

# Prikaz pozicija zrakoplova dobivenih sustavom ADS-B

---

**Mabić, Zvonimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:168:542146>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1487

**PRIKAZ POZICIJA ZRAKOPLOVA DOBIVENIH SUSTAVOM  
ADS-B**

Zvonimir Mabić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1487

**PRIKAZ POZICIJA ZRAKOPLOVA DOBIVENIH SUSTAVOM  
ADS-B**

Zvonimir Mabić

Zagreb, lipanj 2024.

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 1487

Pristupnik: **Zvonimir Mabić (0036541627)**  
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo  
Modul: Računarstvo  
Mentor: doc. dr. sc. Josip Vuković

Zadatak: **Prikaz pozicija zrakoplova dobivenih sustavom ADS-B**

### Opis zadatka:

Sustav ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) omogućava praćenja zrakoplova u stvarnom vremenu pomoću informacija koje zrakoplov autonomno šalje, doprinoseći poboljšanju sigurnosti zračnog prometa. Poruke sustava ADS-B sadrže informacije o oznaci zrakoplova, njegovoj visini, geografskim koordinatama, brzini i smjeru. Signale sustava ADS-B moguće je, osim pomoću specijaliziranih prijamnika, primiti i pomoću jednostavnih programski upravljivih radijskih prijamnika (Software Defined Radio, SDR). U ovom radu potrebno je opisati način funkcioniranja sustava ADS-B i osnovne značajke programski upravljivog radijskog prijamnika RTL-SDR V3. SDR prijemnik treba se konfigurirati kako bi primao signale sustava ADS-B. Potrebno je razviti programsko rješenje koje će temeljem primljenih poruka prikazivati pozicije zrakoplova na karti. U programskom rješenju potrebno je zrakoplove prikazati i na polarnom grafu gledajući s lokacije prijamnika. Prikazi trebaju sadržavati oznake zrakoplova i osnovne navigacijske podatke te se osvježavati u skladu s novoprimljenim porukama. Zabilježene pozicije s detaljima zrakoplova i vremenskim oznakama trebaju se lokalno pohranjivati.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.

*Zahvaljujem se doc. dr. sc. Josipu Vukoviću na pruženoj pomoći i strpljenju pri izradi  
rada.*

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2. Zrakoplovna komunikacija</b>	<b>3</b>
2.1. Začeci zrakoplovne komunikacije	3
2.2. ADS-B	6
2.3. Struktura ADS-B poruke	7
<b>3. Računanje relativne pozicije zrakoplova u odnosu na promatrača na tlu</b>	<b>9</b>
<b>4. Dosadašnja rješenja</b>	<b>13</b>
<b>5. Korištene tehnologije i alati</b>	<b>16</b>
<b>6. Aplikacija</b>	<b>20</b>
6.1. Struktura aplikacije	20
6.2. Korisničko sučelje i rezultati aplikacije	22
<b>7. Zaključak</b>	<b>29</b>
<b>Literatura</b>	<b>30</b>
<b>Sažetak</b>	<b>32</b>
<b>Abstract</b>	<b>33</b>

# 1. Uvod

ADS-B sustav je tehnologija koja omogućuje praćenje zrakoplova u stvarnom vremenu putem automatiziranog slanja informacija o njihovom položaju i statusu. Ove informacije uključuju geografsku širinu, dužinu, nadmorsku visinu te druge relevantne podatke poput brzine i kuta nagiba. Primjena ove tehnologije značajno doprinosi sigurnosti zračnog prometa omogućujući detaljno praćenje kretanja zrakoplova za kontrolne stanice na zemlji i druge zrakoplove u okolini. Sve više zrakoplova diljem svijeta prelazi na ADS-B, koji je postao standard u modernom zračnom prometu. Osim što pridonosi sigurnosti, ADS-B podržava efikasnije upravljanje zračnim prostorom i olakšava praćenje letova u svrhu upravljanja operacijama leta i praćenja prometnih tokova.

## **2. Zrakoplovna komunikacija**

Zrakoplovna komunikacija bitna je komponenta zrakoplovne industrije koja osigurava sigurnost putnika i članova posade zrakoplova. Zrakoplovna komunikacija uključuje razmjenu informacija između pilota, kontrolora zračnog prometa, zemaljskog osoblja i drugog osoblja uključenog u rad zrakoplova. Učinkovita komunikacija ključna je za izbjegavanje nesreća i nezgoda uzrokovanih nesporazumima ili pogrešnim tumačenjima.

### **2.1. Začeci zrakoplovne komunikacije**

Prvi oblik radija koji se koristio za komunikaciju sa zrakoplovom pojavio se već 1911., samo nekoliko godina nakon prvog leta braće Wright. U to vrijeme radio je bio relativno nov izum, pa je upotreba u zrakoplovima bila uglavnom eksperimentalna i nije ozbiljno napredovala do 1930-ih. Prije toga, komunikacija se svodila na jednostavne svjetlosne i vizualne signale, zastavice i sl. Komunikacija prema zemaljskim stanicama odvijala se preko pisanih ceduljica koje bi zrakoplov ispuštao prema zemaljskim stanicama. Komunikacija s drugim zrakoplovima nije bila potrebna jer obično nije bilo drugih zrakoplova u blizini.

Potreba za boljom komunikacijom tijekom Prvog svjetskog rata ubrzala je razvoj radija, jer su vojne snage trebale pouzdane načine za prijenos informacija. Nakon rata, komercijalne i civilne primjene radija, poput emitiranja vijesti, sportskih događanja i glazbe, značajno su porasle.

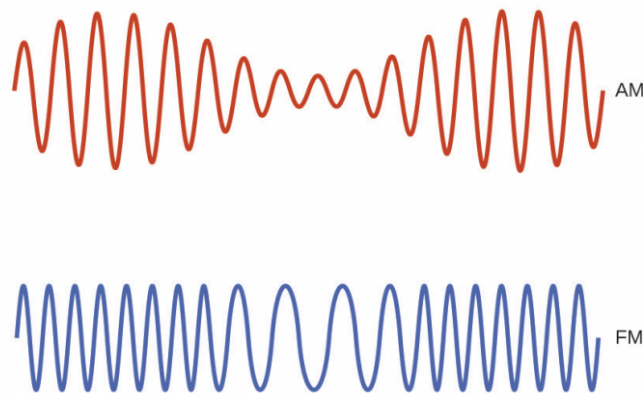
Nakon Prvog svjetskog rata, došlo je do značajnih napredaka u performansama i dometu radija koji su se koristili za komunikaciju sa zrakoplovima. Tako je već 1930. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva (ICAO) donijela odredbu da svi zrakoplovi koji prevoze 10 ili više putnika trebaju imati opremu za bežičnu komunikaciju sa



zemaljskim postajama [1]. Razvoj radija nije bio samo tehničke prirode, već je za komunikaciju bila potrebna i cijela infrastruktura zemaljskih stanica koje su mogle primati i odašiljati poruke.

Poruke su uglavnom bile kodirane Morseovom abecedom, bile su podložne smetnjama i nisu imale značajan domet. U tom razdoblju se uglavnom koristio AM način modulacije signala, koji informaciju preslikava na signal nosioc tako da modulira amplitudu.

FM (Frequency Modulation) se prvi put pojavio 1928. godine i označio je značajan napredak u prijenosu informacija zbog svoje izdržljivosti na pozadinski šum. FM modulacija kodira informaciju na signal nosioc tako da modulira njegovu frekvenciju. Ovaj način modulacije pruža bolju kvalitetu signala i smanjuje smetnje koje su česte kod AM modulacije. Sposobnost FM radija da prenosi jasnije signale na veće udaljenosti s manje smetnji čini ga idealnom za kritične komunikacijske sustave, kao što su oni u zrakoplovstvu.



**Slika 2.1.** Razlika između AM i FM načina modulacije [2]

U SAD-u, Zakon o zračnoj trgovini [3] iz 1926. godine ovlastio je Ministarstvo trgovine da regulira i unaprijedi zrakoplovstvo uspostavljanjem zračnih putova i potrebne infrastrukture. Osiguralo je financiranje i ovlasti Uredu za standarde da pronade odgovarajući navigacijski sustav, što je na kraju dovelo do sustava LFR (Low Frequency Radio Range). Ovaj sustav omogućio je glasovnu komunikaciju u zrakoplovstvu, čime su piloti u stvarnom vremenu mogli dobiti informacije o nevremenu i drugim nepredvidivim okolnostima na njihovoj ruti. Time su se značajno poboljšale mogućnosti letenja noću i u uvjetima slabe vidljivosti.

Godine 1929. američki poručnik James H. Doolittle izveo je prvi "slijepi" let [4], koristeći isključivo instrumente, bez oslanjanja na vanjsku vidljivost. Dokazao je da je instrumentalno letenje izvedivo, koristeći žiroskopske instrumente poput indikatora položaja i žirokompasa za održavanje pravca i visine. Osim toga, Doolittle je upotrijebio posebno dizajnirani usmjereni radio sustav za navigaciju do i od zračne luke. Njegova eksperimentalna oprema bila je specijalno izrađena za te demonstracijske letove, no da bi instrumentalno letenje postalo široko primjenjivo, tehnologija je trebala biti pouzdana.



**Slika 2.2.** James H. Doolittle i prvi "slijepi" let [4]

Drugi svjetski rat potaknuo je korištenje radara za praćenje zrakoplova. Radar je pružao mogućnost praćenja udaljenosti, smjera i brzine zrakoplova.

Zrakoplovni radio bio je znatno složeniji za proizvodnju u usporedbi s potrošačkim modelima. Vakuumske cijevi i druge komponente korištene u tadašnjim radijima morale su biti manje, učinkovitije s baterijskom strujom te sposobne izdržati stalne vibracije, ekstremne temperature i brze promjene tlaka. Tijekom 30-ih i 40-ih godina, proizvođači su postupno smanjivali veličinu cijevi kako bi stvorili manje, prijenosnije prijemnike namijenjene zrakoplovnoj i potrošačkoj uporabi.

Otkrićem tranzistora 1947. godine, zrakoplovna komunikacija doživjela je značajne promjene. Tranzistori su omogućili razvoj manjih, lakših i pouzdanijih radio uređaja, čime je komunikacija u zrakoplovstvu postala efikasnija. Uvođenjem VHF (Very High

Frequency) radija pedesetih godina, komunikacija je postala jasnija i s manje smetnji nego kod prethodnih LFR sustava. Šezdesetih godina, uvođenjem satelitske komunikacije, omogućeno je praćenje i komunikacija sa zrakoplovima na velikim, čak i preoceanskim, udaljenostima.

U sljedećim desetljećima, digitalna tehnologija je unaprijedila zrakoplovnu komunikaciju kroz uvođenje sustava kao što je ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) koji omogućuje automatsko slanje poruka između zrakoplova i zemaljskih stanica. Devedesetih godina razvijen je Mode S transponder, koji omogućava prijenos dodatnih podataka kao što su identitet i visina zrakoplova.

Razvoj globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS) omogućio je preciznije praćenje zrakoplova u realnom vremenu. Na prijelazu u 21. stoljeće, uvođenjem ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) tehnologije, omogućena je još točnija i pouzdanija razmjena podataka o položaju, brzini i smjeru zrakoplova između zrakoplova i kontrola letenja. ADS-B koristi satelitsku navigaciju za praćenje pozicije i periodično šalje te informacije zemaljskim stanicama i drugim zrakoplovima u blizini, što poboljšava sigurnost i učinkovitost zračnog prometa.

## **2.2. ADS-B**

ADS-B je tehnologija praćenja informacija o zrakoplovu koja se oslanja na GPS signale i samostalno emitira informacije o položaju, brzini, visini i drugim parametrima leta putem radio valova. ADS-B omogućava zrakoplovima da međusobno razmjenjuju podatke, pružajući cjelovitu situacijsku svijest pilotima i kontrolorima leta. Koristi se za poboljšanje sigurnosti leta, upravljanje putanjama leta itd. ADS-B također pomaže u identifikaciji i praćenju zrakoplova koji se nalaze izvan dosega radarskih sustava, poput udaljenih područja i oceana. Ova tehnologija se sve više koristi u modernoj zrakoplovnoj industriji, budući da se sve više zrakoplova oprema ADS-B sustavima radi usklađivanja s novim standardima i regulativama.

ADS-B je sačinjen od dvije funkcije: ADS-B In i ADS-B Out. ADS-B Out je sustav kojim zrakoplovi periodično emitiraju informacije o svojoj poziciji, letu i drugim poda-

cima propisanim u ADS-B protokolu, koristeći specijalni ADS-B odašiljač. Na taj način omogućuje se prijenos podataka o zrakoplovu u stvarnom vremenu. ADS-B In je prijamnik koji prima, obrađuje i interpretira primljene ADS-B poruke, pružajući operaterima kontrola leta i drugim korisnicima relevantne informacije za daljnje akcije, kao što su optimizacija putanje leta, prilagodba visine i sl.

ADS-B signal kreira se korištenjem podataka iz GPS sustava i ostalih navigacijskih senzora u zrakoplovu koji prikupljaju informacije o poziciji, brzini, smjeru i visini zrakoplova. Nakon što se prikupe, podaci se zajedno sa identifikacijskom oznakom zrakoplova kodiraju u standardizirani format i šalju putem ADS-B Out odašiljača. Odašiljanje podataka odvija se preko radijskog signala na frekvenciji od 1090 MHz, što omogućava kontinuiranu emisiju informacija o zrakoplovu.

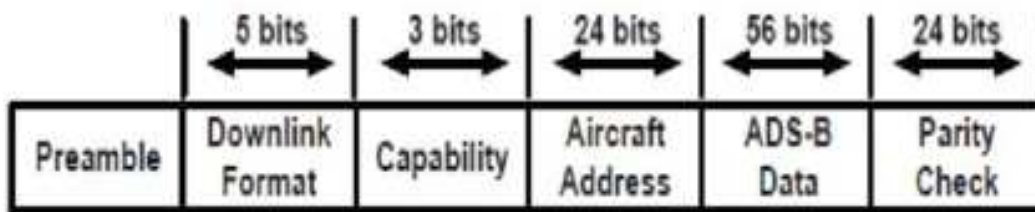
Na tlu, ADS-B In prijemnici, koji su smješteni na kontrolnim tornjevima, zemaljskim stanicama i drugim zrakoplovima, primaju te signale. Prijemnici dekodiraju primljene podatke i prosljeđuju ih sustavima za kontrolu zračnog prometa. Ti podaci zatim omogućuju kontrolorima zračnog prometa praćenje i upravljanje zračnim prometom u stvarnom vremenu.

Piloti u zrakoplovima opremljenim ADS-B In sustavom također mogu primiti podatke drugih zrakoplova u njihovoj blizini, što im omogućava bolju situacijsku svjesnost. Ovaj proces povećava sigurnost letenja i poboljšava efikasnost upravljanja zračnim prometom. Cijeli sustav radi automatski, što smanjuje potrebu za ljudskom intervencijom i smanjuje rizik ljudske pogreške.

### **2.3. Struktura ADS-B poruke**

Svaki ADS-B okvir zapisan je pomoću preambule i 112 bitova podataka koji se sastoje od 5 glavnih dijelova [5]. Struktura ADS-B poruke opisana je slikom 2.3.

Preambula je prvo polje ADS-B poruke, i to je fiksni slijed bitova koji omogućuje primatelju da identificira ADS-B poruku i da se sinkronizira sa pošiljateljem.



**Slika 2.3.** Struktura jednog ADS-B okvira [6]

*DF* (Downlink Format) određuje format i vrstu poruke koja se prenosi, zapisano u 5 bitova. Standardna ADS-B poruka civilnog zrakoplova ima *DF* vrijednost 17.

*Capability* je trobitni zapis koji sadrži predefimirani kod sposobnosti transpondera. Najčešće korištena vrijednost ovoga polja je *010* što predstavlja podržanost Mode S upita i slanja ADS-B podataka. To znači da se zrakoplov može pratiti pomoću tradicionalnog radarskog sustava (Mode S) i pomoću modernog ADS-B sustava.

Iduće polje je *ICAO* adresa zrakoplova zapisana pomoću 24 bita. Prikazuje se u obliku heksadekadskog broja, i predstavlja jedinstveni identifikator svakog zrakoplova dodijeljen od strane nacionalnih regulatornih tijela ili proizvođača zrakoplova. Standarde djele *ICAO* adresa postavlja Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO).

Nakon *ICAO* adrese slijedi niz od 56 bitova u kojima su zapisani podaci o zrakoplovu (*DATA*). Prvih 5 bitova toga niza predstavljaju (*Type Code*) polje. *Type Code* određuje vrstu informacija koje se prenose u ADS-B poruci. Različite vrijednosti ovog polja određuju različite interpretacije ostatka *Payload* dijela ADS-B poruke. To znači da je jedan od prvih koraka dekodiranja ADS-B poruke čitanje ovog polja, pa tek se tek na osnovu te vrijednosti nastavlja sa čitanjem ostalih polja *DATA* dijela ADS-B poruke.

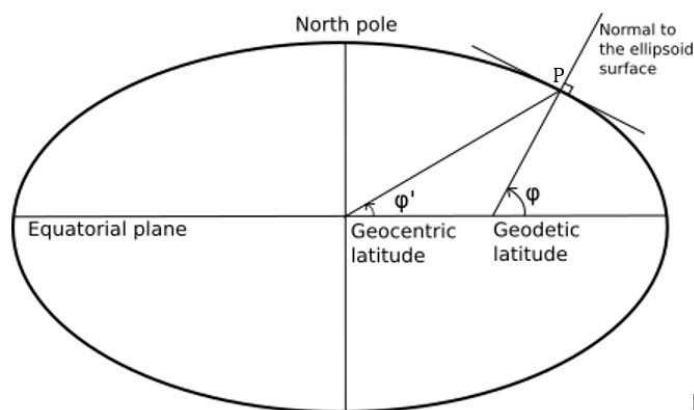
Ostatak *DATA* dijela čine informacije o zrakoplovu. Redoslijed i prisutnost pojedinih informacija određeni su sa *Type Code*, a te informacije su obično zemljopisna širina i dužina, nadmorska visina, brzina, kategorija zrakoplova, informacije o hitnom stanju zrakoplova, naziv leta i sl.

Zadnji dio ADS-B poruke je paritetna provjera sadržana u 24 bita koja služi za otkrivanje grešaka u prijenosu. Ovaj dio je bitan jer je radio prijenos podložan smetnjama i šumovima. Za ispravljanje grešaka koriste se metode ARQ (Automatic Repeat Request) i FEC (Forward Error Correction).

### 3. Računanje relativne pozicije zrakoplova u odnosu na promatrača na tlu

ADS-B sustav prenosi veliki broj informacija o poziciji zrakoplova. Neke on njih su: geografska širina i dužina, nadmorska visina, horizontalna i vertikalna brzina, orijentacija zrakoplova.

Postoje dvije vrste geografske širine: geocentrična i geodetska. Geocentrična zemljopisna širina je kut između ekvatorske ravnine i linije koja prolazi od središta Zemlje do određene točke na površini Zemlje, dok je geodetska zemljopisna širina kut između ekvatorske ravnine i normale na točku na površini Zemlje. Razlika je vidljiva na slici 3.1. gdje je radi potrebe isticanja razlike posebno naglašena spljoštenost Zemlje.



**Slika 3.1.** Razlika između geodetske i geocentrične zemljopisne širine [7]

Sustav ADS-B podatke o geografskoj širini i dužini dobiva preko GPS sustava koji koristi geodetsku zemljopisnu širinu. Geodetska zemljopisna širina se koristi u većini primjena, te zajedno sa zemljopisnom dužinom čini dovoljno podataka za prikaz zrakoplova na karti.

Za prikaz zrakoplova na polarnom grafu potrebne su dvije informacije o zrakoplovu: azimut u odnosu na promatrača i kut elevacije u odnosu na promatrača. Obje vrijednosti se računaju na temelju lokacije promatrača i zrakoplova, te nisu (i ne mogu biti) sadržane unutar ADS-B poruke.

Jedan pristup računanju tih vrijednosti je da se lokacija opisana zemljopisnom širinom, dužinom i nadmorskom visinom pretvori u kartezijeve koordinate (x, y, z). U kartezijevim koordinatama računanje kuta elevacije, azimuta i udaljenosti zrakoplova i promatrača postaje vrlo jednostavno za implementaciju.

Problem kod pretvaranja predstavlja spljoštenost Zemlje na polovima. Naime, udaljenost polova od središta Zemlje je 6356 km, dok je udaljenost ekvatora do središta zemlje 6378 km. To znači da se Zemlja ne može jednostavno modelirati kao kugla, već se mora modelirati kao sferoid. To je ujedno i razlog zašto geocentrična i geodetska zemljopisna širina nisu istovjetne. Pretvaranje geodetske u geocentričnu širinu radi se prema standardu WGS 84 (World Geodetic System) [8]. Ako geodetsku zemljopisnu širinu označimo sa  $\phi$ , onda formula za računanje geocentrične zemljopisne širine ( $\phi'$ ) ima oblik:

$$\phi'(\phi) = \arctan(\tan \phi \cdot (1 - e^2)) \quad (3.1)$$

gdje je  $e$  mjera spljoštenosti Zemlje, odnosno razlike između njezinog ekvatorskog i polarnog radijusa. Ako je  $a$  ekvatorski radijus Zemlje, a  $b$  polarni radijus Zemlje, onda se  $e$  računa prema formuli:

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad (3.2)$$

Zbog spljoštenosti Zemlje, radijus se može zapisati kao funkcija geodetske zemljopisne širine ( $\phi$ ). Prema WGS 84 standardu formula za radijus Zemlje je:

$$R(\phi) = \sqrt{\frac{a^2 \cdot \cos^2(\phi) + b^2 \cdot \sin^2(\phi)}{(a \cdot \cos(\phi))^2 + (b \cdot \sin(\phi))^2}} \quad (3.3)$$

Sada se pomoću geocentrične zemljopisne širine ( $\phi'$ ), radijusa Zemlje u određenoj točki ( $R(\phi)$ ) i zemljopisne dužine ( $\lambda$ ) mogu izračunati  $x$ ,  $y$  i  $z$  na površini Zemlje. Za točku koja se nalazi na početnom meridijanu na ekvatoru os  $x$  je usmjerena prema gore, odnosno od površine Zemlje, os  $y$  je usmjerena prema istoku, a os  $z$  je usmjerena prema sjeveru.

$$\begin{cases} x = R(\phi) \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos(\phi') \\ y = R(\phi) \cdot \sin(\lambda) \cdot \cos(\phi') \\ z = R(\phi) \cdot \sin(\phi') \end{cases} \quad (3.4)$$

Za prikaz zrakoplova (ili bilo čega što nije na Zemljinoj površini) potrebno je uračunati i visinu  $h$ , a to se radi preko formule:

$$\begin{cases} x = R(\phi) \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos(\phi') + h \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\lambda) \\ y = R(\phi) \cdot \sin(\lambda) \cdot \cos(\phi') + h \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\lambda) \\ z = R(\phi) \cdot \sin(\phi') + h \cdot \sin(\phi) \end{cases} \quad (3.5)$$

Sada se sve spremno za računanje udaljenosti od promatrača, azimuta i kuta elevacije u odnosu na promatrača. Udaljenost zrakoplova od promatrača se svodi na trivijalno računanje euklidske udaljenosti dvije točke u trodimenzionalnom prostoru.

Za računanje azimuta korištena je metoda rotiranja koordinatnog sustava tako da se točka promatrača nalazi na koordinatama  $(0, 0)$ . Ovaj proces se može vizualizirati na način da zamislimo da smo rotirali zemaljsku kuglu da se lokacija promatrača nalazi na početnom meridijanu i na ekvatoru. Centriranjem točke promatrača pomaknula se i točka zrakoplova i sada se može zapisati kao  $(x'_z, y'_z, z'_z)$ . Iz toga se azimut računa formulom:

$$\text{Azimut} = 90^\circ - \arctan 2(z'_z, y'_z) \quad (3.6)$$

Za kut elevacije zrakoplova u odnosu na promatača potrebno je prvo izračunati vektor smjera od točke promatrača do točke zrakoplova, pa zatim taj vektor normalizirati. Neka



je rezultat toga vektor  $(x_s, y_s, z_s)$ . Budući da se visina računa u odnosu na tlo, treba nam i vektor normale u odnosu na površinu koji se računa prema formuli:

$$\begin{cases} x_n = \cos(\phi) \cdot \cos(\lambda) \\ y_n = \cos(\phi) \cdot \sin(\lambda) \\ z_n = \sin(\phi) \end{cases} \quad (3.7)$$

Iz toga se kut elevacije računa formulom:

$$\text{Kut elevacije} = 90^\circ - \arccos(x_s \cdot x_n + y_s \cdot y_n + z_s \cdot z_n) \quad (3.8)$$

## 4. Dosadašnja rješenja

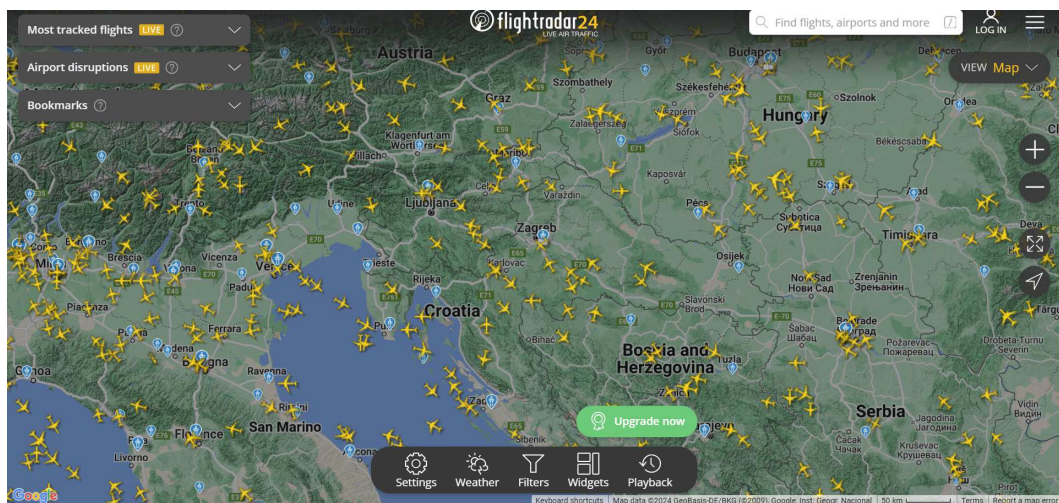
Flightradar24 [9] je jedan od najpopularnijih sustava za praćenje pozicije zrakoplova koji omogućuje praćenje zrakoplova u stvarnom vremenu putem internetskog preglednika ili mobilne aplikacije. Ovaj sustav pruža uvid u zrakoplovni promet na globalnoj razini, pritom pružajući veliku količinu informacija o prikazanim zrakoplovima.

Jedan od ključnih elemenata Flightradar24 je njegova interaktivna karta, koja korisnicima omogućuje vizualno praćenje zrakoplova u stvarnom vremenu. Kao osnovu za svoju kartu koristi OpetStreetMap. Klikom na određeni zrakoplov, moguće je pristupiti detaljnim informacijama o letu. U te informacije spadaju: podaci o zrakoplovu, ruta leta, očekivano vrijeme dolaska i odlaska, popunjenost zrakoplova, identifikator leta, te informacije o zračnoj luci polazišta i odredišta. Za svaki let je označena i vrsta zrakoplova zajedno sa njegovom slikom, a ikona zrakoplova na karti ovisi o veličini i tipu zrakoplova.

Flightradar24 također nudi razne filtere i opcije prikaza, omogućujući korisnicima visoku razinu prilagodbe prikaza. Korisnici mogu filtrirati zrakoplove prema tipu zrakoplova, zračnim linijama, visini ili brzini leta. Napredne opcije pretraživanja, dodatni podaci i pregled bez oglasa dostupni su putem pretplate. Osim toga, Flightradar24 također nudi usluge za tvrtke, kao što su praćenje letova i analitika zrakoplovnog prometa.

Osim prikaza zrakoplova, Flightradar24 pruža korisnicima i informacije o zračnim lukama diljem svijeta. Korisnici mogu pristupiti informacijama o letovima, vremenskim uvjetima, terminalnim karticama, zastoјima i drugim informacijama, dobivajući relativno dobar pregled zračnih luka.

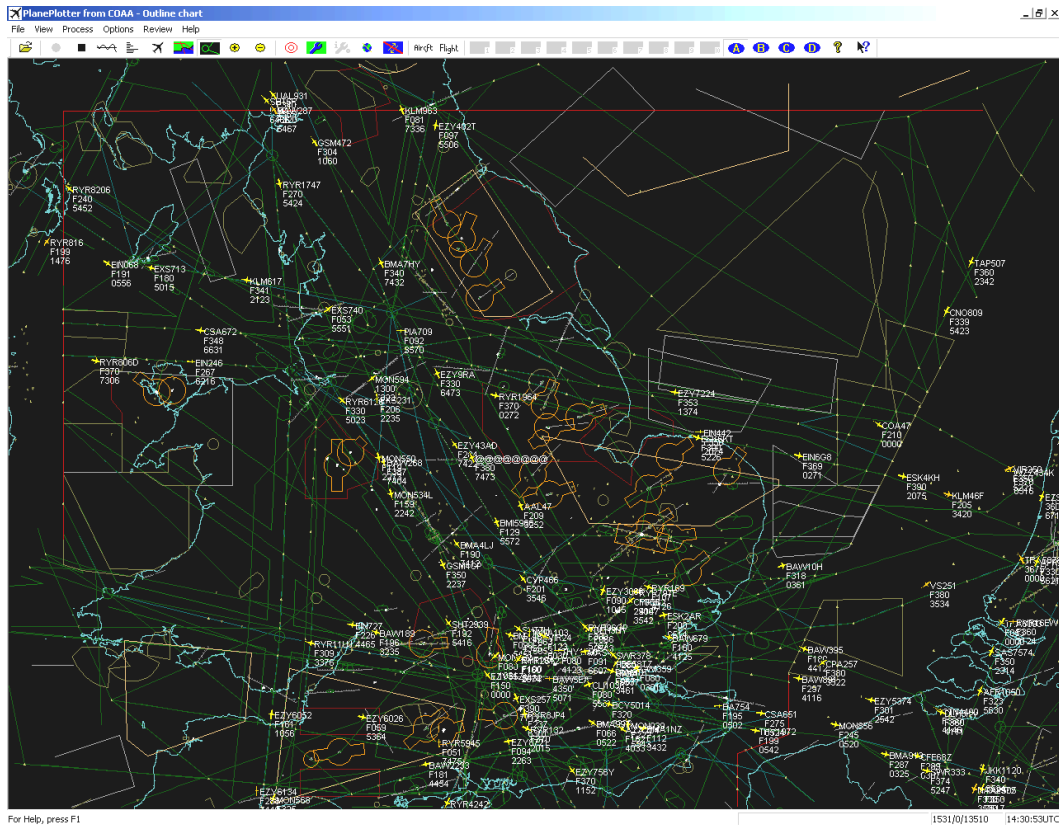
Flightradar24 podatke o zrakoplovnim letovima prikuplja iz više različitih izvora, uključujući ADS-B, MLAT i radarske podatke. Ovi podaci se zatim analiziraju i kombiniraju da bi se stvorila cjelovita slika zračnog prometa u određenom vremenskom trenutku.



**Slika 4.1.** Prikaz zrakoplova pomoću Flightradar24 [9]

Planeplotter [10] je softverski alat dizajniran za praćenje zrakoplova putem ADS-B signala. Omogućuje korisnicima da prate zrakoplovni promet u stvarnom vremenu koristeći informacije dobivene prijammnikom o zrakoplovima koji se nalaze u zraku i na tlu. Time se dobiva detaljan prikaz zrakoplova koji uključuje informacije o letovima, ruti leta, brzini, visini i drugim relevantnim podacima dostupnima kroz korisnički prijammnik.

Za razliku od Flightradar24, Planeplotter prikuplja podatke za prikaz zrakoplova isključivo putem korisničkog prijammnika. Izvori informacije su ADS-B, Mode-S transponderi, ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) i HFDDL (High Frequency Data Link). Ovaj softver se ne temelji na webu, već se umjesto toga instalira izravno na računalo korisnika. Ideja je da korisnici mogu pratiti zrakoplove čije informacije o lokaciji prima njihov osobni prijammnik spojen na računalo. Planeplotter koristi kartografske podatke OpenStreetMap-a ili Google Maps-a za prikaz zračnih luka, ruta leta i položaja zrakoplova. Slično kao i Flightradar24, nudi napredne mogućnosti i punu verziju softvera putem pretplate.



**Slika 4.2.** Prikaz zrakoplova aplikacijom Planeplotter [11]

OpenSky Network [12] je globalna platforma za praćenje zrakoplova koja pruža pristup podacima o zrakoplovima u stvarnom vremenu. Ova mreža koristi otvorenu tehnologiju i suradnju zajednice kako bi omogućila pristup podacima o zrakoplovima diljem svijeta. Podatke o zrakoplovima prikuplja putem globalne mreže ADS-B prijammnika. Ovi prijammnici hvataju signale koje emitiraju zrakoplovi te šalju podatke o njihovoj poziciji, visini, brzini i drugim parametrima. Pristup podacima omogućuje putem API-ja pomoću kojeg korisnici mogu sami implementirati svoje prikaze zrakoplova ili raditi analizu zračnog prometa. Ovo omogućuje istraživačima, programerima i entuzijastima da koriste podatke za različite svrhe. Za razliku od Flightradar24 i Planeplotter-a, OpenSky Network ne naplaćuje korisnicima pristup informacijama, već se oslanja na donacije, sponzorstva i akademske partnere za financiranje svojih aktivnosti.

## 5. Korištene tehnologije i alati

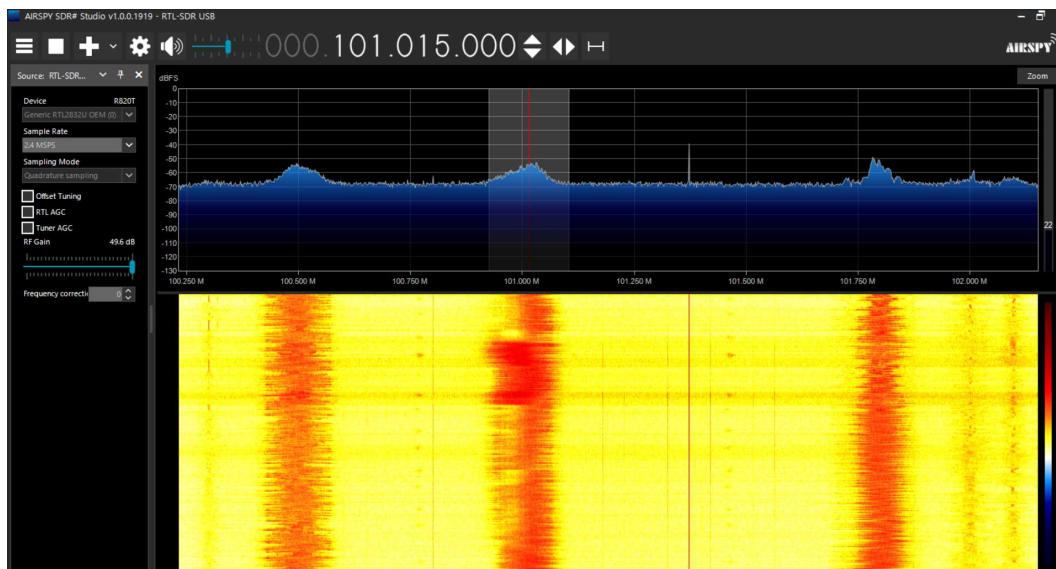
RTL-SDR je programski upravljivi radijski prijamnik koji se na računalo spaja USB-om. Zbog svoje jednostavnosti i niske cijene prikladan je za entuzijaste koji žele primati i snimati radijske signale preko računala u stvarnom vremenu. To uključuje primanje i obradu ADS-B signala, praćenje meteoroloških podataka koje odašilju meteorološki baloni, praćenje pozicije brodova koji odašilju AIS (Automatic Identification System) signale itd. U usporedbi sa komercijalnim prijamnicima čija cijena je nekoliko (desetaka) puta viša, RTL-SDR je pogodan za entuzijaste zbog svoje cijene, ali zbog sigurnosnih razloga se ne bi trebalo koristiti za navigaciju u stvarnom zračnom prometu. Konkretni uređaj korišten u projektu je RTL-SDR V3 [13] u setu sa dipolnom antenom, prikazan slikom 5.1.



**Slika 5.1.** Prijamnik RTL-SDR V3 sa setom antena [13]

SDR (Software Defined Radio) je radio sustav u kojem se komponente radija, koje su inače implementirane hardverski (modulatori, demodulatori, pojačala i sl.), imple-

mentirane softverom. Time se omogućava jednostavnost rada i niska cijena hardvera. U projektu je korišten SDR# [14] zbog svoje kompatibilnosti sa RTL-SDR-om i velike podrške. SDR# je razvila tvrtka Airspy s namjerom da izgradnje pristupačnog SDR rješenja koje je jednostavno za korištenje i koje podržava širok spektar hardvera. Pruža obradu signala u stvarnom vremenu i korisničko sučelje za jednostavno upravljanje postavkama radija i analizu signala. Budući da je napisan u .NET okviru i jeziku C#, SDR# je namijenjen uglavnom za izvođenje na Windows računalima. SDR# također podržava veliki broj dodataka kojima se može proširiti njegova funkcionalnost. Primjeri dodataka su prošireni upravljač frekvencije, frekvencijski skener, mogućnost udaljenog pristupa itd.

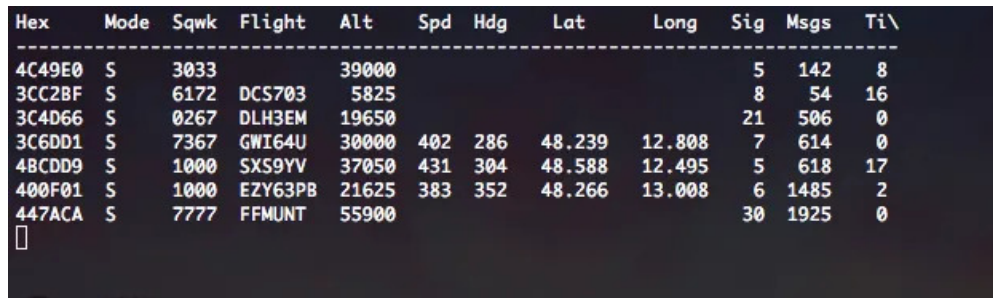


**Slika 5.2.** Sučelje aplikacije SDR#

Prijamnik, antena i SDR# predstavljaju sustav za primanje signala. Ovaj dio sam po sebi nije specifičan za primanje ADS-B signala, već se može koristiti kao općeniti radio i primiti radio signale raznih frekvencija. SDR# ima korisničko sučelje kroz koje se mogu kontrolirati razni elementi radija uključujući frekvenciju, frekvencijski pojas i sl., te se može raditi detaljnija analiza primljenih signala.

dump1090 [15] je softver namijenjen dekodiranju Mode S tipa ADS-B poruka. Razvio ga je Salvatore Sanfilippo (poznat i kao antirez) u svrhu praćenja, dekodiranja i obrade ADS-B signala. Ideja je bila osigurati entuzijastima i profesionalcima pristupačan način za dobivanje ADS-B podataka. Podatke može primiti iz datoteke ili ih može u stvarnom

vremenu primati preko porta 30001. Ti podaci se zatim dekodiraju na način opisan u poglavlju 2.3. i šalju preko porta 30003 u formatu pogodnom za daljnju obradu. dump1090 ima i sučelje na kojem prikazuje podatke o zrakoplovima koje prima i tu listu osvježava u stvarnom vremenu. Sučelje služi samo za prikaz liste trenutno aktivnih zrakoplova i nema dodatne funkcionalnosti, ali se pokazalo iznimno korisnim za ispravljanje pogrešaka i provjeru u razvoju.



Hex	Mode	Sqwk	Flight	Alt	Spd	Hdg	Lat	Long	Sig	Msgs	Ti\
4C49E0	S	3033		39000					5	142	8
3CC2BF	S	6172	DCS703	5825					8	54	16
3C4D66	S	0267	DLH3EM	19650					21	506	0
3C6DD1	S	7367	GW164U	30000	402	286	48.239	12.808	7	614	0
4BCDD9	S	1000	SXS9YV	37050	431	304	48.588	12.495	5	618	17
400F01	S	1000	EZY63PB	21625	383	352	48.266	13.008	6	1485	2
447ACA	S	7777	FFMUNT	55900					30	1925	0

**Slika 5.3.** Sučelje dekodera dump1090

Leaflet.js [16] je JavaScript biblioteka za izradu interaktivnih karata, poznata po svojoj jednostavnosti i lakoći korištenja. Razvijena je s ciljem pružanja fleksibilnog i učinkovitog alata za kreiranje kartografskih aplikacija koje mogu biti integrirane u web stranice. Zbog svoje modularne arhitekture, Leaflet je vrlo podesiv i lako se može prilagoditi potrebama korisnika. Također, optimiziran je za visoku učinkovitost i zauzima samo 42 kb memorije. Upravo zbog svoje jednostavnosti i prilagodljivosti, Leaflet je jako dobar izbor za brz i intuitivan razvoj kartografskih aplikacija u usporedbi s alternativama poput Mapboxa, Google Mapsa i sličnih opcija.



**Slika 5.4.** Prikaz Leaflet.js karte

Node.js [17] je otvorena platforma za razvoj servera namijenjenih web aplikacijama. Kroz Express biblioteku pruža intuitivan način upravljanja HTTP zahtjevima. Temelji se na jeziku JavaScript, koji je široko korišten za izradu web aplikacija zahvaljujući svojoj jednostavnoj sintaksi i fleksibilnosti. Dinamički tipiziran, podržava objektno orijentirano programiranje te koristi just-in-time kompilaciju. Node.js omogućava izvođenje JavaScript koda izvan web preglednika, što proširuje njegovu primjenu izvan tradicionalnih okvira. Node.js je korišten za izradu web servera koji prima podatke od dump1090 na portu 30003, nakon čega ih obrađuje i prikazuje na Leaflet karti i polarnom grafu. Osim toga, podatke za svako snimanje pohranjuje u CSV datoteku.



## 6. Aplikacija

Funkcionalni zahtjevi koje aplikacija za prikaz pozicija zrakoplova dobivenih sustavom ADS-B mora zadovoljiti su:

- Informacije o pozicijama zrakoplova moraju se primiti preko radija na frekvenciji 1090 MHz,
- ADS-B signale potrebno je dekodirati
- Zrakoplovi se moraju moći prikazati na karti,
- Zrakoplovi se moraju moći prikazati na polarnom grafu gdje je vidljiv azimut u odnosu na promatrača i gdje udaljenost od centra predstavlja kut elevacije u odnosu na promatrača,
- Informacije o pozicijama zrakoplova trebaju se periodički spremati.

### 6.1. Struktura aplikacije

Struktura aplikacije može se podijeliti na 3 cjeline:

1. Radio koji se sastoji od antene, prijarnika RTL-SDR V3 i softvera SDR#
2. Dekodera ADS-B poruka dump1090
3. Aplikacija koja prikazuje zrakoplove na osnovu dekodiranih ADS-B poruka

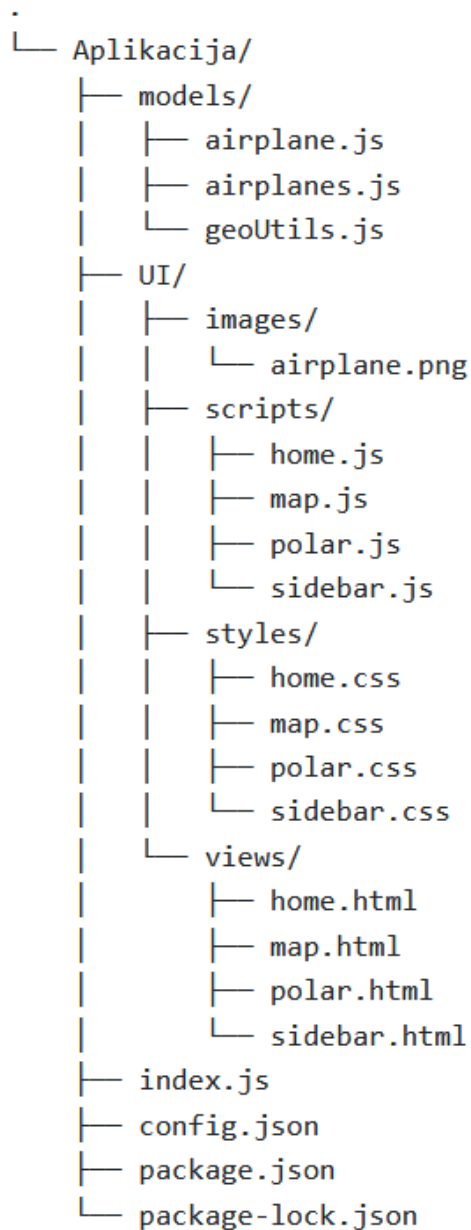
Prvi korak u "hvatanju" ADS-B poruka je postavljanje prijarnika da sluša na frekvenciji 1090 MHz. U poglavlju 5 opisano je da se za izradu aplikacije koristio RTL-SDR V3 prijarnik, dok se za postavljanje frekvencije koristi softverom definirani radio SDR#

koji je preporučeni softver za rad sa RTL-SDR prijamnicima. S cjelovitim radijom ostvaren je funkcionalni zahtjev da se informacije o pozicijama zrakoplova moraju primati i dekodirati preko radija na frekvenciji 1090 MHz.

Idući korak obrade ADS-B poruka je njihovo dekodiranje. Za potrebe aplikacije korišten je dekoder `dump1090` koji osluškuje ADS-B signale na portu 30001 koje šalje SDR#, te dekodirane poruke prosljeđuje na port 30003. Dekodirane poruke su u Mode S obliku, i u jednom retku sadržavaju sve informacije o jednom ADS-B signalu odvojene zarezima. Te informacije uključuju id zrakoplova, id leta, zemljopisnu širinu i dužinu, nadmorsku visinu, tip poruke itd. Taj prikaz sadrži potpunu informaciju o poziciji zrakoplova dovoljnu za prikaz na karti ili polarnom grafu (uz uvjet da je primljen cjeloviti signal). Time je ostvaren zahtjev da se ADS-B signali moraju dekodirati.

Te informacije služe kao ulaz u samu aplikaciju. Aplikacija je oblikovana kao Node.js server koji prima ADS-B poruke, obrađuje ih, i prikazuje ih u web pregledniku u obliku zrakoplova na karti ili točaka na polarnom grafu. Informacije periodički spremaju u novu CSV datoteku za svako snimanje. Aplikacija radi na 127.0.0.1 na portu 3000. Struktura programskog dijela aplikacije prikazana je slikom 6.1.

Server se nalazi u datoteci *index.js*. *airplanes.js*, *airplane.js* i *geoUtils.js* predstavljaju logiku upravljanja zrakoplovima, odnosno poslovnu logiku, i smješteni su u mapu *models*. Korisničko sučelje sa svim svojim datotekama nalazi se u *UI* mapi koja se dalje dijeli na *scripts*, *styles*, *images* i *views*. Mapa *scripts* sadrži Javascript datoteke koje se izvode unutar preglednika i koje su zadužene za učitavanje odgovarajućih dijelova sučelja, primanje podataka sa servera i obradu podataka prije prikaza. *styles* sadrži CSS datoteke u kojima je definiran izgled stranica, dok se u *views* nalaze sve HTML datoteke korisničkog sučelja.



Slika 6.1. Struktura programskog dijela aplikacije [18]

## 6.2. Korisničko sučelje i rezultati aplikacije

Glavni program aplikacije je *index.js* koji poslužuje korisničko sučelje, prikaz zrakoplova na karti i prikaz na polarnom grafu. *index.js* je zadužen i za primanje podataka dobivenih sa dump1090 kroz port 30003, te ih prosljeđuje na daljnju obradu.

Iduća bitna datoteka je *config.json* u koju se zapisuju konfiguracijski podaci. Ti podaci

uključuju zadanu zemljopisnu širinu i dužinu (*observerLatitude* i *observerLongitude*), te nadmorsku visinu (*observerAltitude*) promatrača; kao i vremenski period između dva zapisa istog zrakoplova u CSV datoteku (*recordTime*), vremenski period nakon kojeg zrakoplov smatramo neaktivnim (*maxInactiveTime*), te zadanu mapu spremanja CSV datoteka (*recordsFolder*).

```
{
  "observerLatitude": 45.8007017,
  "observerLongitude": 15.9712165,
  "observerAltitude": 300,
  "maxInactiveTime": 15000,
  "recordTime": 5000,
  "recordsFolder": "./records"
}
```

**Slika 6.2.** Izgled *config.json* datoteke

Prilikom pokretanja, *index.js* stvara instancu klase *AirplaneList* iz datoteke *airplanes.js*, kojoj prosljeđuje sve poruke dobivene sa dump1090. U ovoj klasi se čuvaju podaci dobiveni iz forme korisničkog sučelja: lokacija promatrača i puni put do mape gdje se pohranjuju CSV podaci. Također se pohranjuje i *recordTime* iz *config.json*. Klasa *airplanes.js* je odgovorna za dodavanje novih zrakoplova, upravljanje listom aktivnih zrakoplova, kreiranje CSV datoteke za pohranu podataka snimanja, upravljanje imenima letova aktivnih zrakoplova, te početak/prekid snimanja.

Svaki zrakoplov u listi aktivnih zrakoplova predstavljen je klasom *Airplane* koja se nalazi u *airplane.js*. U toj klasi se pohranjuju informacije o pojedinom zrakoplovu poput lokacije, identifikacijskog broja, naziva leta i sl. Jednom kada je *Airplane* inicializiran, svaka sljedeća ADS-B poruka za taj zrakoplov osvježava podatke u toj instanci. Svako osvježavanje pokreće funkcije za računanje azimuta i kuta elevacije na temelju primljenih podataka, pa se te informacije spremaju. Te funkcije se nalaze unutar datoteke *geoUtils.js*, i one su programska izvedba računanja azimuta i kuta elevacije opisanih u poglavlju 3. Nakon izračuna i spremanja azimuta i kuta elevacije, provjerava se je li prošlo *recordTime* ms (iz *config.json*) od zadnjeg zapisa tog zrakoplova u CSV datoteku. Ako da, onda se zrakoplov sa trenutnim vrijednostima atributa zapisuje kao jedan redak, a varijabla koja označava vremenski trenutak zadnjeg zapisa (*lastRecordTime*) se postav-

lja na vrijednost sadašnjeg trenutka. U slučaju da nije prošlo *recordTime* ms od zadnjeg zapisa, ne radi se ništa.

Prije pokretanja aplikacije potrebno je spojiti RTL-SDR prijamnik i antenu na računalo. Idealno, antena bi trebala biti postavljena na visokoj, otvorenoj lokaciji za optimalno primanje signala. Nakon postavljanja prijamnika, potrebno je pokrenuti *dump1090*. To se može učiniti na nekoliko načina, no najjednostavniji način je pokretanje skripte *dump1090.bat* koja se nalazi u glavnom direktoriju *dump1090* [15].

Kada se aplikacija pokreće prvi put ili nakon dužeg vremena potrebno je instalirati sve potrebne pakete naredbom *npm install* u glavnom direktoriju projekta. Sada je aplikacija spremna za pokretanje, a to se izvodi naredbom *npm start*. Korisničkom sučelju pristupa se sa *http://localhost:3000/home*. U korisničkom sučelju nalazi se forma za upis postavki i pokretanje snimanja. Izgled korisničkog sučelja prikazan je na slici 6.3. Sučelje se sastoji 4 polja: putanja do zapisa, zemljopisna širina, zemljopisna dužina, nadmorska visina.

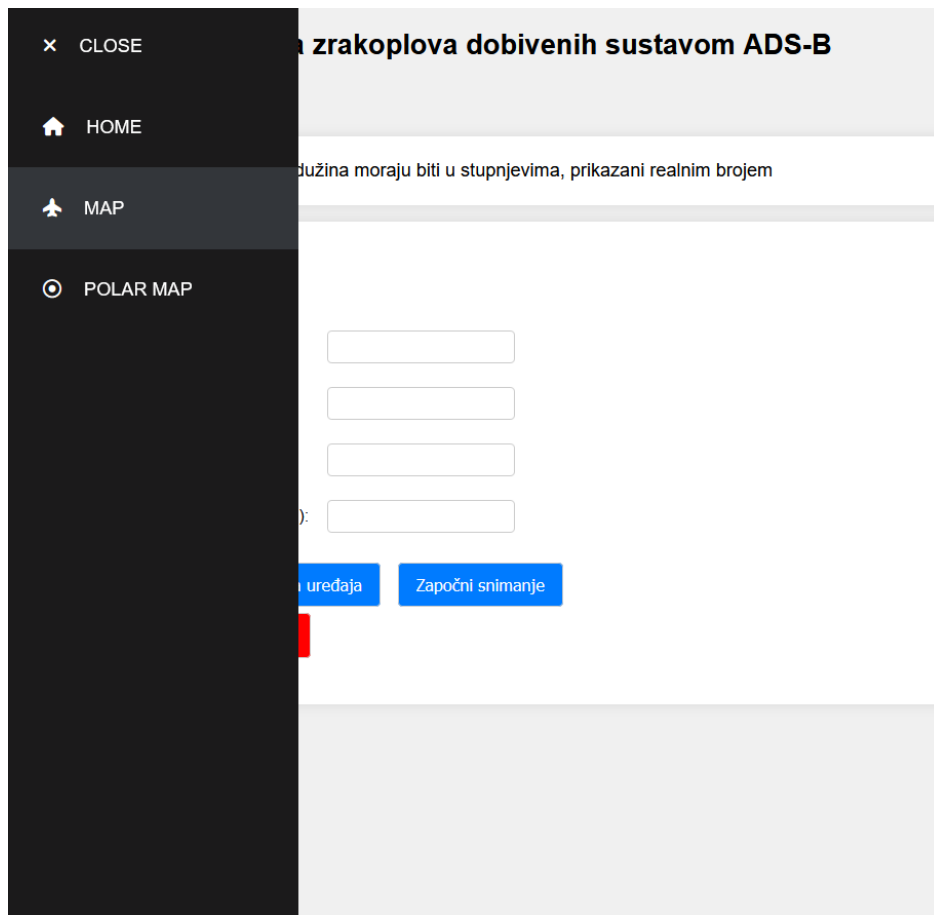
Putanja do zapisa predstavlja ukupni put do mape u koju će se spremati CSV datoteka pokrenutog snimanja. Svaki put kada se pokrene novo snimanje (gumb *Započni snimanje*) stvori se nova datoteka u zadanoj mapi čije ime je oblika *data\_{datum}.csv*.

Kao što je zapisano u napomeni iznad forme, zemljopisna širina i dužina moraju biti u stupnjevima prikazanim realnim brojem. Nadmorska visina je u metrima. Primjer ispravne kombinacije unesenih podataka o geolokaciji bio bi *45.8007017, 15.9712165, 300*. Ovi podaci mogu se automatski popuniti klikom na gumb *Skeniraj lokaciju sa uređaja* čime preglednik uz Javascript biblioteku *navigator.geolocation* dobiva zemljopisnu širinu i dužinu koristeći GPS uređaja. Prije traženja lokacije sa uređaja korisnik mora potvrditi da se sa time slaže. Budući da se nadmorska visina ne može dobiti preko biblioteke *navigator.geolocation* na uređaju, ta se vrijednost popunjava predefiniranom vrijednosti nadmorske visine iz *config.json*.

The screenshot shows a web application interface with a dark sidebar on the left containing a hamburger menu icon. The main content area has a title 'Prikaz pozicija zrakoplova dobivenih sustavom ADS-B'. Below the title is a light gray box with the text 'Zemljopisna širina i dužina moraju biti u stupnjevima, prikazani realnim brojem'. The main form is titled 'Enter Data' and contains four input fields: 'Putanja do zapisa:', 'Zemljopisna širina:', 'Zemljopisna dužina:', and 'Nadmorska visina (m):'. Below the input fields are three buttons: a blue 'Skeniraj lokaciju sa uređaja' button, a blue 'Započni snimanje' button, and a red 'Zaustavi snimanje' button.

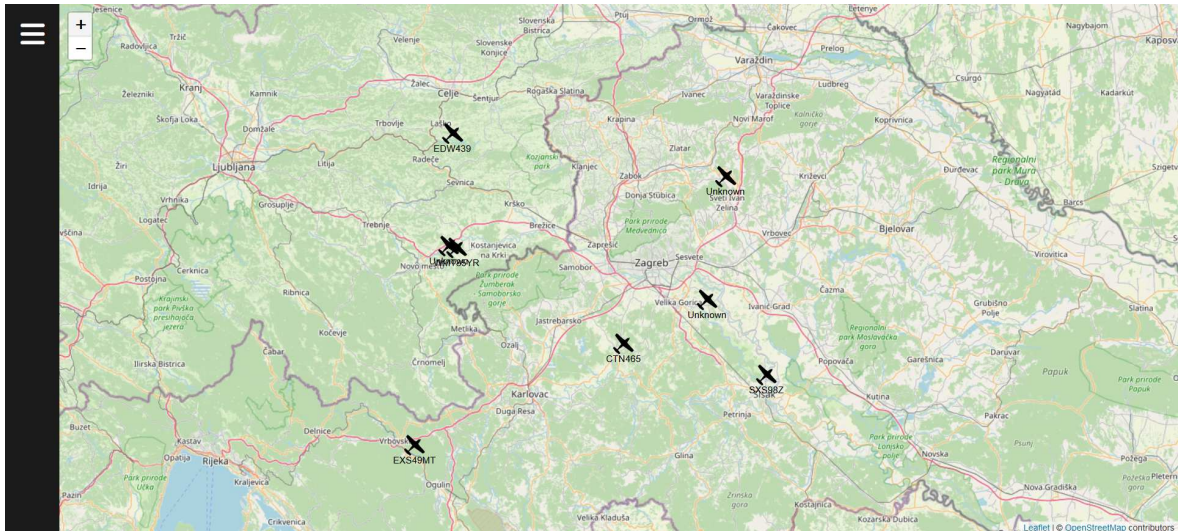
Slika 6.3. Izgled korisničkog sučelja

Klikom na gumb *Započni snimanje* inicijalizira se *AirplaneList*, i omogućuje se prikaz zrakoplova na karti i polarnom grafu. Njima se pristupa kroz bočnu traku odabirom željenog prikaza.



**Slika 6.4.** Navigacija pomoću bočne trake

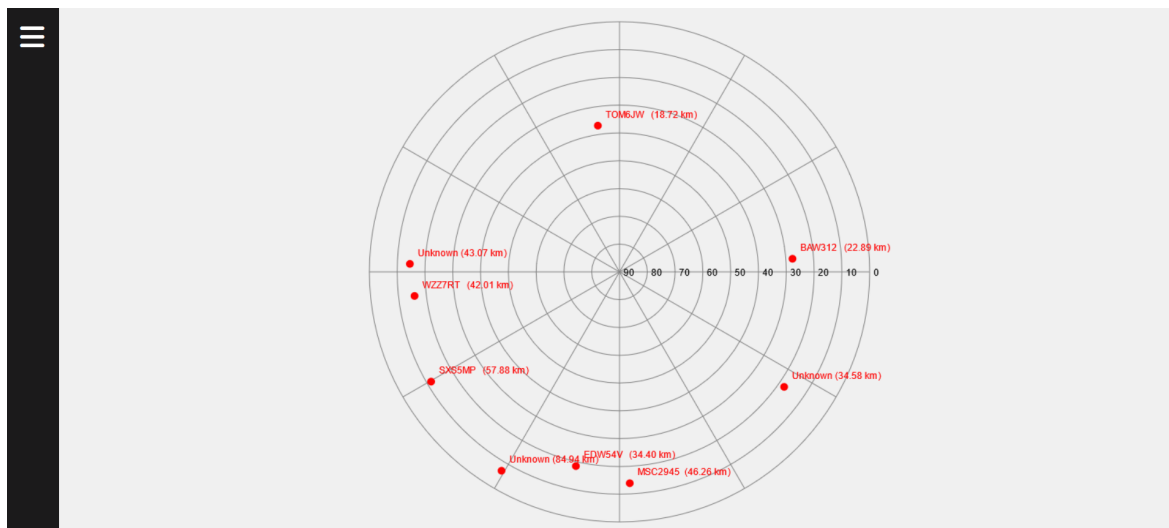
Prikaz zrakoplova na karti ostvaren je kartom Leaflet. Karta podatke o zrakoplovima prima periodično u obliku liste aktivnih zrakoplova, nakon čega osvježava prikaz aktivnih zrakoplova. Svaki zrakoplov prikazan je slikom i nazivom leta. Naziv leta nije sadržan u svakoj ADS-B poruci, pa *Airplane* prije primanja poruke koja sadrži naziv leta zrakoplova kao tu vrijednost sprema *Unknown*. Posljedica toga je da zrakoplov kada se prvi put pojavi na karti neko vrijeme ima naziv *Unknown*. Slika zrakoplova nema mogućnost mijenjanja orijentacije u smjeru putanje zrakoplova.



**Slika 6.5.** Prikaz zrakoplova na karti

Prikaz zrakoplova na polarnom grafu postignut je kroz stvaranje zraka i kružnica u html dokumentu pomoću Javascript koda. Zrakama se prikazuje kut azimuta u odnosu na promatrača, dok se kružnicama prikazuje kut elevacije u odnosu na promatrača. Svaka kružnica predstavlja pomak kuta elevacije za  $10^\circ$ . U središtu je ta vrijednost  $90^\circ$ , dok je na zadnjoj kružnici  $0^\circ$ . Kada se zrakoplov pozicionira u središte polarnog grafa, to znači da je direktno iznad promatrača; dok kada se nalazi na rubu grafa, znači da je zrakoplov na rubu horizonta promatrača. Zbog ovakvog načina prikaza zrakoplovi na polarnom grafu teže prema rubu, te se jako rijetko i za jako kratko pojavljuju u središtu polarnog grafa. Prikaz polarnim grafom podatke prima u obliku liste aktivnih zrakoplova. Za svaki zrakoplov u listi dostupne su informacije o azimutu, elevaciji, udaljenosti od promatrača i nazivu leta. Udaljenost od promatrača zapisana je u zagradama pored naziva leta. Kada sustav još nije dobio informaciju o nazivu leta zrakoplova, naziv zrakoplova je (jednako kao na karti) označen kao *Unknown*.





Slika 6.6. Prikaz zrakoplova na polarnom grafu

Snimanje se zaustavlja klikom na gumb *Zaustavi snimanje* ispod glavne forme korisničkog sučelja. Prekid snimanja podrazumijeva zaustavljanje zapisivanja u kreiranu CSV datoteku i onemogućavanje prikaza zrakoplova na karti i polarnom grafu. Kreirana CSV datoteka u prva dva retka sadrži zemljopisnu širinu i dužinu promatrača, kao i njegovu nadmorsku visinu. Ovi podaci služe kao kontekst za vrijednosti azimuta, kuta elevacije i udaljenosti od promatrača koje sadrži svaki zapis zrakoplova. Nakon dva prazna retka slijede zapisi zrakoplova koji se sastoje od sljedećih polja: *Vrijeme*, *Id zrakoplova*, *Id leta*, *Geog. širina* i *Geog. dužina* (zapisani kao realni brojevi stupnjeva), *Nad. visina* (*m*), *Azimut*, *Kut elevacije*, *Udaljenost od promatrača*.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9
Geog. širina promatrača	Geog. dužina promatrača	Nad. visina promatrača (m)						
45.7843156	15.9469474	300						
Vrijeme	Id zrakoplova	Id leta	Geog. širina	Geog. dužina	Nad. visina (m)	Azimut	Kut elevacije	Udaljenost od promatrača
21:34:30.870	3C6465	Unknown	45.65831	16.2264	10965.18	122.60260374403344	22.747163106217727	28.10406168060361
21:34:38.064	3C6465	Unknown	45.67072	16.21561	10965.18	120.9500757242918	23.955836059101415	26.77759977390394
21:34:38.196	501DC4	Unknown	45.60476	15.85004	1097.28	200.75558971410203	2.7251482040733066	21.364250235987587
21:34:38.323	01024B	Unknown	45.88878	15.20769	11285.220000000001	281.7294460211544	10.586033363797327	59.71439896795833
21:34:46.382	01024B	Unknown	45.87708	15.22571	11285.220000000001	280.7201695815737	10.893250952906214	58.127278294540524
21:34:48.756	501DC4	Unknown	45.60608	15.86225	1059.18	198.4514682013177	2.684543022735241	20.905962543128414
21:34:53.370	471F04	Unknown	45.85707	15.32311	10363.2	279.73250190752054	11.625381646265566	50.26028936280035
21:34:55.150	3C6465	Unknown	45.70024	16.18987	10965.18	116.12695720041918	27.2601516588943	23.76367789666456
21:34:55.332	01024B	Unknown	45.86406	15.24559	11285.220000000001	279.5263005870121	11.247772335405102	56.39717709095984
21:34:55.686	501DC4	CTN465	45.60869	15.86928	1036.3200000000002	197.24873612130955	2.6828460800412444	20.46151691625912
21:34:56.629	40777C	EXS49MT	45.35603	15.15055	11475.720000000001	232.86551589498822	7.946399952904812	79.19706855732734
21:34:57.716	3C0AC5	Unknown	46.01423	16.24658	10972.800000000001	42.151304967817666	17.380787297279923	36.26553435904573
21:34:57.832	4B1620	EDW439	46.12493	15.28294	11590.02	306.5979477376312	9.9444820703511	64.99213420399333
21:35:01.679	40777C	EXS49MT	45.36346	15.1406	11490.960000000001	233.6915493812167	7.944299367133809	79.3176618552243
21:35:02.082	01024B	Unknown	45.85428	15.26061	11285.220000000001	278.5798067240426	11.526304902366377	55.10841943823307
21:35:03.528	3C0AC5	Unknown	46.02438	16.23746	10972.800000000001	40.04964915810087	17.199629952197128	36.628723410830915
21:35:05.527	471F04	WMT85YR	45.8497	15.29283	10363.2	278.4075601692159	11.120689879008154	52.420580424333906
21:35:05.709	501DC4	CTN465	45.61372	15.87819	1005.84	195.79812335601642	2.7008216767557514	19.727589752327024
21:35:07.695	3C6465	Unknown	45.72194	16.17094	10965.18	111.50790192358392	30.100886800933246	21.717408726265088
21:35:12.032	3C0AC5	Unknown	46.03914	16.22406	10980.42	37.06688459199367	16.919050766739772	37.23212440887096
21:35:13.838	4B1620	EDW439	46.14175	15.24614	11590.02	306.45712738233954	9.422516464567067	68.3433063766871
21:35:17.889	3C6465	Unknown	45.73952	16.1556	10972.800000000001	106.8590840914388	32.66583097657237	20.20314207887785
21:35:20.733	48C135	RYR14CL	46.08879	15.88791	11277.6	352.3249638911247	18.036769058633894	35.97904088828842

Slika 6.7. CSV zapis podataka jednog snimanja

## 7. Zaključak

Sustav ADS-B pruža vrlo dobru informacijsku podlogu za modeliranje stanja zračnog prometa, čime se omogućava prikaz i praćenje zrakoplova u stvarnom vremenu. Za primanje ADS-B signala nije potrebna skupa i komplicirana oprema, već je dovoljna antena i jednostavan programski upravljiv radijski prijamnik s pripadajućom programskom potporom. Postoji veliki broj rješenja za dekodiranje tih poruka, a većina su javno dostupni i otvoreni. To znači da se vrlo jednostavno može doći do sirovih podataka o pozicijama zrakoplova u promatračevoj blizini.

Ti podaci se izravno mogu prikazati na skoro svakoj karti i dobiti vizualni prikaz zračnog prometa. Prikaz pozicije zrakoplova na polarnom grafu nešto je kompliciraniji od prikaza na karti zbog potrebe računanja azimuta i kuta elevacije u odnosu na promatrača. Za to računanje potrebno je poznavanje oblika Zemlje i korištenje tehnika poput pretvaranja lokacije opisane sa zemljopisnom širinom, dužinom i nadmorskom visinom u kartezijske koordinate.

Ukupno gledajući, implementacija ADS-B sustava i njegova integracija u modernim aplikacijama predstavlja veliki korak naprijed u području zrakoplovne komunikacije i nadzora, omogućujući naprednije analize i donošenje informiranih odluka u upravljanju zračnim prometom.

## Literatura

- [1] C. L. Moder, "Aviation english", 2012. <https://doi.org/10.1002/9781405198431.wbeal0068>
- [2] rfsolutions, "Difference between am and fm modulation", <https://www.rfsolutions.co.uk/blog/rf-basics-what-is-the-difference-between-am-and-fm-modulation/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [3] Aeronautical Chamber of Commerce of America, Inc., "Air Commerce Act of 1926", New York, 05/1926.
- [4] "First blind flight", <https://pioneersofflight.si.edu/content/doolittle-and-first-blind-flight>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [5] J. Sun, "Ads-b basics", u *The 1090 Megahertz riddle*, sv. 3. TU Delft OPEN Publishing, 2021.
- [6] "Ads-b structure", <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajsp.20150502.01.html>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [7] "Razlika između geodetske i geocentrične širine", <https://mnurq.blogspot.com/2019/01/bedanya-latitude-geodetik-dan-geosentrik.html>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [8] "Wgs 84", <https://earth-info.nga.mil/?dir=wgs84&action=wgs84>, [mrežno; stranica posjećena: travanj 2024.].
- [9] "Flightradar24", <https://www.flightradar24.com/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].

- [10] “Planeplotter”, <https://planeplotter.en.lo4d.com/windows>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [11] “Planeplotter user manual”, <https://www.rtl-sdr.com/adsb-aircraft-radar-with-rtl-sdr/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [12] “Opensky network”, <https://opensky-network.org/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [13] “Rtl-sdr.com”, <https://www.rtl-sdr.com/product/rtl-sdr-blog-r820t2-rtl2832u-1ppm-tcxo-sma-software-defined-radio-with-dipole-antenna-kit/>, [mrežno; stranica posjećena: svibanj 2024.].
- [14] “Sdr#”, <https://www.rtl-sdr.com/sdrsharp-users-guide/>, [mrežno; stranica posjećena: travanj 2024.].
- [15] S. S. (antirez), “dump1090”, <https://github.com/antirez/dump1090>, [mrežno; stranica posjećena: travanj 2024.].
- [16] “Leaflet.js”, <https://leafletjs.com/>, [mrežno; stranica posjećena: travanj 2024.].
- [17] “Node.js”, <https://nodejs.org/en>, [mrežno; stranica posjećena: travanj 2024.].
- [18] Nathan Friend, “tree.nathanfriend.io”, 05/1926, <https://tree.nathanfriend.io/>, stranica posjećena: lipanj 2024.

# Sažetak

## Prikaz pozicija zrakoplova dobivenih sustavom ADS-B

Zvonimir Mabić

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) je sustav za praćenje zrakoplova koji omogućuje periodično odašiljanje informacija o poziciji, brzini i smjeru zrakoplova u stvarnom vremenu. Time se poboljšava sigurnost i učinkovitost zračnog prometa pružajući točne i pravovremene informacije za kontrolu leta i upravljanje zračnim prometom.

Aplikacija koristi informacije o poziciji zrakoplova dobivene sustavom ADS-B za prikaz zrakoplova na karti i polarnom grafu. Za primanje i obradu signala korišteni su prijamnik RTL-SDR V3 sa antenom, SDR# i dump1090. Zrakoplovi se prikazuju na interaktivnoj karti Leaflet, dok je polarni graf implementiran crtanjem zraka i kružnica u html dokumentu. Za potrebe polarnog grafa potrebno je računanje azimuta i kuta elevacije u odnosu na promatrača.

**Ključne riječi:** ADS-B; Prikaz pozicije zrakoplova; Karta; Polarni graf; Azimut; Kut elevacije

# Abstract

## Display of aircraft positions obtained by the ADS-B system

Zvonimir Mabić

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) is an aircraft tracking system that allows periodic transmission of information on the position, speed and direction of the aircraft in real time. This improves the safety and efficiency of air traffic by providing accurate and timely information for air traffic control and air traffic management.

The application uses information about the position of the aircraft obtained by the ADS-B system to display the aircraft on the map and polar graph. RTL-SDR V3 receiver with antenna, SDR# and dump1090 were used for signal reception and processing. The planes are displayed on the Leaflet interactive map, while the polar graph is implemented by drawing rays and circles in the html document. For the needs of the polar graph, it is necessary to calculate the azimuth and the elevation angle in relation to the observer.

**Keywords:** ADS-B; Aircraft position display; Map; Polar graph; Azimuth; Elevation angle