

TELEKOMUNIKACIONI SISTEMI U PREDLOGU RJEŠENJA ZA E-NAVIGACIJU NE-SOLAS PLOVILA

Enis Kočan¹, Milutin Radonjić¹, Igor Stanovčić², Božo Krstajić¹,

¹Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, {enisk, mico, bozok}@ucg.ac.me

²Univerzitet Crne Gore, Pomorski fakultet Kotor, igors@ucg.ac.me

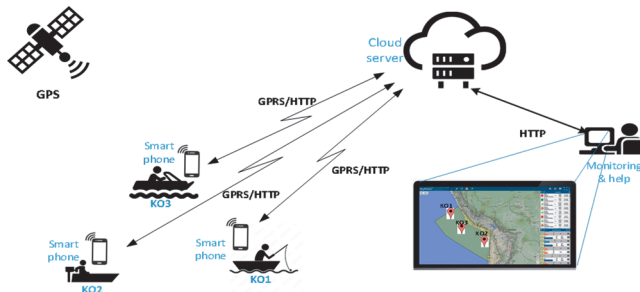
Rezime: U radu se razmatraju telekomunikacioni sistemi neophodni za funkcionisanje predloženog rješenja za e-navigaciju plovila koja ne podliježu SOLAS (Safety of Life at Sea) konvenciji (ne-SOLAS plovila). Predloženo rješenje je zasnovano na razvoju cloud platforme i aplikacije za pametne telefone, koji imaju mogućnost GNSS (Global Navigation Satellite System) pozicioniranja i slanja tih podataka putem javnih mobilnih komunikacionih mreža na server. Funkcionalnost ovog e-navigacionog sistema, kao i njegova preciznost i pouzdanost, dominantno zavisi od dostupnosti telekomunikacionih sistema i kvaliteta njihovih servisa. Razmotrena su aktuelna rješenja, mogućnosti i izazovi vezani za pozicioniranje Android zasnovanih uređaja, kao i servisni zahtjevi vezani za slanje prikupljenih GNSS podataka na server i dobijanje neophodnih povratnih podataka, sa osvrtom na teritorijalne vode Crne Gore. Takođe je dat pregled aktuelnih istraživanja i mogućih budućih pravaca za unapređenje oblasti pokrivanja javnih mobilnih komunikacionih mreža za primjenu u pomorstvu.

Ključne reči: e-navigacija, ne-solas plovila, GNSS, javne mobilne komunikacione mreže

1. Uvod

Radi povećanja bezbjednosti plovidbe, SOLAS (Safety of Life at Sea) konvencija propisuje set obavezne navigacione i komunikacione opreme za određene tipove plovila, u koja ne spadaju teretna plovila manja od 500 tona bruto, brodovi koji se ne pokreću mehaničkim porivom, rekreativne jahte koje nisu uposlene u privredne svrhe, ribarski brodovi, drveni i primitivno građeni brodovi [1]. Ovi tipovi plovila, koja ne podliježu SOLAS konvenciji se obično označavaju kao ne-SOLAS plovila (non-SOLAS). Pojedine države nacionalnom legislativom definišu obavezu korišćenja pojedinih segmenata navigacione i komunikacione opreme, u zavisnosti od veličine plovila (obično u rasponu od 7,5 m do 24 m) ili oblasti u kojoj se plovi (između 3 i 6 nautičkih milja od obale; 1 NM=1,852 km). Zbog sve većeg obima pomorskog saobraćaja, naročito u priobalnom području, jedan mogući pristup povećanju bezbjednosti je korišćenje pametnih telefona, odnosno IoT (Internet of Things) uređaja, koji imaju mogućnost GNSS (Global Navigation Satellite System) pozicioniranja i slanja tih podataka putem

satelitskih ili zemaljskih komunikacionih mreža. Upravo na ovom principu je zasnovan predloženi sistem e-navigacije za ne-SOLAS plovila [2]. Ovaj sistem podrazumijeva razvoj korisničke aplikacije (ENAV) za Android zasnovane uređaje, koja periodično šalje podatke koristeći HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) protokol putem javnih mobilnih celularnih sistema (2G/3G/4G/5G) o identitetu, poziciji plovila, brzini, kursu i preciznosti na serversku platformu. Kao što se vidi iz opisa funkcionisanja ovog dijela sistema e-navigacije ne-SOLAS plovila, jasno je da njegova efikasnost zavisi od preciznosti GNSS pozicioniranja Android (namjenskog) uređaja, a njegova funkcionalnost od mogućnosti slanja podataka putem 2G/3G/4G/5G mreža. Aplikacija razvijena na serverskoj strani prikuplja podatke od svih uređaja koji su pokrenuli korisničku aplikaciju e-navigacije (ENAV), obrađuje ih i vizualizuje na georeferenciranoj mapi, i šalje nazad korisničkoj aplikaciji podatke koji omogućavaju prikaz sopstvenog plovila i pozicija plovila u radijusu od interesa. Pri tome, radijus od interesa, kao i perioda sa kojom se šalju podaci, zavise od brzine kretanja ne-SOLAS plovila. I ovaj dio funkcionisanja razvijenog sistema e-navigacije u potpunosti zavisi od mogućnosti komunikacije sa uređajem koji je pokrenuo ENAV aplikaciju, pri čemu se podrazumijeva mogućnost da uređaj primi podatke putem javnih mobilnih komunikacionih mreža. Prikaz koncepta predloženog rješenja za e-navigaciju ne-SOALS plovila je prikazan na slici 1.



Slika 1. Prikaz koncepta predloženog rješenja e-navigacije ne-SOLAS plovila [2]

Upravo zbog značaja komunikacionih sistema za predloženi sistem navigacije ne-SOLAS plovila, u ovom radu je dat osvrt na mogućnosti i izazove u pozicioniranju Android zasnovanih uređaja. Takođe, razmotreni su izazovi u ostvarivanju komunikacije između razvijene korisničke aplikacije i serverske aplikacije, kao i neka aktuelna rješenja koja bi omogućila veću oblast pokrivanja u zoni plovidbe i/ili bolji kvalitet signala na postojećim oblastima pokrivanja javnih mobilnih komunikacionih sistema.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, u sekciji 2 je dat osvrt na aktuelna rješenja i izazove u georeferenciranju Android uređaja. Sekcija 3 daje širi pregled korišćenja javnih mobilnih komunikacionih sistema u pomorstvu, sa posebnim osvrtom na servisne zahtjeve razvijene aplikacije za e-navigaciju ne-SOLAS plovila i poznate rezultate o oblasti pokrivanja koje ostvaruju operatori mobilne telefonije u Crnoj Gori. Sekcija 4 daje zaključna razmatranja.

2. Georeferenciranje Android uređaja

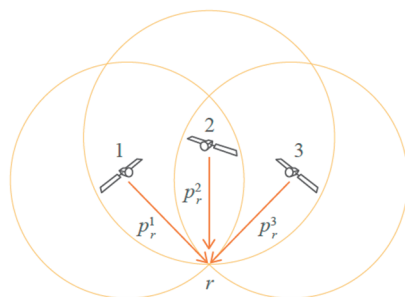
Savremeni Android zasnovani pametni telefoni i tableti, zbog svojih procesorskih mogućnosti i memorije kojom raspolazu, predstavljaju zapravo prenosive

personalne računare, koji su, pored ostalih komunikacionih mogućnosti, opremljeni i prijemnicima signala za sisteme globalne satelitske navigacije (GNSS), u koje trenutno spadaju 4 satelitska sistema na srednjim orbitama od oko 20000 km iznad Zemlje, a to su američki GPS (*Global Position System*) sistem, evropski Galileo, ruski GLONASS (*GLOBALNAYA NAVIGACIONNAYA SPUTNIKOVAYA SISTEMA*) i kineski BeiDou satelitski sistem. Ova mogućnost pozicioniranja Android uređaja daje osnovu za razvoj čitavog niza različitih servisa i aplikacija, među kojima je i navigacija. Kada se pozicija korisnika, odnosno plovila, prikaže na elektronskoj karti koja je u zvaničnoj upotrebi u pomorstvu, a koja se može instalirati na Android uređaju, onda taj uređaj postaje navigacioni uređaj. Pored mogućnosti trenutnog pozicioniranja, koristeći GNSS signale, moguće je i pratiti rutu kretanja nekog plovila.

Postoji više različitih aplikacija razvijenih za pametne telefone koje se koriste za navigaciju na ne-SOLAS plovilima, kao što su iSailor, Navionics i sl., ali predloženo rješenje u [2] je, prema do sada raspoloživoj literaturi i podacima, jedino koje daje mogućnost predikcije kolizija između plovila, odnosno oglašavanja alarma u slučajevima kada se javi mogućnost takve situacije. Za proračun eventualne pojave kolizije među plovilima od krucijalne je važnosti preciznost i pouzdanost podataka o lokaciji plovila.

GNSS prijemnik je danas podrazumijevani dio svakog Android i iOS zasnovanog pametnog telefona, pri čemu današnji pametni telefoni imaju mogućnost korišćenja više satelitskih sistema istovremeno, dok su ranije koristili samo jedan satelitski sistem za pozicioniranje (npr. Samsung Galaxy Y, koji se pojavio 2011. godine je koristio samo GPS sistem za pozicioniranje) [3]. Kako rezolucija Svjetske pomorske organizacija (IMO – *International Maritime Organization*) iz 2000. godine propisuje da kombinovanje GPS i GLONAS prijemnika zadovoljava potrebe navigacije za brodove čija maksimalna brzina ne prelazi 70 čvorova (1 čvor = 1 NM/h), što odgovara brzinama kojim se kreću ne-SOLAS plovila, to se današnji pametni telefoni, koji kombinuju i do četiri GNSS satelitske sistema za pozicioniranje, mogu komotno koristiti za potrebe navigacije ne-SOLAS plovila.

Pozicija pametnog telefona se procjenjuje korišćenjem mjerenja udaljenosti (pseudoraspona) između prijemne antene pametnog telefona i položaja najmanje četiri satelita. Da bi se odredilo geometrijsko rastojanje (pseudoraspon), svi GNSS signali su modulirani specifičnim, nekoliko milisekundi dugim, presudo-slučajnim (PRN – *Pseudo Random Noise*) kodom, koji jedinstveno identifikuje satelit. Prijemnik kontinualno upoređuje i usklađuje lokalnu kopiju PRN koda sa primljenim satelitskim signalom. Izmjereno kašnjenje primljenog PRN koda je jednako vremenu prenosa signala, pod uslovom da su taktovi (satovi) predajnika i prijemnika savršeno sinhronizovani. PRN kod uključuje i bite navigacionih podataka koji sadrže poziciju satelita koji emituje. Poznavajući poziciju jednog satelita, pozicija prijemnika leži negdje na sferi oko satelita s radijusom jednakim dometu signala. Ako su dostupna mjerenja dometa signala do tri satelita, tri sfere se sijeku u dvije tačke. Pošto se jedna tačka ne nalazi blizu Zemljine površine, druga tačka predstavlja pravi položaj prijemnika (pametnog telefona). Drugim riječima, simultano mjerenje dometa do tri satelita omogućava određivanje fiksne trodimenzionalne pozicije, kao što je prikazano na slici 2. Zbog uticaja nesinhronizacija takta (sata) prijemnika i predajnika, tri sfere se ne sijeku u zajedničkoj tački. Da bi se riješio ovaj problem, koji se smatra četvrtom nepoznatom u problemu pozicioniranja, potrebna su najmanje četiri vidljiva GNSS satelita [4].



Slika 2. Određivanje pozicije komunikacijom sa tri satelita, u slučaju idealne vremenske sinhronizacije taktova

Geolociranje zasnovano na satelitskim sistemima inherentno sa sobom nosi nekoliko izazova koji mogu izazvati greške u procjeni pozicije, među kojima se najveće greške mogu pojaviti zbog kašnjenja u jonosferi i troposferi, kao i zbog jonosferske scintilacije. Osim toga, uobičajeni izazovi koji takođe mogu povećati greške u pozicioniranju su termički šum, nekompenzirano odstupanje takta između satelita i prijemnika, *multipath* efekat, veliko slabljenje signala koje zavisi od vremenskih uslova itd. [4]. U slučaju GNSS zasnovane pomorske navigacije, prednost je postojanje linka bez prepreka između prijemnika i satelita, što povećava kvalitet primljenog signala i preciznost pozicioniranja. Rješenja za gore navedene probleme u satelitskoj geolokaciji su podijeljena u dvije kategorije: tehnike za obradu signala u realnom vremenu i tehnike naknadne obrade (post-procesiranje) signala. Tehnike obrade signala u realnom vremenu su neophodne za pozicioniranje velike preciznosti (greška pozicioniranja manja od 5 cm), što predstavlja značajan izazov u smislu potrebnih računarskih resursa i procesorske snage [4]. Ovaj nivo preciznosti nije potreban za navigaciju u pomorstvu, pa se zato koriste samo tehnike naknadne obrade signala, tamo gdje postoji potreba.

Svi Android uređaji koji koriste Android 7.0, ili novije verzije ovog operativnog sistema, pružaju mogućnost pristupa kompletnim neobrađenim (sirovim) GNSS podacima, što otvara mogućnost naknadnog procesiranja ovih podataka u cilju preciznijeg određivanja pozicije, brzine i vremena (PVT – *Position, Velocity, Time*). Po prvi put, programeri aplikacija su mogli pristupiti rezultatima mjerenja mobilnih operatora i dekodiranim navigacionim porukama sa Android zasnovanih uređaja za masovno tržište. Kroz API - `Android.location`, pruža se direktan pristup i neobrađenim GNSS mjerenjima i PVT rezultatima. Uprkos ovim prednostima i mogućnostima, korišćenje GNSS neobrađenih mjerenja nije bilo tako jednostavno kao što se na prvi pogled činilo. Godinu dana nakon što je Google objavio ovu mogućnost, samo je nekoliko aplikacija za pametne telefone koristilo Android GNSS neobrađena mjerenja. Dva su glavna razloga koja objašnjavaju ovo ograničeno prihvatanje u početnoj fazi. Prvo, stručnjacima za GNSS je u najvećem broju slučajeva bila potrebna pomoć u razumijevanju specifičnosti neobrađenih mjerenja na Androidu. Na primjer, standardni formati, kao što su RINEX ili NMEA, nijesu dostupni na Android platformi. Drugo, Java programeri koji su dobro upoznati sa Android okruženjem, obično ne razumiju detalje GNSS pozicioniranja. Kako bi iskoristila ovaj značajan iskorak vezan za dostupnost neobrađenih podataka na Android platformi i prevazišla početne poteškoće u njihovoj primjeni, Evropska GNSS agencija (GSA) je u junu 2017. godine osnovala Radnu grupu

za GNSS neobrađena mjerenja, s namjerom da podijeli znanje i ekspertizu o Android neobrađenim mjerenjima i njihovoj primjeni [5]. Neka od područja primjene koja mogu imati koristi od ove povećane preciznosti, su proširena stvarnost, oglašavanje zasnovano na lokaciji, servisi vezani za bezbjednost, mobilno zdravlje i pametni gradovi. Neobrađena mjerenja takođe omogućavaju optimizaciju multi-GNSS rješenja i odabir satelita na osnovu njihovih performansi.

Još jedno tehničko rješenje koje omogućava implementaciju tehnika postprocesiranja za poboljšanje performansi pozicioniranja na osnovu korišćenja pametnog telefona je implementacija dvofrekventnog multi-konstelacionog GNSS prijemnika. Ovo rješenje se primjenjuje od 2018. godine, kada je predstavljen prvi pametni telefon sa opisanom funkcijom (Xiaomi Mi8) [4]. Kao što je ranije objašnjeno, potrebno je najmanje 4 satelita za određivanje pozicije nekog korisničkog uređaja. Da bi se ostvarilo pouzdano pozicioniranje, posebno u prisustvu većeg nivoa šuma i/ili prepreka koje onemogućavaju direktnu liniju vidljivosti prema satelitu, potrebno je ostvariti komunikaciju sa 8 do 10 satelita. U slučaju ograničene vidljivosti neba, što je uobičajeno u urbanim područjima, to se može postići samo korišćenjem multi-konstelacionog GNSS rješenja. U uslovima otvorenog neba, kada se iz jedne konstelacije (npr. samo GPS sateliti) može ostvariti komunikacija sa 8-10 satelita, dalje povećanje njihovog broja neće dovesti do veće preciznosti. To je uglavnom zbog povećanja nivoa šuma i *multipath* efekta. Korišćenje satelita iz različitih GNSS konstelacija povećava tačnost i mogućnost određivanja pozicije nekog uređaja. ESA je dala kvantifikovane podatke [4] o tome kako kombinacija satelita iz različitih konstelacija utiče na nivo pouzdanosti određivanja lokacije i na dostupnost, odnosno mogućnost povezivanja na različite kombinacije satelitskih sistema (Tabela 1).

Tabela 1. Uticaj višestrukih konstelacija na pouzdanost georeferenciranja i dostupnost

Satelitska konstelacija	Nivo pouzdanosti za horizontalno pozicioniranje u metrima		Dostupnost
	68%	95%	
GPS	13,36	25,51	97,79%
GPS + Galileo	13,36	23,78	98,04%
GPS + Galileo + GLO	11,24	21,57	98,30%
GPS + Gal. + GLO + BEI	11,17	21,44	98,30%

Dizajn pametnih telefona je fokusiran na uštedu energije, što utiče na izbor hardverskih i softverskih komponenti. U tom cilju, radi smanjenja procesa obrade GNSS podataka, vrlo često se koriste dodatni podaci koji pomažu u određivanju pozicije uređaja, kao što su podaci koji se dobijaju od javnih mobilnih komunikacionih mreža, bežičnih lokalnih mreža (WLAN – *Wireless Local Area Network*) i različitih senzora koji postoje na pametnim telefonima. Tako, na primjer, identifikator ćelije (Cell ID) koji se dobija od javne mobilne celularne mreže može poslužiti za početno određivanje pozicije uređaja u relativno kratkom vremenu, čak i u uslovima postojanja prepreka na linku prema satelitu, dok se signali koje šalje bazna stanica mogu iskoristiti i za poboljšanje tačnosti referentne frekvencije, kalibracijom lokalnog oscilatora pametnog telefona. Google-ov provajder sjedinjene lokacije [Android.gsm.position](#) koristi GNSS, mrežnu lokaciju, akcelerometar, žiroskop, barometar i magnetometar za određivanje položaja [4].

Ovo može biti od posebnog značaja za brzo ažuriranje promjene položaja i pri manjim pokretima korisnika.

Različiti istraživački timovi ispitivali su GNSS pozicioniranje pomoću mobilnih uređaja i upoređivali performanse različitih proizvoda pametnih telefona, kao i njihove performanse u smislu preciznosti i tačnosti, s drugim uobičajenim GNSS prijemnicima [6]-[8]. U [6] je pokazano da čak i stariji pametni telefoni, koji su se pojavili na tržištu 2011. i 2012. godine, mogu zadovoljiti sve politike za pozicioniranje, navigaciju i vrijeme koje je definisala Federalna vlada SAD-a u Federalnom navigacionom planu iz 2017. godine, osim one najrestriktivnije za unutrašnji plovni put, koji pretpostavlja preciznost lokacije reda 2-5m, izraženu preko dvostruke srednje kvadratne vrijednosti ($2 \text{ DRMS} - 2 \text{ times the distance of root mean square}$). Pametni telefoni koji su danas u upotrebi nude tačnost određivanja pozicije reda 3-5m [8]. Međutim, tačnost koja se može postići pri određivanju pozicije uređaja zavisi i od implementiranog GNSS čipa, tipa i položaja antene, unutrašnjeg šuma i kvaliteta prijemnika, dok neki tipovi pametnih telefona generišu nekonzistentnu pseudo-udaljenost, fazu nosioca i Doplerov pomjeraj, pa im je potreban dodatni softver da bi se postigla konzistentnost [8].

Kroz više sprovedenih eksperimentalnih testiranja u akvatorijumu Bokokotorskog i Budvanskog zaliva, upoređena je tačnost određivanja pozicije različitih Android zasnovanih pametnih telefona. Pokazalo se da pametni telefoni novijih generacija (npr. Samsung Galaxy S22, tablet Samsung Galaxy tab A9+) ostvaruju deklarisanu preciznost pozicioniranja 3-5m, u slučajevima kada su bili dobri vremenski uslovi (bez oblačnosti ili padavina). Međutim, u slučajevima lošijih vremenskih uslova, kada je prisutna niska oblačnost ili padavine, kao i kod starijih modela pametnih telefona (npr. Samsung Galaxy S21 FE), preciznost pozicioniranja u najvećem dijelu eksperimentalnog testiranja je iznosila između 5m i 11m. Slika 3 daje prikaz poređenja preciznosti određivanja pozicije sa ENAV aplikacije na pametnim telefonima Samsung Galaxy S22 (u sredini) i Samsung Galaxy S21 FE (telefon desno), dok je na telefonu koji se nalazi na lijevoj strani pokrenut prikaz koji daje razvijena serverska aplikacija za e-navigaciju ne-SOLAS plovila. Iako je veća preciznost geolociranja bitna za razvijenu aplikaciju e-navigacije, potpuno su prihvatljivi i rezultati pozicioniranja koji se ostvaruju na Galaxy S22 modelu pametnog telefona.



Slika 3. Prikaz poređenja preciznosti GNSS pozicioniranja na različitim uređajima

3. Primjena javnih mobilnih komunikacionih mreža u pomorstvu

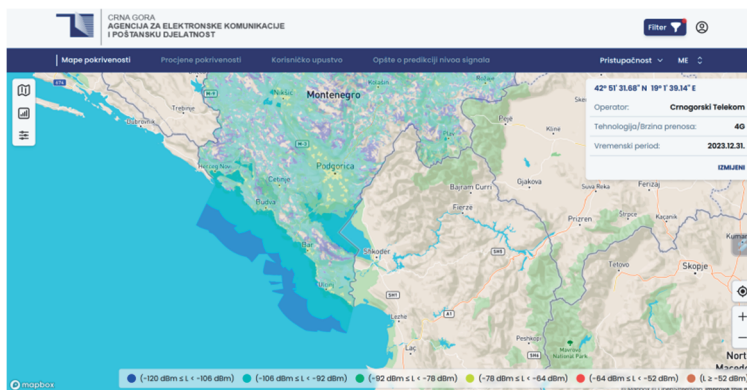
Za javne mobilne komunikacione mreže se može reći da su potpuno izmijenile način svakodnevnog ljudskog života i poslovanja, jer su za gotovo sve naseljene oblasti omogućile uspostavljanje komunikacije sa bilo kim i bilo kada, što je jedan od primarnih

ciljeva telekomunikacija. Pored toga, one danas predstavljaju dominantno rješenje za pristup Internetu za mobilne korisnike. Sa pojavom NB-IoT (*Narrowband IoT*) tehnologije u okviru 4G mreža, a posebno sa razvojem i implementacijom 5G mreža, ovi sistemi dobijaju na značaju kao platforma za razvoj različitih IoT servisa, odnosno Industrije 4.0. Zbog ograničene oblasti pokrivanja plovnih puteva, u pomorstvu se uglavnom koriste za rješenja u okviru pametnih luka, za komunikaciju pri uplovljavanju i isplavljanju brodova u luke, kao i za neka IoT rješenja u priobalnom području. Zbog pristupačnih cijena pristupa Internetu i jednostavnosti kreiranje različitih IoT rješenja oslonjenih na javne mobilne komunikacione mreže, pojedini istraživački projekti su se bavili rješenjima za povećanje dometa ovih komunikacionih sistema, radi primjene u pomorstvu [10]-[13]. Autori su u radu [10] predložili rješenje za povećanje dometa LTE mreže, sa ciljem pružanja visokih brzina prenosa podataka od 10 Mb/s u pomorskoj oblasti Južne Koreje do 100 km od obale, što je ostvareno korišćenjem baznih stanica na većim nadmorskim visinama uz obalu mora. U radu [11] autori su dali pregled aktuelnih projekata za pomorske komunikacije i predložili primjenu nove pomorske mobilne mreže (Magicnet), čija je arhitektura zasnovana na morskim plutajućim tornjevima, koji djeluju kao bazne stanice za ostvarivanje široke pokrivenosti na moru. Primjena hibridnih satelitsko-zemaljskih komunikacionih mreža za različita IoT rješenja u pomorstvu je razmatrana u [12]. Autori su u [13] dali sveobuhvatno istraživanje o primjenama pomorskih IoT tehnologija, takođe poznatih kao Internet brodova (*Internet-of-Ships - IoS*). Za predloženo rješenje e-navigacije ne-SOALS plovila, od interesa je pokrivanje signalom javnih mobilnih komunikacionih mreža priobalnog područja, gdje je najveća gustina saobraćaja ovog tipa plovila.

Ako se razmotre servisni zahtjevi predloženog rješenja e-navigacije za ne-SOLAS plovila, sama komunikacija između serverske i korisničke strane aplikacije zahtijeva veoma male brzine prenosa podataka, jer se radi o periodičnom slanju (sa najmanjom periodom od 5s) male količine podataka (reda nekoliko desetina bajta), koji sadrže informacije o identitetu, poziciji (*latitude and longitude*), brzini i pravcu kretanja plovila [2]. Najveći saobraćaj se ostvaruje između korisničke ENAV aplikacije i servera sa kojeg se preuzimaju elektronske karte, u ovom slučaju to je prema Mapbox serveru. U zavisnosti od odabranog prikaza, odnosno oblasti od interesa, potrebna brzina prenosa podataka može varirati. Na Internetu se može naći podatak da je moguće preuzeti i koristiti *offline* Mapbox elektronske karte za određene oblasti, ili čitave države, za šta je potrebno preuzeti 6000 segmenata (*tiles*) veličine oko 130 Mb. Zato ćemo smatrati da je za nesmetano funkcionisanje ENAV korisničke aplikacije potrebno ostvariti brzinu reda nekoliko Mb/s, pa ćemo se fokusirati na oblast pokrivanja 4G signalom priobalnog područja Crne Gore.

Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore (EKIP) sprovodi procjenu pokrivenosti signalom mobilnih mreža koristeći metodu predikcije polja na osnovu slabljenja signala iz najnovije verzije Preporuke ITU-R P.1812, koja se fokusira na "*A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 6 GHz*" [9]. U tu svrhu, EKIP primjenjuje profesionalni softver HTZ Communications. Kao osnova za predikciju korišćena je digitalna mapa terena Crne Gore sa rezolucijom 50x50 m, uz odgovarajuće tehničke karakteristike primijenjenih baznih stanica sva tri operatora javnih mobilnih komunikacionih sistema u Crnoj Gori. Osim izbora operatora, alat za predikciju nivoa polja omogućava i izbor primijenjene tehnologije (2G/3G/4G/5G), kao i prikaz

vremenskog perioda za koji je važila data procjena (Slika 4). Procjene nivoa polja se obavljaju kvartalno. Takođe, moguće je za bilo koju tačku na mapi Crne Gore dobiti podatke o procijenjenom nivou prijemnog polja za svakog operatora javnih mobilnih komunikacionih mreža, kao i za proizvoljno izabranu tehnologiju. Ono što je od značaja za razvijeni servis e-navigacije ne-SOLAS plovila, je to što je moguće dobiti podatke i za estimirani nivo polja u oblasti teritorijalnih voda.



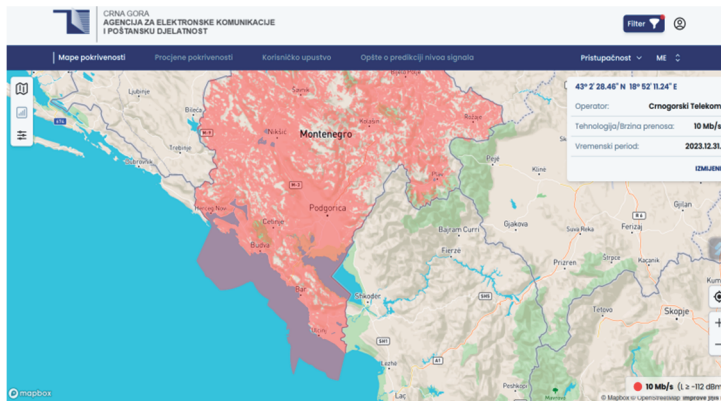
Slika 4. Pokrivenost 4G signalom Crnogorskog Telekom

Sa slike 4 se može napraviti procjena oblasti pokrivanja 4G signalom u okviru teritorijalnih voda Crne Gore. Pokazuje se da se oblast pokrivanja 4G signalom proteže između 7 i 11 NM od obale. Posebno treba istaći da su oblasti sa najvećom gustinom saobraćaja ne-SOLAS plovila, kao što su Bokokotorski i Budvanski zaliv, zatim priobalje Bara i Ulcinja, u potpunosti pokriveno 4G signalom sva tri operatora javnih mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori.

Dostupni alat EKIP-a za predikciju nivoa pokrivanja signalom mobilne telefonije na teritoriji Crne Gore, omogućava i prikaz oblasti za koje je, na osnovu nivoa signala na prijemu, jasno da mogu obezbijediti brzine prenosa veće ili jednake od 10Mb/s, nezavisno od primijenjene tehnologije (Slika 5). Sa slike 5 se vidi da je širina ove oblasti na primorju nešto manja nego što je širina oblasti pokrivanja 4G signalom, i iznosi oko 5-8 NM, ali svakako pokriva sve plovidbene zone od interesa za ne-SOLAS plovila.

4. Zaključak

Pametni telefoni, opremljeni različitim komunikacionim sistemima, uz mogućnost GNSS pozicioniranja, predstavljaju idealnu platformu za razvoj različitih IoT servisa. Koristeći navedene karakteristike savremenih pametnih telefona, predložena je IoT platforma za e-navigaciju ne-SOLAS plovila. Platforma se potpuno oslanja i zavisi od funkcionalnosti komunikacionih sistema, i to satelitskih komunikacionih sistema za GNSS pozicioniranje i javnih mobilnih komunikacionih sistema za prenos podataka između razvijene korisničke Android aplikacije (ENAV) i serverske aplikacije za prikupljanje, obradu i vizualizaciju podataka o pozicijama plovila koji su aktivirali ENAV aplikaciju, kao i za slanje povratnih informacija od servera prema korisničkoj aplikaciji.



Slika 5. *Oblasti u okviru kojih je obezbijeđen servis prenosa podataka brzinom od najmanje 10 Mb/s za korisnike Crnogorskog Telekoma*

U radu je dat prikaz načina georeferenciranja Android zasnovanih uređaja, metoda unapređenja preciznosti i pouzdanosti kroz pristup neobrađenim podacima mjerenja i prikazani su rezultati poređenja preciznosti određivanja lokacije za 2 različita modela pametnih telefona. Potvrđeno je da pametni telefoni novijih generacija ostvaruju preciznost geolociranja reda 3-5 m, i to u dobrim vremenskim uslovima, dok u slučaju nešto lošijih vremenskih uslova, ili kada se za geolociranje koriste pametni telefoni starijih generacija, preciznost lokacije je reda 5-11m. Svi dobijeni rezultati zadovoljavaju potrebe razvijenog servisa e-navigacije za ne-SOLAS plovila.

Takođe su razmatrane servisne potrebe za korišćenje ENAV aplikacije. Korišćenjem mapa koje je predstavila Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore (EKIP), pokazano je da je oblast širine 7-11NM pokrivena signalom 4G mreža, a da su oblasti sa intenzivnim saobraćajem ne-SOLAS plovila u potpunosti pokrivena 4G signalima svih mobilnih operatera, čime su ostvareni komunikacioni preduslovi za nesmetano funkcionisanje servisa e-navigacije za ne-SOLAS plovila.

Zahvalnica

Ovo istraživanje je podržano od strane projekta „E-navigacija za ne-SOLAS plovila“, koji je finansirao Fond za inovacije Crne Gore, ugovor br. 644-4/23.

Literatura

- [1] SOLAS, Consolidated Edition, IMO, 2020.
- [2] I. Stanović, M. Radonjić, E. Kočan, B. Škrbić and B. Krstajić, "An Approach to the Collision Detection of Non-SOLAS Vessels Using the Concept of e-Navigation," 2024 28th International Conference on Information Technology (IT), Zabljak, Montenegro, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/IT61232.2024.10475730.
- [3] C. Specht, P.S. Dabrowski, J. Pawelski, M. Specht, T.Szot "Comparative analysis of positioning accuracy of GNSS receivers of Samsung Galaxy smartphones in marine dynamic measurements" COSPAR. Published by Elsevier Ltd, 2018.
- [4] Whitepaper on Using GNSS RAW Measurements on Android Devices, European GNSS Agency, 2017.

- [5] <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/galileo/services>
- [6] P. Dabove, V. Di Petra and M. Piras, “GNSS Positioning Using Mobile Devices with the Android Operating System”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020; 9(4):220. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040220>
- [7] F. Zangenehjad, Y. Jiang and Y. Gao, GNSS Observation Generation from Smartphone Android Location API: Performance of Existing Apps, Issues and Improvement, *Sensors*. 2023; 23(2):777. <https://doi.org/10.3390/s23020777>
- [8] A. Chow, D. Orendorff, M. Fu, M. Khider, S. Dane, V. Gulati. (2023). Google Smartphone Decimeter Challenge 2023. Kaggle <https://kaggle.com/competitions/smartphone-decimeter-2023>
- [9] https://www.pokrivenost.ekip.me/?period_id=4&generation_id=1&network_id=2
- [10] S.W. Jo and W. S.Shim, “LTE-maritime: High-speed maritime wireless communication based on LTE technology,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 53172–53181, 2019.
- [11] S. Guan, J. Wang, et al, “MagicNet: The maritime giant cellular network,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 3, pp. 117–123, 2021.
- [12] T. Wei, W. Feng, Y. Chen, C.-X. Wang, N. Ge, and J. Lu, “Hybrid satellite-terrestrial communication networks for the maritime internet of things: key technologies, opportunities, and challenges,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 11, pp. 8910–8934, 2021.
- [13] S. Aslam, M. P. Michaelides, and H. Herodotou, “Internet of ships: A survey on architectures, emerging applications, and challenges,” *IEEE Internet of Things journal*, vol. 7, no. 10, pp. 9714–9727, 2020.

Abstract: *The paper considers the telecommunication systems necessary for operation of the proposed solution for e-navigation of vessels that are not subject to the SOLAS (Safety of Life at Sea) convention (non-SOLAS vessels). The proposed solution is based on the development of a cloud platform and an application for smartphones, that have the ability of GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning and sending that data via public mobile communication networks to the server. The functionality of this e-navigation system, as well as its accuracy and reliability, mainly depends on the availability of telecommunication systems and the quality of their services. Current solutions, opportunities and challenges related to the positioning of Android-based devices, as well as service requirements related to sending the collected GNSS data to the server and obtaining the necessary return data, with reference to the territorial waters of Montenegro, were considered. An overview of current research and possible future directions for improving the coverage area of public mobile communication networks for maritime applications is also given.*

Keywords: *e-navigation, non-SOLAS vessels, GNSS, public mobile communication networks*

TELECOMMUNICATION SYSTEMS IN PROPOSED SOLUTION FOR E-NAVIGATION OF NON-SOLAS VESSELS

Enis Kočan, Milutin Radonjić, Igor Stanovčić, Božo Krstajić