

## PRIMJENA PROGRAMA „GEOPS” PRI IZJEDNAČENJU TRIGONOMETRIJSKE MREŽE ZA POTREBE PROJEKTA „CHINGAZA” U COLUMBIJI

Nenko FOSKARINI — Split

Mogu kazati, da nijedna grana naše industrije nije izvršila takav prodor na svjetsko tržište kao brodogradnja i građevinarstvo. Danas po čitavom svijetu susrećemo naše građevinare. Na Ceylonu, u Zambiji, Peruu, Panami, Cipru i drugdje, susrećemo strojeve sa oznakom Energoprojekta, Konstruktora, Pomgrada i drugih. Treba uložiti dosta napora i znanja, da bi se povjereni radovi priveli kraju kvalitetno i na vrijeme. Projekti bivaju sve obimniji, a rokovi sve kraći. U borbi s vremenom i mi geodeti nismo smjeli ostati po strani, već smo morali pronalaziti metode rada, koje mogu pratiti snažnu dinamiku ostalih.

Projekt »CHINGAZA« contract »CHUZA« I, kojeg splitski »KONSTRUKTOR« izvodi u Columbiju, obuhvaća između ostalog i izbijanje četiriju tunela: Palacio-Rio Blanco, Guatiquia, Siberia i Usaquen u ukupnoj dužini od 37 km. Najduži tunel je Palacio-Rio Blanco, dužina kojeg iznosi 28,5 km. Domaćini ga smatraju najdužim tunelom na svijetu (MAS LARGO TUNEL DEL MUNDO). Vrijednost do sada ugovorenih radova iznosi 35 miliona dolara. Ukupna vrijednost projekta iznosi 120 miliona\$. Ostaje da se do kraja ove godine raspiše licitacija za Contract (ugovor) CHUZA II. Nadamo se da će taj posao biti dodijeljen nama, »Konstruktoru« iz Splita.

Projektant je za potrebe »Chingaza« projekta stabilizirao trigonometrijsku mrežu »Chingaza-Teusaca«. To je u stvari trilateracija od 19 točaka, od kojih su 4 poznate točke državne triangulacije, a jedna je čak Laplaceova točka. Pored toga što je projektant stabilizirao, opservirao i izjednačio mrežu, odgovornost za kvalitet radova i proboj tunela je na strani izvađača. Zapravo postoji jedna klauzula ugovora, koja kaže:

*»Izvađač će od projektanta dobiti početne referentne točke, kada se izvađač uvjeri u ispravnost koordinata i kota tih točaka, može stabilizirati dodatne pomoćne točke, te otpočeti sa radovima.«*

Dakle, kad se izvađač uvjeri . . . , što znači treba izvršiti kontrolu mjerenja i računanja trilateracije, pa tek onda otpočeti radove.

Iz elaborata kojeg smo od projektanta dobili, lako smo ustanovili, da u njihovom izjednačenju ima krupnih teoretskih zabluda, o čemu ću pisati drugom zgodom. Preciznim mjerenjem kutova u 12 ponavljanja sa theodolitom WILD T3 na točkama Palacio i Colorado uvjerio sam se da je izjednačenje pogrešno za znatan iznos (izmjereni kutovi i oni dobiveni iz koordinata



razlikovali su se za oko 10 sekundi). Jasno u toj razlici inkorporirane su i greške mjerenja. Nisam mogao znati koliko je utjecaja pogrešnog izjednačenja, a koliko mjerenja, a da strogo naučnom metodom ne ponovim izjednačenje. Trebalo je dakle izjednačiti mrežu od 19 točaka, koja kad bi se izjednačavala metodom uvjetnih mjerenja ima pedesetak uvjeta. To je dugo trajan posao, a radovi ne mogu čekati. Raspolagao sam s podacima mjerenja dužina, težinom mjerenja, kontrolnim mjerenjima pravaca u točkama Palacio i Colorado, te sa skromnim znanjem iz programiranja, stečenim na trima IBM seminarima.

Povezao sam se sa IMB centrom u Bogoti i u njihovoj programskoj biblioteci pronašao program »GEOPS«. Za postojanje programa »GEOPS« saznao sam pred oko godinu dana, kada sam u dokolici »čakulao« s jednim programerom iz ERC, koji se nalazi nasuprot frankfurtske željezničke stanice. Uz pomoć sistem-inženjera gospodina Eduarda Uribe-a iz IMB-vog ERC u Bogoti, inače građevinskog inženjera, »GEOPS« je prebačen na disk. Ljubazni gospodin Uribe sastavio je administrativni dio programa i Job control dio. Ostalo sam morao obaviti sam.

Testiranje programa izveo sam na triangulaciji od 9 uvjeta, koju sam svojevremeno razvio za potrebe projekta »Mehawelli Ganga« na Ceylonu, u okviru kojeg je trebalo izbiti 8. km. dugačak »Polgolla« tunel. Kad sam se testiranjem tog programa uvjerio u ispravnost pristupa »Geops«-u, prišao sam izjednačenju mreže »Chingaza-Teusaca«. Bilo je potrebno 24 minuta računaru, da izbací kompletne rezultate, koje ovom radu prilažem. U izjednačenje sam ubacio i moj opservirani kut u točki Colorado. U procesu izjednačenja taj je kut dobio popravku od svega 0.03 sekunde. Opservirani kut u točki Palacio nije ubačen u izjednačenje. Međutim upoređivanje toga kuta sa izračunatim daje razliku od 1.16 sek. što je unutar točnosti mjerenja.

Analiziraju li se rezultati izjednačenja vidjet će se, da su popravke mjernih dužina vrlo malene, što potvrđuje veoma visoku točnost tih mjerenja, a ujedno dokazuje ispravnost konstatacije, da je projektant loše izjednačio mrežu, jer su njegove popravke mnogostruko veće.

Specificirana točnost izjednačenja iznosi 0.15 m. Računar je izbacivao sukcesivno one dužine, koje su zahtijevale veću popravku od specificirane. Te dužine nemaju uticaja na rezultat.

#### GEODETIC PROGRAM SYSTEM »G E O P S«

Grupa autora iz IBM tehničkog odjela u Stuttgart-u izdala je 20. 3 1970. god. tzv. »Geodetic program system« ili skraćeno »GEOPS«. GEOPS, koji obuhvaća 6 administrativnih i 16 računskih programa za IBM system/360, koji mogu biti podijeljeni u tri grupe.

1. Administrativni program za unošenje ulaznih podataka za definiciju ulaznih i izlaznih uvjeta i drugih funkcija.
2. Računske programe iz domene Niže geodezije.
3. Računske programe iz domene Više geodezije.

Program funkcionira za IBM system/360. Minimalna konfiguracija je:

Jedan IBM 2030 CPU model E (32K)

Dva IBM 2311 disk storage drivers

Uređaj za bušenje kartica (a card punching device)

Uređaj za čitanje kartica (a card reading device)

Uređaj za štampanje (a printer)  
Jedna magnetska traka (one tape unit)

Program je uglavnom napisan jezikom Fortran IV, osim nekih rutina koje su napisane jezikom Assembler. Postoji verzija »GEOPS« programa za IBM system/1130. »GEOPS« sadrži slijedećih 16 programa:

Minor point orthogonal program;  
Minor point polar program;  
Setting-out date program;  
Similarity transformation program;  
Distance computation program;  
Intersection program  
Tangents program;  
Traverses program;  
Area computation program;  
Area subdivision program;  
Ground control point program;  
Measured distance evaluation program;  
Geodetic network edjustment program;  
Elevation network adjustment program;  
Transformation I. program;  
Transformation II. program.

Ovde će biti govora samo o »Geodetic network adjustment program-u« (program za izjednačenje trigonometrijske mreže). Ovaj program je najslabiji i najinteresantniji. Iznosim ga, zbog ograničenosti prostora, samo u glavnim crtama. Čitaoce, koji su zainteresirani za detaljno izučavanje ovog i ostalih »GEOPS« programa upućujem na adresu izdavača: *Walter Eckel — DP-PDC IBM Germany, Schwäbestrasse 43 D-7000 Stuttgart 1*

## GEODETIC NETWORK ADJUSTMENT PROGRAM

Objašnjenje koje slijedi namijenjeno je korisnicima, geodetskim stručnjacima, koji imaju minimalna znanja iz elektronske obrade podataka, pa će bezuvjetno, eventualno korištenje ovog programa morati izvoditi u suradnji s profesionalnim programerima. Čitav administrativni program, računski program, subprogrami i subrutine dobivaju se od izdavača, a reproducirane su na magnetskoj traci. Smatram da za korisnika programa nije bitno poznavanje sadržaja programa, subprograma i rutina (isto kao što za korisnika televizije nije bitno poznavanje njene konstrukcije). Ovakvim postavljanjem stvari znatno se proširuje krug korisnika. U svim većim elektronskim računskim centrima (ERC) djeluju geodetski stručnjaci kao verzirani programeri, a negdje kao rukovodioci ERC, pa ovu činjenicu naša šira geodetska javnost može iskoristiti pa mukotrpana geodetska računanja obaviti u ERC.

Geodetic network adjustment program (GNAP), izvodi izjednačenje trigonometrijske mreže metodom posrednih mjerenja, dužina ili pravaca. Koncipiran je tako, da podaci mjerenja mogu biti pravci ili dužine ili bilo koja kombinacija pravaca i dužina. U karticama, koje sadrže mjerene podatke (measured data card) najprije ulazi mjereni pravac (u stupce 35-43), a zatim mjerena dužina (u stupce 44-52). Ako je mjerena samo dužina onda bilo gdje u stupcima 35-43 mora ući —1 (minus jedan).

Za svaki mjereni podatak može se uvesti pripadajuća težina. Ako mjereni popravci i dužina nemaju istu težinu, što je općenito slučaj, onda pravac i dužina ulaze u dvije različite kartice.

Glavna kartica (header card) sadrži detaljne instrukcije za izvršenje programa, kao što su:

- a) kodeks da li se unose ili treba računati približne koordinate
- b) kodeks za izlazne podatke,
- c) kodeks za dodatne izlazne podatke (outline),
- d) kodeks za odabranu projekciju. Moguće su Gauss-Krueger-ova i Univerzalna tranzverzalna Mercatorova projekcija,
- e) kodeks za elipsoid na kojem će redukcija biti izvršena. Mogućnosti su: Hayford-ov, Bessel-ov i elipsoid Krasovskog,
- f) kodeks za notaciju kuteva; centezimalna i sexagezimalna,
- g) specificirana tolerancija za srednju pogrešku koordinata.

Kada je ova tolerancija specificirana, onda program automatski, sukcesivno, odbacuje one mjerene veličine (jednadžbe pogrešaka), koje utiču da specificirana točnost biva prevaziđena. Odbačene mjerene veličine nemaju uticaj na rezultat izjednačenja. Jasno je, da tolerancija mora biti u skladu sa točnošću mjerenja, jer bi u protivnom sva prekobrojna mjerenja bila odbačena. Ako tolerancija nije specificirana, ulaze u izjednačenje sva mjerenja i rezultat je jednak rezultatu manuelnog izjednačenja.

Rečeno je da približne koordinate mogu biti računane u samom programu. Ako se raspolaze sa približnim koordinatama traženih točaka, optimalno ih je uvrstiti u program. Ovi podaci unose se kroz tzv. »new point data cards«. Iza ovih kartica slijedi »separator card«, a iza nje već spomenuta »measured data cards«. Ukoliko ima ekscentričnih mjerenja, uvode se tzv. »centering data cards«. Kartice se unose i čitaju slijedećim redom:

1. Header card,
2. New point cards (ako postoje),
3. Separator card (ako postoji),
4. Measured data cards,
5. Centering cards (ako postoje).

Znači obavezne su header card i measured data cards tj. glavna kartica i kartice sa podacima mjerenja.

Fiksni uvjeti smjera i baze mogu biti također uvođeni i to tako da se željenom fiksnom podatku dade težina 99999.999, dok se mjenim veličinama daje, recimo, težina 1.000. Praktički fiksni uvjet je mjereni podatak s veoma velikom težinom. Uvođenje fiksnih uvjeta komplicira izjednačenje, jer zahtijeva unošenje kroz kartice podataka za svako stajalište i mjerenu dužinu i mjereni pravac. Jasno rijetko raspoložemo sa oba podatka, onda se postupa tako, da se iz bolje skice izvade podaci, koji manjkaju i sa težinom 0.001 unose se u karticu podataka. Treba naglasiti da se kod metode posrednih mjerenja rijetko nameće potreba uvođenja fiksnih uvjeta.

Koordinate poznatih točaka unose se u »point data table« (PDT) preko tzv. »fixed point data cards«, i to prije ostalih kartica sa podacima. Ako je specificirano u header card i koordinate traženih točaka mogu nakon izjednačenja biti prenesene u point data table zbog eventualnog transformation programa I i II.

Izjednačenje se izvodi u skladu sa teorijom najmanjih kvadrata, po metodi posrednih mjerenja.

Program formira jednadžbe pogrešaka, koje u općem obliku za mjereni (ravni) pravac za stajalište  $P_i$  i vizurnu tačku  $P_k$  sa težinom  $P_{ik}$  izgledaju kako slijedi:

$$v_{ik} = [a_{ik} \cdot dx_i + b_{ik} \cdot dy_i] + [a_{ki} \cdot dx_k + b_{ki} \cdot dy_k] - [dw_i - l_{ik}]$$

(1)

(2)

(3)

gdje su:

$v_{ik}$  = korekcija jednadžbe pogrešaka (residual),

$a_{ik}, b_{ik}, a_{ki}, b_{ki}$ , su koeficijenti pravaca,

$l_{ik}$  = apsolutni član,

$dx_i, dy_i; dx_k, dy_k; dw_i$  = koordinatne nepoznanice i nepoznata orijentacija

Značenje triju članova jednadžbi pogrešaka je slijedeće:

- Za viziranje sa poznate na poznatu tačku, jednadžba pogrešaka sadrži samo član 3.
- Za viziranje sa poznate na nepoznatu tačku jednadžba pogrešaka sadrži članove 2 i 3.
- Kod viziranja sa nepoznate na poznatu tačku jednadžba pogrešaka sadrži članove 1 i 3.
- Kod viziranja sa nepoznate na nepoznatu tačku jednadžbi pogrešaka egzistiraju članovi 1, 2, i 3.

Jednadžba pogrešaka za mjerenje dužinu za stajalište  $P_i$  i za vizurnu tačku  $P_k$ , sa težinom  $P_{ik}$ , izgleda u općem obliku ovako:

$$v_{ik} = [a_{ik} \cdot dx_i + b_{ik} \cdot dy_i] + [a_{ki} \cdot dx_k + b_{ki} \cdot dy_k] - [l_{ik}]$$

(1)

(2)

(3)

Upotrebljeni simboli imaju slijedeće značenje:

$v_{ik}$  = korekcija jednadžbe pogrešaka (residual),

$a_{ik}, b_{ik}, a_{ki}, b_{ki}$ , = koeficijenti dužina,

$l_{ik}$  = apsolutni član,

$dx_i, dy_i; dx_k, dy_k$  = koordinatne nepoznanice.

Značenje triju članova jednadžbi pogrešaka je kako slijedi:

- Ako mjerimo dužinu od poznate do nepoznate tačke egzistiraju članovi 2 i 3.
- Ako mjerimo dužinu od nepoznate do poznate tačke postoje članovi 1 i 3.
- Ako mjerimo dužinu od nepoznate do nepoznate tačke postoje sva tri člana 1, 2 i 3.

Programom se formiraju normalne jednadžbe koje imaju (klasičan) opći oblik:

$$[paa] \cdot x_1 + [pab] \cdot x_2 + [pac] \cdot x_3 + \dots - [pal] = 0$$

$$[pba] \cdot x_1 + [pbb] \cdot x_2 + [pbc] \cdot x_3 + \dots - [pbl] = 0$$

$$[pca] \cdot x_1 + [pcb] \cdot x_2 + [pcc] \cdot x_3 + \dots - [pcl] = 0$$

itd.

Ovdje nepoznanice  $x_1, x_2, x_3 \dots$  predstavljaju vrijednosti  $dx_1, dy_1, dw_1$  itd.

Rješavanje normalnih jednažbi bazira se na primjeni Gauss-ovog algoritma.

### PROGRAMSKE RESTRIKCIJE

— Već smo rekli da treba izbjegavati fiksne uvjete. Oni zapravo i ne dolaze u obzir kod posrednih mjerenja.

— Svako stajalište i vizurna točka može imati samo jedan ekscentricitet.

— Naziv ili broj ekscentrične točke mora biti jednak nazivu ili broju centra.

— Postoje još neka ograničenja u pogledu centriranja formalnog značaja.

### OGRANIČENJA U POGLEDU OBIMA PROGRAMA

— Maksimalni broj danih točaka	30
— Maksimalni broj traženih točaka	20 (120)
— Maksimalni broj kartica sa podacima mjerenja	150 (750)
— Maksimalni broj opserviranih vrijednosti	150 (750)
— Maksimalni broj ekscentričnih točaka	10
— Maksimalni broj svih ekscentričnih pravaca	50
— Maksimalni broj opažanja sa jedne točke	10
— Maksimalni broj opažanja prema jednoj točki	10
— Maksimalni broj nepoznanica	50 (300)

Brojke u zagradama označuju mogućnost, koja bi se mogla stvoriti modifikacijom programa, uz kapacitet računara 64 K i sa četiri diska.

Upoređenjem ovako izračunatih koordinata i onih koje je dao projektant ustanovila se razlika i do 3 metra. Projektantu smo prezentirali naše rezultate. On ih je proučio i obaviješteni smo da nastavimo vođenje radova na osnovi naših koordinata.

*Napomena uredništva:* Autor je članku priložio jedan primjerak kompjuterskog *output-a*, koji sadrži standardne *output* podatke. U koliko se zahtijeva *header* *carol* *output* može biti i proširen. Iz tehničkih razloga taj se prilog nije mogao štampati u Geodetskom listu.