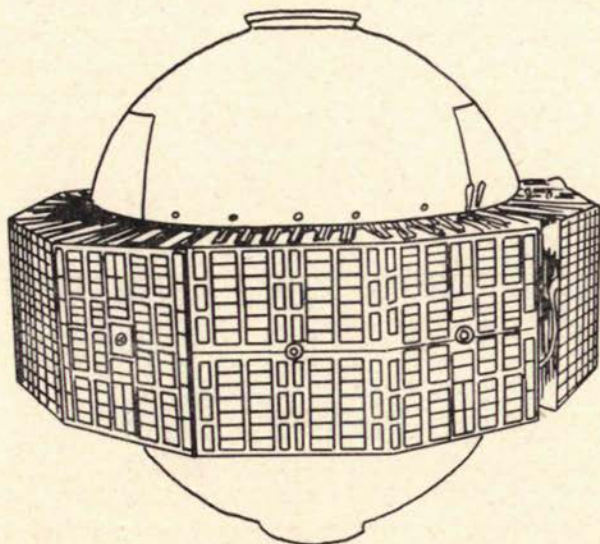


ZADACI SATELITSKE GEODEZIJE I INSTRUMENTI ZA ODREĐIVANJE POLOŽAJA SATELITA

Miljenko SOLARIĆ — Zagreb

Uvod — Kinezi su 1232. godine upotrebili u ratu protiv Mongola neku vrstu raketa »leteća vatra«. Poslije toga se zaboravilo za rakete sve do početka našeg vijeka, kada je naglo porastao interes za raketno naoružanje. Tako se raketna tehnika sve više usavršavala i 1957. godine učinila kvalitativni skok, koji je omogućio da se lansira u orbitu oko Zemlje prvo tijelo izrađeno čovječjom rukom, što je bila vječita želja ljudi. To je otvorilo do tada neviđene mogućnosti u mnogim granama nauke, pa među njima i u geodeziji. Geodezija je dobila svoju posebnu granu koja se u toku ovih posljednjih deset godina afirmirala, naglo napredovala i dobila ima satelitska geodezija, ili, kako je još neki nazivaju, kozmička geodezija ili nebeska geodezija.



Sl. 1.
Satelit ANA B-1

O mogućnosti korištenja prirodnog satelita Zemlje (Mjeseca) za određivanje oblika Zemlje prvi je iznijeo u Münchenskoj akademiji 1768. godine Johan Euler. Nekako istih godina i Laplas je zaključio, na osnovu otkrivenih nepravilnosti orbite Mjeseca, da se sploštenost Zemlje može odrediti iz tih nepravilnosti. Kasnije su F. R. Helmert i W. D. Lambert istraživali mogućnosti ko-

rištenja Mjeseca za geodetske svrhe, kako dinamičku tako i geometrijsku metodu (i dali osnovne formule).

Budući da je Mjesec za opažanje zbog svojih dimenzija i udaljenosti nepovoljan, pa su se zato odmah po izbacivanju prvih USZ* oni počeli koristiti za geodetske potrebe. Ovdje treba naglasiti da su se postupci u radu morali promijeniti, kako kod opažanja tako i kod načina obrade dobivenih podataka. Opažanja su se morala podesiti velikoj brzini gibanja USZ po nebeskom svodu, a načini obrade dobivenih podataka morali su se izmijeniti, jer je utjecaj potencijalnog polja Zemlje znatno veći na gibanje USZ nego na Mjesec, zbog znatno manje udaljenosti USZ od Zemlje, pa prema tome i sasvim drugog reda veličine nego kod Mjeseca.

Zadaci satelitske geodezije — Metode koje se koriste u satelitskoj geodeziji mogu se podijeliti na:

1. geometrijske (satelitska triangulacija),
2. orbitalne (kinematičke) i
3. dinamičke,

a osnovni zadaci, rješavani na osnovu opažanja gibanja USZ, jesu: određivanje gravitacionog polja Zemlje i njegove varijacije po vremenu i prostoru, određivanje položaja stanica u svjetskom geocentričkom sistemu koordinata, utvrđivanje i razvoj postojećih triangulacionih mreža, kao i dopunski zadaci: kalibriranje novih sistema praćenja gibanja USZ, određivanje tačnih položaja satelita za navigacione i druge svrhe.

Prvi umjetni sateliti Zemlje nisu, naravno bili specijalno namijenjeni za geodetske svrhe, ali su se koristili i za određivanje parametara gravitacionog polja Zemlje. Tek 1962. godine lansiran je prvi USZ za geodetske potrebe ANNA B 1 [to je skraćenica naziva ustanova koje su lansirale satelit U. S. Army, NASA (National Aeronautics and Space Administration) and the Air Force].

Od satelita, koji se koriste u geodetske svrhe, zahtijeva se da imaju izvjesne osobine, ovisno od toga što se želi dobiti, tj. koja se metoda rada primjenjuje. Općenito se može reći da se od satelita, koji se koriste u geodeziji, za određivanje parametra gravitacionog polja Zemlje zahtjeva:

- 1 — da imaju što manji odnos površine poprečnog presjeka satelita i njegove mase ($\frac{A}{m}$), jer su u tom slučaju manji poremećaji od otpora zraka, pritiska radijacije Sunca itd;
- 2 — da im je oblik sferni, jer se tada mogu tačnije izračunati neki poremećaji;
- 3 — da imaju veliki albedo** kod optičkog opažanja gibanja pasivnih USZ. (Pasivni umjetni sateliti mogu samo reflektirati sunčeve zrake, pa se ti sateliti mogu vidjeti samo na nekim mjestima, tj. kada su obasjani sunčevim zrakama, dok aktivni sateliti imaju na sebi specijalne uređaje koji daju svjetlosne ili radiosignale, pa se mogu vidjeti, tj. moguće je odrediti im položaj i kada su u Zemljinj sjeni);
- 4 — da je perigej*** satelita na visini 1000—2500 km, tj. na takvoj visini da otpor zraka ne utječe znatnije na gibanje USZ;

*USZ je skraćenica za umjetni satelit Zemlje

** - sposobnost neke površine da reflektira svjetlosne zrake.

*** - perigej je najbliža tačka orbite satelita k Zemlji, a apogej najudaljenija tačka orbite satelita od Zemlje.

- 5 — da je ekscentricitet orbite umjetnog satelita mali. To je postavljeno zbog male razlike u visini između najviše i najniže tačke orbite satelita nad Zemljom. Suviše mali ekscentricitet orbite satelita kod određivanja parametra gravitacionog polja Zemlje nije poželjan, jer se u tome slučaju može slabo odrediti položaj, tj. pomak perigeja (pomak asidne linije*);
- 6 — da se na satelitu nalaze po mogućnosti slijedeći uređaji:
- impulsni izvor svjetla (fleš),
 - radiotehnički uređaji za mjerenje udaljenosti,
 - odašiljač elektromagnetskih valova pomoću kojih se na osnovu Dopplerovog efekta određuje relativna radijalna brzina satelita,
 - prizme za reflektiranje snopa zraka lasera (retroreflektora),
 - tačni kvarcni satovi za upravljanje aparaturom na satelitu i predaju tačnog vremena,
 - radiovisinomjeri,
 - fotokamere.
- (Jasno je da se ti svi uređaji ne moraju nalaziti na satelitu, ali ako se oni nalaze na njemu u što većem broju satelit će se moći racionalnije iskoristiti.

Na primjer, satelit GEOS-2** opskrbljen je s ovim uređajima: flešom, odašiljačem elektromagnetskih valova koji radi na 162,324 i 972 MHz a služi za određivanje relativne brzine satelita pomoću Dopplerovog efekta, retroreflektorom za laserov snop zraka, GRARR*** transponderom, SECOR**** uređajem, CW laserovim detektorom,* C band transponderom** i gravitacionim uređajem za orijentaciju.

INSTRUMENTI ZA PRACENJE GIBANJA USZ — Osnovna zadaća praćenja gibanja USZ je dobivanje podataka o orbiti satelita na osnovu kojih se može odrediti položaj satelita u bilo kojem momentu, te tako iz toga odrediti niz važnih koeficijenata s kojima je određeno gravitaciono polje Zemlje, promjena gustoće atmosfere kao i koordinate opažачkih stanica itd.

Na slijedeće načine može se registrirati položaj satelita:

- vizuelni,
- fotografski,
- fotoelektrični i
- elektronski.

Vizuelni način — Glavna zadaća vizuelnih opažanja gibanja USZ je dobivanje približnih koordinata pasivnih USZ za izračunavanje njihovih približnih orbita. Iz već naprijed izloženog slijedi da opažачi koji vode vizuelna opažanja ne znaju položaje USZ ili ih znaju približno, tj. u kojoj tački neba treba očekivati prolaz USZ. Kako se satelit giba vrlo brzo, to se on u povoljnom položaju za opažanje nalazi vrlo kratko vrijeme, pa se zato i opažaju USZ do 20° zenitne udaljenosti. Da se pravodobno za vrijeme prolaza satelita odrede njegove koordinate, stanice za vizuelno opažanje postavljaju se tako da njihova polja opažanja sasvim prekrivaju na nebeskom svodu dio velikog kruga, na primjer nebeskog meridijana (vidi sliku 2a).

* - apsidna linija spaja tačku apogeja i perigeja.

** - to je skraćenica za Geodetic Earth Orbiting Satellite (Geodetski satelit na orbiti oko Zemlje)

*** - ova skraćenica znači: Goddard Range and Range-Rate. (S ovim se uređajem mjeri udaljenost i promjena udaljenosti do satelita)

**** - to je skraćenica za Sequential Collation of Range. (S ovim uređajem se mjeri udaljenost do satelita)

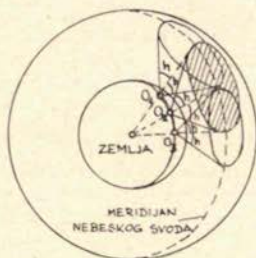
* - ovaj detektor određuje da li su laserove zrake odaslane satelitu.

** - taj se transponder upotrebljava za kalibriranje daljine C band radara.

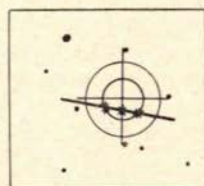
U SSSR takve stanice čine sistem, koji se zove »optička barijera«, a opskrbljene su obično s binokularnim ili monokulabnim dalekozorima i tome slično.

U SAD takav sistem stanica za opažanje USZ organizirao je Smithsonian Astrophysical Observatory u tako zvani Moonwatch sistem.

Na tim stanicama položaj satelita se odredi tako da se za određeni moment (određen pomoću kronometra) zna položaj satelita prema zvijezdama, pri čemu se obično pomaže s nitnim križem dalekozora (vidi sliku 2b).



Sl. 2a



Sl. 2b

Oi — opažčka stanica

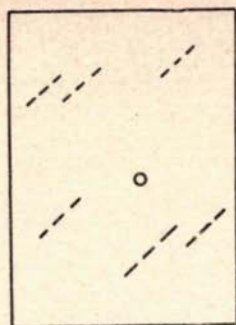
h — maksimalne zenitne udaljenosti iz jedne opažčke stanice

U momentima kada su svjetlosne zrake, koje dolaze od satelita presijekle nitnu mrežu dalekozora (na slici 2b označeno zvijezdicom) registriralo se vrijeme, a osim toga odredio se i položaj dalekozora u odnosu na zvijezde.

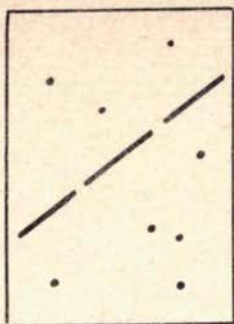
Vizuelna opažanja vrše se i običnim geodetskim instrumentima, kao što su na primjer, WILD T-3 i Kern DKM-3 u kombinaciji sa uređajem za registraciju vremena. Opažanja s tim instrumentima obavljaju se tako da se odredi vrijeme kad su svjetlosne zrake, koje dolaze od satelita, presijekle nitni križ, a zatim se očita kuteve na horizontalnom i vertikalnom krugu. Kako se satelit giba vrlo brzo, to samo vještiji opservatori mogu pri jednom prolazu odrediti više puta položaj satelita. Da bi se odredilo (izmerilo) što više položaja satelita pri jednom prolazu iznad opažčke stanice, na instrumente se postavljaju uređaji za fotografsku registraciju očitavanja na limbovima.

Fotografski način — Položaj satelita se određuje iz fotografije na kojoj se nalazi registriran položaj satelita i zvijezda na nebeskom svodu. Pri tome se može koristiti nekoliko načina:

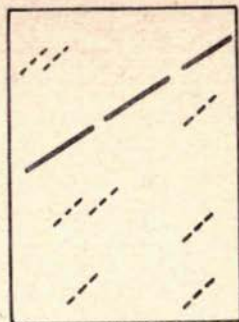
- 1 — da se kamera giba istom prividnom brzinom kao i satelit, pri čemu se satelit preslika na fotografiji kao tačka, a zvijezde ostavljaju trag u obliku linija (vidi sliku 3a);
- 2 — da se kamera giba istom prividnom brzinom kao i zvijezde pri čemu satelit ostavi trag na snimku u obliku kraće linije, a zvijezde se preslikaju u tačke (vidi sliku 3b);
- 3 — da se kamera ne pomiče za vrijeme ekspozicije (fotografiranja). Pri tome satelit ostavlja duži trag, a zvijezde sasvim mali trag na snimku.



Sl. 3.a)



Sl. 3.b)



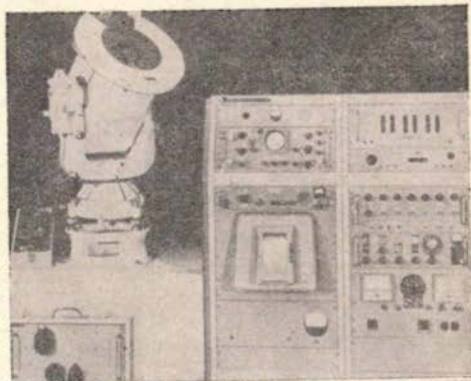
Sl. 3.c)

Instrumente u ovoj grupi može se podijeliti na prenosive i neprenosive.

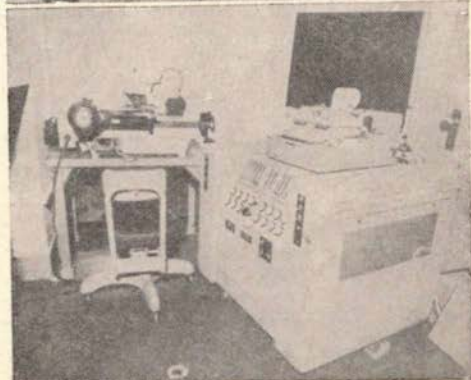
U grupu prenosivih instrumenata ulaze različiti instrumenti, koji su se prije koristili u balistici za određivanje trajektorije projektila a sada su preuređeni za potrebe određivanja položaja satelita.

Na slici 4. vidi se modificirana balistička kamera BC-4, proizvod firme Wild Herrbrugg iz Švicarske, koja je zapravo modificirani oblik aerofotokamere Wild RC-5, montirane na postolju univerzalnog instrumenta Wild T 4. Kamera ima tri objektiva s fokusnim udaljenostima 115,210 i 305 mm, koji se mogu izmjenjivati prema potrebi.

Sl. 4 a) WILD BC-4 kamera
i kontrolni sistem



Sl. 4 b) Uređaj za mjerenje
foto ploča



Sl. 4a i 4b preuzete iz »Satellite Triangulation« - U.S. Coast and Geodetic Survey

Tom se kamerom mogu registrirati položaji satelita koji su sjajni od zvijezda devete veličine, a tačnost određivanja pravca je $\pm 2''$ i vremenskog vezivanja ± 0.001 sek. Za sinhronizaciju se koristi elektronski sistem, a za fotografiranje — ploče, a ne film kao kod Baker-Nunn kamera. U SAD najčešće se koristi kamera BC-4 i PC-1000.

U Sovjetskom Savezu pretežno se koristi modificirana aerofotokamera NAFA 3 C/25, s objektivom fokusne udaljenosti 100 mm. Tačnost postignuta s tom kamerom za određivanje pravca prema [3] je $\pm 4''$ a vremenskog vezivanja ± 0.002 sek. kad se obrada snimka vrši interpolacionom metodom A. A. Kiseleva [4].

Osim spomenutih kamera ima u mnogim zemljama (u Francuskoj, Zapadnoj Njemačkoj, Istočnoj Njemačkoj, Poljskoj itd.) i drugih preuređenih kamera.



Sl. 5. Baker-Nunn kamera

Iz grupe neprenosivih instrumenata treba spomenuti BAKER-NUNN kameru, koja se vidi na slici 5. Ona je preuređena iz teleskopa Super-Schmidt f/1, fokusne udaljenosti 50 cm. Kamera je montirana tako da se može pokretati oko tri međusobno okomite osi i da se mogu pratiti objekti koji se gibaju po luku velikog kruga brzišom do $7000''$ u sekundi, (tj. približno 2° u sekundi).

Položaji satelita do 12. zvjezdane veličine mogu se registrirati s tačnošću $\pm 2''$ po pravcu, a vremenski vezivati s tačnošću od ± 0.001 sek. [17].

U Rigi, u SSSR-u, koriste za opažanje USZ instrument TAFO-AL 75, s kojim postižu tačnost u određivanju pravca $\pm 2''$ do $\pm 4''$ i vremenskog vezivanja ± 0.001 do ± 0.002 sek. [3].

Sl. 5 - preuzeta iz članka F.L. Whipple - On the Satellite Geodesy Program at the S.A.O. - »Geodetic Parameters for a Standard Earth obtained from Baker-Nuun Observations« - sept. 1966.

Fotoelektrični način — Kod ovog načina, moment prolaza satelita ne određuje opažać vizuelno, već se taj moment određuje pomoću fotoelektričnog uređaja. Opažanja, koja opažać registrira vizuelno, opterećena su ličnim pogreškama opservatora, a spomenutim je načinom to izbjegnuto.

Princip rada fotoelektričnog uređaja je ovaj: Kad svjetlosne (sunčeve) zrake, reflektirane s površine satelita, padnu kroz prorez, koji zamjenjuje ovdje nitni križ, u fotočeliju, stvori se struja koja se zatim pojačana bilježi na magnetsku traku gdje se istovremeno bilježe i vremenski signali, pa se na taj način tačno odredi moment prolaza satelita.

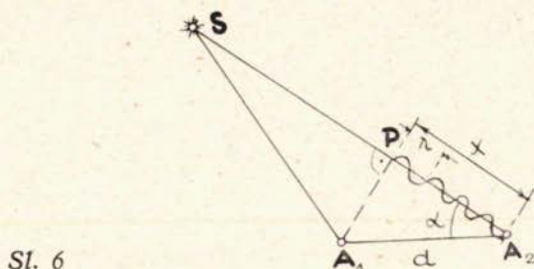
Orijentacija instrumenta izvodi se pomoću fotografiranja zvijezda na nebeskom svodu zajedno sa satelitom, a kad je dovoljna manja tačnost, položaj osi može se odrediti očitanjem na horizontalnom i vertikalnom krugu.

Prema istraživanjima nekih autora takvim se instrumentima postiže s jednim mjerenjem tačnost $\pm 1''$ u određivanju pravca i vremenskog vezivanja ± 0.001 sek.

Nedostatak ove metode je što se sa sadašnjim uređajima mogu registrirati prolazi USZ samo do pete zvjezdane veličine.

Elektronske metode — Ispitane su već različite elektronske metode za praćenje gibanja satelita, tj. registraciju položaja satelita. Te se metode mogu ovako klasificirati:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1 — Metoda interferencije, | 3 — Mjerenjem udaljenosti i |
| 2 — Dopplerovog efekta, | 4 — Kombinirane metode. |



Sl. 6

METODA INTERFERENCIJE — Metodom interferencije određuje se kut pod kojim se vidi satelit elektronski pomoću radio valova.

Princip rada interferometrom prikazan je na slici 6. Sa satelita odašiljač emitira radio valove poznate valne dužine, koje primaju antene A_1 i A_2 što se nalaze na međusobnoj udaljenosti d . Kako je znatno veća udaljenost do satelita SA_1 od dužine bazisne linije d , to se može uzeti da je trokut PA_1A_2 pravokutan i da su dužine SA_1 i SP jednake. Iz trokuta PA_1A_2 slijedi da je

$$\cos \alpha = \frac{x}{d} \quad \text{gdje je } x \text{ dužina } PA_2.$$

Dužina PA_2 jednaka je

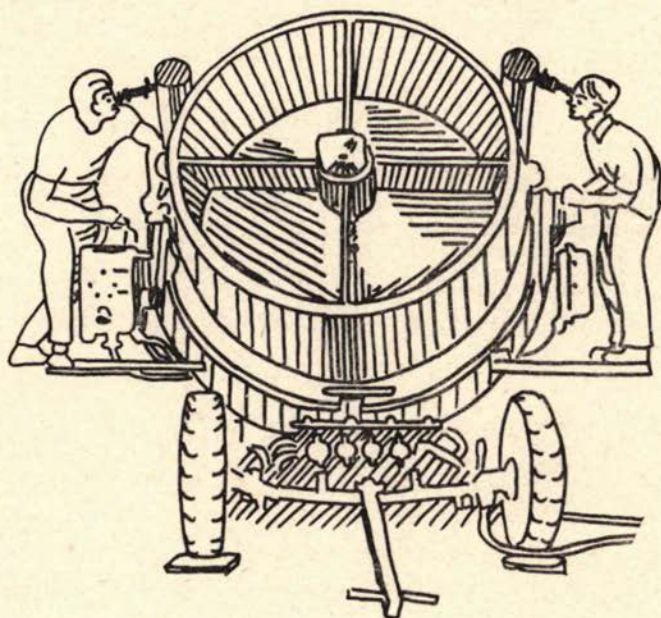
$$x = (k + a) \times \lambda$$

gdje je λ — dužina vala, k — broj cijelih dužina valova i a — ostatak od cijelog broja valova.

Ostatak od cijelog broja valova »a« očitava se pomoću fazometra, a »k« se odredi pomoću još jednog interferometra s parom antena koje su mnogo bliže jedna drugoj, ili pomoću približnih elemenata orbite satelita dobivenih na neki drugi način.

Da se odredi položaj satelita, obično se postavlja gore opisan uređaj u pravac sjever—jug, a drugi isto takav uređaj u pravac istok—zapad, tj. s jednim se mjeri kut između pravca sjevera i satelita, a s drugim kut između pravca istoka i satelita.

U SAD osnovni sistemi koji rade pomoću metode interferencije su Minitrack Mark II. Unutarnja tačnost sistema Minitrack Mark II za pojedino opažanje je $\pm 20''$ po pravcu i ± 0.001 sekundu za vremensko vezivanje.



Sl. 7
Prijemnik za
mjerenje udaljeno-
sti pomoću snopa
svjetlosti lasera

DOPPLEROV EFEKT — Princip praćenja gibanja USZ primjenom Dopplerovog efekta je u tome da sa satelita odašiljač emitira nedomulirane valove fiksne frekvencije koje prima prijemnik na Zemlji s promijenjenom frekvencijom. Ta promjena frekvencije valova dolazi zbog radialne brzine satelita u odnosu na stanice na Zemlji, tj. odaslana valna frekvencija se promjeni u funkcionalnoj ovisnosti o promjeni udaljenosti između satelita i prijemnika na Zemlji. Ta se ovisnost može izraziti jednadžbom

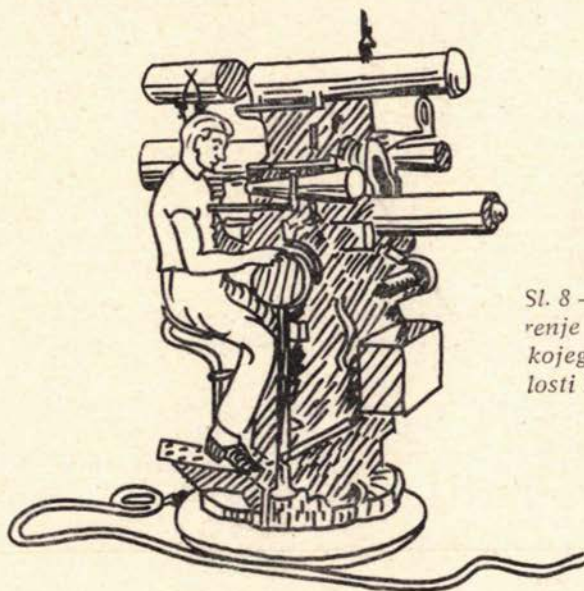
$$\dot{r} = \frac{F - F_0}{F_0} \times C$$

gdje je \dot{r} — radialna brzina, F — frekvencija izmjerena na Zemlji, F_0 — frekvencija radio valova emitiranih sa satelita, C — brzina širenja elektromagnetskih valova. Osim mjerenja brzine promjene udaljenosti između stanice za

praćenje gibanja USZ i satelita pomoću mjerenja Dopplerovog efekta opažanjem iz jedne stanice može se odrediti još period ophoda satelita oko Zemlje, kao i moment i udaljenost najvećeg zblizavanja između stanice za praćenje gibanja USZ i USZ.

Stanice za praćenje gibanja USZ pomoću Dopplerovog efekta u SAD uključene su u sistem TRANSIT ili DOPLOC.

MJERENJE UDALJENOSTI DO USZ — *Daljinomjeri* — Mjerenje udaljenosti s radiodaljinarima, odnosno elektrooptičkim daljinomjerima, osniva se na određivanju vremena za koje radio valovi, tj. svjetlost prođe udaljenost od primopredajnika do retranslatora i vrte se primopredajniku. Kad se zna da je brzina širenja elektromagnetskih valova u vakumu 299 792,5 km/sek, može se odrediti udaljenost D od primopredajnika do retranslatora (USZ)



Sl. 8 — Odašiljač za mjerenje udaljenosti, kod kojeg se kao izvor svjetlosti koristi laser

po formuli

$$D = \frac{t \times v}{2},$$

gdje je v — brzina širenja elektromagnetskih valova t — vrijeme u kojemu elektromagnetski valovi prođu dvostruku mjerenu udaljenost.

Daljinomjeri u zavisnosti od karaktera emitiranja valova dijele se u dvije grupe: s neprekidnim i s impulsnim odašiljanjem valova.

Mjerenje udaljenosti pomoću daljinomjera s neprekidnim odašiljanjem valova osniva se na posrednom načinu mjerenja vremena širenja valova od primopredajnika do retranslatora (satelita) putem korištenja faznih odnosa upućenih i retransliranih valova.

Kod impulsnih radiodaljinomjera direktno se mjeri vrijeme potrebno da radiovalovi, odnosno svjetlost kod elektrooptičkih daljinomjera pređe mjerenu udaljenost.

U SAD u Vojnoj kartografskoj službi koriste sistem SECOR* za određivanje udaljenosti do satelita. Taj sistem ide u grupu radiodaljinomjera s neprekidnim odašiljanjem radiovalova, a sastoji se od uređaja na zemlji i aktivnog retranslatora koji se nalazi na satelitu. Udaljenost od opažačke stanice do USZ odredi se za 50 msek, pa se tako za 7-minutni prolaz dobije oko 8400 opažanja. Tačnost određivanja udaljenosti kao što su prva ispitivanja pokazala iznose oko ± 30 m, ali je danas ona već povišena.

Primjena lasera — Laser je upotrebljen za mjerenje udaljenosti do UŠZ kao izvor svjetla kod svjetlosnog daljinomjera, pa tako nadopunjuje podatke dobivene pomoću Baker-Nuun kamera s kojima se mjeri samo kuteve. Laser se može upotrebiti i za osvjetljavanje USZ tako da se satelit vidi i u momentu kada je u Zemljinoj sjeni. Postoji također mogućnost primjene lasera za praćenje gibanja satelita i po danjem svjetlu.

Kao što je Plotkin [12] pokazao, laserski prateći sistem može se primijeniti kada je niz retroreflektora pričvršćeno na površini satelita. Takvi lagani pasivni retroreflektori bili su pričvršćeni na USZ Explorer 22, 27 i 29, Geos—2 i Diadema C i D. (Explorer 22 bio je lansiran u studenom 1964. godine). Retroreflektori usmjeravaju reflektirani snop zraka lasera sa satelita prema prijemniku, pa tako prijemniku dolaze jači signali.

Mjerenje udaljenosti, kao što je rečeno, može se izvršiti pomoću radiovalova; međutim, mjerenje udaljenosti pomoću lasera ima slijedeće prednosti:

- 1 — Retroreflektori koji su smješteni na satelitu pasivni su instrumenti koji ne trebaju izvor električne energije.
- 2 — Laser stvara svjetlosne impulse velikog intenziteta, pa je tako s njim moguće mjeriti vrlo velike udaljenosti.
- 3 — Laser proizvodi impulse čija je dužina samo 10 nanosekunda,** pa upravo ta kratkoća impulsa pruža mogućnost preciznom mjerenju bez uvođenja korelacione tehnike u prijemniku.
- 4 — Laserski sistem treba leće samo umjerenog otvora da koncentrira energiju snopa zraka lasera u širini od nekoliko lučnih minuta.
- 5 — Popravke od refrakcije su manje nego u mikrovalnom području.

Mjerenje udaljenosti pomoću lasera ima i neke nedostatke u odnosu na mjerenje udaljenosti s radiovalovima. Među tim nedostacima treba spomenuti da je osjetljivost prijemnika lasera manja od osjetljivosti prijemnika koji radi s radiovalovima.

Prednost koju ima laser pred flešom je također velika, jer nije potreban izvor električne energije na satelitu. Jasno je da se s tim smanjuje težina satelita, a onda i potrebna količina goriva da se satelit izbaci u orbitu oko Zemlje.

Prvi rezultati mjerenja udaljenosti do USZ pomoću Lasera bili su vrlo slabi. Međutim, danas se ta vrsta tehničke opreme svakim danom sve više poboljšava, pa je već, prema podacima koji su dali Lehr, Maestre i Anderson [5], postignuta kod mjerenja dužina tačnost u mjerenju intervala vremena između odašiljanja i primanja zraka lasera ± 10 nanosekunda, što odgovara udaljenosti $\pm 1,5$ m.

* - to je skraćenica od Sequential Collation of Range.

** - nanosekunda je 10^{-9} dio sekunde

KOMBINIRANE METODE PRACENJA GIBANJA USZ — Elektronske metode koje su napred opisane mogu se koristiti u raznim kombinacijama. Tako je u Mikrolok sistemu korišten princip inferometra i efekt Dopplera, a sistemom Ranger and Ranger Rate mjeri se udaljenost i brzina promjene udaljenosti.

Fotografskim načinom postignuta je vrlo visoka tačnost opažanja gibanja USZ, no tim načinom teže će se poboljšati tačnost opažanja u budućnosti, nego tehnikama koje koriste elektronske instrumente. Danas, u eri tehničkog napretka, naglo se razvija elektrotehnika, a time se i znatno brže usavršavaju elektronski instrumenti za praćenje gibanja USZ. Zato upravo tome načinu praćenja gibanja USZ, i to specijalno onima koji upotrebljavaju lasere, pripada budućnost.

Popis literature

- 1 — I. S. Astapovič, S. A. Kaplan: Vizualnie nabljudenija iskusstvenih Sputnikov Zemli, Moskva 1957.
- 2 — Central Bureau for Satellite Geodesy — bulletin 3, 1968: Some Characteristical of the GEOS—2 satellite.
- 3 — E. Z. Gindin, M. I. Ilenko, M. A. Lure: Organizacija optičeskih nabljudenij iskusstvennih sputnikov Zemli v Sovetskom Sojuze, »Nabljud. iskusst. sput. Zemli« spec. vip. 1962.
- 4 — A. A. Kiselev: Interpoljacionnij metod opredelenja položenij nebesnogo objekta na fotografiji. »Astron. ž. « T 36, Vip. 2, 1959.
- 5 — C. G. Lehr, L. A. Maestre and P. H. Anderson: Satellite Range Measurements with a Laser at an Astrophysical Observing Station, »Space Reserch VII«.
- 6 — Lijgant, R. Kahusk: Sledjaščaja fotokamera dlja nabljudenija ISZ, »Bjul. st. opt. nabljud. ISZ«, 1962, No. 29.
- 7 — A. M. Lozinskij: O vozmožnostjah fotografičeskih nabljudenij ISZ, »Bjul. st. opt. nabljud. ISZ«, 1962, No. 30.
- 8 — A. G. Masevitch: Optical Observation Techniques, »Use Artific Satellites Geod«, 1963.
- 9 — A. G. Masevitch: Tracking of Artificial Satellites in USSR, »Space Res«. vol. 2, 1961.
- 10 — I. Mueller: Introduction to Satellite Geodesy, 1964.
- 11 — V. Z. Paščenkov: Radioelektronika v markeščejdnersko geodezičeskih rabotah, 1968.
- 12 — H. H. Plotkin: The S—66 Laser Satellite Tracking Experiment, Quantum Electronics, vol. II, 1964.
- 13 — M. S. Tavenner: Largos; a Suggested method for stereotriangulation, »J. Geophys. Res.«, 1962, 67, No. 9.
- 14 — G. Veis: The Precision Optical Satellite Tracking Net of the Smithsonian Astrophysical Observatory, »Use Artific. Satellites Geod«, 1963.
- 15 — G. Veis, F. L. Whipple: Experience in Precision Optical Tracking of Satellites for Geodesy, »Space Res«, Vol. 2, 1961.
- 16 — W. P. Wilmore: An New Method of Tracking Artificial Satellites, »Natura«, october 11, 1958.
- 17 — R. Haefner, R. Martin: Data Reduction, »SAO Spec. Rep«. 200/1