Boris Franušić *

ISSN 0469 - 6255
(211 - 216)

OPTIMALIZACIJA DOBIVANJA BRODSKE POZICIJE U ASTRONOMSKOJ NAVIGACIJI

UDK 527.6

Izvorni znanstveni rad

Sažetak

U ovom radu analizira se i dokazuje koliko su elektronična računala i personalni kompjutori racionalizirali, ubrzali i pojednostavnili dobivanje pozicije broda u astronomskoj navigaciji. Pokazano je to na dosad samo korištenoj indirektnoj - visinskoj metodi, i na poznatoj, ali zbog glomaznoga matematičkog računanja dosad nekorištenoj direktnoj metodi. U oba slučaja rješenja preko elektroničkih računala maksimalno optimaliziraju dobivanje pozicije, što astronomsku navigaciju ne isključuje iz ostalih suvremenih sustava za određivanje brodske pozicije.

UVOD

Govoriti o brodskoj poziciji dobivenoj snimanjem nebeskih tijela na današnjem stupnju razvoja tehnologije izgleda anakrono i demodirano. Suvremeni pomorski časnik, ploveći bilo kojim dijelom Zemlje, modernim globalnim navigacijskim sustavima ima kontinuirano na ekranu ispisan svoj trenutni, prošli pa i budući položaj. Pa zbog čega bi se on onda trudio da na nebu traži, specijalnim instrumentom mjeri, pa onda računa i, konačno, crta linije položaja, da bi iz karte vidio gdje se približno mogao nalaziti u trenutku mjerenja.

Zašto toliko radnja i vremena (treba snimiti bar dva ili tri tijela) da bi se dobila manje ili više približna pozicija, kad mu obično pritiskanje na tastaturu npr. satelitskog prijemnika daje sigurni i pouzdani Fix ispisan na ekranu i memoriran za daljnje praćenje gibanja broda. Poznata pomorska inertnost u prihvaćanju nove tehnološke opreme ovdje nije došla nimalo do izražaja. Svi se pomorski časnici na brodovima redovito koriste najsuvremenijim prijemnicima bilo kojega globalnog sustava navigacije. To je slično činjenici da se danas u svijetu, a pogotovo u nas, radije slušaju vijesti preko TV ili radio-prijemnika nego čitaju novine. Međutim, uvijek ima jedan "ali". Što kad se pokvari TV ili radio- prijemnik ili nema struje, što je u nas bilo u zadnje vrijeme aktualno.

Slično toj logici postavlja se i na brodu pitanje svakomu školovanom časniku kako kontrolirati i određivati brodsku poziciju na otvorenom moru ako se prijemnik pokvari. U tom slučaju treba se vratiti metodama stare klasične astronomske navigacije. Baš zbog takvih eventualnih iznenađenja, ali i zbog vlastitog zadovoljstva, te zbog velikog broja amaterskih navigatora, koji pustolovno plove "debelim morem" i vole određivati svoj položaj s pomoću nebeskih tijela, u astronomskoj navigaciji došlo je do brojnih simplifikacija i programiranja metoda za dobivanje pozicije na moru.

Dakle, elektronika nesumnjivo ima prednost u odnosu prema starim metodama određivanja brodske pozicije na otvorenom moru, pogotovo zato što točnost pozicije daje u opsegu 4 kabela, dok je točnost pozicije u astronomskoj navigaciji u opsegu 1 milje. Ali ne smije se zaboraviti da je elektronika sklona kvarovima, osobito u uvjetima naglih klimatskih promjena, što je u navigaciji redovito prisutno. Osim toga ti su sustavi neautonomni (mogućnost isključenja, promjene šifre i frekvencije rada), jer ako su ukomponirani u neki operativni sustav, zakaže li njegov dio, zakazat će i cijeli sustav.

Određivanje pozicije mjereći visinu nebeskih tijela, unatoč svoj današnjoj tehnici, ostaje i danas u praksi na brodu kao autonomni sustav, i svaki će dobar časnik uvijek iskoristiti mogućnost snimanja nebeskih tijela jer tako održava i onu staru romantičnu vezu između čovjeka okruženoga morem i neba nad njegovim obzorom.

U ovom radu razmatra se upotrebljivost metoda i optimalnost dobivanja brodske pozicije snimanjem nebeskih tijela raznim programiranim i specijalnim računalima, pa se zaključuje da se i metode stare astronomske navigacije suvremenim kalkulatorima moderniziraju kao brzo i uvijek pouzdano sredstvo za određivanje pozicije broda na pučini.

Brodska pozicija određena visinskom metodom

Kad je 1873. francuski časnik ratne mornarice Anatole Blond Marcq de St. Hilare objavio svoju visinsku metodu određivanja elemenata za crtanje linije položaja

* Dr.Boris Franušić
Pomorski fakultet Dubrovnik
Dubrovnik

s pomoću razlike visina (Δ V = Δ h = intercept) i azimuta (ω = Az = Z) nebeskog tijela, pomorci su dobili laku indirektnu metodu za dobivanje linije (pravca) položaja na kojoj se brod našao u trenutku mjerenja. S dvije visine istog tijela snimljene u vremenskoj razlici (da bi bilo $\Delta\omega > 30^{o}$), ili dva različita tijela u tzv. istodobnom motrenju, dobivala se točka broda. Sigurnija točka broda postizala se snimanjem tri ili četiri nebeska tijela u gotovo istom trenutku, jer je točka određena iz trokuta ili četverokuta eliminirala moguće pogreške koje su se mogle uvući u mjerenju, računanju ili crtanju, te od samih nepoznatih točnih vrijednosti potrebnih veličina.

Do pojave elektroničkih računala s mogućnošću programiranja, ili već programiranih nautičkih relacija, sve se radilo s pomoću nautičkog almanaha (podaci o nebeskim tijelima), nautičkih tablica (olakšano računanje visine i azimuta) i crtanja na pomorskoj karti (bijela karta), iz koje se onda odčitavala brodska pozicija. Elektronička računala, pogotovo specijalizirani mali navigacijski kompjutori, omogućila su da se bez almanaha, tablica i crtanja dobije ispisana vrijednost brodske pozicije. To je prva optimalizacija računanja pozicije s pomoću snimanja nebeskih tijela, koja visinskom metodom računa elemente linije položaja, a pomoću dvije, tri ili više snimljenih visina i točku broda. Ta točka, snimljena s više od dvije visine određena je kao najvjerojatnija pozicija dobivena na temelju teorije najmanjih kvadrata za jedno unaprijed određeno vrijeme motrenih tijela, ili u neko opće blisko vrijeme, uz pretpostavku da brod u oceanskoj vožnji duže plovi u istom kursu i zadržava istu brzinu. Na taj način može se snimati "n" nebeskih tijela i brzo dobiti na ekranu vrijednosti koordinata najvjerojatnije brodske pozicije (Fix), oslobođene od većine pogrešaka koje sadrže linije položaja. To je velika optimalizacija u vremenu i sigurnosti dobivanja pouzdane brodske pozicije istom metodom kojom se u astronomskoj navigaciji služe pomorci već više od 100 godina.

Programirane relacije po kojima kalkulatori računaju najvjerojatniju poziciju, u matematičkom obliku su:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_p &= \varphi_z + \frac{1}{D}(D_{12}IS + D_{22}IC) \\ \lambda_p &= \lambda_z + \frac{1}{D\cos\varphi_p}(D_{11}IS + D_{12}IC) \end{aligned}\right\}(1)$$

φ_p - prava širina broda φ_z - zbrojena (procijenjena) širina broda
λ_p - prava dužina broda λ_z - zbrojena (procijenjena) dužina broda

$D = D_{11}D_{12} - D_{12}^2$ $\qquad D_{11} = \Sigma\cos^2\omega_n$

$D_{12} = \Sigma\cos\omega_n\sin\omega_n$ $\qquad D_{22} = \Sigma\sin^2\omega_n$

$IS = \Sigma\Delta V_n\sin\omega_n$ $\qquad IC = \Sigma\Delta V_n\cos\omega_n$ [1]

Za svođenje svih izmjerenih visina na jedan zenit (jedno vrijeme) programirana je poznata relacija:

$$dV = \frac{t_0 - t_n}{60} b\cos(\omega_n - K) \qquad (2)$$

t_0 - vrijeme tražene pozicije; t_n - vrijeme snimanja "n" nebeskog tijela
b - brzina broda u čvorovima; K - pravi kurs broda

Kad se relacija (1) primjenjuje samo za dva nebeska tijela, dobivaju se (i na drugi način moguće izvedene [2]) poznate relacije:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_p &= \varphi_z + \frac{\Delta V_1\sin\omega_2 - \Delta V_2\sin\omega_1}{\sin\Delta\omega} \\ \lambda_p &= \lambda_z + \frac{\Delta V_2\cos\omega_1 - \Delta V_1\cos\omega_2}{\sin\Delta\omega\cos\varphi} \end{aligned}\right\}(3)$$

Te su relacije npr. programirane u poznatim navigacijskim računalima Tamaya Digital Navigation Computer NC-77 i u Plahtovu Navicompu, te na disketi za personalno računalo What Star.

Razviju li se relacije (1) za tri nebeska tijela, dobiva se:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_p = \varphi_z + [\Delta V_1(\sin\omega_2\sin\Delta\omega_{21} + \sin\omega_3\sin\Delta\omega_{31}) + \Delta V2(\sin\omega_3\sin\Delta\omega_{32} + \\ \sin\omega_1\sin\Delta\omega_{12})] + \Delta V_3(\sin\omega_1\sin\Delta\omega_{31} + \cos\omega_2\sin\Delta\omega_{23})]\,(\sin^2\Delta\omega_{12} + \sin^2\Delta\omega_{13} + \sin^2\Delta\omega_{23})^{-1} \\ \lambda_p = \lambda_z + [\Delta V_1(\cos\omega_2\sin\Delta\omega_{12} + \cos\omega_3\sin\Delta\omega_{13}) + \Delta V_2(\cos\omega_1\sin\Delta\omega_{21} + \cos\omega_3\sin\Delta\omega_{23}) + \\ \Delta V_3(\cos\omega_1\sin\Delta\omega_{31} + \cos\omega_2\sin\Delta\omega_{32})][(\sin^2\Delta\omega_{12} + \sin^2\Delta\omega_{13} + \sin^2\Delta\omega_{23})\cos\varphi_p]^{-1} \end{aligned}\right\}(4)$$

[3]

Kad bi se računalo s tim relacijama, trebalo bi izmjerene visine svesti na isto mjesto snimanja po relaciji (2). Međutim, do istih rezultata konačne pozicije dolazi se na osnovi teorije najmanjih kvadrata. Tako za "n" pravaca položaja može se postaviti "n" jednadžba s dvije nepoznanice oblika:

$$\Delta\varphi\cos\omega_n - \Delta\lambda\cos\varphi\sin\omega_n = \Delta V_n \qquad \} (5)$$

Formiranjem tzv. normalnih jednadžaba dolazi se do najvjerojatnije vrijednosti nepoznanica $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda(\cos\varphi)$. Tako Tamayin NC-88 rješava poziciju (Fix) s"n" snimljenih nebeskih tijela za trenutak prvoga ubačenog tijela, ali može dobiti poziciju za bilo koji drugi trenutak.

Pokažimo to jednim primjerom s tri tijela snimljenim u kraćemu vremenskom razmaku:

Dana 23.12.1989. iz pozicije zbrojene: $\varphi = 36^{o}00{,}0'$N i $\lambda = 6^{o}33{,}5'$W snime se visine zvijezda:

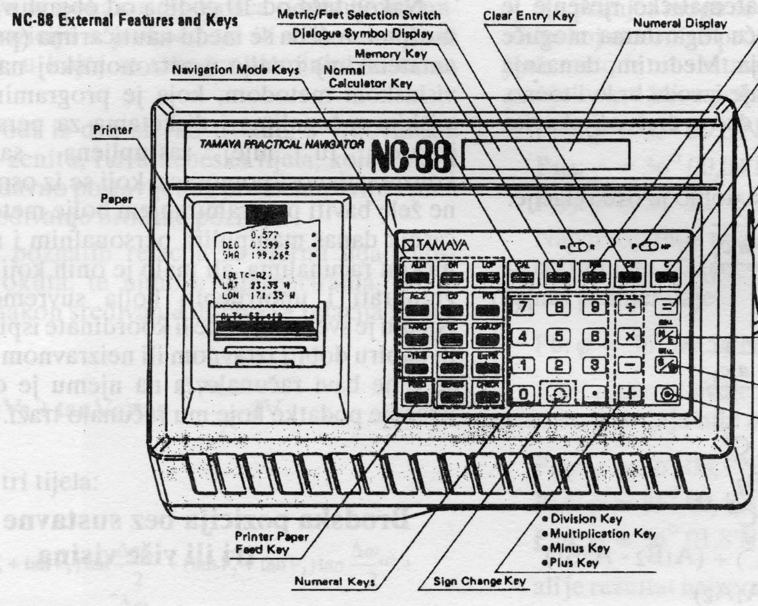
Fomalhaut	UT = $17^h\,33^m\,58^s$	Vi=24^{o} 14,7'
Capella	UT = $17^h\,35^m\,46^s$	Vi=26^{o}06,2'
Vega	UT = $17^h\,41^m\,01^s$	Vi=33^{o}56,0'

Visina oka motritelja je 16 m, brod plovi u kursu 112^{o} brzinom od 13,5 čv. Traži se pozicija broda u trenutku snimanja Vege.

[1] Astro-Navigation Piloting & Dead Reckoning Tamaya Practical Navigator NC-88 Tamaya & Company Limited, Tokyo, str, 37.

[2] M. le Conte du Boisy: "New Astronomical Navigation" Nautical Magazin, 1881.

[3] Boris Franušić: "Točnost pozicije broda u astronomskoj navigaciji dobivena navigacijskim računalima". Zbornik radova prvog Jugoslavenskog naučno-stručnog skupa, Obrazovanje kadrova u pomorstvu sa aspekta tehnološkog razvoja"., Kotor, 19.-21.10.1988., 257.-270.



Slika 1. Navigacijski kalkulator NC-88

Rezultati koje daje računalo NC-88, ubacujući zvijezde redoslijedom od zadnje prema prvoj, jesu:

TIJELO	ω	ΔV
Vega	296° 08,4'	-37,4'
Capella	50° 15,7'	33,9'
Fomalhaut	184° 37,8'	-3,8'

i Fix: $\varphi = 36°00{,}9'$N i $\lambda = 5°40{,}9'$W.

Želimo li riješiti poziciju teorijom najmanjih kvadrata, postavit ćemo tri jednadžbe označene s (5), tj. oblika:

$$ax + by = c$$

pa dobivamo:

$$0{,}440566\Delta\varphi + 0{,}89772\Delta\lambda\ \cos\varphi = -37{,}4$$
$$0{,}639282\Delta\varphi - 0{,}76897\Delta\lambda\ \mathrm{co}\sigma\,\varphi = 33{,}9$$
$$-0{,}996737\Delta\varphi + 0{,}08072\Delta\lambda\ \cos\varphi = -3{,}8$$

$a_1a_1 = 0{,}194$; $a_1b_1 = 0{,}3955$; $a_1c_1 = -16{,}477$; $b_1b_1 = 0{,}8059$; $b_1c_1 = -33{,}5747$
$a_2a_2 = 0{,}40868$; $a_2b_2 = 0{,}49159$; $a_2c_2 = 21{,}6716$; $b_2b_2 = 0{,}5913$; $b_2c_2 = -26{,}068$
$a_3a_3 = 0{,}99348$; $a_3b_3 = -0{,}08$; $a_3c_3 = 3{,}7876$; $b_3b_3 = 0{,}0065$; $b_3c_3 = -0{,}3067$

$(aa) = 1{,}59616$; $(ab) = -0{,}176$; $(ac) = 8{,}9822$; $(bb) = 1{,}4037$; $(bc) = -59{,}9494$

Na temelju tih vrijednosti formiraju se dvije normalne jednadžbe:

$$1{,}59616\,\Delta\varphi + 0{,}17609\,\Delta\lambda\ \cos\varphi = 8{,}9822$$
$$-0{,}17609\,\Delta\varphi - 1{,}4037\,\Delta\lambda\ \cos\varphi = -59{,}9494$$

Iz tih jednadžaba izlazi: $\Delta\varphi = 0{,}9'$N i $\Delta\lambda\ \cos\varphi = 42{,}592'$, odnosno $\Delta\lambda = 52{,}7'$ E, što se slaže s pozicijom dobivenom (Fix) kalkulatorom NC-88.

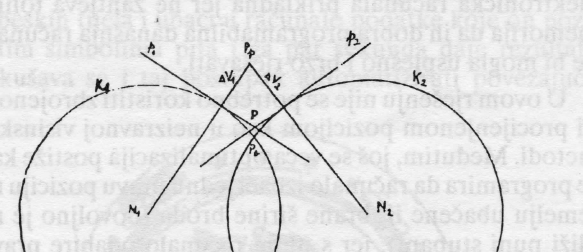
Dakle, nakon snimanja visina zvijezda, navigacijsko računalo izračunava (uključujući efemeridne podatke) razliku visina i azimuta, te konačno najvjerojatniju poziciju, što neusporedivo smanjuje vrijeme i izravno daje koordinate brodskog položaja s točnošću koja zadovoljava u navigacijskog praksi.

Izravno određivanje brodske pozicije presjecištem dviju kružnica položaja

U astronomskoj navigaciji odavna se zna da bi se do koordinata prave brodske pozicije moglo doći rješenjem dviju jednadžba koje označuju jednadžbe kružnica položaja, a imaju oblik:

$$\sin V = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos(S+\lambda) \qquad (6)$$

Ako se zna izmjerena visina, deklinacija i satni kut u Greenwichu tijela, onda je dovoljno snimiti dva nebeska tijela kako bi se iz dvije jednadžbe mogle odrediti nepoznanice φ i λ. Jednostavnije bi bilo kružnice (s centrom terestričke projekcije nebeskih tijela i polumjerom zenitnih daljina) crtati izravno na jedan mjerljivi globus, ali taj bi morao biti dosta velik pa je za praksu neupotrebljiv.



Slika 2. Brodska pozicija određena s pomoću pravaca i kružnica položaja

Na slici 2 je P pozicija dobivena indirektnom - visinskom metodom iz Pp (procijenjene pozicije) u presjeku dva pravca pložaja (p_1,p_2), dok je Pb prava pozicija dobivena izravnom metodom u presjeku dviju kružnica položaja (K_1 i K_2)

S druge strane, analitičko-matematičko rješenje je glomazno i nije bilo ni s pomoću logaritama moguće brzo i praktično doći do rješenja. Međutim, današnja računala to dugo i teško računanje izvode brzo i točno. Matematički izvod takva rješenja dao je dr. Ivo Sjekavica 1982. godine. [4]

Za konačni rezultat tog izvoda dobio je ove relacije:

$$\left.\begin{aligned} \sin \varphi_{1/2} &= \frac{-b_3 \pm \sqrt{b_3^2 - a_3 c_3}}{a_3} \\ \tan \lambda_{1/2} &= \frac{-b_4 \pm \sqrt{b_4^2 - a_4 c_4}}{a_4} \end{aligned}\right\}(7)$$

u kojima je: $a_3 = B_1^2 + B_2^2 + C^2$

$b_3 = A_1B_1 + A_2B_2$

$c_3 = A_1^2 + A_2^2 - C^2$

$a_4 = C^2 (A_1^2 - B_1^2) + (A_1B_2 - A_2B_1)^2$

$b_4 = C^2 (B_1B_2 - A_1A_2)$

$c_4 = C^2 (A_2^2 - B_2^2) + (A_1B_2 - A_2B_1)^2$

te dalje:

$A_1 = \sin V_1 \cos \delta_2 \sin S_2 - \sin V_2 \cos \delta_1 \sin S_1$

$A_2 = \sin V_2 \cos \delta_1 \cos S_1 - \sin V_2 \cos \delta_2 \cos S_2$

$B_1 = \sin \delta_2 \cos \delta_1 \sin S_1 - \sin \delta_1 \cos \delta_2 \sin S_2$

$B_2 = \sin \delta_1 \cos \delta_2 \cos S_2 - \sin \delta_2 \cos \delta 1 \cos S_1$

$C = \cos \delta_1 \cos \delta_2 \sin (S_2-S_1)$

Sjekavica je u jednadžbi (6) λ brojio preko zapada od 0 do 360°, pa je $s=S-\lambda$.

Jednadžbe (7) daju dvostruka rješenja, pa kako su ona na Zemlji dosta udaljena, to je uvijek nesporno o kojoj je pravoj poziciji riječ.

U spomenutom radu dana su dva primjera. Jedan je snimanje u istom, a drugi u različitim vremenskim trenucima.

Kako se vidi, metoda izgleda glomazna, ali je za elektronička računala prikladna jer ne zahtjeva toliko memorija da ih dobra programabilna današnja računala ne bi mogla uspješno i brzo rješavati.

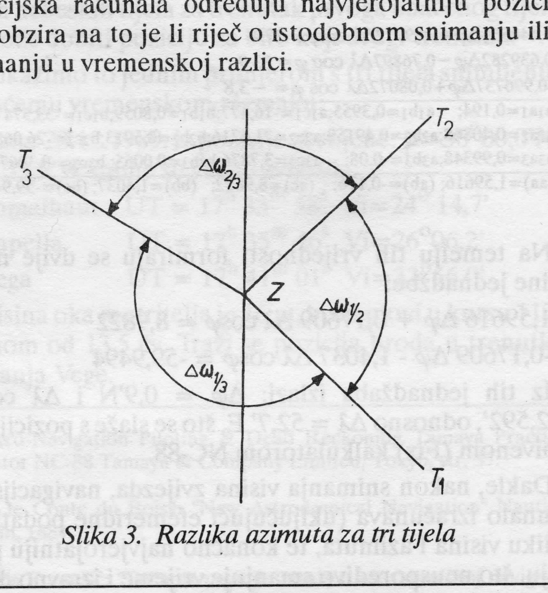
U ovom rješenju nije se potrebno koristiti zbrojenom ili procijenjenom pozicijom kao u neizravnoj visinskoj metodi. Međutim, još se veća optimalizacija postiže kad se programira da računalo izbaci jednu pravu poziciju na temelju ubačene izabrane širine broda (dovoljno je na bliži puni stupanj), jer s njom računalo odabire pravu širinu kojom opet određuje i pravu dužinu broda.

Autor svoj rad zaključuje pretpostavkom "(...) da će se sve većom uporabom programiranih računala sve više direktno određivati geografske koordinate, a da će se metoda Marcq St. Hilairea, koja je dominirala oko stotinu godina, postepeno napustiti."

Nakon više od 10 godina od objavljivanja ovog rada možemo reći da se među nautičarima (profesionalnim i amaterskim) i dalje u astronomskoj navigaciji koristi visinskom metodom, koja je programirana u navigacijskim računalima i disketama za personalne kompjutore. Tu nije zastupljena samo poznata konzervativnost pomoraca, koji se iz osobne udobnosti ne žele baviti programiranjem bolje metode. Školovani časnik danas manipulira personalnim i malim elektroničkim računalima, ali malo je onih koji sami žele programirati i upotrijebiti bolja suvremenija rješenja. Njemu je svejedno hoće li koordinate ispisane na ekranu ili papiru dobiti izravnom ili neizravnom metodom, kad se time bavi računalo, a na njemu je da samo točno ubacuje podatke koje mu računalo traži.

Brodska pozicija bez sustavne greške s tri ili više visina

Ovu originalnu metodu iznio je pred deset godina također dr. Ivo Sjekavica [5]. Budući da je inače u navigaciji treća linija položaja uvijek zahvalna za kontrolu točnosti točke određene presjekom samo dviju linija položaja, tako je i u astronomskoj navigaciji snimanje tri nebeska tijela optimalno za provjeru točke, odnosno najvjerojatnije pozicije ako linije položaja određuje trokut položaja. Budući da je trokut položaja rezultat mjerenja, te nekih aproksimativnih vrijednosti koje ulaze u račun (refrakcija i depresija), to sve linije položaja u sebi sadrže manje ili osjetnije pogreške. Njih dijelimo na slučajne i sustavne. Prve nisu velike i utjecajnije su za snimanja u vremenskom razmaku, dok su druge utjecajnije za snimanja u kraćem intervalu vremena. Kako se brodska pozicija s tri nebeska tijela gotovo isključivo radi u kratkom vremenskom intervalu, to se u prijašnjoj praksi grafičkim putem (crtanjem bisektrisa) određivala pozicija oslobođena od sustavne greške. Vidjeli smo da teorijom najmanjih kvadrata suvremena navigacijska računala određuju najvjerojatniju poziciju bez obzira na to je li riječ o istodobnom snimanju ili o snimanju u vremenskoj razlici.



Slika 3. Razlika azimuta za tri tijela

[4] Ivo Sjekavica: "Astronomska navigacija - direktno određivanje koordinata presjecišta dviju kružnica položaja i jedno indirektno rješenje" Naše more, 6, Dubrovnik 1982., 303. - 306.

[5] Ivo Sjekavica: "Određivanje geografskih koordinata, nova metoda određivanja sistematske greške s tri ili više opažanja i mogućnost zamjene hiperbola kružnicama položaja". Naše more, 1-2., Dubrovnik 1983., 49. - 52.

Metoda koju je pokazao Sjekavica određuje računskim putem poziciju s pomoću tri ili više snimljenih nebeskih tijela, u kojoj se također eleminira sustavna greška.

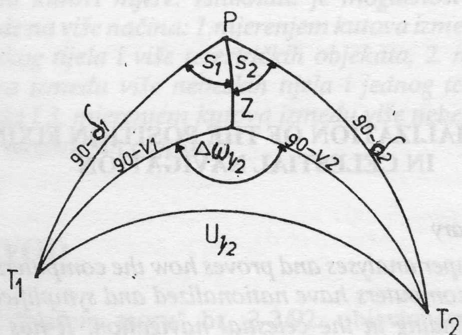
Relacije izvodi iz dva sferna trokuta s vrhovima u polu, odnosno zenitu, i dva nebeska tijela, koji trokuti su poznati iz odavno postavljenog problema dviju visina za izravno određivanje brodske pozicije.

Na temelju poznatih relacija za sfernu udaljenost $U_{1/2}$ iz oba trokuta, te njihova diferenciranja, analitičkim putem nakon sređivanja dobiva se relacija za dva tijela:

$$d\omega_{1/2} = (\tan V_1 + \tan V_2)\tan\frac{\Delta w_{1/2}}{2} dV$$

odnosno za tri tijela:

$$d\omega_{1/2/3} = \Big[(\tan V_1 + \tan V_2)\tan\frac{\Delta\omega_{1/2}}{2} + (\tan V_2 + \tan V_3)\tan\frac{\Delta\omega_{2/3}}{2} + (\tan V_3 + \tan V_1)\tan\frac{\Delta\omega_{1/3}}{2}\Big] dV$$



Slika 4. Sferni trokuti s vrhovima u polu, zenitu i nebeskim tijelima kojima je sferna udaljenost $U_{1/2}$

Budući da je $d\omega_{1/2/3} = [360^\circ - (\Delta\omega_{1/2} + \Delta\omega_{2/3} + \Delta\omega_{1/3})]$

a pojedinačno računanje razlika azimuta, npr. između 1. i 2. tijela, računa se po relaciji:

$$\cos\Delta\omega_{1/2} = \frac{\sin\delta_1\sin\delta_2 + \cos\delta_1\cos\delta_2\cos(s_1 - s_2) - \sin V_1 \sin V_2}{\cos V_1 \cos V_2}$$

Prema tome konačno se dobiva:

$$dV = \frac{360^\circ - \Delta\omega_{1/2} - \Delta\omega_{2/3} - \Delta\omega_{1/3}}{(\tan V_1 + \tan V_2)\tan\frac{\Delta\omega_{1/2}}{2} + (\tan V_2 + \tan V_3)\tan\frac{\Delta\omega_{2/3}}{2} + (\tan V_1 + \tan V_3)\tan\frac{\Delta\omega_{1/3}}{2}}$$

Tu relaciju numerirajmo s (8).

Izračunani diferencijal dodava se svim visinama, a s pomoću njih se onda računa pozicija.

Ovom metodom dobiva se precizna pozicija, koja je najčešće središte trokutu upisane kružnice, kako to i grafički izlazi. Ali je optimalizacija u tome što ovdje nije potrebno prvo crtati tri pravca, pa onda određivati i crtati simetrale-bisektrise dobivenog trokuta da bi se u njihovu presjecištu dobila pozicija oslobođena sustavne greške.

Za primjer mogu se uzeti isti podaci koji su riješeni u visinskoj metodi. S programiranim računalom bez primjene metode za sustavne greške dobile bi se pozicije u presjeku kružnica položaja:

$P_{1/2}$: $\varphi = 35^\circ\ 59{,}8'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 38{,}97'W$

$P_{1/3}$: $\varphi = 36^\circ\ 00{,}04'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 42{,}02'W$

$P_{2/3}$: $\varphi = 36^\circ\ 01{,}76'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 40{,}96'W$

Najvjerojatnija pozicija određena je težištem kojemu su koordinate $1/3\ (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)$ i $1/3\ (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$, što za naš primjer daje:

Pb: $\varphi = 36^\circ\ 00{,}54'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 40{,}65'W$

Zanimljivo je ovdje pokazati kako bi presječne točke pravaca položaja bile nešto drukčije:

$P_{1/2}$: $\varphi = 36^\circ\ 00{,}3'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 39{,}3'W$

$P_{1/3}$: $\varphi = 36^\circ\ 00{,}4'N$ i $\lambda = 5^\circ 41{,}7'W$

$P_{2/3}$: $\varphi = 36^\circ\ 01{,}8'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 40{,}9'W$

ali je rezultat najverojatnije pozicije praktički jednak:

Pb: $\varphi = 36^\circ\ 00{,}8'N$ i $\lambda = 5^\circ 40{,}6'W$

Ako se primjeni metoda s otklanjanjem sustavne greške, izravno izlazi:

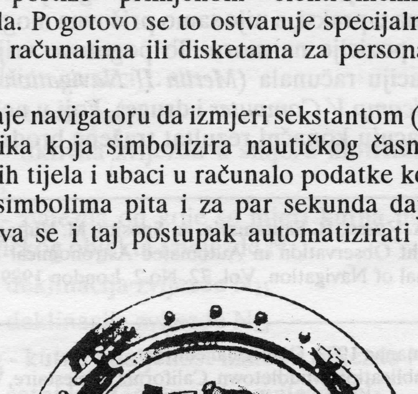
Pb: $\varphi = 36^\circ\ 00{,}59'N$ i $\lambda = 5^\circ\ 40{,}8'W$

Zbog sustavne greške u prvom računu odstupanje pozicija dosta je izražajno, dok standardno odstupanje pozicije dobivene s otklonom sustavne greške potpuno je zanemarivo.

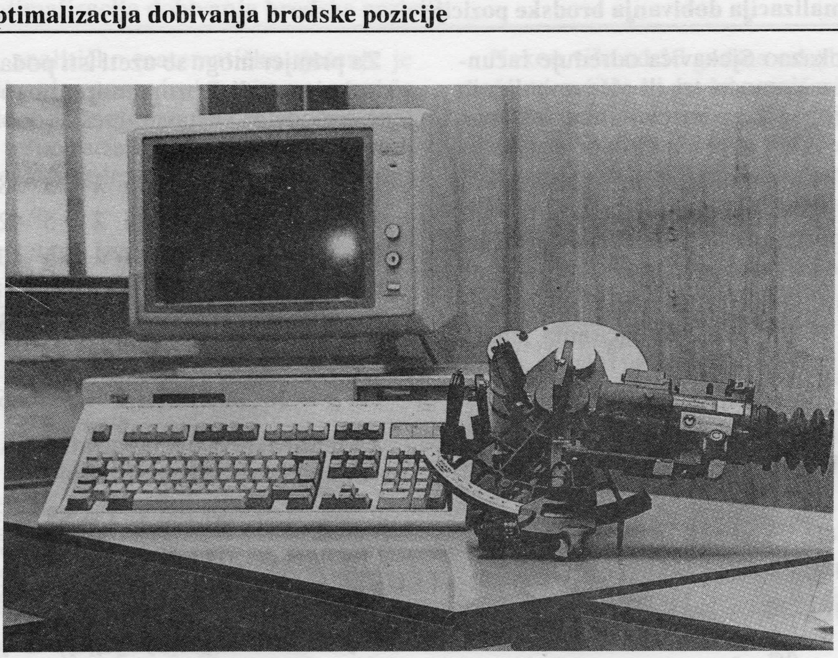
ZAKLJUČAK

U ovom radu pokazalo se kolika se optimalizacija u dobivanju brodske pozicije u astronomskoj navigaciji danas postiže primjenom elektroničkih džepnih računala. Pogotovo se to ostvaruje specijalnim navigacijskim računalima ili disketama za personalni kompjutor.

Ostaje navigatoru da izmjeri sekstantom (a to je poznata slika koja simbolizira nautičkog časnika) visine nebeskih tijela i ubaci u računalo podatke koje on poznatim simbolima pita i za par sekunda daje rezultat. Pokušava se i taj postupak automatizirati povezajući



Slika 5. Snimanje sekstantom



Slika 6. CNAGS-oprema

čitanje visine i vremena izmjerenih tijela s kompjutorom u tzv. CNAGS (Celestial Navigation Automated Global System) [6].

Osim toga ovaj se sustav može priključiti integriranom navigacijskom sustavu, a specijalnim durbinom sekstant može snimati i po noći.

Za dobivanje brodske pozicije s pomoću elektroničkih računala ima i drugih prijedloga novih metoda, ali ovaj se rad ograničio samo na dvije. One dovoljno uvjerljivo upućuju na to da je prije potrebno vrijeme za dobivanje brodske pozicije u astronomskoj navigaciji toliko skraćeno i pojednostavljeno, isključujući pri tomu mogućnost pogreške, da se može zaključiti kako je tom optimalizacijom astronomska navigacija ostala i dalje aktualna u praksi, a nije samo pričuvna mogućnost određivanja pozicije na moru. To pogotovo vrijedi za novu generaciju računala (*Merlin II Navigation Computer, Celesticomp V Computer* i druge), koji u nekoliko sekunda izbacuju konačni rezultat tražene brodske pozicije. [7]

[6] V. Nastro, A. Russo, R. Santamaria, A. Sposito, M. Vultaggio i F. Giordano: "Night Observation in Automated Astronomical Navigation" The Journal of Navigation, Vol. 72. No.2, London 1989., 291. - 297.

[7] Nautical Almanac 1993. Comercial edition
Paradise Cay Publication, Middletown, California i Celestaire, Wichata, Kausas

Rukopis primljen: 9. 11. 1993.

OPTIMALIZATION OF THE POSITION FIXING IN CELESTIAL NAVIGATION

Summary

This paper analyses and proves how the computers and personal computers have nationalized and symplified the position finding in the celestial navigation. It has been shown on the up to now exclusively used indirect altitude method as well as on the well known, but due to complicated computing not too much used method.

In both cases calculation by means of computers has optimalized the position fixing thus making the celestial navigation an integral part of other modern systems for position fixing.