

ORIENT — UNIVERZALNA PROGRAMSKA PODRŠKA ZA FOTOGRAMETRIJSKA IZJEDNAČENJA

Lidija SEMAK, Teodor FIEDLER — Zagreb*

SAŽETAK. U radu je u najkraćim crtama predložen programski sustav ORIENT za univerzalno izjednačenje u fotogrametriji, načinjen u Institutu za fotogrametriju i daljinska istraživanja TU Beč. Prva verzija programa načinjena je 1976. i od tada se stalno dograđuje i usavršava, tako da je postao jedan od najkompleksnijih programa danas.

1. UVOD

Prva verzija programa ORIENT predložena je u Helsinkiju 1976. godine na Congress of the International Society for Photogrammetry. Od tada se program neprekidno razvija i usavršava u Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, tako da je do danas izrastao u vrlo moćan i kompleksan univerzalni alat za fotogrametrijska određivanja točaka na svijetu (ORIENT, 1991.).

Namijenjen je prvenstveno strogom izjednačenju pri prostornom određivanju točaka fotogrametrijskim metodama. Može biti shvaćen i kao sustav za izjednačenje trodimenzionalne mreže — triangulacije, jer sadrži i algoritme za obradu geodetskih opažanja, kakva su, recimo, smjerovi i dužine.

ORIENT je jednako uporabljiv u aerofotogrametriji kao i u terestričkoj fotogrametriji. Međutim, njegove najbolje kvalitete očituju se u primjeni u terestričkoj fotogrametriji, jer su u tom području potrebe za univerzalnošću i raznovrsnim tipovima podataka mnogo veće.

Dizajniran je za podržavanje projekata analitičke fotogrametrije, s vrlo jakim i zahtjevnim znanstvenom podlogom.

Osnovni moduli ORIENT-a su:

EDIT	— za unos podataka (npr. mjerenje)
UPDATE	— za pregledavanje i eventualne korekcije podataka
CREATE	— za kreiranje fiktivnih opažanja (GESTALTS)
PCCOR	— za transformaciju i korekciju slikovnih koordinata

* Lidija Semak, dipl. inž., prof. dr. Teodor Fiedler, Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26.

- ADJUST — za izjednačenje mjerenja, za pretraživanje i pronalaženje a zatim i otklanjanje grubih pogrešaka automatski, te za određivanje parametara
- CORMAN — za rukovanje podacima na osnovi naziva projekta koji objedinjuje sve podatke vezane uz taj projekt
- CALCULATE — za računanje smjerova, udaljenosti, koordinata i sl.

Korisnik komunicira s ORIENT-om preko komandnog jezika DIRAN. Kvazimeni-tehnika omogućuje korisnicima različitih nivoa iskustva različite načine komunikacije s ORIENT-om. Korisnik koji je vrlo umješan u radu s ORIENT-om ne mora koristiti meni-tehniku. Sam program može biti izvođen u interaktivnom ili batch modu.

Podaci u ORIENT-u organizirani su u dvije vrste datoteka (u terminologiji ORIENT-a su to »data rooms«):

- »observation rooms« i
- »parameter rooms«.

Observations su sve vrijednosti dobivene direktnim mjerenjem (na snimci, modelu, terenu). To su:

- slikovne koordinate (x, y),
- modelne koordinate (x, y, z),
- geodetska opažanja polarnom metodom (smjer, zenitni kut, dužina),
- orijentacijske točke objekta (X, Y, Z),
- fiktivna opažanja; opisuju točke objekta u njihovim geometrijskim odnosima (GESTALTS).

Parametri su sve veličine sadržane u funkcijama koje sudjeluju u procesu određivanja točaka:

- transformacijski parametri (kalibracije, transformacije) i
- dodatni parametri za:
 - određivanje deformacije snimke,
 - određivanje oblika gestalta.

2. OSNOVNE OPERACIJE S ORIENT-om

2.1 Transformacije

ORIENT koristi samo jednu specifičnu transformacijsku formulu nazvanu »specijalna slična transformacija« (»Spatial Similarity Transformation«). Sve transformacije korištene u ORIENT-u (npr. Model Transformation, Perspective Transformation, Control Point Transformation, Polar Point Transformation, Gestalt Transformation) izvedene su iz sljedeće osnovne formule:

$$(\underline{p} - \underline{p0}) = s * \underline{R}' * (\underline{P} - \underline{P0})$$

gdje je:

- \underline{p} — točka u koordinatnom sustavu s ishodištem u $\underline{p0}$
- \underline{P} — točka u koordinatnom sustavu s ishodištem u $\underline{P0}$
- \underline{R}' — transponirana matrica rotacije
- s — faktor mjerila

Ona treba izvršiti transformaciju iz jednoga koordinatnog sustava u drugi, ostavljajući oblik objekta nepromijenjenim, što znači da su dopuštene samo translacije, rotacije i promjene mjerila. Translacije i rotacije zajedno određuju stupnjeve slobode koje ta transformacija ima.

2.2 Izjednačenje zrakovnog snopa

Kako je ORIENT fotogrametrijski programski paket, njegova osnovna zadaća je izjednačenje izmjerenih podataka zabilježenih na snimci. Metoda podržana u programu je izjednačenje prostornih koordinata korištenjem zrakovnog snopa (bundle adjustment), pri čemu točke na snimci zajedno s projekcijskim središtem rekonstruiraju zrakovni snop koji je pri snimanju izvršio preslikavanje.

Da bismo mogli analitički rekonstruirati zrakovni snop, potrebno je rekonstruirati odnose koji su postojali prilikom preslikavanja, a to znači uspostavu koordinatnog sustava kamere s ishodištem u projekcijskom središtu i smjerom osi Z prema glavnoj točki snimke. Za rekonstrukciju položaja glavne točke snimke služe preslikane točke slikovnog okvira kamere, tzv. rubne markice. Poznavajući koordinate rubnih markica u slikovnom koordinatnom sustavu, moguće je učiniti transformaciju instrumentalnih koordinata u slikovni koordinatni sustav, odnosno koordinatni sustav kamere. Osim rubnih markica, potrebno je izmjeriti instrumentalne koordinate svih relevantnih točaka objekta. Točke se mjere u prikladnom mjernom uređaju koji treba osigurati potrebnu točnost, kao što je npr. monokomparator, stereokomparator, analitički stereoinstrument ili npr. digitalizator, ako nije potrebna visoka točnost koordinata. Kako je unutarnja orijentacija određena u koordinatnom sustavu kamere, snop zraka je rekonstruiran kongruentno u odnosu na snop koji je preslikao snimku.

Uz rekonstrukciju snopa zraka potrebna je i rekonstrukcija položaja kamere u trenutku eksplozije. Stoga treba odrediti položaj projekcijskog središta i položaj kamere u prostoru (vanjsku orijentaciju) za svaku pojedinačnu snimku. Nakon uspostavljanja unutarnje i vanjske orijentacije zrakovnih snopova objekt se rekonstruira prostornim presjekom naprijed homolognih zraka. Kao ulazne podatke ORIENT prvenstveno koristi slikovne koordinate, što ne znači da se u iznimnim slučajevima ne koriste i modelne koordinate. Najčešće je to onda kada ne postoji mogućnost mjerenja slikovnih koordinata, kao što je to na analognim stereoinstrumentima.

Točke snimljenog objekta razvrstavamo prema njihovom značenju na:

- | | |
|----------------------|--|
| vezne točke | — točke koje međusobno povezuju snimke, |
| orijentacijske točke | — točke koje povezuju snimku s koordinatnim sustavom objekta, te |
| ostale točke | — to su točke koje određuju objekt. |

Ta klasifikacija nema utjecaja na rad programa, jer on poznaje samo »točke«.

U ORIENT-u se ponekad koriste i modeli, npr. digitalni modeli objekata, koji u stanovitim slučajevima osiguravaju neophodne dodatne informacije. Pri rekonstrukciji prometne nesreće kao dodatna informacija mogu poslužiti digitalni modeli automobila koji su bili sudionici prometne nesreće. Ako je kvaliteta snimke slaba, takav digitalni model pridonosi stabilizaciji cjelovito-

ga rekonstruiranog modela prometne nesreće. Druga uporaba digitalnih modela je u strojarstvu. Pri rekonstrukciji nekog stroja mogu se digitalizirati nacrti pojedinih dijelova, a zatim primjenom ORIENT-ovih raznovrsnih transformacija, sastaviti model stroja u jednu cjelinu.

3. IZJEDNAČENJE I OTKRIVANJE POGREŠAKA

Različita mjerenja mogu biti uporabljena za određivanje parametara: ROTPAR (vektora rotacijskih parametara), INNORI (unutarnje orijentacije), SCALE (mjerila), OBJECT (koordinata točaka objekta), PRJCTR (projekcijskih središta) i ORIGIN (iskodišta). Svakom mjerenju pridružena je jedna jednadžba, matematička funkcija koja transformira točku objekta u njen položaj na snimci. Ta jednadžba, osim koordinata točke, sadrži i transformacijske parametre određene matematičke projekcije (perspektivne, slične, itd.). Svi ti parametri zajedno čine skup nepoznanica, koje se određuju u procesu računanja izjednačenjem po metodi najmanjih kvadrata.

Kako transformacijske funkcije u pravilu nisu linearne, izjednačenje se obavlja iterativnim postupkom. Za optimiranje konvergencije, neke grupe parametara smatraju se konstantama, a neke varijablama. Ako su npr. rotacijski parametri unaprijed poznati ili se mogu dostatno dobro aproksimirati, dok su projekcijska središta nepoznata odnosno ne mogu se dobro aproksimirati, rotacijski parametri se uzimaju u izjednačenju kao konstante, a projekcijska središta kao nepoznanice. Odluka o tomu prepuštena je stručnjaku koji na osnovi iskustva i teoretskih postavki određuje redoslijed odnosno oblikuje grupe parametara u izjednačenju modulom ADJUST. Učvršćivanje parametara ROTPAR (vektora rotacijskih parametara) i INNORI (unutarnje orijentacije) ili SCALE (mjerila) može biti provedeno tako da za izjednačenje ostaju jedino parametri OBJECT (koordinata točaka objekta) i PRJCTR (projekcijska središta) ili ORIGIN (ishodišta). Takav način kvazilinearne konvergencije ORIENT može podržati bez problema.

Sljedeća mogućnost ORIENT-a jest analiza pogrešaka, otkrivanje grubih pogrešaka i njihova eliminacija. Za otkrivanje grubih pogrešaka na raspolaganju su tri metode:

- *Analysis of residuals* (analiza odstupanja) — prikladna za vrlo velike pogreške i analizu konvergencije procesa izjednačenja;
- *Robust estimation* — pogodna za srednje velike pogreške. Utjecaj svakog opažanja u izjednačenju kontroliran je u ovisnosti o njegovoj nesuglasici (discrepancy) (momentano a priori pridružena težina). Pojedina opažanja, npr. s velikim odstupanjima, bit će korištena, no s malom težinom;
- *Data snooping* — prikladna za manje pogreške; na osnovi statičkih testova dobivaju se »a posteriori« normalizirana odstupanja (QVV).

Određene točke moguće je deaktivirati, tj. isključiti iz daljnjeg izjednačenja. Različite korekcije mogu biti načinjene u bilo kojem trenutku, što također uključuje i reaktiviranje ranije deaktiviranih točaka.

ORIENT se može koristiti za izjednačenje snimki načinjenih mjernim ili amaterskim kamerama. Mjerne kamere imaju poznatu unutarnju orijentaciju, kalibriranjem u laboratoriju određena je konstanta kamere, koordinate rubnih markica i radijalna distorzija objekta.

Za amaterske kamere ti podaci nisu poznati. Unutarnja orijentacija je nepoznata, ne postoje rubne markice. Uglovi slikovnog okvira mogu poslužiti kao zamjena, međutim i oni često nisu definirani dosta točno. Distorzija objekta tih kamera može biti znatna i imati velik utjecaj.

Univerzalni analitički programi za fotogrametrijska izjednačenja stoga trebaju imati i module za samokalibriranje, s obzirom na to da se sve češće u izvangeodetskoj fotogrametriji koriste amaterske kamere. Razlog je u tomu što se i iz takvih snimki odgovarajućim programima mogu dobiti vrlo kvalitetni rezultati. Zato danas više nije bitno klasificirati snimke na one dobivene mjernim i one dobivene amaterskim kamerama. I jedne i druge sadrže isti tip podataka, a mjerenjem u odgovarajućem uređaju dobiju se slikovne koordinate. No, treba napomenuti da se mora uzeti u obzir da za samokalibriranje treba imati na raspolaganju dostatan broj dobro određenih orijentacijskih točaka. Značajke snimaka uzimaju se u obzir tijekom računanja stohastičkim vrijednostima slikovnih koordinata (sigma-vrijednosti, npr. standardna devijacija slikovnih koordinata), te funkcijama koje sadrže dodatne parametre za distorziju.

ORIENT-om možemo izjednačivati:

- različite snimke korištenjem istoga projekcijskog središta,
- različite snimke uporabom istih rotacijskih parametara (u matrici rotacije) — uvođenjem usporednih koordinatnih sustava,
- različite snimke s istom unutarnjom orijentacijom,
- snimka i model mogu koristiti iste rotacijske parametre (uvođenjem usporednosti koordinatnih osi snimke i modela),
- projekcijsko središte se može deklarirati i kao krajnja točka geodetske dužine.

Na osnovi toga treba reći da je ORIENT u ovom trenutku vjerojatno najkompleksniji programski paket za fotogrametrijska izjednačenja u svijetu. Njegova vrijednost je upravo u podržavanju nestandardnih fotogrametrijskih postupaka. Za računanje deformacija velikih objekata (brana, mostova, stadiona), vještačenja pri prometnim nesrećama i drugim nezgodama koje izazivaju veće materijalne štete.

Vještačenja se često ne obavljaju u trenutku događaja već kasnije, na osnovi slučajnih snimaka što su ih snimila prolaznici, ljudi na gradilištu, i sl. Takve snimke redovito su napravljene amaterskim kamerama (dakle nekalibriranim), s različitim i nepoznatim dispozicijama snimanja (jedna snimka horizontalna, druga vertikalna), s više amaterskih kamera različitih žarišnih duljina i nepoznate unutarnje orijentacije. Često su to i polaroid-kamere. Međutim, ORIENT-om nisu postavljena ograničenja u tom smislu, kao što je često u drugim fotogrametrijskim programima.

U fotogrametriji ili geodeziji općenito, u radu je uobičajeno grafikom prikazati raspored točaka, odstupanja ili utjecaj dodatnih parametara. Za takve namjene u ORIENT-u služi PLOT modul koji omogućuje na bilo kojem grafičkom monitoru PC-a ili linijskom printeru izradbu QUICKPLOT crteža, grafičkog prikaza točaka opisanih anotacijama, kao što su:

- brojevi,
- koordinate,

- koordinatne razlike i
- odstupanja.

Fotomontaža novih dijelova objekta na snimke postojećeg stanja izvodi se također modulom PLOT (inverzna fotogrametrija).

4. NEKOLIKO PRIMJERA PRIMJENE ORIENT-A

ORIENT se primjenjuje u arhitekturi, strojarstvu, rekonstrukcijama prometnih nesreća, studijama o deformacijama velikih objekata, arheologiji, rudarstvu, graditeljstvu itd.

Stare zgrade koje zahtijevaju renoviranje ili revitalizaciju često su objekti fotogrametrijske izmjere. Takvu zadaću moguće je obaviti i geodetskim metodama, no ostaje upitnim mogu li se geodetske metode usporediti s fotogrametrijom u smislu:

- isplativosti,
- točnosti,
- mogućnosti realizacije,
- homogenosti i
- cjelovitosti.

Fotogrametrijske metode izmjere sjedinjuju dokumentaciju svih mjerenja na objektu i samog objekta. Fotogrametrijska izmjera može biti naknadno ponovljena, čak i nakon što je objekt izmijenjen ili pak uništen. Više ne postoje ograničenja u fotografskom snimanju u svrhu mjerenja. Čak i pročelja s obje strane visoke uske ulice, snimana odozdo, mogu biti kartirana fotogrametrijski točku po točku. Linijski crtež u tom slučaju može biti izveden spajanjem točaka prema redoslijedu vidljivom iz snimke.

Pri snimanju valja obratiti pozornost na sljedeće: svaka točka koju treba odrediti mora se presjeći s najmanje dvije zrake pod odgovarajućim kutom presjeka, a vrlo često presijeca se više snimaka. Kut presjeka je osnovni parametar buduće točnosti prostornog određivanja. U ORIENT-u se mogu kombinirati podaci različitih vrsti snimaka, npr. horizontalne sa strmim i/ili kosim snimkama, sve u istom bloku.

ORIENT daje podršku aplikacijama fotogrametrije u strojarstvu. Fotogrametrija se može uspješno koristiti za iscrtavanje i kartiranje tehničkih objekata kao što su strojevi i aparati. Za razliku od primjene u arhitekturi, u strojarstvu je redovito potrebna viša točnost, ponekad se očekuje srednja pogreška od ± 0.1 mm pa i ± 0.01 mm. Fotografiranje često može biti otežano, posebice ako je objekt komplicirana oblika, pa njegovi zaklonjeni dijelovi onemogućuju dobivanje točaka s više od jednog snimka. Za postizanje potrebne vrlo visoke točnosti, neophodno je obaviti signalizaciju potrebnog broja točaka, što se često spočitava kao nedostatak fotogrametriji i ponekad onemogućuje primjenu, no to nije fotogrametrijski problem već posve tehnički.

Konkretan primjer primjene ORIENT-a je npr. krov nogometnog stadiona u Prateru u Beču (Schlögelhofer, 1986.). To je jedan od najvećih stadiona na svijetu (32 000 m² površine krova) i ima posebnu konstrukciju. Osam stotina četvornih točaka čelične konstrukcije trebalo je mjeriti u tri različite faze, svaki put u roku od samo tri sata. Svaki put su s kрана dizalice načinjene 72 širokokutne i superširokokutne snimke mjerila snimanja 1 : 150 do 1 : 500.

Čvrste kontrolne točke bile su samo na terenu. Za dodatnu kontrolu nekoliko je točaka izmjereno polarno sa slobodnih stajališta i simultano sa snimanjem, a k tomu još šest dužina između parova veznih točaka.

Izjednačenjem bloka od 72 snimke i 3000 nepoznanica obrađeno je 10 800 mjerenja. Srednja pogreška od ± 0.010 mm postignuta je u očitavanju slikovnih koordinata nesignaliziranih točaka. Srednja pogreška koordinata čvorišta čelične konstrukcije je između ± 5 mm i ± 15 mm.

LITERATURA

- ORIENT (1991): The Universal Photogrammetric Adjustment Package, Reference Manual, Viena.
reichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 1984., 3,
Schlögelhofer, F. (1986): Bauüberwachung mit Hilfe der Photogrammetrie, Öste-
167—176.

ORIENT — A UNIVERSAL PHOTOGRAMMETRIC ADJUSTMENT SYSTEM

In a very short way ORIENT-a universal photogrammetric adjustment system is presented in the paper. The system is made at the Institute for Photogrammetry and Remote Sensing Technical University of Viena. The first concept of ORIENT was done in 1976. Since that time ORIENT has grown to become most complex program for photogrammetric point determination now-a-days.

Primljeno: 1992-12-20