

PROGRAM DE STUDIU CALCULATOARE

LUCRARE DE LICENȚĂ

Compensarea efectului Doppler în
radiocomunicațiile satelitare LEO
aplicată radioreceptoarelor SDR Web

ÎNDRUMĂTORI ȘTIINȚIFICI,

as. univ. dr. ing. Eugen DODIU

ABSOLVENT,

Georgel-Claudiu APETRII

Suceava, 2025

Declarație

privind originalitatea proiectului de finalizare studii

Subsemnatul, Apetrii Georgel-Claudiu, cu domiciliul în Panaci, jud. Suceava, str. Șestina de jos, nr. 1, născut la data de 02.10.2000, identificat(ă) prin CI, seria XV, nr. 324332 absolvent al Universității „Ștefan cel Mare” din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, programul de studii CALCULATOARE, între anii 2019 - 2024, declar pe propria răspundere, cunoscând prevederile legale cu privire la falsul în declarații și dispozițiile Legii învățământului superior nr. 199/2023 referitoare la plagiat, că lucrarea intitulată Compensarea efectului Doppler în radiocomunicațiile satelitare LEO, aplicată radioreceptoarelor SDR Web, pe care urmează să o susțin în fața comisiei este originală, îmi aparține și îmi asum ca autor conținutul său în întregime. De asemenea, declar că sunt de acord ca lucrarea mea să fie verificată prin orice modalitate legală, pentru confirmarea originalității, consimțind inclusiv la introducerea conținutului său într-o bază de date în acest scop.

Am luat la cunoștință faptul că îmi este interzisă comercializarea / transmiterea lucrării mele către un terț în vederea facilitării falsificării de către acesta a calității de autor al lucrării.

Data azi, 03.09.2025, în fața noastră:

Coordonator științific,
Prof. univ. dr. ing. Ovidiu SCHIPOR

Absolvent,
Georgel-Claudiu APETRII

Cuprins

Cuprins	1
Listă de figuri	2
1. Abstract	3
2. Rezumat.....	4
3. Introducere	5
4. Sateliți artificiali. Comunicații spațiale.....	6
4.1. Efectul Doppler-Fizeau în contextul comunicațiilor spațiale.....	8
5. Receptoare pentru radiocomunicații. Compensarea efectului Doppler.....	9
6. Radioreceptoare cu control la distanță	11
6.1. WebSDR.....	13
6.2. OpenWebRx.....	15
6.3. KiwiSDR	15
7. Metode de compensare a efectului Doppler pentru SDR Web de către administrator	17
8. Metode de compensare a efectului Doppler pentru SDR Web de către utilizator	19
8.1. Abordări existente și limitările lor	19
8.2. Orbitune – O soluție modernă pentru controlul OpenWebRx.....	20
8.2.1. Tehnologii utilizate	20
8.2.2. Arhitectura și funcționarea	20
9. Concluzii și direcții viitoare	25
9.1. Principalele realizări ale acestui proiect.....	25
9.2. Direcții viitoare de dezvoltare	25
10. Bibliografie și referințe	27

Listă de figuri

Figura 1: Opacitatea atmosferică. Ferestrele radio și optică [1]	6
Figura 2: Clase de orbite ale sateliților artificiali	7
Figura 3: Deviația de frecvență în funcție de unghiul de elevație [3]	8
Figura 4: Exemplificare Orbitron → CAT radioreceptor (SDRuno) [5]	10
Figura 5: Exemplificare Orbitron → SDR# (Plugin) [6]	10
Figura 6: : Interfața web de control a lui Jeff Chilton pentru radioreceptorul Drake R8 [7]	11
Figura 7: Interfața web de control HTML5 a lui Jeff Chilton pentru receptorul Drake R8 [8]	12
Figura 8: Interfața web a rețelei GlobalTuners [9]	12
Figura 9: Interfața aplicației de Android GlobalTuners	12
Figura 10: Interfața web a serverului WebSDR CAMRAS [10]	13
Figura 11: Interfața web simplificată a unui server WebSDR [12]	14
Figura 12: Interfața aplicației de Android Pocket RxTx [13]	14
Figura 13: Interfața web a serverului OpenWebRx USV	15
Figura 14: Interfața aplicației de android Skywave Schedules pentru rețeaua KiwiSDR	16
Figura 15: Receptor SDR IF-DSP soundcard USV 2012	17
Figura 16: Interfața web a serverului WebSDR din cadrul USV 2012	17
Figura 17: Interfața web a serverului OpenWebRx comandat de aplicația Gpredict [18]	18
Figura 18: Interfața și modul de utilizare al aplicației Orbitron2WebSDR [19]	19
Figura 19: Schema bloc a arhitecturii aplicației Orbitune	20
Figura 20: Interfața aplicației Orbitune la prima deschidere	21
Figura 21: Interfața aplicației Orbitune după configurarea automată a Orbitron	22
Figura 22: Interfața aplicației Orbitune unde se pot adăuga servere SDR Web	23
Figura 23: Interfața aplicației Orbitune cu radioreceptorul SDR Web USV deschis	23
Figura 24: Interfața Orbitron care comunică cu Orbitune datele ISS	24
Figura 25: Interfața aplicației Orbitune comunicând cu Orbitron și SDR-ul Web	24

1. Abstract

Access to Low Earth Orbit (LEO) satellite communications has been democratized by Web SDR platforms, yet a major technical challenge for users remains the compensation of the Doppler effect. High orbital velocities induce significant and continuous frequency shifts which, in the absence of automatic correction, lead to signal loss. Manually managing this process is imprecise and inefficient.

This thesis proposes a software solution to this problem through the design and implementation of the desktop application **Orbitune**. It serves as a bridge between the satellite tracking software, Orbitron, and the open-source receiver platform, OpenWebRx. Developed using modern technologies such as the Tauri framework and the Rust language, the application receives real-time tracking data from Orbitron via the DDE (Dynamic Data Exchange) protocol. This data is then used to control the tuning frequency of the OpenWebRx receiver through a non-intrusive JavaScript injection method, automatically keeping the signal of interest centered throughout the pass.

The result is a functional, robust, and intuitive solution that includes an automatic configuration mechanism for Orbitron, eliminating the need for manual user intervention. Orbitune successfully automates the client-side Doppler correction process, significantly improving the user experience and providing a valuable practical tool for the amateur radio community and for educational purposes.

2. Rezumat

Accesul la comunicațiile cu sateliți de pe orbite joase (LEO) a fost democratizat de platformele SDR Web, însă o provocare tehnică majoră pentru utilizatori rămâne compensarea efectului Doppler. Viteza orbitală ridicată induce deviații de frecvență semnificative și continue, care, în absența unei corecții automate, duc la pierderea semnalului. Gestionarea manuală a acestui proces este imprecisă și inefficientă.

Prezenta lucrare propune o soluție software la această problemă prin proiectarea și implementarea aplicației desktop **Orbitune**. Aceasta servește ca o punte de legătură între programul de predicție a traiectoriilor sateliților, Orbitron, și platforma de recepție open-source OpenWebRx. Dezvoltată cu ajutorul tehnologiilor moderne precum framework-ul Tauri și limbajul Rust, aplicația recepționează în timp real datele de urmărire de la Orbitron prin protocolul DDE (Dynamic Data Exchange). Ulterior, aceste date sunt utilizate pentru a comanda, printr-o metodă non-intruzivă de injectare JavaScript, frecvența de acord a receptorului OpenWebRx, menținând semnalul de interes centrat în mod automat pe toată durata trecerii.

Rezultatul este o soluție funcțională, robustă și intuitivă, care include un mecanism de configurare automată a Orbitron, eliminând necesitatea intervenției manuale a utilizatorului. Orbitune automatizează cu succes procesul de corecție Doppler la nivel de client, îmbunătățind semnificativ experiența de utilizare și oferind o unealtă practică valoroasă pentru comunitatea radioamatorilor și în scopuri educaționale.

3. Introducere

De la lansarea primului satelit artificial, Sputnik-1, comunicațiile spațiale au evoluat de la un domeniu exclusivist, rezervat agențiilor guvernamentale, la o arie accesibilă unui public larg format din radioamatori, cercetători, studenți și pasionați de tehnologie. În special sateliții de pe orbite joase (LEO - Low Earth Orbit), precum cei meteorologici din seria NOAA, Stația Spațială Internațională (ISS) sau numeroșii sateliți educaționali, oferă un flux constant de date valoroase, a căror recepție a fost simplificată radical odată cu apariția tehnologiei SDR (Software Defined Radio).

Revoluția SDR a mutat complexitatea procesării semnalelor din componente hardware dedicate în software flexibil, permițând unui calculator personal să funcționeze ca un radioreceptor avansat. Un pas înainte în democratizarea accesului a fost făcut prin dezvoltarea serverelor SDR Web, precum WebSDR, KiwiSDR și platforma open-source OpenWebRx. Aceste sisteme permit oricărui utilizator cu o conexiune la Internet să acceseze și să controleze de la distanță receptoare performante, amplasate în diverse locații geografice, eliminând necesitatea de a deține echipamente și antene costisitoare.

Cu toate acestea, accesibilitatea aduce cu sine o provocare tehnică fundamentală atunci când vine vorba de urmărirea sateliților LEO: efectul Doppler. Datorită vitezei orbitale ridicate, de aproximativ 7,8 km/s, frecvența aparentă a semnalului recepționat de la un satelit variază continuu și semnificativ pe parcursul unei treceri. Fără o corecție automată și precisă a acestei deviații, semnalul se deplasează în afara benzii de trecere a receptorului, ducând la pierderea datelor. Pentru utilizatorul obișnuit al unei platforme SDR Web, compensarea acestui efect devine o sarcină manuală, imprecisă și frustrantă, care diminuează considerabil valoarea educațională și practică a recepției.

Prezenta lucrare de licență abordează direct această problemă. Obiectivul principal este proiectarea, dezvoltarea și validarea unei soluții software care să automatizeze compensarea efectului Doppler la nivel de client pentru utilizatorii platformei OpenWebRx. Scopul este de a oferi o unealtă robustă și intuitivă care să permită urmărirea facilă a sateliților, transformând o activitate complexă într-o experiență fluidă și accesibilă.

Partea centrală a tezei este dedicată prezentării soluției originale propuse: aplicația **Orbitune**. Acest capitol detaliază arhitectura software, tehnologiile moderne utilizate (Tauri, Rust, Vue.js), mecanismul de comunicare cu programul de predicție Orbitron și metoda de control a receptorului OpenWebRx.

Prin dezvoltarea aplicației **Orbitune**, această lucrare nu se limitează la o analiză teoretică, ci oferă o contribuție practică și imediat utilizabilă comunității de entuziaști ai radiocomunicațiilor spațiale.

4. Sateliți artificiali. Comunicații spațiale.

De la debutul erei spațiale, marcat de lansarea primului satelit artificial al Terrei, Sputnik-1, explorarea spațiului cosmic a fost strâns legată de domeniul radiocomunicațiilor. Astăzi, comunicațiile cu sateliți artificiali și cu sondele spațiale sunt realizate aproape în exclusivitate prin unde radio (radio window = fereastra radio), experimente fiind efectuate și în domeniul optic (optical window = fereastra optică), infraroșu și lumină vizibilă, domeniu de viitor în comunicațiile spațiale.

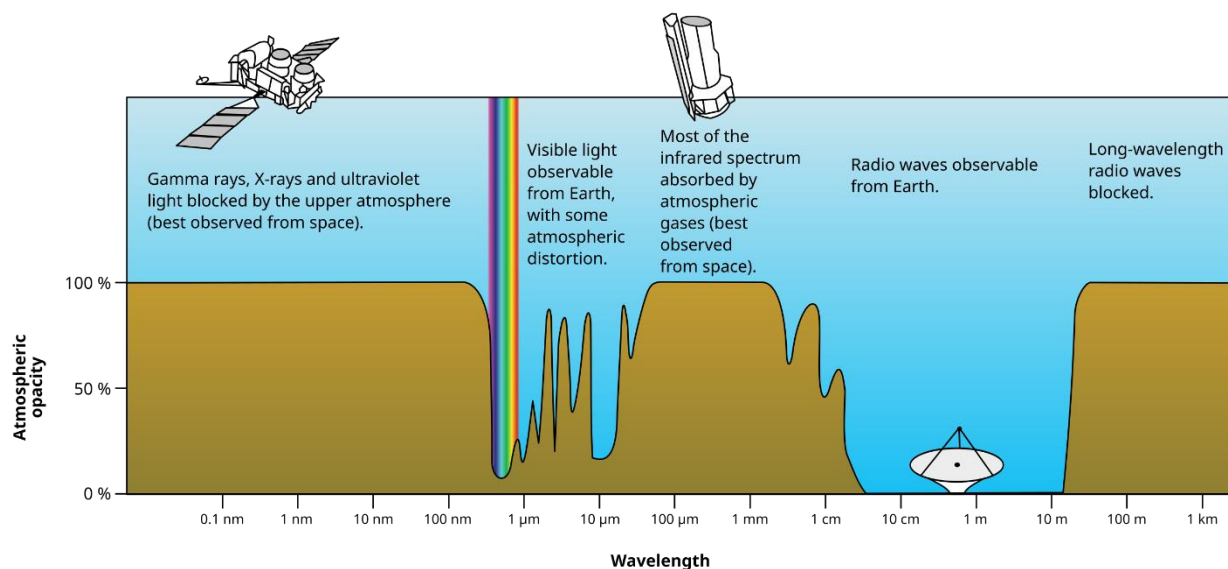


Figura 1: Opacitatea atmosferică. Ferestrele radio și optică [1]

Fereastra radio reprezintă o gamă de frecvențe ale radiațiilor electromagnetice care penetrează atmosfera Pământului. Limita inferioară a intervalului ferestrei radio are o valoare de aproximativ 10 MHz ($\lambda \approx 30$ m), iar, limită superioară extremă care poate fi atinsă din locurile optime de observare terestră este egală cu aproximativ 1 THz ($\lambda \approx 0,3$ mm) [1].

Limitele inferioară și superioară ale gamei de frecvențe ale ferestrei radio nu sunt fixe, ele depind de o varietate de factori: prezența ionosferei la limita inferioară, ale cărei proprietăți de reflexie/refracție depind de activitatea solară, ora zilei, anotimp, poziție geografică și absorbția atmosferică la limita superioară.

În funcție de altitudinea orbitei față de suprafața Pământului, sateliții artificiali se clasifică în patru categorii:

- LEO (Low Earth Orbit) Orbită joasă, 200 – 2.000 km altitudine.
- MEO (Medium Earth Orbit) Orbită medie, 2.000 - 35.786 km.
- GEO (Geostationary Orbit) Orbita geostaționară 35.786 km.
- HEO (Highly Elliptical Orbit) Orbite cu elipticitate/excentricitate mare.

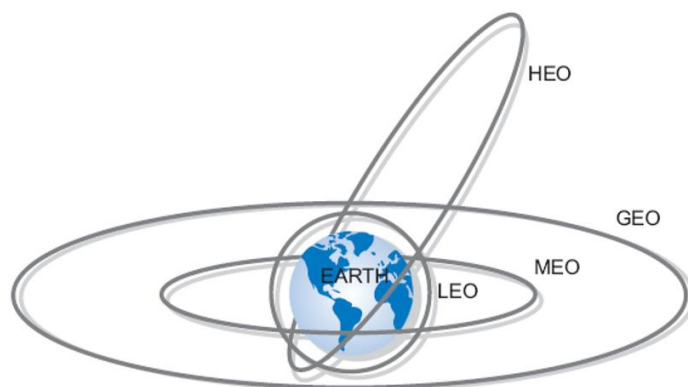


Figura 2: Clase de orbite ale sateliților artificiali

Tipul orbitei este determinat de misiunea principală a satelitului artificial.

Spre exemplificare, pe orbite joase LEO orbitează: Stația Spațială Internațională ISS (400 km altitudine), Telescopul Spațial Hubble (600 km), sateliții destinați studiului Terrei (NOAA, LANDSAT), constelația de sateliți StarLink (550 km), sateliți educaționali și de radioamatori.

Pe orbite medii MEO, regăsim constelațiile de sateliți pentru navigație globală GNSS (Global Navigation Satellite Systems): GPS, GLONAS, GALILEO.

Orbita geostaționară GEO (orbita Clarke), este populată cu sateliți de telecomunicații (Thuraya), televiziune via satelit, sateliți meteorologici (GOES, Meteosat).

Sistemele de radiocomunicații satelitare sunt formate din: componenta spațială (transceiver la bordul satelitului, antene) și componenta terestră (stații de sol - antene, radioreceptoare și emițătoare).

Fluxul de date de la sol către satelit este cunoscut sub denumirea de UPLINK, respectiv fluxul de date de la satelit la stația de sol, DOWNLINK.

În timp ce controlul satelitului este de cele mai multe ori apanajul operatorului satelitului, recepția este în anumite situații accesibilă publicului larg, în scop comercial sau educațional.

În funcție de cantitatea de date necesară a fi transmisă la sol, este ales și domeniul de frecvență cel mai potrivit pentru scopul propus, ținându-se cont de bilanțul energetic al conexiunii radio (link budget), bugetul energetic disponibil la bordul satelitului, lățimea de bandă ocupată.

Cu excepția sateliților geostaționari, toate celelalte vehicule spațiale se află în mișcare relativ la un observator terestru, frecvența semnalelor radio transmise și recepționate variind conform efectului Doppler-Fizeau.

4.1. Efectul Doppler-Fizeau în contextul comunicațiilor spațiale

Efectul Doppler-Fizeau este un fenomen fizic fundamental care descrie modificarea frecvenței aparente a unei unde pentru un observator care se află în mișcare relativă față de sursa unde. În viața de zi cu zi, acest efect este cel mai des exemplificat prin schimbarea tonului sirenei unei ambulanțe: pe măsură ce se apropie, sunetul pare mai acut (frecvență mai mare), iar pe măsură ce se îndepărtează, sunetul devine mai grav (frecvență mai joasă). Acest principiu se aplică tuturor tipurilor de unde, inclusiv undelor electromagnetice utilizate în radiocomunicații. În contextul comunicațiilor spațiale, mișcarea rapidă a sateliților pe orbită joasă (LEO) față de o stație de sol fixă generează o deviație Doppler semnificativă a semnalelor radio, constituind una dintre principalele provocări tehnice în proiectarea acestor sisteme.

Variația frecvenței aparente este direct proporțională atât cu frecvența de lucru, cât și cu componenta vitezei relative dintre sursă și observator de-a lungul liniei de vizare. O formulare simplificată a acestei deviații, valabilă atunci când viteza relativă este mult mai mică decât viteza luminii, este prezentată în ecuația următoare [2]:

$$\Delta f = (\Delta v / c) * f_0$$

unde:

- Δf reprezintă deviația de frecvență (în Hz).
- Δv este viteza relativă dintre satelit și terminalul de la sol.
- c este viteza luminii (aproximativ $3 \cdot 10^8$ m/s).
- f_0 este frecvența originală a semnalului emis de sursă.

În contextul comunicațiilor cu sateliți LEO, viteza relativă Δv nu este constantă. Ea variază pe parcursul trecerii satelitului pe cer, fiind maximă la orizont (când satelitul se apropie sau se depărtează cu viteză maximă) și devenind zero în punctul de elevație maximă, unde mișcarea satelitului este perpendiculară pe linia de vizare către observator. Această variație continuă a frecvenței descrie o curbă caracteristică în formă de "S" pe parcursul unei treceri vizibile a satelitului, așa cum este ilustrat în Figura 3, pentru un satelit cu orbită joasă LEO, aflat pe orbită circulară la altitudinea de 750 km [3].

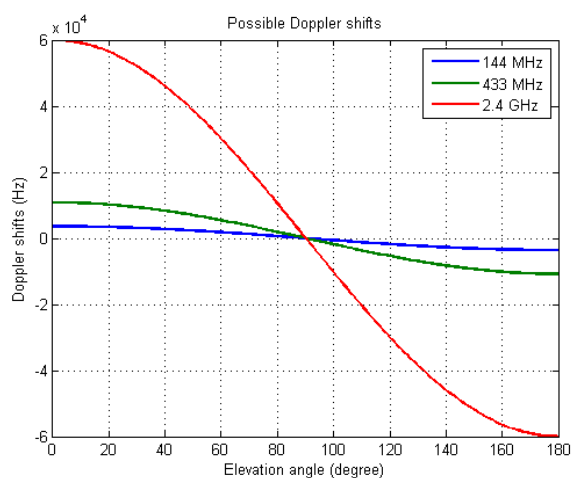


Figura 3: Deviația de frecvență în funcție de unghiul de elevație [3]

5. Receptoare pentru radiocomunicații. Compensarea efectului Doppler.

O componentă importantă a stațiilor de sol o reprezintă radioreceptoarele, care asigură accesul la datele telemetrice privind starea satelitului și la datele experimentale specifice misiunii (imagini, viteza vântului și temperatura în atmosfera terestră etc.).

Din perspectiva implementării practice / arhitecturii hardware, se disting două clase de radioreceptoare:

- Radioreceptoare clasice, la care blocurile funcționale (schimbare de frecvență, filtrare, demodulare) sunt implementate cu componente electronice.
- Radioreceptoarele definite prin program SDR (Software Defined Radio), la care anumite blocuri funcționale sunt implementate software, domeniu care a luat avânt odată cu dezvoltarea tehnicii de calcul și a procesării digitale a semnalului DSP (Digital Signal Processing).

În prezent există două tipuri de receptoare SDR [4]:

- Receptoare SDR cu schimbare de frecvență IF-DSP (Intermediate Frequency – DSP) conversia de frecvență a semnalului RF de intrare pe o frecvență intermediară joasă, urmată de eșantionarea semnalului cu un convertor analogic-digital (ADC).
- Receptoare SDR cu conversie digitală directă DDC (Direct Digital Conversion) – conversia A/D (analogic/digital) a semnalului la frecvența de lucru.

Radioreceptoarele SDR cu schimbare de frecvență IF-DSP mai sunt cunoscute și sub denumirea de receptoare SDR hibride. Operațiunile ulterioare asupra semnalelor digitale rezultate în urma eșantionării sunt efectuate cu ajutorul programelor de procesare digitală a semnalelor DSP.

Radioreceptoarele SDR cu conversie digitală directă DDC sunt cunoscute și sub denumirea de receptoare SDR ideale sau cu frecvență intermediară nulă (Zero-IF), semnalul de la antenă, după o eventuală condiționare (filtrare, amplificare), fiind aplicat direct convertorului analogic/digital ADC de mare viteză.

Radioreceptoarele SDR IF-DSP de primă generație fac apel la placa de sunet stereo a calculatorului PC pentru eșantionarea semnalelor, utilizată pe post de ADC (AF-DSP = Audio Frequency DSP). Demodulatorul în cuadratură QSD (Quadrature Sampling Detector), sau mixerul Tayloe (cu capacități comutate) cum mai este cunoscut, furnizează la ieșire semnale în fază $I(t)$ și cuadratură $Q(t)$, semnale care sunt aplicate celor două intrări ale plăcii de sunet stereo a sistemului de calcul PC.

După digitizare toate procesele de filtrare, demodulare etc., sunt realizate de către programul de procesare DSP (SDR#, SDR Console, HDSDR, SDR Angel, GQRX).

Unul dintre avantajele receptoarele SDR constă în accesul nu doar la o frecvență fixă, ci la o bandă de frecvență mai largă, banda de bază IQ a receptorului (baseband), a cărei lățime este determinată de frecvența de eșantionare a convertorului ADC.

La stațiile de sol pentru comunicații satelitare, se compensează deviația de frecvență datorată efectului Doppler pe baza parametrilor orbitali ai satelitului, în funcție de frecvența de operare. Parametrii orbitali, cunoscuți sub denumire de elemente kepleriene (KEPS), descriu în detaliu mișcarea satelitului pe orbită și sunt disponibili (download) pe site-ul CelesTrack/NORAD.

Există o serie de programe destinate predicției trecerilor sateliților, care au implementat funcția de compensare a efectului Doppler la emisie și recepție, cele mai cunoscute fiind Orbitron și SDR Console - Windows, respectiv Gpredict - Linux.

Compensarea efectului Doppler este aplicabilă la acele radioreceptoare clasice prevăzute cu interfață CAT de control cu ajutorul calculatorului.



Figura 4: Exemplificare Orbitron → CAT radioreceptor (SDRuno) [5]

Receptoarele SDR pot fi controlate de către programul de predicție a trecerilor sateliților, prin intermediul unor interfețe software (plugin).

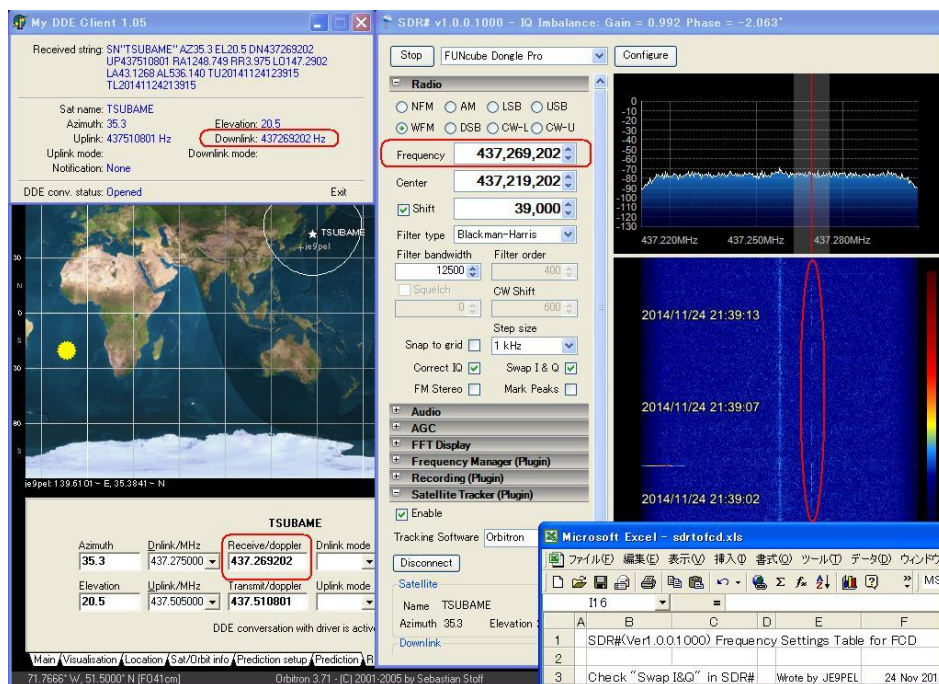


Figura 5: Exemplificare Orbitron → SDR# (Plugin) [6]

6. Radioreceptoare cu control la distanță

De la bun început, trebuie făcută distincția între posturile de “radio online”, care presupune transferul de date între calculatoare (audio stream = flux audio) prin rețeaua Internet, și sistemele de radiocomunicații fizice, antene și radioreceptoare/emițătoare, controlate de la distanță prin Internet (remote controlled = telecomandate).

În prezent există o varietate de metode de control via Internet a sistemelor de radiocomunicații de recepție/emisie bazate pe aplicații specifice (programe dedicate) sau controlate prin intermediul unei interfețe Web. Accesarea acestora se face pe bază de autentificare (user/password), sau direct, în cazul (majorității) sistemelor de recepție.

Recepția este permisă publicului larg, însă, emisia în eter presupune existența unei autorizații.

Capitolul tratează evoluția și stadiul actual în domeniul radioreceptoarelor controlate prin Internet.

Inițial au fost implementate receptoare Web bazate pe radioreceptoare clasice, acordate pe frecvența fixă a unor canale de interes (CB canalul 9 / 22, frecvența de ieșire a repetoarelor locale de radioamatori, etc.), fiind transferat via Internet doar streamul audio al semnalului demodulat.

Ulterior au fost conectate la Internet radioreceptoare prevăzute cu interfață de control cu ajutorul calculatorului CAT (Computer Aided Transceiver).

Primul astfel de radioreceptor online controlat via Internet a apărut în anul 1995, realizat de către radioamatorul american Jeff Chilton KM4QH, utilizând radioreceptorul **Drake R8** prevăzut cu interfață CAT serială RS232, sistem de operare openBSD și modem Internet [7].

Pe lângă stream-ul audio al semnalului demodulat, utilizatorul are control, prin interfața Web, asupra frecvenței recepționate (acord) și a altor parametri (mod de lucru, filtre, controlul automat al amplificării CAA, atenuator ATT).

A Web-controlled Shortwave Radio



[Live audio \(5 secs.\)](#) | [Compressed \(30 secs.\)](#) | [Last 25 frequencies](#) | [Tuning controls](#)

Current Receiver Tuning

Frequency:	5.00000*MHz
Modulation:	AM
IF Bandwidth:	4.0 KHz
Auto. Gain Control:	FAST
Attenuator/Preamp:	OFF
Sync. Detector:	OFF
Noise Blanker:	OFF

Figura 6: : Interfața web de control a lui Jeff Chilton pentru radioreceptorul Drake R8 [7]

În anul 2019 sistemul a fost reproiectat pentru mediul HTML5 [8].



Figura 7: Interfața web de control HTML5 a lui Jeff Chilton pentru receptorul Drake R8 [8]

În prezent este activă rețeaua GlobalTuners apărută în anul 2007, ca succesor al rețelei DxTuners, rețea care reunește radioreceptoare clasice cu control CAT cât și mai recente receptoare SDR [9].

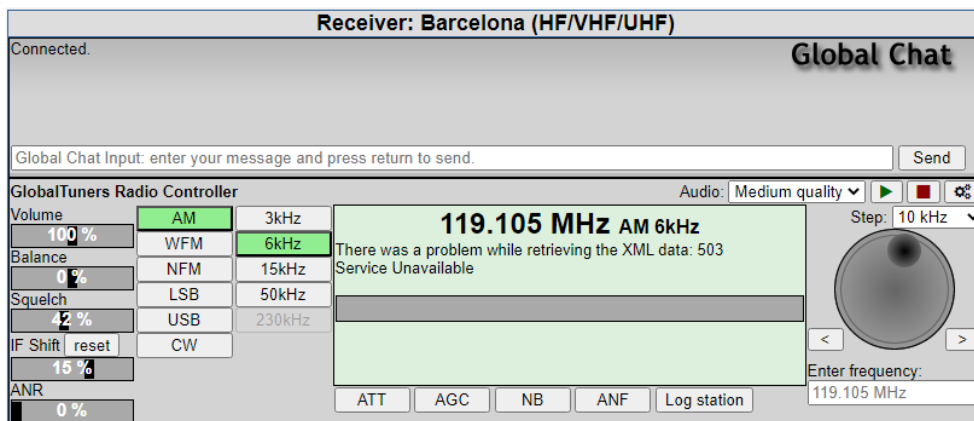


Figura 8: Interfața web a rețelei GlobalTuners [9]

Pentru accesarea acestei rețele de pe terminale Android, cu o interfață simplificată și ergonomică, este disponibilă aplicația GlobalTuners.

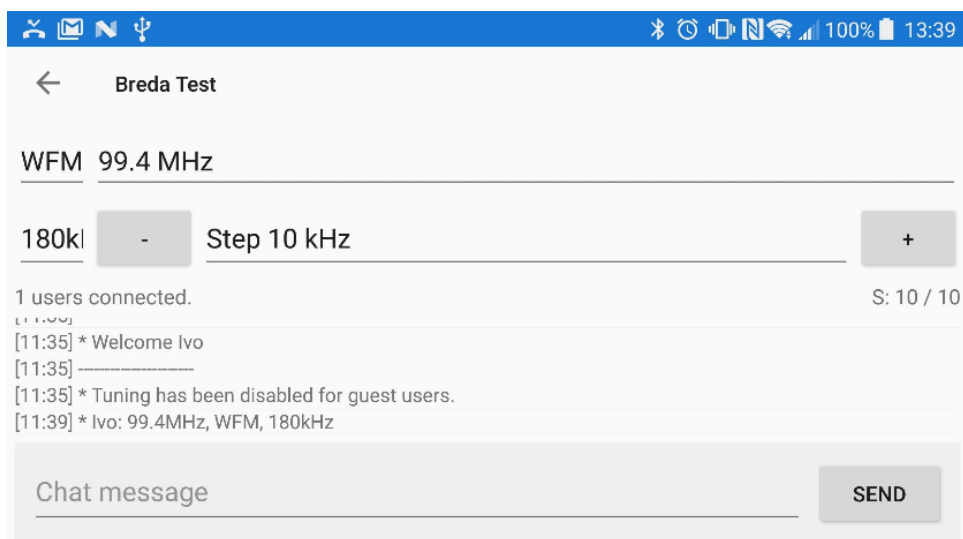


Figura 9: Interfața aplicației de Android GlobalTuners

Dezavantajul acestui tip de receptor Web, constă în faptul că, doar un singur utilizator are control asupra parametrilor la un moment dat, fiind recepționat un singur semnal, ceilalți utilizatorii conectați având acces la fluxul (streamul) audio al semnalului demodulat, care este același pentru toți.

Pentru a se evita coliziunile, este implementată o fereastră de discuții (Chat), pe care noul utilizator conectat este invitat să o folosească pentru a determina disponibilitatea receptorului respectiv.

6.1. WebSDR

Un salt important în acest domeniu la constituit apariția serverelor WebSDR, aplicație realizată în anul 2007 de către radioamatorul olandez Pieter-Tjerk de Boer PA3FWM, profesor asociat la Universitatea Twente [10].

Aplicația WebSDR permite accesul via Internet la banda de bază I/Q a unui receptor SDR, permițând multor utilizatori simultan să se acordeze independent, astfel recepționând semnale diferite, cu tipuri de modulație diferite.

Aplicația WebSDR a fost concepută în anul 2007, cu scopul inițial de a facilita accesul radioamatorilor la radiotelescopul Dwingeloo, cu reflectorul paraboloid de 25 m diametru, pentru recepția comunicațiilor EME (Earth-Moon-Earth = comunicații prin reflexii pe Lună) [11].

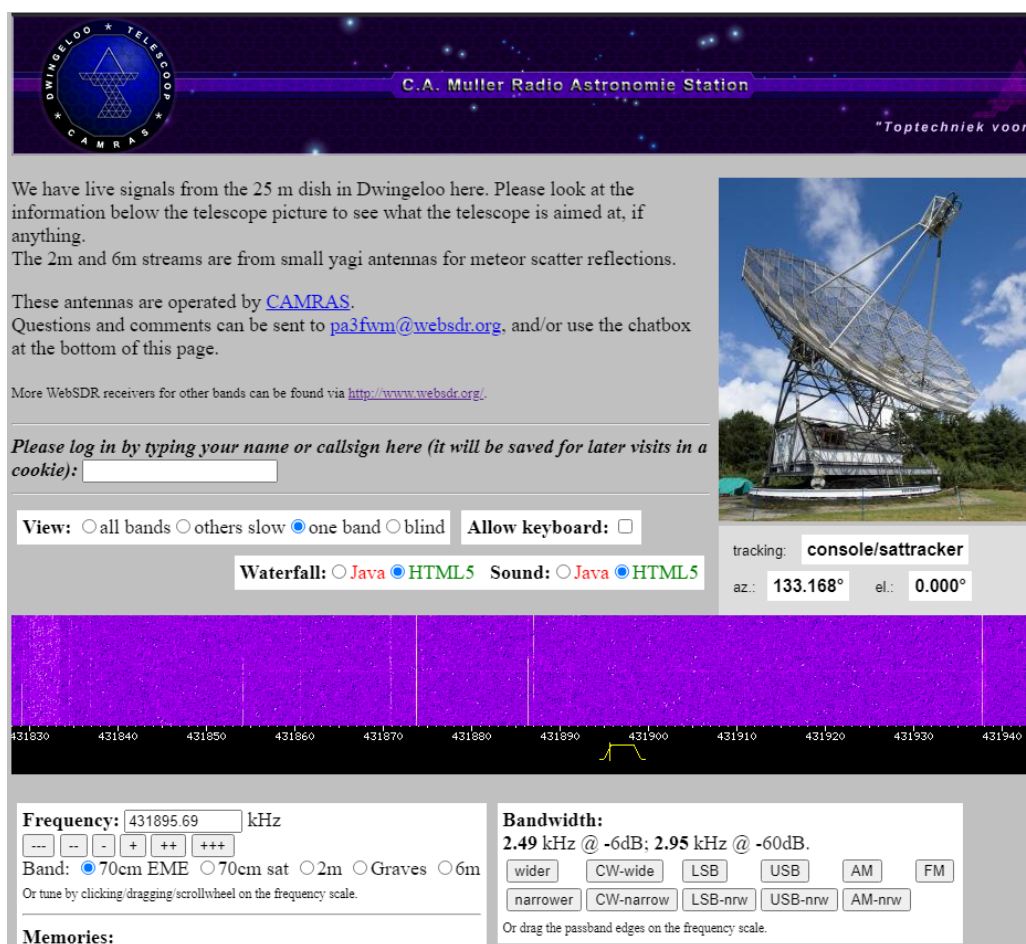


Figura 10: Interfața web a serverului WebSDR CAMRAS [10]

Există și o versiune Web simplificată, destinată accesării de pe terminalele Android cu ecrane de mici dimensiuni. Acordul frecvenței, extrem de facil, este realizat prin culisarea stânga/dreapta a ferestrei cascadă (waterfall) [12].

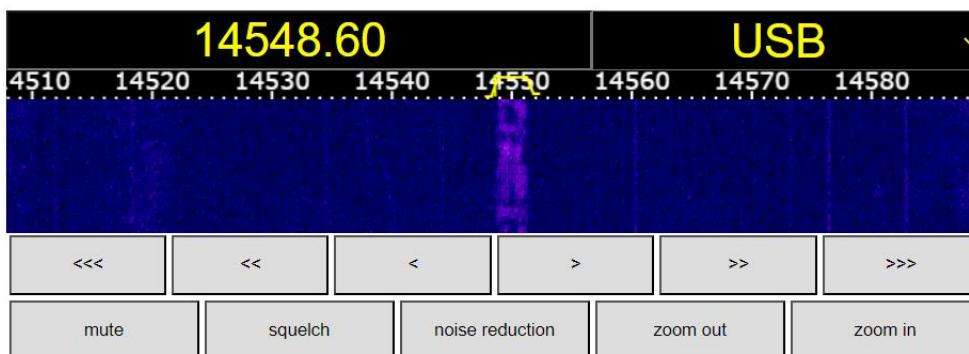


Figura 11: Interfața web simplificată a unui server WebSDR [12]

Serverul WebSDR rulează pe sisteme de calcul PC și minisisteme de calcul SBC ARM (RPi) cu sistem de operare Linux. Necesită o conexiune de Internet rapidă, cu o bandă de uplink de aproximativ 100 kbit/s pentru fiecare utilizator. Echipamentul radio poate fi, în expresia minimalistă, doar un mixer în cuadratură I/Q conectat la placa de sunet stereo a sistemului de calcul.

Rețeaua de radioreceptoare WebSDR, la momentul redactării lucrării, cuprindea 135 de servere active, cu 1892 utilizatori simultan și acoperind 676 MHz din spectrul radio [10].

Programatorul și radioamatorul român Dan Toma YO3GGX, a creat aplicația pentru terminale Android, Pocket RxTx, dedicată controlului la distanță a unui transceiver, dar care are și posibilitatea de a accesa rețeaua de receptoare WebSDR [13]



Figura 12: Interfața aplicației de Android Pocket RxTx [13]

Programul WebSDR este proprietar (cu sursă închisă).

6.2. OpenWebRx

Ca o reacție, a apărut aplicația open-source OpenWebRx, care a făcut obiectul tezei de licență a studentului și radioamatorului ungar András Retzler HA7ILM, de la Universitatea de Tehnologie și Economie din Budapesta [14].

Pe lângă accesul și acordul simultan independent a utilizatorilor, aplicația OpenWebRx include și o serie de decodare pentru semnale digitale.

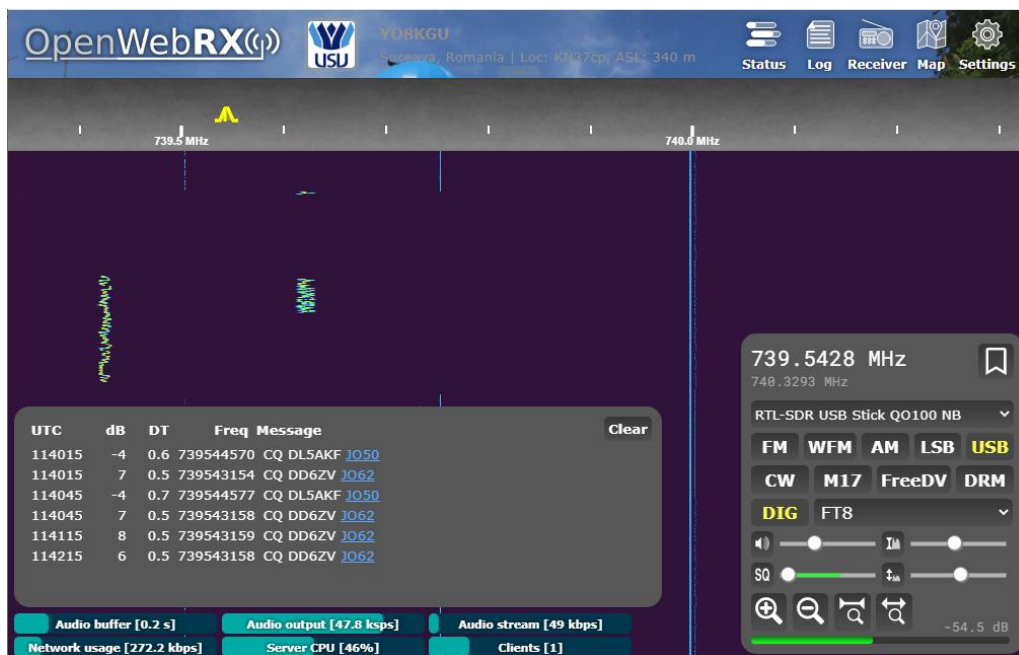


Figura 13: Interfața web a serverului OpenWebRx USV

Radioreceptoarele din rețeaua OpenWebRx pot fi accesate din lista cu receptoare sau harta cu amplasamentul geografic al acestora. [15]

Fiind un proiect open-source, a impulsionat apariția de versiuni optimizate și îmbunătățite [16].

6.3. KiwiSDR

Având la bază sursa OpenWebRx, a fost dezvoltat receptorul SDR Web KiwiSDR, compus din minisistemul de calcul SBC ARM Beaglebone și o placă de extensie (shield) dedicată. Aceasta conține un receptor SDR de bandă largă (0-30MHz) și un receptor GPS, și este disponibilă sub formă de kit.

Ca funcție suplimentară, este implementată determinarea poziției geografice a unei stații de emisie prin măsurarea diferenței de timp de sosire la multiple receptoare TDOA (Time Delay Of Arrival).

Aplicația Android Skywave Schedules, facilitează căutarea și selecția unui post de radiodifuziune recepționat prin rețeaua KiwiSDR.

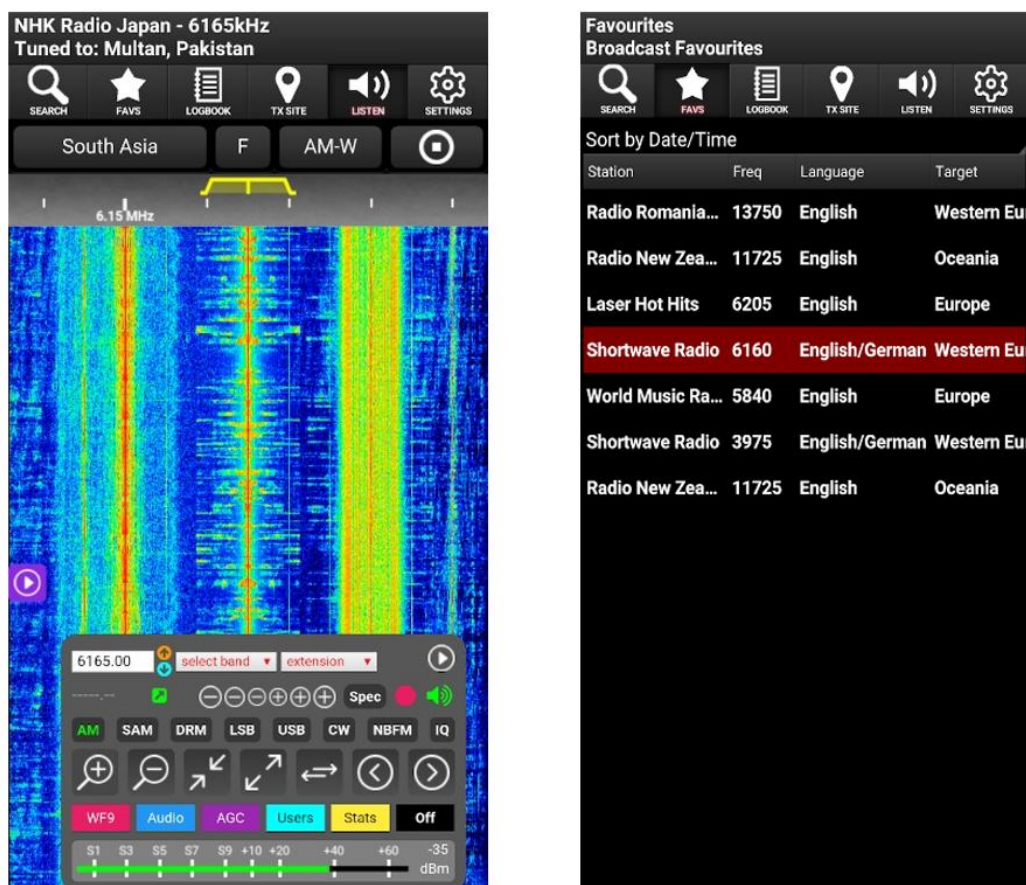


Figura 14: Interfața aplicației de android Skywave Schedules pentru rețeaua KiwiSDR

Toate cele trei rețele de radioreceptoare SDR Web - WebSDR / OpenWebRx / KiwiSDR - pot fi accesate de la adresa Rx-Tx.info [17]

Unele dintre aceste receptoare SDR Web, acoperă și benzile de frecvență alocate comunicațiilor via satelit: banda de 137 Mhz pentru comunicații ale sateliților meteorologici NOAA și METEOR, benzile de 145 MHz și 435 MHz alocate sateliților de radioamatori și educaționali, banda ISM 868 MHz pentru comunicații spațiale LoRa.

7. Metode de compensare a efectului Doppler pentru SDR Web de către administrator

În cazul receptoarelor SDR Web, compensarea efectului Doppler poate fi realizată local de către administratorul sistemului. Această abordare, deși funcțională, prezintă limitarea fundamentală că ajustarea se aplică centralizat, pentru un singur satelit la un moment dat.

O primă variantă este aplicabilă pentru receptoarele SDR Web, având în componența hardware un SDR de tipul IF-DSP, care utilizează ca prescaler sau adaptor panoramic (panadapter) un radioreceptor clasic cu interfață CAT.

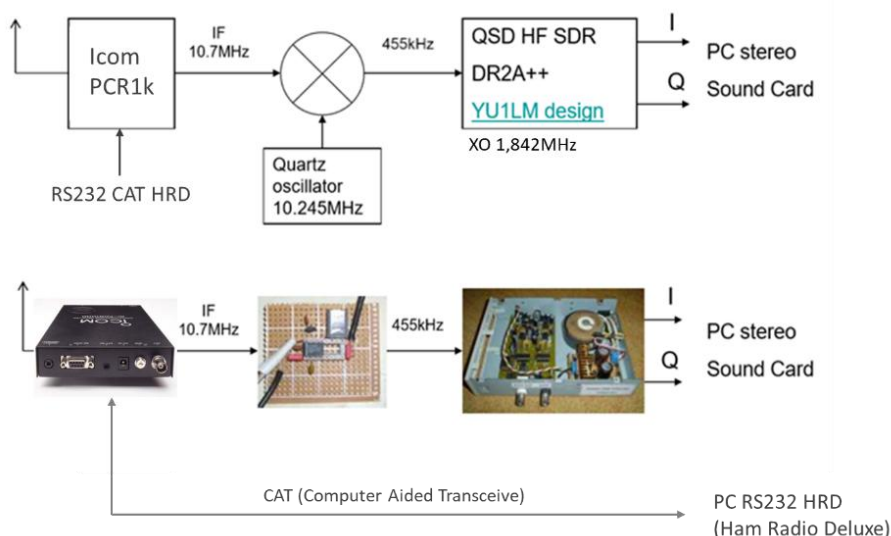


Figura 15: Receptor SDR IF-DSP soundcard USV 2012

O astfel de implementare a fost realizată la USV în 2012, unde un server WebSDR a fost dedicat recepției Stației Spațiale Internaționale (ISS). Frecvența oscilatorului local al receptorului era ajustată prin interfața CAT de un program de predicție, aducând semnalul de la ISS la o frecvență fixă în spectrul IQ partajat utilizatorilor.

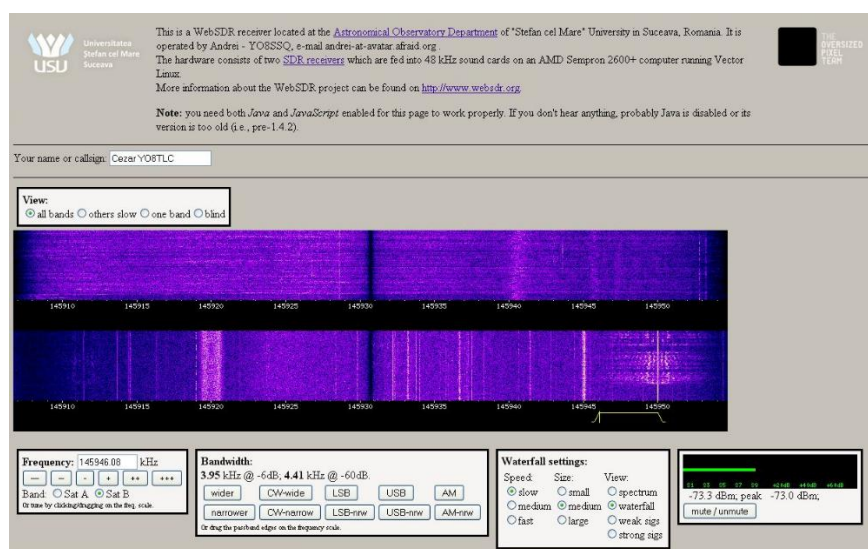


Figura 16: Interfața web a serverului WebSDR din cadrul USV 2012

O altă abordare, implementată la Universitatea de Tehnologie și Economie din Budapesta de către profesor asistent Levente Dudas HA7WEN, se aplică serverelor OpenWebRx. Aceasta utilizează un oscilator software comandat de aplicația Gpredict sub Linux, care modifică frecvența centrală a receptorului SDR. [18]

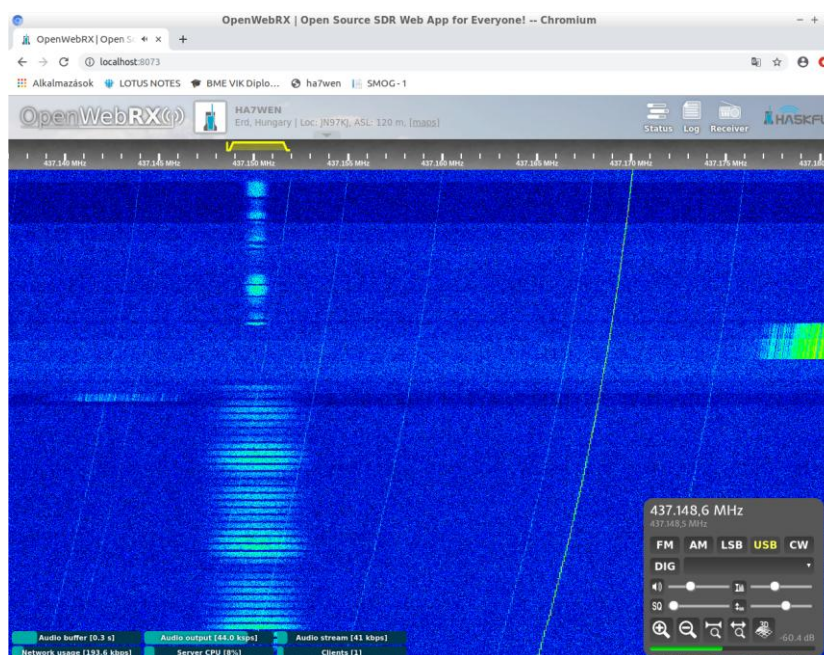


Figura 17: Interfața web a serverului OpenWebRx comandat de aplicația Gpredict [18]

Ambele sisteme permit tuturor utilizatorilor să recepționeze și să demoduleze semnalul unui singur satelit, a cărui frecvență este menținută constantă în fereastra de vizualizare. Dezavantajul major este că toate celelalte semnale din banda de bază sunt afectate de corecția Doppler aplicată, devenind inutilizabile pentru alți observatori interesați de alți sateliți. Această limitare face necesară dezvoltarea unor soluții la nivel de client.

8. Metode de compensare a efectului Doppler pentru SDR Web de către utilizator

Soluția ideală este aceea în care fiecare utilizator poate urmări independent sateliți diferiți în aceeași bandă de bază oferită de serverul SDR Web. Acest lucru presupune aplicarea unei corecții Doppler individuale, la nivel de client, prin trimiterea de comenzi de ajustare a frecvenței de acord către server.

Este de dorit ca utilizatorii să urmărească, în banda de bază, sateliți care emit pe frecvențe diferite și la care să facă corecția Doppler individual, prin trimiterea către serverul SDR Web a datelor de corecție a frecvenței de acord.

8.1. Abordări existente și limitările lor

O primă implementare notabilă în această direcție este aplicația WebSDR Cat-Control // Orbitron2WebSDR [19]. Lansată în 2022 la Universitatea de Științe Aplicate Aachen, Space Operations Facility (FHASOF), de către dipl. ing. Sasha Tholl, această aplicație realizează o punte între programul Orbitron și interfața WebSDR. Deși reprezintă un pas important, soluția se bazează pe tehnici de automatizare a browserului care pot fi instabile și depind de structura specifică a paginii web, fiind dificil de adaptat pentru alte platforme precum OpenWebRx sau KiwiSDR.

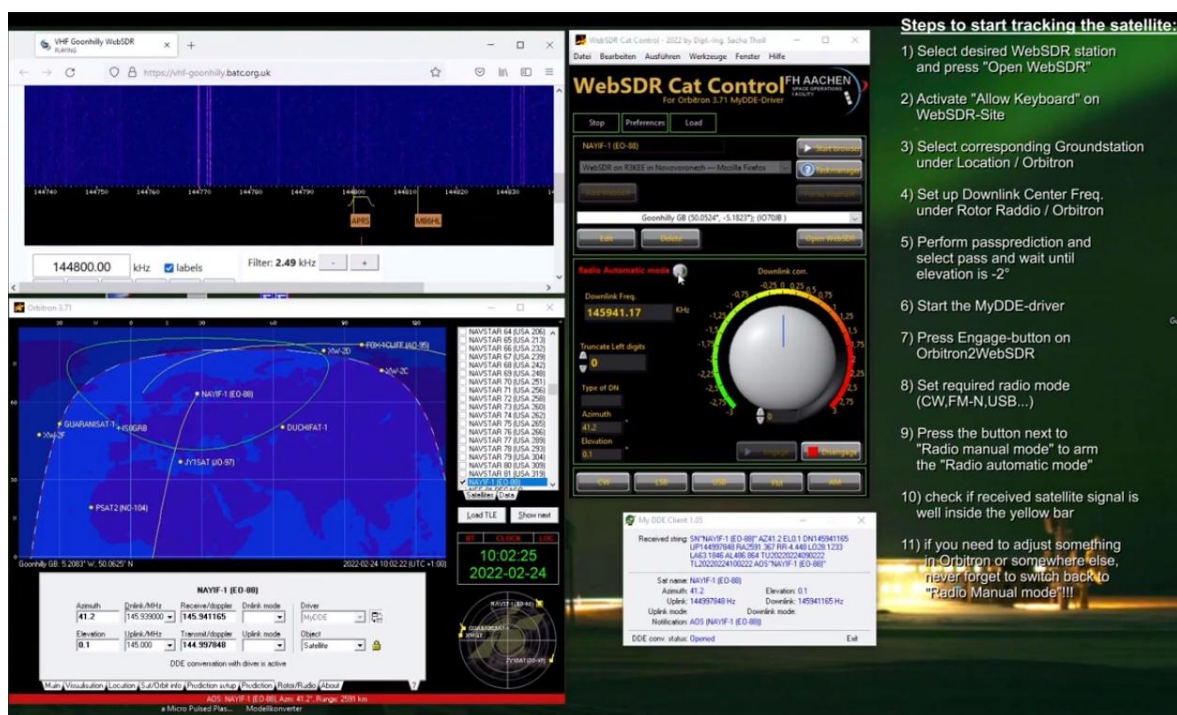


Figura 18: Interfața și modul de utilizare al aplicației Orbitron2WebSDR [19]

8.2. Orbitune – O soluție modernă pentru controlul OpenWebRx

Pentru a depăși limitările existente și a oferi o soluție robustă și specializată, în cadrul acestei lucrări a fost dezvoltată aplicația **Orbitune**. Aceasta este o aplicație desktop modernă, multi-platformă, care integrează programul de predicție a sateliților Orbitron cu receptoarele web de tip OpenWebRx pentru a realiza compensarea automată a efectului Doppler.

8.2.1. Tehnologii utilizate

Aplicația Orbitune este construită folosind framework-ul Tauri [20], care permite dezvoltarea de aplicații desktop folosind tehnologii web (HTML, CSS, JavaScript) pentru interfața grafică și un backend scris în limbajul de programare de înaltă performanță Rust. Această arhitectură hibridă oferă atât o interfață modernă și flexibilă (realizată cu Vue.js și Nuxt [21]), cât și versatilitatea și viteza necesare pentru comunicarea în timp real cu alte procese ale sistemului de operare.

8.2.2. Arhitectura și funcționarea

Orbitune acționează ca o punte de legătură între Orbitron și o instanță OpenWebRx. Fluxul de date este unidirecțional: Orbitron transmite datele de tracking, iar Orbitune le folosește pentru a comanda receptorul web. Comunicarea cu Orbitron se realizează prin protocolul DDE (Dynamic Data Exchange), un sistem de comunicare inter-proces specific sistemului de operare Windows.

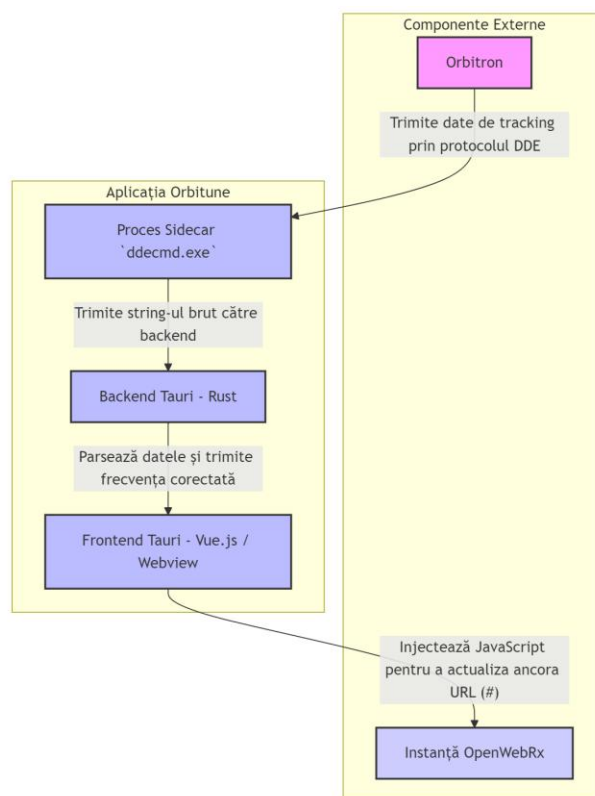


Figura 19: Schema bloc a arhitecturii aplicației Orbitune

Orbitune lansează un proces auxiliar (ddecmd.exe) care se abonează la serviciul DDE al Orbitron, pe topicul „TrackingItemEx”. Astfel, aplicația primește în timp real un șir de caractere ce conține informații esențiale: numele satelitului, azimut, elevație, și cel mai important, frecvența de downlink corectată Doppler.

Datele primite sunt apoi prelucrate și transmise către fereastra unde rulează instanța serverului SDR, fiind utilizate pentru a actualiza frecvența receptorului.

Unul dintre obiectivele cheie ale Orbitune a fost simplificarea procesului de instalare. Aplicația detectează automat calea de instalare a Orbitron prin citirea registrului Windows (HKEY_CURRENT_USER\Software\Stoff\Orbitron).

În cazul în care Orbitron nu este configurat să comunice cu un client extern, Orbitune oferă o funcție de configurare automată. Cu o singură apăsare de buton (și cu Orbitron închis), aplicația modifică fișierul Config/Setup.cfg din directorul Orbitron, adăugând propria sa cale de execuție în secțiunea [Drivers] și setând DDEdriver=Orbitune în secțiunea [System]. Acest mecanism elimină necesitatea configurării manuale și reduce riscul de erori.

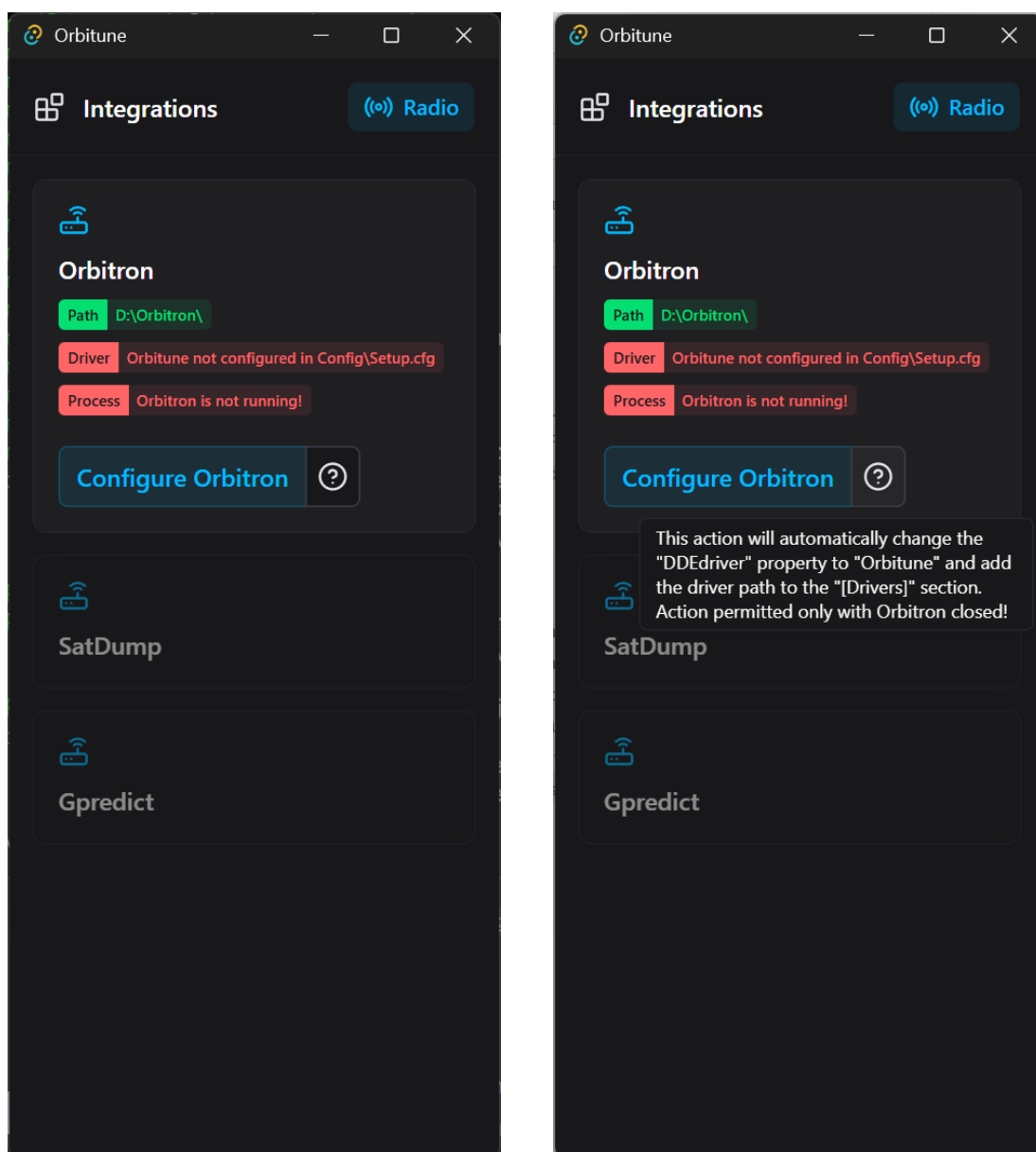


Figura 20: Interfața aplicației Orbitune la prima deschidere

Spre deosebire de alte soluții care automatizează un browser web standard, Orbitune utilizează funcționalitatea Webview oferită de Tauri. Aplicația deschide URL-ul specificat de utilizator pentru receptorul OpenWebRx într-o fereastră proprie, gestionată.

Controlul frecvenței se realizează printr-o metodă eficientă și non-intruzivă. Platforma OpenWebRx își actualizează starea (frecvență, modulație, etc.) pe baza parametrilor din ancora URL-ului. Orbitune profită de acest mecanism injectând și executând o scurtă comandă JavaScript care modifică `window.location.hash`.

De exemplu, pentru a acorda receptorul pe frecvența de 145.825 MHz în mod NFM, comanda injectată va actualiza ancora URL pentru a conține `freq=145825000` și `mod=nfm`. Această metodă este rapidă, fiabilă și independentă de modificările minore ale interfeței grafice a OpenWebRx. Aplicația permite, de asemenea, adăugarea unei corecții de frecvență manuale (în Hz) pentru a compensa eventualele decalaje ale oscilatorului local al receptorului SDR.

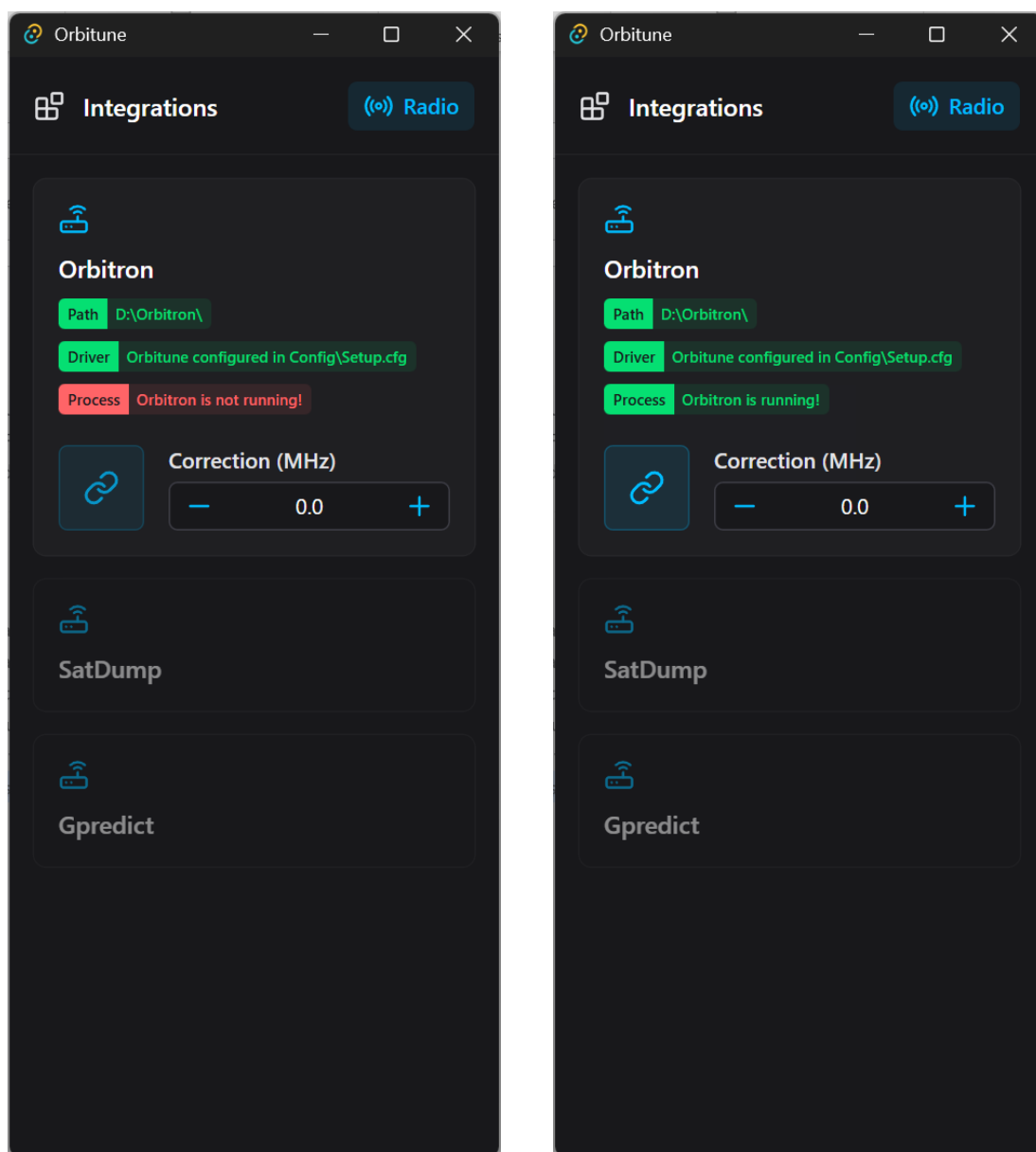


Figura 21: Interfața aplicației Orbitune după configurarea automată a Orbitron

Accesând butonul „Radio” este prezentată interfața unde pot fi adăugate sau șterse serverele SDR Web, care ulterior pot fi accesate printr-un singur click pentru a deschide fereastra radioreceptorului.

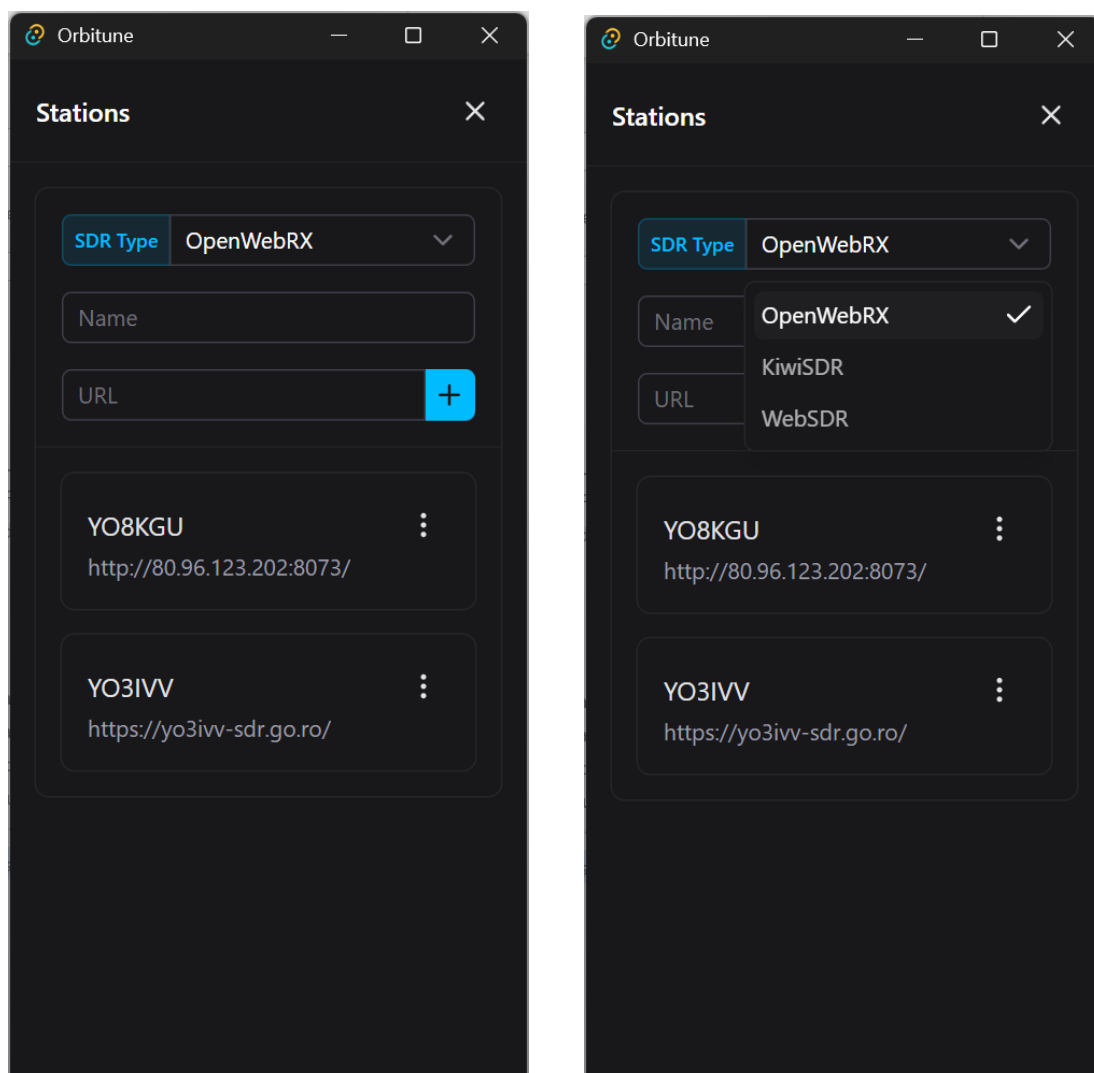


Figura 22: Interfața aplicației Orbitune unde se pot adăuga servere SDR Web



Figura 23: Interfața aplicației Orbitune cu radioreceptorul SDR Web USV deschis

Odată deschisă fereastra receptorului, aplicația este pregătită pentru a comunica cu Orbitron și a schimba frecvența în mod automat cu frecvența corectată Doppler.

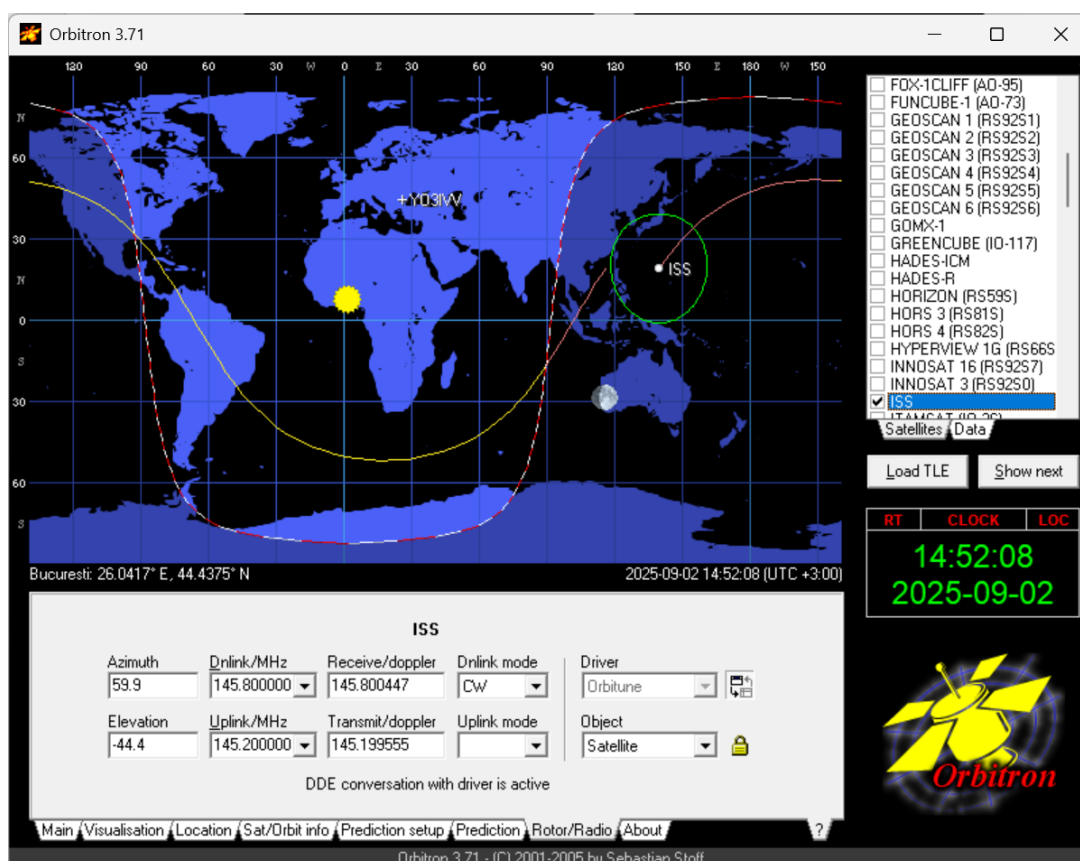


Figura 24: Interfața Orbitron care comunică cu Orbitune datele ISS

După apăsarea butonului marcat cu pictograma link, Orbitune începe să primească datele necesare și să modifice automat frecvența și modulația în fereastra Radio.

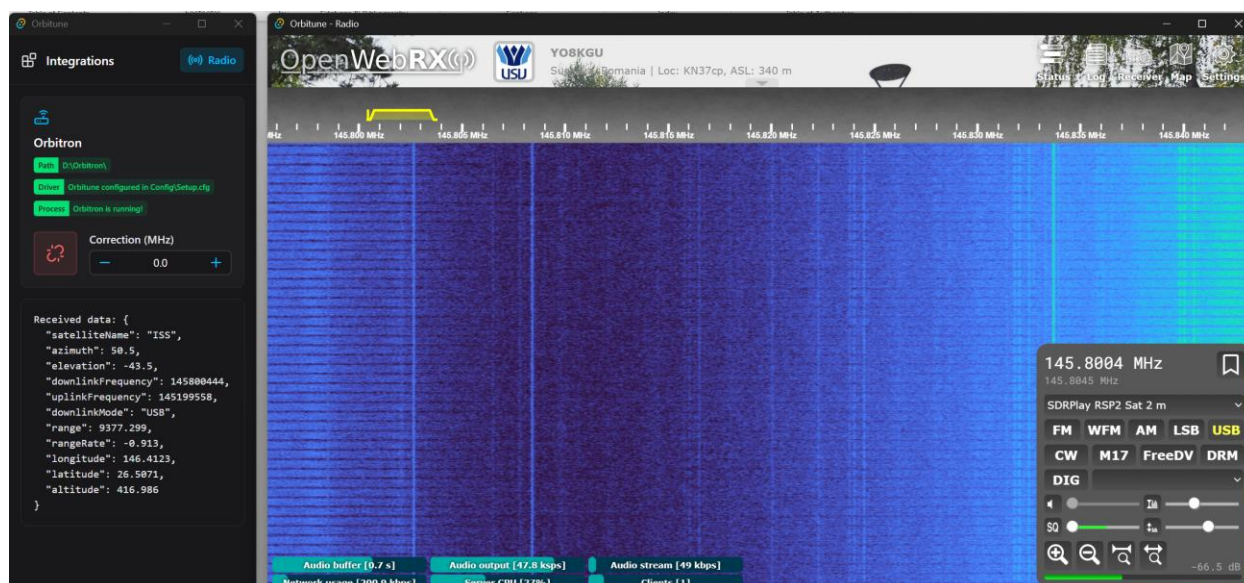


Figura 25: Interfața aplicației Orbitune comunicând cu Orbitron și SDR-ul Web

9. Concluzii și direcții viitoare

Era comunicațiilor definite prin software (SDR) și a platformelor de recepție web a eliminat numeroase bariere, oferind publicului larg acces fără precedent la spectrul radio. Cu toate acestea, pentru domeniul specific al recepției sateliților de pe orbite joase (LEO), provocarea tehnică impusă de efectul Doppler a rămas un obstacol semnificativ, transformând o activitate potențial fascinantă într-un proces manual, imprecis și adesea frustrant pentru utilizatorul final.

Această lucrare a pornit de la analiza acestei probleme și și-a propus să ofere o soluție practică și modernă. Contribuția centrală a tezei o constituie proiectarea și implementarea aplicației software Orbitune, o unealtă care automatizează complet procesul de compensare a efectului Doppler la nivel de client pentru platforma OpenWebRx. Prin crearea unei punți stabile între programul de predicție a sateliților Orbitron și interfața receptorului web, Orbitune a demonstrat cu succes că este posibilă transformarea unei sarcini complexe într-o experiență de utilizare fluidă și automată.

9.1. Principalele realizări ale acestui proiect

Spre deosebire de alte abordări bazate pe automatizarea browserului, Orbitune utilizează o metodă de control directă și stabilă, bazată pe tehnologii moderne, asigurând o funcționare fiabilă.

Prin implementarea unui mecanism de detecție și configurare automată a Orbitron, aplicația elimină pașii tehnici complicați, făcând tehnologia accesibilă și pentru utilizatorii mai puțin experimentați.

Proiectul a validat o arhitectură hibridă performantă, care combină o interfață grafică modernă cu un backend rapid și eficient, capabil să gestioneze comunicarea inter-proces în timp real.

În esență, Orbitune nu este doar un exercițiu academic, ci o unealtă practică ce aduce o valoare adăugată reală comunității de radioamatori și în scopuri educaționale, facilitând explorarea lumii comunicațiilor spațiale cu un efort minim.

9.2. Direcții viitoare de dezvoltare

Deși Orbitune își îndeplinește cu succes obiectivul propus, proiectul are un potențial considerabil de extindere. Principalele limitări actuale, legate de dependența de sistemul de operare Windows și de platformele software specifice, deschid calea pentru următoarele direcții de dezvoltare:

- Suport multi-platformă: Cea mai importantă evoluție ar fi implementarea unui driver de comunicație bazat pe TCP/IP. Acest lucru ar permite integrarea cu programe de predicție populare pe alte sisteme de operare, precum Gpredict sub Linux, transformând Orbitune într-o aplicație cu adevărat multi-platformă.
- Compatibilitate extinsă cu alte receptoare SDR Web: Arhitectura aplicației poate fi adaptată pentru a controla și alte platforme, precum KiwiSDR, care oferă un API bine

documentat, sau chiar WebSDR, deși aceasta din urmă ar necesita o abordare mai complexă, posibil prin intermediul unor extensii de browser.

- Implementarea acordului continuu a frecvenței în banda oferită de satelit

Continuarea dezvoltării pe aceste direcții ar putea transforma Orbitune dintr-o unealtă specializată într-o suită de control universală pentru recepția sateliților prin intermediul platformelor SDR Web.

Mulțumiri coordonatorului și îndrumătorului tezei, și în mod special membrilor radioclubului Universității Ștefan cel Mare din Suceava (YO8KGU) – dr. ing. Cezar-Eduard LEȘANU (YO8TLC), dr. ing. Adrian DONE (YO8AZQ).

10. Bibliografie și referințe

- [1] Wikipedia Contributors, “Radio window,” *Wikipedia*, Jul. 18, 2025. https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_window
- [2] D. N. Yll, “Doppler shift compensation strategies for LEO satellite communication systems,” 2018.
- [3] “File:SatDoppler.png - Wikipedia,” *Wikipedia.org*, 2017. <https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:SatDoppler.png> (accessed Sep. 02, 2025).
- [4] F. Cretu, *Radioreceptoare - Proiectare si scheme comentate*. Editura Tehnopress, 2007.
- [5] L. Milligan, “Orbitron to SDRUno interface,” *LloydM.net*, 2016. <https://lloydM.net/Demos/SDRuno.html> (accessed Sep. 02, 2025).
- [6] Mineo, “SDR#(Plugin),” *Www.ne.jp*, 2015. <http://www.ne.jp/asahi/hamradio/je9pel/sdrshdde.htm> (accessed Sep. 02, 2025).
- [7] Thomas, “Jeff’s Drake R8 has been online for 24 years and counting,” *The SWLing Post*, Dec. 06, 2019. <https://swling.com/blog/2019/12/jeffs-drake-r8-has-been-online-for-24-years-and-counting/> (accessed Sep. 02, 2025).
- [8] J. Chilton, “The Shortwave Listening Post - Online Shortwave Radio Receiver,” *Chilton.com*, 2019. <https://www.chilton.com/R8/receiver.html> (accessed Sep. 02, 2025).
- [9] “Receivers - GlobalTuners,” *GlobalTuners*, 2018. <https://www.globaltuners.com/receiver/list.php> (accessed Sep. 02, 2025).
- [10] P.-T. de Boer, “websdr.org,” *Websdr.org*, 2025. <http://websdr.org/>
- [11] P.-T. de Boer, “CAMRAS - WebSDR,” *Camras.nl*, 2025. <http://websdr.camras.nl:8901/> (accessed Sep. 02, 2025).
- [12] P.-T. de Boer, “Wide-band WebSDR in JO32KF - Mobile version,” *Utwente.nl*, 2020. <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/m.html> (accessed Sep. 02, 2025).
- [13] D. Toma, “Pocket RxTx Lite,” *Google.com*, 2021. <https://play.google.com/store/apps/details?id=ro.yo3ggx.rxtx> (accessed Sep. 02, 2025).
- [14] A. Retzler, “Software Defined Radio Receiver Application with Web-based Interface,” 2014.
- [15] “Receiverbook | Online Receiver Directory,” *Receiverbook.de*, 2025. <https://www.receiverbook.de/> (accessed Sep. 02, 2025).
- [16] “An OpenWebRX fork with additional built in decoders,” *rtl-sdr.com*, Mar. 09, 2023. <https://www.rtl-sdr.com/an-openwebrx-fork-with-additional-built-in-decoders/> (accessed Sep. 02, 2025).
- [17] “Map of SDR Receivers | World of Receivers and Transmitters,” *Rx-tx.info*, 2021. <https://rx-tx.info/map-sdr-points> (accessed Sep. 03, 2025).
- [18] L. Dudás, “SMOG-P and ATL-1 Reception,” 2020. Accessed: Sep. 03, 2025. [Online] . Available: <http://152.66.80.46/smog1/receivesmogpatl1/receivesmogpatl1.pdf>
- [19] Sacha Toll, “GitHub - sachatholl/Orbitron2WebSDR: This application is developed to track satellite radio signals via WebSDR, taking into account the Doppler shift by using the MyDDE driver of the satellite tracker ‘Orbitron.’,” *GitHub*, 2022. <https://github.com/sachatholl/Orbitron2WebSDR> (accessed Sep. 03, 2025).
- [20] Tauri contributors, “Tauri 2.0,” *Tauri*, 2024. <https://tauri.app>
- [21] Nuxt contributors, “Nuxt: The Intuitive Web Framework,” *Nuxt*. <https://nuxt.com/>