

UPORABA NEMERSKIH KAMER V BLIŽNJESLIKOVNI FOTOGRAMetriJI

1. Definicija bližnjelikovne fotogrametrije

Fotogrametrija je znanost in tehnika določitve metričnih podatkov o objektih z merjenjem njihovih upodobitev na posnetkih; je indirektna tehnika merjenja, zato sodi v širše področje daljinskega zaznavanja. Danes se v najširšem obsegu uporabljajo aeroposnetki za potrebe topografskih snemanj. Govorimo o topografski fotogrametriji, katere glavni namen je izdelava topografskih načrtov.

Praktično že od prvih začetkov je fotogrametrija služila tudi za določitev metričnih podatkov o objektih za druge, netopografske namene. Prvi koraki na tem področju so bili skromni - izvrednotenje arhitekturnih posnetkov. Glavni razlog je bil v tem, da so takratni fotogrametrični postopki temeljili na preprostih enačbah, ki jih je bilo preprosto prenesti na analogne instrumente. Razvoj raznih drugih tehnologij, predvsem v zadnjih treh desetletjih, pa je pogojeval hitrejši razvoj fotogrametrije kot znanosti nasploh. Nedvomno je najpomembnejši razvoj računalniške tehnologije, ki je omogočil analitično formulacijo geometričnih odnosov med objektom in posnetkom. Precizni komparatorji in analitični ploterji so omogočili razširitev aplikacij fotogrametrije na številna nova področja. Poleg že uveljavljene topografske fotogrametrije se je razvila nova, obsežna in znanstveno zanimiva veja, za katero smo ustrezni slovenski izraz oblikovali šele pred kratkim - bližnjelikovna fotogrametrija.

Izraz je rezultat nekaterih raziskovalnih nalog (literatura 5, 11, 12) in razprav in je kolikor mogoče enakovreden v angleški strokovni literaturi že uveljavljenemu izrazu Close Range Photogrammetry oziroma nemškemu Nahbereichsphotogrammetrie.

Kratka definicija je takale:

BLIŽNJESLIKOVNA FOTOGRAMetriJA je ožje področje fotogrametrije, ki uporablja posnetke, pri katerih je kamera oddaljena največ 300 m od objekta (meja določena po H.M. Karari, literatura 6,8).

Ker se tehnične zahteve snemanj iz končnih razdalj razlikujejo od zahtev snemanj iz fotografske neskončnosti, je najpomembnejši dejavnik za določitev področja bližina snemanj. Čeprav zgornje meje ne moremo ostro določiti, je bila upoštevana razdalja 300 m, v spodnji meji pa upoštevamo tudi snemanja v makro in mikro območju.

Uporaba bližnjelikovne fotogrametrije je možna na tako raznoličnih področjih, da si jih težko vse predstavljamo, še teže naštejemo. Teoretično je uporaba možna na vseh področjih človekovega delovanja, kjer so potrebne metrične informacije o objektih, v praksi pa še nismo sposobni realizirati vsega. Zanimivost in znanstvena razburljivost bližnjelikovne fotogrametrije je ravno v izvirnosti in nedorečenosti vsake aplikacije posebej. Dela se ne moremo lotiti rutinsko, temveč je potrebna velika mera znanja, idej in iznajdljivosti.

Oblike končnih produktov najrazličnejših aplikacij, ki jih združuje bližnjelikovna fotogrametrija, so kar najbolj različne (liste prostorskih koordinat, volumen objekta, oblika objekta...). V splošnem lahko kamera

* 61000 Ljubljana, YU, Geodetski zavod SRS;
dipl.ing.geod.
Prispelo v objavo: 1986-01-10.

zavzema v prostoru poljuben položaj (snemanje s fiksnih stojišč na Zemlji kot tudi snemanje iz zraka). Pri registraciji dinamičnih pojavov je čas četrta dimenzija. Za matematični model v bližnjleslikovni fotogrametriji uporabljamo poleg centralne projekcije tudi paralelne projekcije; poleg klasičnih fotogrametričnih posnetkov uporabljamo tudi nekonvencionalne (skanersko generirane posnetke, radiograme, posnetke, narejene z elektronskim mikroskopom, ipd.) (literatura 16).

Iz naštetega je razvidno, da je pojem bližnjleslikovna fotogrametrija zelo širok. Pojem netopografska fotogrametrija, ki smo ga uporabljali do sedaj, ni več ustrezen.

Treba je še omeniti, da se bližnjleslikovna fotogrametrija in analitična aerotriangulacija srečujeta s podobnimi problemi, kot so npr. izboljšava slikovnih koordinat, določitev elementov zunanje orientacije, kalibracija kamere, določitev koordinat točk. Številne računske tehnike in računalniške programe, ki so bili razviti za analitično aerotriangulacijo, lahko z modifikacijami uporabimo v bližnjleslikovni fotogrametriji. Povezava preciznih metod aerotriangulacije in bližnjleslikovne fotogrametrije tako pomeni idealno združitev že uveljavljenega področja z novim. Vendar kljub sorodnim problemom omenjenih področij obstajajo razlike, ki so bistvenega pomena in onemogočajo, da bi področji enostavno združili. Te razlike so predvsem: različen objekt snemanja, različne zahteve prostorske kontrole objekta, različna geometrična konfiguracija posnetka (literatura 17).

Osnovni namen tega prispevka je orisati bližnjleslikovno fotogrametrijo, ne da bi se spuščali v matematične osnove, ker bi bilo to preobsežno, predvsem pa opozoriti na možno in upravičljivo uporabo nemerskih kamer za fotogrametrična snemanja, seveda z ustreznimi postopki kalibracije.

2. Definicija pojmov merska, nemerska in delnomerska kamera

H.M. Karara definira merske kamere kot kamere, ki so izdelane posebej za fotogrametrične namene. Navadno pa označujemo za mersko kamero tisto kamero, ki ima fiksno, stabilno in znano notranjo orientacijo ter je opremljena z obrobniimi markami. Vendar tudi ta definicija ne drži več popolnoma, odkar obstajajo kamere, ki jih lahko fokusiramo - notranja orientacija ni več fiksna (npr. UMK, P 31 ...).

V skladu z definicijo merskih kamer H.M. Karara definira nemerske kamere kot tiste kamere, ki niso izdelane posebej za fotogrametrične namene in nimajo dobro definirane notranje orientacije. W. Faig daje bolj tehnično definicijo: nemerska kamera je tista, katere notranja orientacija je popolnoma ali delno neznana in nestabilna. Pri tem misli z notranjo orientacijo konstanto kamere, lokacijo glavne točke, radialno in decentrično distorzijo objektivna in deformacijo filma. Predlaga pa tudi preprostejšo definicijo: nemerska kamera nima obrobniimi mark. Čeprav obstoj obrobniimi mark sam zase še ne pomeni merske kamere, pa jih nemerske kamere nimajo. Zatakne pa se pri definiciji delnomerskih kamer, saj réseau mrežo lahko štejejo za neke vrste obrobne marke. Med nemerske kamere štejejo vse amaterske in profesionalne kamere, ali preprosteje rečeno vse, kar običajno štejejo za fotoaparate (literatura 6).

Delnomerske kamere so v bistvu nemerske kamere, ki imajo pred film vgrajeno réseau ploščo, to je stekleno ploščo z vgraviranim sistemom točk. Matematično lahko pri nemerskih kamerah korigiramo vse napake razen neravnosti in deformacije filma, réseau plošča pa omogoča tudi to korekcijo. Naj nas ime delnomerska kamera ne zavede! Pri teh kamerah še vedno ne poznamo elementov notranje orientacije, so pa navadno robustnejše in stabilnejše.

3. Značilnosti nemerskih kamer

Raznoličnost področij uporabe bližnjleslikovne fotogrametrije, posebne zahteve za izvedbo snemanja in heterogenost snemalnih razmer onemogoča-

jo izdelavo snemalne kamere, ki bi bila popolnoma univerzalna. Zaradi snemanj na razdaljah, ki so krajše od fotografske neskončnosti, običajne snemalne kamere, ki se uporabljajo za topografska snemanja, brez dodatnih posegov niso uporabne. Posamezni proizvajalci so sicer že izdelali nekaj kamer, ki so prilagojene za določene snemalne razmere, vendar še zdaleč ne morejo zadostiti vsem področjem uporabe bližnjleslikovne fotogrametrije. Že leta 1972 je H.M. Karara (literatura 6) ugotovil, da je glavni vzrok za zelo počasno napredovanje bližnjleslikovne fotogrametrije to, da na tržišču ni primernih snemalnih kamer. Ekonomsko ni upravičljivo, da bi proizvajalci snemalnih kamer ponudili toliko različnih tipov merskih kamer, kot bi bilo potrebno, da bi zadostili širokemu spektru zahtev različnih aplikacij. To stanje bi lahko označili kot začarani krog - fotogrametrija ni uporabna v številnih primerih, ker ni ustrezne kamere na tržišču, izdelava novega tipa kamere pa ni rentabilna. Postalo je očitno, da je treba rešitev iskati drugje. Pokazalo se je, da je najugodnejša rešitev uporaba nemerskih kamer.

Med raziskavami, katerih glavni namen je bil ugotoviti, kakšno natančnost lahko dosežemo z nemerskimi kamerami, so najvidnejše pionirske raziskave prof. Hallerta in njegove skupine kot tudi študije na univerzah v Stuttgartu, Karlsruheju, Illinoisu. Rezultati teh raziskav so pokazali, da klasični fotogrametrični postopki, ki so prilagojeni merskim kameram, niso primerni za nemerske kamere. Razvili so nove postopke, ki so računsko intenzivnejši, vendar so prilagojeni lastnostim nemerskih kamer. S takimi postopki so dosegli zelo dobre rezultate. Raziskave (npr. literatura 3) so pokazale celo, da je mogoče nemerske kamere uporabiti tudi takrat, ko bi imeli na voljo ustrezno mersko kamero, saj bi dosegli enako natančnost. Navajam eno izmed številnih podobnih ugotovitev (literatura 10) v prirejenem prevodu: "Razlike med merskimi in nemerskimi kamerami so manjše, kot bi pričakovali. Ko se odločamo za mersko ali nemersko kamero, gre bolj za vprašanje udobnosti kot za natančnost". Odločitev, katero vrsto kamere bomo uporabili, je odvisna od številnih dejavnikov in ne le udobnosti.

Nemerske kamere imajo v primerjavi z merskimi nekatere pomanjkljivosti, vendar tudi prednosti, saj brez tega ne bi bile aktualne za uporabo v fotogrametriji. Pri snemanju z nemerskimi kamerami se moramo tako prvih kot drugih lastnosti zavedati in prilagoditi postopek.

V primerjavi z merskimi kamerami imajo nemerske kamere te pomanjkljivosti:

- notranja orientacija je popolnoma ali delno neznan, a,
- notranja orientacija je nestabilna (1), (!)
- velika distorzija objektivov,
- film je matematično nedefinirana ploskev,
- nimajo pribora za orientacijo v prostoru.

Prednosti nemerskih kamer pa so tele:

- splošna uporabnost,
- možnost poljubne menjave objektivov od makro do tele območja,
- nastavljivo fokusiranje objekta,
- priročnost in majhna teža,
- možnost snemanja pod poljubnimi koti,
- moderna in zelo razvita tehnologija izdelave,
- serijska izdelava in niska cena,
- nekatere so opremljene z motorjem, ki omogoča hitro zaporedno snemanje,
- nekatere so primerne za snemanje v vodi (podvodna fotogrametrija).

Nemerske kamere popolnoma izpodrinejo merske kamere tam, kjer snemamo na zelo kratkih razdaljah in s kratkimi bazami, kjer snemamo hitro potekajoče pojave, snemamo pod različnimi koti in potrebujemo precizno fokusiranje, kjer so potrebne majhna teža, neprepustnost za vodo ipd.

4. Analitični postopki kalibracije kamer

Razmerje med posnetkom in objektom je matematično definirano, če poznamo parametre snemalne kamere. Pri merskih kamerah navadno upoštevamo kot elemente notranje orientacije: konstanto kamere (c_k) in položaj glavne točke na posnetku - koordinatni x_{GT} , y_{GT} . Za nemerske kamere pojem notranje orientacije razširimo; poleg gornjih treh elementov še radialna in decentrična distorzija in deformacija posnetka.

Kalibracija kamere je postopek določitve njene notranje orientacije. Vsaka merska kamera ima parametre navedene v kalibracijskem certifikatu že ob nakupu. Merske kamere so grajene tako, da so parametri notranje orientacije v mejah tolerance konstantni. Ponovno jo kalibriramo na daljše obdobje (navadno jo pošljemo v pooblaščen servis). Elementi notranje orientacije nemerske kamere so zelo nestabilni, spremembe lahko nastanejo praktično od posnetka do posnetka. Kalibracija v smislu merskih kamer zato ni primerna.

Vzporedno z naraščajočim zanimanjem za uporabo nemerskih kamer v fotogrametrične namene so v raznih raziskovalnih centrih po svetu razvili različne postopke kalibracije, ki so prilagojeni lastnostim nemerskih kamer. Postopki kalibracije so analitični, saj le tako lahko upoštevamo vse potrebne korekcije. Teoretične osnove kalibracije izhajajo iz analitične fotogrametrije. Ne nazadnje pa so analitični postopki kalibracije primerni tudi za merske kamere, npr. kalibracija adaptiranih fototeodolitov, preizkus natančnosti parametrov notranje orientacije, določitev decentrične komponente distorzije itd.

Analitični postopki kalibracije so numerični postopki določitve parametrov notranje orientacije kamere iz podatkov, ki jih dobimo iz enega ali več fotogrametričnih posnetkov in (ali) iz geometričnih pogojev, ki jih morajo izpolniti upodobljene točke objekta (literatura 12).

Postopke kalibracije je sistematično razvrstil W. Wester-Ebbinghaus (literatura 14), ki jih v osnovi deli na laboratorijske in analitične (orig. Feldkalibrierung). Z laboratorijsko kalibracijo določimo elemente notranje orientacije kameram, ki so fokusirane na neskončno - za bližnjeliskovno fotogrametrijo torej ni ustrezna. Analitične postopke kalibracije pa deli po postopkih in načinih izvedbe. Postopki so razdeljeni glede na to, kakšne vrste podatkov potrebujemo za izračun parametrov: oslonilne točke, razne druge informacije o objektu (dolžine, koti ...) ali pa sploh ne potrebujemo geodetskih meritev (le fotogrametrične) - postopek samokalibracije. Načine izvedbe pa deli glede na značilnosti parametrov, ki jih določamo, na kalibracijo v testnem polju in simultano kalibracijo. Kalibracija v testnem polju je določitev parametrov notranje orientacije, ki se časovno ne spreminjajo. Individualnih pogojev pri snemanju ne moremo zajeti. Tak način kalibracije je analogen laboratorijski kalibraciji, le da namesto goniometrov in kolimatorjev uporabimo testno polje. V bistvu gre za predhodno kalibracijo, ki pa za nemerske kamere ni najbolj primerna, ker so elementi notranje orientacije pri teh kamerah zelo nestabilni. Tak način kalibracije nemerskih kamer uporabimo le takrat, ko zahteve po natančnosti niso velike. Simultana kalibracija omogoča določitev parametrov, ki so časovno spremenljivi. Z uporabo delovnih posnetkov kalibriramo sočasno celoten fotogrametrični sistem. Za nemerske kamere je ustrezna simultana kalibracija z vsemi analitičnimi postopki, pač glede na to, kakšne informacije imamo na voljo.

Med konkretnimi analitičnimi simultanimi postopki so najprimernejši tiste: postopek direktne linearne transformacije, postopek z enajstimi parametri, postopek oziroma metoda samokalibracije, metoda analitične blokovne izravnave s posnetki.

Postopek direktne linearne transformacije v bistvu ni pravi postopek kalibracije, ker elementov notranje orientacije ne dobimo eksplicitno, vendar je popolnoma prilagojen nemerskim kameram. Za rešitev enačb potrebu-

jemo najmanj 6 oslonilnih točk na en posnetek. Izpopolnjena verzija omogoča korekcijo nelinearnega dela sistematičnih pogreškov. Avtorja postopka sta Y.I. Abdel-Aziz in H.M. Karara (literatura 6,7,8).

Postopek z enajstimi parametri sta izdelala H.Bopp in H.Krauss. Je le modificiran postopek direktne linearne transformacije. Osnovna razlika je v tem, da med enajstimi transformacijskimi parametri vpeljemo dva pogoja, ki ju vključimo v izravnavo. Podala sta tudi enačbe za ekspliciten izračun elementov notranje in zunanje orientacije (literatura 1).

Postopkov samokalibracije je več:

- osnovni postopek:
pri tem postopku ne potrebujemo, razen za absolutno orientacijo modela, nobenih prostorskih podatkov o objektu; razvil ga je O. Kölbl (literatura 9); kasnejša razširitev postopka omogoča tudi kalibracijo distorzije objektiva; postopek temelji na pogoju preseka homolognih žarkov;
- postopek UNB:
razvili so ga na univerzi v New Brunswicku (W. Faig, literatura 4); od osnovnega postopka se razlikuje po tem, da potrebujemo minimalno število oslonilnih točk, vendar je s tem omogočena kalibracija vsakega posnetka posebej;
- samokalibracija z enega stojišča:
objekt snemamo z enega stojišča z več konvergentnimi posnetki; za razliko od ostalih postopkov kalibracije ni potrebno, da je objekt prostorski (tridimenzionalen); postopek je izdelal W.Wester - Ebbinghaus (literatura 15).

Metoda analitične blokovne izravnave s posnetki je med vsemi najbolj splošna in univerzalna. Izhaja iz analitične aerotriangulacije, pri kateri elemente notranje orientacije upoštevamo v izravnavi kot neznanke.

Najboljša rešitev v zvezi s kalibracijo nemerskih kamer je prav gotovo postopek samokalibracije, vendar so matematične izpeljave dokaj zahtevne. Ta postopek je tudi v tujini zaenkrat še v eksperimentalni fazi.

5. Pogreški v fotogrametričnem procesu

V analitičnem fotogrametričnem izvrednotenju in izračunu je osnova matematični model centralne perspektive, ki je idealizirana slika fizične realnosti. Neujemanje centralne projekcije in realnosti se zrcali v pogreških, ki so fizikalne, mehanične, optične in fotografske narave (literatura 13). Pogreški nastajajo v fotogrametričnem procesu praktično v vseh njegovih fazah: med snemanjem, fotografsko obdelavo in izvrednotenjem. Popolna eliminacija pogreškov ni mogoča, vendar težimo k temu, da bi jih čimbolj omejili.

Teorija pogreškov razlikuje tri glavne vrste pogreškov (literatura 2): grobe, slučajne in sistematične. Do grobih pogreškov pride zaradi nepazljivosti, malomarnosti, neznanja itd. in jih ne moremo predvideti. Popolnoma jih lahko odpravimo z vestnim, strokovnim delom in z neodvisno kontrolo v posameznih fazah.

Slučajnim pogreškom se ne moremo izogniti, zato jih imenujemo tudi neizogibni pogreški. Vzroki so najrazličnejši (npr. natančnost komparatorja), predznaka jim ne moremo določiti, zakona vpliva največkrat ne poznamo. Teorija pogreškov se v glavnem ukvarja s temi pogreški. Iskane vrednosti optimiziramo z izravnavo po metodi najmanjših pogreškov.

Posebno mesto v fotogrametriji imajo sistematični pogreški. Le-ti pomenijo odklone od matematičnega modela, njihov najpomembnejši vzrok pa je nedovršenost instrumentov. Delujejo vedno enostransko (isti predznak). Če poznamo zakon, po katerem delujejo, jih lahko matematično korigiramo.

Vendar vseh sistematičnih pogreškov ne moremo izraziti z nekim zakonom, bodisi ker ne poznamo matematične odvisnosti, ali pa vzroka elementarnega pogreška.

S procesom snemanja se na posnetku analogno registrirajo podatki o objektu. S procesom analitičnega izvednotenja pa pretvarjamo analogne podatke v digitalne. Edini rezultat fotogrametričnega izvednotenja so tako strojne oziroma z ustrezno transformacijo izračunane slikovne koordinate, v katerih so zajeti vsi sistematični pogreški. Z računsko korekcijo merjenih koordinat lahko torej zmanjšamo sistematične pogreške. To je ena izmed glavnih prednosti analitične fotogrametrije. Sistematični pogreški so pri nemerskih kamerah bistveno večji kot pri merskih, medtem ko v slučajnih pogreških ni bistvenih razlik!

Ker so sistematični pogreški vsebovani v slikovnih koordinatah, je sistematični pogrešek v določeni točki odvisen le od njenega položaja na posnetku. V fotogrametriji zato sistematični pogrešek definiramo kot funkcijo položaja slikovne točke na posnetku: $s = f(x, y)$, pri čemer je s sistematični pogrešek, x, y pa sta slikovni koordinati točke. Takšna definicija ponuja nove možnosti za korekcijo sistematičnih pogreškov - v izravnavi upoštevamo dodatne korektorne člene, s katerimi skušamo čimbolj zmanjšati vpliv sistematičnih pogreškov, ne da bi poznali njihove posamezne vplive.

6. Sklep

Tako širokega področja, kot je bližnjleslikovna fotogrametrija, ni mogoče zadovoljivo prikazati tako na kratko. V prispevku sem zato navedla le nekatere osnovne definicije in nakazala možnosti, ki jih ponujajo simultani postopki analitične kalibracije.

Dosedanje izkušnje o uporabi nemerskih kamer pri nas so omejene le na manj natančne aplikacije (arhitektura, arheologija, snemanje prometnih nesreč ...), pri čemer je bila notranja orientacija kamer določena predhodno. Dosežene natančnosti so skromne, tako da si ne moremo ustvariti realne slike o fotogrametričnem potencialu nemerskih kamer.

Simultani analitični postopki kalibracije omogočajo enakovredno uporabo nemerskih kamer v bližnjleslikovni fotogrametriji, vendar jih pri nas v praksi še nismo uporabili. Predvsem je treba izdelati ustrezno softwarško opremo, ki bo omogočala uporabo teh postopkov.

Ne moremo trditi, da bodo nemerske kamere izpodrinile merske kamere v bližnjleslikovni fotogrametriji. Vsaka izmed njih ima določene prednosti in vsaka ima pomembno vlogo. Vendar se moramo pri nas zavedati, da so nemerske kamere popolnoma enakovredne merskim kameram in jih lahko uspešno uporabimo v številnih aplikacijah, kjer merskih ne bi mogli. Prepričana sem, da je naš razvoj bližnjleslikovne fotogrametrije odvisen med drugim tudi od tega, kako bomo znali uporabiti nemerske kamere.

Literatura

- 1/ Bopp, H., Krauss, H. 1978: An Orientation and Calibration Method for Non-Topographic Applications, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, str. 1191-1196.
- 2/ Čubranić, N., 1967: Teorija pogrešaka s računom izjednačenja, Tehnička knjiga, Zagreb.
- 3/ Döhler, M., 1971: Nahbildmessung mit Nicht-Messkammern, Bildmessung und Luftbildwesen, feb.
- 4/ Faig, W., 1975: Calibration of Close Range Photogrammetric Systems: Mathematical Formulation, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, str. 1479-1486.
- 5/ Höbenreich, L., 1985: Zasnova programa modificirane metode DLT z enajstimi parametri, diplomska naloga št. 345, Ljubljana, FAGG.

- 6/ Karara, H.M., 1972. Simple Cameras for Close-Range Applications, Photogrammetric Engineering, str. 447-451.
- 7/ Karara, H.M., Abdel-Aziz, Y.I., 1974: Accuracy Aspects of Non-Metric Imageries, Photogrammetric Engineering, str. 1107-1117.
- 8/ Karara, H.M., 1979: Handbook of Non-Topographic Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, 1. ed.
- 9/ Kölbl, O., 1972: Selbstkalibrierung von Aufnahmekammern, Bildmessung und Luftbildwissen, jan.
- 10/ Kölbl, O., 1976: Metric or Non-Metric Cameras, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, str. 103-113.
- 11/ Kosmatin, M., 1984: Fotogrametrično določevanje prostorskih pomikov, študij ob nalogi, Ljubljana, FAGG.
- 12/ Kosmatin, M., 1985: Zasnova in matematična formulacija analitičnega fotogrametričnega sistema za nemerske kamere, diplomatska naloga štev. 343, FAGG, Ljubljana.
- 13/ Schilcher, M., 1980: Empirisch-statistische Untersuchungen zur Genauigkeitsstruktur des photogrammetrischen Luftbildes, disertacija, DGK, München.
- 14/ Weste-Ebbinghaus, W., 1982: Zur verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie, disertacija, Bonn.
- 15/ Wester-Ebbinghaus, W., 1983: Einzelstandpunkt-Selbstkalibrierung - ein Beitrag zur Feldkalibrierung von Aufnahmekammern, DGK, München.
- 16/ Torlegard, K., 1981: Development of Non-topographic Photogrammetry and its Future, Finnish Society of Photogrammetry, anniversary publication.
- 17/ Wong, W., 1975: Mathematical Formulation and Digital Analysis in Close-Range Photogrammetry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, str. 1355-1373.