

Satelitska navigacija na Jadranu

Dipl. ing. Arsen MUSULIN
Split

Uvod

Već desetak godina na Jadranu se vrše veoma aktivna geofizičko-seizmička istraživanja podmorja, u cilju pronalazjenja novih izvora nafte i plina. Za potrebe poduzeća INA-Naftaplin iz Zagreba, istražni radovi se izvode brodom »Junak«, pomorsko-tehničkog poduzeća »Brodospas« iz Splita, koji je već više mjeseci opremljen najmodernijom opremom za satelitsku navigaciju. Ovaj integrirani sistem za satelitsku navigaciju omogućuje vrlo preciznu navigaciju i pozicioniranje »Junaka«, što je od presudne važnosti za ova istraživanja. Prvi testovi vođeni početkom ove godine, poslije završene veoma kompleksne montaže i kalibracije sistema, pokazali su izvanredne rezultate, te su, što se tiče operativnog korištenja ovog načina navigacije i pozicioniranja za specifične potrebe tzv. »offshore« istraživanja nafte i plina, ispunjena sva očekivanja korisnika satelitskog navigacijskog sistema. Pozicije broda određene pomoću ovog integriranog sistema, kretale su se u granicama od par desetaka metara ili manje, a navigacija preko unaprijed određenog istražnog seizmičkog profila vođena je uz minimalna odstupanja. Precizno pozicioniranje broda bit će neophodno potrebno kod navođenja platforme za istražna bušenja, koju će INA-Naftaplin koristiti već krajem ove ili početkom iduće godine za bušenja morskog dna. Potraga za naftom, »crnim zlatom« XX stoljeća, tom skupocjenom sirovinom, snažnim energetskim izvorom i pogonskim gorivom bez kojeg se ne može zamisliti današnja tehnička civilizacija, nastavit će se uz pomoć najmodernije elektroničke opreme za satelitsku navigaciju istraživačkog broda »Junak«.

Ovaj napis opisuje satelitski navigacijski sistem TRANSIT, sastavne elemente integriraog sistema za satelitsku navigaciju tipa Magnavox Research Laboratories, USA, te neke bitne karakteristike operativnog korištenja ovog sistema na Jadranu.

Koristio sam podatke, dokumentaciju i vlastita zapažanja o radu i karakteristikama ovog sistema, stečena tokom mog studijskog boravka u laboratorijama primjenjene elektronike u pomorstvu kompanija Hewlett-Packard (Palo Alto, Los Angeles, Calif.) i Magnavox Research Laboratories (Terrance, Calif.), tokom listopada i studenog 1974. godine, a naročito mi je pomoglo vlastito iskustvo u radu sa ovom opremom na eksperimentalnom brodu »Duchess Diane« kompanije Magnavox R. L., tokom plovidbe uz obale Kalifornije krajem 1974. godine, te najviše od svega, stečena iskustva na našem istraživačkom brodu »Junak«.

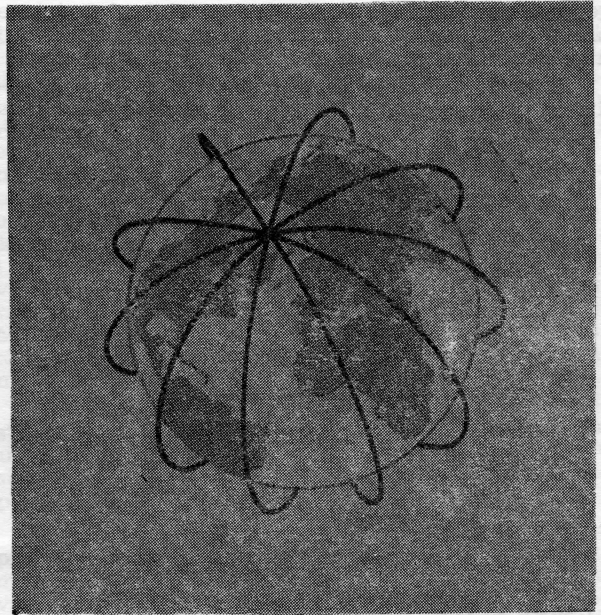
Napis završava osvrtom na eventualne prednosti šireg korištenja satelitskih navigacijskih sistema na brodovima svih tipova, odnosno namjena, usporedbom između radio-navigacijskih sistema i sistema za satelitsku navigaciju, te specifičnim uvjetima primjene satelitske navigacije na Jadranu.

Od SPUTNIKA I do satelitskog navigacijskog sistema TRANSIT

Prvi umjetni zemljin satelit, sovjetski SPUTNIK I lansiran 4. rujna 1957. godine. Od tog prvog znanstvenog prodora čovjeka u svemirska prostora, tehnologija pratećih naučno-tehničkih disciplina omogućila je upravo revolucionaran razvoj i široku primjenu satelitskih telekomunikacija i moderne elektroničke opreme u pomorstvu. Naročito je veliki napredak doživjela primjena svjetskih navigacijskih sistema korištenjem satelita. Prva znanstvena praćenja radio-signalna sa sovjetskog satelita SPUTNIK I, omo-

gućila su tehnološki razvoj idejnog rješenja za prototip prvog svjetskog navigacijskog sistema, popularno nazvanog TRANSIT. Dr. Guier i Dr. Weiffenbach, naučni suradnici »Laboratorije primjenjene fizike« (Applied Physics Laboratory) sa Univerziteta »John Hopkins« u USA, pratili su emisiju radio-signalna iz Sputnika I, te su uočili značajan tzv. dopplerov pomak frekvencije primljenih signalna, koji je bio uzrokovan velikom brzinom kretanja ovog satelita. Odatle su izveli zaključak, da je moguće odrediti cijelu orbitu satelita unaprijed, mjerenjem spomenutih doppler frekvencijskih pomaka i poznavanjem drugih fiksnih parametara Zemlje. Kasnije je ta ideja proširena na mogućnost točnog određivanja nepoznate pozicije satelitskog prijemnika na Zemlji, koji bi primao satelitske signale. Dr. Kershner i Dr. McClure iz istog istraživačkog centra su vješto razradili teoretske radove spomenutih autora, te je Dr. McClure, radeći na projektu američke flote Polaris podmornica, predložio razvoj sistema za satelitsku navigaciju, koji bi bio baziran na ovim znanstvenim radovima, a koji bi omogućio vrlo precizno pozicioniranje Polaris podmornica. Tako je izveden sistem NNSS, Mornarički navigacijski satelitski sistem (Navy Navigation Satellite System), popularno nazvan TRANSIT. Ovaj sistem je u široj komercijalnoj primjeni tek posljednjih desetak godina, točnije od mjeseca srpnja 1967. godine, kada je tadašnji podpredsjednik USA Humphrey, dozvolio šire komercijalno korištenje elemenata opreme za satelitsku navigaciju. Naročito široku primjenu integrirani sistemi za satelitsku navigaciju imaju tek posljednjih nekoliko godina u geofizičko-seizmičkim istraživanjima. Razloge tome treba tražiti u relativno visokoj cijeni prvih serija opreme za satelitsku navigaciju, u teškoćama međunarodne trgovačke razmjene, te izvjesnim prirodnim otporima prihvaćanju tehničkih noviteta u oblasti pomorstva.

TRANSIT sistem ima slijedeće glavne karakteristike: pokrivanje signalima cijelom površinom Ze-



Slika 1.

TRANSIT sateliti kruže oko Zemlje u polarnim orbitama sa takvim rasporedom orbita da svojim emitiranim signalima pokrivaju cijelu površinu Zemlje, tako da ih mogu koristiti brodovi na svim morima svijeta. Na slici su prikazane orbite 5 operativnih satelita iz 1971. godine.

mlje, neprekidna mogućnost primanja tih signala bez obzira na vremenske uvjete i neovisno o stanicama lociranim na kopnu, 24 sata dnevno, uz izuzetno točno određivanje pozicije prijemnika-korisnika sistema. Ovaj se svjetski navigacijski sistem sastoji od 6 operativnih satelita tipa TRANSIT (podatak za 1975. i 1976. godinu), nekoliko pratećih i injektivnih stanica lociranih na teritoriji USA, te dvaju centralnih kompjutorskih stanica za kontrolu toka i procesiranje svih podataka i parametara, također lociranih na teritoriji USA.

Sateliti tipa TRANSIT kruže oko Zemlje u kružnim polarnim orbitama, uz takav raspored orbita, da formiraju tzv. »ptičji kavez« (slika 1.), na visini od 600 nautičkih milja (1111 km). Sateliti pređu jedan krug oko Zemlje u 107 minuta, prosječnom brzinom od oko 16.000 Nm/sat. Prvi satelit TRANSIT 1A, lansiran je 17. kolovoza 1959. godine i od tada je lansirano više TRANSIT satelita sa poboljšanim elektroničkim elementima, tako da je danas u širem operativnom korištenju 6 satelita, koji su lansirani u periodu od 1967. do 1972. godine.

Korisnik Transit sistema mora imati takve uređaje koji su sposobni da primaju satelitske signale i izdaju navigacijsku poruku, da primaju sinuro-impulse poruke, te da mjere doppler pomake na primljenim signalima, koje satelit emitira na dvjema konherentnim stabilnim nosećim frekvencijama od 150 MHz, i 400 MHz radi korekcije zbog refrakcijskog efekta jonosfere. Vrlo je važno da se precizno odrede i podaci o kretanju broda između satelitskih prolaza (podaci o brzini i kursu broda) te se uz sve spomenute podatke pomoću brodskog minidigitalnog kompjutora preračunava pozicijski fiks broda u svakom trenutku.

Nekoliko Transit satelita je bilo snabdjeveno radioizotopskim izvorom energije, ali se normalni energetski izvor sastoji od sunčanih baterija, preko kojih se pune visoko kvalitetne nikal-kadmijum baterijske ćelije. Svaki Transit satelit osigurava određivanje najmanje četiriju pozicijskih fikseva broda u toku 24 sata, što znači da 6 operativnih satelita, koliko ih je danas u upotrebi, omogućavaju najmanje 24 pozicijska fiksa dnevno. Mogući broj određivanja pozicija broda pomoću satelita ovisi također i o samom geografskom položaju broda, jer se taj broj povećava prema polovima (što je razumljivo, pošto su sateliti u polarnim orbitama), a minimalan je na ekvatoru.,

Slika 2. prikazuje način rada navigacijskog satelitskog sistema TRANSIT, sa općenitim opisom toka podataka, uz prikaz zemaljskih pratećih, injektivnih

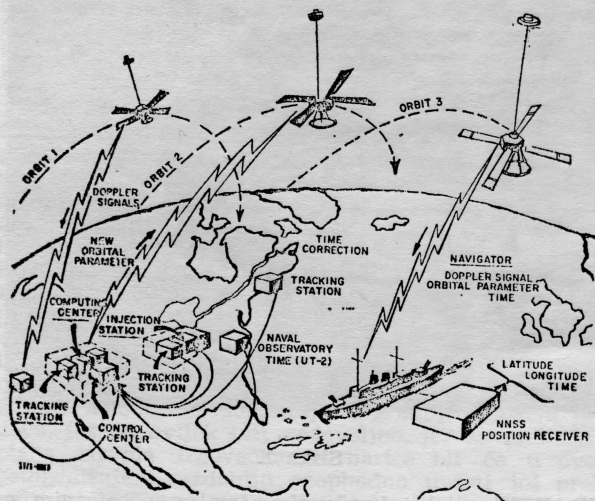
i računskih stanica, kojima koordinira štab Američke ratne mornarice u mjestu Point Mugu, Kalifornija, USA. Prateće satelitske stanice su smještene u državama Maine, Minnesota, California i Hawaii.

Treba reći da je proizvođaču opreme za satelitsku navigaciju postavljeno nekoliko uvjeta za konačnu izvedbu uređaja: točnost, pouzdanost, efikasnost, jednostavno rukovanje i maksimalna automatizacija procesa podataka. Upravo je zbog toga oprema za satelitsku navigaciju bila dosta skupa i bili su početno neophodni tehnički eksperti za rukovanje i održavanje svih elemenata sistema. Ove karakteristike nisu očito vodile korištenju satelitske navigacije u pomorskoj privredi i istraživanjima u pomorstvu, iako je postojao snažan interes za ovom modernom vrstom navigacije, specijalno za primjene u oceanografskim istraživanjima, ribarskim flotama, polaganjima kablova, plutača, tankerskoj floti, hidrografiji itd. Podstaknuti snažnim interesom za širu primjenu različitih generacija sistema za satelitsku navigaciju, proizvođači su težili da poboljšanjem tehnološke izvedbe i unapređenjem programskih rješenja kompjutora, koji su ustvari brodski procesni centri čitavog sistema za navigaciju, smanje cijenu koštanja i dimenzije tih modernih elektroničkih uređaja, čime bi se povećao broj korisnika TRANSIT sistema. Reducirana cijena opreme postignuta je na račun pojednostavljenja tehničke izvedbe elemenata opreme, koju je uvjetovala nova tehnologija elektroničkih integriranih krugova u modularnoj izvedbi, a isto tako i na račun veće pouzdanosti i fleksibilnosti, što se najbolje može vidjeti izvedbom sistema Magnavox MX 902 B, koji se istina ne može koristiti za geofizičko-seizmička istraživanja, jer nema točnost kao spomenuti integrirani sistem za satelitsku navigaciju kojeg koristi »Junak«, ali je mnogo jeftiniji i jednostavniji.

Vodeće zemlje svijeta, sa dugom pomorskom tradicijom, prihvatile su satelitske navigacijske sisteme i istakle odlične rezultate šire primjene tih sistema, te su zatražile i dodatne elemente za proširenje bazičnog satelitskog navigacijskog sistema. Ta je mogućnost jedna od glavnih prednosti ovog sistema, pošto je moguće izvesti integraciju tj. elektronički interfejs poznatih radionavigacijskih sistema u bazični satelitski navigacijski sistem, a također i drugih navigacijskih pomagala brodske elektronike. Prema specifičnim potrebama korisnika, priprema se broj integriranih elemenata sistema npr. žirokompasa, brzinomjera, sistema za snimanja podataka na magnetsku traku, radio-navigacijskog sistema, echo-soudera, TV video monitora za daljinsku indikaciju navigacijskih podataka, sonarskih sistema, različitih elektroničkih detektora, auto-pilota, radara za izbjegavanje sudara na moru (anti-collision radara) itd.

Dugogodišnja iskustva u radu sa ovom opremom pokazala su u kojoj mjeri je satelitska navigacija prihvatljiva za široki krug korisnika širom svijeta, baš zahvaljujući svojoj fleksibilnosti i pouzdanosti.

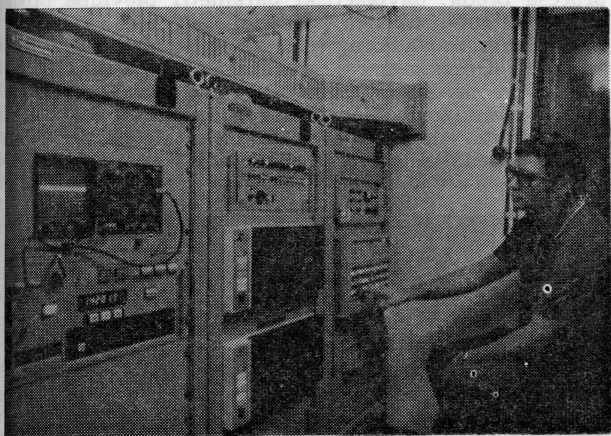
Prednosti novog satelitskog navigacijskog sistema su bile veoma uspješno demonstrirane tokom ljeta 1964. godine, kao dio opsežnog mornaričkog projekta nazvanog »Projekt morske orbite« (Project Sea Orbit). Prototip sistema satelitske navigacije nazvan AN/SRN-9 bio je montiran na nuklearnoj krstarici »Long Beach«, čime je taj moderni ratni brod mogao širom svijeta pouzdano odrediti svoju poziciju i to kada drugi poznati, uglavnom radio-navigacijski, sistemi za navigaciju nisu bili upotrebljivi, bilo zbog gustog oblačnog neba, atmosferskih smetnji (statičkog elektriciteta) ili nepovoljne geografske pozicije broda. Prvi navigacijski programi vođeni su uspješno kod obale zapadne Afrike, uz prisustvo vodećih stručnjaka iz oblasti pomorstva, te zainteresiranih strana u projektu. Bazirano na prototipu AN/SRN-9, tek je prosinca 1966. godine Komanda sistema vojne mornaričke flote USA, ostvarila ugovor o izvedbi integrirane opreme za široku primjenu u oblasti pomorstva, uz značajnu suradnju sa kompanijom ITT (International Telephone & Telegraph), Laboratorijom primjenjene fizike Univerziteta »John Hopkins« (Ap-



Slika 2.

Mornarički navigacijski satelitski sistem NNS — TRANSIT.

plied Physics Laboratory), kompanijom RCA (Radio Corporation of America), koja je izradila dva prva TRANSIT satelita, te kompanijom Magnavox Research Laboratories iz mjesta Torrance u Koloradiju, USA. Istraživački laboratoriji Magnavoxa su tehnološki izveli integriranje (u hardware i software smislu) više uređaja moderne primjenjene brodske elektronike, te su izradili nekoliko generacija satelitskog prijemnika, koji prima signale iz automatski lociranih TRANSIT satelita iznad horizonta broda. Integrirani sistem model 200 Magnavox za satelitsku navigaciju, koji se koristi na istraživačkom brodu »Junak«, pravu je potvrdu svojih prednosti i široku primjenu doživio u »offshore« istraživanjima nafte i plina širom svijeta (naročito na Sjevnom moru, u Meksičkom zaljevu, oko obala Škotske i Engleske, kod Biskajskog zaljeva, u vodama oko Japana itd.), gdje je bilo neophodno imati kontinuirani podatak o poziciji broda tokom snimanja geofizičko-seizmičkih profila morskog dna i dubinskih slojeva, te zbog preciznih određivanja lokacija platformi za istražna i eksploatacijska bušenja za naftu i plin.



Slika 3.

Operativno korištenje integriranog sistema za satelitsku navigaciju tipa Magnavox, na offshore istraživačkom brodu »Junak« splitskog »Brodospasa« snimak 5. srpnja 1976. g.

INTEGRIRANI SISTEM ZA SATELITSKU NAVIGACIJU

Kada bilo koji Transit satelit prolazi iznad horizonta korisnika NNSS sistema (u konkretnom slučaju istraživačkog broda), ovaj ima mogućnost da automatskim lociranjem prima navigacijske poruke koje emitira satelit, prateći taj satelit sve dok isti ne zađe iza horizonta, tada koristeći te poruke i podatke o kretanju broda odredi svoju poziciju, sve elemente za preciznu navigaciju i točno vrijeme po Greenwichu. Upotrebom samo satelitskog prijemnika i mini-digitalnog brodskog kompjutera, moguće je izdvojiti najmanje 24 dobra fiksiranja pozicije broda dnevno. Iskustveno korištenje integriranog sistema za satelitsku navigaciju koji se koristi na brodu »Junak« je pokazalo, da za područje Jadranskog mora postoje veoma često slučajevi sa pet ili šest satelitskih prolaza u toku jednog sata, ali su također uočeni i primjeri kada je trebalo čekati i do dva sata na slijedeći satelitski prolaz, koji bi omogućio dobro fiksiranje pozicije broda. U vezi s tim treba naglasiti, da je za potrebe geofizičko-seizmičkog snimanja, obavezno korištenje podataka tj. navigacijskih poruka iz takvih satelita, koji u odnosu na brod prolaze pod elevacijskim kutem između 15 i 70 stupnjeva, pošto sateliti sa takvim karakteristikama daju najtočnije

podatke i parametre kompjutoru za određivanje pozicije broda. Sistem, koji se sastoji samo od kompjutera i satelitskog prijemnika (u obliku jedne jedinice tj. uređaja), terminala za operiranje sistemom i za prikazivanje navigacijskih podataka, te satelitske antene sa predpojačalom, danas se u velikom broju koristi na tankerima, ribaricama, kontejnerskim brodovima, hidrografskim i oceanografskim istraživačkim brodovima, putničkim brodovima itd. Ovaj sistem ima oznaku Magnavox MX 702 B i on je daleko jeftiniji i jednostavniji od spomenutog integriranog sistema za satelitsku navigaciju, zbog toga što se tu koristi jednokanalni satelitski prijemnik bez dodatnih elektroničkih elemenata sistema koji bi osiguravali izuzetnu točnost pozicioniranja i navigacije. Međutim, treba imati na umu da za gore navedene primjere i nije potrebna tolika točnost kakvu osigurava integrirani sistem, prilagođen »offshore« istraživanjima. Sistem MX 902 B ima točnost od 0,2 do 1 Nm (što ovisi o točnosti podataka iz brodskih senzora brzine i kursa, varijacija u prijemu satelitskih signala zbog refrakcijskog djelovanja jonosfere, te o samoj lokaciji broda korisnika), te ima točnost pozicijskog fiksa od oko 100 metara, ako brod miruje (tada se njegova pozicija može odrediti sve točnije i točnije poslije više satelitskih prolaza pošto je eliminirana greška zbog eventualnog nepreciznog određivanja brzine i kursa broda između satelitskih prolaza).

Međutim, integrirani sistem za satelitsku navigaciju, koje je svojim elementima i specijalnim programima kompjutera prilagođen preciznoj geofizičko-seizmičkoj navigaciji i pozicioniranjima, osigurava automatsku obradu podataka za kontinuirano određivanje pozicije broda u svakom trenutku između samih prolaza satelita i to kompjutorskom obradom i iteracijskom analizom podataka i parametara iz svih elemenata integriranog sistema, po čemu je i ovaj sistem dobio naziv integrirani sistem.

Centralni procesor svih podataka i parametara za navigaciju i pozicioniranje je digitalni mini-kompjuter Hewlett-Packard 2100 A, koji je u hardware/software smislu odlično prilagođen brodskim uvjetima rada, a naročito je fleksibilan u odnosu na moguće povećajne kapaciteta memorije. Treba strogo voditi računa o radnim uvjetima kompjutera, što znači da laboratorij u kojem je smještena oprema za kompjutorsko-satelitsku navigaciju treba biti klimatiziran (temperatura laboratorija treba biti uvijek 22 stupnja celzijusa, uz maksimalnu dozvoljenu relativnu vlažnost od 90%, bez obzira na vanjske uvjete rada broda). Ovi podaci su naročito važni kada se radi o integriranom sistemu sa velikim brojem elektroničkih uređaja, jer su elektronički elementi kompjutera i naročito sistemi za snimanja na magnetsku traku veoma osjetljivi na spomenute radne uvjete u laboratoriju. Međutim, za jednostavne sisteme kao što je MX 902 B, koji se primjenjuju u trgovačkoj mornarici itd., ove granice radnih uvjeta nisu tako ograničene.

Satelitski dvokanalni prijemnik MX 702A-3 predstavlja zadnju generaciju Magnavox prijemnika, sa ugrađenim samostalnim test generatorom i vrlo stabilnim oscilatorom, koji prima satelitske signale pomoću omnidirekionalne antene.

Najbitniji elementi sistema, koji daju podatke za proračunsku tzv. »dead reckoning« poziciju broda između prolaza satelita, su Magnavox doppler sonar, vrlo precizni mjerač brzine broda, te Sperry žirokompas. Tu treba ubrojiti i radio-navigacijski sklop Loran-C (Loran-C prijemnik, rubidijum frekvencijski standard, osciloskop i Loran-C antena sa predpojačalom), koji se u integriranom sistemu za satelitsku navigaciju koristi kao mjerač brzine broda i to kada doppler sonar sistem pređe, zbog dubina većih od 300 metara, na lociranje mirnih morskih slojeva na jednoj određenoj dubini ispod broda. Naime, doppler sonar je impulсни elektronički sklop, koji mjeri brzinu broda u odnosu na morsko dno (do dubine

od oko 300 metara) ili u odnosu na mirne, ranije spomenute, morske slojeve (kada elektronički impulsi ne mogu dosegnuti ono mora). Rezultati o brzini broda, koji se dobiju u ovom drugom slučaju, nisu u granicama dozvoljene točnosti (jer te »mirne« morske mase ipak imaju izvjesnu brzinu i pravac, što primarno zavisi o konfiguraciji morskog dna, pa se to ne može predvidjeti), te se u ovom slučaju koriste podaci za brzinu broda dobiveni adekvatnim korištenjem radio-navigacijskog sistema Loran-C. Dakle, Loran-C sklop u sistemu satelitske navigacije ne koristi se za samu navigaciju, kao što je to uobičajeno, nego za precizno određivanje brzine broda, kada se ne može zbog dubina većih od 300 metara upotrebiti doppler sonarski sistem.

Sa ciljem da se svede na minimum svaki izvor grešaka kod upotrebe doppler sonara i žirokompasa, bitnih elemenata za određivanje pozicije broda između satelitskih prolaza, kompanija Magnavox je konstruirala vrlo precizni elektronički interfejs, koji elektronički sjedinjuje sve elemente nitegriranog sistema prema digitalnom kompjutoru, pošto komunikacije sa kompjutorom moraju isključivo biti u digitalnom obliku, a signali se iz različitih elemenata sistema pojavljuju u formi sinhosignala, istosmjernih napona, serija impulsa itd. Ova jedinica također transformira sve izlazne signale iz kompjutora u odgovarajuće oblike, te ih prenosi ostalim elementima integriranog sistema.

Program kompjutora Hewlett-Packard je tako uveden da je omogućena sinergistička kombinacija sonara, žirokompasa i ostalih elemenata za satelitsku navigaciju. Dodatno kombiniranje podataka Loran-C i satelitskog sistema u hardware/software smislu, omogućilo je ostvarivanje takvog sistema, koji je maksimalno eliminirao ograničenja svakog pojedinačnog sistema.

Podaci, koji se dobiju iz doppler sonara, korigiraju se također korištenjem termistora, koji mjeri temperaturu mora na mjestu emisije sonarskih impulsa /iz predajno/ prijemne jedinice nazvane transdjuser, koja je montirana kod same kobilice broda. Jednostavni potencijometriarski uređaj zvan inklinometar, koji se također montira na sklopu transdjusera, se koristi za korekciju rezultata iz sonara zbog valjanja i posrtanja broda. Pokazivanje doppler sonara se također korigiraju uz pomoć specijalnog mjerača brzine, velosimetra, koji mjeri brzinu prolaza zvuka kroz morsku vodu.

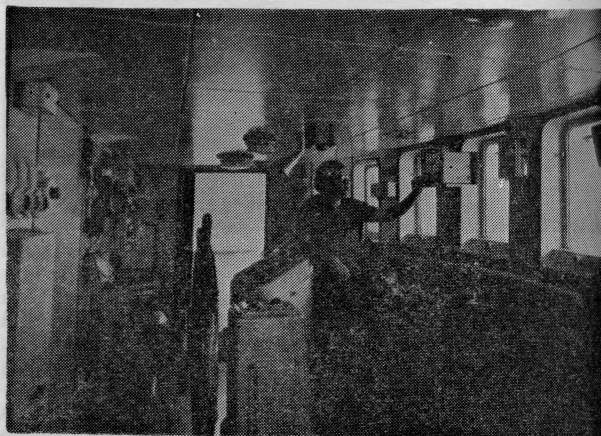
U vezi sa korištenjem radio-navigacijskog sistema Loran-C, treba spomenuti da se ovdje koristi dvokanalni osciloskop Philips, na čijem se ekranu promatraju i analiziraju Loran-C signali iz Mediteranskog Loran-C lanca SL 1, koji pokriva cijeli Jadran. Loran-C sklop u integriranom sistemu za satelitsku navigaciju, dakle koristi Mediteranski Loran-C lanac stanica, poznat kao SL 1 lanac (79.900 u sec) sa slijedećim karakteristikama stanica:

- 1) Master stanica SIMERI CRICHI, Italija,
— koordinate stanice : 38 53 20.23 N
16 43 06.39 E
- 2) Pomoćna stanica X, LAMPEDUSA, Italija,
— koordinate stanice : 35 31 20.80 N
12 31 29.96 E
- 3) Pomoćna stanica Z, ESTARTIT, Španjolska,
— koordinate stanice : 42 03 36.15 N
03 12 15.46 E

Brodski mini digitalni kompjutor Hewlett-Packard je opskrbljen HP foto čitačem perforiranih papirnih traka za davanje svih potrebnih programa kompjutoru. Navigacijski program M200 YU-76060, koji se koristi na brodu »Junak«, je napisan u programskom jeziku FORTRAN IV. Treba istaknuti da je moguće davati programe kompjutoru preko siste-

ma magnetskih traka, na koje se inače snimaju svi navigacijski i geofizičko-seizmički podaci radnog procesa. Poslije veoma komplicirane obrade tih podataka snimljenih na magnetskim trakama na brodu, koja se vrši pomoću centralnog kompjutorskog sistema UNIVAC 1110 u elektroničkom računskom centru INE u Zagrebu, trake snimljene na terenu (dakle na brodu »Junak«) predstavljaju tzv. magnetsku arhivu ili magnetsku biblioteku geofizičko-seizmičkih i navigacijskih podataka.

Periferni elementi integriranog sistema za satelitsku navigaciju su još termički pisač tipa Texas Instruments (najmodernija verzija klasičnog teleprinter T.I.), koji služi za direktno komuniciranje operatora na sistemu sa brodskim kompjutorom, a i kao izlazna jedinica sistema, zatim Houston plotter, veoma interesantna jedinica, koja prati plovidbenu putanju broda, te TV portabl video monitori postavljeni na nekoliko različitih mjesta na brodu (kormilarnica, seizmički laboratorij i laboratorij satelitske navigacije), čime se osigurava daljinska kontrola radnog procesa i toka korisnih podataka. Na tim monitorima se kontinuirano prikazuju najkorisniji podaci radnog procesa broda: navigacijski parametri plovidbe broda u odnosu na unaprijed određeni seizmički profil, brzina i kurs broda, broj seizmičkog pucnja, točno vrijeme po Greenwichu i trenutna pozicija broda. Na slici 4. je prikazan jedan takav TV monitor postavljen u kormilarnici istraživačkog broda »Junak«, tako da navigator može u svakom trenutku pratiti radni proces i podatke o navigaciji broda.



Slika 4.

Kormilarnica istraživačkog broda »Junak«, sa montiranim TV video monitorom sistema za satelitsku navigaciju, na kojem se kontinuirano prikazuju svi podaci o radnom geofizičko-seizmičkom procesu broda i o samoj navigaciji broda

Integrirani sistem za satelitsku navigaciju Magnavox je rezultat intenzivnih ispitivanja i razvoja tokom posljednjih decenija u vodećim američkim kompanijama elektroničke industrije i laboratorijskih eksperimenata. Pri tome glavnu riječ imaju poboljšani programski jezici digitalnih računara, koji su od osobite važnosti kod brzog procesiranja mnoštva podataka uz primjenu matematičkog modela iteracijskog statističkog filtriranja podataka i parametara, da se dobije najbolja procjena pozicijskog fiksa broda u svakom trenutku. Svi uređaji sistema su izvedeni u svakom plug-in modulima sa elektroničkim elementima, čime se omogućava jednostavan pristup analizi sistematskih grešaka sistema, uz jasno redovno i rutinsko održavanje sistema pomoću kompjutorskih dijagnostičkih programa.

Od osobite je važnosti da se upotreba ovog sistema može proširiti i na procesiranje podataka iz gra-

vimetrijskih i magnetometrijskih uređaja, koji se u tom smislu mogu integrirati u sistem.

Pomoću specijalnog kompjutorskog programa, moguće je dobiti odtampano na traci termickog pisaca sistema, sve buduće ili prošle prolaze svim Transit satelita iznad zejenog područja rada korisnika sistema tj. broda. Ovaj je podatak veoma važan, jer se time mogu planirati opsežni istraživački programi rada sa satelitskom opremom, izdvojiti satelitski prolazi sa najboljim karakteristikama za određivanje pozicijskih fikseva, te planirati vrijeme za rutinske kalibracije cjelokupnog sistema. Ovo svakako zadovoljava različite zahtjeve korisnika NNSS sistema i predstavlja značajnu stavku u planiranjima korištenja opreme. Podaci o geografskoj poziciji broda iznad koje se žele predvidjeti satelitski prolazi svih 6 Transit satelita, moraju se pretnodno dati kompjutoru ručno preko termickog pisaca, a također i vrijeme kada se žele dobiti podaci o budućim prolazima satelita. To je tzv. ALBERT program, koji se ostvaruje postojeći satelitski prijemnik primio barem po jednu navigacijsku poruku iz svakog Transit satelita, te postojeći su ti podaci pohranjeni u memorijskim registrima HP kompjutora.

Početna kalibracija i testiranja svih elemenata sistema, uz detaljno ispitivanje doppler sonar sklopa na dubinama većim od 300 metara, vršeno je na potezu Bari (Italija) — Otok Lastovo, tokom ozujka ove godine u razmaku od 118 km. Početna i krajnja točka ove kalibracijske putanje određene su pozicijama prema podacima iz nekoliko satelitskih prolaza sa najboljim karakteristikama. Pozicijsko oostupanje krajnje točke iznosilo je prema proračunu oko dvadesetak metara, prema korekciji iz satelita, koja je automatski prihvaćena u kompjutorskom proračunu. Za samu kalibraciju doppler sonara je korištena mjerna linija na potezu rt Ciovo-Arbanija (baza Ciovo), sa ukupnom dužinom mjerne baze od 3704 metra.

Napominjem da su pomoću integriranog sistema za satelitsku navigaciju Magnavox R. L., poslije početnih testova i kalibracije svih elemenata sistema, redovno postizavani precizni pozicijski fiksevi u granicama od dvadesetak metara apsolutno, što je potvrdilo visoku preciznost i efikasnost ove opreme.

Tokom listopada i studenog 1974. godine, sudjelovao sam kod početnih testiranja tehnološke izvedbe integriranog sistema za satelitsku navigaciju i ispitivanjima novih tipova doppler sonarskih sistema za visoko precizno određivanje brzine broda, na eksperimentalnom brodu kompanije Magnavox, koja su vršena u kanalu Cerritos između San Pedra i Long Beacha u Kaliforniji, USA, te kalibracijskim plovidbama uz lukobran sa precizno određenim markerima pozicije ispred luke San Pedro i Los Angeles. Tom su prilikom postizavane točnosti pozicijskih fikseva broda »Duchess Diane« od nekoliko desetaka metara ili manje, uz korištenje kalibracijskih podataka iz nekoliko desetaka najboljih satelitskih prolaza, nove tehnološke izvedbe doppler sonara i radio-navigacijskog sistema Loran-A, koji pokriva to područje Sjedinjenih Država Amerike. Kod spomenute, vrlo precizne kalibracije doppler sonara, brod je u tu svrhu prelazio rutu od 10 Nm i to od svjetionika na kraju lukobrana (sa fiksno određenim podacima pozicije do mornaričke plutača na otvorenom moru), koja također ima precizno određene podatke pozicije, jer se originalno koristi od strane Ratne mornarice USA za potrebe testova uređaja moderne brodske elektronike.

Prednosti šire primjene satelitskog navigacijskog sistema

Pod optimalnim uvjetima rada integriranog sistema za satelitsku navigaciju, uz korištenje specijalnog kompjutorskog programa za određivanje lokacija za bušenje morskog dna, može se postići točnost od nekoliko metara a i manje, što zaista predstavlja vrhunski domet na ovom području razvoja primijenje-

ne elektronike. Sistem za satelitsku navigaciju istisnuo je postojeći radio-navigacijski sistem Loran (američka navigacija pomoću radio valova), koji se ranije koristio na istraživačkom brodu »Junak« za navigaciju i poziciranja broda. Ovaj sistem, kao i ostali poznati sistemi za radio-navigaciju (Loran, Lorac, Loran, Kayast, Omega, Decca, Snoran, itd), omogućavaju rad istraživačkog broda samo između izlaza i zalaza sunca, zbog jonosferskog utjecaja na propagaciju radiovalova, a također su ovisni o opalskim stanicama koje zahtijevaju odgovarajuće stručno osoblje za postizavanje i održavanje (a koje su također veoma ovisne o lokalnim grmljavinama i atmosferskim nepogodama, što je pokazalo iskustvo u korištenju Loran stanica smještenih uzduž Jadranske obale). Treba reći da radio-navigacijski sistemi imaju ograničeno pokrivanje morske površine radio-signalima, te kada se sve ovo uspoređuje sa spomenutim satelitskim sistemom za navigaciju, koji se može koristiti na svim morima svijeta, bez obzira na vremenske uvjete, 24 sata dnevno i uz vrlo precizne rezultate navigacije i poziciranja (što je od presudne važnosti za »offshore« istraživanja nafte i puna), pokazuju se ocite prednosti Transit satelitskog navigacijskog sistema, koji je, uzgred budi rečeno, do danas jedini poznati i priznati svjetski navigacijski sistem u široj komercijalnoj upotrebi. Uz konstantno unapređenje modernih elektroničkih elemenata i usvajanjem novih tehnoloških rješenja, stalno pada cijena ovoj opremi, poboljšava se pouzdanost, točnost i efikasnost sistema, čime se povećava broj korisnika NNSS Transit sistema.

Točnost integriranog sistema za satelitsku navigaciju je veoma kompleksna funkcija varijabli kao što su npr.: dubina mora, frekvencija satelitskih prolaza, početna kalibracija sistema, stanje mora, kompletnost elemenata opreme, redovno održavanje elemenata sistema, rutinski testovi kompjutora, radni uvjeti u laboratoriju satelitske navigacije itd. Model 200 Magnavox sistem, koji se koristi na istraživačkom »offshore« brodu »Junak« splitskog »Brodospasa«, ispunio je očekivanja korisnika, što se tiče vođenja specijalnih navigacijskih programa za potrebe geofizičko-seizmičke obrade pod pažljivo kontroliranim radnim uvjetima opreme i ispravnim komuniciranjem na relaciji operator-kompjutor. Kada se pak uzme u obzir da se citavom površinom Jadranskog mora može koristiti i Loran-C radio-navigacijski sistem, tada je jasno zašto jedna ovakva integracija satelitskog navigacijskog sistema i radio-sistema Loran-C, može pružiti korisniku svoje maksimalne prednosti baš u istraživanjima Jadranskog mora.

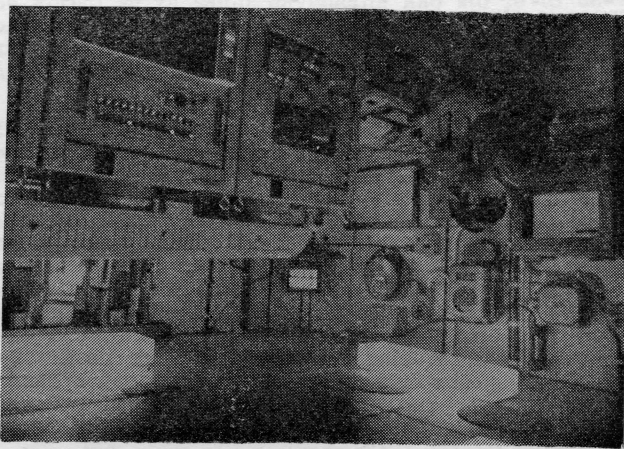
Širom svijeta danas se koristi više stotina različitih generacija satelitskih navigacijskih sistema, od onih integriranih za specifične potrebe istraživačkih radova, do onih posve jednostavnih, kao što je spomenuti sistem MX 902 B, koji u potpunosti zadovoljava potrebe različitih trgovačkih brodova.

Satelitska navigacija se danas veoma uspješno i efikasno koristi za:

- geofizičko-seizmička istraživanja,
- oceanografska i hidrografska istraživanja,
- vojne navigacijske sisteme,
- podmorsko rudarstvo,
- održavanje pomorskih plovnih puteva,
- istraživanja u ribarstvu,
- tankere, kontejnerske brodove i ostale tipove trgovačkih brodova,
- polaganje kablova,
- postavljanje plutača i markera itd.

Prema svim iznesenim karakteristikama satelitskog navigacijskog sistema, može se očekivati još šira primjena satelitske navigacije za brodove svih tipova, odnosno namjena, a revolucionarni razvoj tehnologije elektroničkih elemenata i novih idejnih rješenja, uz golema ulaganja na polju moderne elektronike za svemirska istraživanja i satelitske telekomu-

nikacije, svakako će još više povećati efikasnost i znatno smanjiti cijenu koštanja ove opreme. Time će satelitska navigacija još više približiti svoje prednosti pomorskim privredama i istraživačkim institucijama u pomorstvu širom svijeta. Korištenjem modernih digitalnih seizmičkih uređaja za istraživanja Jadrana, te super modernom navigacijom pomoću satelitskih podataka, »offshore« istraživački brod »Junak«, danas je jedan od najmodernije opremljenih istraživačkih brodova.



Slika 5.

Laboratorij satelitske navigacije na brodu »Junak«, pravi je elektronički računski centar (snimak 5. srpanj 1976.)

Satelitski navigacijski sistem TRANSIT, premda je početno bio razvijen da zadovolji američke Ratne mornarice, sve širom komercijalnom primjenom na svim morima svijeta, postao je još jedan dokaz mi-

roljubivog korištenja naučno-tehničkih dostignuća na polju moderne elektronike u pomorstvu, a time i snažan primjer korisne upotrebe svemirskog prostora.

Literatura:

- Coast Guard USA,
The Loran-C & Loran-D System of Radionavigation,
Transpo 1972.
- Dunlap, G. D., Shufeldt, H. H.,
Duttons Navigation and Piloting,
Twelfth Edition, Naval Institute Press,
Annapolis, Maryland 1972.
- Euler, W., Charting a Rich Market:
Satellite Navigation, Chilton Publication, June 1973.
- Hewlett-Packard, Differential Loran-C in Integrated
Marine Navigation System, June 1974.
- Magnavox R. L., Gophysical Navigation System Operators
Manual, March 1975.
- Magnavox R. L., Operation and Service gor MX 702/hp
Satellite Navigation System, Technical Manual,
June 1973.
- Magnavox R. L., Magnavox MX-902B Marine Satellite
Navigation System, 1975.
- Magnavox R. L., Integrated Precise Navigation System, 1972.
- Magnavox R. L., Magnavox Model 200 Integrated Navigation
System, 1976.
- Raimondo, Nat., A Description of the Magnavox Integration
of Satellite Navigation with Loran-C, Magnavox 1974.
- Stansell, T. A., Transit, the Navy Navigation Satellite System,
Journal of the Institute of Navigation, Vol. 18, No. 1,
1971.
- Stansell, T. A., The Navo Navigation Satellite System:
Description and Status, Journal of The Institute of
Navigation, Vol. 15, No. 3, Fall 1968.