
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 prekine le serija 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 konstruira slovenski oficir v avstroogrski vojski von Orel. Uspešna uporaba letal za potrebe rekognosciranja v prvi svetovni vojni pripomore k apliciranju letal za potrebe aerosnemanja. 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 instrumentov pri izvedenju. Omejitve le-teh pri nagibu snemalnih osi, možnostih stereoeфекta pri velikih višinskih razlikah, goriščni razdalji snemalne kamere in nastavitvi baze so praviloma velike (Carbonell 75). Fotogrametrične restitucijske instrumente v bližnjelikovni fotogrametriji lahko razdelimo v tri skupine (Karara 85):

- instrumenti za normalne primere, ki so pogosto del bližnjelikovnega

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

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

Potrebe po razvoju netopografske fotogrametrije pokažejo velike pomanjkljivosti klasičnih analognih metod. Lahko ugotovimo, da celo univerzalni analogni restitucijski instrumenti še zdaleč niso tako univerzalni, saj so praviloma le bolj ali manj specializirani za določene fotogrametrične primere. Postopno se artikuliira 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 instrumentov s pripravami za numerično čitanje modelnih koordinat. Nastanejo takoimenovani hibridni sistemi (Makarovič 70) - analogni instrumenti 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 - instrumenti, ki se po univerzalnosti ne morejo primerjati z "univerzalnostjo" tudi najbolj razvpitih analognih instrumentov. 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 bližnjelikovni 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 poglavito področje razvoja odpre takomenovana digitalna fotogrametrija. Povzemimo poizkus obrazložitve Baehra (85), ki pravi, da v digitalni fotogrametriji celotno vsebino posnetkov (to je metrične in semantične informacije) numerično kodiramo. Dobimo takomenovan 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 FOTOGRAMETRIJA

Bliskovit razvoj mikroelektronike in polprevodniške tehnologije je vplival na vsa področja človekovega delovanja. Sodobni mikročipi in digitalni senzorji 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 periferna

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 stereores-titucijski inštrument. 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 Kos-matin-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 stojišč dosežemo relativno natančnost dosti več kot 1:10000, kar zadošča za srednje zahtevne potrebe v in-dustrijski 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 pos-netku. 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 obdela po različnih že raz-vitih algoritmi (Mikhail et al. 84, Gruen 85). Raziskave kažejo, da se ob analizi okolice tarče 3 x 3 pikslov ali 5 x 5 pikslov da doseči natančnost pod 0,1 piksla (Mikhail et al. 84). Sledi faza vzporejanja dveh ali večih pos-netkov 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 iz-hodne matrike.

Vidimo torej, da je fotogrametrični proces kot celoto možno v precejšnji meri av-tomatizirati. 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 mik-rometrov. Primer take kamere je Kodak Megaplug, ki pa je tudi temu primerno draga. Skratka, pojavlja se osnovni prob-lem, 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 linear-nem povečanju ločljivosti količina podatkov poveča kvadratno. Vendar pa moramo poudariti, da pri reševanju tega problema fotogrametrični strokovnjaki lahko sode-lujemo le kot konzultanti.

Hkrati pa je odprta pri digitalni fotogrametriji avtomatizacija identifikacije in fotointer-pretacije. 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 bližnjefotogrametriji 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 instrumentih) močno zmanjšal interes po nakupu fotogrametričnih restitucijskih instrumentov. Tega se zavedajo tudi proizvajalci fotogrametrične opreme, ki se čedalje bolj usmerjajo prav v to vejo razvoja. V prihodnosti bo celoten fotogrametrični proces opravljal 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 bližnjeliskovne 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 Automatisation" 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