
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 efficient implemented in all the stages of digital photogrammetry. The paper deals with the usage of this 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 oprava 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 (Makarovič, 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.

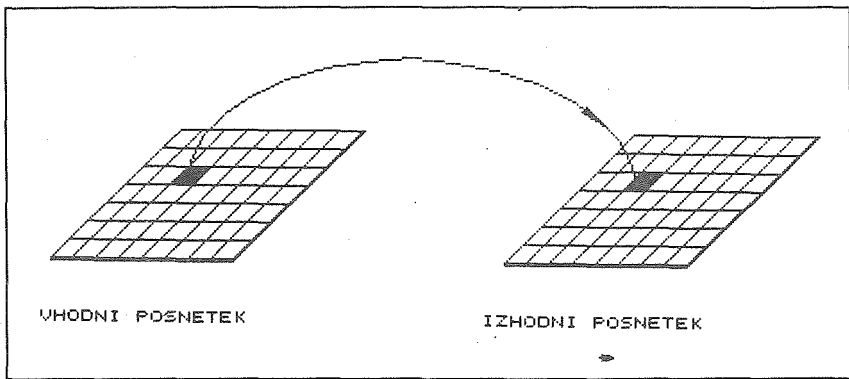
Frekvenčne operacije so operacije v frekvenčnem prostoru posnetka.

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

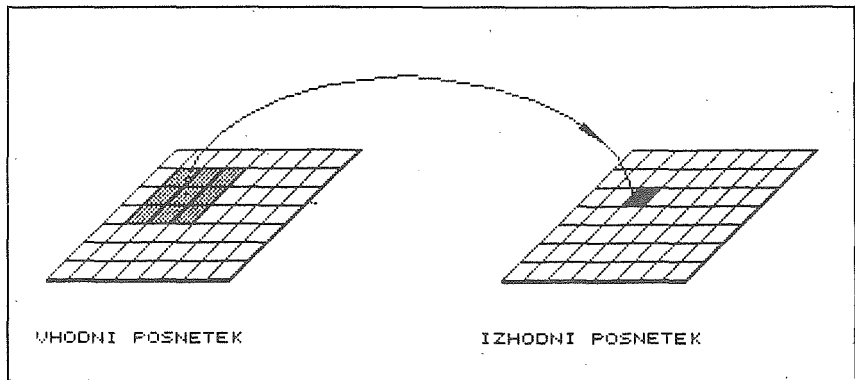
Okolica slikovnega elementa (angl. neighbourhood) je določeno število slikovnih elementov, ki obkrožajo slikovni element in je lahko v obliki "okna" (npr. podmatrika 3x3, 5x5, itd. elementov), križa, ipd.

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

Točkovne operacije so računsko najhitrejše operacije, računalniške algoritme pa ni težko izdelati. Lokalne operacije zahtevajo hitrejše 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-



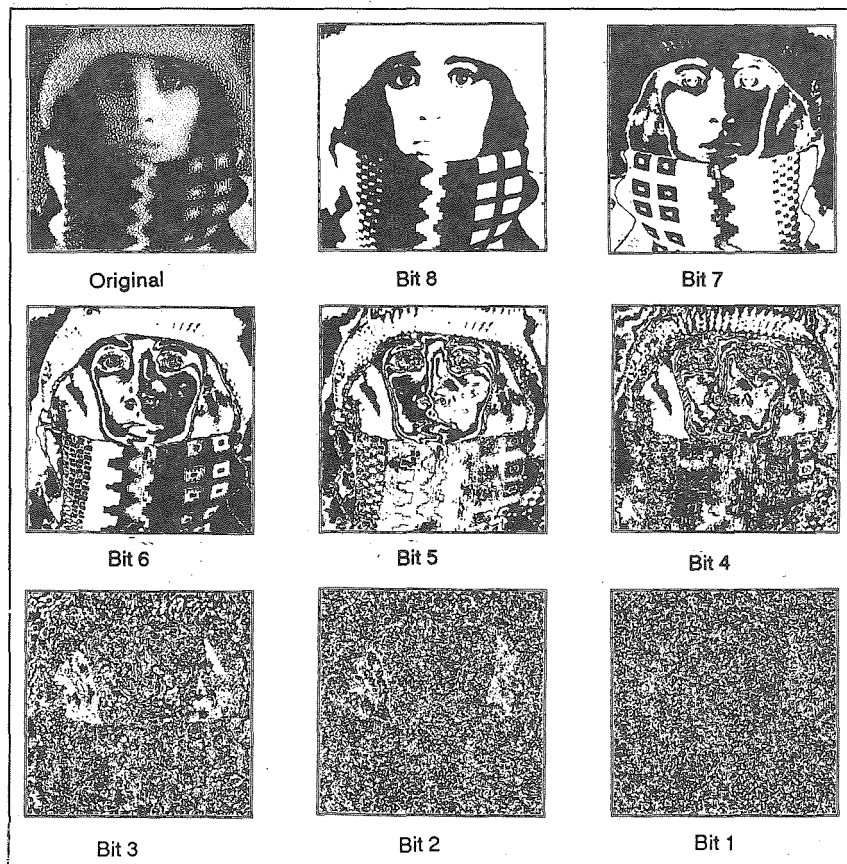
Lokalne operacije
Slika 2

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 ravninah
Slika 3

spomina v bytih 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 grafom. 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 ($T = 180$).

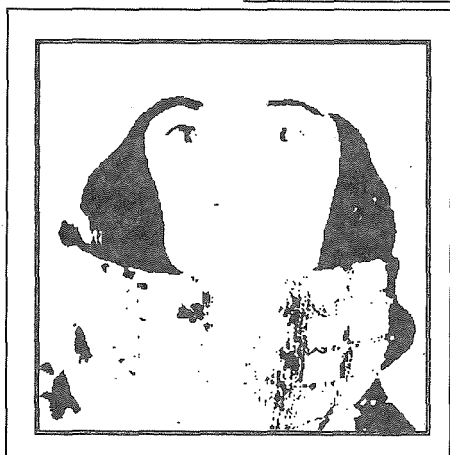
Lokalne operacije običajno izvajamo s

pomočjo filtrov. Le-ti so lahko linearni ali nelinearni, nespremenljive velikosti in oblike ali pa spremenljive 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:

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

- Gaussov filter za glajenje

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

- filter za poudarjanje detajlov

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

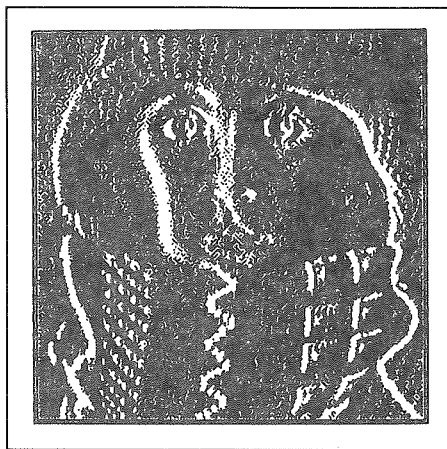
- horizontalni gradientni filter

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

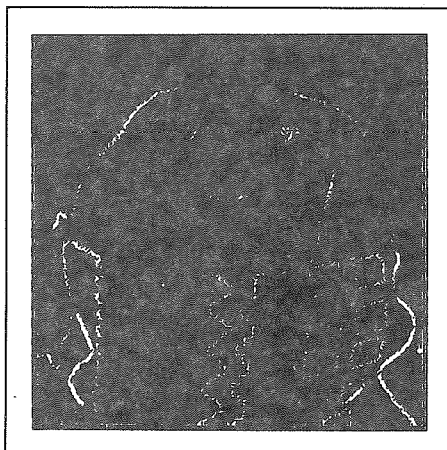
- vertikalni gradientni filter

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.

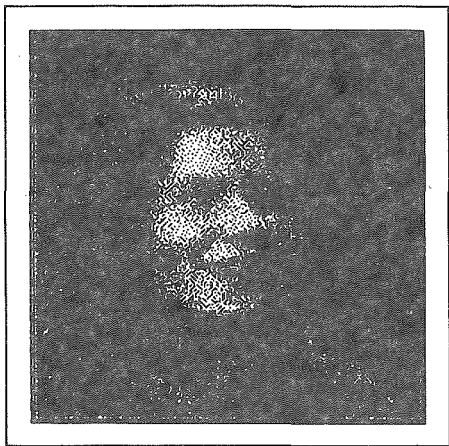


Učinek horizontalnega gradientnega filtra
Slika 9

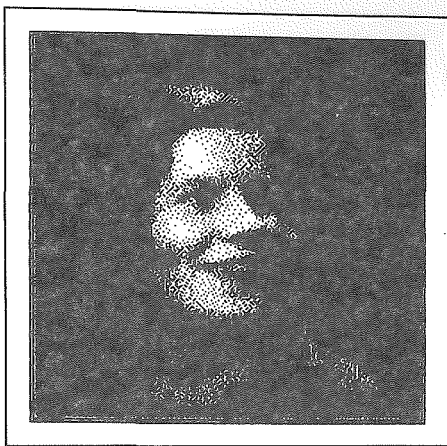


Učinek Robertsovega gradientnega filtra
Slika 10

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. Sivo 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



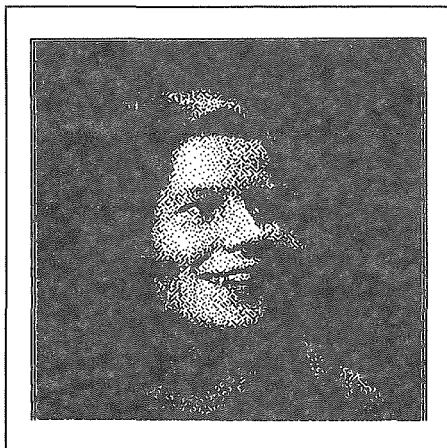
Posnetek s šumom
Slika 11



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 ternih 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).

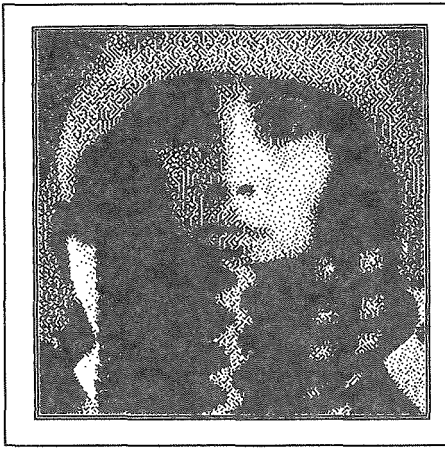


Učinek filtra za poudarjanje detajla
Slika 13

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

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

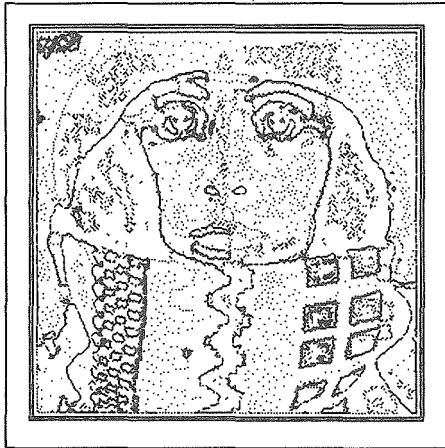
Zgoraj prikazane operacije na posnetkih so le nekatere izmed osnovnih, enostavnih, a vendar učinkovitih operacij na sivih vrednostih. Običajno pa željen učinek dosežemo šele z določenim zaporedjem različnih operacij. Splošnega pravila za obdelavo digitalnih posnetkov ni, zato se moramo za posamezne operacije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



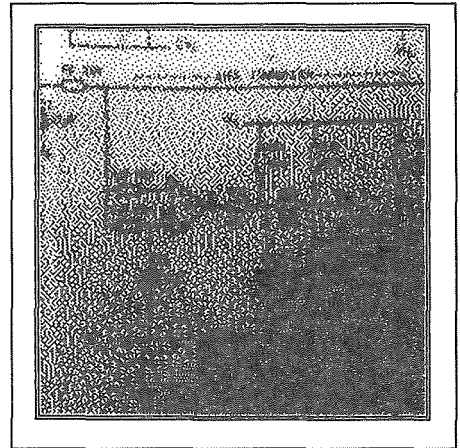
Razširitev temnih območij na posnetku
Slika 14



Razširitev svetlih območij na posnetku
Slika 15



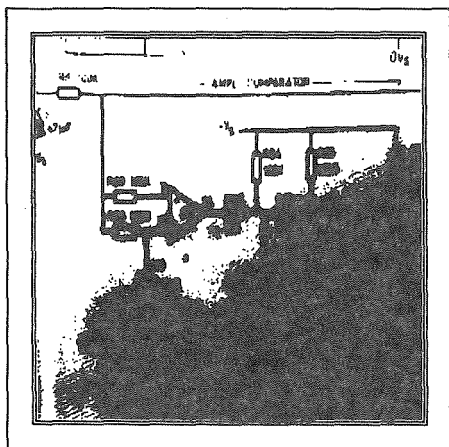
Izločeni robovi detajla
Slika 16



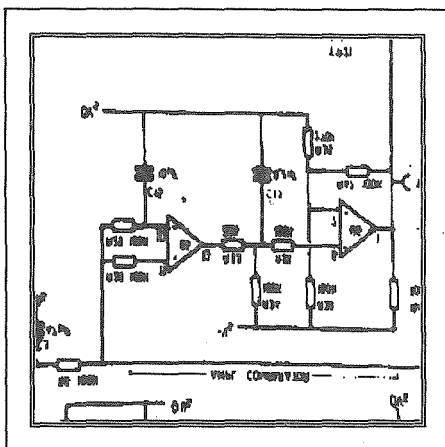
Osnovni posnetek
Slika 17

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