

UDK 520.872+524.822+528.181.8

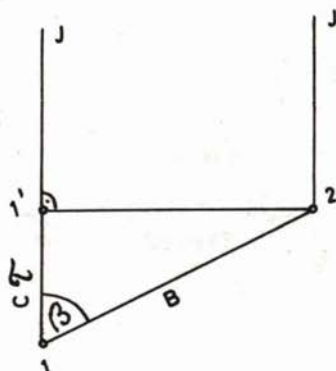
NOVA TEHNIKA ZA VISOKOTAČNE GEODETSKE RADOVE

Abdulah MUMINAGIĆ — Sarajevo*

Svjedoci smo takoreći svakodnevnih pojava sve novijih, tačnijih i moćnijih geodetskih instrumenata, pribora i aparata, u čiju principijelnu šemu su ugrađena najnovija dostignuća satelitske, elektronske i računarske tehnike. Zbog relativno slabe međunarodne saradnje naših naučnih institucija i naučnika, našoj stručnoj javnosti slabo su poznata ova tehnička dostignuća, koja omogućavaju rješavanje dosad nerješivih naučnih problema geodezije i to sa upravo fantastičnom tačnošću. Zbog toga želim da u Geodetskom listu kažem koju riječ o nekima od njih. Izostaljena je (već) klasična satelitska (kosmička) geodezija, o kojoj su na ovim stranama pisali naši poznati naučnici.

1. METODA RADIOINTERFEROMETRIJE

U početku se razvila metoda tzv. kratkobazisne radiointerferometrije, koja se koristila za veoma tačno određivanje pravaca na izvor radiozračenja. Sastoji se u slijedećem (sl. 1):



Sl. 1

Prijemne stanice 1 i 2 smještene su na krajevima baze B poznate dužine. One antenama hvataju harmonijske radio signale emitovane sa izvora J, udaljenog od

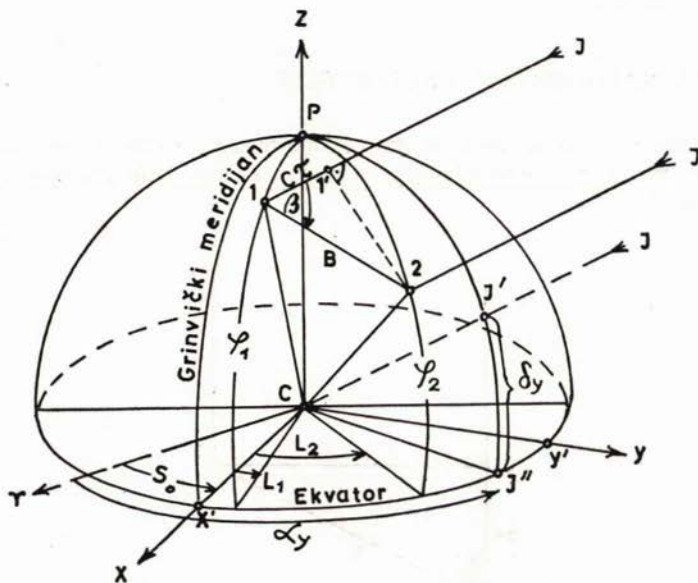
*Adresa autora: Prof. dr. Abdulah Muminagić, Građevinski fakultet, Sarajevo, Hasana Brkića 24

1 i 2 toliko da se pravci s njega na antene mogu smatrati paralelnim, odnosno da se nalaze u istoj ravni koja prolazi kroz 1 i 2. Po razlici faza valova primljenih u 2 i 1 može se odrediti vrijeme τ potrebno da talasni front $\overline{1'2'}$ prođe od stanica 2 do 1. Brzina rasprostiranja elektromagnetskih talasa c poznata je s visokom tačnošću, pa se odrezak $\overline{1'1} = c \cdot \tau$ može veoma precizno sračunati. Iz slike je

$$\cos \beta = \frac{c \cdot \tau}{B} \quad (1)$$

Interferometrima sa jedinstvenim sistemom registracije dobila se zadovoljavajuća tačnost sa bazom $B < 5\text{km}$. Srednja kv. greška određivanja pravca na izvor bolja je od $\pm 0''$, 1, pa se on i koristio za sastavljanje kataloga prirodnih izvora radijacije, ili pravaca na satelit.

Za geodetske svrhe, kao i za otkrivanje i metričko definisanje parametara Zemlje i pojava iz njezinog života mnogo je perspektivnija radiointerferometrija s veoma dugačkim bazama, čije su onovne ideje već 1965. godine dali sovjetski radioastronomi L. I. Matvejenko, N. S. Kardašev i G. B. Šolomnjicki. Postupak je u literaturi poznat pod imenima RSDB- Radiointerferometrija so Sverhdlinnoj Bazoj i VLBI — Very Long Base Interferation. Radi objašnjenja (sl. 1 prenijećemo na jediničnu sferu sa centrom u C zemljine mase. (Sl. 2).



Sl. 2

Radioteleskopi, postavljeni na stanicama 1 i 2 s *nezavisnim* vremenskim standardima, primaju radiozračenja od veoma udaljenog prirodnog izvora J — obično kvazara.¹ Signali (talasi) po svom karakteru imaju izgled šuma. Na slici 3 pred-

¹Skracenicna od engl.: Quasistellar radiosource. To su vangalaktički objekti, po izgledu slični zvijezdama, i luče radiotalase koji imaju karakter šuma. Danas ih je moguće opažati oko 100000. Najbliži su udaljeni od Zemlje oko 650 miliona svjetl. godina.

stavljeni su ovi signali razvijeni po vremenu t , primljeni na stanicama 1 i 2. Njihov napon neka je Z . On je potpuno identičan za obje stanice samo je pomaknut jedan u odnosu na drugi za vrijeme $t_0 = \tau + \tau_0$, gdje je τ -vrijeme potrebno da valni front pređe od 2 do 1, a τ_0 - razlika vremenskih skala u tim stanicama. Napon Z radio signala bilježi se na magnetnu traku pomoću jakih magnetoskopa.

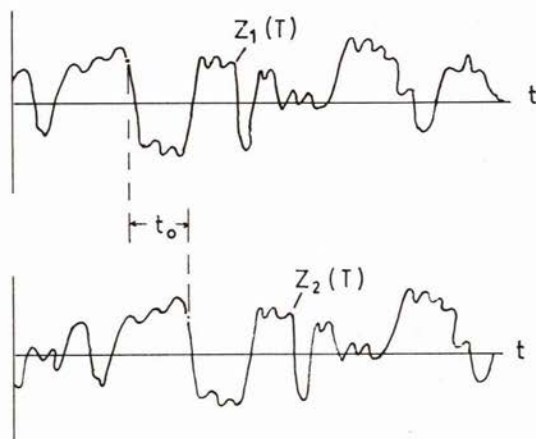
Vremenski pomak se određuje pomoću korelacione analize registracije napona na obje stanice, zapravo pomoću računanja korelacionih momenata

$$C(t) = Z_2(T) \cdot Z_1(T) = Z(T) \cdot Z(T + t).$$

Mijenjajući t može se naći maksimalna vrijednost $C(t)$, a to je upravo kada je $t = t_0$, odnosno

$$C(t)_{\max} = Z(T) \cdot Z(T + t_0).$$

Činjenica da ova radiozračenja imaju karakter šuma omogućava jednoznačno određivanje t_0 . Ako bi ono imalo sinusoidni izgled maksimumi bi se ponavljali regularno u intervalima $t = \frac{\lambda}{c}$, tj. zadatak bi bio neodređen. Radi tačnijeg određivanja t_0 treba registrovati talase u širem dijapazonu, ili u više kratkih intervala.



Sl. 3

Posle uvođenja popravke za refrakciju na osnovi (1) imamo:

$$ct_0 = c\tau_0 + c\tau = c\tau_0 + B \cos \beta, \quad (2)$$

gdje je, kako je već napomenuto, τ_0 razlika vremenskih skala u 1 i 2.

Sve će se predstaviti u ekvatorskom pravouglu koordinatnom sistemu, čiji je koordinatni početak u C, Z osa podudara sa momentalnom svjetskom osom, X osa je presjek ekvatorske i momentalne ravni nultog meridijana, a Y osa je upravna na nju. α_j i δ_j su respektivno momentalna rektascenzija i deklinacija kvazara. Geografske koordinate stanica su: 1 (φ_1, L_1), 2 (φ_2, L_2).

Kosinusi uglova koje zaklapaju pravci u prostoru sa koordinatnim osama zovu se smjerni kosinusi. Radi kratkoće kosinus ugla koji zaklapa pravac sa X osom obi-

Iležava se sa 1, sa Y osom je m, i sa Z-osom n. Po poznatoj formuli analitičke geometrije kosinus ugla između dva pravca u prostoru jednak je sumi proizvoda odgovarajućih smjernih kosinusa. Tako je:

$$\cos \beta = l_{1.2} l_{1.j} + m_{1.2} m_{1.j} + n_{1.2} n_{1.j}$$

Iz sfernog trougla $X'J'J''$: $\cos(J \cdot X) = l_{1.j} = \cos \delta_j \cos(\alpha_j - S_0)$;

Iz sfernog trougla $Y'Y'I''$: $\cos(J \cdot Y) = m_{1.j} = \cos \delta_j \sin(\alpha_j - S_0)$;

U ravni meridijana tačke J: $\cos(J \cdot Z) = n_{1.j} = \sin \delta_j$.

S_0 je ovdje grinvičko zvjezdano vrijeme, neispravljeno za kretanje polova. Kad se ovo uvrsti u (2) i znajući da je:

$$Bl_{1.2} = \Delta X_{1.2}$$

$$Bm_{1.2} = \Delta Y_{1.2}$$

$$Bn_{1.2} = \Delta Z_{1.2}$$

dobije se:

$$ct_0 = c\tau_0 + \Delta X_{1.2} \cos \delta_j \cos(\alpha_j - S_0) + \Delta Y_{1.2} \cos \delta_j \sin(\alpha_j - S_0) + \Delta Z_{1.2} \sin \delta_j.$$

Usvojimo da je α razlika vremenskih sistema na stanicama 1 i 2 za neku epohu T_0 . Neka je b-relativni hod časovnika na 1 i 2. Onda je u momentu T:

$$\tau_0 = a + b(T - T_0), \text{ čime se konačno dobija:}$$

$$ct_0 = ca + cb(T - T_0) + \Delta X_{1.2} \cos \delta_j \cos(\alpha_j - S_0) + \Delta Y_{1.2} \cos \delta_j \sin(\alpha_j - S_0) + \Delta Z_{1.2} \sin \delta_j. \quad (3)$$

Ovo je prva osnovna jednačina radiointerferometrije sa veoma dugim bazama. Međutim, zbog okretanja baze $\bar{1.2}$ zajedno sa Zemljom mijenja se i ct_0 sa vremenom.

Brzina ove promjene izraziće se izvodom $\frac{d(ct_0)}{dT}$, pa će svakom momentu T odgovarati neko drugo t_0 .

Radi određivanja brzine ove promjene zgodno je koristiti registracije zračenja radioizvora u veoma malim dijapozonima, u kojima se talasi mogu smatrati harmonijskim (sinusoidnim). To su na sl. 3 naprimjer dijelovi talasa obilježeni sa $Z_1(T)$ i $Z_2(T)$. T tom slučaju će se, kako je već ukazano maksimumi korelacione funkcije

$C(T)$ ponavljati u intervalima $\Delta T = \frac{\lambda}{c}$. Ako se ova vrijednost uvrsti u prvi izvod (3) po T izlazi:

$$c = \frac{dt_0}{dT} \Delta T = \lambda.$$

Broj pojaseva interferencije (broj ekstrema) na jedinicu vremena biće onda :

$$v_F = \frac{1}{\Delta T} = \frac{cdt_0}{\lambda dT}.$$

Ova veličina se i određuje iz analize registracija pomoću radiointerferometra.

Diferenciranjem (3) i znajući da je $\frac{dS_0}{dt} = \omega$ — uglovna brzina okretanja Zemlje, dobija se:

$$\lambda \cdot v_F = c \frac{dt_0}{dT} = cb + \omega \Delta X_{1,2} \cos \delta_j \sin(\alpha_j - S_0) - \omega \Delta Y_{1,2} \cos \delta_j \cos(\alpha_j - S_0). \quad (4)$$

To je druga osnovna formula radiointerferometrije s dugim bazama.

Na osnovi ovih jednačina, sastavljenih za potreban broj opažanja izvora radiozračenja, mogu se dobiti momentalne koordinatne razlike $\Delta X_{1,2}$, $\Delta Y_{1,2}$, $\Delta Z_{1,2}$, te δ_j , $\alpha_j - S_0$, a i b. Ako se ovim veličinama dodaju korekcionni članovi, naprimjer za kretanje pola, mogu se sračunati momentalne koordinate pola. Ako se uvedu popravke za kretanje pola, mogu se dobiti uticaji drugih uzročnika na paramtere ovih jednačina: varijacije zvjezdanog vremena S_0 , na osnovi čega se izučavaju neravnornosti okretanja Zemlje, itd.

Iz ΔX , ΔY , ΔZ računaju se dužine baza sa $skg \pm 0,5 - 3$ cm, što omogućuje razvijanje globalne precizne, polivalentne trilateracije, odnosno mreže tačaka s veoma tačno i nezavisno određenih tačaka jedna u odnosu na drugu, u sistemu koordinata X, Y, Z. Na osnovi ovih podataka mogu se dobiti i metričke karakteristike niza negeodetskih pojava, koje dalje služe odgovarajućim naučnicima za provjeru postojećih, ili razradu novih teorija o dinamici i kinematici Zemlje. Tako se momentalni položaj pola može definisati sa $skg \pm 10$ cm, pomjeranje tektonskih ploča sa -3 cm, varijacija okretanja Zemlje $-\pm 10^{-4}$ s. Ista teorija vrijedi i za simultano opažanje tri ili više računaka, ako se, naravno, raspolaže sa odgovarajućim korelatorima.

Zbog slabosti radiosignala sa kvazara, antene moraju biti veoma jake, pa — prema tome — velike i slabo pokretne. Ipak se već uspješno koriste antene prečnika 3,5 m. Treba naime kazati da se malom antenom bolje definiše tačka na koju se odnosi opažanje, osim što je ona pogodnija za korišćenje, posebno prenošenje. Principi opisani naprijed koriste se i za razvijanje mreže nezavisno u prostoru određenih tačaka međusobno udaljenih 2—200 km, a kao izvor radio zračenja koriste se uređaji na satelitima sistema GPS¹ (Global Positioning System).

On se sastoji od 24 satelita lansirana na 3 orbite (po 8 na svakoj) sl. 4, tako izabrane da se u svakom momentu sa svake tačke na Zemlji (ili u njezinom prostoru) vide najmanje tri. Predviđen je za samoodređivanje (pomoću radiosignala sa satelita) u prostoru — navigaciju — pokretnih objekata (avioni, brodovi, automobili, trupe itd). Očekuje se da greška određivanja položaja na osnovi jednog mjerenja bude između 4 i 12 metara. Praktična ispitivanja u Jumi (Yuma, Ariz. SAD) sa već lansiranim satelitima dala su bolje rezultate ($skg \pm 2m$).

Ako se umjesto za ove svrhe razrađene tehnike i tehnologije primjeni ona koja je predviđena za VLBI i rezultati izvedu iz potrebnog broja serija opažanja, napomenutim dužinama, dobije se tačnost, koju karakterišu greške reda centimetara. I opet — koordinate svake tačke se određuju nezavisno jedne od drugih. Dopunska komplikacija u odnosu na izloženu teoriju je što pravac na satelit nema — kao na kvazar — konstantan položaj u prostoru.

Takva tehnologija već je razrađena u SAD pod nazivom SERIES (Satellite Emission Radio Interferometric Earth Surveying). Za opažanje jedne strane, pre-

¹Još se zove NAVSTAR.



Sl. 4

nosne prijemnike trebana njezinim krajnjim tačkama postaviti dva sata, ako se želi postići tačnost karakterisana skg od $\pm 0,5$ do $3,0$ cm. Ovakvi uređaji su već razrađeni i serijski se proizvode pod nazivom MITES (Miniature Interferometer Terminals for Earth Surveying) i Magnavox. Veoma je zgodno da se ovim načinom razvijena mreža tačka uklopi u VLBI mrežu, kako bi se mogla orijentisati na invarijantne pravce na kvazare i svesti na istu epohu.

Osnovne prednosti ove metode u odnosu na klasičnu triangulaciju i trilateraciju jesu:

- Ne zavisi od vremena.
- Ne treba podizati visoke (niti ikakve) signale.
- Pribori rade bez posluge: dovoljno ih je postaviti (centrisati) nad traženim tačkama.
- Velika brzina rada — manje od 2 h po tački.
- Relativna jeftinoća određivanja (manje od 1000 US dolara po tački).
- Visoka tačnost dobijanja baze — $\pm 0,5$ — 3 cm.
- Signali su, u odnosu na kvazarske, veoma jaki, pa su potrebne manje antene, što povećava tačnost i pokretljivost.
- Dužina se dobija odmah na ekranu — digitalno.
- Portativnost opreme: prijemnik $0,1$ m³, antena $d = 1$ m, a izvor energije: svaki koji se nađe pri ruci.

Razumljivo je da se ovaj postupak može koristiti za razvijanje veoma preciznih geodetskih mreža, kao i kontinuirano posmatranje geofizičkih i tehnogenih poligona (zemljotresnih područja, tektonskih i tehnogenih pomjeranja zemaljske kore itd.).

2. MJERENJE RAZLIKA DALJINA DO POKRETNOG OBJEKTA — DOPLEROVSKA MJERENJA

2.1. Doplerov efekat

Neka se talasni izvor kreće u prostoru brzinom datom prostornim vektorom \vec{v}_1 , a prijemna stanica — vektorom \vec{v}_2 . U zavisnosti od međusobnog odnosa tih vektora opažač će primijetiti promjenu frekvencije talasa: općenito — kada se izvor i prijemna stanica približavaju frekvencija je veća, a kada se udaljavaju — manja.

Ova pojava se zove Doplerov efekat. Pojava se obično ilustruje zviždukom lokomotive: kada se lokomotiva približava ton je viši, a kada se udaljava — niži. Ako se radi o svjetlosnom izvoru, pojava se ispoljava pomjeranjem spektralne linije prema ljubičastom dijelu spektra kada se razmak između izvora i opažača smanjuje, a prema crvenom — kada se povećava.

Ova pojava se u prvo vrijeme koristila za posmatranje kretanja zvijezda i maglina, a kasnije — u lokacionim sistemima — za određivanje daljina i pravca kretanja zemaljskih, odnosno okolozemaljskih objekata. Razvitkom u glavnom prijemnih uređaja ovim načinom se postiže visoka tačnost određivanja daljina do dalekih predmeta: satelita, brodova, aviona itd, pa se metoda široko koristi u astronomiji, geodeziji i narodnoj odbrani.

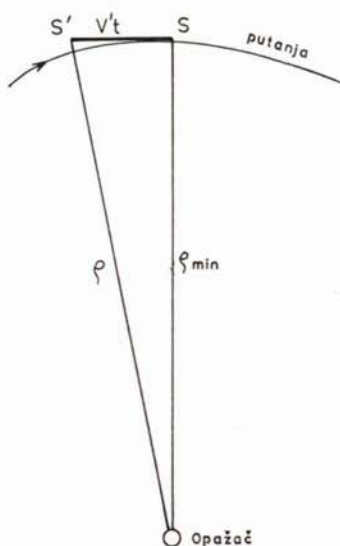
Intenzitet efekta se definiše jednačinom:

$$F = F_E \left(1 + \frac{\Delta \rho}{v} \right), \quad (5)$$

u kojoj je: ρ razdaljina, a $\Delta \rho$ — promjena razdaljine između izvora i prijemnika na jedinicu vremena, F_E — emitovana frekvencija, F — primljena frekvencija, v — brzina rasprostiranja talasa u prirodnoj sredini. Prema tome je $\Delta \rho$ prvi izvod ρ po t . Možemo ga dobiti rješenjem (5) po $\Delta \rho$:

$$\Delta \rho = \frac{d\rho}{dt} = \frac{v(F - F_E)}{F_E} \quad (6)$$

v i F_E su poznati, F se određuje opažanjem, pa se $\Delta \rho$ lako sračuna. Primijenimo izloženo na određivanje daljine do satelita.



Sl. 5

Na slici 5 v' je tangencijalna brzina satelita u odnosu na opažača, ρ_{\min} najkraća daljina do satelita (S), a t — vrijeme potrebno da satelit prođe od opažene tačke

S' do S. Za tačan moment prolaza satelita kroz S važe odnosi: $\rho = \rho_{\min}$, $\Delta\rho = 0$, a po (6) za taj slučaj $F = F_E$. Znači, kada bi se moglo tačno odrediti moment u kojem je $F = F_E$ važila bi jednačina:

$$\rho^2 = \rho_{\min}^2 + (v't)^2. \quad (7)$$

Diferenciranje ρ po t daje:

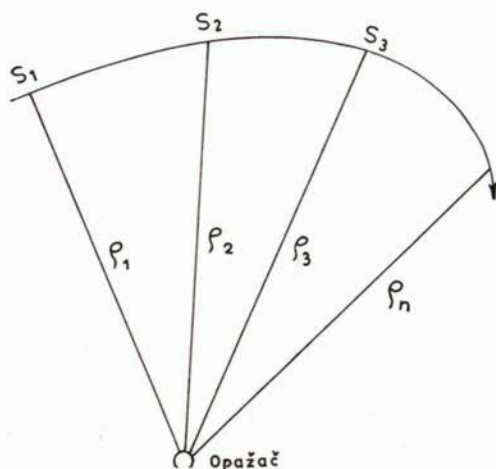
$$\rho \frac{d\rho}{dt} = v'^2 t. \quad (8)$$

Kada se ovo kvadrira i ρ^2 zamijeni vrijednošću (7) i uzimajući u obzir (6) dobije se:

$$\frac{\rho_{\min}^2}{v'^4} + \frac{t^2}{v'^2} = \frac{t^2}{\Delta\rho^2} \quad (9)$$

Kada bi se znalo tačno t , a $\Delta\rho$ sračunalo po (6) nepoznate bi ovdje bile v' i ρ_{\min} . Ali je lakše tražiti $\frac{\rho_{\min}}{v'^4}$ i $\frac{1}{v'^2}$. Dakle, za jednoznačno rješenje trebalo bi opažati t_1 i t_2 u dva položaja satelita, za njih napisati jednačine (9) i riješiti po nepoznatim.

Tačno definisanje momenata kada je $F = F_E$ je ipak veoma teško, kako zbog brzina, tako i zbog jako visokih frekvencija, pa je nedovoljno tačno i određivanje momenata t_1 i t_2 . Pogotovo nikada nije sigurna veličina v . Zbog toga se prolazi satelita opažaju u više momenata i rješenja se traži po metodi najmanjih kvadrata. To je suština problema. Praktično se više koristi ovakvo rješenje: Neka su (sl. 6) $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ položaji satelita na orbiti u momentima $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, u kojima on emituje signale. Pri tome je s visokim tačnošću $t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \dots = t_n - t_{n-1} = \text{konstanta}$. Neka se signali primaju na opažačkoj stanici u momentima $t_1 + \Delta t_1, t_2 + \Delta t_2, t_3 + \Delta t_3, \dots, t_n + \Delta t_n$, gdje su Δt_i vremenski intervali potrebni da signal sa satelita dođe do opažača. Oni naravno nisu jednaki.



Sl. 6

Prijemnik signala ima svoju konstantu frekvenciju F_k . Zovu je referentnom. Poseban uređaj u prijemniku daje broj N_R , koji je razlika broja cijelih treptaja (krugova)

referentne i primljene frekvencije u vremenskim intervalima između prijema uzastopnih signala 1—2, 2—3, 3—4, ..., (n - 1) - n. Na primjer u intervalu 1—2 biće:

$$N_R = \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} (F_k - F) dt. \quad (10)$$

Integracijom se dobije:

$$N_R = F_k(t_2 - t_1) + F_k(\Delta t_2 - \Delta t_1) - \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} F dt. \quad (11)$$

$\int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} F dt$ p ovoj formuli i predstavlja broj cijelih krugova primljenih u intervalu $\in (t_1, t_2)$.

To jest:

$$\int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} F \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} F_E \cdot dt = F_E(t_2 - t_1). \quad (12)$$

Uvrstivši ovo u (11) za N_R će se dobiti:

$$N_R = F_k(t_2 - t_1) + F_k(\Delta t_2 - \Delta t_1) - F_E(t_2 - t_1),$$

odnosno:

$$N_R = (F_k - F_E)(t_2 - t_1) + F_k(\Delta t_2 - \Delta t_1). \quad (13)$$

Koeficijent $(\Delta t_2 - \Delta t_1)$ u (13) je razlika vremena potrebnih da emitovani talasi prođu put ρ_1 i ρ_2 . Jasno je da je

$$\rho_2 - \rho_1 = v(\Delta t_1 - \Delta t_2). \quad (14)$$

Kada se (13) riješi po $(\Delta t_2 - \Delta t_1)$ i to uvrsti u (14) ima se:

$$\rho_2 - \rho_1 = \frac{v}{F_k} \left\{ N_R - (F_k - F_E)(t_2 - t_1) \right\}. \quad (15)$$

Na desnoj strani u (15) sve su veličine poznate: $(t_2 - t_1)$ je tačno zadani interval između emisija signala; F_k i F_E su zadate — konstantne frekvencije; v je brzina rasprostiranja talasa u prirodnoj sredini (računa se dodavanjem redukcija c); N_R je broj cijelih krugova sadržanih u razlici frekvencija i registrovan uređajem. Iz serije opažanja tipa (15) računaju se pojedini ρ_1 .

Ovaj način se koristi za određivanje koordinata opažackih stanica. Njime su postignuti veoma dobri rezultati, koji se mogu karakterisati skg ispod jednog metra, s neprekidnom tendencijom povećanja tačnosti. Osim toga ovaj je način relativno jeftin, jer nije potrebna opažacka posada na stanici, nego sam uređaj registruje potrebne podatke.

3. INERCIJALNI GEODETSKI SISTEMI

Ova tehnika i tehnologija je slabo obilježena i praćena u našoj geodetskoj literaturi. Kako je već na pomolu četvrta generacija ovih moćnih sredstava za geodetsko obezbjeđenje premjera zemljišta — sa realnim šansama da će i po tačnosti moći potpuno da zamijeni klasične metode određivanja tačaka u prostoru, skretanja vertikalna i ubrzanja sile teže na njima, — i to sve odjednom, u jednom hodu — biće korisno da se i o njima kaže nekoliko riječi. Ovi sistemi su se — kao i prethodni — počeli koristiti u geodeziji nakon njihove uspješne primjene u navigaciji — zemaljskoj, okolozemaljskoj i kosmičkoj. Ipak je metodika korišćenja za geodetske svrhe nešto drukčija.

Prvu konstrukciju dao je dr Čalz Stark Drejper (Charls Stark Draper), čije ime nosi i laboratorija koja se bavi razvojem ovih sistema. Osnovni dijelovi su: veoma tačna vođena giroplatforma, na kojoj se nalaze akcelerometri (mjerači ubrzanja), koji registruju promjene ubrzanja po sve tri ose uvsvojenog prostornog koordinatnog sistema i samog ubrzanja sile teže, i integratori. Čitav sistem se postavlja na bilo kakav transporter (automobil, bicikl, helikopter, avion, brod, obična zaprežna kola), ili se prosto nosi. Važno je da se premjesti sa stanice s poznatim elementima koji se određuju — na kojoj se uređaji pribora postave u položaj koji odgovara tim elementima (platforma se orijentiše) — na drugu stanicu, na kojoj se ti elementi traže. (Razumljivo je da se za ovu svrhu koriste brži transporteri). Za geodetske potrebe se svakako koriste koordinatni sistemi vezani za usvojeni referenc-clip-soid.

Kada se sistem orijentiše i ponese na željenu stanicu akcelerometri mjere njegova ubrzanja, a kompjuter koji je u vezi sa intregatorima, cijelo vrijeme računa brzinu kretanja i u svakom momentu — sve tri koordinate. Koordinatama je dat pravac normale na referenc-elipsoid, na osnovi čega automatski giroplatforma orijentiše prema mjesnom meridijanu. Svakih nekoliko minuta transporter se zaustavlja radi korekcije sistema, koja traje manje od minute. Za vrijeme stajanja brzina sistema u odnosu za Zemlju trebala bi biti nula. Razlika od nule ukazuje na greške integracije, koje se sračunavaju kompjuterom i stanje popravlja.

Prema razlikama od nulê horizontalnih akcelerometara računaju se koordinate u odnosu na stvarnu Zemlju, što daje pravac vertikalne. Po poznatim formulama se odmah u kompjuteru računaju skretanja vertikalne. Po stanju vertikalnog akcelerometra izvode se ubrzanja sile teže. Ovaj postupak se identično ponavlja na stanicama za korekciju sistema i na stanicama — tačkama geodetske osnove, čije se koordinate i ostali navedeni elementi na njima traže.

Sadašnja — treća generacija ovih pribora osigurava tačnost koordinata XYZ, koju karakteriše skg ispod $\pm 0,5$ m, skretanje vertikalne — $\pm 0,5 - 0,7$ i ubrzanje sile teže — $\pm 0,5$ mgl. Dr. C. S. Drejper od četvrte generacije očekuje smanjivanje ovih skg-a za 50 do 100 puta. Tako se u kordinatama mogu očekivati greške od nekoliko centimetara, ubrzanju 0,01 mgl. i skretanju vertikalne — mali dijelovi sekunde. Što bi to značilo u praktičnoj primjeni nije potrebno posebno isticati. Pogotovo kada se zna da:

- je produktivnost ovih sistema već sada oko 50 tačaka na dan;
- rad ne zavisi od vremena (doba dana, meteoroloških uslova, sezone);
- kao i u prethodnom slučaju, nije potrebno ni geometrijsko ni optičko dogleđanje tačaka;
- ne treba graditi visoke signale, itd.

Relativno najviše vremena bi se trošilo na rekognosciranje i stabilizaciju tačaka. Za brzo razvijanje tačnih geodetskih mreža smatra se da je najoptimalnije kombinirati izložene metode. Ovom metodom dato je u ruke moćno sredstvo pomorskoj geodeziji, posebno pri snimanju priobalnih plićaka (shelf — morsko dno do 200 m dubine) i pomorskog gravimetrijskog premjera.

LITERATURA

- [1] Bjerhammar, A.: Electrooptical distance measuring, Stocholm 1960.
- [2] Boucher, C.: Etude D'une methode nouvelle: la geodesie Doppler par satellite, IGN, Paris 1977.
- [3] Čeremysov, G. V.: Inercialjne geodezičeskie sistemy, Geodezija i kartografija 1978, 8, 24—26.
- [4] Levallois, J. J, Kovalevsky, J.: Geodesie spatiale, Paris 1971.
- [5] Nes, H., Hagfors, T., Stette, G.: A Very Long Base Interferometry, Experiment with mobile Equipment ZfV 1979, 6, 224—235.
- [6] Pellinen, L. P.: Yyssaja geodezija, Moskva 1978.
- [7] Symposium on inertial technology for surveying and geodesy, Ottava, Canada 1977.

REZIME

U članku su kratko izložene teorijske osnove, instrumenti, metode korištenja i tačnosti novih metoda i tehnike, koja se u novije vrijeme počela koristiti u geodeziji tj. određivanje veoma velikih dužina pomoću interferencije radiotalasa emitovanih iz vangelaktičkog prostora, kraćih dužina pomoću interferencije radiotalasa emitovanih sa zemaljskih satelita te Doplerovska mjerenja i inercialni geodetski sistemi.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Aufsatz sind die theoretischen Grundlagen, Instrumente, Anwendungsmethoden und Genauigkeit der neuen Methoden und Techniken, die man heute in Geodasie verwendet kurz dargestellt. Es sind: die Bestimmung von sehr grossen Längen mittels Interferenz von Radiowellen die von aussergalaktischen Raum emittiert werden, die Bestimmung von kürzeren Längen mittels Interferenz der von Satelliten ausgestrahlten Radiowellen, sowie Doppler-Messungen und inertielle Vermessungssysteme.