
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ,
TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI
Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

Aircraft-to-Satellite Communication for
ADS-B Out
Proiect Radiocomunicații
an III sem. II

Studenti,
Sidor Denisa-Teodora
Vlad Diana-Andreea

Profesor coordonator,
Buta Rareș

2025

Cuprins

1. Abstract	3
2. Stadiul actual pentru problematica studiată	4
2.1. Trei soluții similare din literatura de specialitate	4
2.1.1. On the Applicability of Satellite-Based Air Traffic Control Communication for Security	4
2.1.2. Space-Based ADS-B: Performance, Architecture and Market	5
2.1.3. Aircraft monitoring by the fusion of satellite and ground ADS-B data	6
3. Fundamentare teoretică	7
3.1. ADS-B: Principii de funcționare și limitări	7
3.2. ADS-B bazat pe satelit: Extinderea acoperirii globale	7
3.3. Provocări de securitate în comunicațiile ADS-B	7
3.4. Arhitectura sistemului și integrarea cu sateliții	7
3.5. Rolul constelației de sateliți Iridium în supravegherea globală a traficului aerian	8
3.6. Integrarea sistemului ADS-B în sateliții Iridium prin parteneriatul cu Aireon	8
4. Implementare	9
4.1. Interfața grafică (ADSBSimulation_GUI.m)	9
4.2. Simularea completă a transmisiei ADS-B – runADSBSimulation.m	11
4.3. Antena personalizată – HelperCustom48BeamAntenna.m	13
4.4. Vizualizarea rezultatelor	13
5. Rezultate	15
5.1. Lansarea aplicației și interfața inițială	15
5.2. Simularea transmisiei ADS-B	15
5.3. Marja de semnal (link margin) în funcție de timp	17
5.4. Vizualizarea traiectoriei de zbor	18
5.5. Vizibilitatea sateliților Iridium	19
6. Concluzii	20
7. Bibliografie	21

1. Abstract

Comunicarea dintre aeronave și sateliți joacă un rol esențial în asigurarea unei monitorizări continue a zborurilor, mai ales în zonele unde nu există acoperire directă cu stații terestre, cum ar fi în zborurile pe deasupra apelor deschise. Proiectul propune o soluție inovativă pentru conectivitatea sistemului ADS-B Out al aeronavelor, folosind rețeaua de sateliți Iridium NEXT, pentru a asigura o monitorizare continuă și fiabilă a aeronavelor, chiar și în zonele unde nu există acoperire terestră. Utilizând tehnologia satelitară, aeronavele pot transmite în mod constant date despre poziția GPS și starea acestora, indiferent de curburile Pământului sau de lipsa unei linii de vedere directe către stațiile terestre. Scenariul simulează zborul unui avion între Aeroportul Henri Coandă (București) și Aeroportul Larnaca (Cipru), evaluând accesul și conexiunile de link între aeronave și sateliți, precum și performanța sistemului ADS-B Out prin analize de acces și link closure. Rezultatele obținute demonstrează că aeronava poate menține comunicarea constantă și eficientă pe toată durata zborului, chiar și în condiții de semnal limitat, oferind o soluție robustă pentru monitorizarea în timp real a aeronavelor pe rute izolate.

2. Stadiul actual pentru problematica studiată

În contextul modern al aviației, monitorizarea continuă a aeronavelor este o componentă esențială pentru siguranța și eficiența zborurilor. Totuși, în anumite regiuni ale globului, cum ar fi zonele oceanice sau regiunile polare, acoperirea prin stații terestre este limitată sau inexistentă. În aceste condiții, transmiterea datelor prin intermediul sateliților devine crucială.

Un sistem promițător este ADS-B Out, care permite aeronavelor să transmită în mod automat informații esențiale precum poziția GPS, viteza și altitudinea. Integrarea acestui sistem cu rețele satelitare precum Iridium NEXT oferă posibilitatea unei acoperiri globale, inclusiv în zone izolate, contribuind semnificativ la îmbunătățirea supravegherii traficului aerian.

2.1. Trei soluții similare din literatura de specialitate

2.1.1. On the Applicability of Satellite-Based Air Traffic Control Communication for Security

Pe măsură ce comunicațiile pentru controlul traficului aerian trec către sisteme digitale, există o tendință emergentă de a suplimenta sau chiar de a înlocui complet legătura tradițională aer-sol în favoarea comunicațiilor între aeronave și sateliți. În acest articol, analizăm acoperirea și securitatea împotriva atacurilor wireless ale noii versiuni bazate pe satelit a tehnologiei ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). O comparăm cu sistemul terestru ADS-B, larg utilizat, care este cunoscut ca fiind nesigur și incapabil, din punct de vedere structural, să ofere acoperire în anumite părți ale spațiului aerian global, cum ar fi oceanele și regiunile polare. Analiza noastră arată că sateliții pot oferi avantaje semnificative în aceste zone fără supraveghere. Cu toate acestea, ei sunt la fel de fundamental nesiguri ca și sistemul terestru ADS-B. [1]

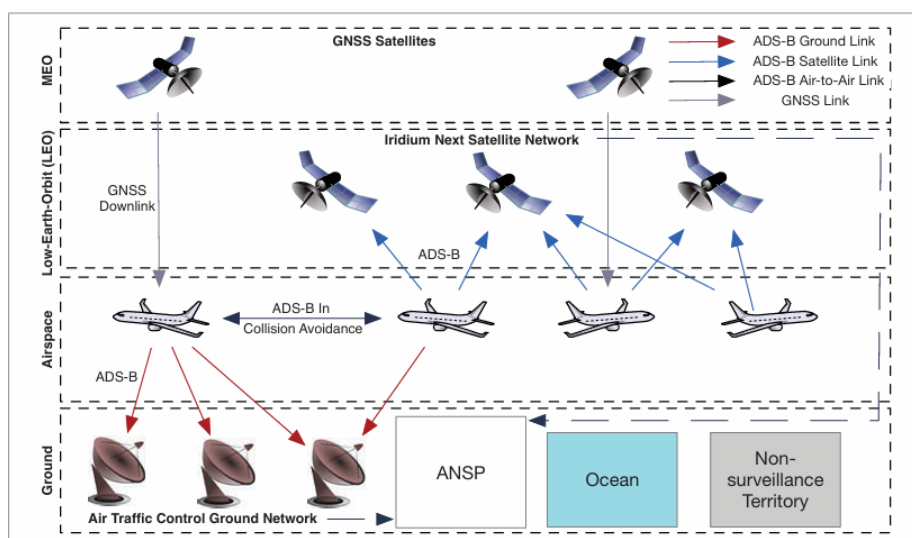


Figura 2.1.1. Prezentare generală a ecosistemului ADS-B

2.1.2. Space-Based ADS-B: Performance, Architecture and Market

Deși piața pentru noile servicii ATS (Air Traffic Services) bazate pe satelit este încă în curs de dezvoltare, aceasta va deveni în cele din urmă un element esențial pentru supravegherea ATS. ADS-B-ul „tradițional” nu oferă acoperire deasupra oceanelor și în zonele izolate. Industria satelitară răspunde acum acestei lacune de capacitate și nevoi de piață printr-o gamă de servicii ATS existente și propuse, bazate pe satelit, menite să completeze sau să înlocuiască sistemul ADS-B terestru. Acest articol oferă o evaluare de piață a supravegherii ATS bazate pe satelit și a sistemelor de urmărire a aeronavelor. Sunt analizate cerințele furnizorilor de servicii de navigație aeriană (ANSP), iar factori de performanță precum disponibilitatea, latența, intervalele de actualizare și reziliența sistemului sunt comparați între furnizorii ATS existenți și cei emergenți. De asemenea, sunt evaluate diferite arhitecturi de sisteme bazate pe satelit. Articolul compară punctele forte și punctele slabe ale potențialelor sisteme ATS spațiale și oferă o evaluare realistă a actorilor existenți și a opțiunilor de piață, pe baza compatibilității cu echipamentele actuale ale aeronavelor, acoperirii, rețelelor de stații terestre, performanței și costurilor. [2]

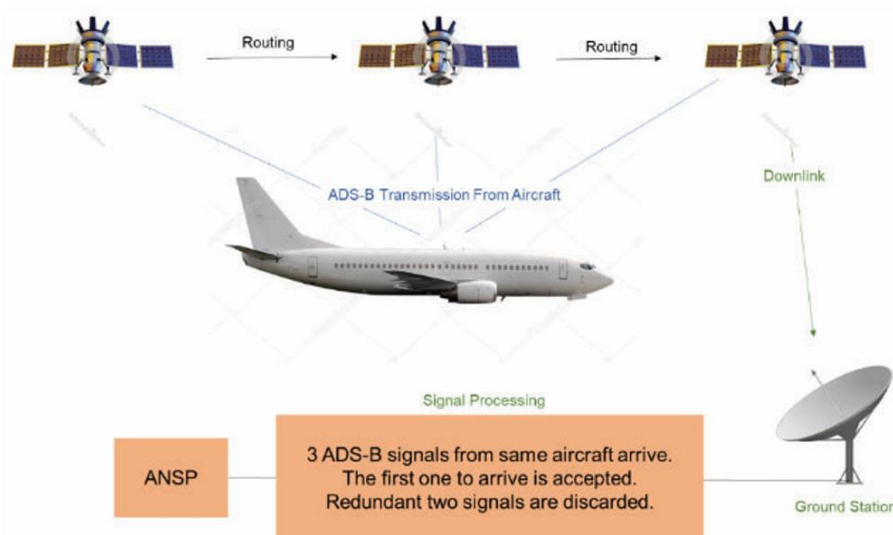


Figura 2.1.2. Arhitectura paralelă a semnalului ADS-B bazat pe satelit

2.1.3. Aircraft monitoring by the fusion of satellite and ground ADS-B data

Sistemul Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) este în prezent un echipament standard pe aeronavele civile, transmitând periodic pachete de date ce conțin informații esențiale precum ID-ul aeronavei, poziția, altitudinea și intențiile acesteia. Acesta este conceput pentru a fi monitorizat de stații terestre care urmăresc fluxul traficului aerian în anumite regiuni. ADS-B-ul bazat pe satelit reprezintă ideea de a plasa receptoare sensibile la bordul sateliților aflați pe orbită, care pot recepționa pachetele ADS-B și le pot retransmite către stațiile terestre relevante.

Receptoarele terestre ADS-B au fost utilizate pe scară largă în sistemele de informare aeroportuară, pentru a ajuta la monitorizarea și controlul fluxului de trafic, etc. Totuși, acoperirea acestora este limitată sever de condiții precum marea sau munții. Această lucrare prezintă mai întâi o misiune CubeSat, apoi discută aplicația integrată a datelor ADS-B recepționate atât de la stațiile terestre, cât și de la sateliți, analizând caracteristicile acestora cu rezultate statistice comparative și explorând tehnologiile de fuziune a acestor două surse de date pentru o aplicație integrată. Datele satelitare se bazează pe un CubeSat chinezesc, STU-2C, lansat în spațiu pe 25 septembrie 2015. Datele ADS-B provenite din cele două surse s-au dovedit a fi complementare, contribuind la extinderea acoperirii spațiului aerian și la o monitorizare mai bună și mai completă a acestuia. [3]



Figura 2.1.3. Afișare 3D a software-ului pentru analiza datelor ADS-B (este afișată distanța dintre avion și satelit).

3. Fundamentare teoretică

3.1. ADS-B: Principii de funcționare și limitări

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) este o tehnologie de supraveghere aeriană în care aeronavele determină poziția lor prin navigație satelitară și transmit periodic aceste informații către stațiile de la sol și alte aeronave. Sistemul este „automat” deoarece nu necesită intervenția pilotului pentru transmitere și „dependent” deoarece se bazează pe datele sistemului de navigație al aeronavei. Deși ADS-B oferă o acuratețe superioară față de radarul secundar, acoperirea sa este limitată în zonele oceanice și polare. [4]

3.2. ADS-B bazat pe satelit: Extinderea acoperirii globale

Pentru a depăși limitările de acoperire ale ADS-B terestru, s-a introdus conceptul de ADS-B bazat pe satelit. Acesta implică plasarea de receptoare sensibile la bordul sateliților care pot recepționa semnalele ADS-B și le pot retransmite către stațiile de la sol. Această abordare permite monitorizarea traficului aerian în timp real în zonele fără acoperire radar. [5]

3.3. Provocări de securitate în comunicațiile ADS-B

ADS-B transmite informații în clar, fără criptare sau autentificare, ceea ce îl face vulnerabil la interceptare și manipulare. S-au propus diverse soluții pentru a îmbunătăți securitatea, inclusiv utilizarea criptografiei și a protocoalelor de autentificare retroactivă. [6]

3.4. Arhitectura sistemului și integrarea cu sateliții

Implementarea ADS-B în comunicațiile prin satelit necesită adaptarea arhitecturii sistemului pentru a asigura compatibilitatea și performanța optimă. Aceasta implică utilizarea de antene omnidirecționale și analiza legăturilor de comunicație pentru a asigura conectivitatea continuă între aeronave și sateliți. [7]

3.5. Rolul constelației de sateliți Iridium în supravegherea globală a traficului aerian

Constelația Iridium este compusă din 66 de sateliți activi, amplasați în orbite polare joase (LEO) la o altitudine de aproximativ 780 km, completată de sateliți de rezervă pentru a asigura redundanța sistemului. Această configurație orbitală permite acoperirea globală, inclusiv a regiunilor oceanice și polare, unde infrastructura terestră este inexistentă sau limitată. Fiecare satelit Iridium este echipat cu interconexiuni în bandă Ka, permițând comunicarea între sateliți și transmiterea datelor către stațiile de la sol fără a fi necesare relee terestre intermediare. [8]

3.6. Integrarea sistemului ADS-B în sateliții Iridium prin parteneriatul cu Aireon

Aireon a colaborat cu Iridium pentru a implementa receptoare ADS-B la bordul fiecărui satelit din constelația Iridium NEXT. Aceste receptoare colectează semnalele ADS-B transmise de aeronave și le retransmit în timp real către centrele de control al traficului aerian. Această abordare elimină necesitatea infrastructurii terestre extinse și permite monitorizarea continuă a aeronavelor la nivel global, inclusiv în zonele fără acoperire radar tradițională. [9]

4. Implementare

Pentru a ușura interacțiunea utilizatorului cu simularea, am creat o interfață grafică (GUI) în MATLAB. Aceasta permite introducerea coordonatelor de zbor, alegerea tipului de satelit și lansarea simulării sau afișarea datelor vizuale. Scriptul principal al proiectului. Primește datele introduse de utilizator în interfață și simulează transmisia unui semnal ADS-B de la o aeronavă către o rețea de sateliți și aeroporturi. După rularea simulării, utilizatorul are acces la două tipuri de vizualizări suplimentare, care oferă informații despre traiectoria aeronavei și vizibilitatea sateliților Iridium pe durata zborului.

4.1. Interfața grafică (ADSBSimulation_GUI.m)

- Crearea ferestrei principale: Creează fereastra aplicației grafice, setând dimensiunea, titlul și culoarea de fundal. Aceasta va găzdui toate elementele de interfață: câmpuri de input, butoane și grafice.

```
fig = figure('Name','ADS-B Out Simulation', ...
    'Position',[100 100 600 500], ...
    'Color',[0.8 0.9 1], ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Resize','on');
```

- Afișarea siglei și titlului: Se încearcă afișarea unei sigle UTCN. Dacă imaginea nu este disponibilă, este afișat un text generic. Apoi, cu uicontrol, se adaugă titlul aplicației.

```
axLogo = axes('Parent', fig, 'Units','pixels', 'Position',[450 400 140 80]);
try
    imshow('logo_utcn.jpg', 'Parent', axLogo);
catch
    text(0,0.5,'Logo UTCN','Parent',axLogo,'FontSize',12,'FontWeight','bold');
end
axis off
```

```
uicontrol('Style','text','Position',[150 440 300 30], ...
    'String','ADS-B Out Aircraft Simulation', ...
    'FontSize',14,'FontWeight','bold', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.9 1], ...
    'ForegroundColor',[0 0.2 0.4]);
```

- Câmpuri pentru introducerea coordonatelor: Se creează 4 câmpuri de tip edit, unde utilizatorul introduce latitudinea și longitudinea pentru aeroportul de plecare și cel de sosire. Aceste date vor fi folosite în simulare.

```
labels = {'Latitudine Plecare','Longitudine Plecare','Latitudine Sosire','Longitudine Sosire'};
```

```
defaults = {'44.5711','26.0850','34.8756','33.6248'};
positions = [390, 350, 310, 270];
inputs = gobjects(1,4);
```

```
for i = 1:4
```

```
    uicontrol('Style','text','Position',[50 positions(i) 140 25],'String',labels{i}, ...
        'BackgroundColor',[0.8 0.9 1],'FontSize',10,'FontWeight','bold','HorizontalAlignment','left');
    inputs(i) = uicontrol('Style','edit','Position',[200 positions(i) 120
25],'String',defaults{i},'FontSize',10);
end
```

- Selectarea tipului de satelit: Meniul derulant permite alegerea dintre două tipuri de sateliți: „Isotropic” (cu câștig uniform în toate direcțiile) și „Custom 48-Beam” (model direcțional personalizat definit în alt script).

```
uicontrol('Style','text','Position',[50 230 140 25],'String','Tipul de Satelit', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.9 1],'FontSize',10,'FontWeight','bold','HorizontalAlignment','left');
```

```
satMenu = uicontrol('Style','popupmenu','Position',[200 230 150 25], ...
    'String',{'Isotropic','Custom 48-Beam'},'FontSize',10);
```

- Butoanele funcționale: Fiecare buton declanșează o acțiune diferită. Simularea este pornită prin funcția runSim, care transmite datele către runADSBSimulation.

```
uicontrol('Style','pushbutton','Position',[200 180 150 35],'String','Start Simulare', ...
    'FontSize',11,'FontWeight','bold','BackgroundColor',[0.2 0.6 1],'ForegroundColor','white', ...
    'Callback', @(~,~)runSim());
```

```
uicontrol('Style','pushbutton','Position',[100 130 180 30],'String','Afișează Traiectorie', ...
    'FontSize',10,'BackgroundColor',[0.4 0.7 0.7],'ForegroundColor','white', ...
    'Callback', @(~,~)plotFlightPath());
```

```
uicontrol('Style','pushbutton','Position',[320 130 180 30],'String','Vizibilitate Sateliți', ...
    'FontSize',10,'BackgroundColor',[0.2 0.6 0.7],'ForegroundColor','white', ...
    'Callback', @(~,~)plotSatelliteVisibility());
```

```
uicontrol('Style','pushbutton','Position',[200 80 200 30],'String','Deschide Documentația', ...
    'FontSize',10,'BackgroundColor',[0.8 0.4 0.4],'ForegroundColor','white', ...
    'Callback', @(~,~)open('Proiect_RC_Denisa_Diana.docx'));
```

- Funcția de rulare a simulării: Această funcție citește toate datele introduse în GUI, le transformă în valori numerice și le trimite către scriptul runADSBSimulation, care se ocupă de toată logica simulării.

```
function runSim()
    depCoord = [str2double(inputs(1).String), ...];
    satelliteType = satMenu.String{satMenu.Value};
    runADSBSimulation(depCoord, arrCoord, satelliteType);
end
```

4.2. Simularea completă a transmisiei ADS-B – runADSBSimulation.m

- Definirea parametrilor de timp: Se setează intervalul de timp în care se desfășoară simularea (2h 30min) și o rată de eșantionare de 10 secunde. Se creează un obiect satelliteScenario și o fereastră 3D de vizualizare (viewer).

```
startTime = datetime(2024,10,9,8,30,0,'TimeZone','Europe/Bucharest');
stopTime = startTime + hours(2) + minutes(30);
sampleTime = 10;
sc = satelliteScenario(startTime, stopTime, sampleTime);
viewer = satelliteScenarioViewer(sc);
```

- Definirea aeroporturilor: Creează două stații la sol în coordonatele specificate pentru aeroportul de plecare și sosire. Acestea sunt punctele unde se presupune că se pot recepționa semnalele ADS-B.

```
airports = groundStation(sc, ...
    [depCoord(1), arrCoord(1)], ...
    [depCoord(2), arrCoord(2)], ...
    Name=["Departure", "Arrival"]);
```

- Creearea traiectoriei aeronavei: Se definesc punctele de zbor (waypoints) și orele corespunzătoare. Se creează o platformă mobilă (aeronava) care urmează această traiectorie.

```
waypoints = [
    depCoord(1), depCoord(2), 3;
    43.5, 28.5, 3000;
    41.5, 30.0, 11000;
    38.0, 32.0, 11000;
    36.0, 33.0, 9000;
    arrCoord(1), arrCoord(2), 3];
timeOfArrival = duration(["00:00:00"; "00:15:00"; "00:50:00"; "01:30:00"; "02:10:00";
    "02:30:00"]);
trajectory = geoTrajectory(waypoints, seconds(timeOfArrival));
aircraft = platform(sc, trajectory, Name="Aircraft", Visual3DModel="CesiumAir.glb");
camtarget(viewer, aircraft);
```

- Adăugarea constelației Iridium : Se creează 66 de sateliți în orbite polare joase (~780 km), cu distribuție realistă, conform constelației Iridium.

```
numSat = 11;
numOrb = 6;
RAAN = 180*(repelem(1:numOrb, 1, numSat)-1)/numOrb;
trueAn = 360*(repmat(1:numSat,1,numOrb)-1 + 0.5*(mod(repelem(1:numOrb,1,numSat),2)-1))/numSat;
a = (6371 + 780)*1e3;
```

```
semimajoraxis = repmat(a, size(RAAN));
inclination = repmat(86.4, size(RAAN));
iridiumSatellites = satellite(sc, semimajoraxis, zeros(size(RAAN)), inclination, ...
    RAAN, zeros(size(RAAN)), trueAn, Name="Iridium " + string(1:66));
```

- Alegerea tipului de antenă: Dacă în GUI s-a ales „Custom 48-Beam”, se folosește o antenă cu câștig direcțional realist. Altfel, se folosește o antenă simplă (isotropică).

```
if strcmp(satelliteType, "Isotropic")
    satelliteADSBAntenna = arrayConfig("Size",[1 1]);
    satelliteADSBBReceiver = receiver(iridiumSatellites, ...
        Antenna=satelliteADSBAntenna, ...
        MountingAngles=[0,0,0], ...
        Name=iridiumSatellites.Name + " Receiver");
else
    satelliteADSBAntenna = HelperCustom48BeamAntenna(fADSB);
    satelliteADSBBReceiver = receiver(iridiumSatellites, ...
        Antenna=satelliteADSBAntenna, ...
        MountingAngles=[0,-90,0], ...
        Name=iridiumSatellites.Name + " Receiver");
End
```

- Transmițătorul și receptoarele: Se creează un transmițător ADS-B pe aeronavă și câte un receptor pe fiecare aeroport. Puterea transmisă este de 150 W.

```
fADSB = 1090e6;
aircraftADSBAntenna = arrayConfig("Size", [1 1]);
aircraftADSBBTransmitter = transmitter(aircraft, ...
    Antenna=aircraftADSBAntenna, ...
    Frequency=fADSB, ...
    Power=10*log10(150), ...
    MountingLocation=[8,0,-2.7], ...
    Name="ADS-B Aircraft Transmitter");
airportADSBAntenna = arrayConfig("Size",[1 1]);
airportADSBBReceiver = receiver(airports, ...
    Antenna=airportADSBAntenna, ...
    Name=airports.Name + " Receiver");
```

- Crearea legăturilor și afișarea marjei de semnal: Se calculează și afișează marja de semnal în timp, atât pentru legătura cu aeroportul cât și cu sateliții.

```
lnkADSB = link(aircraftADSBBTransmitter, [airportADSBBReceiver, satelliteADSBBReceiver]);
lnkADSB.LineColor = [1 0.4 0];
lnkADSB.LineWidth = 1.5;
show(lnkADSB, viewer);
[eL, time] = ebno(lnkADSB);
marginADSB = eL - repmat([airportADSBBReceiver.RequiredEbNo,
    satelliteADSBBReceiver.RequiredEbNo]', [1, size(eL,2)]);
```

```
figure;
plot(time, max(marginADSB), "b");
title("ADS-B Out Link Margin vs. Time");
xlabel("Timp");
ylabel("Margin (dB)");
grid on;
```

4.3. Antena personalizată – HelperCustom48BeamAntenna.m

Creează un model personalizat de antenă care simulează o distribuție direcțională a câștigului. Este folosită în simulare când utilizatorul selectează „Custom 48-Beam”.

```
function antenna = HelperCustom48BeamAntenna(frequencyHz)
    az = -180:5:180;
    el = -90:5:90;
    [AZ, EL] = meshgrid(az, el);
    gainPattern = -min(20*log10(1 + (AZ/30).^2 + (EL/20).^2), 50);
    phasePattern = zeros(size(gainPattern));
    antenna = phased.CustomAntennaElement( ...
        'AzimuthAngles', az, ...
        'ElevationAngles', el, ...
        'MagnitudePattern', gainPattern, ...
        'PhasePattern', phasePattern);
end
```

4.4. Vizualizarea rezultatelor

- Afișarea traiectoriei aeronavei: Se generează traseul de zbor și se plotează pe hartă, folosind funcții din Mapping Toolbox. Linia albastră reprezintă drumul parcurs de aeronava simulată între coordonatele selectate.

```
function plotFlightPath()
    depCoord = [str2double(inputs(1).String), str2double(inputs(2).String)];
    arrCoord = [str2double(inputs(3).String), str2double(inputs(4).String)];
    waypoints = [
        depCoord(1), depCoord(2), 3;
        43.5, 28.5, 3000;
        41.5, 30.0, 11000;
        38.0, 32.0, 11000;
        36.0, 33.0, 9000;
        arrCoord(1), arrCoord(2), 3];
    timeOfArrival =
    duration(["00:00:00"; "00:15:00"; "00:50:00"; "01:30:00"; "02:10:00"; "02:30:00"]);

    trajectory = geoTrajectory(waypoints, seconds(timeOfArrival));
```

```
LLA = lookupPose(trajjectory, 0:10:max(seconds(timeOfArrival)));
figure;
geoplot(LLA(:,1), LLA(:,2), 'b-', 'LineWidth', 1.5);
geolimits([min(LLA(:,1))-1, max(LLA(:,1))+1], [min(LLA(:,2))-1, max(LLA(:,2))+1]);
title('Traiectorie Zbor');
geobasemap topographic;
end
```

- Vizibilitatea sateliților Iridium: Se afișează pentru fiecare moment de timp care satelit Iridium avea acces vizual la aeronava simulată. Graficul oferă o imagine clară a acoperirii rețelei Iridium pe durata zborului.

```
function plotSatelliteVisibility()
depCoord = [str2double(inputs(1).String), str2double(inputs(2).String)];
arrCoord = [str2double(inputs(3).String), str2double(inputs(4).String)];
startTime = datetime(2024,10,9,8,30,0,'TimeZone','Europe/Bucharest');
stopTime = startTime + hours(2) + minutes(30);
sc = satelliteScenario(startTime, stopTime, 10);
waypoints = [
    depCoord(1), depCoord(2), 3;
    43.5, 28.5, 3000;
    41.5, 30.0, 11000;
    38.0, 32.0, 11000;
    36.0, 33.0, 9000;
    arrCoord(1), arrCoord(2), 3];
timeOfArrival =
duration(["00:00:00";"00:15:00";"00:50:00";"01:30:00";"02:10:00";"02:30:00"]);
trajectory = geoTrajectory(waypoints, seconds(timeOfArrival));
aircraft = platform(sc, trajectory);
numSat = 11; numOrb = 6;
RAAN = 180*(repelem(1:numOrb, numSat)-1)/numOrb;
truean = 360*(repmat(1:numSat,1,numOrb)-1 + 0.5*(mod(repelem(1:numOrb,1,numSat),2)-
1))/numSat;
semiaxis = repmat((6371+780)*1e3, size(RAAN));
incl = repmat(86.4, size(RAAN));
iridium = satellite(sc, semiaxis, zeros(size(RAAN)), incl, RAAN, zeros(size(RAAN)),
truean);
sensors = conicalSensor(iridium, "MaxViewAngle", 125);
acAccess = access(aircraft, sensors);
[sStat, time] = accessStatus(acAccess);
visData = double(sStat); visData(visData == 0) = NaN;
visData = visData + (0:numel(iridium)-1)';
figure;
plot(time, visData, ".", "Color", "blue");
title("Vizibilitate Sateliți Iridium");
xlabel("Timp"); ylabel("Sateliți activi");
yticks(1:5:66);
grid on;
end
```

5. Rezultate

În această secțiune sunt prezentate rezultatele vizuale obținute în urma rulării aplicației dezvoltate. Capturile de ecran de mai jos ilustrează funcționalitatea completă a interfeței grafice, simularea transmisiei ADS-B Out și vizualizările generate de fiecare acțiune realizată de utilizator.

5.1. Lansarea aplicației și interfața inițială

După rularea scriptului ADSBSimulation_GUI.m, aplicația deschide o interfață grafică intuitivă, unde utilizatorul poate introduce coordonatele aeroporturilor, selecta tipul de satelit și lansa simularea.

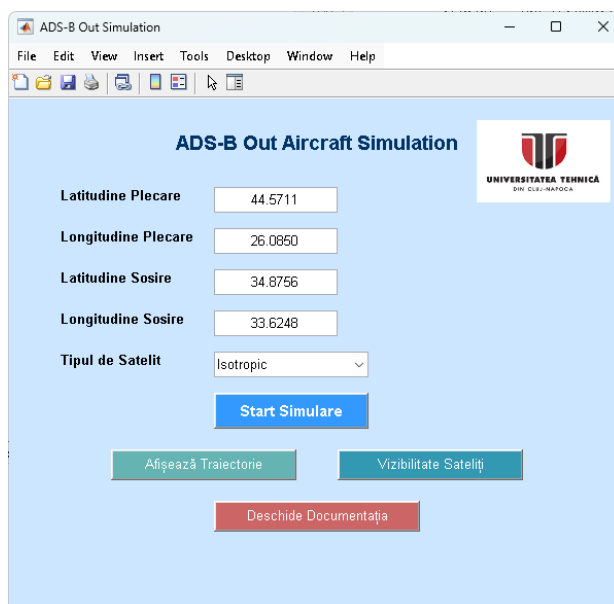


Figura 5.1. Interfața grafică

5.2. Simularea transmisiei ADS-B

Prin apăsarea butonului „Start Simulare”, aplicația rulează scriptul runADSBSimulation.m. Este afișată o simulare 3D a transmisiei semnalului între aeronavă, sateliți și aeroporturi, folosind obiectul satelliteScenarioViewer.

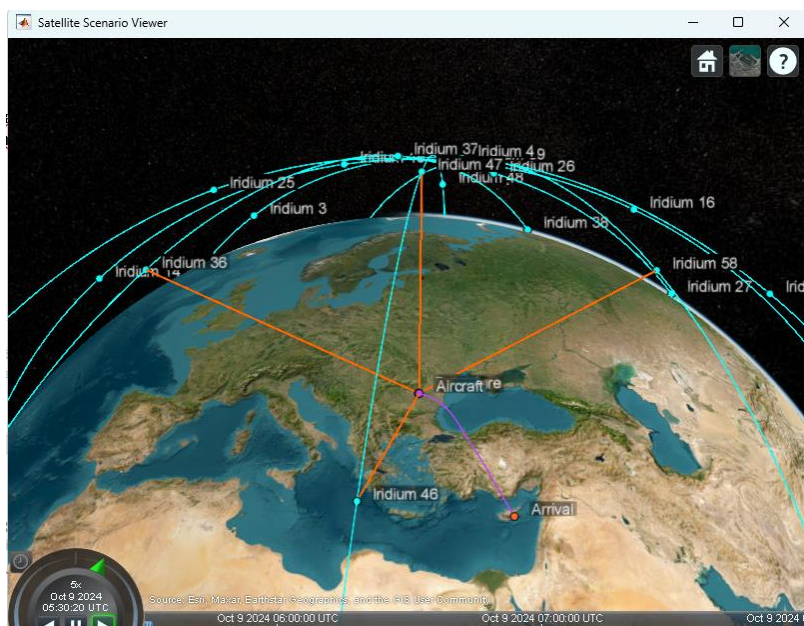


Figura 5.2.1. Legătura cu sateliții

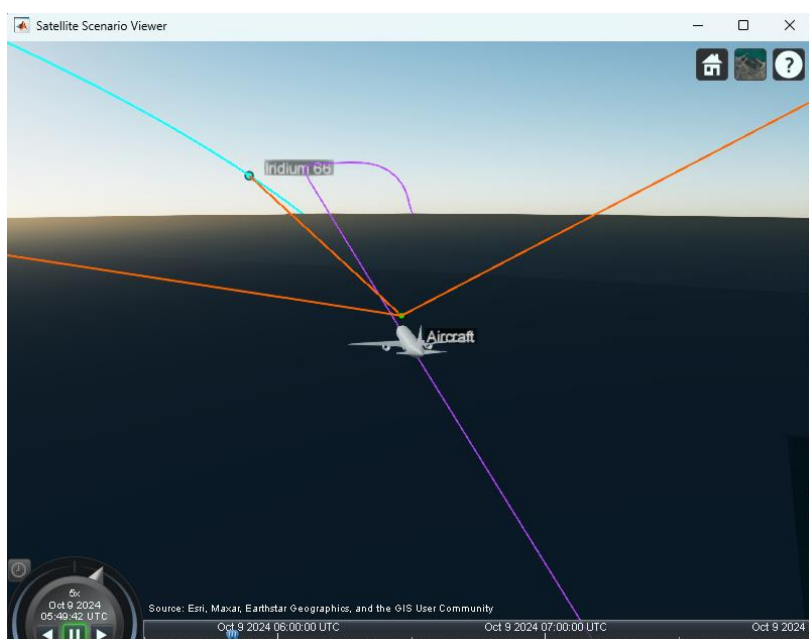


Figura 5.2.2. Conexiune cu sateliți deasupra apei

5.3. Marja de semnal (link margin) în funcție de timp

După simulare, se generează automat un grafic care arată evoluția marjei de semnal (E_b/N_0) între aeronavă și stațiile de recepție (sateliți + aeroporturi), pe toată durata zborului. Axa X (Timp): Reprezintă timpul real simulat, începând de la ora 08:30 până aproape de ora 08:00 a doua zi (probabil fusul orar este afectat de formatul datetime din MATLAB). Axa Y (Margin – dB): Afișează marja de semnal (în decibeli). Cu cât valoarea este mai mare, cu atât calitatea legăturii ADS-B este mai bună.

Inițial (08:30 – 09:00), marja este foarte mare (peste 100 dB):

- Aceasta indică o conexiune extrem de bună, probabil datorită apropierii de stația terestră de plecare și/sau a unui unghi favorabil cu sateliții.

În intervalul 05:30 – 07:00 (ora vizibilă), marja scade semnificativ:

- Această scădere corespunde zonei centrale a zborului, unde aeronava se află la altitudine mare și este departe de ambele aeroporturi.
- Semnalul este probabil recepționat exclusiv de către sateliți, iar marja scade sub 20 dB, indicând o calitate redusă a legăturii, dar încă funcțională.

Oscilații în partea de mijloc (dente în grafic):

- Pot corespunde momentelor când sateliții intră și ies din vizibilitatea aeronavei, ceea ce afectează temporar calitatea semnalului.

După 07:00, marja începe să crească din nou:

- Se apropie de aeroportul de destinație, iar recepția semnalului se îmbunătățește semnificativ datorită apropierii de stațiile terestre.

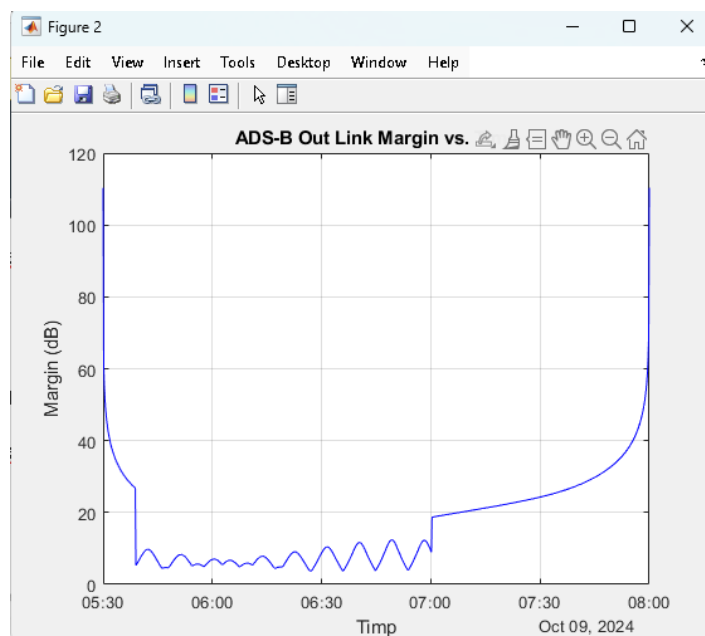


Figura 5.3. Grafic pentru marja de semnal în funcție de timp

5.4. Vizualizarea traiectoriei de zbor

Prin apăsarea butonului „Afișează Traiectorie”, aplicația plotează traseul urmat de aeronava simulată, folosind coordonatele introduse de utilizator. Acest grafic este generat cu geoplot și oferă o imagine clară a drumului parcurs pe hartă. Figura 5.4. Vizualizarea 3D a traiectoriei aeronavei.

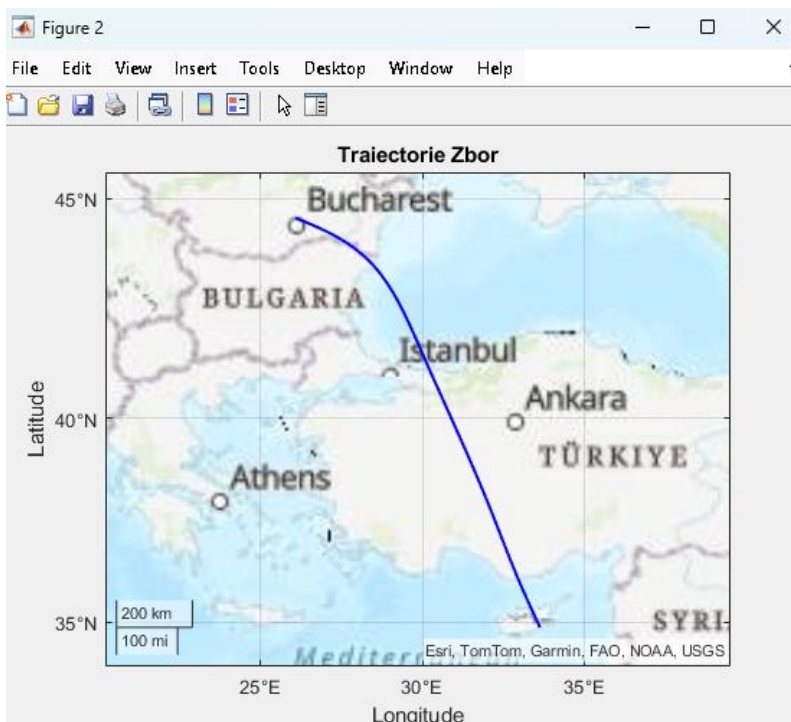


Figura 5.4. Traiectorie traseu

5.5. Vizibilitatea sateliților Iridium

Prin apăsarea butonului „Vizibilitate Sateliți”, aplicația creează un grafic care arată care sateliți Iridium aveau acces vizual la aeronavă în funcție de timp. Fiecare punct de pe axa verticală corespunde unui satelit, iar axa orizontală indică timpul simulării. Axa X (Timp): Reprezintă timpul simulat al zborului (de la ~05:30 până la 08:00, Octombrie 09, 2024). Axa Y (Sateliți activi): Indică ID-ul fiecărui satelit Iridium (1 – 66).

Acoperire bună pe mai multe planuri orbitale simultan:

- Se poate observa că sateliți cu ID-uri diferite (ex: 6, 15, 26, 48, 61, 66) au avut acces la momente diferite.
- Asta arată că constelația Iridium oferă acoperire globală, chiar și cu mișcarea constantă a aeronavei.

Trecere secvențială între sateliți:

- Liniile descendente (ex: de la satelitul 66 la 61, apoi 56 etc.) arată că aeronava a fost preluată progresiv de sateliți din același plan orbital.

Suprapunere între sateliți:

- În anumite momente, mai mulți sateliți au acces simultan la aeronavă. Asta este benefic pentru redundanță și siguranța transmisiei.

Momente fără acces:

- Spațiile goale pe verticală pot indica momente scurte în care niciun satelit nu avea unghi favorabil, însă acestea sunt rare și scurte.

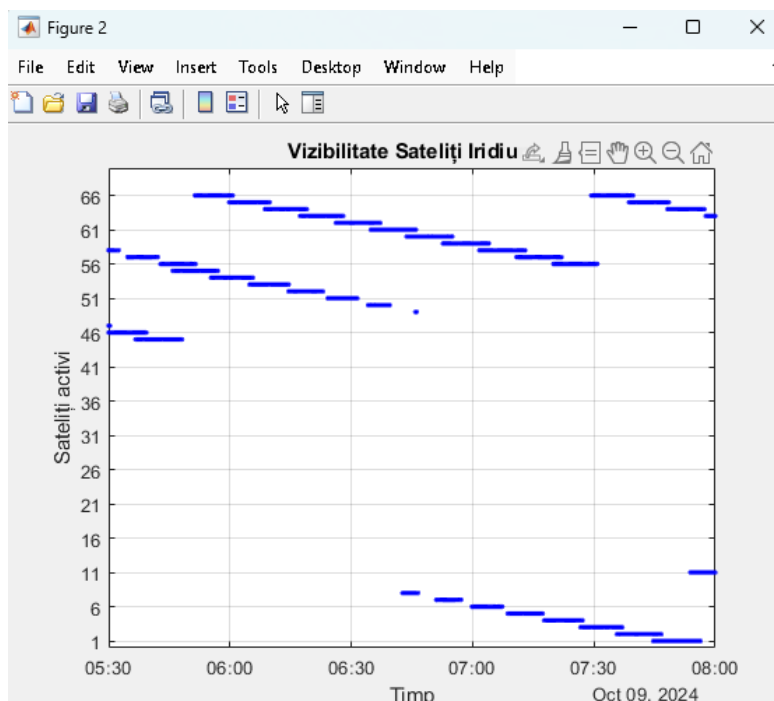


Figura 5.5. Grafic vizibilitate sateliți

6. Concluzii

Proiectul Aircraft-to-Satellite Communication for ADS-B Out a demonstrat viabilitatea unei soluții moderne de monitorizare a zborurilor prin utilizarea rețelei de sateliți Iridium și a sistemului ADS-B Out. Într-un context în care acoperirea terestră este limitată, soluțiile satelitare devin esențiale pentru asigurarea unei supravegheri continue și fiabile a traficului aerian.

Abstract a introdus scopul proiectului: realizarea unei simulări care să arate cum semnalele ADS-B emise de o aeronavă pot fi recepționate de sateliți Iridium în lipsa infrastructurii terestre. A fost stabilit obiectivul principal – obținerea unei comunicații continue între o aeronavă și rețeaua spațială pe o rută reală de zbor.

Stadiul actual a prezentat trei lucrări relevante din literatura de specialitate care confirmă direcția aleasă de proiect. Aceste surse au validat potențialul sistemelor satelitare în completarea sau înlocuirea infrastructurii clasice de supraveghere.

Fundamentare teoretică a oferit o bază solidă de cunoștințe despre tehnologia ADS-B, rețelele satelitare și parametri implicați în analiza comunicației. Au fost explicate detalii despre constelația Iridium, funcționarea senzorilor conici și modelarea comunicațiilor radio, oferind contextul teoretic necesar pentru înțelegerea implementării.

Implementare a detaliat modul în care proiectul a fost construit în MATLAB, pornind de la un scenariu de zbor între două aeroporturi reale. S-au explicat pașii de configurare a traiectoriei aeronavei, modelarea constelației Iridium, alegerea antenelor, configurarea linkurilor ADS-B și integrarea unei interfețe grafice (GUI) prietenoase pentru utilizator. De asemenea, s-au inclus funcții suplimentare pentru afișarea traiectoriei, a vizibilității sateliților și a marjei de semnal, care au contribuit la o simulare completă și interactivă.

Rezultate a prezentat vizual evidențele obținute în urma simulării. S-a demonstrat că aeronava are acces vizual limitat la stațiile terestre, dar menține constant vizibilitatea față de sateliții Iridium. Graficul marjei de semnal a confirmat că transmisia ADS-B rămâne în parametri acceptabili pe toată durata zborului, iar vizualizările 3D și pe hartă au susținut corectitudinea traiectoriei și acoperirii.

În ansamblu, proiectul atinge cu succes obiectivul propus: validarea unei soluții de comunicație continuă pentru aeronave, folosind infrastructura satelitară Iridium. Această abordare este deosebit de relevantă pentru zborurile peste oceane, regiuni polare sau teritorii fără acoperire radar. Mai mult, proiectul propune o arhitectură modulară, ușor de extins pentru studii ulterioare privind securitatea transmisiunii, interferențe sau integrarea cu rețele 5G.

Astfel, se poate concluziona că viitorul monitorizării traficului aerian depinde de fuziunea inteligentă între comunicațiile terestre și cele spațiale, iar simularea realizată în acest proiect reprezintă un pas concret în direcția acestui viitor.

7. Bibliografie

- [1] M. Strohmeier, D. Moser, M. Schafer, V. Lenders and I. Martinovic, "On the Applicability of Satellite-Based Air Traffic Control Communication for Security," *IEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 9, pp. 79-85, 2019.
- [2] K. Baker, "Space-Based ADS-B: Performance, Architecture and Market," *2019 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 2019.
- [3] X. Zhang, J. Zhang, S. Wu, Q. Cheng and R. Zhu, "Aircraft monitoring by the fusion of satellite and ground ADS-B data," *Acta Astronautica*, vol. 143, pp. 398-405, 2018.
- [4] R. M., *Virtual Radar Explained*, Radio Society of Great Britain, 2010.
- [5] S. M. L. V. M. I. Delovski B., "ADS-B over Satellite: The world's first ADS-B receiver in Space," 2014.
- [6] L. V. M. I. Strohmeier M., "On the Security of the Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Protocol," 2013.
- [7] MathWorks, "Aircraft-to-Satellite Communication for ADS-B Out".
- [8] I. Communications, "Iridium Satellite Constellation," 2025.
- [9] A. LLC, "It's Just ADS-B," 2025.