, YU

**ANALYSE AND PROCESSING OF DATA SCANNED BY SATELLITS**

Geodetski vestnik, Ljubljana, 33(1989), No.2, Pg.

In the paper different usage aspects of data acquired by satellites are described.

M.Grilo