

2020 – an de referință în poziționarea satelitară

O. Iacobescu, I. Barnoaiea

Iacobescu O., Barnoaiea I., 2019. 2020 - reference year in satellite positioning. Bucov. For. 20(2): 151-162.

Abstract. The paper emphasizes an important moment – year 2020 – in the evolution of global satellite positioning systems (GNSS): the two existing systems (GPS-Navstar and Glonass) are joined by two new systems (BeiDou and Galileo). We analysed both common elements for the satellite system as well as the current stage of each satellite system (November 2020). Based on these data, a series of conclusions are drawn, related to the increase of the total number of satellites at over 130 (better availability, positional accuracy, continuity, efficiency and reliability), increase of compatibility (by using overlapping emission frequency) and inter-operability. It is also obvious the effect of multiplication and modernisation of the control segment from the ground (monitoring stations, complementary systems for improved satellite-based positioning - SBAS). Lastly, we present some of the relevant features of the new receivers, simpler, less costly and capable to track the maximum number of satellites and to receive a maximum number of signals, which increases their applicability in a growing number of fields.

Keywords: GNSS, GPS-Navstar, Glonass, Galileo, BeiDou, availability, compatibility, inter-operability.

Authors. Ovidiu Iacobescu (oiacobescu@gmail.com), Ionuț Barnoaiea - „Ștefan cel Mare” University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania.

Manuscript received November 19, 2020; revised December 22, 2020; accepted December 28, 2020; online first December 31, 2020.

Introducere

Cerul a atras dintotdeauna atenția oamenilor, declanșând reacții diferite asupra fiecăruia. Pentru credincioși cerul este împărăția lui Dumnezeu. Pentru artiști cerul este motiv de contemplare, locul curcubeielor, al albastrului infinit din timpul zilei și al întunericului presărat cu stele din timpul nopții. Celor îndrăzneți cerul le-a inspirat dorința de a cunoaște, prin zbor, ceea ce este „dincolo”. Pragmaticilor le-a prilejuit observații diurne și nocturne asupra soarelui, a lunii și a stelelor. Plecând de la ele

au intuit că Pământul se rotește, au găsit că axul de rotație trece printr-o stea care rămâne fixă în emisfera noastră (cu o mică aproximare, zicem astăzi), au calculat cu o eroare de circa 3% raza sferei terestre (Eratostene 246 îHr), au prezentat metode simple de determinare a punctelor cardinale și au elaborat variante de calcul pentru latitudine și longitudine pe timp de zi sau de noapte. Să ne amintim că, până în anii 70-80 ai secolului trecut, orientarea marinarilor sau a piloților s-a făcut pe baza observațiilor spre stele (Elena 2016). Nu trebuie să minimizăm importanța metodelor (conside-

rate deja învechite!) de orientare și localizare, atât din respect pentru istoria cunoașterii, dar și pentru că ele pot fi încă folosite cu succes, întrucât îndeplinesc o serie de cerințe utile în situații extreme: nu depind de o sursă externă de energie și de comandă și folosesc doar informații demne de încredere, întrucât ... stelele nu dau greș niciodată.

În timp, realizările din diferite domenii au adus cerul în atenție într-un mod diferit, astfel că azi „aceiași cer oferă un nou mijloc de navigație, cu o precizie care altădată reprezenta un vis, prin care stelele sunt înlocuite cu sateliți” (Moldoveanu 2005). Sistemele satelitare de navigație sunt acum utilizate în extrem de multe domenii, de la poziționarea precisă a punctelor în geodezie și topografie, la aplicații de telefonie mobilă bazate pe locație sau operațiuni de căutare și salvare. În prezent există atât sisteme satelitare de poziționare globală, capabile să poziționeze un punct aflat oriunde pe suprafața Pământului, cât și sisteme locale, care pot face același lucru doar în anumite zone (Bhardwaj 2020). Iată că problema determinării poziției unui punct, combinată mai târziu cu reprezentarea plană a sferei terestre în scopul atingerii unei locații pe un anumit drum, este pe deplin rezolvată în decursul a două milenii.

În lucrarea de față ne propunem să prezentăm în principal funcționarea sistemelor globale satelitare, evoluția lor din anii '70 ai secolului trecut până în prezent, dar și unele perspective pentru utilizatorii civili. Contextul este unul special, întrucât anul 2020 reprezintă, în opinia noastră, unul din momentele importante în poziționarea satelitară: primelor două sisteme globale existente (GPS-Navstar și Glonass) li se adaugă alte două (BeiDou și Galileo), mai performante, ce devin din acest an operaționale la scară globală.

Elemente comune GNSS actuale

Sistemele globale de navigație prin satelit, numite generic GNSS (Global Navigation Satellite System) sunt independente unele de

altele, dar au caracteristici comune (structură, timp propriu, principiul de poziționare, erorile ce intervin, obiective și servicii), care vor fi amintite pe scurt (Grewal et al 2020).

Structura GNSS cuprinde:

i) un segment spațial, format din sateliți aranjați pe orbite într-o constelație specifică. Sateliții au ceasuri atomice de mare precizie, cu funcția principală de a genera și emite permanent semnale radio pentru utilizatori militari sau civili. Semnalele sunt folosite atât pentru măsurarea distanței satelit – receptor, cât și pentru transmiterea unor mesaje de navigație, ce conțin poziția sateliților pe orbită în momentul emisie („efemeride”) și starea întregii constelații („almanach”);

ii) segmentul de control de la sol, responsabil pentru buna funcționare a sistemului, cuprinzând stații de monitorizare și 1-2 stații principale (master). Cele de monitorizare sunt distribuite pe întreg globul, urmăresc sateliții vizibili, colectează semnalele emise de aceștia, perioada emisie, parametrii atmosferici, starea generală a satelitului și le trimit la stația principală. Aceasta preia comanda și controlul întregii constelații: calculează poziția sateliților, generează mesajele de navigație pentru fiecare satelit, coordonează lucrările de mentenanță, asigură protecția contra bruiajului sau efracției;

iii) segmentul utilizatorilor, reprezentat prin receptoare. Acestea sunt dotate cu ceasuri, cu rol de a genera semnale similare cu cele satelitare și cu microprocesor care compară semnalele, le prelucrează și le stochează, furnizând pe loc sau prin post-procesare poziția spațială, dată în cadrul sistemului de referință adoptat în cadrul fiecărui GNSS. În esență, semnalele primite cuprind două informații: poziția satelitului în momentul emisie și ora exactă. La debutul poziționării prin sateliți (1973), când s-a lansat programul Navstar – GPS și apoi Glonass (1982), receptoarele recunoșteau doar semnalele din propriul sistem; în prezent ele sunt construite astfel încât să poată achiziționa semnale din mai multe GNSS. Receptorul este în fapt un dispozitiv multi-canal, fiecare canal

colectând informații de la un singur satelit vizibil. Analiza mesajului de navigație conduce la poziția satelitului pe orbită în momentul emisie, iar din celelalte semnale și coduri se determină timpul scurs între emisie și recepție. În principiu, pe baza acestor elemente rezultă distanțele sateliți – receptor: distanța (d) = timpul (t) x viteza de propagare (v) și, în final, poziția receptorului. Receptoarele diferă între ele după precizia de poziționare, dependentă la rândul ei de numărul de frecvențe pe care le poate recepționa (1-3 frecvențe).

iv) sisteme complementare de îmbunătățire a poziționării bazate pe sateliți (SBAS = Satellite-Based Augmentation Systems), reprezentând soluția pentru creșterea preciziei de poziționare în cadrul fiecărui sistem. SBAS este format din stații la sol și sateliți geostaționari (fiecși în raport cu observatorul de la sol) și oferă îmbunătățirea acurateței, integrității și disponibilității semnalelor satelitare.

Timpul se măsoară în secunde și este astfel sincronizat încât să fie același în toate segmentele aceluiași GNSS. Scurgerea timpului poate fi continuă sau corectată periodic, pentru a rămâne în concordanță cu rotația terestră, în acest caz el este în concordanță cu timpul universal coordonat, UTC - Universal Time Coordinated (Baumann 2017). La rândul lui, UTC se determină pe baza timpului atomic internațional (TAI), care rezultă prin medierea măsurătorilor efectuate de mai multe ceasuri atomice aflate în laboratoare internaționale. Originea de măsurare a timpului este proprie fiecărui sistem, astfel încât se poate vorbi despre ora GPS, ora Glonass etc.

Principiul poziționării unui punct în care se află un receptor, se bazează pe un următorul raționament (Tan 2017):

- i) determinând distanța d_1 cu date provenite de la un singur satelit S_1 , de poziție cunoscută, receptorul poate fi situat oriunde pe sfera de rază d_1 , cu centrul în S_1 ;
- ii) datele recepționate simultan de la doi sateliți S_1 și S_2 generează distanțele d_1 și d_2 , iar poziția receptorului este pe cercul de intersecție al sferelor care au respectiv aceste raze (figura 1a);

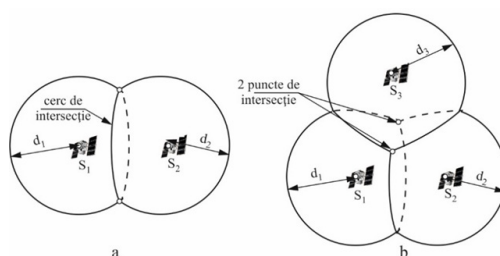


Figura 1 Principiul poziționării satelitare.

The principle of satellite positioning.

iii) cu trei distanțe, de la tot atâția sateliți recepționați simultan, rezultă două poziții posibile pentru receptor, la intersecția cercului anterior cu a treia sferă, de rază d_3 (figura 1b);

iv) o măsurătoare în plus, implicit distanța față de un al patrulea satelit, permite stabilirea poziției corecte și eliminarea celei care nu aparține suprafeței terestre. Rezultă de aici că numărul minim de sateliți necesar poziționării este patru.

Sursele de erori care influențează poziționarea receptorului sunt independente. Efectul erorilor se manifestă prin modificarea timpului în care semnalul ajunge de la satelit la receptor, implicit distanța satelit – receptor. Cele mai importante surse, ordonate descrescător după aportul lor, sunt:

- i) ceasurile satelitare, care au o toleranță mai mare ($\sim 10^{-3}$ sec) decât ceasurile care dau UTC ($\sim 10^{-6}$ sec) și, în plus, funcționarea lor este supusă efectului relativității. Monitorizarea acestor erori se face în stațiile de control, care trimit permanent corecții de timp în mesajul de navigație;
- ii) ionosfera (50 km - 1.000 km deasupra pământului), cu compoziție dinamică în timp și caracterizată de ionizarea produsă de radiațiile solare (figura 2). Este dispersivă pentru semnal, efectul fiind dependent de înălțimea satelitului pe cer (unghiul pe care-l face direcția spre satelit cu orizontala locului): maxim pentru semnalele provenite de la sateliții aflați la înălțimi mici (la orizont) și minim pentru cei aflați la înălțime maximă (deasupra receptorului, la zenit). De asemenea, întârzierea este invers proporțională cu frecvența, adică este

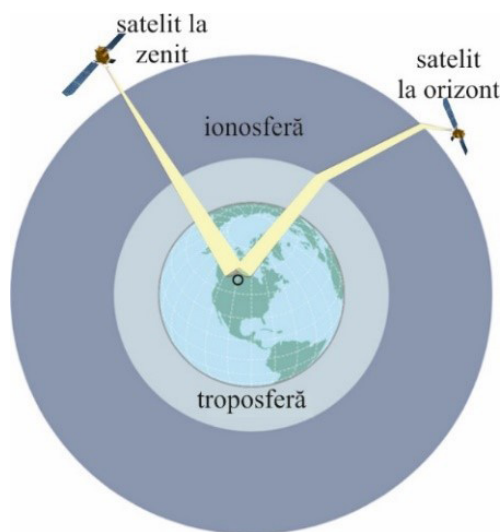


Figura 2 Înălțimea satelitelui și întârzierea în ionosferă.
Satellite height and the delay due to ionosphere.

mai mică pentru o undă cu frecvență mai mare. Rezultă un prim avantaj al unui receptor cu două sau trei frecvențe: prin urmărirea tuturor undelor purtătoare de semnal, se modelează și se elimină o parte semnificativă a întârzierii provocate de ionosferă. Efectul ei este mai bine cuantificat acum prin întocmirea, la fiecare două ore, a unei hărți globale a ionosferei (Ansari et al. 2017).

iii) ceasul receptorului, întrucât nu poate avea

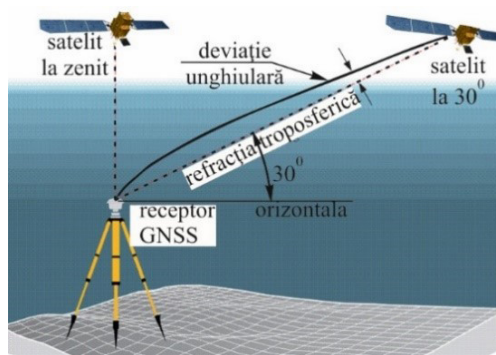


Figura 3 Efectul refracției în troposferă.
Refraction's effect in troposphere.

standardele de precizie ale unui ceas atomic, ci este un simplu oscilator cu cuarț. Utilitatea lui este de a produce replici ale semnalelor satelitare; iv) orbita satelitelui, influențată de natura non-sferică a gravitației terestre, atracția solară și a lunii și de presiunea radiației solare. Stațiile de control sunt responsabile cu modelarea traiectoriei, dar transmiterea corecțiilor se face nepermanent, cu o anumită frecvență, astfel încât poziția satelitelui, exprimată prin efemeride, nu este dată cu acuratețe.

v) troposfera (50 km deasupra Pământului) influențează semnalele cu frecvența sub 30GHz, provocând, datorită refracției, o întârziere a semnalului, motiv pentru care este asimilată cu

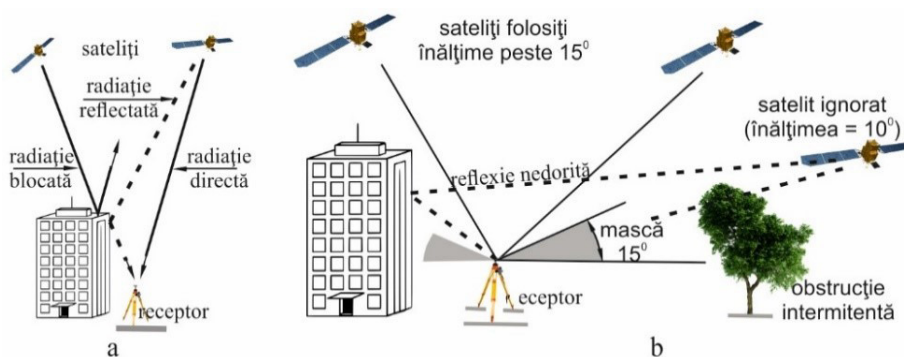


Figura 4 Reflexia multiplă (multipath): a- producerea fenomenului, b- efectul de mască unghiulară pentru înălțimi sub 15° (Boș și Iacobescu, 2019).

Multiple reflection (multipath): a- the occurrence of the phenomenon, b- the mask effect for heights smaller than 15° (Boș and Iacobescu, 2019).

o distanță suplimentară de parcurs (figura 3). Limitarea efectului troposferei și a ionosferei se face prin folosirea unui efect de mască, constând în înregistrarea semnalelor doar de la acei sateliți care au, de regulă, o înălțime pe cer mai mare de $5^\circ \div 15^\circ$. Efectul cumulat al atmosferei (ionosferă + troposferă) asupra poziționării este considerat același pentru receptoarele aflate la sol la o distanță mai mică de 20-25km.

vi) reflexia multiplă („multipath”), fenomen ce apare atunci când același semnal ajunge la receptor atât direct de la satelit, cât și reflectat de pe diferite suprafețe. Deși unele receptoare pot discerne între semnalul direct și cel reflectat, efectul multipath nu poate fi eliminat în întregime, ci poate fi minimizat prin alegerea unei locații adecvate sau prin folosirea „efectului de mască”, caz în care receptorul ia în considerație doar semnalele provenite de la sateliți care au înălțimea peste o anumită valoare, de exemplu peste 15° (figura 4).

vii) configurația sateliților vizibili influențează de asemenea precizia determinării poziției. Se cuantifică prin „diluzia preciziei”, DOP (=dilution of precision), a cărui valoare este invers proporțională cu volumul corpului spațial descris de pozițiile sateliților și receptor (figura 5): un volum mare este mai favorabil, iar DOP ia valori mici, (< 2). Receptoarele se pot seta să nu înregistreze date dacă DOP depășește o anumită valoare (mască DOP), de exemplu 6.

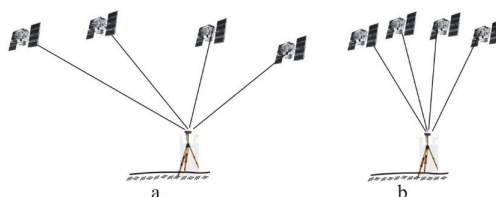


Figura 5 Poziționarea spațială a sateliților a- DOP bun, b- DOP slab.

Spatial positioning of satellites a- good DOP, b- poor DOP.

Obiectivele GNSS se regăsesc în două aplicații distincte:

i) poziționarea absolută sau navigația, când se determină, în timp real (practic instantaneu), locul unde se află un singur receptor, fix sau în mișcare, cu o precizie de ordinul metrilor ($\pm 1 \div 10$ m). Este disponibilă chiar și pe telefoane iPhone sau cu sistem de operare Android, care sunt capabile să recunoască mai multe sisteme satelitare;

ii) poziționare relativă sau diferențială, cu două receptoare ce „văd” simultan aceiași minim patru sateliți, asigurând o precizie centimetrică sau mai bună (figura 6). Un receptor este instalat într-un punct cunoscut, iar celălalt în punctul de determinat (nou), ale cărui coordonate rezultă folosind vectorul de bază, definit între cele două puncte. Poziționarea relativă are ca suport determinarea exactă a timpului necesar parcurgerii distanței satelit – receptor.

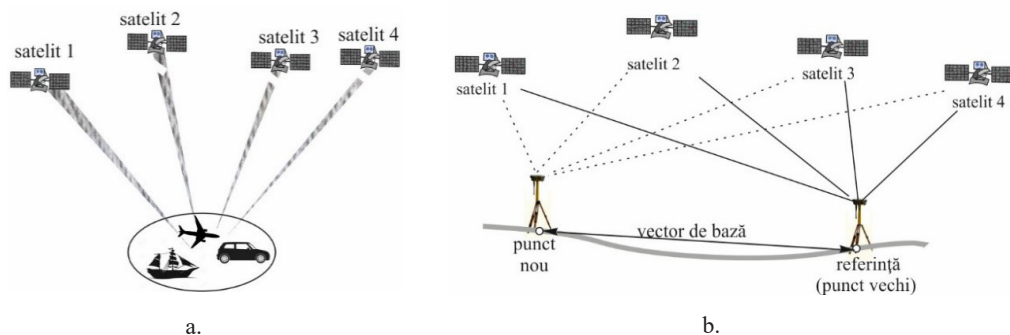


Figura 6 Obiectivele GNSS: a: poziționare absolută (navigație), b poziționare diferențială.

GNSS objectives: a – single point positioning (navigation), b - differential positioning.

GNSS în 2020

GPS - Navstar

GPS (Global Positioning System) este operațional din 1978 pentru folosință militară și, treptat, din 1983 și pentru sectorul civil.

Segmentul spațial, inițial cu 24 de sateliți dispuși în 6 plane orbitale, are în noiembrie 2020 un număr de 30 de sateliți din diferite generații, cu următoarea configurație:

- i) 9 sateliți Block IIR, lansați până în 2004, care emit pentru civili semnalele purtătoare denumite L1 și L2;
- ii) 7 sateliți Block IIR M, lansați între 2005 și 2009, care emit în plus semnalul civil L2C, modulat tot pe purtătoarea L2. Semnalul permite o bună determinare a corecției atmosferice și este mai puternic ca L1, putând fi recepționat chiar sub coroana arborilor și în interiorul clădirilor. Experimental acești sateliți emit și semnalul civil L5;
- iii) 12 sateliți Block II F, lansați după 2010, care transmit pentru civili semnalele L1, L2C și L5. Receptoarele care recunosc și procesează L1, L2C și L5 au o mare acuratețe în poziționare, de sub 1m;
- iv) 2 sateliți GPS III/ III F (lanșați începând

cu 2018), cu al patrulea semnal civil L1C, modulat pe purtătoarea L1, care permite interoperabilitatea cu sistemul Galileo și BeiDou, îmbunătățind mult recepția semnalelor în spații înguste („canioane” urbane și naturale).

Sateliții suplimentari față de configurația inițială sunt intercalați în planele orbitale, astfel încât să asigure și în cele mai dificile zone, cu o mască de 15°, recepția de la minim 4 sateliți GPS.

Segmentul de control are stații și antene de urmărire, care susțin și supraveghează sateliții. Stația principală este amplasată în Colorado (SUA), fiind dublată de o stație alternativă (Vandenberg, SUA) complet funcțională. Stațiile monitoare au fost inițial 5, la care s-au mai adăugat 11, crescând astfel volumul de date colectate și îmbunătățind precizia de poziționare cu 10-15%. În prezent un satelit este urmărit permanent de minim 3 unități ale segmentului de control. Antenele sunt folosite, în contextul poziționării, de forțele aeriene americane.

Segmentul utilizator este bine reprezentat. Receptoarele construite acum sunt apte să recepționeze și prelucreze semnalele mai multor sisteme satelitare și SBAS.

Timpul GPS (GPST = GPS Time) este continuu, necorectat anual pentru sincroniza-

Tabel 1 Principalele caracteristici ale GNSS cu semnal disponibil în UE (noiembrie 2020).

Main characteristics of GNSS with signal available in the EU (nov. 2020)

Sistem	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou/Compass
Gestionat de:	SUA	Rusia	UE	China
Acoperire	globală	globală	~ globală	globală
Altitudine sateliți	20.120km	19.130km	23.222km	35.786 km /21.528 km
Perioadă de rotație	11h 58'	11h 16'	14h 05'	12h 38'
Număr de sateliți	30/(24 inițial)	28/(24 inițial)	26/(30 inițial)	49/(35 inițial)
Frecvențe civile, [MHz]	L1, L2C, L5, L1C	L1, L2, L3, L5	E1, E6, E5a, E5b	B1, B2, B3
Precizie (absolut)	<15m, fără WAAS	4,5m ÷ 7,4m	~1m	< 10m
Sistem de referință	WGS 84	SK-42, Krasovsky 1940	ETRS89	China Geodetic Coordinate System (CGCS) 2000
Timp	GPST, continuu	GLONASST, sincron cu UTC	GST, continuu, sincron cu TAI	BDT, sincron cu UTC
SBAS	WAAS	SDCM	EGNOS	SNAS

rea cu rotația terestră. Ora GPS a fost pusă de acord cu ora UTC în 1980, dar de atunci este divergentă cu acesta (în prezent cu circa 37"). Ceasurile sateliților sunt periodic corectate pentru a rămâne sincrone cu ceasurile de la sol. Mesajul de navigare include și diferența GPST - UTC, iar receptoarele au soft pentru data corectă din calendarul gregorian.

Glouass

Glouass (Global Navigation Satellite System) este, începând cu 1982, replica rusească la sistemul american GPS, cu care este, în esență, asemănător.

Segmentul satelitar a fost inițial conceput să cuprindă 24 sateliți, câte 8 în trei plane orbitale. În noiembrie 2020 constelația are 28 sateliți (23 operaționali, 1 rezervă, 2 în teste și 2 în mentenanță). Sateliții lansați înainte de 2011 (considerați acum din „generația veche”), emit semnalele civile pe frecvențele L1 și L2. Urmează sateliții din seria Glouass-K1, care transmit în plus și un semnal în banda L3 (similar cu E5b Galileo și Beidou), cei din seria Glouass-K2, cu încă două semnale pentru civili în benzile L3 și L1 și Glouass KM (modernizat), lansați după 2015, care transmit în plus față de precedenți un semnal L5 în bandă cu cel GPS și E5a Galileo.

Segmentul de la sol are componentele în majoritate pe teritoriul Rusiei. Este format dintr-un centru de control (Krasnoznamensk, Moskova), 5 stații de urmărire, telemetrie și comandă, 3 stații de încărcare date, 10 stații de monitorizare și măsurare, 2 pentru calibrare folosind telemetria laser și un centru de sincronizare a timpului. Recent, au fost stabilite stații de urmărire pe tot globul, în cadrul dezvoltării propriului sistem de corecție și monitorizare diferențială (SDCM). Stațiile SDCM sunt echipate cu receptoare combinate GPS și GLONASS cu dublă frecvență, ceasuri atomice și legături pentru transferul de date în timp real spre sateliți, prin intermediul unor stații de încărcare, unele amplasate și în afara Rusiei (de ex. Antarctica).

Segmentul utilizatorilor civili ai sistemului GLONASS a fost minim în Uniunea Sovietică și ulterior în Rusia, întrucât receptoare dedicate sistemului au fost dezvoltate doar pentru militari. După 2000 au apărut seturi mixte de receptori GPS + GLONASS, iar în prezent acestea se produc și se folosesc pe scară largă, putând include și celelalte sisteme.

Timpul GLONASS (GLONASST), generat în centrul de sincronizare Mendeleev, are diferența față de UTC de +3h (ora Moscovei). Spre deosebire de timpul GPS, acesta este corectat periodic prin secunde de salt, întocmai ca în UTC, cu care rămâne sincron.

BeiDou

Sistemul de navigație BeiDou (Carul Mare), denumit anterior Compass (busolă), este administrat de China, fiind parțial funcțional din 2015.

Conceput să fie deplin operațional la sfârșitul anului 2020, în august 2020 (cu 6 luni înainte de termen!) s-a anunțat oficial definitivarea sistemului, atât în ce privește lansarea tuturor sateliților, cât și a serviciilor oferite: poziționarea, navigarea și sincronizarea, comunicarea globală și regională a mesajelor SMS, căutare/salvare internațională, poziționare de precizie la sol. Segmentul spațial a fost conceput să aibă în total 35 de sateliți. În noiembrie 2020 sistemul numără 49 sateliți (44 operaționali, 5 în probe sau revizie), din care doar un sfert sunt mai vechi de 5 ani! Din total, 8 sateliți sunt geostaționari (GEO), astfel ca măcar unul să se afle permanent deasupra teritoriului Chinei, 29 sunt pe orbite medii (MEO), iar 12 sunt pe orbită geosincronă înclinată (IGSO). Precizia poziționării absolute ajunge de la 10 m până la 2,4 m, precizia măsurării vitezei este sub 0,2 m/s, sincronizarea sub 20 nanosecunde, iar disponibilitatea sistemului este peste 99% și chiar mai mare în regiunea Asia-Pacific.

Semnalele transmise sunt în trei benzi de frecvență (B1, B2 și B3), în aceeași zonă a benzii L ca și alte semnale GNSS (figura 7). Prin intermediul semnalului civil B1 se asigură

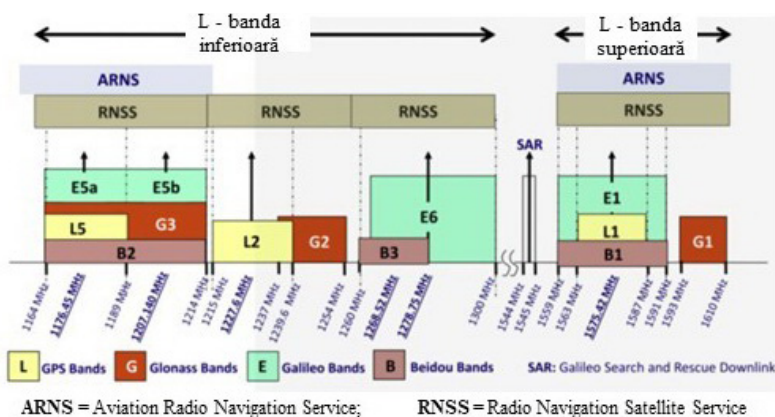


Figura 7 Benzile de frecvențe pentru diferite GNSS (Del Hoyo 2019).

GNSS frequency bands for different satellite constellations (Del Hoyo 2019).

interoperabilitatea cu Galileo și GPS.

Segmentul de control include un centru de comandă (Master Control Station - MCS), stații de încărcare și stații de monitorizare, cu rol similar celorlalte sisteme.

Segmentul utilizatorilor, format din cei care se pot poziționa pe baza semnalelor BeiDou, este într-un totu similar cu al celorlalte GNSS, mai ales datorită eforturilor depuse pentru compatibilitatea și interoperabilitatea lor, iar aplicațiile sunt asemănătoare cu ale celorlalte servicii publice (disponibile gratuit, din semnale necorectate atmosferic, cu o precizie de poziționare de până la 10 m, sau autorizate, pentru militari și comunicare prin mesaje tip SMS între stațiile de monitorizare și utilizatori).

Timpul BeiDou (BeiDou Time - BDT) este continuu, sincronizat cu UTC și are ca origine ora zero - 1 ianuarie 2006. Diferența între BDT și timpul GPS, GLONASS sau Galileo este sistematic măsurată și difuzată în mesajul de navigație.

Galileo

Galileo este sistemul de navigație deținut de Uniunea Europeană, activ din 2016 și, spre deosebire de toate celelalte sisteme, este singurul aflat total sub control civil. Funcționarea la deplină capacitate a fost prevăzută pentru anul

2020.

Segmentul spațial a fost conceput să aibă 30 sateliți (24 operaționali și 6 de rezervă), distribuiți egal în 3 plane orbite, care fac cu planul ecuator un unghi de 57°. Se asigură în acest mod o mai bună acoperire a latitudinilor polare, slab deservite prin sistemul american GPS. În noiembrie 2020, pe orbită se află 26 sateliți: 22 operaționali, 2 în probe (lansați în iulie 2019) și 2 indisponibili. Lansarea pentru completarea numărului de sateliți proiectat nu a avut încă în anul 2020. Cu configurația din prezent sistemul se apropie foarte mult de capacitatea completă de operare.

Disponerea sateliților face posibil ca, în orice poziție de pe glob a unui utilizator, 6-8 dintre aceștia să fie vizibili. Creșterea preciziei de poziționare, a fiabilității, continuității și disponibilității semnalelor este asigurată de propriul sistem de îmbunătățire (EGNOS), format din sateliți geostaționari a căror arie de acoperire se suprapune peste majoritatea statelor europene.

Fiecare satelit difuzează 10 semnale de navigație diferite. Multitudinea semnalelor permite o mai bună estimare a efectului atmosferei, prin combinarea măsurătorilor cu același satelit, dar la frecvențe diferite. Toți sateliții transmit aceleași semnale, dar însoțite de coduri diferite. O caracteristică de menționat este că intensitatea semnalelor este mai mare ca în celelalte GNSS, oferind precizii de poziționare mai bune în me-

dii considerate până acum dificile. Galileo este proiectat să fie pe deplin interoperabil cu restul constelațiilor GNSS, așa cum se observă din figura 7.

Segmentul la sol cuprinde stația principală de control (Germania – Oberpfaffenhofen), cea alternativă (Italia - Fucino), și stații de urmărire și control, ce susțin serviciile oferite de Galileo.

Segmentul utilizatorilor este reprezentat de receptoarele compatibile. Peste 95% din oferta mondială a companiilor de profil conține cipuri compatibile Galileo, iar din 2018 toate vehiculele noi omologate în Europa sunt dotate cu asemenea dispozitive. Practic, după atingerea capacității de operare completă (=FOC - Full Operational Capability) prevăzută în 2020, sunt disponibile integral o serie de servicii și aplicații, ce acoperă atât domeniul public, cât și cel privat:

- i) serviciu deschis (OS - Open Service), accesibil gratuit pentru navigație și telefonia mobilă bazată pe locație, oferă o precizie de poziționare de circa 1 m;
- ii) serviciu comercial (CS - Commercial Service), codat (contra cost), oferă o precizie centimetrică, pentru aplicații profesionale;
- iii) siguranța vieții (SOL - Safety-of-Life), destinat siguranței în navigația aeriană;
- iv) serviciu public reglementat (PRS -Public Regulated Service), pentru utilizatori guvernamentali (urgență, securitate, armată);
- v) căutare și salvare (SAR - Search and Rescue, destinat localizării / ajutorării celor aflați în pericol în zona de acoperire;
- vi) internetul obiectelor (Internet of Things, IoT), ce presupune o rețea de dispozitive legate prin internet, în cadrul căreia se fac schimburi de date între producători și operatori;
- vii) servicii bazate pe localizare (Location-Based Services -LBS), care oferă informații și publicitate despre serviciile aflate în apropierea locației;
- viii) servicii de urgență, securitate și umanitare (Emergency, Security and Humanitarian Services), utile în localizarea bunurilor furate, persoanelor dispărute, supravegherea frontiere-

lor etc.;

ix) știință, mediu, vreme (Science, Environment, Weather), cu aplicații în geodezie, meteorologie, geologie, predictibilitatea cutremurelor ș.a.;

x) servicii pentru transport, conducând la siguranța și eficiența traficului aerian, maritim, feroviar și chiar pietonal;

xi) servicii pentru agricultură, inclusiv gestionarea eficientă a datelor cadastrale legate de proprietăți;

xii) servicii de inginerie civilă, prin oferta de planuri/hărți digitale, urmărirea construcțiilor pe durata execuției și post-execuție;

xiii) referință pentru timp, prin menținerea în sincronism cu UTC sau TAI în diferite aplicații (comunicații, serviciile financiar-bancare, asigurări, comerț electronic ș.a).

Timpul Galileo (Galileo System Time - GST), dat de cele mai performante ceasuri aflate acum în dotarea GNSS (Passive Hydrogen Maser – PHM, cu eroare sub o nanosecundă/zi), este continuu și menținut în sincronism cu TAI. Scurgerea timpului are ca origine ora 0 a zilei de 22 august 1999 (zero GST) și este monitorizată în Centrul de Control Galileo.

Concluzii și perspective

Anul 2020 reprezintă un moment important în evoluția sistemelor de poziționare globală, întrucât la cele două GNSS existente s-a adăugat alte două: BeiDou -la întreaga capacitate și Galileo - foarte aproape de statutul de sistem global, pe care și-l va atinge, cu siguranță, la prima lansare.

Făcând referire doar la folosințele civile, apariția altor două sisteme globale de poziționare a fost necesară pentru a garanta performanțele utilizatorilor, mai ales în condiții considerate dificile. Ne propunem să punctăm cele mai importante oportunități ce derivă, practic, din dublarea numărului sistemelor globale de poziționare și implicit a sateliților, stațiilor de monitorizare sau sistemelor complementare de îmbunătățire a poziționării.

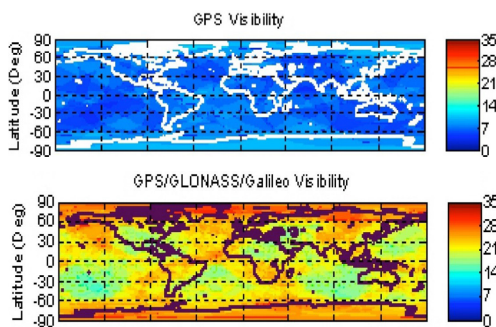


Figura 8 Numărul sateliților disponibili pe glob, cu o mască de 15° (GPS, respectiv GPS + Glonass + Galileo) (Rizos et al. 2005).
Number of satellites available worldwide, with a 15° mask (GPS only, GPS + Glonass + Galileo) (Rizos et al. 2005).

Creșterea numărului de sateliți disponibili, la peste 130 în prezent, înseamnă transmiterea unei mari varietăți de semnale și coduri, unele comune, ce pot fi recepționate oriunde și oricând pe glob, de utilizatori cu receptoare dotate corespunzător. Acest fapt se cuantifică practic în:

- i) disponibilitate sporită, prin creșterea abilității de poziționare în zone unde o parte din semnale

ajung cu dificultate: canioane naturale și urbane, sub coronamentul arborilor sau în interiorul clădirilor. Într-o simulare a funcționării simultane a sistemelor GPS, Galileo și Glonass, utilizând o mască de 15°, se poate observa (figura 8) că pentru zona Europei și implicit pentru România numărul de sateliți vizibili este, în medie, de 3,5-4 ori mai mare decât cel asigurat numai prin sistemul GPS-Navstar (Rizos et al. 2005). În ce privește disponibilitatea pe glob a sateliților BeiDou + Glonass, cu o mască de 5°, se constată că pentru toată porțiunea continentală, numărul sateliților disponibili este permanent mai mare ca 16 (figura 9).

- ii) continuitate, datorată independenței GNSS. Continuitatea este susținută de probabilitatea foarte mică a apariției simultane, în condiții normale, a unor probleme majore în toate GNSS;
- iii) precizie crescută, prin procesarea unui număr mai mare de măsurători și îmbunătățirea configurației geometrice a constelației (figura 10). Mai multe semnale, de frecvențe diferite, dau o mai bună corecție pentru întârzierile în ionosferă, care depind de frecvență.
- iv) eficiență, ce crește mai ales în cazul pozi-

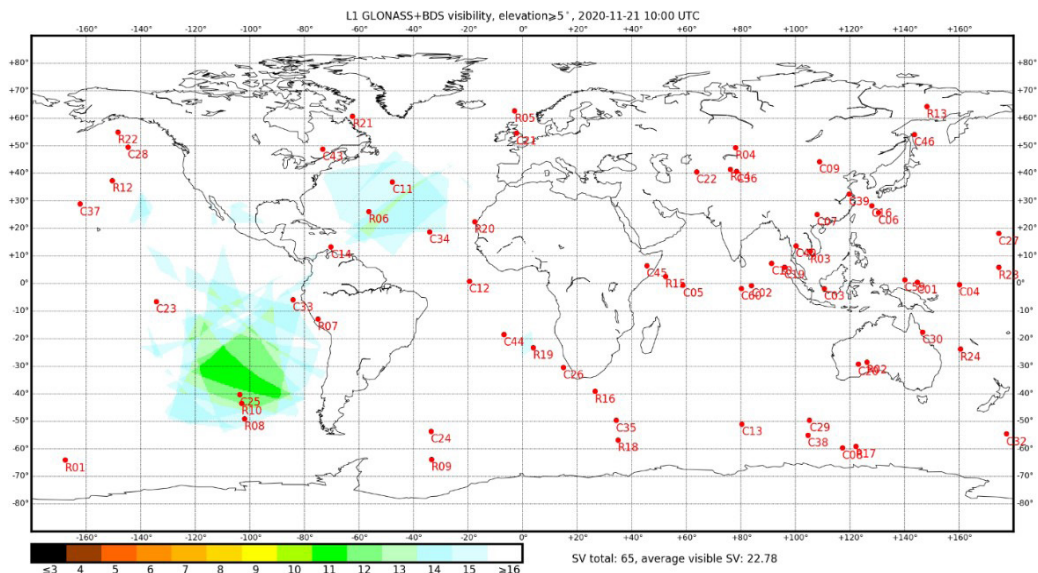


Figura 9 Sateliți Glonass + BeiDou vizibili, pentru o mască de 5° (21 nov 2020, 10 UTC) (<https://www.glonass-iac.ru>).
Visible satellites Glonass + BeiDou, for a 5° mask (21 Nov 2020, 10 UTC) (<https://www.glonass-iac.ru>).

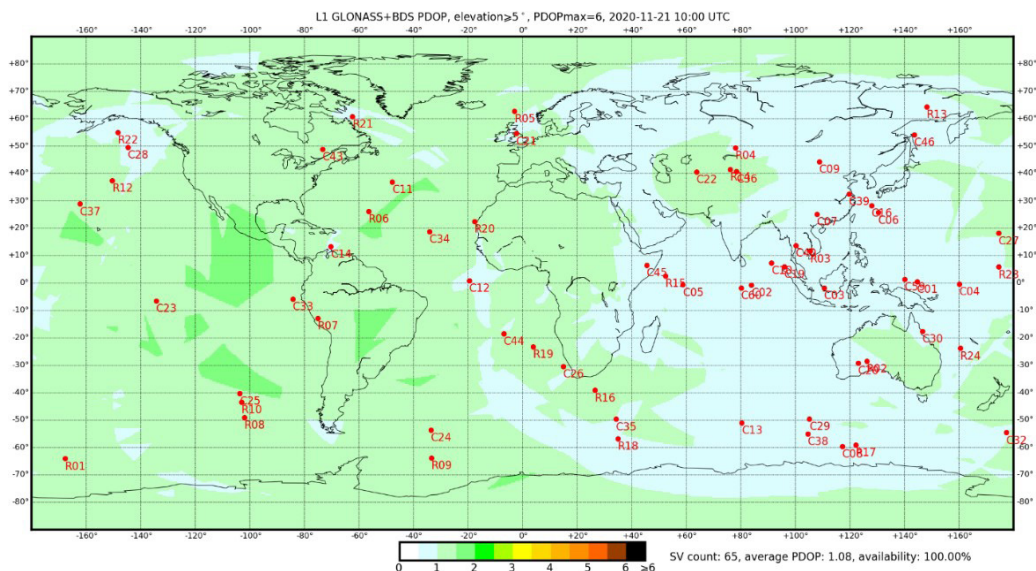


Figura 10 DOP < 2, asigurat pentru Europa cu sateliți Glonass + Beidou, pentru o mască de 5° (21 nov 2020, 10 UTC) (<https://www.glonass-iac.ru>).

DOP < 2 insured for Europe using Glonass + Beidou satellites, with a 5° mask (21 Nov 2020, 10 UTC) (<https://www.glonass-iac.ru>).

ționării bazate pe unele purtătoare, întrucât semnalele suplimentare reduc timpul necesar rezolvării ambiguităților,

v) fiabilitate crescută, întrucât blocarea accidentală a unei/unor frecvențe nu produce și sistarea completă a determinării poziției.

Nu este deloc de neglijat nici faptul că generațiile noi de sateliți emit semnale mai puternice, capabile să străbată frunzișul arborilor sau să fie recepționate în interiorul clădirilor.

Gradul de compatibilitate a sistemelor crește, înțelegând prin compatibilitate abilitatea lor de a fi utilizate separat sau împreună, atâta timp cât nu există interferență între semnale. Acest lucru rezultă și urmărind datele din figura 7, unde este arătată suprapunerea benzilor de frecvență.

Luarea în considerare a interoperabilității, definită prin capacitatea GNSS de a fi folosite împreună, pentru ca utilizatorii să obțină performanțe superioare față de cele obținute cu un singur sistem (UN 2018). În acest context, interoperabilitatea are semnificația de capacitate a tuturor GNSS de a furniza, independent,

aceeași soluție. Un receptor GPS, GLONASS, Galileo sau BeiDou trebuie să ofere, dacă este utilizat autonom, aceeași soluție de navigație, conform preciziei sistemului respectiv (Hein 2006) Aceasta conduce la creșterea încrederii comunității de utilizatori. Idealizând, interoperabilitatea permite unor receptoare mai ieftine să urmărească un număr maxim de sateliți, care emit un număr maxim de semnale, ceea ce se suprapune cu nevoile unui număr foarte mare de utilizatori civili. Așa încât, până la dezvoltarea de noi receptoare multisistem, interoperabilitatea menține scăzute costurile suplimentare pentru receptoare.

Este de menționat și posibilitatea de a recepționa și utiliza trei frecvențe în loc de două, ceea ce crește și mai mult performanța în poziționare. De asemenea, interoperabilitatea conduce la o mai mare disponibilitate a sateliților, la scăderea valorii DOP, la vectori de bază mai mari în cazul folosirii simultane a trei frecvențe și diminuarea fenomenului multipath.

Modernizarea segmentului la sol față de forma inițială este un alt aspect al evo-

luției, astfel că în prezent sateliții sunt permanent simultan „urmăriți” de cel puțin două stații (obișnuit de trei). În acest fel rezultă corecții atmosferice, de ceas și efemeride, mai precise și mai frecvente, valori care ajung mai rapid la receptoare, fiind incluse în mesajul de navigație. În plus, stațiile de la sol aparținând diverse GNSS pot colabora între ele, dar și cu SBAS. Aceste realizări sporesc considerabil, acum și în viitorul apropiat, acuratețea și posibilitatea poziționării în orice punct de pe suprafața Pământului, inclusiv în interiorul clădirilor.

Receptoarele moderne GNSS au devenit tot mai performante, dar și mai accesibile utilizatorilor. Noile semnale satelitare pentru civili sunt însoțite de coduri, ceea ce conduce la o corelare mai simplă în receptor, comparativ cu măsurarea fazei unde purtătoare. Rezultă, prin urmare, receptoare cu softuri mai simple și deci mai ieftine. Existența unui număr din ce în ce mai mare de semnale emise de sateliții existenți sau planificați din fiecare GNSS a condus, în urmă cu circa 10 ani, la apariția protocolului de comunicare RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services), ce urmărește prezentarea acestor semnale într-o formă universală (Boriskin et al. 2012). Standardul RTCM asigură interoperabilitatea datelor primite de receptorul GNSS, utilizarea simultană a receptoarelor provenind de la diferiți furnizori de echipament și incorporarea semnalelor provenite de la alte sisteme de poziționare, realizând comunicarea GPS, Glonass, BeiDou și Galileo.

Or, în măsura în care GNSS poate livra receptoare ieftine, capabile să urmărească numărul maxim de sateliți și să recepționeze numărul maxim de semnale, viitorul acestei tehnici de poziționare va avea numai de câștigat pe termen lung, în orice domeniu de activitate.

Bibliografie

Ansari K., Corumluoglu O., Verma P., Pavelyev V. S., 2017. An Overview of the International GNSS Service (IGS), *Grenze International Journal of Computer The-*

ory and Engineering, Special issue, Muthoot Institute of Technology and Science, Kochi, India.

- Baumann I., 2017. Traceable Time from GNSS Signals, *Inside GNSS*, <https://insidegnss.com/traceable-time-from-gnss-signals/>
- Bhardwaj A., 2020. Terrestrial and Satellite-Based Positioning and Navigation Systems—A Review with a Regional and Global Perspective, 7th Electronic Conference on Sensors and Applications, Beijing.
- Boriskin A., Kozlov D., Zyryanov G. 2012. The RTCM Multiple Signal Messages: A New Step in GNSS Data Standardization. În *ION GNSS 2012. Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, Nashville, TN, September 2012, pp. 2947-2955.
- Boș N., Iacobescu O., 2019. Cadastru și cartea funciară, Ediția 2, Ed. C.H. Beck, București, 415 p.
- Del Hoyo, T., 2019. SAR and GNSS, monitoring Earth from space (<https://medium.com/worldsensing-techblog/sar-and-gnss-monitoring-earth-from-space>).
- Elena D.P. 2016. Orientarea în teren după astre. <https://prezi.com/seyxdcdd2xz/orientarea-in-teren-dupa-astre/>
- Grewal M., Andrews A. P., Bartone C.G. 2020. *Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration*, Online ISBN:9781119547860, John Wiley & Sons.
- Hein G., 2006. GNSS Interoperability: Achieving a Global System of Systems or „Does Everything Have to Be the Same?”, în *Inside GNSS*. (https://www.insidegnss.com/auto/0106_Working_Papers_IGM.pdf)
- Moldoveanu C. 2002. *Geodezie*, Ed. MartixRom, București, 534 p.
- Rizos C., Higgins M. B., Hewitson S., 2005: New GNSS developments and their impact on survey service providers and surveyors, *The National biennial Conference of the Spatial Sciences Institute*, Melbourne. ISBN 0-9581366-2-9.
- Tan S. 2017. Principles of Satellite Positioning Reporting, capitol în *GNSS Systems and Engineering: The Chinese Beidou Navigation and Position Location Satellite*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118897041.ch3>.
- UN 2018. United Nations - Office for Outer Space Affairs, *The Interoperable Global Navigation Satellite Systems - Space Service Volume*, (<https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/stspace/stspace.pdf>).

Pagini web

- <https://www.glonass-iac.ru/en/BEIDOU/>
<https://www.gps.gov/systems/gps/space/>
<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo>
<https://www.unoosa.org/>