Marijo Kraljević *

ISSN 0469 - 6255
(207 - 220)

VRIJEME PROLAZA SUNCA I ZVIJEZDA KROZ GORNJI MERIDIJAN POKRETNOG OPAŽAČA

UPPER MERIDIAN TRANSIT TIME OF THE SUN AND STARS FOR MOVING OBSERVER

UDK 527.6
Pregledni rad
Review

Sažetak

Pojavom elektronskih navigacijskih sustava iz svakodnevne upotrebe se potiskuju klasične metode astronomske i terestričke navigacije. Njihova današnja primjena poprima bitno drukčiju ulogu koja se ogleda kao pričuvna mogućnost za rješavanje navigacijskih problema, kao metoda za provjeru ispravnosti navigacijskih instrumenata, ili pak kao jedino rješenje u slučaju nemogućnosti upotrebe elektronskih sustava. Klasične metode navigacije se često koriste i u smislu dvosmjernog rješavanja problema u kombinaciji sa suvremenim sustavima. Nedostaci starijih metoda astronomske i terestričke navigacije, kao što su dugotrajnost postupka, zahtjev za velikom uvježbanošću navigatora itd. lako se mogu premostiti primjenom džepnih i osobnih računala pri rješavanju zadataka. Na taj način rješavanje navigacijskog problema postaje samo stvar rutine i poznavanja problematike pa se svojom jednostavnošću i efikasnošću približuje prednostima koje imaju moderni navigacijski sustavi.

Određivanje vremena prolaza nebeskog tijela kroz gornji meridijan pokretnog opažača je zadatak koji se često može pojaviti u astronomskoj navigaciji. Ovaj rad će iscrpno analizirati navedenu temu kroz obradu postojeće metode, a zatim i kroz ponudu jedne metode koja dosada nije mogla naići na prihvatljivu primjenu zbog postupka koji iziskuje upotrebu osobnog ili džepnog računala s mogućnošću programiranja složenijeg računskog procesa.

Summary

The ancient methods to solve navigational problems which require long and complicated procedures, are neglected today by using modern electronic navaids. However, solving these problems becomes very simple by using PC. Finding the celestial bodies' upper meridian transit time for moving observer is an old problem of celestial navigation. This paper indicates how to solve this problem by PC showing its simplicity and accuracy.

* Marijo Kraljević, dipl. ing.
Veleučilište u Dubrovniku, Dubrovnik

Uvod
Introduction

Vrijeme prolaza nebeskog tijela kroz gornji meridijan se u astronomskoj navigaciji najčešće određuje u funkciji računa geografske širine opažača, ali ga je moguće koristiti i u druge svrhe. Pri tome se od neb. t.[1] najviše koristi Sunce, dok su Mjesec, planete i zvijezde stajačice rjeđe u upotrebi. Sam po sebi taj zadatak nije problematičan, ako se uzme u obzir da nautički godišnjaci već daju griničko vrijeme prolaza Sunca, Mjeseca, planeta i proljetne točke kroz g. mer.[2] Greenwicha. Za Sunce i planete to vrijeme približno odgovara i srednjem vremenu prolaza kroz g. mer. na bilo kojoj geografskoj duljini za dotični dan, dok je za proljetnu točku i Mjesec potrebna dodatna korekcija. Da bi se to srednje vrijeme pretvorilo u UT (svjetsko vrijeme) potrebno ga je samo ispraviti za vremenski iznos geografske duljine opažača i problem je riješen. Nadalje se ono može pretvoriti u zonsko vrijeme, što ovisi o potrebi opažača. Za određivanje vremena prolaza Sunca kroz g. mer. ne mora se koristiti vrijeme iz godišnjaka, ali je onda potrebno poznavati jednadžbu vremena za taj dan koju treba samo oduzeti od pravog podneva i tako dobiti srednje vrijeme prolaza Sunca kroz g. mer. Daljni postupak je isti. Ipak, u oba slučaja je potrebno poznavati geografsku duljinu opažača što donekle komplicira stvar. Naime, navedeni postupak je dovoljan pod pretpostavkom da je geografska duljina opažača poznata i nepromjenjiva, odnosno da se brod ne kreće ili da plovi u kursu 0° ili 180°. Tada je geografska duljina poznata kroz čitavo nastupajuće vrijeme i s njezinom nepromjenjivom vrijednošću se ulazi u račun. Međutim, brodovi se kod računanja astronomskih zadataka uglavnom kreću i to u kursevima koji su različiti od 0° ili 180°. Pri tome stalno mijenjaju geografsku duljinu položaja, pa se javlja potreba da se prije računanja vremena merdijanskog prolaza odredi ona geografska duljina na kojoj će se opažač naći u trenutku meridijanskog prolaza. Kako se taj trenutak ne zna, odnosno on i jest cilj računa, a za njega je opet potrebna njegova geografska duljina koja

[1] nebesko tijelo - u narednom tekstu neb. t.
[2] gornji meridijan - u narednom tekstu g. mer.

se može izračunati samo poznavajući taj trenutak, naizgled se zatvorio nerješivi krug. U tom krugu poznavanje vremena meridijanskog prolaza traži prethodno poznavanje geografske duljine, a poznavanje geografske duljine traži prethodno poznavanje trenutka meridijanskog prolaza. Pri susretu s ovim problemom u praksi, neiskusni navigatori obično približno procijene geografsku duljinu s kojom ulaze u račun. Kako je tako izračunato vrijeme meridijanskog prolaza također približno, navigator će znatno ranije od tog vremena početi pratiti visinu neb. t. i vrijeme kulminacijske visine će smatrati vremenom meridijanskog prolaza. Ovakav postupak zahtijeva dugotrajno praćenje neb. t. sekstantom, a uz to može biti i pogrešan jer približno izračunato vrijeme može biti dosta kasnije od vremena meridijanskog prolaza. Uz to kulminacijska visina nije uvijek jednaka meridijanskoj (osim ako brod plovi u kursu vrijednosti 90° ili 270°).

U ovom radu obradit će se postojeća mogućnost rješenja ovog problema i ponudit će se metoda koja je točnija od postojeće, ali koja se može lako riješiti samo upotrebom osobnog ili džepnog računala. Osim teoretske obrade problema, ponudit će se i sheme koje treba koristiti prilikom programiranja obje metode na računalu. Obraditi će se i greške koje nastaju u obje metode uz usporedbu rješenja. Posebna vrijednost ovog rada se nalazi u mogućnosti vrlo točnog rješenja za vrijeme prolaza zvijezda stajačica kroz g. mer. pokretnog opažača za što dosada nije bilo prihvatljive metode. Sva konačna rješenja za prolaz neb. t. kroz g. mer. pokretnog opažača u ovom radu su data u svjetskom vremenu (UT).

1. Metoda dviju geografskih duljina
The method of two longitudes

1.1. Općenito
In general

Među poznavaocima astronomske navigacije ova je metoda naišla na široku primjenu. U ovom radu ona se zbog prirode postupka imenuje "Metoda dviju geografskih duljina" iako nije poznata pod tim nazivom. Za njezino rješenje potrebno je poznavati poziciju koja je vremenski ranije od meridijanskog prolaza neb. t. i srednje vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer. te pozicije. Uz to je potrebno poznavati brzinu preko dna i kurs preko dna broda. Metoda se bazira na tome da se najprije izračuna vrijeme meridijanskog prolaza na poznatoj poziciji, a s dobivenom razlikom vremena izračuna nova geografska duljina na kojoj će brod biti u tom trenutku. Nakon toga se izračuna vrijeme meridijanskog prolaza na novoj geografskoj duljini.

1.2. Teoretska osnova
Theoretical basis

Teoretska osnova ove metode polazi od poznavanja opažene pozicije P_o (φ_o, λ_o) u nekom trenutku UT_o. Pri nemogućnosti dobivanja opažene pozicije, koristi se zbrojena pozicija. Na osnovi dobivene pozicije i vremena iz nautičkog godišnjaka T_m odredi se vrijeme prolaza odgovarajućeg neb. t. kroz g. mer. na poziciji P_o (za Sunce se može koristiti i satni kut ili pravo podne i jednadžba vremena) pomoću slijedeće formule:

$$UT_{mo} = T_m - \lambda_o$$

Kod izbora neb. t. valja paziti da tijelo bude istočno od nebeskog meridijana, odnosno da mu satni kut bude istočni. Tijela koja su na zapadnoj strani nebeske sfere treba odbaciti jer će za njihov prolaz kroz g. mer. trebati čekati više od dvanaest sati. U tako velikoj vremenskoj razlici može doći do znatne promjene svih vrijednosti bitnih za račun (kurs, brzina, srednje vrijeme prolaza itd.) što će izazvati veće greške. Lako je za očekivati da se kroz dvanaest sati nebesko tijelo neće ni vidjeti na nebeskom svodu (osim ako je riječ o Suncu). Proizlazi da je najpovoljnije koristiti tijelo na istočnoj strani nebeske sfere ne previše udaljeno od nebeskog meridijana kako bi vrijeme do prolaza kroz g. mer. bilo što kraće. Nautički godišnjaci ("The Nautical Almanac", "Brown's Nautical Almanac" i "Nautički godišnjak") daju griničko vrijeme prolaza kroz g. mer. Greenwicha za Sunce, Mjesec, vidljive planete i proljetnu točku T_m, a koje za Sunce i planete približno odgovara i srednjem vremenu prolaza kroz g. mer. za svaku geografsku duljinu na zemlji. Za Mjesec je potrebna daljnja interpolacija pomoću priložene tablice u efemeridama, dok za proljetnu točku takve interpolacijske tablice nema. Da bi se dobilo griničko vrijeme prolaza kroz g. mer. opažene pozicije UT_{mo}, potrebno je prvo geografsku duljinu pretvoriti u vrijeme i algebarski je oduzeti od vremena iz godišnjaka. Ako se traži vrijeme meridijanskog prolaza zvijezde stajačice tada je potrebno prvo surektascenziju zvijezde pretvoriti u vrijeme i oduzeti ga od vremena meridijanskog prolaza proljetne točke.

$$Tm_{*} = Tm_{\Upsilon} - (360° - \alpha)$$

Činjenica je da opažač u trenutku prolaza neb. t. kroz g. mer. pozicije P_o zbog kretanja više neće biti na toj geografskoj duljini već na nekoj drugoj. Stoga se određuje nova (zbrojena) geografska duljina λ_z, a vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer. na toj geografskoj duljini UT_{mz} se smatra vremenom prolaza neb. t. kroz g. mer. pokretnog opažača. Da bi se dobila nova (zbrojena) geografska duljina potrebno je najprije izračunati koliko se vremena brod kretao. Očito je da će to biti vrijeme između UT_o i UT_{mo}.

$$\Delta t = UT_{mo} - UT_o$$

Novu (zbrojenu) geografsku duljinu označit će se sa λ_z, a do nje će se lako doći primjenom loksodromske formule:

$$\Delta\lambda = b\ \Delta t \sin K \sec \varphi_o \text{ ——— } \lambda_z = \lambda_o + \Delta\lambda \qquad (1)$$

Izraz b Δt odgovara loksodromskoj udaljenosti. Iznos Δt mora biti u satima i dijelovima sata, a kako će on prethodno biti izražen u satima, minutama i sekundama to ga je potrebno prvo izraziti u minutama i dijelovima minute, podijeliti ga sa 60 i sa takvim iznosom ući u formulu.

Ovdje se može pojaviti nejasnoća zašto se u obrazac za $\Delta\lambda$ ulazi sa φ_o umjesto sa φ_s. Za ulazak sa φ_s trebalo bi prethodno računati $\Delta\varphi$ što produžuje postupak, a kako se radi o malim udaljenostima član sec φ_o će u formuli umjesto točnijeg sec φ_s dati zadovoljavajuće rješenje. Ako se traži veća točnost onda se prvo mora računati $\Delta\varphi$ = b Δt cos K, a potom φ_s (srednja geografska širina $\varphi_s = (\varphi_o + \varphi_z)/2$), ili φ_s + x (popravljena srednja geografska širina za zemlju kao za kuglu ili elipsoid (φ_s + x) = arc cos ($\Delta\varphi/\Delta\varphi_M$)). Kako navedene mogućnosti kompliciraju cijeli slučaj, a pretpostavka je da brod u vremenskom iznosu Δt neće prevaliti veliku udaljenost (ne veću od 600M) proizlazi da će svaki od mogućih unosa za φ dati približno jednako rješenje pa se može koristiti najjednostavniji način, odnosno unošenje vrijednosti φ_o. Nova geografska duljina koja je na ovaj način izračunata potrebna je zato što će se brod naći na njoj u trenutku kad tijelo bude u g. mer. na P_o.

Vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer. na novoj (zbrojenoj) poziciji koje se ujedno smatra vremenom prolaza neb. t. kroz g. mer. pokretnog opažača se može sada dobiti na dva načina.

a) Ponovi se postupak određivanja vremena prolaza neb. t. kroz g. mer. s tom razlikom što se umjesto λ_o upotrebi λ_z. Dakle, iz godišnjaka se dobije srednje vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer., a zatim se algebarski oduzme vremenski iznos geografske duljine nove zbrojene pozicije λ_z.

$UT_{mz} = T_m - \lambda_z$

Dobiveno vrijeme je svjetsko vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer. nove zbrojene pozicije koje se može smatrati konačnim rješenjem.

b) Kako se brod od trenutka opažene pozicije UT_o do trenutka meridijanskog prolaza tijela na opaženoj poziciji UT_{mo} kretao po Zemlji, on je neprestalno mijenjao svoju geografsku duljinu od λ_o do λ_z. Taj luk na Zemlji je $\Delta\lambda$ koja je izračunata prethodno, a koja je svojim iznosom jednaka luku koji tijelo na nebeskoj sferi treba prevaliti na putu od meridijana opažene pozicije do meridijana nove zbrojene pozicije. Ako se takva $\Delta\lambda$ pretvori u vrijeme onda ona predstavlja ispravak koji treba algebarski oduzeti od griničkog vremena prolaza neb. t. kroz g. mer. opažene pozicije da bi se dobilo griničko vrijeme meridijanskog prolaza na novoj zbrojenoj poziciji.

$UT_{mz} = UT_{mo} - \Delta\lambda$

Istočnoj $\Delta\lambda$ treba dati pozitivan, a zapadnoj negativan predznak.

I ovo rješenje se može smatrati konačnim rješenjem jer predstavlja griničko vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer. na novoj zbrojenoj poziciji.

Usporedi li se postupak iz a) i b) može se primjetiti da su u osnovi isti, a koriste samo drukčiji put do rješenja. Naime $\Delta\lambda$ iz b) predstavlja razliku između λ_o i λ_z koje su uz T_m iz nautičkog godišnjaka korištene za proračun UT_{mo} odnosno UT_{mz}. Ova se jednakost može i matematički dokazati:

iz a) $UT_{mz} = T_m - \lambda_z$,

a ako je $UT_{mo} = T_m - \lambda_o$, tj. $T_m = UT_{mo} + \lambda_o$, onda je $UT_{mz} = UT_{mo} + \lambda_o - \lambda_z$.

Ako je $\lambda_z = \lambda_o + \Delta\lambda$, tj. $\Delta\lambda = \lambda_z - \lambda_o$, odnosno $-\Delta\lambda = \lambda_o - \lambda_z$, onda je

$UT_{mz} = UT_{mo} - \Delta\lambda$ što odgovara rješenju iz b).

Može se tvrditi da je $UT_{mo} - \Delta\lambda = T_m - \lambda_z = UT_{mz}$, odnosno rješenje iz a) i iz b) daju potpuno isti rezultat.

1.3. Primjena
Application

Kako bi se olakšala primjena ove metode u praksi, ovdje će se iznijeti pregledna uputa za postupak koji treba slijediti.

1. Odrediti poziciju broda P_o (φ_o, λ_o) opaženu ili zbrojenu, zabilježiti griničko vrijeme pozicije (UT_o), procijeniti brzinu u čvorovima i kurs u kružnom iznosu.

2. Odabrati nebesko tijelo na istočnoj strani horizonta i po mogućnosti što bliže gornjem meridijanu.

3. Iz nautičkog godišnjaka izvaditi vrijeme T_m koje vrijedi za neb. t. za dotični dan. Ako se radi o zvijezdi stajačici, potrebno je izvaditi $T_{m\Upsilon}$, surektascenziju zvijezde pretvoriti u vrijeme i dobiti Tm_* po formuli: $Tm_* = T_{m\Upsilon} - (360° - \alpha)$

4. Pretvoriti λ_o u vremenski iznos i dobiti UT_{mo} po formuli $UT_{mo} = T_m - \lambda_o$

5. Izračunati Δt po formuli: $\Delta t = UT_{mo} - UT_o$ i pretvoriti ga u sate i djelove sata.

6. Izračunati $\Delta\lambda$ po formuli $\Delta\lambda$ = b Δt sin K sec φ_o. Dobiveno rješenje je u minutama luka koje je potrebno pretvoriti u stupnjeve i minute ako je iznos veći od 60.

7. Izračunati λ_z po formuli $\lambda_z = \lambda_o + \Delta\lambda$

8. UT_{mz} dobiti na dva moguća načina:

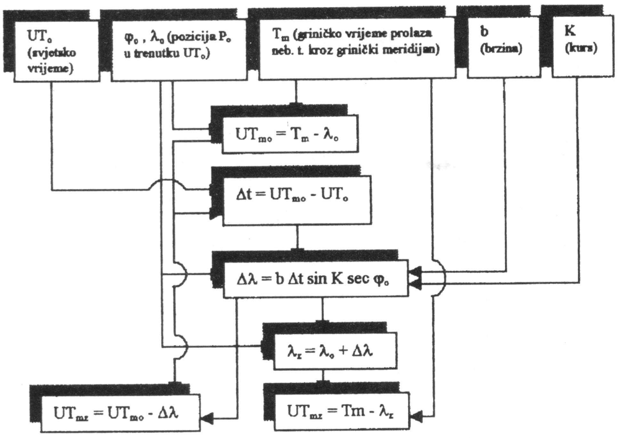
a) pretvoriti λ_z u vrijeme i izračunati formulu: $UT_{mz} = T_m - \lambda_z$

b) $\Delta\lambda$ pretvoriti u vremenski iznos i riješiti formulu: $UT_{mz} = UT_{mo} - \Delta\lambda$

Uz gore navedenu uputu daje se i shema na sl. 1. koja može upućenom operatoru pomoći prilikom programiranja postupka na osobnom ili džepnom računalu. Prilikom programiranja potrebno se strogo pridržavati pravila koja su navedena u uputi.

1.4. Objašnjenje nepotpune točnosti metode
The explanation of incomplete accuracy of the method

Već je rečeno da ova metoda ne daje potpuno točno rješenje, ali je ipak primjenjiva za praktične svrhe. Njezina netočnost počiva na tome što se traži vrijeme meridijanskog prolaza na novoj zbrojenoj poziciji na kojoj će se brod stvarno naći u trenutku meridijanskog prolaza tijela na prethodno dobivenoj opaženoj poziciji. To znači da stvarni susret broda s tijelom u meridijanu



Slika 1. Shema primjene metode dviju geografskih duljina
Figure 1. The application scheme of two longitudes

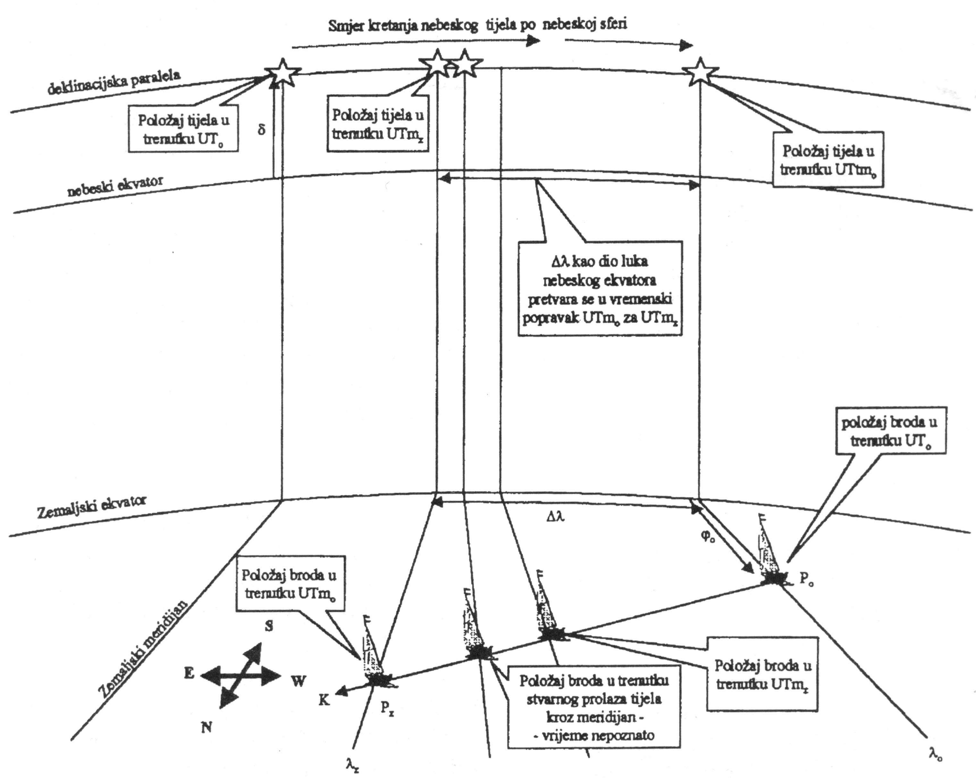
neće biti u trenutku njegovog položaja na novoj zbrojenoj poziciji već negdje drugdje. U ovim uvjetima se mogu razlučiti dva slučaja ovisno o smjeru plovidbe broda. Ako se brod kretao u zapadnom smjeru tj. u smjeru kretanja tijela po nebeskoj sferi, on se našao na λ_Z u trenutku kad je tijelo stiglo na g. mer. λ_O. Dok je tijelu bilo potrebno da stigne u g. mer. na λ_Z brod je i dalje bilježio kretanje i stvarni susret je bio nešto kasnije od dobivenog rješenja. Ako se pak brod kretao u istočnim smjerovima, tj. u suprotnom smjeru od kretanja tijela po nebeskoj sferi (sl. 2.), on se našao na λ_Z u trenutku kad je tijelo bilo na g. mer. λ_O. To znači da je tijelo bilo na g. mer. λ_Z prije nego je brod stigao na λ_Z, odnosno stvarni susret je bio nešto ranije od dobivenog rješenja. Razlog zašto se ta razlika u vremenu može zanemariti za praktične potrebe leži u tome što neb. t. za jednu vremensku minutu napravi oko 15 lučnih minuta. To bi značilo da brod pri plovidbi u nekim srednjim uvjetima (kurs 45°, geografska širina 45°, brzina 15 čv.) mijenja svoju geografsku duljinu brzinom koja je oko 60 puta sporija od brzine kojom se tijelo kreće po nebeskoj sferi. Dakle brod će se pri stvarnom susretu s tijelom u g. mer. naći udaljen od λ_Z na poprilici jednoj šezdesetini ukupnog puta od λ_O do λ_Z. Kako je ta udaljenost u vremenskom iznosu zanemariva ova metoda se može smatrati prihvatljivom za praktične potrebe.

1.5. Ostale greške
Other errors

Kod rješavanja ovom metodom mogu se pojaviti i druge greške koje će se ovdje navesti.

1.5.1. Približnost podataka u godišnjaku i nestalnost kretanja planeta
The data approximation in the almanac and the inconsistency of planet motion

Nautičke efemeride za planete i proljetnu točku daju srednje vrijeme meridijanskog prolaza koje vrijedi za po tri uzastopna dana. To znači da se može dogoditi



Slika 2. Metoda dviju geografskih duljina
Figure 2. The method of two longitudes

slučaj u kojem će stvarno srednje vrijeme meridijanskog prolaza izrazito odstupati od onog u godišnjaku. Ova metoda stoga nije pogodna za rad s planetama i sa zvijezdama stajačicama jer bi za vrlo točno rješenje prethodno bio potreban postupak interpolacije. Uostalom planete imaju dosta nestalno kretanje po sferi dok zvijezde stajačice kasne s meridijanskim prolazom konstantno, poprilici 4 minute dnevno. Za napomenuti je i to da je staro izdanje Nautičkog godišnjaka imalo mogućnost vrlo preciznog načina za određivanje meridijanskog prolaza za nepomičnog opažača za zvijezde i planete. Novo izdanje je formu izjednačilo s "The Nautical Almanac" pa te mogućnosti nema. Ovdje je za napomenuti i to da je T_m za Sunce u nautičkom godišnjaku dato s točnošću od jedne vremenske minute. Zato bi pri određivanju UT_{mo} bilo bolje koristiti pravo podne i jednadžbu vremena ili mjesni satni kut Sunca.

1.5.2. Netočnost procijenjene brzine i kursa
Inaccuracy of assumed speed and course

U pomorskoj plovidbi iskusni navigator može u normalnim okolnostima (mirno more, stabilan kurs) vrlo točno procijeniti kurs preko dna i brzinu preko dna. Ipak, pošto se radi o procjeni neizbježna je određena greška. Greška u kursu neće bitno utjecati, jer se sin K, koji se pojavljuje u formuli za $\Delta\lambda$, sporo mijenja za promjenu kuta od 1°. Osim toga kod procjene kursa teško je znatno pogriješiti. Međutim za grešku u brzini se ne može isto tvrditi. Ona izravno utječe na točnost rezultata. Analiza ovakve greške će biti navedena u točki 2.11. kroz konkretan primjer.

1.5.3. Netočnost opažene pozicije
Inaccuracy of observed position

Ova metoda se može koristiti kako je navedeno samo uz prethodno poznavanje pozicije P_o koja je ranije od prolaza neb. t. kroz g. mer. Budući da takva pozicija ne mora biti točna, posebno ako je dobivena zbrojenom navigacijom, o njenoj će grešci ovisiti i točnost konačnog rješenja za vrijeme meridijanskog prolaza. Analiza ovakve greške će biti obrađena u točki 2.12. kroz konkretan primjer.

1.5.4. Netočnost formule za $\Delta\lambda$
Inaccuracy of $\Delta\lambda$ formula

U točki 1.2. rečeno je da se $\Delta\lambda$ računa po formuli koja dozvoljava ulaz sa φ_o, φ_s i (φ_s + x). Teoretski je najpovoljnije koristiti ulaz sa (φ_s + x). To mnogo otežava i produljuje postupak, jer su potrebne dodatne računske operacije, a kako se radi o malom prevaljenom putu ni greška neće biti velika. Analiza takve greške ovdje nije data zbog već postojeće greške u teoretskoj osnovi (opisano u 1.4.), ali će isto biti vidljivo u točki 2.6.

1.6. Zaključno o metodi
The conclusion of the method

Ovakav način rješavanja je vrlo prihvaćen kako od iskusnih pomorskih navigatora tako i od ostalih poznavaoca astronomske navigacije. Metoda zahtijeva postupak od nekoliko jednostavnih koraka uz računske postupke i daje zadovoljavajuće točno rješenje. Primjenom džepnih i osobnih računala stvar postaje mnogo brža i točnija. Ipak ima i svoje nedostatke koji su objašnjeni u 1.4. i 1.5. Uz to je važno naglasiti da sadašnja izdanja "The Nautical Almanac", Nautičkog godišnjaka i "Brown's Nautical Almanac" daju mogućnost upotrebe ove metode samo za Sunce i Mjesec (za Mjesec uz korištenje dodatne interpolacije pomoću priložene tablice), jer ne omogućuju interpolaciju za vrijeme meridijanskog prolaza za planete i zvijezde stajačice koje je dato u intervalu od tri dana s izvjesnom razlikom. Samo ime metode "Metoda dviju geografskih duljina" ne susreće se u praksi već je imenovana u ovom radu od strane autora, ponajprije da bi se razlikovala od metode iz slijedećeg poglavlja. Ime je dobila po tome što se u postupku pojavljuju dvije geografske duljine i za svaku od njih se računa meridijanski prolaz.

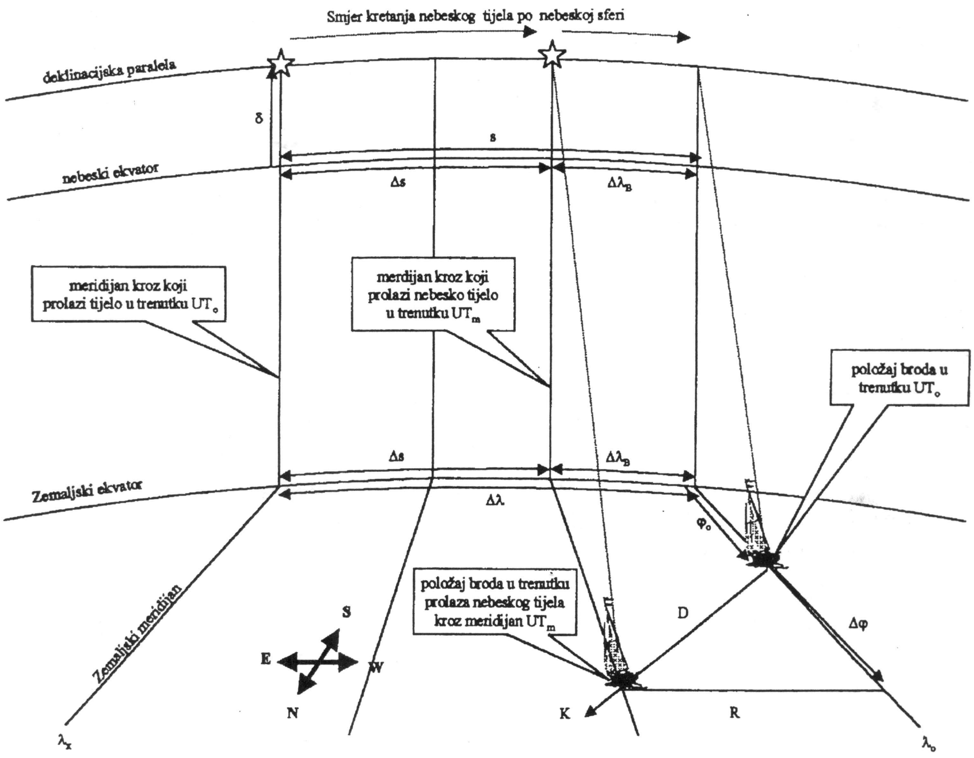
2. Metoda satnog kuta
The method of hour angle

2.1. Općenito
In general

U prethodnoj metodi je vidljivo da teoretska osnova rješenja mora dati grešku zbog toga što se stvarni susret broda s tijelom u g. mer. dogodi nešto ranije ili kasnije (ovisno o smjeru plovidbe) od vremena dobivenog u rješenju. Iako je ova greška zanemariva za praktične potrebe u ovoj točki će se dati rješenje koje premošćuje navedeni problem. Uz rješenje primjenjivo za Sunce dat će se rješenje koje je prihvatljivo i za zvijezde stajačice. Za ovu metodu potrebno je poznavati zbrojenu ili opaženu poziciju P_o (φ_o, λ_o) prije prolaza tijela kroz g. mer., svjetsko vrijeme te pozicije UT_o, mjesni satni kut neb. t. u trenutku UT_o, te procijeniti kurs preko dna i brzinu preko dna. Metoda se bazira na tome da se računa razlika vremena Δt od UT_o do vremena prolaza neb. t. kroz meridijan pokretnog opažača UT_m. Ta vremenska razlika se dobiva pomoću posebne formule koja nastaje iz činjenice da algebarski zbroj promjene satnog kuta neb. t. do trenutka meridijanskog prolaza i promjene geografske duljine opažača do tog istog trenutka daje mjesni satni kut neb. t. u trenutku UT_o. Postupak je dosta kompliciran, ali primjenom računala postaje vrlo točan i prihvatljiv.

2.2. Teoretska osnova rješenja
Theoretical basis of the solution

Već je rečeno da je osnovni zadatak ove metode eliminacija greške koja se krije u prethodnoj, a koja nastaje zato što se u vremenskom trenutku koje se dobilo kao rješenje brod stvarno nalazi na P_z a nebesko tijelo prolazi kroz meridijan opažene pozicije iz čega proizlazi da je stvarni susret bio nešto ranije



Slika 3. Metoda satnog kuta
Figure 3. The method of hour angle

odnosno kasnije od dobivenog rješenja. Da bi se ovaj problem riješio potrebno je predmet postaviti na drugu osnovu.

Pretpostavka je da se brod u nekom trenutku UT_o nalazi na nekoj poziciji $P_o(\varphi_o, \lambda_o)$, da plovi u nekom od istočnih kurseva (000°<K<180°) nepromjenjivom brzinom i da se u tom trenutku na istočnom dijelu nebeske sfere nalazi zamišljeno neb. t. s nepromjenjivom rektascenzijom i deklinacijom koje se giba brzinom i smjerom srednjeg Sunca (15° na sat od istoka prema zapadu). Može se tvrditi da će u tom trenutku to neb. t. prolaziti kroz g. mer. na nekoj poziciji $P_x(\varphi_x, \lambda_x)$ koja se nalazi istočnije od P_o. Isto tako se može tvrditi da će za opažača na brodu to neb. t. imati istočni mjesni satni kut koji će se označiti sa "s". Očito je da će taj "s" u lučnoj mjeri biti jednak luku ekvatora na Zemlji između λ_o i λ_x (sl. 3.), tj. $\Delta\lambda$, pa se može postaviti slijedeća jednakost:

$$s = \lambda_x - \lambda_o = \Delta\lambda \tag{2}$$

Kroz nastupajuće vrijeme neb. t. će se gibati prema zapadu tj. prema g. mer. opažača pa će stalno smanjivati svoj satni kut dok konačno ne dođe u g. mer. opažača. Da je opažač nepomičan taj bi satni kut u vremenskom iznosu predstavljao vrijeme od UT_o do UT_m (vrijeme prolaza neb. t. kroz g. mer.) i stvar postaje jednostavna. Međutim opažač na brodu se kreće i to u istočnom smjeru tj. suprotno od neb. t. pa time povećava brzinu promjene satnog kuta neb. t. i za posljedicu ima susret s neb. t. u g. mer. na geografskoj dužini između λ_o i λ_x. Vidljivo je da će prolaz neb. t. kroz g. mer. nastupiti nakon što brod pri kretanju promijeni dio geografske duljine $\Delta\lambda_B$, a kroz isto vrijeme neb. t. prevali dio luka satnog kuta Δs (sl. 3.). Budući da luk satnog kuta na sferi odgovara luku razlike geografske duljine na Zemlji, tada će zbroj $\Delta\lambda_B$ i Δs dati ukupnu vrijednost s odnosno Δλ.

$$s = \Delta\lambda_B + \Delta s \tag{3}$$

Budući da su $\Delta\lambda_B$ i Δs dijelovi luka koje prevale brod i tijelo u istom vremenu, a to se vrijeme traži započinje se sa izvodom.

$$\Delta s = \Delta t\ 900' \tag{4}$$

Zamišljeno neb. t. koje se po sferi giba brzinom srednjeg Sunca prevali 900 lučnih minuta na sat, pa će luk Δs odgovarati umnošku razlike vremena Δt u satima i dijelovima sata sa 900 lučnih minuta.

Izraz za promjenu geografske duljine opažača na brodu $\Delta\lambda_B$ je formula (1) koja se javlja u metodi dviju geografskih duljina.

$$\Delta\lambda_B = b\ \Delta t \sin K \sec \varphi_o$$

$\Delta\lambda_B$ se dobije izvodom iz loksodromskih trokuta kao umnožak brzine broda u čvorovima, razlike vremena Δt u satima i dijelovima sata, sinusa kružnog kursa i secansa geografske širine. Vidljivo je da se u formuli ne nalazi izraz φ_s iz jednostavnog razloga što se φ_s ne može izračunati jer nedostaje vrijeme Δt koje je i cilj izvoda. O ovome će problemu biti riječi kasnije.

Uvrsti li se (4) i (1) u (3) dobiva se

$$s = b\ \Delta t \sin K \sec \varphi_o + \Delta t\ 900'$$

Budući da je Δt vrijednost koja se traži i jednaka je u oba pribrojnika, izlučivanjem se dobije:

$$s = \Delta t \,(b \sin K \sec \varphi_o + 900')$$

i konačno:

$$\Delta t = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_o + 900'} \tag{5}$$

Vrijednost satnog kuta koja ulazi u formulu (5) treba biti izražena u minutama luka, a kurs mora biti unešen u kružnom iznosu. Naime, ako se brod kreće u zapadnim smjerovima tada će sin K biti negativan što će umanjiti vrijednost nazivnika i dobit će se veći Δt (nego kod istočnog kursa) što je i logično jer se brod tada giba u istom smjeru kao i neb. t. , dakle "bježi" tijelu kome treba više vremena da ga stigne. Konačna vrijednost Δt se dobiva u satima. Ovakvo rješenje će biti točnije nego ono dato u prvoj metodi. Međutim ova formula još uvijek ne savladava grešku koja se javlja zbog ulaza sa φ_o o čemu će biti riječi u slijedećoj točki. Isto tako ona podrazumijeva da se neb. t. giba brzinom srednjeg Sunca što je u praksi samo primjenjivo donekle za Sunce, pa se zato ona može smatrati samo kao polazna osnova za daljnje analize koje će uslijediti kasnije. Ovakva formula je vrlo prilagodljiva za rad sa džepnim računalima, posebno onim koji imaju mogućnost programiranja formula.

Formula (5) predstavlja rješenje za Δt koje treba dodati vremenu UT_o da bi se dobilo UT_m odnosno griničko vrijeme prolaza neb. t. (srednjeg Sunca) kroz g. mer. pokretnog opažača.

$$UT_m = UT_o + \Delta t$$

2.3. Prilagodba formule (5) srednjoj širini
Conformation of formula (5) to mid latitude

Već je prethodno spomenuto da formula (5) ne daje potpuno točno rješenje zbog ulaza s φ_o umjesto φ_s. Isto tako je objašnjeno da se φ_s ni ne može dobiti jer je prethodno potrebno poznavati Δt zbog udaljenosti i $\Delta\varphi$. Međutim ako se postupak dobivanja Δt ponovi onda se u međukoraku može izračunati $\Delta\varphi$, potom φ_s s kojim se ponovo ulazi u formulu za Δt. Radi pojašnjenja opisat će se postupak.

Prvo je potrebno izračunati Δt po formuli (5).

Zatim se izračuna udaljenost. $D = b\,\Delta t$, a potom $\Delta\varphi = D \cos K$.

Srednja širina se konačno dobije formulom

$$\varphi_s = \varphi_o + \frac{\Delta\varphi}{2}$$

Potom se ulazi u formulu (5) ali ovaj put izmijenjenu za φ_s.

$$\Delta t' = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_s + 900'} \tag{6}$$

Može se primijetiti da je ovaj postupak preglomazan, te je kao takav preveliko opterećenje i za rad s džepnim računalima pa je njegova upotreba preporučljiva samo za rad na osobnim računalima koja imaju mogućnost programiranja. Druga nepovoljnost ovog postupka proizlazi iz toga što ni izračunato $\Delta t'$ nije teoretski točan rezultat. On se uistinu približio točnom rješenju ali ga nije i dostigao. Razlog tome je taj što je u početku Δt izračunat na osnovu φ_o; kao takav je unaprijed pogrešan i sa greškom ulazi u ponavljanje postupka, odnosno u ponovljenu formulu. Ako se on u ponavljanju postupka približio točnom rješenju kroz $\Delta t'$ to bi značilo da bi se daljnjim ponavljanjem postupka odnosno računajući novo φ_s' pomoću izračunatog $\Delta t'$ i unošenjem φ_s' u formulu (6) da bi se dobilo $\Delta t''$, još više približilo točnom rješenju. Ovakav postupak ponavljanja odnosno pretvorbe $\Delta t'$ u $\Delta t''$, dalje $\Delta t''$ u $\Delta t'''$ itd. pri svakom koraku rješenje više približava točnom i upućuje na zaključak da se potpuno točno rješenje dobiva nakon beskonačno ponavljanja. Međutim nemoguće je beskonačno puta ponoviti postupak, ali se može očekivati da će se krajnji rezultat za Δt zaokružen na konačan broj decimala početi ponavljati nakon nekog konačnog broja ponavljanja postupka. Takvo ponavljanje postupka je prilagodljivo osobnim računalima, a analiza ponavljanja rješenja će uslijediti kasnije u ovom radu. Još jedan nedostatak ove metode je u teoretskom smislu u tome što podrazumijeva Zemlju kao ravnu plohu a ne kao kuglu ili elipsoid. Istina je da se uvijek radi o malim udaljenostima pa to neće uzrokovati veću grešku, što će se analizirati u točki 2.6. Za napomenuti je da ni ovaj postupak još uvijek ne daje rješenje za stvarna neb. t. već samo za zamišljeno tijelo koje se giba brzinom srednjeg Sunca, pa se i ovo mora smatrati kao polazna osnova za rješavanje. Konačne primjenjive formule za praksu će biti date tek nakon analize.

2.4. Prilagodba formule (5) za Zemlju kao kuglu
Conformation of formula (5) to the Earth as a spherical body

Poznato je iz loksodromske teorije da se zbog kuglastog oblika Zemlje srednji razmak ne nalazi na aritmetički srednjoj širini između dvije pozicije već nešto visočije pa točna formula za srednji razmak poprima slijedeći oblik:

$$R_s = \Delta\lambda \cos (\varphi_s + x)$$

Budući da je vrijednost $(\varphi_s + x)$ geografska širina na kojoj se nalazi stvarni srednji razmak, nju je potrebno unijeti u formulu (5) umjesto φ_o kako bi se formula prilagodila za Zemlju kao kuglu i to na slijedeći način.

Poznata relacija za $(\varphi_s + x)$ ima slijedeći oblik:

$$\cos (\varphi_s + x) = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\varphi_M}$$

Recipročni izraz gornjem je:

$$\sec (\varphi_s + x) = \frac{\Delta\varphi_M}{\Delta\varphi}$$

Budući da gornji izraz predstavlja zamjenu φ_o za (φ_s+x) potrebno je u formulu (5) umjesto izraza sec φ_o unijeti $\Delta\varphi_M/\Delta\varphi$ i zadatak je naizgled gotov. Međutim, ova se vrijednost ne može izravno unijeti u formulu (5) već je potrebno ponavljanje postupka slično kao u 2.3. i to na slijedeći način:

Prvo se izračuna Δt po formuli (5).

Potom se izračuna udaljenost D = b Δt i zatim se izračuna $\Delta\varphi$ = D cos K

Sada je potrebno dobiti $\Delta\varphi_M$ (Merkatorova širina[3]) i to na slijedeći način:

$\varphi_o + \Delta\varphi = \varphi_2$

$\varphi_{Mo} = 3437.746771 \ln [\text{tg} (45° + |\varphi_o|/2)]$

$\varphi_{M2} = 3437.746771 \ln [\text{tg} (45° + |\varphi_2|/2)]$

$\Delta\varphi_M = \varphi_{M2} - \varphi_{Mo}$

Nakon izračunatog $\Delta\varphi_M$ izračuna se $\Delta t'$ po formuli

$$\Delta t' = \frac{s}{b\frac{|\Delta\varphi_M|}{|\Delta\varphi|}\sin K + 900'} \tag{8}$$

I ovdje kao i u 2.3. $\Delta t'$ ipak nije potpuno točno rješenje, ali se ono može dobiti ako se postupak ponavlja ($\Delta t'$ u $\Delta t''$ itd.) tako da se sa prethodno izračunatim Δt računa novo $\Delta\varphi$ i $\Delta\varphi_M$ sve do trenutka kad se nakon nekog konačnog broja ponavljanja počne ponavljati i rješenje za Δt zaokruženo na konačan broj decimala. Ovaj postupak je uspio u savladavanju problema kuglastog oblika Zemlje. Međutim puno je kompliciraniji od prethodnog načina pa je primjenjiv samo upotrebom osobnog računala s mogućnošću programiranja formula. Još uvijek nema rješenja za realna neb. t.

2.5. Prilagodba formule (5) za Zemlju kao elipsoid
Conformation of formula (5) to the Earth as an ellipsoid

Ako se formula (5) želi prilagoditi elipsoidalnom obliku Zemlje tada će postupak biti potpuno isti kao i prethodni s tom razlikom što se φ_{Mo} i φ_{M2} moraju računati po slijedećim formulama[4]:

$$\varphi_{Mo} = 3437.746771 \ln\left[\text{tg}\left(45° + |\varphi_o|/2\right)\left(\frac{1-\varepsilon\sin\varphi_o}{1+\varepsilon\sin\varphi_o}\right)^{\varepsilon/2}\right]$$

$$\varphi_{M2} = 3437.746771 \ln\left[\text{tg}\left(45° + |\varphi_2|/2\right)\left(\frac{1-\varepsilon\sin\varphi_2}{1+\varepsilon\sin\varphi_2}\right)^{\varepsilon/2}\right]$$

gdje je ε numerički ekscentricitet zemljinog elipsoida koji se dobije formulom:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

a – velika poluos, b – mala poluos

Daljnje ispravljanje formule (5) zbog zakrivljenosti Zemlje nije moguće jer geoidalni oblik Zemlje nije još uvijek dobio adekvatni matematički izraz.

2.6. Analiza rezultata
The results analysis

U prethodnim točkama ponuđene su četiri formule odnosno postupka koji rješavaju Δt. Da bi se odredilo koja je formula najpogodnija, koliko je puta potrebno ponavljati postupak, te koja formula daje točno rješenje, potrebno je analizirati nekoliko primjera. Rješenja će biti prikazana pomoću tablice. Na lijevoj strani tablice se nalaze ulazi koji predstavljaju rješenja u prvom koraku za Δt i za daljnje ponavljanje postupka za Δt do trećeg ponavljanja odnosno $\Delta t'''$. U gornjem redu su ulazi koji predstavljaju postupak po kojem su dobivena rješenja u dotičnom stupcu. Tako prvi stupac daje rezultat po formuli (5). Kako nema ponavljanja postupka samo je jedno rješenje. Drugi stupac daje rezultate prvo po formuli (5) a dalje u ponavljanju postupka po formuli (6) tj. pomoću srednje širine φ_s (objašnjeno u točki 2.3.). Treći stupac daje također prvo rješenje po formuli (5), a zatim rješenja nastala ponavljanjem postupka primjenom formule (8) za Zemlju kao kuglu (objašnjeno u točki 2.4.). I konačno četvrti stupac daje prvo rješenje po formuli (5) a dalje rješenja nastala ponavljanjem postupka koristeći formulu (8), ali za Zemlju kao elipsoid (objašnjeno u točki 2.5.). Koristi se Besselov elipsoid[5] s velikom poluosi a = 6 377 397m i malom poluosi b = 6 356 079m. Rezultati su dobiveni upotrebom osobnog računala i programiranja formula, a prikazani su u satima, minutama, sekundama i stotim djelovima sekunde.

2.6.1. Primjer u srednjim uvjetima
An example in mean conditions

U ovom primjeru primjenit će se neke srednje vrijednosti za ulaze koji se mogu često susresti u pomorskoj praksi.

φ = 45° N , s = 45° E , K = 45° , b = 15 čv. *Rješenja su data u tablici 1.*

Uzeta je srednja geografska širina na sjeveru, satni kut koji odgovara polovici luka ekvatora od točke na gornjem meridijanu do istočne točke horizonta, kurs na polovici vrijednosti od 0° do 90° gdje trigonometrijske funkcije poprimaju vrijednosti 0, 1 ili ∞, te uobičajena brzina trgovačkih brodova.

---

[3] formula za Merkatorovu širinu, zemlja kao kugla - izvor: "TERESTRIČKA I ELEKTRONSKA NAVIGACIJA" HI Split 1986, str. 69.

[4] formula za Merkatorovu širinu, zemlja kao elipsoid - izvor: "TERESTRIČKA I ELEKTRONSKA NAVIGACIJA" HI Split 1986, str. 77.

[5] podaci za osi Besselovog elipsoida - izvor "TERESTRIČKA I ELEKTRONSKA NAVIGACIJA" HI Split 1986, str. 42.

Tablica 1. Rješenja primjera iz 2.6.1.
Table 1. The solution of example from 2.6.1.

rješenje	formula (5)	postupak iz 2.3.	postupak iz 2.4.	postupak iz 2.5.
Δt	$02^h57^m2,95^s$	$02^h57^m2,95^s$	$02^h57^m2,95^s$	$02^h57^m2,95^s$
$\Delta t'$		$02^h57^m2,15^s$	$02^h57^m2,15^s$	$02^h57^m2,73^s$
$\Delta t''$		$02^h57^m2,15^s$	$02^h57^m2,15^s$	$02^h57^m2,73^s$
$\Delta t'''$		$02^h57^m2,15^s$	$02^h57^m2,15^s$	$02^h57^m2,73^s$

Iz rezultata je vidljivo kako u ovim uvjetima sve formule daju vrlo sličan rezultat. U prvom redu su rezultati jednaki jer su svi računati po formuli (5) što će biti i u slijedećim primjerima. Zanimljivo je da se u sva tri zadnja stupca rezultat ponavlja već kod $\Delta t''$. Druga zanimljivost je u tome što drugi i treći stupac daju potpuno iste rezultate. Razlog tome je mala udaljenost koju je brod prevalio. Još jedna zanimljivost je ovdje za spomenuti. Ako se sjetimo prve metode i točke 1.4. primjetiti ćemo da su spomenuti gornji uvjeti i za njih rečeno da će se brod s neb. t. u g. mer. susresti udaljen od λ_Z na poprilici jednoj šezdesetini ukupnog puta od λ_O do λ_Z . Naime, metoda dviju geografskih duljina podrazumijeva da se brod našao na λ_Z u trenutku kad je neb. t. bilo u g. mer. na λ_O. Ako je u gornjem primjeru satni kut 45° to znači da se brod našao nakon 3 sata na λ_Z i za nju se računa meridijanski prolaz po metodi geografskih duljina. Međutim vidimo iz gornjeg primjera da će se tijelo u meridijanu naći opažaču prije nego protekne puna 3 sata i to oko 3^m što je jedna šezdesetina vremena od 3 sata.

2.6.2. Primjer sa velikom brzinom
An example of high speed

Slijedi primjer sa iznimno velikom brzinom koju prosječni trgovački brodovi redovito ne postižu. Ovo će poslužiti kao osnova za analizu.

φ = 45° S , s = 45° E , K = 315° , b = 50 čv. *Rješenja su data u tablici 2.*

Osim velike brzine uzeta je srednja južna geografska širina, i kurs u kvadrantu NW sa jednakim stupanjskim iznosom kao u prethodnom primjeru.

Tablica 2. Rješenja primjera iz 2.6.2.
Table 2. The solution of example from 2.6.2.

rješenje	formula (5)	postupak iz 2.3.	postupak iz 2.4.	postupak iz 2.5.
Δt	$03^h10^m35,29^s$	$03^h10^m35,29^s$	$03^h10^m35,29^s$	$03^h10^m35,29^s$
$\Delta t'$		$03^h10^m24,58^s$	$03^h10^m24,67^s$	$03^h10^m22,38^s$
$\Delta t''$		$03^h10^m24,59^s$	$03^h10^m24,67^s$	$03^h10^m22,39^s$
$\Delta t'''$		$03^h10^m24,59^s$	$03^h10^m24,67^s$	$03^h10^m22,39^s$

Iz primjera je vidljivo da formula (5) griješi za oko 10 sekundi u odnosu na ostale. Zanimljivo je da u konačnici postupak sa ponavljanjem uz φ_S i postupak sa ponavljanjem uz $\Delta\varphi_M/\Delta\varphi$ za Zemlju kao kuglu i u ovom ekstremnom slučaju daju skoro isti rezultat. To nastaje zbog malog satnog kuta koji utječe na manji Δt i time na manju udaljenost. Da je on kojim slučajem veći i razlika bi bila veća. Elipsoidalni oblik Zemlje ovdje ostavlja traga u dvije sekunde razlike u odnosu na treći i drugi stupac što i nije znatno. Iz ovog primjera je također vidljivo da su rezultati za Δt veći od tri sata (vrijeme koje odgovara satnom kutu od 45°) za razliku od prethodnog primjera gdje su rezultati manji od tri sata. To nastaje jer se opažač kreće u zapadnom smjeru, tj. u smjeru gibanja neb. t. tj. "bježi tijelu".

2.6.3. Veliki satni kut
Great hour angle

Primjer sa velikim satnim kutom. U praksi je potrebno uzeti što manji satni kut jer se može očekivati da se neb. t. poslije nekog vremena neće ni vidjeti po danjem svjetlu (zvijezde).

φ = 45° N , s = 135° E , K = 45° , b = 15 čv. *Rješenja su data u tablici 3.*

Tablica 3. Rješenja primjera iz 2.6.3.
Table 3. The solution of example from 2.5.3.

rješenje	formula (5)	postupak iz 2.3.	postupak iz 2.4.	postupak iz 2.5.
Δt	$08^h51^m08,85^s$	$08^h51^m08,85^s$	$08^h51^m08,85^s$	$08^h51^m08,85^s$
$\Delta t'$		$08^h51^m01,57^s$	$08^h51^m01,52^s$	$08^h51^m03,24^s$
$\Delta t''$		$08^h51^m01,57^s$	$08^h51^m01,52^s$	$08^h51^m03,25^s$
$\Delta t'''$		$08^h51^m01,57^s$	$08^h51^m01,52^s$	$08^h51^m03,25^s$

Slično prethodnom primjeru.

2.6.4. Velika geografska širina
High latitudes

Slijedi primjer sa iznimno velikom geografskom širinom u koju brod ni ne može doći pa se i ovaj primjer mora shvatiti samo kao osnova za analizu.

φ = 89° S , s = 45° E , K = 225°, b = 15 čv. *Rješenja su data u tablici 4.*

U primjeru je uzeta južna širina i kurs u kvadrantu NW

Tablica 4. Rješenja iz primjera 2.6.4.
Table 4. The solution of example from 2.6.4.

rješenje	formula (5)	postupak iz 2.3.	postupak iz 2.4.	postupak iz 2.5.
Δt	$09^h14^m18,55^s$	$09^h14^m18,55^s$	$09^h14^m18,55^s$	$09^h14^m18,55^s$
$\Delta t'$		$-01^h07^m07,94^s$		
$\Delta t''$		$07^h46^m56,06^s$		
$\Delta t'''$		$-02^h34^m44,30^s$		

Kod ovog primjera dobiveni su najlošiji rezultati. Ovdje prije svega izrazito griješi formula (5) i pri tome "zbuni" sve ostale postupke. Za primijetiti je da se u trećem i četvrtom stupcu uopće ne mogu izračunati Δt u ovim uvjetima. Razlog je tome što one uvijek polaze od formule (5) u ponavljanje postupka, a njezino rješenje je veće od devet sati. Kroz tih devet sati u postupku ponavljanja se dobiva $\Delta\varphi$ veći od 1°. Kako će tada φ_{M2} biti računato za kut veći od 90°, a poznato je da je to nepostojeći slučaj, tada ni formula ne daje rješenje. Očito je da u ovom slučaju uzrok greške leži u neprimjenjivosti formule (5) koja za ovo područje velike konvergencije meridijana daje nelogično veliko rješenje kojeg je uzrok izrazito velik sec φ. Zanimljivo je također da drugi stupac naizmjenično daje pozitivan i negativan rezultat. Njemu je uzrok također što veliki sec φ u prvom ponavljanju množi negativni sin K. U idućem ponavljanju ulaskom negativnog vremena dobiva se negativna udaljenost i konačno pozitivan Δt itd. Vidi se da je ovaj uvjet potpuno neprihvatljiv, a u praksi i nemoguć. Prihvatljivo rješenje daje samo u slučaju ako je kvadrant kursa raznoimen s geografskom širinom.

2.6.5. Kurs vrijednosti 0° i 90°
The value course 0° and 90°

Iz trigonometrije je poznato da funkcije sin i cos koje se pojavljuju u gornjim formulama poprimaju krajnje vrijednosti 1 ili 0 pri kutu 0° ili 90°. Zato će se ovdje ponuditi primjeri u kojima je kurs 0° i 90°.

φ = 45° N , s = 45° E , K = 0°, b = 15 čv. *Rješenja su data u tablici 5.*

Tablica 5. Rješenja primjera iz 2.6.5. za K = 0°
Table 5. The solution of example from 2.6.5. for K=0°

rješenje	formula (5)	postupak iz 2.3.	postupak iz 2.4.	postupak iz 2.5.
Δt	$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$
$\Delta t'$		$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$
$\Delta t''$		$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$
$\Delta t'''$		$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$	$03^h00^m00{,}00^s$

Simpatičan primjer s apsolutnom točnošću svih postupaka u svakoj fazi. Razlog tome je jednostavan. Brod se kreće po meridijanu pa u račun dolazi u obzir samo satni kut podijeljen sa 15. Naime sin 0° je jednak nuli i time se poništi član b sin K sec φ. Ovaj primjer se izjednačuje s problemom određivanja vremena prolaza neb. t. kroz g. mer. opažača koji se ne kreće. Isto vrijedi i za kurs 180°.

φ = 45° N , s = 45° E , K = 90°, b = 15 čv. *Rješenja su data u tablici 6.*

Tablica 6. Rješenja primjera iz 2.6.5. za K = 90°
Table 6. The solution of example from 2.6.5. for K=90°

rješenje	formula (5)	postupak iz 2.3.	postupak iz 2.4.	postupak iz 2.5.
Δt	$02^h55^m51{,}30^s$	$02^h55^m51{,}30^s$	$02^h55^m51{,}30^s$	$02^h55^m51{,}30^s$
$\Delta t'$		$02^h55^m51{,}30^s$	03h00^{m}00,00^s	$03^h00^m00{,}00^s$
$\Delta t''$		$02^h55^m51{,}30^s$	03h00^{m}00,00^s	$03^h00^m00{,}00^s$
$\Delta t'''$		$02^h55^m51{,}30^s$	03h00^{m}00,00^s	$03^h00^m00{,}00^s$

Ako se brod kreće u kursu 90° (kao u primjeru) ili 270° tada on ne mijenja geografsku širinu, pa će logično rezultati u drugom stupcu odgovarati u svakoj fazi formuli (5). Zanimljivo je da se rezultati koje daju treći i četvrti stupac ne mogu prihvatiti. Naime u postupku ponavljanja se javlja izraz 0/0 za $\Delta\varphi_M/\Delta\varphi$ koji računalo pretvara u 0 i tada na rezultat utječe samo s i 900' što ne odgovara istini. Ovdje je vidljivo da se u trećem i četvrtom stupcu ne mogu dobiti rješenja.

2.7. Zaključno o formulama
The conclusion on the formulas

Nakon analize rješenja koja daju sva četiri navedena postupka u primjerima koji obuhvaćaju iznimno ekstremne slučajeve za po jedan elemenat s kojim se ulazi u postupak mogu se dati slijedeći osnovni zaključci:

a) U procesu ponavljanja postupka ista vrijednost se javlja već kod drugog ponavljanja.

b) Odstupanje rješenja u prvom stupcu od ostalih stupaca u drugom i trećem primjeru se kreće između 7 i 10 sekundi.

c) Za kurseve vrijednosti 90 i 270 stupci 3 i 4 ne mogu dati rješenje.

d) Kod iznimno velike geografske širine u nijednom stupcu nema povoljnog rješenja.

e) Rješenje dobiveno u drugom i trećem stupcu ne odstupa više od jedne sekunde.

f) Rješenja u četvrtom stupcu odstupaju od rješenja iz drugog i trećeg stupca za najviše 2 sekunde.

Ocjena rezultata kakve postupci daju za pojedine slučajeve može se slikovito dati kroz tablicu 7. U njoj se povoljno rješenje za pojedini postupak ocjenjuje sa znakom + , a nepovoljno sa znakom -.

Tablica 7. Ocjena postupaka prema rezultatima
Table 7. Review of procedures following the results

	(5)	2.3.	2.4.	2.5.
srednji uvjeti	+	+	+	+
velika brzina	-	+	+	+
veliki satni kut	-	+	+	+
velika g. širina	-	-	-	-
kurs 0 i 180	+	+	+	+
kurs 90 i 270	+	+	-	-

Iz navedene tablice može se vidjeti da drugi stupac zadovoljava u najviše slučajeva, tj. ne zadovoljava samo u slučaju velike geografske širine, pri kojoj griješe i svi ostali postupci. Povoljna okolnost je ta što brodovi u pravilu nikad neće doći u tako veliku geografsku širinu. Uzme li se u obzir još i to da odstupanje rezultata drugog i trećeg stupca ne prelazi jednu sekundu te da četvrti stupac predstavlja rješenje za elipsoidalni oblik Zemlje (geoidni oblik Zemlje se još uvijek nije matematički adekvatno izrazio) koji ne mora biti uvijek točan, može se zaključiti da se prioritet može dati drugom stupcu, tj. postupku koji uzima u obzir φ_S za aritmetičku srednju širinu. On nije složen kao postupak s φ_S za Zemlju kao kuglu, a od njega zanemarivo odstupa. Budući da se isti rezultat ponavlja već kod drugog ponavljanja odnosno kod $\Delta t''$, može se tvrditi da je za prihvatljivo rješenje postupak dovoljno ponavljati dva puta. Dakle, konačni zaključak nakon analize može glasiti: Za prihvatljivo rješenje koje daje metoda satnog kuta preporučljivo je koristiti dvostruko ponavljanje postupka s aritmetički srednjom geografskom širinom φ_S opisan u točki 2.3. Na osnovi prethodno iznesenog daljnja obrada ove metode koristit će navedeni zaključak.

2.8. Prilagodba postupka za Sunce
Conformation of procedure to the Sun

Već je spomenuto da prethodne formule nisu primjenjive za realna neb. t. već za zamišljeno srednje Sunce, jer se u njima pojavljuje izraz 900' koji predstavlja prevaljeni luk srednjeg Sunca za jedan sat. Da bi se one prilagodile za realno neb. t. potrebno je znati koliki luk za jedan sat prevali realno neb. t. i njega uvrstiti u formulu umjesto izraza 900'.

Prvo će se obraditi pravo Sunce. Poznato je da srednje Sunce od pravog odstupa za vremenski iznos jednadžbe vremena. To znači da pravo Sunce prolazi kroz meridijan kasnije ili ranije od srednjeg za iznos jednadžbe vremena u tom trenutku. Da je kojim slučajem vrijednost jednadžbe vremena stalna kroz čitavu godinu problema ne bi bilo. Pravo Sunce bi uvijek kasnilo tj. ranilo od srednjeg za isti iznos i pri tome bi brzina kretanja pravog Sunca bila jednaka 900'. Međutim, u stvarnosti to nije slučaj, jer jednadžba vremena mijenja svoju vrijednost kroz čitavu godinu, a prema tome i kroz jedan dan i jedan sat. Kako je i ta promjena nestalna (jednadžba vremena nema oblik pravca) to znači da bi se prava promjena jednadžbe vremena u nekom trenutku dobila prvom derivacijom jednadžbe vremena po datumu. Postupak koji zahtijeva deriviranje jednadžbe vremena unutar formule bio bi preglomazan, pa će se zato ovdje stvar podvrgnuti analizi.

Iz krivulje jednadžbe vremena može se vidjeti da ona najbrže mijenja vrijednost pri prelazu preko neke od nultih vrijednosti. Za 1997. godinu je to u drugoj polovici prosinca. Tako vrijednost jednadžbe vremena 25. 12. 1997. u 0^h griničkog vremena iznosi[6] $e = + 8^s$, a istog dana u 12^h griničkog vremena iznosi $e = - 7^s$. To znači da kroz 12^h jednadžba vremena mijenja vrijednost za ukupno oko $\Delta e = - 15^s$, a kroz jedan sat ta promjena iznosi oko $\Delta e = - 1{,}25^s$. Upravo tolika će biti razlika u računanju Δt za pravo i srednje Sunce ako je satni kut 15° odnosno 1^h, a opažač nepomičan. Ako se ova promjena pretvori u luk dobiva se vrijednost od $\Delta e = - 18{,}75'' = 0{,}3125'$. Pošto je Δe u ovom slučaju negativno što znači da pravo Sunce u kretanju kasni za srednjim tj. prevali manje luka od srednjeg za jedan sat, tada će se umjesto izraza 900' upisati izraz 899,6875' ($900' + \Delta e = 900' - 0{,}3125' = 899{,}6875'$). Formula (5) će sada poprimiti slijedeći oblik:

$$\Delta t = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_o + 899{,}6875'} \qquad (9)$$

Slijedi analiza rješenja koje daju formula (5) i formula (9) da bi se vidjela razlika. U primjeru će se uzeti srednji podaci.

$\varphi = 45°$ N , $s = 45°$ E , $K = 45°$, $b = 15$ čv.

Rješenje po formuli (5) iznosi $02^h\ 57^m\ 02{,}95^s$

Rješenje po formuli (9) iznosi $02^h\ 57^m\ 06{,}58^s$

[6] vrijednost jednadžbe vremena - izvor: "NAUTIČKI GODIŠNJAK 1997" HI Split 1996.

Vidi se razlika koja iznosi $03{,}63^s$. Ovaj primjer vrijedi za slučaj najveće dnevne promjene jednadžbe vremena koja se pojavljuje polovinom Prosinca i traje oko dva tjedna. U svim ostalim slučajevima tijekom godine iznos dnevne promjene jednadžbe vremena je manji pa će uzrokovat i manju grešku. U primjeru se također uzeo satni kut koji vremenski iznosi 3^h. Svaki manji satni kut će uzrokovati manju grešku, pa se i ovdje pojavljuje zahtjev za izborom što manjeg satnog kuta. U eventualnom postupku ponavljanja koji su objašnjeni u prethodnim točkama neće se dobiti velika razlika u konačnom rješenju. Uzevši u obzir sve navedeno možemo zaključiti da je za Sunce moguće koristiti formulu (5) i što je moguće manji satni kut. Rezultati će imati grešku koja se za praktične potrebe može zanemariti, a ovisna je prije svega o veličini satnog kuta Sunca.

2.9. Prilagodba postupka za zvijezde stajačice
Conformation of procedure to the fixed stars

U astronomskoj se navigaciji zvijezde stajačice smatraju nepomičnim tijelima na nebeskoj sferi dok se proljetna točka giba po ekliptici retrogradno u iznosu od 50,24'' godišnje tj. oko 0,14'' dnevno ili 0,006'' na sat, što u vremenu iznosi oko $0{,}0004^s$. Ova mala promjena će izazvati zanemarivu satnu promjenu surektascenzije pa se može smatrati da je surektascenzija zvijezde u toku jednog sata/dana nepromjenjiva. Očito je da će brzina kretanja svake zvijezde stajačice odgovarati brzini kretanja proljetne točke u odnosu na srednje Sunce. Poznato je da srednje Sunce dvaput uzastopno prolazi kroz proljetnu točku nakon 365,2422 srednja dana[7] (tropska godina). To ujedno predstavlja broj okreta Zemlje oko svoje osi kroz jednu tropsku godinu. Kako je s okretom oko svoje osi Zemlja istodobno rotirala oko Sunca, proljetna točka je kroz jednu tropsku godinu prividno rotirala jedan put više tj. 366,2422 puta oko Zemlje. Dakle, nebeska sfera se okreće brže od srednjeg Sunca i potrebno je odrediti koliko nebeska sfera prividno učini luka za jedan sat. Omjer rotacije proljetne točke i srednjeg Sunca iznosi 366,2422/365,2422 = 1,002737909. Ako se ovaj iznos pomnoži sa lukom srednjeg Sunca za jedan sat 900' dobit će se luk nebeske sfere za jedan sat. 900' x 1,002737909 = 902,4641183. Ovu vrijednost je potrebno unijeti u formulu (5) umjesto 900' i dobiti točnu formulu za određivanje vremena prolaza zvijezde stajačice kroz meridijan.

$$\Delta t = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_o + 902{,}4641183'} \qquad (10)$$

U daljnjem mogućem postupku ponavljanja potrebno je umjesto svake vrijednosti 900' unositi izraz 902,4641183'. Radi ilustracije točnosti ovog luka može se primijetiti da je satni kut u Nautičkom godišnjaku tabeliran za svaki sat u rasponu koji varira od 15° 02,4'

[7] trajanje tropske godine - izvor: dr. Boris Franušić - "ASTRONOMSKA NAVIGACIJA I", Pomorski fakultet - Dubrovnik, 1989.

(902,4') do 15° 02,5' (902,5'). Slijedi primjer s upotrebom formule (5) i formule (10).

φ = 45° N , s = 45° E , K = 45° , b = 15 čv.

Rješenje po formuli (5) iznosi $02^h\ 57^m\ 02{,}95^s$

Rješenje po formuli (10) iznosi $02^h\ 56^m\ 34{,}42^s$

Vidljiva razlika od $28{,}53^s$ ipak nije zanemariva ali nije ni velika. U svakom slučaju za zvijezde stajačice bolje je koristiti formulu (10) koja je slična formuli (5), a pri tom daje točniji rezultat. Vidljivo je kako je Δt po formuli (10) manji stoga što se zvijezde prividno po sferi kreću brže od srednjeg Sunca. Ovim se uspjelo u namjeri točnog izračunavanja vremena prolaza kroz g. mer. zvijezde stajačice za koje ne postoji adekvatno rješenje upotrebom metode dviju geografskih duljina.

2.10. Primjena
Application

Kao i kod metode dviju geografskih duljina i ovdje će se dati uputa za primjenu metode u praksi.

1. Odrediti poziciju broda P_o (φ_o, λ_o) opaženu ili zbrojenu, zabilježiti svjetsko vrijeme pozicije (UT_o), procijeniti brzinu u čvorovima (b) i kurs u kružnom iznosu (K).

2. Odabrati nebesko tijelo (Sunce ili zvijezdu stajačicu) na istočnom dijelu nebeske sfere po mogućnosti što bliže meridijanu i pomoću nautičkog godišnjaka odrediti grinički satni kut neb. t. S

3. Izračunati mjesni satni kut neb. t. po formuli $s = S + \lambda_o$ i pretvoriti ga u lučne minute.

4. Izračunati Δt po formuli:

$$\Delta t = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_o + 900'} \quad \text{za Sunce}$$

$$\Delta t = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_o + 902{,}4641183'} \quad \text{za zvijezdu stajačicu}$$

5. Izračunati $\Delta\varphi$ po formuli $\Delta\varphi = b\,\Delta t \cos K$. Dobiveno rješenje je u minutama luka kojeg treba pretvoriti u stupnjeve i minute, ako je iznos veći od 60.

6. Izračunati φ_s po formuli $\varphi_s = \varphi_o + \Delta\varphi/2$

7. Izračunati $\Delta t'$ po formuli:

$$\Delta t' = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_s + 900'} \quad \text{za Sunce}$$

$$\Delta t' = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_s + 902{,}4641183'} \quad \text{za zvijezdu stajačicu}$$

8. Izračunati $\Delta\varphi'$ po formuli $\Delta\varphi' = b\,\Delta t' \cos K$. Dobiveno rješenje je u minutama luka kojeg treba pretvoriti u stupnjeve i minute, ako je iznos veći od 60.

9. Izračunati φ_s' po formuli $\varphi_s' = \varphi_o + \Delta\varphi'/2$

10. Izračunati $\Delta t''$ po formuli

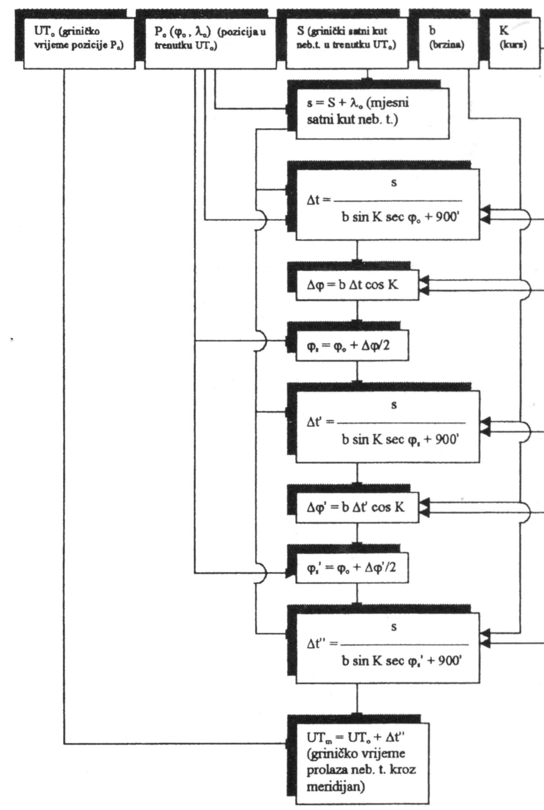
$$\Delta t'' = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_s' + 900'} \quad \text{za Sunce}$$

$$\Delta t'' = \frac{s}{b \sin K \sec \varphi_s' + 902{,}4641183'} \quad \text{za zvijezdu stajačicu}$$

Dobiveno rješenje za $\Delta t''$ je u satima koje treba pretvoriti u sate minute i sekunde.

11. UT_m dobiti po formuli $UT_m = UT_o + \Delta t''$.

Osim upute za primjenu daje se i shema na sl. 4. koju je potrebno koristiti prilikom programiranja na računalu.



Slika 4. Shema primjene metode satnog kuta
Figure 4. The application scheme of the method of hour angle

2.11. Greška vremena zbog greške u procijenjenoj brzini
The time error due to the error in the assumed speed

Brzina broda koja ulazi u formulu za račun Δt mora biti procjenjena od strane opažača. Za očekivati je da opažač teško može znati točnu brzinu kojom će se brod kretati kroz nastupajuće vrijeme posebno ako ima znatne morske struje, valova ili vjetra. Ipak iskusni pomorac može dosta točno procijeniti brzinu u normalnim uvjetima i za očekivati je da ta greška neće biti veća od 1 čv. Radi analize takve greške upotrijebiti će se primjer s razlikama brzine od 1 čv. Uzet će se u obzir da brod plovi u kursu 90°, jer će se tad greška zbog krivo procjenjene brzine najviše izraziti.

φ = 45° N , s = 45° E , K = 90°, b = 15 čv.

Rješenje po formuli (5) iznosi $02^h\ 55^m\ 51{,}3^s$

φ = 45° N , s = 45° E , K = 90°, b = 16 čv.

Rješenje po formuli (5) iznosi $02^h\ 55^m\ 35{,}13^s$

Greška od 16,17^s upućuje na zaključak da se pri procjeni brzine mora paziti što je moguće više. Istina je da će u drukčijim kursevima greška biti manja, ali isto tako greška od 1 čv. pri manjoj stvarnoj brzini od 15 čv. izazvat će u konačnici veću grešku u Δt. Ovaj se elemenat nažalost ne može premostiti već ostaje u isključivoj domeni iskustva pomorca koji procjenjuje brzinu.

2.12. Greška vremena zbog greške u poziciji
The time error due to the error in the position

Pri upotrebi ove metode za proračun satnog kuta mora se prethodno poznavati pozicija na kojoj se brod nalazi u trenutku UT_o. U oceanskoj se navigaciji u današnje doba može lako i precizno poznavati pozicija upotrebom satelitskih prijemnika, ali se u njihovom nedostatku koristi i zbrojena pozicija. Takva pozicija može imati grešku koja će se u konačnici odraziti i na izračunato Δt. Može se tvrditi da greška u geografskoj širini neće puno utjecati na konačno rješenje, jer se radi o malim udaljenostima, a član sec φ pri tome malo utječe na konačno rješenje. Značajnija će u tom slučaju biti greška koja nastaje zbog greške u geografskoj duljini. Radi analize upotrijebit će se primjer u kojem je razlika u λ = 5'. To znači da primjer treba postaviti tako da razlika u satnom kutu bude 5'.

$\varphi = 45°$ N , s = 45° E , K = 45°, b = 15 čv.

Rješenje po formuli (5) iznosi 02^h 57^m 02,95^s.

$\varphi = 45°$ N , s = 45° 05' E , K = 45°, b = 15 čv.

Rješenje po formuli (5) iznosi 02^h 57^m 22,62^s

Razlika od 19,67^s upućuje na zaključak da je bolje koristiti opaženu poziciju ako je to moguće, jer greška u λ ima znatan utjecaj.

2.13. Zaključno o metodi
The conclusion on the method

Metoda satnog kuta do sada nije mogla biti prihvaćena zbog vrlo kompliciranog postupka ponavljanja i složene formule (5) koja je osnova metode. U današnje doba sve veće primjene osobnih i džepnih računala ova metoda može biti prikladna za upotrebu. Ako se ne traži velika točnost, tada je moguće koristiti postupak bez ponavljanja, odnosno samo upotrebom formule (5), koja je prihvatljiva i za džepna računala. Za naglasiti je da je ovdje data uputa za upotrebu samo za Sunce i za zvijezde stajačice, dok za Mjesec i planete nije dato rješenje, jer bi postupak bio daleko složeniji zbog nestalnosti kretanja ovih neb. t.

3. Primjeri
Examples

Navest će se i nekoliko primjera, koji će usporediti rezultate dobivene upotrebom metode dviju geografskih duljina i upotrebom metode satnog kuta. Za primjer sa Suncem koristi se formula (5) s dva ponavljanja, a za primjer sa zvijezdom koristi se formula (10) s dva ponavljanja. Za računanje satnog kuta neb. t. i T_m koriste se podaci iz Nautičkog godišnjaka 1997 HI Split 1996.

3.1. Prvi primjer
The first example

Opažač se 16. 02. 1997. u trenutku UT_o = 13^h 25^m 10^s nalazi na poziciji φ_o = 52° 37' N λ_o = 041° 56' W. Treba odrediti vrijeme prolaza Sunca kroz g. mer., ako se opažač kreće u kursu 39° brzinom od 14 čv.

Rješenje po metodi dviju geografskih duljina iznosi 15^h 00^m 10,58^s.

Rješenje po metodi satnog kuta iznosi 15^h 00^m 17,27^s.

3.2. Drugi primjer
The second

Opažač se 22. 05. 1997. u trenutku UT_o = 14^h 16^m 47^s nalazi na poziciji φ_o = 50° 14' S λ_o = 153° 29' E. Treba odrediti vrijeme prolaza zvijezde Altair kroz g. mer., ako se opažač kreće u kursu 293° brzinom od 17 čv.

Rješenje po metodi dviju geografskih duljina iznosi 17^h 38^{m}09,74^s.

Rješenje po metodi satnog kuta iznosi 17^h 40^m 42,79^s.

3.3. Treći primjer
The third

Opažač se 12. 08. 1997. u trenutku UT_o = 03^h 47^m 08^s nalazi na poziciji φ_o = 19° 32' S λ_o = 071° 11' E. Treba odrediti vrijeme prolaza Sunca kroz g. mer., ako se opažač kreće u kursu 283° brzinom od 13 čv.

Rješenje po metodi dviju geografskih duljina iznosi 07^h 23^m 26,97^s.

Rješenje po metodi satnog kuta iznosi 07^h 22^m 57,02^s.

3.4. Četvrti primjer
The fourth

Opažač se 04. 11. 1997. u trenutku $UT_o = 01^h\ 29^m\ 33^s$ nalazi na poziciji $\varphi_o = 36°\ 07'$ N $\lambda_o = 19°\ 41'$ E. Treba odrediti vrijeme prolazka zvijezde Sirius kroz g. mer., ako se opažač kreće u kursu 138° brzinom od 16,5 čv.

Rješenje po metodi dviju geografskih duljina iznosi $02^h\ 28^m\ 21{,}66^s$.

Rješenje po metodi satnog kuta iznosi $02^h\ 27^m\ 56{,}67^s$.

Zaključak
Conclusion

Osobna i džepna računala na brodu dobivaju sve širu ulogu. Ako se kompleksni navigacijski zadaci rješavaju pomoću programiranog postupka na računalu, tada su oni jednostavni i precizni, a od operatora se traži samo poznavanje osnove problema. Ovaj rad upućuje navigatora i korisnika računala u način kako će rješavanje jednog starog zadatka iz astronomske navigacije poboljšati i prilagoditi računalu.

Na korisniku je da izabere nebesko tijelo na istočnoj strani horizonta sa što manjim mjesnim satnim kutom, da što točnije odredi poziciju, kurs i brzinu, te zabilježi svjetsko vrijeme. Godišnjakom će se poslužiti ili da odredi mjesni satni kut nebeskog tijela (metoda satnog kuta) ili da izvadi podatak T_m (metoda dviju geografskih duljina). Kad se nakon toga posluži računalom rješenje će dobiti odmah. Metodu satnog kuta sa dvostrukim ponavljanjem rješenja, upotrebom aritmetički srednje geografske širine, primijenit će ako se radi o zvijezdi stajačici ili Suncu, a ako je u pitanju Mjesec tada će se poslužiti metodom dviju geografskih duljina. Ako prilikom upotrebe metode satnog kuta nije u posjedu osobnog računala, tada se može koristiti postupkom bez ponavljanja upotrebom formule (5) prilagođene za Sunce ili zvijezdu stajačicu i džepnim računalom. Rješenje ni u tom slučaju neće znatno odstupati od točnog.

Za praktične se potrebe može i za Sunce i zvijezde stajačice koristiti metoda dviju geografskih duljina, ali ako se već koristi računalo, onda je bolje primijeniti metodu satnog kuta, jer u osnovi daje točnije rješenje a programiranje se ne može izbjeći.

Upotrebom računala klasične metode navigacije svojom jednostavnošću za navigatora postaju bliske modernim navigacijskim sustavima na čiju se tehničku prirodu i pouzdanost ne može lako utjecati.

Rukopis primljen: 10. 12. 1997.