

ALGORITMUL DE CALCULUL A DEPLASĂRII FRECVENȚEI CAUZATE DE EFECTUL DOPPLER LA COMUNICAREA EARTH-MOON-EARTH

Valentin ILCO, masterand; Nicolai LEVINET, colaborator UTM

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: la efectuarea unei comunicări Earth-Moon-Earth(EME) are loc modificarea frecvenței de recepție în comparație cu frecvența de transmisie. Această modificare se explică prin apariția efectului Doppler cauzat de mișcarea transmițătorului și receptorului. Deoarece schimbarea frecvenței este variabilă în timp în lucrare se prezintă legitatea de variere a efectului Doppler.

Modificarea frecvenței în timp este reprezentată în formă de grafic obținut prin intermediul algoritmului implementat în limbajul C++. Calculul abaterii Doppler poate fi efectuat cu ajutorul datelor de intrare(UTC, frecvența de comunicare și coordonatele geografice a stației de recepție/transmisie). Algoritmul de calcul a abaterii Doppler a fost proiectat în formă de librărie și poate fi implementat pe microcontrolere sau aplicații PC.

Cuvinte cheie: Earth-Moon-Earth, Doppler, Azimuth, Elevation, comunicație, stație terestră, lună.

1. Introducere

Comunicare Earth-Moon-Earth(EME), cunoscută sub numele de moonbounce, a devenit o formă populară de comunicare a amatorilor prin spațiu. Conceptul este simplu: Luna este folosit ca un reflector pasiv de comunicare între două locații de pe Pământ (Figura 1). Comunicația dată poate fi efectuată la distanțe mari dar cu o viteză mică de comunicare. Deoarece distanța până la reflector(Lună) este mare(~385000 km), la realizarea unei comunicări EME apar pierderi enorme.

Se necesită utilizarea antenelor de putere și dimensiuni mari. Iar receptoarele trebuie să reducă la maxim zgomotul. Cu toate acestea, adoptarea unor tehnici moderne de codificare și modulare poate reduce semnificativ aceste cerințe. Astfel o comunicare prin intermediul EME prezintă neobișnuite probleme de proiectare a stațiilor.

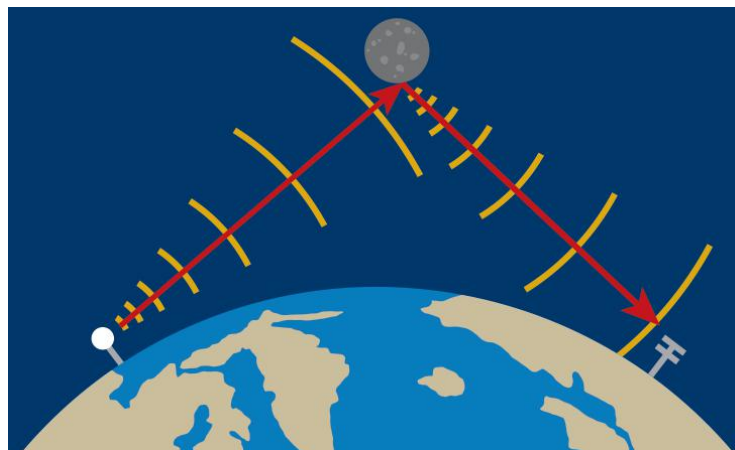


Figura 1 Metoda de comunicarea Earth-Moon-Earth

Semnalele EME sunt de asemenea, afectate de schimbări Doppler cauzate de mișcările relative ale Pământului și Lunii. Frecvențele primite pot fi mai mari sau mai mici decât cele transmise. Vitezele în cauză sunt, de obicei dominate de rotația Pământului, care la ecuator se ridică la aproximativ 460 m/s. Pentru auto-ecoul schimbare de frecvență va fi maximă și pozitivă la răsăritul lunii, și o valoare maximă negativă la apusul Lunii. Abaterea Doppler pentru stația de recepție constă din suma abaterilor Doppler a stației de transmisie și a stației de recepție. Pentru recepționarea ecoului abaterea Doppler se înmulțește la doi, pentru

perioada de transmisie și recepție. Valorile maxime a abaterilor sunt de aproximativ 440 Hz la 144 MHz, 4 kHz la 1,296 MHz și de 30 kHz la 10 GHz.

2. Algoritm de calcul a abaterii Doppler

Datele necesare pentru calculul abaterii de frecvență sunt: data, ora curentă, frecvența de comunicare și coordonatele geografice a stației. În Figura 2 este reprezentat algoritmul pentru calculul abaterii. După ce se calculează timpul universal (Formula 1) are loc apelul funcției de calcul a vectorilor de la centru Pământului până la Lună.

$$UT = \text{hour} + \text{min}/60 + \text{sec}/3600 \quad (1)$$

Ecuatia de bază pentru calculul abaterii Doppler:

$$f_r = f_t * C / (C+V) \quad (2)$$

Unde: f_r – este frecvența de recepție (RX); f_t – frecvența de transmisie (TX); C – viteza luminii și a undelor radio $3 \cdot 10^8$; V – viteza relativă între receptor și transmițător.

Dacă receptorul și transmițătorul se îndepărtează unul față de altul semnul este pozitiv ca și în formula 2. Iar dacă ei se apropie unul față de altul semnul devine negativ. Comunicarea EME este alcătuită din două căi: una pentru transmiterea semnalului către Lună și alta pentru recepția semnalului. Deplasarea totală de frecvență este produsul a acestor două căi:

$$f_r = f_t * [C / (C + V_t)] * [C / (C + V_r)] = f_t * C^2 / [C / (C + V_t)] * [C / (C + V_r)] \quad (3)$$

Unde: V_t – viteza radială în timpul transmiterii, iar V_r – viteza radială în timpul recepției. V – depinde de viteza relativă a Pământului, Lunii și de ora curentă.

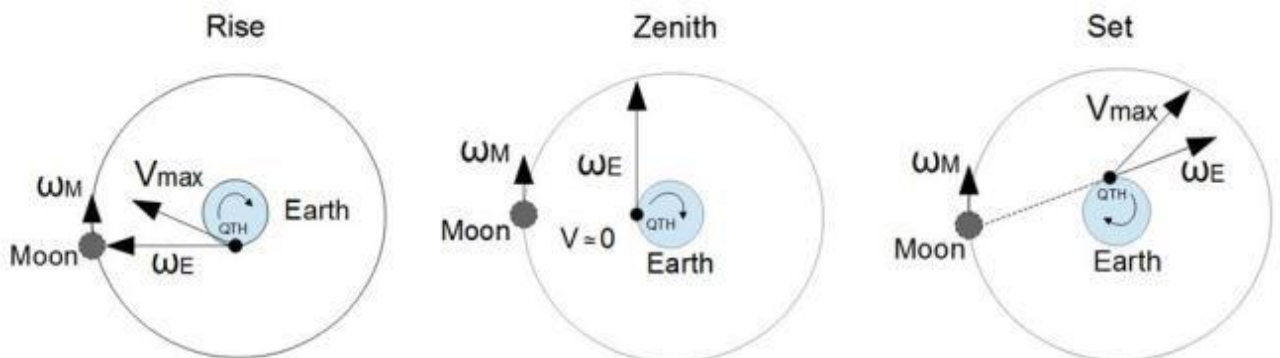


Figura 2 Vectorii de rotație a Pământului și a Lunii

Luna se rotește în jurul Pământului în aceeași direcție ca și Pământul, dar la o rată mult mai mare. Imediat după răsăritul Lunii, trecerea de frecvență crește ușor și apoi scade treptat până la zenit aproape de zero. Zenit este punctul în care Luna este la cel mai înalt nivel și întotdeauna apare spre sud, (la miezul nopții local, atunci când Luna este plină). Rata de schimbare de frecvență este minimă pentru perioada dată. Frecvența apoi devine negativă, deoarece Luna se îndepărtează de locația de pe Pământ, și tinde să se micșoreze până la apusul Lunii.

Algoritm din Figura 3 calculează atât abaterea Doppler cât și unghiurile de poziționare a Lunii în raport cu stație. Unghiul azimut oferă o informație adăugătoare despre poziția Lunii, iar unghiul de elevație poate fi util pentru stoparea calcului Doppler. Pentru a calcula unghiurile date este necesar de realizat aceleași calcule.

Pentru a efectua poziționarea antenei spre Lună în mod automat este necesar de controlat cu elementele de acționare (motoarele). Dar pentru a efectua controlul inteligent asupra motoarelor, dispozitivul trebuie să cunoască poziția Lunii. Astfel algoritmul dat poate fi utilizat nu numai pentru

realizarea unei comunicații dar poate fi util pentru efectuarea unei conduceri cu mecanismele destinate pentru poziționarea antenelor în direcția Lunii.

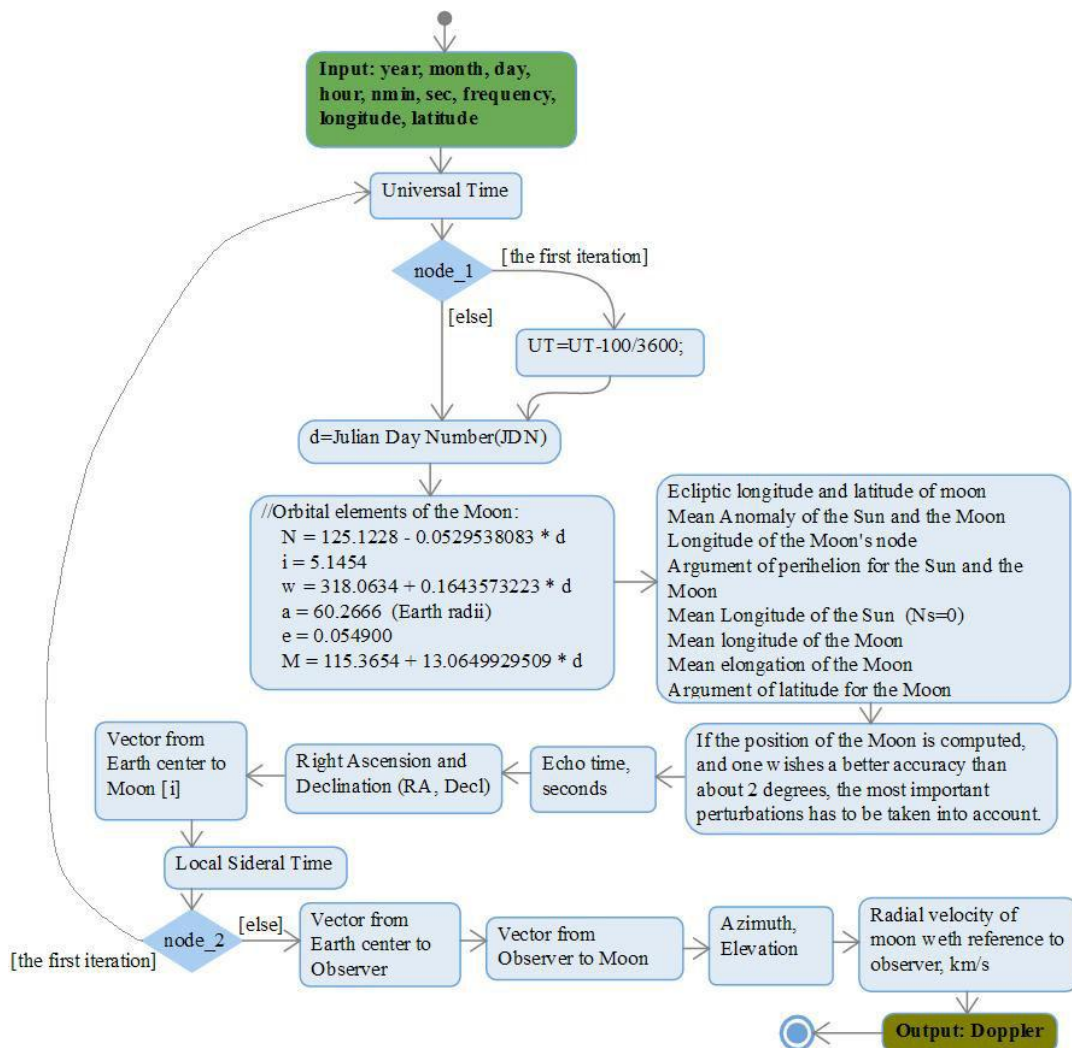


Figura 3 Algoritm de calcul a abaterii de frecvență cauzate de efectul Doppler

3. Testarea programului

În baza algoritmului elaborat a fost proiectată librăria de calcul a abaterii Doppler în limbajul C++. Înainte de a face apel la funcția de calcul pentru abaterea Doppler au fost declarate variabilele de intrare.

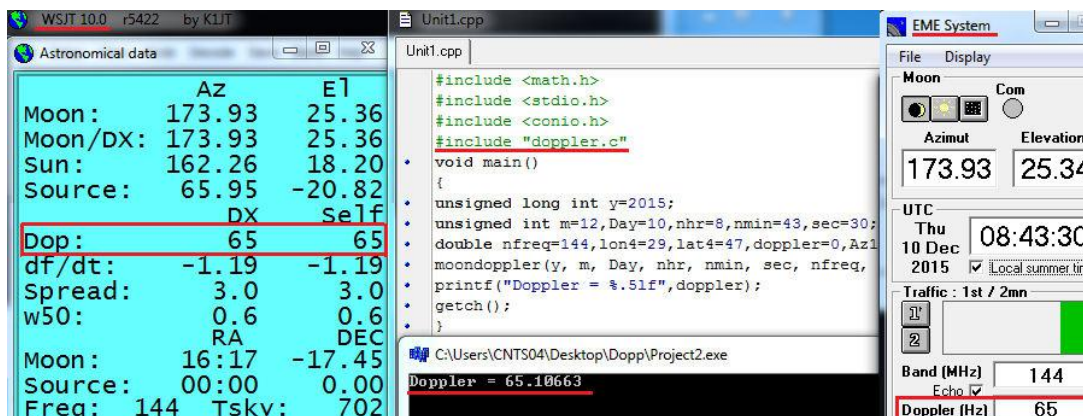


Figura 4 Rularea algoritmului de calcul a frecvenței

Rezultatul calculului este returnat din funcția „moondoppler” și afișat în consolă. Pentru a verifica veridicitatea calcului, rezultatul afișat a fost comparat cu rezultatele altor programe. Deoarece cifrele coincid

rezultă că librăria a fost elaborată corect. Dar pentru a cunoaște exact acest lucru este necesar de efectuat o comunicare EME utilizând algoritmul dat.

4. Rezultatele

Utilizând librăria proiectată a fost generată o baza de date ce conține calculele pentru abaterii de frecvență cauzată de efectul Doppler pe o perioadă de trei luni cu o discreditate a calculului de 10 minute. În graficul de mai jos se observă legitatea modificării abaterii de frecvență ce apare datorită efectului Doppler.

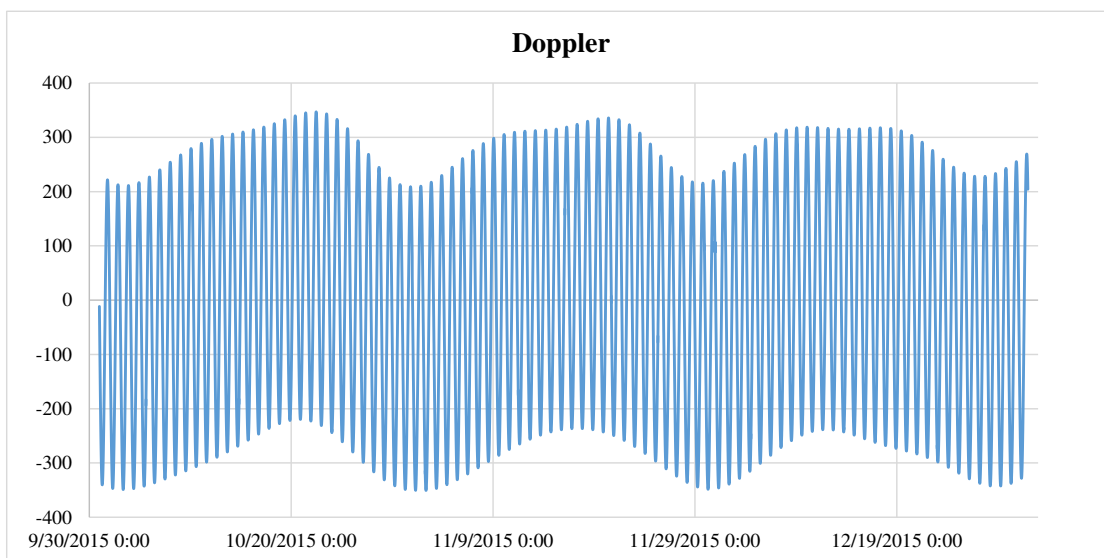


Figura 5 Rezultatele calculelor pentru deplasarea de frecvență pe perioada de 3 luni

De fiecare dată când apare Luna, valoarea abaterii de frecvență este diferită dar se repetă legitatea de modificare a frecvenței. Amploarea schimbării depinde de coordonatele de poziționare a stației, declinația Lunii și de alți factori geometrici.

Așa cum diferite puncte de reflecție de pe suprafața Lunii produc diferite întârzieri de timp, ele produc de asemenea și diferite modificări a frecvenței de recepție. Rotația Lunii și mișcare orbitală sunt sincronizate, fața Lunii este orientată întotdeauna spre Pământ, dar orbita Lunii este excentrică, astfel încât viteza orbitală variază, ceea ce duce nemijlocit la modificarea frecvenței de comunicare. Alte modificări de aspect sunt cauzate de $\pm 5.1^\circ$ înclinația între planurile orbitale ale Pământului și a Lunii.

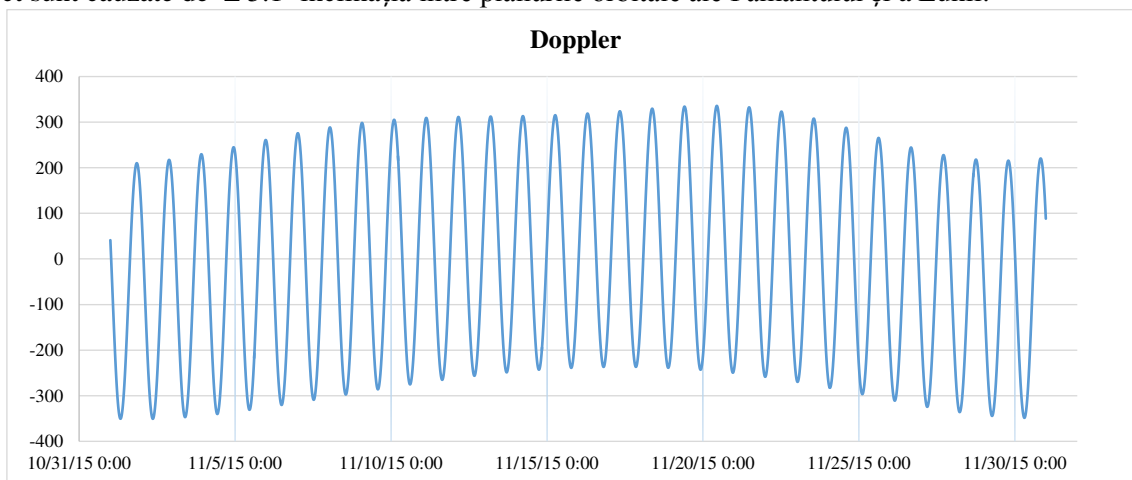


Figura 6 Rezultatele calculelor de deplasarea a frecvenței pentru luna noiembrie

La realizarea unei comunicări EME cu frecvența de 144 MHz, valoarea frecvenței de recepție este modificată cu ± 400 Hz. Valoarea de modificare a frecvenței diferă de la o zi la alta cu câțiva zeci de

Hz(Figura 6). Pentru a micșora abaterea de frecvență este necesar de realizat calculele pentru toate perioadele de timp folosind parametrii de intrare ora și data curentă.

În Figura 6 se reprezintă rezultatele calculelor pentru o luna de zile, dar Luna nu se află permanent în zona de vizibilitate a stațiilor de comunicare. Astfel nu are sens de realizat calculele pentru abaterea de frecvență când nu e posibil de făcut o comunicare EME din cauza lipsei Lunii din aria de vizibilitate. În acest caz apare necesitatea de calcul a unghiului de elevație(sau altitudinea) pentru Lună în raport cu planul observatorului(Figura 7).

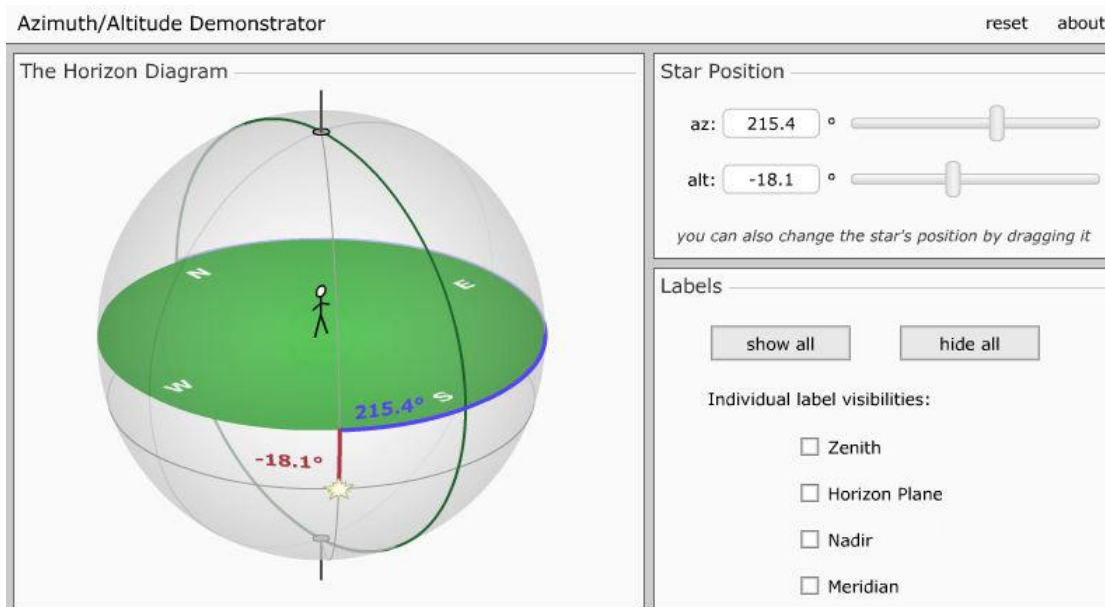


Figura 7 Reprezentarea unghiurilor azimuth/altitudine pentru un corp ceresc

Dacă altitudinea Lunii este negativa atunci ea nu este vizibila in planul observatorului. Deoarece nu se observă Luna nu apare necesitatea de calcul a abaterii Doppler. O comunicație EME poate fi realizata doar în orele când unghiul de elevație este pozitiv.

În algoritm a fost adăugată o condiție nouă, daca unghiul de elevație este negativ nu se va calcula abaterea de frecvență. Din graficul de mai jos se observă că perioadele de timp când Luna poate fi utilizată în calitate de reflector sunt diferite.

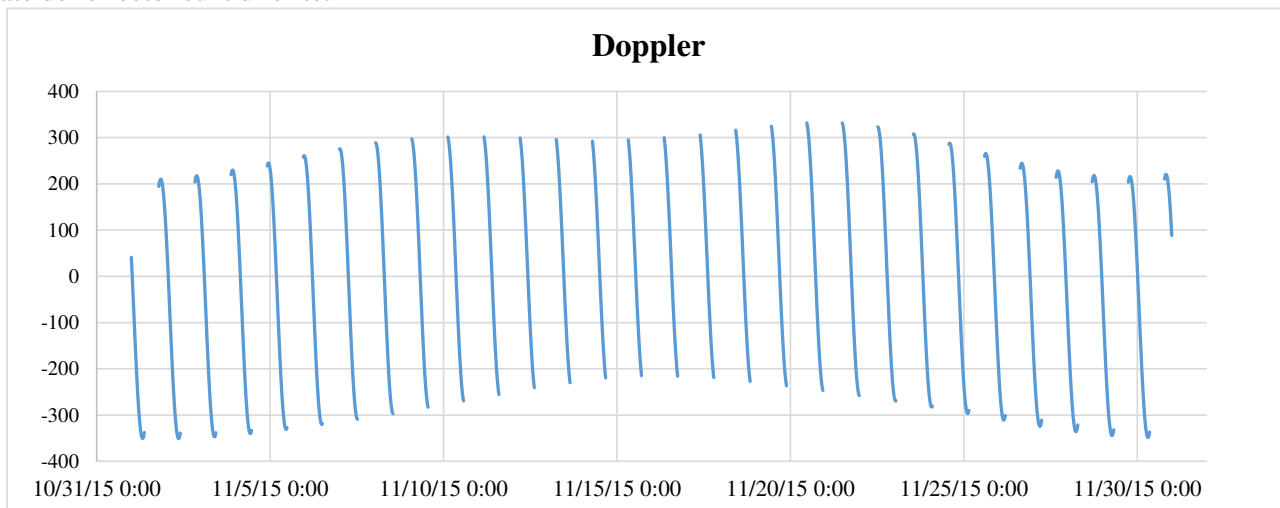


Figura 8 Rezultatele calculelor de deplasare a frecvenței pentru luna noiembrie

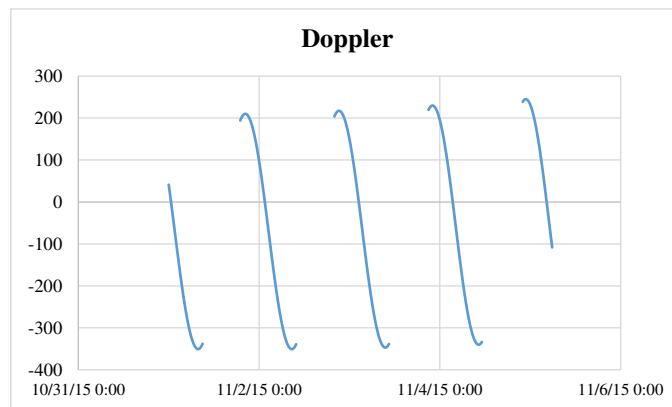


Figura 9 Rezultatele calculelor de deplasare a frecvenței pentru trei zile

Exista cazuri când Luna la răsărit începe sa se îndepărteze de Pământ iar la apus sa se apropie, astfel se modifica abaterea Doppler in dependenta de acest efect(Figura 9).

5. Concluzie

Pentru asigurarea unei calități mai bune în procesul de comunicare EME s-a realizat algoritmul pentru calculul valorii numerice a abaterii de frecvență cauzate de efectul Doppler. Pe baza algoritmului s-a realizat soft-ul pentru calculul acestei abateri, datele de intrare fiind: UTC, poziția geografică a stației și frecvență de comunicație. Veridicitatea abaterii frecvenței a fost confirmată printr-o analiză comparativă cu alte soft-uri existente la moment: WSJTX, EME SYSTEM. După aplicarea algoritmului și analiza datelor obținute se poate de menționat următoarele:

- Valoarea abaterii este de o precizie mare, iar ponderea ei este direct proporțională cu frecvența de comunicație EME.
- Algoritmul dat poate fi utilizat nu numai pentru realizarea unei comunicații dar poate fi util pentru efectuarea unei conduceri cu mecanismele destinate pentru poziționarea antenelor în direcția Lunii.
- Atât timp cât unghiul de elevație este mai mic decât zero, nu se necesită calculul abaterii din cauza imposibilității stabilirii unei comunicații EME.
- Algoritmul poate fi folosit atât pentru comunicare-ecou (recepționarea de către propria stație) cât și la comunicarea cu alte stații.
- La comunicarea cu frecvența de 144 MHz, valoarea abaterii frecvenței nu depășește ± 400 Hz.
- Efectul Doppler este minim atunci luna se află în zenit.

Într-un final se poate de menționat că deși EME este o comunicație utilizată preponderent pentru radioamatori, aceasta ar putea fi folosită ca mijloc de comunicare în timpul calamităților naturale, iar asigurarea unei calități mai bune inclusiv cu ajutorul algoritmului pentru corecția Doppler devine o necesitate în acest caz

Bibliografie

1. J. H. Taylor, K1JT, „Earth-Moon_Earth (EME) Communication.” ARPL Handbook for Radio Communications, Chapter 30 (2010),
2. Al Katz, K2UYH, „Understanding Doppler Shift: Critical knowledge for successful EME on the higher bands”, EME 2014.
3. J. H. Taylor, K1JT, „Frequency-Dependent Characteristics of the EME Path”, EME 2010 Conference, June 15, 2010.
4. J. H. Taylor, K1JT, „Open Source WSJT: Status, Capabilities, and Future Evolution.” Proceedings of the 12th International Conference EME, Wurzburg, 2006.
5. John Lemay, G4ZTR, „An Introduction to Moonbounce. Part 2: The practical side” RadCom Journal, March 2014.
6. EME operating Guide for 432MHz and Above: www.dl4eby.de/EME_Operating_Procedures.pdf