

Platformă dezvoltată în MATLAB pentru procesarea și analiza datelor GNSS

Sebastian Ciuban, Coordonator științific: Vlad Gabriel Olteanu

Received: / Accepted: / Published:
© Revista de Geodezie, Cartografie și Cadastru/ UGR

Rezumat

La momentul redactării acestui articol, s-a constatat o lipsă semnificativă a aplicațiilor gratuite în limba română pentru procesarea observațiilor GNSS, care ar putea ajuta studenții din domeniu să analizeze și să înțeleagă principiile de poziționare cu ajutorul sateliților. Scopul acestei lucrări este de a prezenta un prim concept a unei platforme dezvoltate în MATLAB pentru a facilita astfel de studii. Țelul principal este de a oferi studenților, la nivel național, din domeniul geodeziei și al măsurătorilor terestre sau din alte domenii, bazele pentru analiza principiilor de poziționare GNSS, a surselor de erori, etc. Printr-o interfață ușor de înțeles, utilizatorul poate selecta și procesa date aparținând mai multor formate, cu opțiuni diferite de configurare și procesare. De asemenea, utilizatorul are posibilitatea de a analiza rezultatele cu ajutorul graficelor pentru a ajunge la propriile concluzii în ceea ce privesc datele / modelul / opțiunile folosite, astfel interpretând și înțelegând rezultatele într-un mod mai eficient.

Ca o primă versiune, platforma permite doar procesarea datelor GPS. Alte îmbunătățiri pentru folosirea datelor provenite de la celelalte constelații satelitare (GLONASS, Galileo, Beidou) vor fi realizate de viitori absolvenți la nivel de licență, ei continuând astfel dezvoltarea acestui proiect.

Keywords

GNSS, aplicație, poziționare, MATLAB, analiză, procesare.

1. Introducere

Secolul XX a marcat o nouă eră în ceea ce privește poziționarea, navigarea și sincronizarea cu ajutorul sateliților artificiali.

La baza acestui concept a fost propunerea lui William Guier și George Wiefenbach, în 1957, care a constatat în calculul orbitei primului satelit lansat (Sputnik) pe baza frecvenței semnalului recepționat ținându-se cont de efectul Doppler. De atunci dezvoltarea actualelor sisteme globale de radionavigație prin satelit a reprezentat doar o problemă de timp [1].

Scopurile principale la începutul dezvoltării acestor sisteme erau strict militare, în prezent, ele având numeroase întrebunțări în sectorul civil. Diferite aplicații din domeniul științific, industrial, civil și militar au beneficiat cel mai mult de soluțiile eficiente pe care tehnologiile satelitare de radionavigație le oferă. În prezent, există două sisteme satelitare globale pentru poziționare, navigare și sincronizare complet operaționale (GPS, GLONASS) și alte două aflate în curs de dezvoltare (Galileo, Beidou).

Un proiect important de menționat este Galileo, reprezentând inițiativa Uniunii Europene pentru a realiza primul sistem global de radionavigație (GNSS) aflat sub control civil. Această caracteristică reprezintă atutul principal ținând cont că celălalte sisteme globale GPS, GLONASS și Beidou sunt sub administrare militară. În plus, nu vor exista restricții în ceea ce privește utilizarea tuturor capacităților pe care acest sistem la va oferi.

Galileo va furniza o serie de servicii de poziționare cu diferite caracteristici: Servicii Deschise (Open Service), Servicii Comerciale (Commercial Service), Servicii Publice Reglementate (Public Regulated Service), Căutare și Salvare (Search and Rescue). Se așteaptă ca sistemul european să devină complet operațional până în 2020 [2].

2. Înțelegerea principiilor GNSS

Numeroasele aplicații care acoperă piața comercială, domeniile profesionale și cele a situațiilor de urgență, bazate pe sistemele de radionavigație prin satelit necesită o cunoaștere amănunțită a modului de funcționare pentru o dezvoltare și utilizare optimă.

Ținând cont de evoluția sistemelor GNSS și a utilizării lor pe scară largă, este necesară conștientizarea principiilor de poziționare, navigare, sincronizare și a surselor de erori care afectează calitatea acestora. Acest lucru poate fi realizat cu ajutorul aplicațiilor de specialitate, cum ar fi gLAB, SISNETlab, SBASimulator, ele urmând să fie prezentate pe scurt în cele ce urmează:

- gLAB reprezintă un software dezvoltat de Agenția Spațială Europeană în colaborare cu grupul de cercetare în Astronomie și Geomatică (gAGE), cu scopuri educaționale în ceea ce privește procesarea și analiza datelor GNSS [3].
- SISNETlab este un program creat de inginerii Agenției Spațiale Europene (ESA), care permite utilizatorilor să evalueze într-un mod rapid și ușor performanțele diferitelor sisteme de augmentare pe bază de sateliți (SBAS). Software-ul vine în sprijinul comunității largi de studenți, cercetători științifici, întreprinderilor mici și medii, și a inginerilor implicați în exploatarea sistemelor SBAS [4].
- SBASimulator reprezintă un software de simulare dezvoltat de ESA și IGUASSU Software Systems. Țelul acestei aplicații este de a permite înțelegerea și studierea principiilor SBAS, fiind dedicată oricui este interesat de sistemele de augmentare pe bază de sateliți [4].

Se poate observa faptul că instituții relevante acordă o atenție deosebită în ceea ce privește dezvoltarea aplicațiilor educaționale în domeniul GNSS. Conștientizarea nevoii de specialiști în domeniu, la nivelul României cât și la cel European și formarea lor cu ajutorul acestor inițiative reprezintă un prim pas.

Lipsa majoră de unelte gratuite în limba română destinate pentru procesarea observațiilor GNSS reprezintă obiectivul principal al acestui proiect, furnizând totodată studenților la nivel național, unui mediu adecvat pentru a analiza și înțelege principiile poziționării cu ajutorul sateliților.

3. Aplicația dezvoltată în MATLAB

MATLAB (MATrix LABoratory) este un mediu de dezvoltare implementat de Mathworks. Caracteristicile sale principale permit utilizatorilor să efectueze calcule numerice și să vizualizeze rezultatele. Având unelte proprii pentru programarea aplicațiilor cu interfață personalizată, MATLAB aduce avantaje importante în acest sens [5].

Pentru a realiza cu ajutorul mediului de programare MATLAB platforma pentru procesarea și analiza datelor GNSS, rutinele necesare funcționării corecte au fost create și asamblate sub o primă variantă a interfeței.

Versiunea prezentată permite procesarea doar a observațiilor GPS, urmând să se aducă îmbunătățiri astfel încât să fie compatibilă și cu celelalte constelații (Galileo, GLONASS, Beidou). Funcțiile aplicației vor fi descrise împreună cu interfața acesteia GUI (Graphical User Interface).

3.1 Prezentarea generală a interfeței

Interfața platformei conține un meniu principal cu 5 sub-meniuri (Fig. 1.1) care dau posibilitatea utilizatorului să le

aceseze pentru a putea procesa și analiza observațiile GNSS. Cele 5 sub-meniuri sunt (o descriere mai amplă va fi realizată ulterior):

- Import Date
- Configurare
- Procesare
- Analiză
- Export.

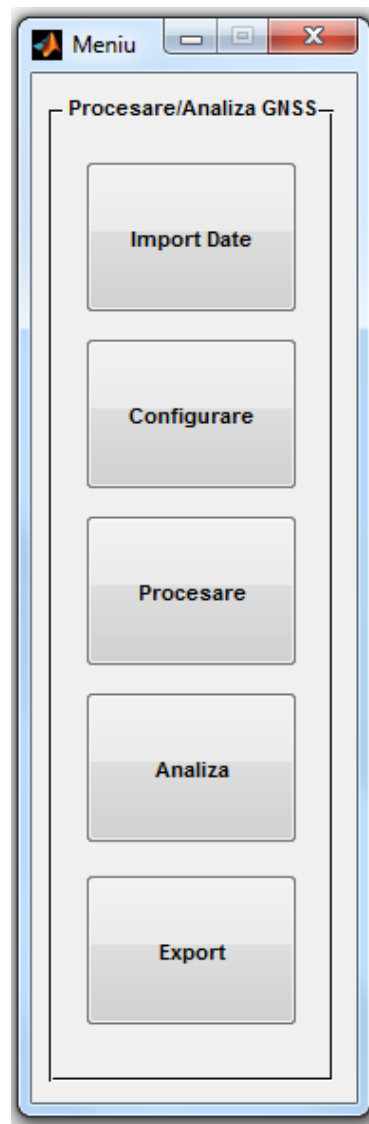


Fig. 1.1 Meniu principal

A. Import Date

Fereastra (Fig. 1.2) este prevăzută cu opțiuni de import a diferitelor tipuri de date pentru procesare și analiză (Receiver Independent Exchange Format și fișiere Standard Product 3):

- Mesajul de navigație RINEX conține efemeridele difuzate ale sateliților dintr-o constelație
- Fișierul de observare RINEX cuprinde informații cu privire la măsurătorile efectuate de receptor (cod, fază, Doppler, etc.)
- SP3 reprezintă fișierul cu efemeride precise (poziția post-

calculată și erorile de ceas) ale sateliților GNSS.

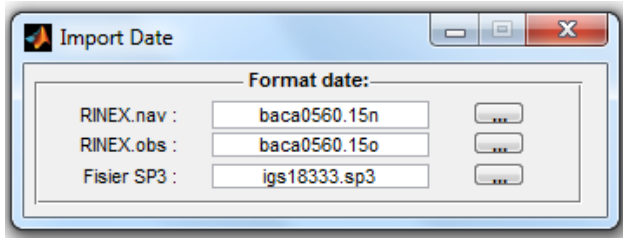


Fig. 1.2 Import Date

B. Configurare

Accesarea acestui sub-meniu (Fig 1.3) va afișa opțiunile de configurare a surselor de erori și a corecțiilor, de care se pot ține cont sau nu în vederea evidențierii și studierii influenței lor.

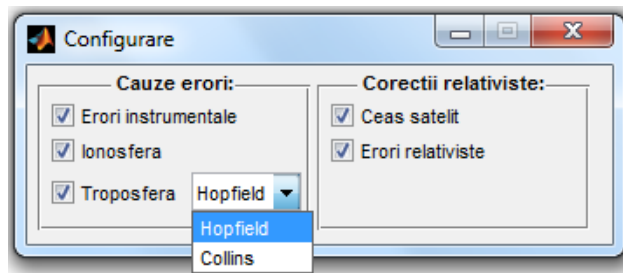


Fig. 1.3 Configurare

Opțiunile de modelare care pot fi studiate sunt:

- Influența ionosferei: mediu dispersiv (dependent de frecvență), care se întinde de la 70 km până la aproximativ 1000 km deasupra Pământului. Semnalele electromagnetice transmise prin acest strat al atmosferei sunt influențate de electronii liberi rezultați în urma ionizării particulelor de gaz de către razele UV ale Soarelui. În timpul propagării semnalelor GNSS, ionosfera cauzează un avans al fazei purtătoare și o întârziere a codului. În această aplicație a fost implementat modelul Klobuchar pentru a corecta pseudodistanțele. Refracția ionosferică poate cauza erori de până la 15 m, dar care pot fi reduse de receptoarele care măsoară pe două frecvențe [6].

- Troposfera: Reprezintă cel mai jos strat al atmosferei Pământului și conține aproximativ 80% din masa totală a atmosferei. Troposfera este un mediu nedispersiv pentru semnalele GNSS [7]. Acest lucru înseamnă că faza purtătoare și măsurătorile de cod sunt afectate de aceeași întârziere. Pentru a determina corecțiile necesare, două modele au fost implementate (Hopfield și Collins). Spre deosebire de refracția ionosferică, întârzierea cauzată de troposferă nu poate fi redusă de receptoarele care utilizează mai multe frecvențe [6].

- Erori instrumentale: Această întârziere este cauzată de antenele și cablurile utilizate în receptoarele GNSS. Atât măsurătorile de cod cât și cele de fază sunt afectate de aceste întârzieri instrumentale. Pentru receptoarele cu o

singură frecvență, corecțiile pot fi extrase din mesajul de navigație. În cazul receptoarelor care măsoară cu ajutorul mai multor frecvențe, acestea se anulează [6].

- Ceas satelit: La baza fiecărui sistem de navigație prin satelit se află acuratețea cu care se măsoară timpul de propagare a semnalului de la satelit la receptor. Luând în considerare rata de avans a ceasului aflat la bordul satelitului și a celui din receptor, vom identifica o diferență cauzată de potențialul gravitațional și de viteza relativă dintre acestea. Neglijând această corecție se pot produce erori planimetrice de până la 13 m și verticale de 20 m [6].

- Erori relativiste: Fenomenul mai este cunoscut ca fiind efectul Shapiro, întârzierea propagării semnalului. Este luat în considerare numai pentru poziționări care necesită precizii înalte [6].

C. Procesare

Fereastra de procesare conține 3 tab-uri oferind posibilitatea utilizatorilor să aleagă metoda de calcul adecvată pentru datele receptorului sau ale sateliților:

- Date Receptor oferă opțiuni în ceea ce privește metoda de procesare (Fig 1.4.1). Utilizatorul poate alege între MCMMP (Metoda Celor Mai Mici Pătrate) și Filtru Kalman pentru a calcula poziția receptorului. La momentul redactării lucrării, această aplicație procesează date doar de la receptoare statice folosind Standard Point Positioning (SPP). Pentru metoda cinematică și Precise Point Positioning (PPP), se vor face îmbunătățiri ulterioare.

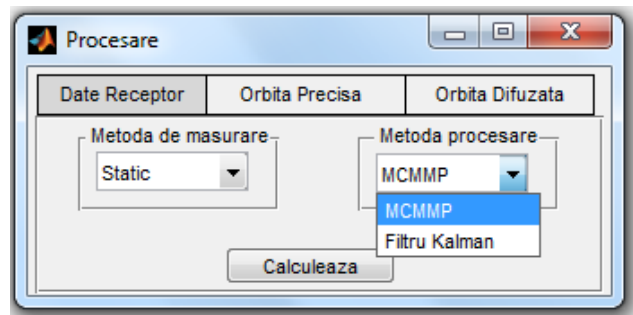


Fig. 1.4.1 Procesare (Date Receptor)

- Tab-ul Orbită Precisă permite alegerea satelitului și a parametrilor de timp (Fig 1.4.2) pentru determinarea orbitei acestuia la diferite epoci. Efemeridele precise conțin coordonatele sateliților în sistem de coordonate geocentric și a erorilor de ceas pentru fiecare 15 minute dintr-o zi, pentru alte epoci fiind nevoie de un proces de interpolare. Pentru a atinge o acuratețe centimetrică s-a implementat o interpolare polinomială de ordinul 10 [6].

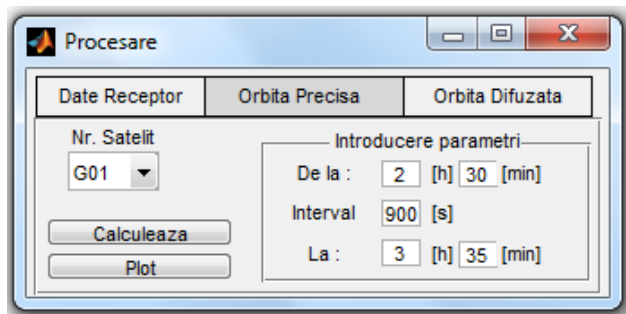


Fig. 1.4.2 Procesare (Orbită Precisă)

- Tab-ul Orbită Difuzată (Fig. 1.4.3) este similar cu cel prezentat anterior. Ultimele două tab-uri au fost create cu scopul de a putea studia diferențele dintre efemeridele precise și cele difuzate. Utilizatorul poate alege să analizeze rezultatele grafic cu ajutorul graficelor, sau numeric utilizând sub meniul Export.

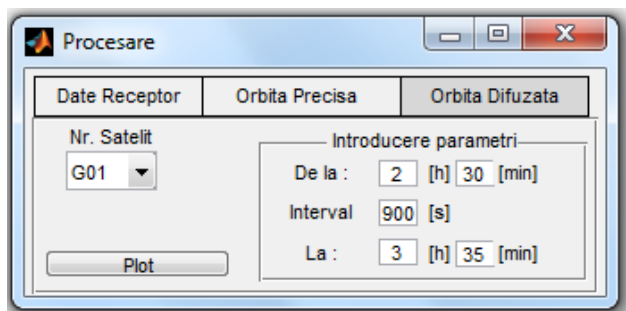


Fig. 1.4.3 Procesare (Orbită Difuzată)

D. Analiză

Fereastra de analiză oferă posibilitatea interpretării grafice a rezultatelor procesării pentru ca utilizatorul să poată trage propriile concluzii cu privire la datele / modelul folosit. Două tab-uri sunt disponibile pentru a parcurge această etapă.

Tab-ul Analiză (Fig 1.5.1) are 6 opțiuni prin care se pot studia rezultatele procesării din punct de vedere grafic:

- Eroare planimetrică și Eroare altimetrică vor evidenția valorile erorilor pe axele X, Y și Z, în sistem de coordonate geocentric, care au avut loc pe parcursul observațiilor.
- PDOP (Position Dilution of Precision), HDOP (Horizontal Dilution of Precision) și VDOP (Vertical Dilution of Precision) vor afișa date grafice care oferă informații despre geometria sateliților observați în timpul măsurătorilor. Este important de precizat că factorul DOP (Dilution of Precision) afectează precizia cu care receptorul determină poziția și timpul.

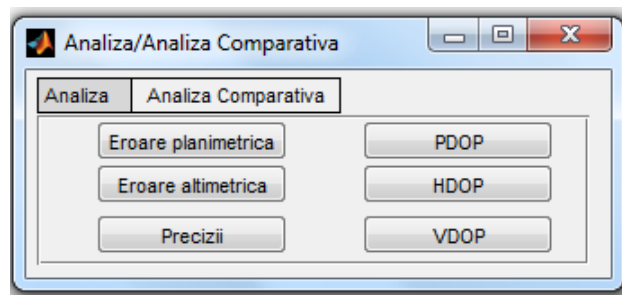


Fig. 1.5.1 Analiză

Al doilea tab (Fig 1.5.2), Analiză Comparativă, este folosit pentru studierea diferențelor dintre două seturi de date procesate. Importanța considerării surselor de erori (ionosferă, troposferă, erori instrumentale) și a corecțiilor relativiste (pentru ceasul satelitului și a traiectoriei semnalului) în procesul de estimare a poziției și timpului, este extrem de utilă pentru studenți. De asemenea, se pot face analize grafice pentru studiul erorilor planimetrice și altimetrice.

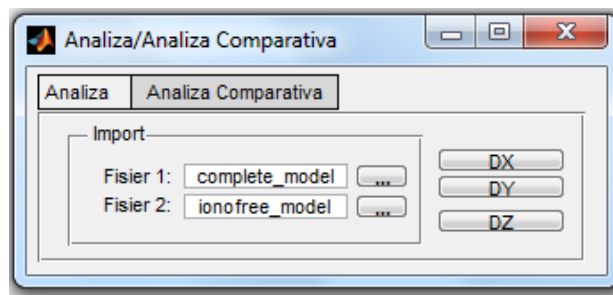


Fig. 1.5.2 Analiză Comparativă

E. Export

După etapa de procesare a datelor, utilizatorul poate alege în ce format să exporte rezultatele procesării în conformitate cu opțiunile valabile (Fig 1.6):

- Rezultate procesare va exporta coordonatele receptorului (X, Y, Z) în format .CSV (Comma Separated Value), fișier care poate fi deschis ulterior cu Microsoft Excel. De asemenea, acest fișier poate fi importat în tab-ul Analiză Comparativă, împreună cu un alt set de date rezultate în urma altei procesări unde s-a ținut cont sau nu de una dintre opțiunile valabile în fereastra Configurare.
- Orbita Precisă va conține coordonatele satelitului, în sistem de coordonate geocentric, sau rezultatele interpolării de ordin 10, în format .CSV pentru analize ulterioare.
- Opțiunea Orbita Difuzată este similară cu cea descrisă anterior. De asemenea, se pot evidenția la nivel numeric diferențele dintre orbitele determinate cu efemeride precise și cele difuzate.
- KML (Keyhole Markup Language) este o opțiune de export valabilă pentru orbitele precise și difuzate. De asemenea, permite importarea datelor exportate în Google Earth pentru o vizualizare și interpretare mai detaliată.

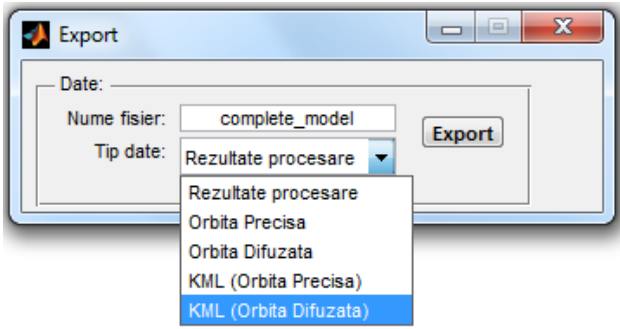


Fig. 1.6 Export

4. Rezultate și discuții

Pentru a demonstra funcționalitățile aplicației prezentate, fișierele RINEX și SP3 au fost descărcate de pe web site-ul International GNSS Service [8], ambele corespunzând aceleiași zi (25.02.2015). Datele aparțin stației permanente din orașul Bacău.

4.1 Determinarea și compararea orbitelor

Cum s-a menționat, se pot realiza studii în ceea ce privește evidențierea diferențelor dintre orbitele precise și cele difuzate. Pentru exemplificare, orbita satelitului GPS SV 4 a fost determinată utilizând efemeridele precise și difuzate.

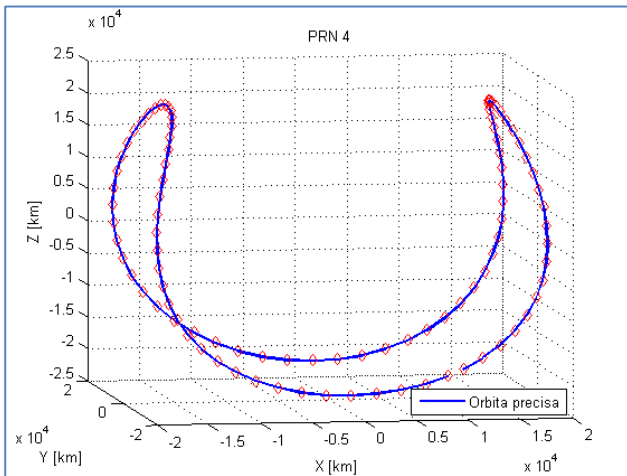


Fig. 2 Orbita precisă completă

Orbita precisă (Fig. 2) a satelitului SV 4 a fost determinată cu ajutorul fișierului SP3, poziția sa corespunzând unui interval de 15 minute. Datele vor fi comparate cu cele obținute în urma determinării orbitei difuzate folosind efemeridele din mesajul de navigație. Pentru acest exemplu, orbita difuzată a fost calculată în 6 epoci în sistem de coordonate geocentric (Fig. 3).

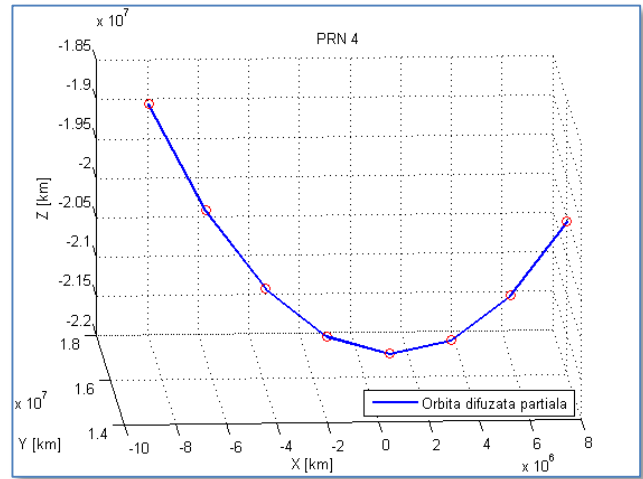


Fig. 3 Orbita difuzată parțială

Erorile rezultate în urma comparării orbitei precise cu cea difuzată pot fi analizate și din punct de vedere numeric (Tabel 1).

No.	t_{oe} (sec)	Δx [m]	Δy [m]	Δz [m]
1	295200	0.1039	0.1199	-0.6771
2	296100	-0.2685	0.1559	-0.7115
3	297000	-0.6121	0.1990	-0.6661
4	297900	-0.9332	0.2447	-0.5576
5	298800	-1.2479	0.2816	-0.4011
6	299700	-1.5787	0.2988	-0.2015

Table 1. Errors between RINEX-SP3

4.2 Rezultatele procesării

După procesarea poziției receptorului utilizând mesajul de navigație (baca0560.15n) și a fișierului de observații (baca0560.15o) s-au obținut următoarele grafice:

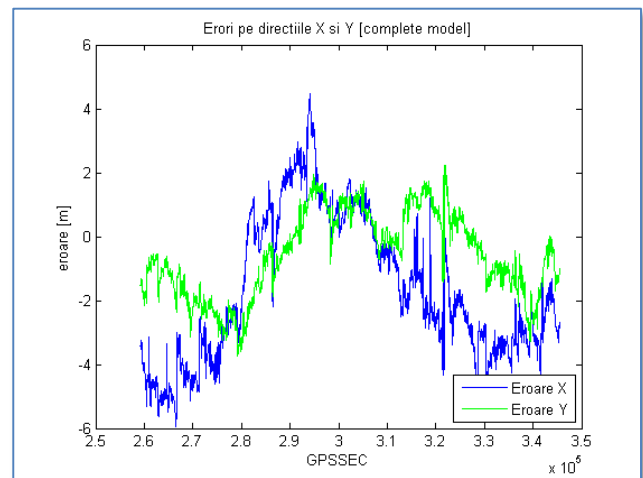


Fig. 4 Erori pe direcțiile X și Y (model complet)

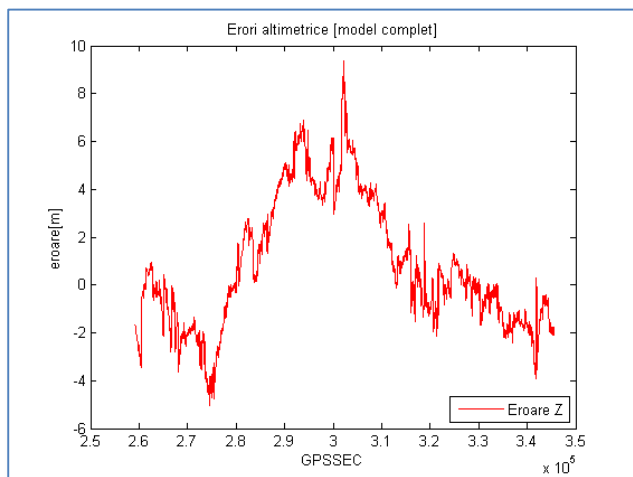


Fig. 5 Erori altimetrice (model complet)

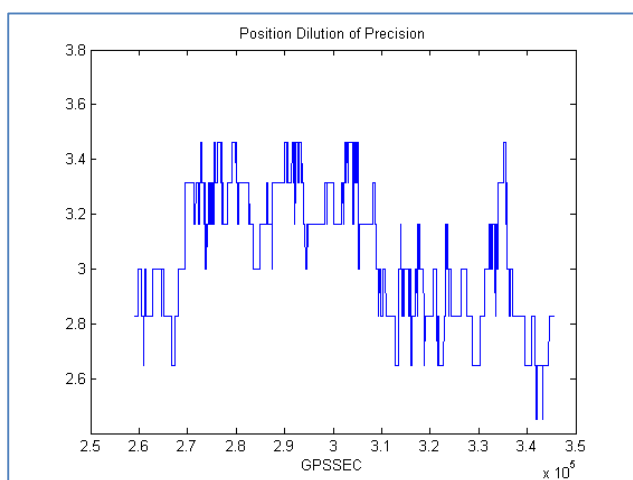


Fig. 6 Position Dilution of Precision

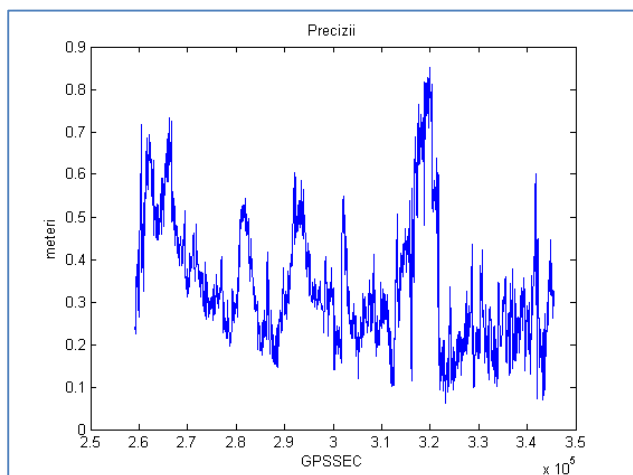


Fig. 7 Precizii

În ambele grafice (Fig.4 și Fig. 5) se poate observa că erorile variază în câțiva metri chiar dacă s-a ținut cont de sursele de erori și de erorile relativiste. Rezultatele sunt specific metodei de procesare Standard Point Positioning (SPP).

Geometria sateliților observați și preciziile rezultate în urma estimării poziției receptorului pot fi analizate din puncte de vedere grafic în Fig. 6 și Fig. 7.

De asemenea, comparații au fost efectuate între datele procesate cu toate opțiunile din model luate în considerare și cele în care nu s-au ținut cont de următoarele: Corecțiile relativiste ale ceasului de la bordul satelitului (Fig. 8), Ionosferă (Fig. 9), Erori instrumentale (Fig. 10) sau de nici o sursă de eroare (Fig. 11).

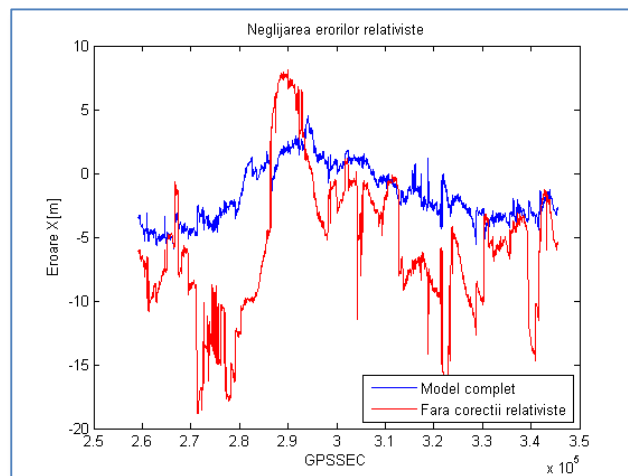


Fig. 8 Neglijarea erorilor relativiste

Cum a fost de așteptat, neglijarea corecțiilor relativiste ale ceasurilor sateliților vor cauza erori planimetrice de până la 16 m .

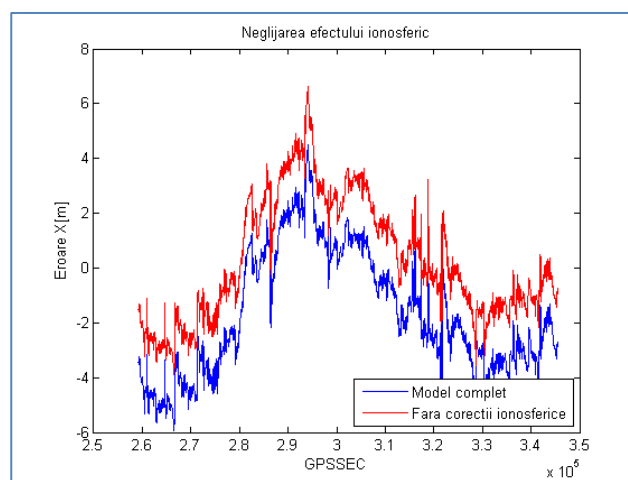


Fig. 9 Neglijarea efectului ionosferic

Erorile cauzate de ionosferă sunt mici în acest caz. Putem concluziona că activitatea solară a fost redusă în perioada în

care s-au făcut măsurătorile. Acest lucru verifică faptul că observațiile au fost efectuate la sfârșitul iernii (25 Februarie 2015).

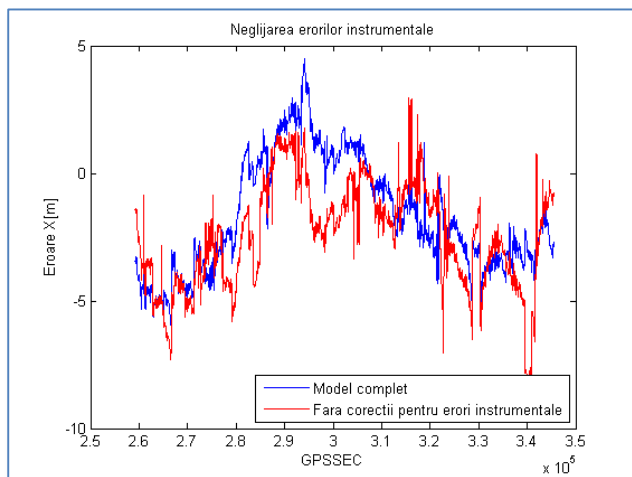


Fig. 10 Neglijarea erorilor instrumentale

Corecțiile pentru erorile instrumentale sunt extrase din mesajul de navigație. După cum se poate observa, ignorarea influențelor instrumentelor va duce la erori în poziție de câțiva metri.

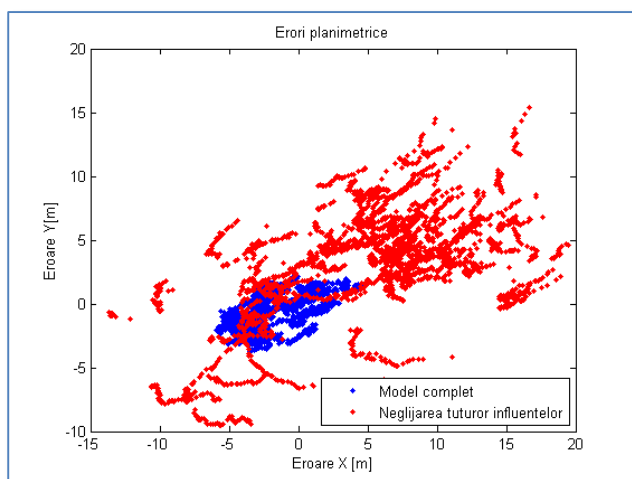


Fig. 11 Neglijarea tuturor influențelor

Neluând în considerare nici o sursă de eroare în procesul de estimare a poziției receptorului va provoca erori planimetrice de ordinul zecilor de metri. Importanța aplicării corecțiilor necesare este evidențiată și putem concluziona cu ușurință că nu se pot neglija aceste influențe chiar dacă analiza sau studiile se rezumă la Standard Point Positioning pentru a atinge precizii de ordin metric. Având în vedere dezvoltarea continuă a acestei aplicații, cum a fost menționat, posibilitatea procesării datelor cu metoda Precise Point Positioning va fi implementată.

4.3 Exportarea orbitelor în format KML

Keyhole Markup Language (KML) este un format pentru afișarea datelor grafice într-un Earth Browser cum ar fi Google Earth, Google Maps [9].

Exportul datelor orbitale obținute din efemeride precise și difuzate în format KML este posibil din sub meniul Export. Această caracteristică permite utilizatorului să înțeleagă mai bine orbitele și comportamentul sateliților pe acestea.

Momentan, orbita unui satelit specificat de utilizator poate fi vizualizată într-un sistem de referință convențional terestru (Fig. 12). Asta înseamnă că axele sistemului se rotesc împreună cu Pământul, ele fiind folosite pentru descrierea coordonatelor receptorului. Pentru a obține orbita satelitului sub formă de elipsă, coordonatele lui trebuie calculate într-un sistem de referință convențional ceresc, caracteristică ce va fi implementată în viitorul apropiat.

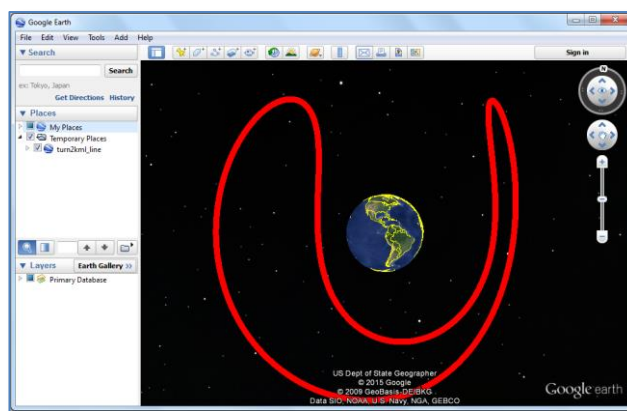


Fig. 12 Orbita satelitului SV4 în format KML

5. Concluzii

Poziționarea, navigarea și sincronizarea cu ajutorul sateliților artificiali reprezintă un rol indispensabil în domeniile importante de activitate pe care omul le desfășoară. Înțelegând principiile de funcționare a acestor tehnologii va duce la dezvoltarea și utilizarea lor mai eficientă în domeniile de cercetare și producție.

Procesul de educare poate fi ușurat cu ajutorul aplicațiilor relevante domeniului GNSS, ca cea prezentată în această lucrare. Caracteristicile actuale s-au dovedit a fi funcționale și de încredere pentru scopuri educaționale.

Următoarele îmbunătățiri vor fi aduse de viitorii candidați la nivel de licență pentru a menține dezvoltarea acestei platforme.

Referințe

[1] The Legacy of Transit: Guest Editor's Introduction by

- Vincent L. Pisacane, Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol 19, Number 1, 1998
- [2] Regulation (EU) 1285/2013 of the European Parliament and of the Council on the implementation & exploitation of European Satellite Navigation Systems
 - [3] www.gage.upc.edu
 - [4] www.navipedia.com
 - [5] www.mathworks.com
 - [6] European Space Agency, GNSS Data Processing Book: Volume I and Volume II.
 - [7] Sisteme de poziționare globală, Johan Neuner, MATRIX ROM București 2000
 - [8] <http://igs.bkg.bund.de>
 - [9] <http://developers.google.com>