

OPAŽANJA VEŠTAČKIH ZEMLJINIH SATELITA U GEODETSKE SVRHE

Momčilo ĐORĐEVIĆ — Beograd

Razvoj metoda geodetskog korišćenja veštačkih zemljinih satelita postavio je i svoje zahteve prvenstveno u sredstvima za njihovo praćenje odnosno opažanje u orbiti.

Pod opažanjem satelita podrazumeva se određivanje njihovog položaja u prostoru i to u nekom sistemu koordinata a u zadanom momentu vremena. Inače, sama opažanja u geodetske svrhe vrše se u cilju rešavanja dinamičkih i geometrijskih zadataka.

Opažanja satelita za rešavanje dinamičkih zadataka svodi se uglavnom na opažanja poremećenja elemenata orbite. Na osnovu tih opažanja određuju se koeficijenti sfernih harmonika razlaganja potencijala gravitacione sile Zemlje. Prema tako neposredno određenim podacima mogu se dobiti razni indirektni, ali za geodeziju vrlo važni rezultati kao što su oblik zemljinog elipsoida, mesne undulacije geoida, mesne anomalije ubrzanja sile teže na površini Zemlje itd. Takva opažanja takođe omogućuju određivanje gravitacione konstante koja pomoću trećeg zakona Keplera može pružiti informaciju o ekvatorijalnom radijusu Zemlje.

Opažanje satelita za rešavanje geometrijskih zadataka zasnovano je na upoređenju prethodno određenih koordinata satelita koje zavise od usvojenih parametra orbite, sa koordinatama dobijenim iz opažanja. Isto tako vrše se upoređenja usvojenih koordinata stanica, sa kojih se vrše opažanja, sa koordinatama dobijenim pri opažanjima.

Putem takvih upoređenja, ako su ona izvršena u dovoljnoj količini, dobijaju se popravke kako elemenata orbite tako i koordinata stanica što i omogućuje jednovremeno određivanje kako same orbite satelita tako i koordinata stanica sa kojih se vrše opažanja.

Kao rezultat takvog rada dobija se mreža geodetskih tačaka čije se sve koordinate izražavaju u jednom koordinatnom sistemu zajedničkom za celu Zemlju. Na taj način moguće je međusobno povezati razne sisteme triangulacija koji su usvojeni u raznim državama pa ih i svesti na podatke jednog, najpovoljnijeg, geocentričnog sistema. U tom cilju primenjuju se i dve osnovne metode: orbitalna (metoda aktivnih satelita) i kosmička ili metoda zvezdane triangulacije (metoda pasivnih satelita).

Razlikujemo vizeulni, elektronski, fotoelektrični i fotografski način za opažanje veštačkih zemljinih satelita.

Glavni cilj vizuelnog načina je dobijanje prethodnih podataka o satelitima za ne geodetske ciljeve. Pri tim opažanjima koriste se manji teleskopi, binokulari, teodoliti ili kinoteodoliti zajedno sa dopunskim uređajima za registraciju vremena.

Elektronski način koristi razne elektronske sisteme. Korišćenje većine elektronskih metoda vezano je sa aktivnim satelitima tj. satelitima sa predajnikom koji emituje radiotalase. Predajni uređaji na satelitu mogu se u zavisnosti od principa njihovog dejstva podeliti u tri grupe: princip interferometra, korišćenje efekta Doplera i princip merenja odstojanja. Uslov, da satelit bude aktivan, javlja se kao veliki nedostatak ovih metoda.

U slučaju da satelit, iz bilo kojih razloga, prestane da emituje signale, ceo sistem nije u stanju da dalje funkcioniše. Jedinstvena elektronska metoda, kod koje se predajni uređaj nalazi na zemlji, dok se satelit koristi samo kao odbijač energije, je radiolokaciona metoda.

Fotoelektrični način koristi specijalne instrumente snabdevene fotoćelijama, koje na prolaz satelita osvetljenog Suncem, proizvode seriju impulsa koji se registruju zajedno sa signalima vremena.

Fotografski načini opažanja su najprikladniji za geodetske ciljeve kada se u cilju određivanja položaja satelita vrši njegovo fotografisanje na pozadini zvezdanog neba. Instrumenti koji se primenjuju u te svrhe mogu se podeliti u dve grupe odnosno dali se koriste sa stalnih ili pak pokretnih stanica. Sa stalnih stanica koriste se instrumenti koji nisu pogodni za transport, kao što su kamere Baker — Nunn ili pak instrumenti kojima su opremljene astronomske opservatorije.

U drugu grupu spadaju instrumenti tipa balističkih kamera koje su modificirane ili pak specijalno konstruisane kamere za opažanje veštačkih zemljinih satelita. Te kamere, u većini slučajeva, prvobitno su bile namenjene za dobijanje podataka o trajektorijama raznih projektila te se zato i nazivaju balističkim kamerama.

U suštini to su instrumenti pomoću kojih se određivao položaj projektila na njegovoj trajektoriji u zadanom momentu vremena. U tom cilju jednovremeno se koriste dve ili više kamera čiji je položaj tačno određen.

Ekspozicije se obavljaju istovremeno koristeći ili sistem zatvarača koji funkcionišu sinhronizovano ili koristeći bljeskove od samog projektila.

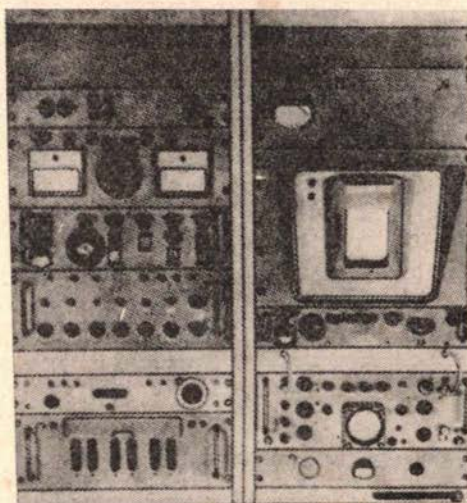
Položaj bljeskova na pozadini zvezdanog, neba određuje se na isti način kao i pri opažanjima sa stalnih stanica odnosno stalno stacioniranih instrumenata.

Teoretski, u ovim slučajevima, fiksiranje vremena i nije neophodno s obzirom da sve kamere snimaju bljeskove koji nastaju u još ranije određenim vremenskim momentima. Ove kamere se mogu koristiti i za praćenje optički aktivnih satelita — kada je satelit snabdjeven lampom koja daje bljeskove.

Takav metod opažanja se koristi za kosmičku triangulaciju. Za optički pasivne satelite, koji svetle koristeći odbijenu svetlost bilo Sunca ili svetlosnog snopa usmerenog sa Zemlje, trag satelita na fotografskoj ploči treba zakloniti u izvesnim momentima i tada registrovani vremenski momenat učinjenog snimka odnosno prekida traga samog satelita.

Konstruisano je više balističkih kamera za opažanje veštačkih zemljinih satelita od kojih treba spomenuti sovjetsku modificiranu aerofotokameru NAFA 3c/25, američke kamere PC-600 i PC-1000, francusku kameru K-37, englesku kameru sistema Schmidt i švajcarsku kameru Wild BC-4 koja se najviše u praksi i primenjuje.

Balistička kamera Wild BC-4 (Sl. 1) u suštini je modificirana aerofotokamera Wild RC-5 koja je postavljena na donjem delu univerzalnog teodolita Wild T-4. Instrumentat ima 6 različitih objektiv: »Aviogon« ($f = 11,5\text{cm}$), »Aviotar« ($f = 21\text{ cm}$), »Astrotar« ($f = 30,5\text{ cm}$) i najnoviji »Cosmotar«



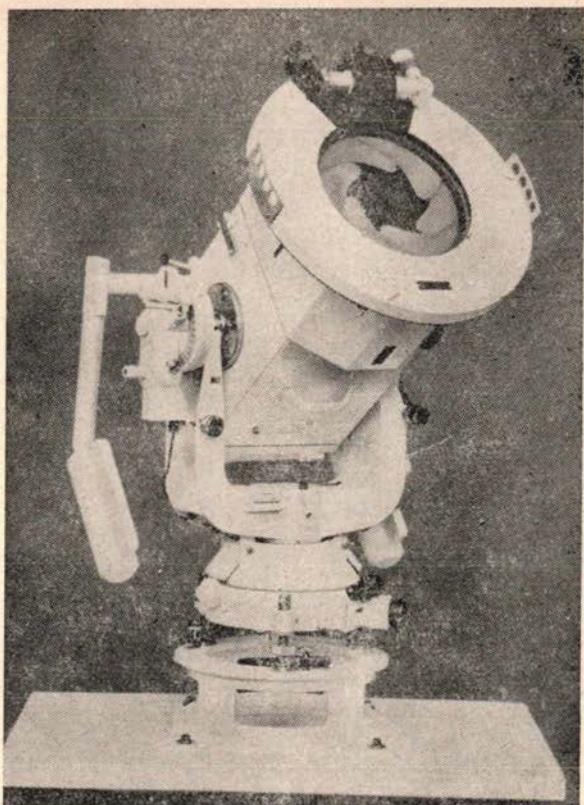
Slika 1

($f = 45,0\text{ cm}$) koji se koriste za dobijanje panhromatskih crno belih fotografija, a zatim »Infragon« ($f = 11,5\text{ cm}$) i »Infratar« ($f = 21\text{ cm}$) koji su specijalno namenjeni za dobijanje infracrvenih fotografija.

Objektivi »Astrotar« i »Cosmotar« specijalno se preporučuju, zbog svojih žižnih odstojanja, za opažanja satelita. Inače fotoekspoziciranje se vrši na preciznim staklenim pločama dimenzija $215 \times 90 \times 6\text{ mm}$ sa efektivnim formatom kadra $180 \times 180\text{ mm}$.

Vidno polje kamere iznosi $33^\circ \times 33^\circ$. Kamera se pre ekspoziciranja fotografije satelita početno orijentiše prema azimutu i visini koristeći horizontalni i vertikalni stakleni limbus. Horizontalni limbus ima prečnik 250 mm na kome se pomoću koincidiranja dijametralnih položaja kroz mikroskop može kao najmanji podeok direktno očitati $0,1''$.

Vertikalni limbus je prečnika 145 mm na kome se opet koincidiranjem, kao najmanji podeok, može očitati $0,2''$. Da bi postojala mogućnost za opažanja ovom kamerom i optički pasivnih satelita, kojih je u sadašnje vreme sve više, izvršena je i modifikacija balističke kamere BC-4.



Slika 2

Modifikacija se sastoji u konstrukciji elektronskog zatvarača, koji se koristi za registraciju vremena, kao i sistema za sinhronizaciju. Kod modificirane kamere, između sočiva, pored ravni irisove dijafragme, postavljena su tri diska koji se okreću i koji se koriste za prekidanje traga satelita.

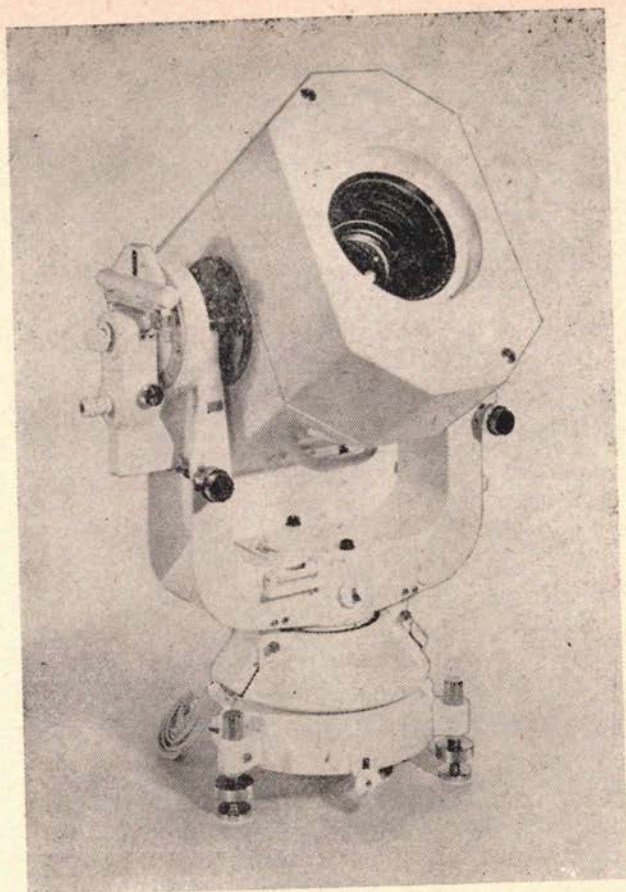
Dva od njih predstavljaju zatvarač koji se brzo okreće dok se treći disk koristi za smanjivanje vremena ekspozicije. Okretanje diskova se vrši vrlo preciznim sistemom prenosa. Diskovi se okreću brzinama 10, 5 ili 2,5 obrta u sekundi što odgovara ekspozicijama od 1/60 1/30 i 1/15 sekundi.

Treći disk je sinhronizovan sa prva dva i njime se vreme ekspozicije može smanjiti za 2 ili 5puta. Dalje smanjivanje vremena ekspozicije kao i kodiranje traga satelita vrši se koristeći pomoćni zatvarač koji se postavlja ispred objektiva kamere (sl. 2).

Pomoćni zatvarač se može programirati za smanjivanje vremena ekspozicije za 2, 4 ili 16 puta i on se prvenstveno koristi za prekidanje traga zvezda pre i posle dobijanja fotografije samog satelita u cilju kalibriranja.

Pri fotografisanju zvezda, zatvarač se automatski postavlja u srednje otvoren položaj. Sistem za sinhronizaciju (sl. 3) obezbeđuje funkcionisanje odvojenih sistema zatvarača za vreme opažanja, sinhronizuje zatvarač za prekidanje traga satelita, automatski postavlja zatvarač u otvoren položaj pri prekidanju traga zvezda, daje kontrolne oznake — pokazanje časovnika i brojčanika a isto tako omogućuje i detaljno zapisivanje svih ostalih neophodnih podataka pri samom snimanju.

Slika 3



Ista kamera se može koristiti i za opažanja optički aktivnih satelita. U tom slučaju neposredno pred fotografisanje bljeska sa satelita koji se daju u tačno određenim vremenskim intervalima, mora se izvršiti kalibriranje kamere. Posle toga zatvarač kamere ostaje zatvoren sve do momenta kada se po programu očekuje bljesak. U tom momentu zatvarač se otvara i kamera ostaje otvorena sve do kraja predviđene serije bljesaka. Odmah posle toga ponovo treba izvršiti kalibriranje kamere. Kalibriranje se vrši u cilju neophodnog određivanja orijentacije i stabilnosti kamere za vreme samog perioda opažanja.

Na razvijenim eksponiranim pločama lako se mogu uočiti serije bljesaka sa pozadinom na kojoj se vidi veliki broj zvezda. Zbog toga što se na fotografijama slike zvezda razlikuju jedne od drugih po njihovoj veličini i sjaju, nije problem izabrati kao kontrolne zvezde one kod kojih je fotografska karakteristika bliska karakteristikama slike bljeskova. Ako se ovo uzme u obzir pri izboru osnovnih zvezda, onda se problem ličnih grešaka pri merenju svodi na minimum jer će one biti iste kako pri mjerenjima bljeskova tako i pri merenjima izabranih zvezda kao kontrolnih osnovnih tačaka.

Prema telemetriskim signalima od fotoelemenata postavljenih na satelitu, vreme svakog bljeska se može odrediti sa tačnošću reda $0^{\circ},001$.

Balistička kamera Wild BC-4 pored svog uspješnog angažovanja za opažanje satelita široko se koristi i kao standard pri kalibriranju ostalih načina i pribora za opažanje satelita i raznih eksperimenata na raketnim poligonima.

Načini za opažanje vaštačkih zemljinih satelita mogu se koristiti nezavisno jedan od drugog a mogu se međusobno i dopunjavati. Kao nezavisan način, najčešće se primenjuju razne metode elektronskih opažanja koje daju neprekidne informacije o putanji satelita koje su neophodne za rešavanje dinamičkih zadataka. Kao dopunski, zajednički načini, mogu se koristiti vizuelni i elektronski, kada se oni koriste za dobijanje prethodnih podataka u cilju fotografskog opažanja satelita, koje je osnovno sredstvo za određivanje tačnih parametara orbite a u cilju rešavanja geometrijskih zadataka.

ISPRAVI!

U članku F. Braum: »O upotrebi el. daljinomjera...« izašlom u br. 4-6/1969 potkrale su se uslijed tehničkih poteškoća tiskarske pogreške, pa bi trebalo pisati na:

str. 88: (18) ... $y_{C_0} - y_B$

str. 89: formula (= f.) (5): $\frac{v_B}{C_{By}} \cdot \frac{a}{V_B} da + \frac{v_A}{C_{Ay}} \frac{b}{V_A} db$

20. red: a_{1v} umjesto a_{3v}

str. 90: formula (6a): $\frac{a}{C_{Bx}}$ da

str. 91: formula (17) $\frac{a^2}{C_{bx}}$ d v_a

str. 94: formula (27): m_{lc} umjesto m

str. 99: formula (33): $+ t_{AC\bar{\eta}}$ formula (35): $t_k \delta v_k$

str. 98: 11. red je formula (36a)

str. 99: retci 19-21 dolaze iza 26. retka

U članku S. Klak: »Apsolutno određivanje ubrzanja sile teže« na strani. 103 4. i 5. red teksta glasi:

Na strani 110 — treći red glasi: Clark 12,9

Osim apsolutnog određivanja ubrzanja sile teže postoji i relativno tj. određivanje razlika ubrzanja sile teže između pojedinih tačaka-stajališta.

U članku P. Lovrić: »Osnovna državna karta 1 : 5000« — Na strani 128 adresa autora glasi:

Adresa autora: Paško Lovrić, dipl. ing — Geodetski fakultet, Zagreb Kačićeva 26.