PETAR ČUMBELIĆ

Numeričko rješenje direktne metode određivanja geografskih koordinata položaja opažača ili metoda simulacije

UVOD

U današnjoj praksi određivanja geografskih koordinata položaja u astronomskoj navigaciji upotrebljava se gotovo isključivo metoda koju je prvi razradio i predložio francuski admiral Marcq de Saint Hilaire. Ovo je indirektna metoda, jer se geografske koordinate računaju posrednim putem, tj. računaju se elementi za određivanje pravaca položaja (razlike visina i azimuti).

Bilo je raznih prijedloga da se geografske koordinate računaju na neposredan način tj. direktno. Svi ti prijedlozi polaze od opažanja dva nebeska tijela u istom ili skoro istom trenutku, ili od opažanja jednog ili dva nebeska tijela u razmaku vremena. Raznim formulama sferne trigonometrije računaju se razni parametri i konačno geografska širina i geografska dužina. Gledani u svijetlu današnjih dostignuća na polju elektroničkih računala ti prijedlozi postaju sve privlačniji.

Matematička rješenja, koja su nekada izgledala glomazna i nepraktična, a sheme računa duge i komplicirane, postaju danas sasvim prihvatljiva, jer je računanje i određivanje predznaka i razna druga pravila preuzelo na sebe računalo, koje korisniku, kad je pravilno programirano, daje konačni rezultat.

Danas se na tržištu nagivatoru nude razna računala i razni programi koji rješavaju navigacijske probleme brzo i točno i tako zamjenjuju nautičke tablice i efemeride, koji su donedavno bili neophodna pomagala kod rješavanja navigacijskih zadataka, a posebno onih stronomske, loksodromske i ortodromske plovidbe.

Detaljno o tim računalima i zadacima koje ona rješavaju čitatelj može naći u ovom broju od autora profesora B. Franušića.

U ovom radu izložit ću jedan novi način i jedan novi pristup u uvijek aktualnom problemu rješavanja položaja opažača astronomskim putem. Tu metodu nazvao sam metodom simulacije, jer simulirajući geografsku širinu, koja može i znatnije odstupati od stvarne širine, određujemo stvarnu širinu položaja opažača, a potom se lako određuje geografska dužina. I kod ove metode opažat ćemo dva ili više nebeskih tijela u istom ili skoro istom trenutku, ili pak jedno ili dva tijela u razmaku vremena. Kod opažanja u istom trenutku ili u kraćem vremenskom razmaku bolje je opažati tri tijela (ako je to moguće) simetrično raspoređena po horizontu. Tada dobivamo trokut položaja, a u središtu upisane kružnice je položaja opažača. Na ovaj način eliminiramo sistematske greške kod opaženih visina, koje su u normalnoj navigacijskoj praksi skoro uvijek dominantne.

Metodom simulacije geografsku širinu opažača odredit ćemo tako da najprije iz efemerida izvadimo satne kutove Greenwich-a (ako radimo računarom koji ima programe za efemeride onda to nije potrebno), a potom računamo mjesne satne kutove sa simuliranom širinom. Za prvu simuliranu širinu u praksi ćemo uzeti zbrojenu ili procijenjenu širinu. Razlika satnih kutova Greenwich-a i mjesnih satnih kutova za dva tijela opažena u istom trenutku je jednaka. Pošto u našem slučaju, kada mjesne satne kutove računamo sa simuliranom širinom, ove dvije razlike neće biti jednake, osim ako kojim slučajem prva simulirana širina ne bude jednaka pravoj širini, mi moramo mijenjati širinu i ponovno računati mjesne satne kutove dokle god razlika tih razlika ne bude jednaka nuli ili matematički pisano:

$$1. \quad (S_1 - S_2) - (s_1 - s_2) = 0$$

S_1 i S_2 su satni kutovi Greenwich-a, a s_1 i s_2 su mjesni satni kutovi računati sa simuliranom širinom.

Da bismo se što prije približili nuli u jednadžbi 1, diferenciranjem ćemo odrediti prirast funkcije (dfi) koji odgovara prirastu argumenta (dS). U normalnoj navigacijskoj praksi već u prvom pokušaju doći ćemo do zadovoljavajućeg rješenja.

Prirast argumenta definirat ćemo:

$$2. \quad dS = |(S_1 - S_2)| - |(s_1 - s_2)|$$

Kad nam prirast argumenta dS nije velik, a to je u praksi najčešće, prirast funkcije dfi i konačno računata širina položaja opažača bit će točni za praktične potrebe astronomske navigacije.

Geografsku širinu, koju smo ovako izračunali, zvat ćemo širina u prvoj aproksimaciji i bilježiti fi_1.

U graničnim slučajevima, kad nam je jedno od tijela blizu meridijana, dS bit će veliko, pa nam fi neće biti dovoljno točna. Tada ćemo računati širinu u drugoj aproksimaciji fi_2. I u nepovoljnim slučajevima širina u trećoj aproksimaciji fi_3 zadovoljit će potrebnu točnost.

MATEMATIČKO RJEŠENJE

Prirast argumenta dS već smo definirali formulom 2. Mjesne satne kutove izračunat ćemo formulama

$$3. \quad s_1 = \pm \arccos \frac{\sin V_1 - \sin fi_s \sin d_1}{\cos fi_s \cos d_1}$$

$$4. \quad s_2 = \pm \arccos \frac{\sin V_2 - \sin fi_s \sin d_2}{\cos fi_s \cos d_2}$$

(V je visina, d je deklinacija, a fi_s je simulirana širina, koja je u stvari zbrojena ili procijenjena širina).

Ako od jednadžbe 3. odbijemo jednadžbu 4. i uzmemo apsolutnu vrijednost te razlike dobit ćemo

$$5. \quad |(s_1 - s_2)| = \arccos \frac{\sin V_1 - \sin fi_s \sin d_1}{\cos fi_s \cos d_1} \pm \arccos \frac{\sin V_2 - \sin fi_s \sin d_2}{\cos fi_s \cos d_2}$$

Kad $(s_1 - s_2)$ uzmemo da nam je jednako Δs i kad jednadžbu 5. diferenciramo po Δs i f_s nakon sređivanja dobit ćemo formulu

$$6. \quad dfi = \pm \frac{dS}{\dfrac{\sin V_1 \sin fi_s - \sin d_1}{\cos^2 fi_s \cos d_1 \sin s_1} \pm \dfrac{\sin V_2 \sin fi_s - \sin d_2}{\cos^2 fi_s \cos d_2 \sin s_2}}$$

Da bismo jednadžbu 6. pojednostavnili, uvest ćemo ove supstitucije:

$$\sin V_{1/2} \sin fi_s - \sin d_{1/2} = a_{1/2}$$

$$\cos^2 fi_s \cos d_{1/2} \sin s_{1/2} = b_{1/2}$$

Sada formulu 6. možemo pisati ovako:

$$7. \quad dfi = \pm \frac{b_1 b_2}{a_1 b_2 \pm a_2 b_1} dS$$

Geografska širina u prvoj aproksimaciji bit će

$$8. \quad fi_1 = fi_s + dfi$$

a stvarna širina opažača

$$9. \quad fi = fi_s + dfi_1 + dfi_2 + \dots + dfi_n$$

dfi_1, dfi_2, dfi_3 itd. računamo tako da u formulu 7. (6) uvrštavamo fi_s 1, f_2 itd.

Za praktične potrebe astronomske navigacije najčešće nam je dovoljno da uzmemo samo prva dva pribrojnika na desnoj strani jednadžbe 9, a u graničnim slučajevima prema potrebi do prva četiri pribrojnika. Geografsku dužinu La izračunat ćemo po formuli

$$10. \quad La = S_1 \pm \arccos \frac{\sin V_1 - \sin fi \sin d_1}{\cos fi \cos d_1}$$

Analizirajući izvedene formule nije teško zaključiti da računanje na klasični način (logaritamskim ili nautičkim tablicama) ne dolazi u obzir, jer je kompliciranije od računanja pravca položaja po visinskoj metodi. Međutim, kao što sam na početku spomenuo, danas, kad su nam na raspolaganju sve savršenija računala, koja su veličinom i cijenom pristupačna svakom navigatoru, mi možemo sastaviti programe, koje će, nakon ulaznih argumenata sve računske operacije, provjere i određivanje predznaka, sama obaviti bez naše intervencije i prekidanja programa i na ekranu ispisati rezultate tj. fi i La.

U nastavku ovog članka bit će govora o jednom takvom računu i programima za rješavanje izvedenih formula.

Prije nego što izložim rješenje ovog zadatka računalom htio bih se još zadržati na nekim matematičkim aspektima ove metode.

Daljnjim transformiranjem formule 6. dolazimo do formule

$$11. \quad dfi = \pm \frac{\cos fi_s}{\cot Z_1 \pm \cot Z_2} dS \quad \text{jer je}$$

$$\frac{\sin V_{1/2} \sin fi_s - \sin d_{1/2}}{\cos^2 fi_s \cos d_{1/2} \sin s_{1/2}} = - \frac{\cos Z_{1/2}}{\sin Z_{1/2}} \frac{1}{\cos fi_s} = - \frac{\cot Z_{1/2}}{\cos fi_s}$$

Pošto mi ne znamo $Z_{1/2}$ (azimute nebeskih tijela za simuliranu širinu), već bismo ih morali prethodno izračunati, kod sastavljanja programa, formula 11. nema neke prednosti pred formulom 7, pa je nisam ni koristio.

Sada bih želio pokazati točnost rezultata kod upotrebe ove metode, tj. kad ćemo računati samo fi_1, a kad fi_2, fi_3 itd.

Po definiciji derivacije znamo da nam je dfi točno samo kad nam dS teži nuli. U praksi to znači da nam dS mora biti maleno, a to je i redoviti slučaj, osim u graničnim slučajevima, tj. kad nam je jedno od nebeskih tijela koje opažamo u blizini meridijana.

Nadalje s izračunatom fi računamo La, pa u ovim graničnim slučajevima čak i vrlo mala greška u fi može uzrokovati relativno veliku grešku u La.

Utjecaj greške u fi na grešku u La možemo analizirati ako jednadžbu

$$\cos s = \frac{\sin V - \sin fi \sin d}{\cos fi \cos d}$$

diferenciramo po s i fi, pa imamo:

$$ds = \frac{\sin V \sin fi - \sin d}{\cos^2 fi \cos d \sin s} dfi$$

i nakon sređivanja

$$12. \quad ds = dfi \cot Z \sec fi$$

Iz jednadžbe 12. vidimo da je promjena u s (ds) zbog promjene u fi (dfi) tim veća što je azimut (Z) manji, a geografska širina veća. Kad nam azimut teži 0° (360°) ili 180°, tada ds teži beskonačno, a isto tako i kad nam fi teži 90°.

Kod sastavljanja programa za kriterij točnosti uzeo sam 0.001° (3.6") tj. oko 0.05 nautičkih milja, pa nam računalo automatski računa fi sve dok ovaj kriterij ne bude zadovoljen. Potom računalo računa La. Računalo ispisuje alfabetski fi i La i daje predznak minus za južnu širinu i zapadnu dužinu.

Kad opažamo u razmaku vremena, prvu visinu v_1 moramo ispraviti na trenutak drugog opažanja.

Promjenu u visini nebeskog tijela zbog promjene u geografskoj širini dobit ćemo ako osnovnu formulu za visinu

$$\sin V = \sin fi \sin d + \cos fi \cos d \cos s$$

diferenciramo po V i fi, pa nakon diferenciranja i sređivanja dobivamo

$$13. \quad dV_{fi} = dfi \cos Z$$

Promjenu visine zbog promjene geografske dužine (satnog kuta) dobit ćemo ako istu formulu diferenciramo po V i s, pa nakon diferenciranja i sređivanja dobivamo

$$14. \quad dV_s = ds \cos fi \sin Z$$

Rješavajući prvi loksodromski zadatak imamo:

$\Delta fi = D_L \quad \cos K_L \qquad \Delta dLa = D_L \; / \sin K_L \quad \sec fi$

$D \quad = b\ t$

Δ fi je razlika širine, a Δ La je razlika dužine. D_L je daljina, a K_L kurs loksodromski, b je brzina, a t je vrijeme.

Formule 13. i 14. sada možemo pisati ovako:

$$15. \quad dV_{fi} = b\ t \cos K_L \cos Z \qquad 16. \quad dV_s = b\ t \sin K_L \sin Z$$

Kad formule 15. i 16. zbrojimo, dobivamo

$$dV = b\ t\ (\cos K_L \cos Z + \sin K_L \sin Z)$$

što konačno možemo pisati

$$17. \quad dV = b\ t \cos (K_L - Z)$$

Azimut Z izračunat ćemo po formuli

$$18. \quad Z = \pm \operatorname{arc} \cos \frac{\sin d_1 - \sin fi_s \sin V_1}{\cos fi_s \cos V_1}$$

RJEŠAVANJE FORMULA RAČUNALOM

Da bismo dobili fi i La, osim podataka koje vadimo iz efemerida (S_1, S_2, d_1, d_2 i korekture za visine), moramo najprije riješiti jednadžbe date formulama 3. i 4, tj. moramo naći s_1 i s_2 i napraviti njihovu razliku ($s_1 - s_2 = \Delta$ s). Jednadžbe daju dva rješenja jer je cos s = cos (—s), pa moramo postaviti pravilo za određivanje predznaka. U našem slučaju to znači da moramo znati kad ćemo odbiti, a kad zbrojiti apsolutne vrijednosti s_1 i s_2. To pravilo glasi: »Kad nam se dva nebeska tijela opažena u istom ili skoro istom trenutku, ili jedno ili dva tijela opažena u razmaku vremena, nalaze s iste strane meridijana, uzet ćemo razliku, a u suprotnom zbroj«. Treba postaviti pravilo i za predznake u nazivnicima formula 6, 7. i 11. Za formulu 11. pravilo glasi: »Azimute treba uzimati kvadrantalno, pa kad su nam azimuti u istom kvadrantu predznak je minus, a u suprotnom je plus.«

Kako mi nemamo namjeru računati tablicama ili računalom korak po korak, ova pravila bila su nam potrebna samo kod sastavljanja programa.

Onaj tko bude koristio ovu metodu i program neće morati pamtiti apsolutno ništa, a neće mu biti potrebna niti shema računa kao što je to slučaj kod ostalih sličnih računala i njihovih programa. Dovoljno je da se pritisne dirka programa, a sve drugo radi samo računalo. Ne moramo pamtiti ni kojim redom dajemo podatke računalu, jer nas ono samo »pita« podatak po podatak. Kad smo unijeli zadnji podatak i pritisnuli dirku EXE, računalo počinje računati. Kad je kriterij točnosti zadovoljen u prvoj aproksimaciji, rezultat će se pojaviti na ekranu računala nakon oko 38^s, u drugoj nakon oko 61^s, a u trećoj nakon oko 85^s, dakle, za svaku narednu aproksimaciju još po oko 24^s.

U današnjoj navigacijskoj praksi više se ne pitamo kao nekad »Gdje smo?« već »Da li smo ondje gdje nam ostali navigacijski sustavi kažu da se nalazimo?« Prema tome naša simulirana (zbrojena ili procijenjena) širina neće biti daleko od stvarne u slučaju istovremenog opažanja ili opažanja u kraćem vremenskom intervalu, pa ako nisu u pitanju granični slučajevi, rezultat ćemo dobiti već nakon oko 38^s.

Da zaključimo: Koristeći ovu metodu, ovo računalo i ovaj program rezultat ćemo dobiti nakon 38 do 85 sekundi. Za praktične potrebe astronomske navigacije rezultat je uvijek točan.

Teoretski gledano, kad bismo kojim slučajem opažali jedno od nebeskih tijela točno u meridijanu, rezultat ne bismo dobili, jer nam je cot O beskonačno. Vjerojatnost je skoro nula da će nam se u praksi takav slučaj i dogoditi.

Računalo koje sam koristio ograničenog je kapaciteta i nema inkorporirane efemeride, pa ih moramo koristiti da bismo našli S_1, S_2, d_1, d_2 i korekture za visine. Kad bi računalo imalo programe za efemeride, kvarcni sat i štopericu, sve što bismo morali u njega unijeti bile bi izmjerene (nepopravljene) visine.

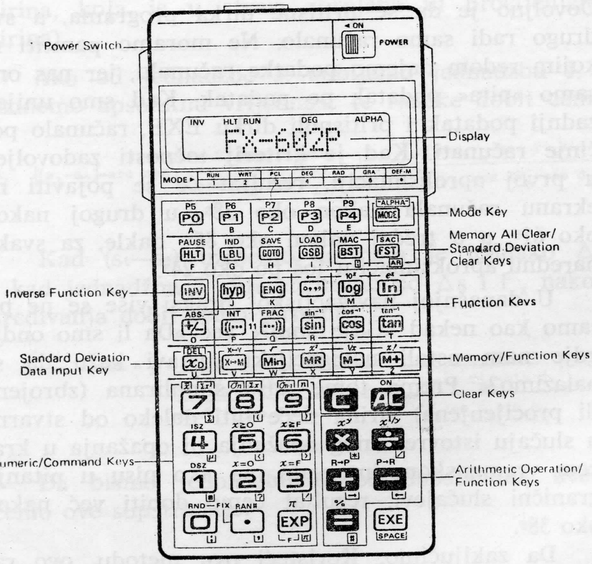
Program sam sastavio tako da isti program rješava slučaj istovremenog opažanja i opažanja u razmaku vremena. Naime, jedan pomoćni program ispravlja prvu visinu za trenutak drugog opažanja.

Ovu metodu mogli bismo koristiti i kod opažanja tri nebeska tijela simetrično raspoređena po horizontu (razlike azimuta po oko 120°), pa bismo u središtu upisane kružnice trokuta položaja dobili točniji položaj opažača, jer bismo na taj način eliminirali sistematske greške izmjerenih visina.

Programe sam sastavio za računalo »CASIO programmable calculator FX-602P« japanske proizvodnje, koje je 1981. godine stajalo manje od sto američkih dolara.

Samo računalo izgleda (vidi sliku) kao obični, mali džepni kalkulator, koji pored četiri osnovne računske operacije ima i razne druge funkcije kao trigonometrijske, logaritamske, inverzne, hiperbolne i druge, a još k tome i deset programa ukupnog kapaciteta 512 koraka i 22 memorije.

Računalo ima mogućnost ispisivanja malih i velikih slova abecede. Nakon uključivanja računala i biranja programa na ekranu se pojavljuje »S1?«, a to znači da moramo u računalo unijeti satni kut Greenwich-a prvog nebeskog tijela. Nakon što smo pritisnuli dirku EXE (execute) na ekranu se ispisuje »S2?« itd. Kako vidimo, računalo nas samo pita podatak po podatak dok ne dobije sve potrebne argumente.



Kalkulator "CASIO FX-602P"

UPUTE ZA RAD KORAK PO KORAK

1. Uključujemo računalo i biramo program nula P0.
2. Na ekranu se pojavljuje »S1?«. U računalo upisujemo satni kut Greenwich-a prvog nebeskog tijela.
Minute i dijelove minuta upisujemo u računalo kao da su dijelovi stupnja, npr. 321°18.5' upisujemo ovako 321.185. Jedan pomoćni program to automatski pretvara u 321.3083. Pritiskamo dirku EXE.
3. Na ekranu se ispisuje »S2?«. Upisujemo satni kut drugog tijela i pritiskamo dirku EXE.
4. Na ekranu se pojavljuje »V1?«. Unosimo pravu visinu prvog tijela i pritiskamo dirku EXE.
5. Na ekranu se pojavljuje »V2?«. Unosimo pravu visinu drugog tijela i pritiskamo dirku EXE.
6. Na ekranu se pojavljuje »d1?«. Unosimo deklinaciju prvog tijela i pritiskamo dirku EXE. (Južnu deklinaciju unosimo s predznakom »minus«).
7. Na ekranu se pojavljuje »d2?«. Unosimo deklinaciju drugog tijela i pritiskamo dirku EXE.
8. Na ekranu se pojavljuje »fi?«. Unosimo simuliranu (zbrojenu ili procijenjenu) širinu i pritiskamo dirku EXE. (Južnu širinu unosimo s predznakom »minus«).
Ovdje bih želio napomenuti da nam se u graničnim slučajevima može dogoditi da nam fi simulirano ne pada u granice od: deklinacija plus/minus zenitna daljna, pa nam u ovom slučaju računalo automatski mijenja fi za ± 1° i tako dovodi fi u njene granice.
Kod istovremenih ili skoro istovremenih opažanja nakon pritiskanja dirke EXE iz točke 8. računalo počinje računati. Nakon isteka ranije spomenutog vremenskog intervala na ekranu se ispisuje npr. fi = 29°58'24.9".
9. Pritiskamo dirku EXE i na ekranu se odmah pojavljuje jedna od dvije dužine npr. La = = —44°10'42". Da bismo dobili drugu dužinu pritiskamo ponovno EXE. Dužinu biramo prema zbrojenom položaju.

Kod opažanja u razmaku vremena 9. korak izgleda ovako

9. Na ekranu se pojavljuje »K?«. Unosimo kurs pravi i pritiskamo EXE.
10. Na ekranu se pojavljuje »b?«. Unosimo brzinu i pritiskamo dirku EXE.
11. Na ekranu se pojavljuje »t?«. Unosimo interval između dva opažanja i pritiskamo dirku EXE. Ovdje bih napomenuo da interval vremena unosimo na sličan način kao i ostale podatke, tj. minute i dijelove minuta kao dijelove sata, npr. za 1^h30^m pišemo 1.3. Onaj isti pomoćni program to automatski pretvara u 1.5.
Nakon isteka vremenskog intervala, na ekranu se pojavljuje npr. fi = 32° 7'38.6". Pritiskamo dirku EXE.

```
PROGRAMI ZA RAČUNALO "CASIO FX-602P" ZA IZRAČUNAVANJE
        GEOGRAFSKE ŠIRINE I GEOGRAFSKE DUŽINE

GLAVNI PROGRAM P0
DEG "S1?" HLT GSBP7 Min00 "S2?" HLT GSBP7 Min01 "V1?" HLT
GSBP7 Min02 "V2?" HLT GSBP7 Min03 "d1?" HLT GSBP7 Min04
"d2?" HLT GSBP7 Min05 "fi?" HLT GSBP7 Min06 9 0 - MR02 =
Min08 9 0 - MR03 = Min09 MR04 + MR08 = Min10 MR04 - MR08
= Min11 MR05 + MR09 = Min12 MR05 - MR09 = Min13 MR10 MinF
MR06 X≥F GOTOØ MR06 MinF MR11 X≥F GOTO1 MR12 MinF MR06 X≥F
GOTOØ MR06 MinF MR13 X≥F GOTO1 GOTO 2 LBLØ MR06 - 1 = Min06
GOTO2 LBL1 MR06 + 1 = Min06 LBL2 (GSBP5 samo kod opažanja u
 razmaku vremena  ) MR00 - MR01 = ABS Min07 BSBP2 GSBP3
GSBP4
POMOĆNI PROGRAM P1
GSBP2 GSBP3 .0 0 1 Min09 MR14 ABS MinF MR15 ABS X≥F MinF
MR09 X≥F GOTO4 GOTO5 LBL4 GSBP2 MR06 o," "fi =# " HLT
MR00 - MR08 = +/- Min09 GSBP6 HLT MR00 + MR08 = +/- Min09
GSBP6 HLT LBL5 GSBP4

POMOĆNI PROGRAM P2
1 MinF MR02 sin - MR06 sin x MR04 sin = : MR06 cos : MR04
cos = ABS X≥F 1 cos-1 Min08 MR03 sin - MR06 sin x MR05 sin
= : MR06 cos : MR05 cos = X≥F 1 cos -1 Min09 + MR08 = -
MR07 = ABS Min10 MR09 - MR08 = ABS - MR07 = ABS +/- MinF
MR10 +/- X≥F MinF MRF ABS MinF
POMOĆNI PROGRAM P3
MR02 sin x MR06 sin - MR04 sin = Min10 MR03 sin x MR06
sin - MR05 sin = Min11 MR06 cos X2 x MR04 cos MR08 sin =
Min12 MR06 cos X2 x MR05 cos x MR09 sin = Min13 MRF x MR12
x MR13 = Min1F : ( MR10 x MR13 - MR11 x MR12 ) = Min14
MR1F : ( MR10 x MR13 + MR11 x MR12 ) = Min15

POMOĆNI PROGRAM  P4
MR06 + MR14 = Min16 MR06 - MR14 = Min17 MR06 + MR15 =
Min18 MR06 - MR15 = Min19 MR16 Min06 GSBP2 MRF Min14 MR17
GSBP2 Min06 GSBP2 MRF Min15 MR18 Min06 GSBP2 MRF Min1F
MR19 Min06 GSBP2 MRF Min08 MR14 +/- MinF MR15 +/- X≥F
MinF MR1F +/- X≥F MinF MR08 +/- X≥F MRF ABS MinF MR14
X=F GOTOØ MR15 X=F GOTO1 MR1F X=F GOTO2 GOTO3 LBLØ MR16
GOTO4 LBL1 MR17 GOTO4 LBL2 MR18 GOTO4 LBL3 MR19 GOTO4 LBL4
Min06
POMOĆNI PROGRAM P5
MR04 sin - MR06 sin x MR02 sin = : MR06 cos : MR02 cos
= cos-1 Min10 Ø "K?" HLT Min08 "b?" HLT Min09 "t?" HLT
GSBP7 x MR09 = Min11 MR08 - MR10 = cos x MR11 : 6 0 =
+ MR02 = Min02
POMOĆNI PROGRAM P6
1 8 0 MinF MR09 ABS X≥F GOTOØ MR09 GOTO1 LBLØ 3 6 0 +
MR09 = LBL1 o," "La =# "
POMOĆNI PROGRAM
Min14 INT + ( MR14 FRAC x 2 10x ) : 6 0 = .
```

12. Na ekranu se pojavljuje jedna od dužina npr. La = 94°30'17.8". Ako to nije prava dužina, pritiskamo dirku EXE.

13. Na ekranu se pojavljuje npr. La = 30°24'6.12". To je sada prava dužina.

Ovo je svršetak računa. Dobili smo da je fi = 32° 7'38.6" N i La = 30°24' 6.12" E.

Ako bismo željeli provjeriti točnost u fi (greška je uvijek manja od 3.6"), izvadit ćemo sadržaj memorija 14 i 15 i uzeti veću vrijednost. U našem konkretnom slučaju to je oko M14 = 1.25×10^{-6}.

Ako u nekom drugom slučaju greška bude maksimalno moguća, tj. 3.59", a prvo-opaženo nebesko tijelo u neposrednoj blizini meridijana, možemo pritisnuti još jedanput dirku EXE te će nam računalo izračunati novu fi, koja je sada bez i te najmanje greške.

Ovo je samo teoretiziranje, jer je vjerojatnost skoro nula da bi nam se takav slučaj mogao dogoditi u praksi.

PRIMJER I

Dvije zvijezde opažene u skoro istom trenutku.

Dana 15. svibnja 1979. u tb = 19^h12^m iz zbrojenog položaja fi = 30° 6.5'N i La = 44°45'W opaze se visine zvijezda Capella i Sirius i zabilježe vremena kronometra.

Capella: V_1 = 25°48.6' tk = $22^h10^m37^s$
Sirius: V_2 = 15° 7.6' tk = $22^h12^m\ 5^s$

Stanje kronometra, greške indeksa i ekscentriciteta su nula.

Iz efemerida vadimo: S_1 = 126°54.7', S_2 = 105° 0.4', d_1 = 45°58.6', d_2 = 16°41.5'.

TABELARNI PRIKAZ TOKA RAČUNA ZA GEOGRAFSKU ŠIRINU I DUŽINU ZA PRIMJER I

Koraci		Podaci koje dajemo računalu		Podaci koje računalo ispisuje	Opaske
1			PO	S1?	
2	(S1)	126.547	EXE	S2?	
3	(S2)	105.004	EXE	V1?	
4	(V1)	25.486	EXE	V2?	
5	(V2)	15.076	EXE	d1?	
6	(d1)	45.586	EXE	d2?	
7	(d2)	— 16.415	EXE	fi?	Nakon oko 38^s računalo ispisuje
8	(fi)	30.065	EXE	fi=29°58'24.9"	Računalo skoro
9			EXE	La=-44°10'42"	odmah ispisuje

Ovo je bio tipičan primjer iz prakse koji sam u svoje vrijeme stvarno na brodu i radio.

Kod istovremenog ili skoro istovremenog opažanja u većini primjera računalo će nam dati rezultat već nakon oko 38^s, što je brže od svih meni poznatih računala, iako je ovo računalo daleko jeftinije od ostalih.

PRIMJER II

Dvije zvijezde u razmaku vremena od 7.5^m (Potrebni podaci su u tabeli).

TABELARNI PRIKAZ TOKA RAČUNA ZA GEOGRAFSKU ŠIRINU I DUŽINU ZA PRIMJER II

Koraci		Podaci koje dajemo računalu		Podaci koje računalo ispisuje	Opaske
1			PO	S1?	
2	(S1)	291.526	EXE	S2?	
3	(S2)	344.097	EXE	V1?	
4	(V1)	75.42	EXE	V2?	
5	(V2)	37.156	EXE	d1?	
6	(d1)	8.491	EXE	d2?	
7	(d2)	— 26.231	EXE	fi?	
8	(fi)	11.23	EXE	K?	
9	(K)	288	EXE	b?	
10	(b)	10	EXE	t?	
11	(t)	0.075	EXE	fi=11°18'37.7"	Računalo ispisuje fi nak. oko 38^s
12			EXE	La=82°26'53.4"	
13			EXE	La=53°47'54.5"	Prava La

I ovo je bio zadatak iz prakse koji sam na brodu također računao.

PRIMJER III

Sunce u razmaku vremena od 1^h30^m. (Potrebni podaci su u tabeli).

TABELARNI PRIKAZ TOKA RAČUNA ZA GEOGRAFSKU ŠIRINU I DUŽINU ZA PRIMJER III

Koraci		Podaci koje dajemo računalu		Podaci koje računalo ispisuje	Opaske
1			PO	S1?	
2	(S1)	297.328	EXE	S2?	
3	(S2)	320.101	EXE	V1?	
4	(V1)	57.102	EXE	V2?	
5	(V2)	72.416	EXE	d1?	
6	(d1)	17.052	EXE	d2?	
7	(d2)	17.042	EXE	fi?	
8	(fi)	32.152	EXE	K?	
9	(K)	81	EXE	b?	
10	(b)	10	EXE	t?	
11	(t)	1.3	EXE	fi=32°7'38.6"	Računalo ispisuje fi nak. oko 62^s
12			EXE	La=94°30,17.8"	
13			EXE	La=30°24'6.12"	Prava La

ZAKLJUČAK

Na kraju bih želio napomenuti da se na ovom računalu, kad se sastave odgovarajući programi, mogu na lagan način rješavati i svi drugi navigacijski problemi, kao položaj opažača koristeći visinsku metodu, loksodromska, ortodromska i miješana plovidba, identifikacija zvijezda itd. Kad se ispuni kapacitet računala, upisani podaci mogu se pomoću odgovarajućeg adaptora (cijena mu je oko 30 dolara) prenijeti na običnu magnetofonsku kasetu i po potrebi vraćati natrag u računalo.

Koristim ovu priliku da se zahvalim kolegama Andreju Novaku, Ivu Sjekavici i Borisu Franušiću, koji su mi. dok sam radio ovaj rad, dali korisne savjete.