

1 TEHNOLOGIA GPS

1.1 EVOLUȚIA SISTEMULUI GPS

În anul 1973 „U.S.Department of Defence”, din Ministerul Apărării a S.U.A, lansase o comandă către „Joint Program Office din Los Angeles Air Force Base”, să elaboreze concepția unui sistem de poziționare bazat pe sateliți, care să permită navigația: adică să ofere poziția și viteza unui obiect oarecare ce se află în mișcare sau în repaus. În plus se mai solicita să fie asigurate și informații de timp foarte precise. Rezultatul trebuia să fie în timp real, adică să fie la dispoziția utilizatorului imediat după măsurare. De asemenea se pretindea noului sistem să funcționeze independent de starea vremii, la orice oră din zi sau din noapte și în orice punct de pe suprafața sau în apropierea Pământului (pe pământ, pe apă și în aer).

Rezultatul comenzii a fost: NAVSTAR GPS, sau mai simplu GPS, notație folosită în mod obișnuit pentru sistem, corespunzând denumirii de NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System adică sistem de poziționare globală pentru asistarea navigației bazate pe măsurările de timp și de distanțe relative a sateliților.

Pentru a îndeplini condițiile sus amintite au fost stabilite următoarele caracteristici generale:

- Orbite satelitare înalte – care asigură avantajul că se solicită un număr mai redus de sateliți, iar stabilitatea acestora pe orbite este mult mai ridicată;
- Orbite satelitare înclinate – care asigură avantajul că pot fi observate și în zonele polare, evitând astfel o aglomerare de sateliți în zona polilor;
- Repartizarea uniformă a sateliților pe orbite – care asigură avantajul că se realizează o acoperire completă și cu efort minim a zonelor de pe glob și în plus sateliții pot fi bine supravegheați și controlați;
- Orbite satelitare simetrice – care asigură avantajul că asupra sateliților acționează aceiași factori perturbatori, astfel încât constelația satelitară rămâne relativ stabilă.

Sistemul NAVSTAR- GPS a fost realizat practic în trei faze:

Faza 1: 1974 – 1979 faza de verificare și testare – când s-a verificat concepția sistemului, s-au lansat primii sateliți test și s-a făcut o evaluare a costurilor pentru realizarea sistemului;

Faza 2: 1979 – 1985 faza de dezvoltare a sistemului – când lucrările s-au concentrat asupra dezvoltării laturii tehnice a sistemului. S-au lansat noi sateliți și s-au realizat receptoare adecvate;

Faza 3: 1983 – 1994 faza de definitivare a sistemului – care se întrepătrunde cu faza precedentă, datorită rezultatelor foarte bune obținute în faza de testări. În această etapă s-au lansat sateliții pentru completarea integrală a sistemului și s-au conceput receptoare tot mai performante.

Începând din anul 1992, sistemul a fost format din 18 sateliți, în șase plane orbitale înclinate cu 55° între ele, la aproximativ 20200 km altitudine, asigurând vizibilitate la cel puțin 4 sateliți simultan, în orice moment al zilei, în orice punct de pe glob.

Sateliții nu erau egali distribuiți în planele orbitale iar orbitele erau ușor turtite la poli.

Constelația actuală este constituită din 34 de sateliți operaționali. Altitudinea la care sunt situați sateliții este de aproximativ 20200km iar durata unei revoluții, de 11 h 58 min.

1.2 STRUCTURA SISTEMULUI GPS

Sistemul GPS este conceput din 3 segmente principale (fig.2.1):

- segmentul spațial:
 - sateliții sistemului;
 - semnalul transmis de sateliți;
- segmentul de control:
 - stațiile de control
 - stațiile master;
- segmentul utilizator:
 - aparatura utilizată.

Primele două segmente se află în exclusivitate sub controlul realizatorului sistemului (DoD-Departament of Defense - Departamentul Apărării - USA)

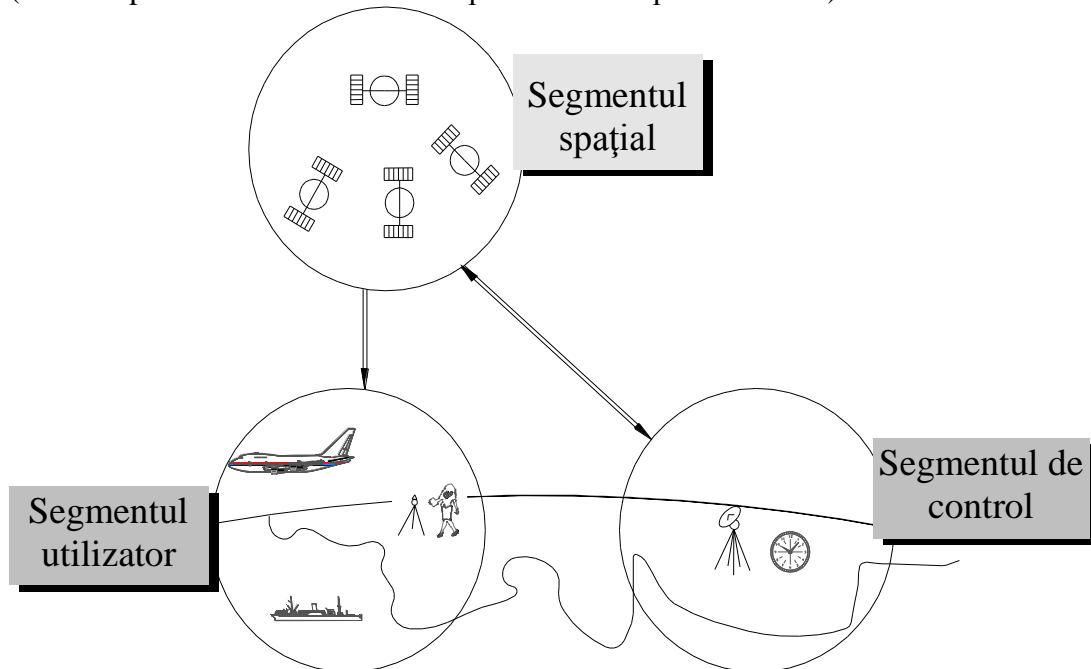


Fig.1.1 Segmentele sistemului GPS

1.3. Segmentul spațial

❖ Satețiții sistemului

Satețiții NAVSTAR-GPS transmit semnale de timp sincronizate pe două frecvențe purtătoare, parametri de poziție ai satețiților și informații adiționale cum ar fi starea satețiților.

Această constelație garantează vizibilitatea simultană spre cel puțin 4 satețiți, din orice punct de pe Pământ, iar dacă satețiitul trece prin zenitul observatorului, atunci acel satețiit va fi vizibil pentru aproximativ 5 ore.

La început a fost constituit Blocul I de satețiți (1978- 1985) care au fost satețiți prototip concepuți pentru faza de testare și dezvoltare. Greutatea lor era de 845kg și erau prevăzuți pentru o durată de funcționare de 5 ani. Primul satețiit a fost lansat în februarie 1978, iar ultimul din cei 11 prevăzuți, în octombrie 1985. În general satețiții din această generație au îndeplinit durata lor de funcționare, mulți dintre ei chiar depășind-o, astfel în anul 1993 erau încă funcționali satețiți lansați în perioada 1983 – 1985.

Blocul II de satețiți prevede 24 de satețiți operaționali și 3 de rezervă dispuși pe 6 plane orbitale cu înclinație de 55°. Ei se deosebesc esențial de satețiții din generația precedentă prin faptul că aveau implementate tehnicile de protecție SA – Selective Availability și AS – Anti Spoofing. Durata medie de vârstă a acestor satețiți era preconizată la 6 ani, ceea ce a condus la începerea înlocuirii acestora începând cu anul 1995. Primul satețiit din această generație, în greutate de cca. 1500 kg a fost lansat în februarie 1989. La bordul fiecărui satețiit din „Block - II” se află patru ceasuri atomice, două cu Cesium și două cu Rubidiu.

Satețiții din generația „Block - IIA” (A are semnificația „Advanced” - îmbunătățit) sunt dotați cu posibilități de comunicare satețiit – satețiit. Primul satețiit din această generație a fost lansat în noiembrie 1990.

Satețiții din generația „Block - IIR” (R are semnificația „Replenishment” - înlocuire) asigură facilitatea de măsurare a distanței satețiit – satețiit - tehnica SSR (Satețiit-to-Satețiit Ranging), iar ceasurile atomice (Maser - Hidrogen) sunt cu un ordin de mărime mai precise. Greutatea lor este de 2000 kg, iar durata de viață este estimată la 10 ani. Lansarea satețiților din această generație a început în anul 1995.

Satețiții din generația „Block - IIF” (F are semnificația „Follow on” - a continua) vor fi lansați în perioada 2001 – 2010. Se preconizează că această generație va dispune și de sisteme inerțiale de navigație.

Satețiitul este constituit din două părți:

1. Sistemul de transport
2. Sistemul de navigație

1. Sistemul de transport propriu-zis constă dintr-o structură compactă tip cutie, de care sunt prinse două panouri solare cu posibilitate de rotație.

În plus, această structură poartă:

- sistemul de control termic;
- sistemul de alimentare și distribuție;
- sistemul telemetric și de telecomandă;
- sistemul de control al altitudinii și vitezei;
- sistemul de control al altitudinii și orbitei.

2. Sistemul de navigație al fiecărui satelit GPS constă în principal din:

- unitatea de amplificare a datelor de navigație;
- două emițătoare de navigație cu antene pe frecvențele L1 și L2;
- ceasuri atomice;
- memorie cu datele de navigație pentru 14 zile.

❖ *Structura semnalului GPS*

Sarcina principală a sateliților este de a emite semnale, care să poată fi recepționate cu receptoare adecvate. Pentru aceasta fiecare satelit este prevăzut cu ceasuri (oscilatoare), un microprocesor și o antenă. Asigurarea cu energie este realizată de baterii solare.

Satelitul GPS are un oscilator de înaltă precizie cu frecvența fundamentală de 10.23Mhz (banda L de frecvențe).

Toate celelalte frecvențe derivă din aceasta:

L1 la 1575.42 MHz $\lambda = 19$ cm

L2 la 1227.60 MHz $\lambda = 24$ cm

Semnalul de navigație actual constă în: unda purtătoare din banda L modulată cu codul P sau cu codul C/A(S) și mesajul de navigație.

Codul are caracteristicile unui zgomot aleator, dar este de fapt un cod binar generat cu un algoritm matematic și de aceea este denumit "zgomot pseudo-aleator" (PRN – Pseudo Range Noise). Codul P și codul C/A sunt defazate cu 90° unul față de celălalt.

Codul C/A se repetă la fiecare 1ms, pe când codul P are o perioadă de 267 zile. Această secvență de 267 zile este divizată astfel încât fiecărui satelit îi este asociată o porțiune unică de o săptămână din cod, care nu se suprapune cu nici o altă secvență a altui satelit. Pentru măsurarea precisă a timpului, fiecare satelit conține câteva oscilatoare de înaltă precizie, cu un grad de stabilitate de ordinul 10-14. (tabelul 2.1).

Tabel 1.1 Tipuri de ceasuri

Ceas	$\Delta f/f$
Rubidiu	10-11 - 10-12
Cesiu	10-12-10-13
Hidrogen-maser	10-14-10-15

f = frecvența oscilatorului

Codul P este generat la frecvența ceasului GPS-ului de 10.23 MHz (Mbps).

De aceea o secvență de cod corespunde la un interval de timp de aproximativ 100ns, ceea ce este echivalent cu o distanță de 50 m.

Rezoluția poate fi îmbunătățită prin interpolare (sub 1m).

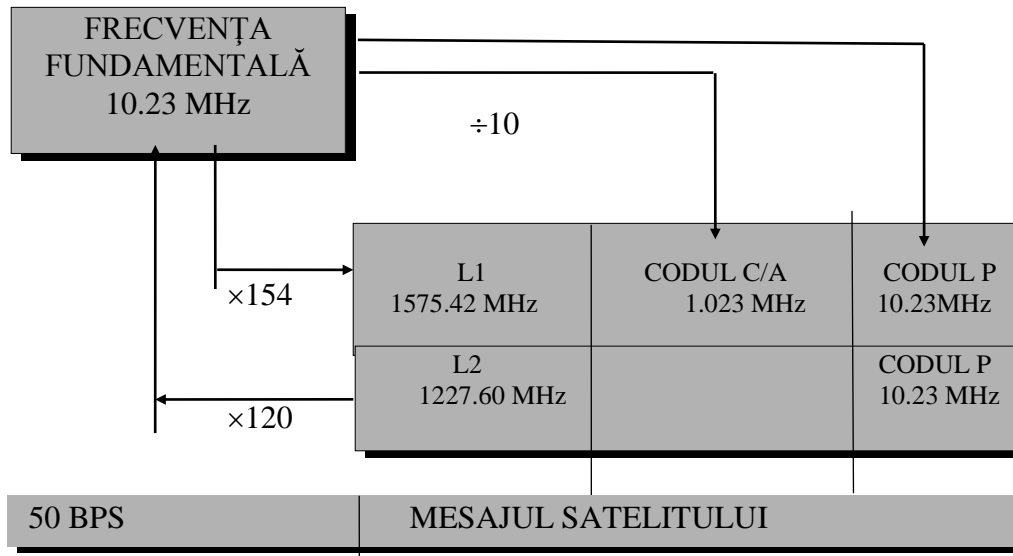


Fig.1.2 Structura semnalului GPS

Codul C/A nu este atât de complex. El reprezintă o secvență de cod cu frecvența de 1.023MHz, corespunzând la o rezoluție în distanță de aproximativ 300m.

În prezent purtătoarea L1 este modulată cu ambele coduri (P și C/A), pe când purtătoarea L2 este modulată numai pe codul P.

Întregul mesaj este divizat în 5 subsegmente, fiecare constând în zece cuvinte. Fiecare cuvânt are 30 biți fiecare.

Subsegmentul 1: conține parametri de corecție de ceas pentru a da utilizatorului informații despre corecția de timp GPS și coeficienții unui model de propagare prin ionosferă pentru utilizatori monofrecvență.

Subsegmentul 2-3: conține efemeridele satelitelui precalculate din informațiile stațiilor terestre de urmărire. Pe baza acestor parametri se poate calcula poziția satelitelui, într-un sistem geocentric de coordonate.

Subsegmentul 4: este rezervat pentru mesaje alfanumerice ale unor aplicații viitoare.

Subsegmentul 5: conține datele de almanah pentru un satelit. Acest subsegment conține în mod succesiv almanahul a 25 sateliți. Culegerea unui almanah complet necesită maximum 12,5 minute.

Măsurarea cu codul P pe ambele frecvențe permite și determinarea corecției de refracție în troposferă. Absența codului C/A pe L2 este intenționată și este una din limitările impuse utilizatorilor neautorizați ai sistemului.

Codurile sunt mărci precise de timp care permit procesului intern al receptorului să calculeze momentul transmisiei semnalului satelitelui.

Timpul de tranziție este în fond reprezentat de "deplasarea" fazei între secvențele identice de cod (P sau C/A) generate de către oscilatoarele receptorului și satelitelui. Toate ceasurile satelitelui sunt sincronizate cu timpul sistemului GPS. Dacă receptorul a fost echipat cu un ceas de înaltă precizie sincronizat cu timpul GPS, atunci el va măsura distanța "adevărată".

Prin măsurări simultane de distanțe spre trei sateliți, poziția utilizatorului poate fi definită de intersecția a trei sfere de rază cunoscută, centrate fiecare pe satelit, ale cărui coordonate sunt furnizate în mesajul de navigație.

În general, receptoarele sunt echipate cu ceasuri cu cristal care nu pot stabiliza timpul ca și ceasurile stabile ale satelitului.

Implicit, distanța măsurată va fi afectată de eroarea de ceas a receptorului.

Această cantitate măsurată este cunoscută ca "pseudodistanță" și de aceea utilizatorul trebuie să urmărească 4 sateliți și să rezolve 4 ecuații cu 4 necunoscute: componentele preciziei 3D(x, y, z) și corecția de ceas a receptorului (dT).

1.3. Segmentul de control

❖ Atribuțiile segmentului de control și stațiile de control:

Segmentul de control are următoarele atribuții:

- Calcularea efemeridelor sateliților;
- Determinarea corecțiilor pentru efemeridele satelitare (inclusiv implementarea tehnicilor SA și AS la sistemul GPS);
- Menținerea standardului de timp, prin supravegherea stării de funcționare a ceasurilor satelitare și extrapolarea mersului acestora;
- Transferul mesajelor de navigație spre sateliți;
- Controlul integral al sistemului.

Datele de la stațiile de urmărire (stații monitor), a căror poziții sunt bine cunoscute, sunt transmise stației master.

Aici, orbitele sateliților sunt precalculate împreună cu corecțiile de ceas ale sateliților.

Aceste date sunt apoi transmise sateliților corespunzători formând o parte esențială a mesajului satelitului. Sincronizarea timpului sateliților este una din funcțiile cele mai importante ale segmentului de control. De aceea, stația master este conectată direct cu timpul standard al Observatorului Naval al USA din Washington D.C.

"Defense Mapping Agency" (D.M.A.) este serviciul care furnizează efemeride precise pentru sateliții sistemului GPS pe o bază de calcul săptămânală. În prezent există și alte organizații care calculează efemeride precise ca de exemplu National Geodetic Survey din Rockville, Maryland etc.

D.M.A. operează cu 5 stații monitor, distribuite global pentru a întări acoperirea sateliților furnizată de către cele 5 stații monitor ale Forțelor Aeriene (U.S.A.F.). Aceste stații sunt: Colorado Spring din Colorado care este stația master (Master Control Station), Hawaii, Kwajalein (în insulele Marshall din Oceanul Pacific), Diego Garcia (insulă în Oceanul Indian) și Ascension (insulă în sudul Oceanului Atlantic).

Sistemul de control include:

- Stațiile monitor care recepționează mesajul de navigație;
- Stațiile master (de control) care prelucrează datele brute pentru a furniza;
- Pozițiile precise ale sateliților și corecțiile de ceas;
- Stațiile care sunt folosite pentru actualizarea memoriei sateliților și retransmiterea subsecventă a datelor de la satelit la utilizator.

Rețeaua de 5 stații de urmărire furnizează observații pe care D.M.A. le utilizează în calculul orbitelor GPS.

Datele de la cele 5 stații monitor ale U.S.A.F. sunt combinate cu datele de la cele 5 stații monitor ale D.M.A.

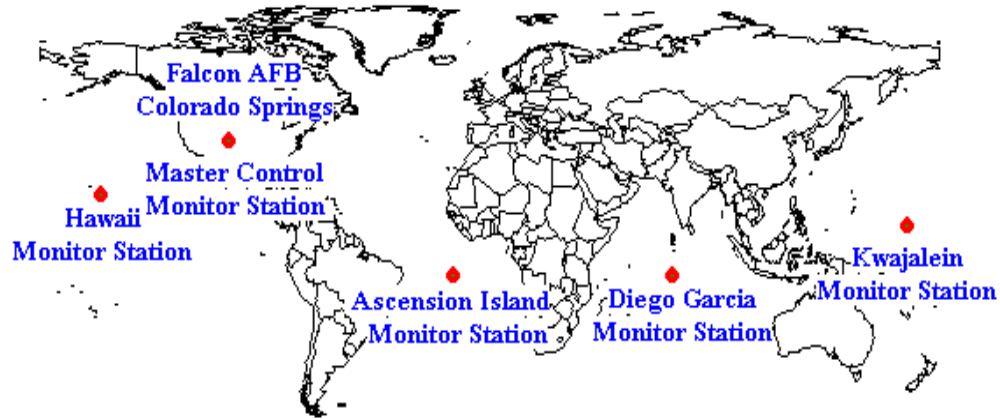


Fig.1.3 Pozițiile stațiilor monitor

Amplasarea acestor stații monitor a ținut cont de:

- Asigurarea acoperirii la latitudini mari în nordul și sudul celor două emisfere;
 - Asigurarea vizibilității spre orice satelit de la cel puțin 2 stații monitor în orice moment;
 - Asigurarea accesului în stație pentru operare continuă și întreținerea echipamentului.
- Vizibilitatea simultană a satelitului din două sau mai multe stații asigură urmărirea continuă a acestuia chiar dacă una sau mai multe stații nu funcționează corespunzător. În același timp, aceste observații asigură formarea diferențelor simple sau duble pentru prelucrarea datelor.

Toate stațiile master au fost poziționate în sistemul de coordonate WGS 84 cu ajutorul măsurătorilor Transit (Doppler).

Datumul sateliților este definit prin:

- a) modele fizice(dinamice), cum este modelul adoptat al câmpului gravitațional terestru, modele pentru forțele ce perturbă mișcarea sateliților și constante fundamentale ca: viteza de rotație a Pământului, viteza luminii, etc.
- b) modele geometrice, cum sunt coordonatele adoptate ale stațiilor de urmărire a sateliților utilizate în determinarea orbitelor și modele ce descriu precesia, nutația, mișcarea polilor, etc.

Datumul sateliților este menținut prin efemeridele acestora (coordonatele sateliților la un moment dat), exprimate într-un sistem de referință terestru.

Există un număr de datumuri ale sateliților reflectând diferite combinații ale modelelor câmpului gravitațional (constante geodezice asociate), modele ale mișcării de rotație a Pământului sau coordonatele stațiilor monitor care sunt utilizate.

Fiecare datum poate să difere de sistemul de referință terestru convențional (CTRS) în orientare, în localizarea originii și în scară.

Efemeridele difuzate și cele post calculate sunt determinate în sistemul WGS'84.

❖ Politica de siguranță a sistemului GPS:

D.o.D. își rezervă toate drepturile asupra întregului sistem GPS, fără să comunice în prealabil utilizatorilor unele curențe de utilizare.

Tehnica SA (Selective Availability) – este o reducere voită a preciziei pentru poziționarea în timp real, deci influențează mai ales navigația în timp real. Diminuarea preciziei este realizată pe de o parte prin manipularea controlată a ceasului din sateliți (procesul dither), când se produc erori controlate de perioadă lungă și scurtă în toate mărimile măsurabile (coduri și purtătoare), iar pe de altă parte printr-o denaturare controlată a efemeridelor transmise (procesul epsilon). Mărimea denaturării controlate a datelor poate fi dirijată de segmentul de control al sistemului. Fără tehnica SA activată, se estimează că precizia poziționării în timp real cu codul C/A este de 15 – 30 m. Cu tehnica SA activată potențialul de precizie se reduce la cca. 100 m în poziție planimetrică și cca. 140 m în poziție altimetrică. Deși uneori tehnica SA este dezactivată pentru o perioadă de timp, utilizatorul trebuie să procedeze în permanență ca și cum ar fi activă. În mod oficial tehnica SA a fost implementată pentru prima dată la 25 martie 1990 la toți sateliții din generația „Block II”.

Tehnica A-S (Anti - Spoofing) – produce o recodificare a codului P.

Noul cod rezultat se numește codul Y și este accesibil numai unui grup restrâns de utilizatori autorizați. Navigația în timp real cu codul P este substanțial mai precisă față de navigația cu codul C/A și poate aduce avantaje substanțiale în cazul unei conflagrații. Acesta a fost motivul principal pentru care s-a recodificat codul P. Inițial era planificat ca tehnica A-S să fie activă după atingerea fazei finale din punct de vedere militar când segmentul spațial era prevăzut numai cu sateliți din generația „Block II”.

1.3. Segmentul utilizator

Segmentul utilizator include diferite tipuri de receptoare și echipament periferic, necesare pentru operațiile de teren ale receptoarelor GPS și pentru prelucrarea datelor cu Programul de post procesare GPS (GPPS).

❖ Receptoarele GPS

Receptoarele sunt componentele principale ale segmentului utilizator și cuprind: receptorul GPS propriu-zis; antena: platforma antenei și preamplificator; cablu conector; apărători împotriva semnalelor reflectate; cabluri (10, 20, 30m)→ baterie (internă și/sau externă) și bastoane de măsurare a înălțimii antenei.

Antenele receptoarelor GPS pot fi: antene monopoli; antene helix; antene spiral-helix și antene microstrip (cu bandă îngustă).

Echipamentul periferic al segmentului utilizator constă în: calculatoare ce au implementate softuri specifice; imprimante; dischete, etc. Acest echipament periferic este necesar pentru prelucrarea datelor și listarea rezultatelor într-o formă adecvată, cât și pentru stocarea informațiilor.

Antena recepționează semnalele de la sateliții vizibili, punctul de referință fizic pentru semnalele recepționate fiind centrul de fază, care poate să difere față de centrul geometric al antenei. Poziția centrului de fază depinde de modul de construcție al antenei și variază în funcție de direcția de incidență a semnalelor satelitare.

Semnalele sunt transmise mai întâi la amplificatorul de semnal și ulterior la unitatea de înaltă frecvență ca unitate efectivă de recepție. Aici semnalele sunt identificate și apoi prelucrate. La majoritatea receptoarelor semnalele recepționate de la un satelit sunt dirijate spre un canal unic de recepție. Întreaga instalație de recepție este coordonată de un microprocesor, care asigură și stocarea datelor și efectuează calculele pentru o poziționare în timp real. Printr-o unitate de control, care în esență constă dintr-o tastatură și un monitor, utilizatorul poate comunica cu receptorul. În memoria receptorului sunt înregistrate măsurătorile și mesajele de navigație. Alimentarea cu energie electrică poate fi efectuată fie direct de la rețea, fie prin baterii externe.

Scopul prelucrării semnalului constă în a determina timpul de propagare a semnalului prin intermediul codului C/A sau P(Y), să decodifice semnalul de navigație și să reconstruiască unda purtătoare a semnalului. Dacă un receptor poate să înregistreze numai codurile și mesajele de navigație, se vorbește de receptoare de navigație.

Pentru scopuri geodezice sunt necesare receptoare care pe lângă înregistrarea timpului de propagare mai permit și măsurători de fază pe unda purtătoare. Aici se poate face din nou o diferențiere între receptoarele care operează pe o singură frecvență și receptoarele care operează pe ambele frecvențe.

**TEHNOLOGII GEODEZICE SPAȚIALE
CURS NR.2**

1.3 DESCRIEREA SISTEMULUI DE REFERINȚĂ GPS

De-a lungul timpului oamenii au dezvoltat mai multe modalități de determinare a poziției unui punct și a modului de deplasare de la un punct la altul. La început marinarii foloseau pentru orientare măsurători de unghiuri dintre stele, Soare și Lună și în urma unor calcule laborioase determinau poziția observatorului. Anii 1920 sunt martorii introducerii în navigație a unei tehnologii revoluționare - radionavigația - care la început permitea navigatorilor să stabilească direcția de unde vine semnalul radio de la stațiile aflate pe mal atunci când navele se aflau în raza de acțiune a emițătorului. Mai târziu, evoluția sateliților artificiali a permis transmiterea unor semnale de navigație mai precise și a deschis o nouă eră în tehnologia de navigație. Sateliții au fost utilizați prima dată pentru aflarea poziției într-un sistem bidimensional folosit de marina americană și numit TRANSIT. Acest sistem a fost precursorul actualului sistem GPS.

NAVSTAR GPS, corespunde denumirii de NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System adică sistem de poziționare globală pentru asistarea navigației bazate pe măsurările de timp și de distanțe relative a sateliților. GPS-ul este deci un sistem de poziționare globală, adică un sistem datorită căruia, pornind de la pozițiile mobile de-a lungul orbitelor a sateliților, poate fi determinată poziția punctelor aflate în oricare parte a Terrei. Sistemul de referință trebuie de aceea să fie geocentric, unic pentru tot globul și fix cu privire la mișcarea Pământului. Sistemul adoptat pentru GPS este sistemul conform WGS'84 (Sistemul geodezic mondial 1984) schematizat în figura 2.1.

Poziția sateliților de-a lungul orbitei lor cât și poziția punctelor de pe suprafața terestră determinate cu ajutorul sateliților este dată de cele trei coordonate ortogonale X, Y, Z raportate la originea unui sistem ce este descris în continuare (Fig 2.1). Axa Z a acestui sistem este paralelă cu direcția polului terestru (CTP) definit în 1984 de Bureau International de l'Heure (BIH acum IRS). Axa X este definită de intersecția planului meridianului de referință la WGS'84 cu planul ecuatorului conform polului terestru. Meridianul de referință este paralel cu meridianul zero definit de BIH. Axa Y este situată pe planul ecuatorial și este perpendiculară pe axa X. Valorile coordonatelor cresc de la stânga la dreapta.

La acest sistem de coordonate caracteristic GPS-ului este asociat un elipsoid (elipsoidul GRS80) având aceeași origine cu sistemul cartezian. Coordonatele X și Y din sistem GPS pot fi ușor transformate în coordonate geografice (latitudine și longitudine) raportate la un elipsoid. Cotele furnizate de receptorii GPS sunt și ele raportate la suprafața elipsoidului prezentat anterior. Pentru o serie de aplicații, cum ar fi navigația de exemplu, coordonatele GPS (carteziene sau geografice) pot fi utilizate direct. Pentru a folosi

coordonatele GPS în geodezie sau în topografie, acestea trebuie să fie transformate în mod oportun.

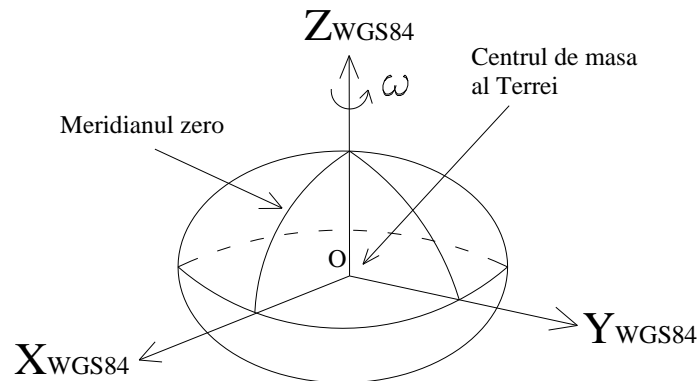


Fig.1.4 Sistemul de referință GPS

În geodezie și topografie sunt luate în considerare trei suprafețe distincte:

- Suprafața fizică terestră, pe care sunt efectuate măsurătorile;
- Suprafața de referință (elipsoidul), în raport cu care este determinată poziția planimetrică a punctelor suprafeței fizice;
- Geoidul, în raport cu care este determinată poziția altimetrică a punctelor suprafeței fizice.

Suprafața geoidului este determinată de nivelul mediu al mării. Aceasta este deci suprafața care se obține dacă suprafața liberă a mărilor și oceanelor ar fi pusă în comunicare și dacă ar fi pătruns sub continente înconjurând întreaga planetă. Forma geoidului este foarte aproape de aceea a unui elipsoid de rotație turtit la poli dar suprafața sa nu este o suprafață geometrică regulată. Ondulațiile mai mult sau mai puțin accentuate ale geoidului se datorează diferențelor de densitate care există din loc în loc pe Terra.

Suprafața elipsoidului de referință este în schimb o suprafață geometrică regulată, definită astfel încât să aproximeze cât mai bine geoidul pentru teritoriul considerat. Deoarece forma geoidului nu este uniformă, pentru realizarea cartografiei naționale, diferite state sau grupuri de state folosesc elipsoizi de referință diferiți aleși astfel încât să aproximeze cât mai bine geoidul în cadrul teritoriului de interes.

Recurgând la metode adecvate de transformare și folosind un anumit număr de puncte notate în cele două sisteme, este posibilă trecerea, fără probleme particulare, ale coordonatelor X și Y ale GPS la coordonate corespunzătoare în sistemele geodezice naționale. Problema este de fapt în ceea ce privește cotele.

1.4 SCĂRI DE TIMP UTILIZATE ÎN GEODEZIA CU SATELIȚI

Timpul reprezintă forma fundamentală de existență a materiei în mișcare.

În general, pentru stabilirea unei scări uniforme de timp, față de care să se raporteze observațiile, este necesar să se definească două mărimi: unitatea de măsură pentru timp (secunda sau ziua) și epoca sau originea timpului ales.

Deci, trebuie să raportăm data anumitor evenimente la o epocă sau origine determinată, cu alte cuvinte să situăm această dată într-o scară de timp.

Scara de timp este constituită din originea axei timpului, definită și recunoscută

internațional, o unitate de măsură (secunda) și un sens. În acest scop, pentru a măsura un interval de timp, se poate utiliza perioada de vibrație continuă și regulată a unui instrument de măsurat.

În trecut unitatea de măsură, secunda, s-a bazat pe rotația Pământului în jurul axei sale, astăzi, ea bazându-se pe frecvența naturală a unui element chimic.

De asemenea, timpul are o importanță deosebită în geodezia satelitară, datorită faptului că poziția unui satelit și coordonatele punctelor de pe suprafața Pământului, sunt funcții de timp din cauza rotației Pământului.

Odată cu dezvoltarea tehnologică, fenomenele de precesie și nutație care influențează cel mai mult rotația diurnă a Pământului, au început să se cunoască cât mai exact, acestea având repercursiuni remarcabile în definirea timpului și a sistemelor de coordonate.

În geodezia cu sateliți, întâlnim trei sisteme de timp care vor fi prezentate ulterior:

- timp dinamic
- timp atomic
- timp sideral

În geodezia satelitară, la o eroare de poziție de 1 cm corespund erori de timp, funcție de timpul utilizat:

- pentru timpul sideral, adică rotația Pământului, eroarea de timp este $\leq 2 \times 10^{-6}$ s
- pentru timpul atomic, adică pentru propagarea semnalelor, eroarea de timp este $\leq 1 \times 10^{-10}$ s
- pentru timpul dinamic, mișcarea orbitală, eroarea de timp este $\leq 1 \times 10^{-6}$ s

11. Timp dinamic

Timpul dinamic reprezintă scara de timp uniformă care descrie mișcarea corpurilor într-un sistem de referință specificat și care se mișcă conform unei teorii gravitaționale (teoria generală a relativității sau mecanica newtoniană). Legat de teoria relativității timpul dinamic depinde de sistemul de coordonate utilizat ca sistem de referință.

De asemenea, timpul dinamic este utilizat pentru generarea efemeridelor unui satelit GPS (descrierea mișcării sateliților), fiind dat de mișcarea orbitală a Pământului în jurul Soarelui și făcând legătura între timpul efemeridelor (TE) și scara de timp dată de fizică atomică terestră.

Astfel, în astronomie ecuațiile de mișcare se raportează la baricentrul sistemului solar iar timpul (utilizat în ecuațiile mișcării) măsurat într-un sistem aproape inerțial care are originea în centrul de masă al sistemului solar (baricentru) se numește timp dinamic baricentric, abreviat TDB.

De exemplu, un ceas fix pe Pământ va avea variații periodice cu ecartul sub 1.6 ms față de TDB, datorită mișcării Pământului în câmpul gravitațional al Soarelui. Uneori, în descrierea mișcării orbitale a sateliților din apropierea Pământului (cu orbite joase), nu este nevoie să utilizăm TDB, deoarece atât satelitul cât și Pământul sunt influențate de aceleași perturbații.

De asemenea, timpul utilizat în calculul orbitelor sateliților se numește timp dinamic terestru, abreviat TDT și reprezintă scara uniformă de timp pentru mișcarea în câmpul gravitațional terestru, scară ce se raportează la centrul de masă al Pământului. TDT este o scara de timp „idealizată” uniformă, care pentru corpurile din sistemul solar reprezintă scara efemeridelor aparente geocentrice, pe când timpul atomic internațional (TAI) este o scară de timp ”statică” care se bazează pe funcționarea unui număr de orologii de pe suprafața Pământului, servind la definirea practică a TDT. Astfel TDT s-a legat de TAI

cu scopul de a fi utilizat foarte ușor cu timpul universal coordonat, care se bazează de asemenea pe S.I. (Sistem Internațional).

Deoarece secunda SI s-a utilizat și în scara timpului dinamic terestru, introdusă la 1.01.1984, diferența între cele două scări TAI și TDT este constantă și exprimată prin relația:

$$\text{TDT} = \text{TE} = \text{TAI} + 32\text{s}.184 \quad (2.1)$$

Introducerea TDT ca și legătura între TAI și TDT s-a realizat cu scopul continuității cu scara de timp a efemeridelor (TE), care a fost dedusă din mișcarea Lunii în jurul Pământului.

La momentul introducerii TDT, diferența între TDT și TAI era egală cu diferența estimată între TE și TAI.

Înainte de timpul dinamic baricentric (TDB), s-a utilizat timpul efemeridelor TE. TDB corespunde cu timpul coordonat fiind obținut din mișcări orbitale raportate la baricentrul sistemului solar iar TDT corespunde cu timpul propriu, mișcările orbitale în acest caz raportându-se la geocentru.

În anul 1991, Uniunea Astronomică Internațională (IAU) a stabilit că timpul dinamic pentru mișcările planetare este identic cu scara de timp a fizicii atomice terestre. În general, timpul determinat din ecuațiile de mișcare ale Soarelui, Lunii și planetelor ar putea diferi de timpul determinat din fenomene fizice terestre, dar, deocamdată, determinările observaționale nu sunt destul de precise pentru a scoate în evidență astfel de diferențe.

2.2. Timp sideral

Timpul sideral este definit ca fiind unghiul orar al punctului vernal, eliberat de mișcările de precesie și nutație, reprezentând de asemenea o măsură a rotației Pământului.

În acest moment toate observatoarele astronomice sunt dotate cu orologii siderale de mare precizie. Timpul sideral reprezintă o măsură a rotației Pământului și poate fi determinat din observații asupra obiectelor cerești.

Ca măsură a timpului sideral avem timpul sideral aparent Greenwich (GAST), definit ca unghiul orar al echinocțiului adevărat (punct vernal adevărat), și care reprezintă intersecția ecuatorului adevărat cu ecliptica adevărată. Se știe că poziția punctului vernal adevărat este afectată de nutația axei de rotație a Pământului, aceasta introducând în măsurarea intervalului de timp sideral aparent unele inegalități.

De asemenea, întâlnim timpul sideral mijlociu (GMST) definit prin intermediul mișcării diurne a punctului vernal mijlociu, afectat numai de precesia axei de rotație a Pământului, timpul sideral local care este raportat la meridianul locului și timpul sideral Greenwich.

Datorită mișcării punctului vernal, care este dependent de poziția axei de rotație a Pământului, trebuie să se aplice o corecție zilei siderale pentru a se ajunge la punctul vernal mijlociu, rezultând, bineînțeles, o zi siderală medie. Diferența între GAST și GMST se numește ecuația echinocțiilor, abreviată Eq.E, conform fig. 2.1.

$$\text{Eq.E} = \text{GAST} - \text{GMST} \quad (2.2)$$

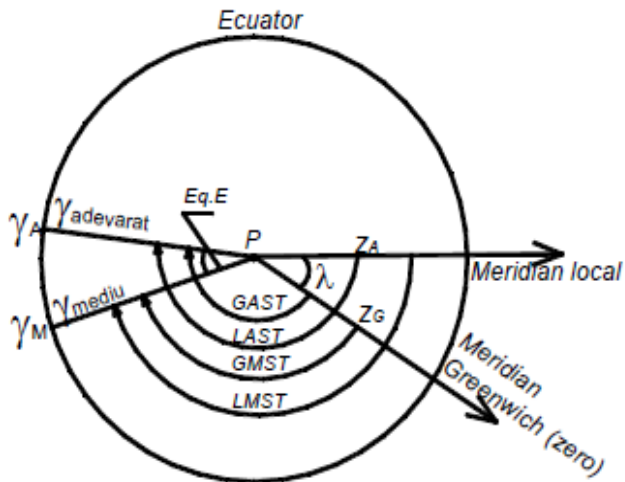


Fig.2.1 Timp sideral

Conform fig. 2.1 avem următoarele notații:

γ_A - punct vernal adevărat (afectat de precesie și nutație)

γ_M - punct vernal mijlociu (afectat de precesie)

z_G - zenitul la Greenwich

z_A - zenitul locului sau a observatorului

λ - longitudinea între meridianul local și meridianul Greenwich

GAST - timp sideral aparent Greenwich

LAST - timp sideral aparent local

GMST - timp sideral mijlociu Greenwich

LMST - timp sideral mijlociu local

Timpul sideral la Greenwich la ora zero UT, adică la miezul nopții, se calculează prin intermediul relației:

$$GMST = 6h41m50s,5481 + 8640184s,812866T + 0s,093104T^2 - 6s,2 \times 10^{-7}T^3 \quad (2.3)$$

unde T - intervalul de timp exprimat în secolii Julieni cuprins între ora zero UT la data calendaristică respectivă și ora zero de timp universal standard J2000. UT este baza timpului civil, fiind legat de mișcarea diurnă mijlocie a Soarelui.

Se știe că timpul sideral și universal nu au o scurgere uniformă, cauza principală fiind viteza unghiulară a Pământului, care nu este constantă.

În general, fluctuațiile vitezei unghiulare se datorează variațiilor momentului polar datorate distribuției masei și oscilațiilor axei de rotație a Pământului. Astfel, timpul universal UT corectat de mișcarea polară este UT1 și cunoscut ca Greenwich Mean Time (GMT), fiind

influențat de ușoarele variații în rotația Pământului (mișcarea polilor). UT1 este obținut din analiza observațiilor asupra mișcării diurne a stelelor, realizate de IERS, și se poate exprima în legătură cu UTC, prin relația:

$$UT1 = UTC + \Delta UT1 \quad (2.4)$$

Corecția $\Delta UT1$ este transmisă codat în semnalele de timp recepționate, UTC fiind menținut

față de UT1 la o diferență de 0.90 secunde, în valoarea absolută prin introducerea (repetarea)

secunde de salt, care a fost descrisă și la subcapitolul „timp universal coordonat”.

UT1 este scara de timp fundamentală în astronomia geodezică, geodezia satelitară și navigație, scară de timp bazată pe rotația Pământului în jurul axei sale. UT1 este hotărâtor pentru determinarea de poziții prin observații astrono-geodezice deoarece corespunde vitezei unghiulare reale a rotației sistemului de coordonate convențional terestru.

UT1 este legat de TAI, timp definit de un număr mare de ceasuri cu cesiu în diferite laboratoare și care a fost egală cu UT1 la 1 ianuarie 1958, existînd o diferență între ele datorită micșorării vitezei de rotație a Pământului. Aceste diferențe au fost puse în evidență în

cursul anilor, conform următoarelor relații (vezi explicații în subcap. TAI):

TAI-UT1=+6.1 s - 1 Ianuarie 1968

TAI-UT1=+16.4 s - 1 Ianuarie 1978

TAI-UT1=+23.6 s - 1 Ianuarie 1988 (2.5)

TAI-UT1=+24.7 s - 1 Ianuarie 1990

TAI-UT1=+26.1 s - 1 Ianuarie 1992

2.3. Timp atomic

2.3.1. Timpul atomic internațional (TAI)

Timpul atomic reprezintă baza unei scări de timp uniforme și este menținut de ceasurile atomice. Scara de timp fundamentală este reprezentată de Timpul Atomic Internațional (TAI), adoptat ca sistem de referință de timp mondial, fiind foarte important pentru instrumentele de măsurat timpul terestru.

TAI este o scară de timp precisă și uniformă necesară pentru măsurători precise de timp, timp necesar parcurgerii semnalului satelitar de la satelit la receptor, fiind legată de fenomenele fizicii nucleare.

TAI corespunde necesităților de precizie fiind baza pentru creerea și interpolarea altor scări de timp, avînd o stabilitate a frecvenței, pe perioade foarte lungi.

Se știe că acest timp atomic este ținut de Serviciul Internațional de Rotație a Pământului și

de Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți din Paris iar unitatea de timp foarte precisă aferentă acestuia, este secunda atomică, care este definită în sistemul internațional ca fiind

durata a 9192631770 perioade ale radiației emisă de atomul de cesiu 133 cînd starea de bază

trece de la un hipernivel la altul, neexcitat din exterior.

Astfel, la 1.01.1958 ora 0h, s-a ales arbitrar ca originea (epoca) acestei scări de timp atomic să corespundă cu timpul universal (UT). În timp, s-a modificat diferența între ele din

cauza vitezei de rotație lente a Pământului, deci a nesincronizării timpului universal (care se

raportează la rotația Pământului) cu timpul atomic (se raportează legilor naturii, care generează tranziția între nivelele de energie a atomilor, fiind o scară de timp continuă), ajungîndu-se la 1.01.1986 la valoarea de 22,7 secunde, exprimată prin următoarea formulă:

TAI – UT1= 22,7 s (2.6)

Conform tabelului 2, diferența între TAI și UTC este de 32s.

TAI=UTC+32s (2.7)

2.3.2. Timpul Universal Coordonat

UTC este scara de timp care rezolvă problema sincronizării între TAI (scară de timp continuă) și rotația Pământului, și este cunoscut ca GMT.

Deoarece rotația Pământului în jurul Soarelui, are o mișcare încetinită cu valoarea de 1 secundă pe an, în medie, TAI devine greu de sincronizat cu ziua solară. Astfel, pentru a rezolva

această problemă s-a introdus Timpul Universal Coordonat (UTC), care e incrementat cu o

secundă (secundă de salt), când este necesar, la sfârșitul lui Iunie sau Decembrie în fiecare an.

UTC diferă de TAI printr-un număr întreg de secunde. Ca exemplu, în perioada iunie 1994 –

decembrie 1995, a fost necesar să se adauge 29 secunde la UTC pentru a obține TAI.

$$UTC = TAI - n \cdot (1s) \quad (2.8)$$

Această secundă de salt, de fapt este o corecție care se aplică diferenței acumulate într-o anumită perioadă, între două scări de timp diferite (a se vedea exemplele de mai sus).

Această

inserare a unei secunde la anumite intervale de timp, nu indică o încetinire continuă a rotației

Pământului. Deoarece timpul rotațional UT1 care se bazează pe rotația Pământului, rămîne în

urmă cu 2 milisecunde de timp pe zi față de ceasul atomic care este considerat etalon, după 500

de zile, această diferență între timpul rotațional și atomic va crește la 1 secundă. Deci, această

diferență se corectează prin inserarea unei singure secunde în scara de timp atomică UTC pentru a o aduce cât mai aproape de scara rotațională UT1, în limita de 0.9 secunde.

$$|UT1 - UTC| < 0s.9 \quad (2.9)$$

Epoca fundamentală a sistemelor de referință cerești este anul 2000, 1 Ianuarie ora 12 TDB.

În fig. 2.2 axa verticală indică deplasările relative ale originilor scărilor de timp față de scara TAI. Scările UTC și UT1 au aceeași origine cu scara de timp GPS. Trebuie știut că actualele semnale orare, emise în sistemul UTC pentru nevoile astronomiei geodezice și geodeziei cu sateliți se raportează la meridianul astronomic Greenwich BIH (planul origine al

longitudinilor), deoarece valorile longitudinilor și latitudinilor astronomice determinate în trecut prin raportarea la vechiul pol mijlociu CIO nu mai pot coincide cu valorile rezultate din

determinările actuale raportate la noul pol mijlociu CTP. Timpul local diferă de UTC printr-un

număr întreg de ore, funcție de fusul orar în care se găsește țara respectivă.

2.3.3. Timpul GPS

Deoarece semnalele de timp transmise de sateliți GPS sunt sincronizate cu ceasurile atomice de la Stația de Control Master GPS din Colorado Springs, aceste ceasuri definesc timpul GPS.

Precizia la nivel de milisecundă s-a realizat, odată ce s-au utilizat cristalele de cuarț pentru

măsurarea timpului. Creșterea preciziei măsurării timpului s-a obținut cu ajutorul standardelor

date de frecvențele atomice, știindu-se că principiul fizic al timpului atomic se raportează la

la nivelele de energie atomică (nivele de tranziție).

Elementele utilizate pe acest principiu sunt rubidiu, cesiu sau hidrogen, iar caracteristicile de stabilitate al timpului atomic se bazează pe citarea raportului $\Delta f/f$, în care Δf reprezintă variația frecvenței f . Caracteristicile de stabilitate pot fi pe termen scurt, mediu sau lung.

În acest scop, se prezintă în tabelul nr.1 stabilitatea zilnică și timpul scurs (de ordinul a zeci de mii de ani), pentru că ceasul atomic să aibă o eroare de 1 secundă, presupunând că stabilitatea frecvenței rămîne aceeași.

Tabelul 1

<i>Tip de ceas</i>	<i>Frecvența oscilației [GHz]</i>	<i>Stabilitatea / zi ($\Delta f/f$)</i>	<i>Perioadă necesară pierderii unei secunde</i>
<i>Oscilator cu cristale din cuarț</i>	<i>1 005</i>	<i>10^{-9}</i>	<i>30 ani</i>
<i>Rubidiu</i>	<i>6 834 682 613</i>	<i>10^{-12}</i>	<i>30 000 ani</i>
<i>Cesiu</i>	<i>9 192 631 770</i>	<i>10^{-13}</i>	<i>300 000 ani</i>
<i>Hidrogen</i>	<i>1 420 405 751</i>	<i>10^{-15}</i>	<i>30 000 000 ani</i>

Trebuie să acordăm o atenție deosebită și erorilor de timp din cadrul tehnologiei GPS, deoarece timpul are un rol important în calitatea măsurătorilor. Se știe că principiul sistemului GPS este măsurarea timpului, necesar ca semnalul electromagnetic să parcurgă distanța de la satelit la receptor, avînd în vedere că o eroare de 10 nanosecunde în măsurarea timpului corespunde unei erori de poziție de aproximativ 3 m. Fiecare satelit GPS , funcție de generația în care a fost lansat, are mai multe ceasuri: cu cesiu, rubidiu sau hidrogen.

Sistemul GPS are de asemenea, propria lui scară de timp, care este legată de scara timpului atomic TAI, prin intermediul următoarei formule:

$$\text{TAI}=\text{GPS}+19\text{s.00} \quad (2.10)$$

U.S. Naval Observatory (USNO) a referit timpul GPS la UTC, fiind setat la UTC la ora 0 pe 6 ianuarie 1980, sau altfel spus, la epoca standard GPS 6d.0 Ianuarie 1980, și nu este incrementat prin nici o secundă.

În Decembrie 1994 diferența între GPS și UTC a fost de 10 secunde.

$$\text{GPS}=\text{UTC}+10\text{s.00} \quad (2.11)$$

În Februarie 2005 diferența a crescut la 13 secunde, conform tabelului 2.

$$\text{GPS}=\text{UTC}+13\text{s.00} \quad (2.12)$$

1.5 PRINCIPIUL MĂSURĂTORILOR GPS

Receptorul GPS măsoară timpul necesar unui semnal pentru a se propaga de la satelit la receptor.

Distanța satelit-receptor (fig.2.5) o putem determina înmulțind acest timp cu viteza luminii (c).

$$\rho = \tau c \quad 2.1$$

ρ = distanța;

c = viteza luminii;

τ = întârzierea dintre codul generat și codul recepționat;

Măsurătorile de distanțe pe care receptorul le face sunt afectate de către eroarea de ceas a satelitului și a receptorului, de aceea acestea sunt denumite pseudodistanțe.

Utilizând ceasuri sincronizate și în absența altor influențe perturbatoare, măsurând o singură distanță spre satelit putem determina poziția receptorului undeva pe o sferă centrată pe satelit având raza egală cu distanța măsurată.

Efectuând măsurători simultane spre cei doi sateliți, poziția receptorului va fi pe un cerc care reprezintă locul de intersecție al celor două sfere centrate pe acești sateliți.

Efectuând o a treia măsurătoare simultană de distanță, rezultă o a treia sferă care intersectează pe celelalte două numai în două puncte.

Unul dintre aceste puncte poate fi eliminat imediat ca fiind poziția receptorului, deoarece el se va găsi undeva departe în spațiu.

În principiu, determinările simultane de distanțe spre trei sateliți asigură suficiente informații pentru a putea determina o poziție fixă în trei dimensiuni.

Dacă presupunem existența erorii ceasului receptorului Δt și considerând că ceasul receptorului nu este sincronizat cu ceasul satelitului în timp GPS, atunci nu este matematic posibil să determinăm în mod unic valorile celor 4 parametri ($x, y, z, \Delta t$) dându-se numai trei măsurători. Aceasta implică faptul că trebuie să măsurăm simultan o pseudodistanță adițională spre un al patrulea satelit presupunând că eroarea de ceas a satelitului a fost eliminată.

Observatorul Naval al S.U.A urmărește ceasurile sateliților GPS și determină abaterile (erorile) față de timpul GPS. Acești parametri sunt actualizați în memoria sateliților și transmiși ca parte a mesajului de navigație difuzat de sateliți.

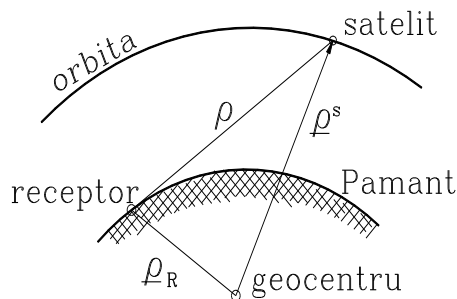


Fig.1.5 Principiul măsurătorilor GPS

Receptorul GPS utilizează valorile acestor corecții ale ceasului satelitului pentru a corecta pseudodistanța măsurată.

Ecuția observației va fi:

$$\rho_r^s = |x^s - x_r| + \Delta t_r c$$

2.2

unde:

x^s = definește coordonatele satelitului;

x_r = definește coordonatele (necunoscute) receptorului;

Δt_r = eroarea ceasului receptorului;

c = viteza luminii;

Dacă introducem în modelul ecuației (2.2) și corecția ceasului (Δt_r) atunci este necesar să avem măsurători simultane efectuate cu două sau mai multe receptoare.

Dacă una sau mai multe coordonate ale receptorului sunt deja precis cunoscute, atunci celelalte coordonate și corecția ceasului receptorului pot fi determinate utilizând mai puțin de patru pseudodistanțe.

2 ASPECTE ALE ÎNTOCMIRII UNUI PROIECT PRIN DETERMINĂRI GPS

2.1 PLANIFICAREA UNEI SESIUNI GPS

2.3. Considerații generale

Când o determinare este făcută cu ajutorul tehnologiei GPS, vizibilitatea dintre receptoare nu constituie o cerință a măsurătorii întrucât aceste receptoare nu transmit și nu recepționează semnale între ele, ci le primesc de la sateliții care se mișcă în jurul Pământului. Singura condiție ce trebuie îndeplinită pentru a putea recepționa aceste semnale se referă la obținerea unui orizont liber spre cer.

Semnalele emise de sateliții GPS sunt asemenea razelor solare, astfel încât, orice obstacol aflat în calea acestora reduce considerabil intensitatea semnalului putând chiar împiedică recepționarea lui.

Prima fază a planificării se referă la alegerea unei perioade pentru efectuarea măsurătorilor, care se va subdivide în sesiuni de lucru.

Perioada optimă este caracterizată printr-un număr suficient de mare de sateliți vizibili și o valoare PDOP cât se poate de mică.

Un alt criteriu de alegere a perioadei optime de lucru se referă la influența refracției atmosferice, care, noaptea este mult mai redusă decât ziua.

La stabilirea sesiunilor de lucru în poziționarea relativă trebuie luați în considerare 4 factori :

- lungimea bazei
- numărul sateliților vizibili
- geometria constelației satelitare (PDOP)
- raportul semnal/zgomot pentru semnalul satelitar.

A doua fază a planificării pentru observații statice se referă la distribuirea receptoarelor la echipe și programarea punctelor pentru fiecare echipă.

2.3. Amplasamentul

Este indicat ca stațiile să nu fie obstructionate din punct de vedere al vizibilității peste elevația de 15-20 grade; în cazul în care stația este portabilă, este bine de găsit zona cu gradul de obstrucție cel mai redus.

Vegetația prea densă poate crea probleme de vizibilitate pentru stațiile GPS; frunzele copacilor și crengile pot bloca semnalele sateliților. Se procedează la defrișări în zona respectivă, pe baza acordului obținut de la organele în drept. De asemenea, se va evita amplasarea stațiilor în apropierea clădirilor înalte sau a pereților verticali ce pot interfera cu semnalul recepționat, cât și a emițătorilor de înaltă putere (TV). În această fază se întocmește o diagramă de obstrucție sau o diagramă polară, în vederea determinării perioadei optime de staționare pe punct, atunci când vizibilitatea sateliților este cea mai bună.

2.3. Recunoașterea terenului

Vizitarea stațiilor se face obligatoriu pentru fiecare punct ce urmează a fi staționat, înainte de începerea propriu-zisă a proiectului de măsurători.

Este indicat ca toți membrii echipei să participe la această recunoaștere în teren și totodată să se analizeze la fața locului diagrama de obstrucție.

Pe baza acestei recunoașteri a terenului se pot determina cu precizie:

- accesul cel mai comod la punct
- schița completă a terenului cu direcțiile importante de acces
- modul de marcarea, pentru ușurarea recunoașterii punctului
- obținerea acordului de acces în zonă, în cazul proprietăților private

Pe tot parcursul acestei identificări a stațiilor, se va ține cont de condițiile meteo care nu afectează sistemul GPS sau receptoarele, dar în schimb poate afecta accesibilitatea la stație.

Tot în faza de recunoaștere se identifică sistemele de semnalizare a punctelor, luându-se măsuri de precauție pentru cele aflate pe șosele (prin săgeți direcționale) sau cele ce vor fi staționate pe timp de noapte (sisteme de iluminare corespunzătoare).

2.3. Puncte de control planimetric

Un minim de trei puncte de sprijin sunt necesare pentru o compensare completă 3D. Cu cât proiectul este mai mare, cu atât trebuie incluse mai multe puncte de sprijin. În cazul suspectării anumitor puncte cu precizie scăzută, este recomandat să se extindă numărul lor, pentru control suplimentar - în această situație se estimează rezultatele cu un grad ridicat de precizie.

Amplasarea acestor puncte de sprijin se face astfel:

-se desenează linia N-S prin centrul proiectului; apoi se desenează și linia E-V, obținându-se patru cadrane egale. Trei dintre acestea trebuie să conțină, fiecare, cel puțin un punct de sprijin; ele pot fi atât în interiorul cât și în exteriorul perimetrului proiectat.

Pentru a avea un control mai bun asupra rețelei, se recomandă a se păstra o distanță de 60km sau chiar mai mică între un punct de sprijin și unul necunoscut.

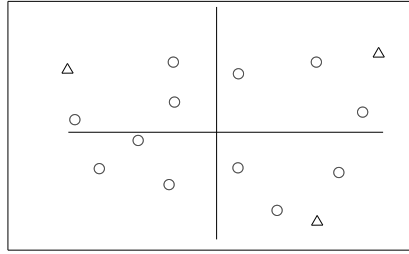


Fig.2.1 Reperajul punctelor de sprijin. Metoda cadranelor

În cazul drumuirilor, aceste trei puncte de sprijin vor fi amplasate la capetele traseului și unul la mijlocul acestuia. Pentru drumuirii întinse, punctele de sprijin se vor găsi la o distanță de maximum 60km.

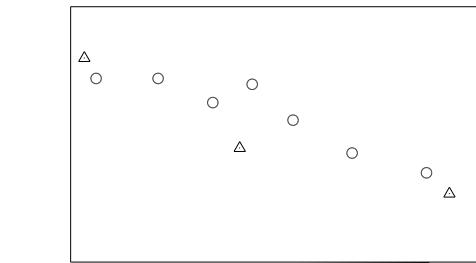


Fig.2.2 Reperajul punctelor de sprijin. Metoda pasajului

2.3. Puncte de control altimetric

Cotele ortometrice nu trebuie confundate cu cele obținute din măsurători GPS. Cum este știut, cotele punctelor suprafeței fizice a Pământului sunt raportate la nivelul mediu al mării, adică la geoid, pe când cotele GPS sunt raportate la suprafața elipsoidului WGS'84. Cu alte cuvinte, cotele GPS și cotele topometrice (cote ortometrice) nu sunt raportate la aceeași suprafață zero. O asemenea situație este în mod schematic exemplificată în figura 3.3.

În acest exemplu s-a presupus măsurarea denivelării GPS dintre două puncte fixe de nivelment A și B. Cu aceeași figură se pune în evidență faptul ca valoarea undulației geoidului variază de la punct la punct. Pentru transformarea cotelor elipsoidice în cote ortometrice ar fi necesară cunoașterea diferenței dintre cote raportate la cele două sisteme de referință (adică valoarea undulației geoidului). Din păcate, cum am mai amintit deja, valoarea undulației geoidului nu este constantă.

Dacă valoarea undulației geoidului ar fi cunoscută (și de multe ori nu este), pentru a corecta cota GPS și a determina cota ortometrică este necesar să fie luate în considerare alte puncte cu cote cunoscute (atât cotele elipsoidice cât și cele ortometrice).

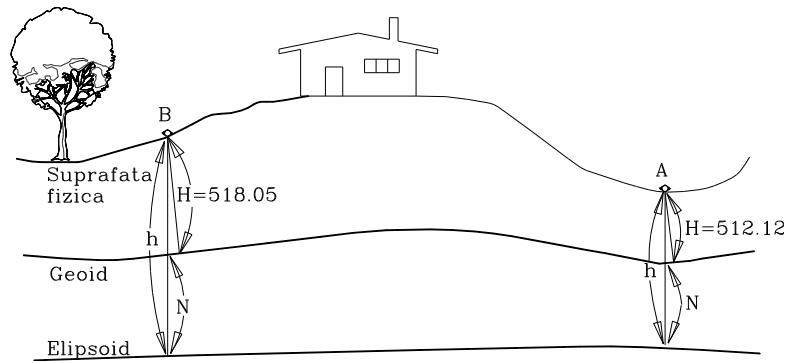


Fig.2.3 Relații de legătură Geoid-Elipsoid

Notății: N - ondulația geoidului
H - altitudinea ortometrică
h - altitudinea elipsoidală

$$N+H=h$$

2.1

Precizia determinării cotei h depinde de precizia cu care este cunoscut N.

Amplasarea punctelor de sprijin pentru altimetrie se face în modul următor:

- se împarte proiectul în 4 cadrane egale; în fiecare din cele 4 cadrane, trebuie să existe cel puțin un punct de sprijin pe verticală (fig. 3.4).
- pentru rețele mai mari (depășind 100 km²), se vor introduce mai multe puncte de sprijin, aproximativ la intervale de 10 km (fig. 3.5).
- pentru trasee de drumuire nivelitică, se folosește metoda pasajului, punctele fiind amplasate atât la capetele traseului cât și pe parcursul acestuia, de o parte și de cealaltă a axului drumuirii. Se obține astfel un minim de 4 puncte ce mărginesc proiectul (fig. 3.6).
- în cazul rețelelor întinse, un punct de sprijin trebuie regăsit la fiecare 10 km distanță, pe ambele părți ale axului de drumuire. Se vor evita punctele aliniate (toate) pe aceeași parte a axului (fig. 3.7).

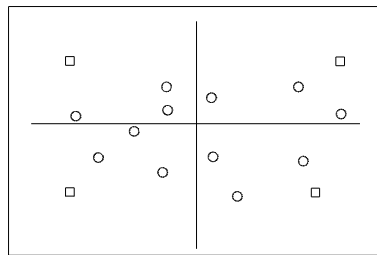


Fig.2.4 Reperajul punctelor de control altimetric. Metoda cadranelor

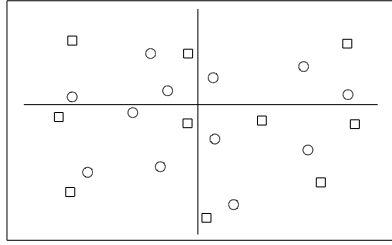


Fig.2.5 Reperajul punctelor de control altimetric pentru rețele mari

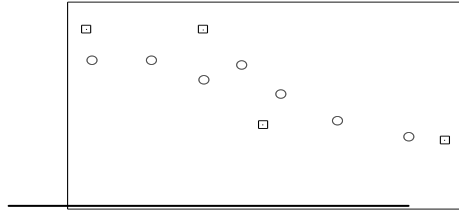


Fig.2.6 Reperajul punctelor de control altimetric. Metoda pasajului

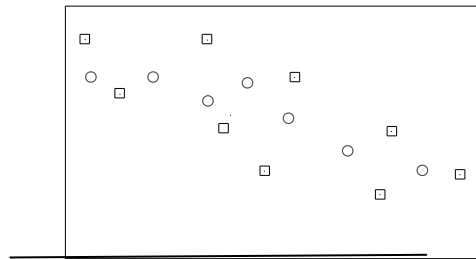


Fig.2.7 Reperajul punctelor de control altimetric. Metoda pasajului pentru rețele mari

2.3. Alegerea distanțelor

Pentru obținerea unei precizii ridicate a determinărilor se folosesc de regulă distanțe mici, între 5-15 km; traseele cu lungimi mari (>30km) implică erori absolute mai mari. Orice distanță mare poate fi segmentată în mai multe componente care să asigure precizia dorită pe fiecare porțiune a ei în parte.

În cazul metodei pasajului, pentru drumuri având trasee lungi, cu cât acestea au valori mai mari, cu atât eroarea transmisă punctului următor este mai mare.

Se impune menținerea acestor lungimi la cotele minime. Dacă este necesar să se lucreze cu distanțe mari, atunci se vor înmulți punctele de sprijin pe traseu.

2.3. Planificarea unei sesiuni de măsurători

Sesiunea se definește ca perioada când două sau mai multe receptoare colectează simultan datele furnizate de sateliți. Începutul acestei "sesiuni" depinde de mai mulți

factori, cel mai important fiind legat de disponibilitatea satelitului, adică de perioada lui optimă de emisie.

Planificarea unui proiect GPS constă în alegerea unei metode optime de măsurare, a aparaturii necesare, precum și planificarea observațiilor.

Planificarea se deosebește de planificarea observațiilor geodezice clasice, întrucât măsurătorile GPS pot fi executate practic pe orice vreme și la orice oră din zi. În plus, nu trebuie să existe vizibilitate între punctele rețelei, dar se pretinde un orizont liber spre cer de la o elevație de 15° în sus.

La planificarea observațiilor într-un proiect GPS trebuie ținut cont de mai mulți factori:

- Configurația sateliților;
- Numărul și tipul receptoarelor avute la dispoziție;
- Aspecte economice.

Configurația rețelei joacă un rol mai mic în măsurătorile GPS, ea trebuind să fie luată în seamă doar când rețeaua GPS trebuie legată la rețeaua națională. Pentru aceasta trebuie să dispunem de minimum 3 puncte cunoscute bine distribuite față de rețeaua GPS.

Planificarea unei sesiuni de măsurători satelitare se realizează cu programe speciale livrate de firmele constructoare împreună cu softurile de prelucrare.

Prima fază în proiectare prevede alegerea unei perioade optime pentru efectuarea măsurătorilor, care se va subdivide în sesiuni de lucru. Perioada optimă este caracterizată printr-un număr suficient de mare de sateliți vizibili, care se studiază pe un grafic și o valoare PDOP cât se poate de mică (între 1 și 5).

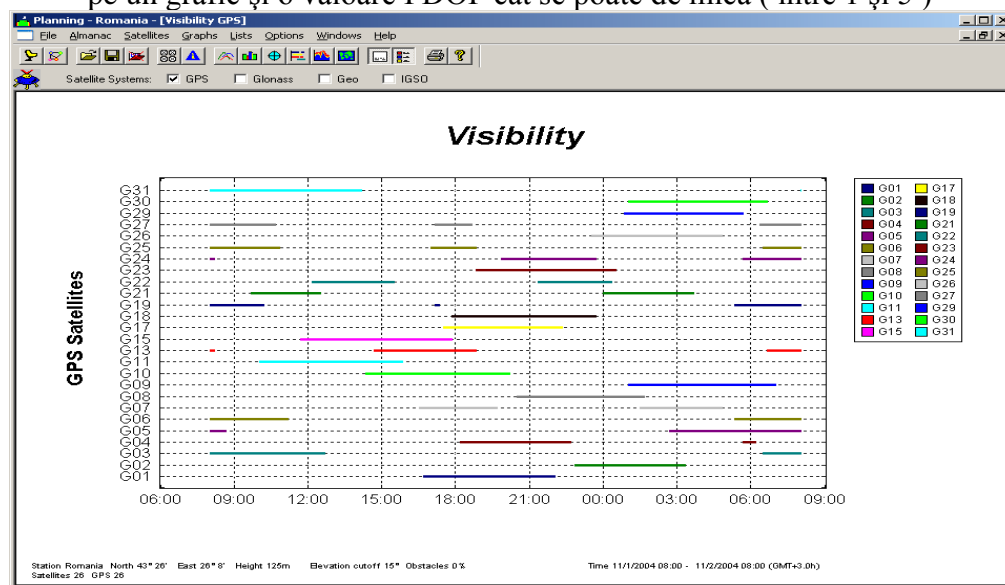


Fig. 2.8 Sateliții disponibili pentru punctul Poo1

Proiectarea observațiilor GPS constă deci în alegerea unei perioade de lucru optime susținută prin reprezentări grafice. Aceste reprezentări se bazează în esență pe calcularea azimutului și elevației pentru fiecare satelit în funcție de timpul și locul unde se fac observațiile. De menționat, că studiul constelației satelitare și a valorilor PDOP trebuie realizat pentru întregul grup de puncte care va fi staționat într-o sesiune. Poziția punctelor trebuie cunoscută doar cu o precizie de km.

Un alt criteriu care ar putea intra în calcul pentru alegerea perioadei de lucru este influența refracției ionosferice , care noaptea este mult mai redusă decât ziua .

La stabilirea sesiunilor de lucru în poziționarea relativă trebuie luați în considerare 4 factori :

- Lungimea bazei ;
- Numărul sateliților vizibili ;
- Geometria constelației satelitare (PDOP) ;
- Raportul semnal / zgomot pentru semnalul satelitar (Signal – to – noise ratio – SNR)

Unele valori informative pentru durata sesiunilor de lucru , când se dorește o precizie ridicată sunt date în tabelul de mai jos :

Lungimea bazei (km)	Durata sesiunii (minute)
0 - 1	10-30
1 - 5	30 – 60
5 – 10	60 – 90
10 - 15	90 - 120

Durata sesiunilor se dimensionează în funcție de precizia care se dorește să fie atinsă , dar nu trebuie omis nici factorul economic.

A doua fază a planificării pentru observații se referă la distribuirea receptorilor pe echipe și la programarea punctelor pentru fiecare echipă. De regulă se întocmește un tabel , în care se prevede ce echipă , în ce sesiune trebuie să staționeze într-un punct .

Numărul minim de sesiuni într-o rețea cu p puncte și la folosirea a r receptoare se determină cu relația :

$$s = (p - n) / (r - n)$$

unde n reprezintă numărul punctelor de legătură între sesiuni.

Sesiunile trebuie astfel alese , ca să existe contact spre minimum 4 sateliți comuni la o elevație de peste 15° în toate punctele incluse într-o sesiune , iar factorul PDOP să nu fie mai mare de 4 pentru întreaga durată de măsurare .

În timpul măsurătorilor de teren trebuie asigurate următoarele :

- Centrarea corectă a antenei pe punctul de stație ;
- Măsurarea înălțimii antenei ;
- Conectarea corectă a cablurilor la antenă , respecti receptor și controler ;
- Punerea în funcțiune a receptorului la momentul prestabilit în programul sesiunilor ;
- Setarea corectă a modului de lucru ;
- Urmărirea periodică a modului de înregistrare a datelor.

2.2 METODE DE DETERMINARE A POZIȚIEI PUNCTELOR PRIN MĂSURĂTORI GPS

Există mai multe tehnici de măsurare care pot fi folosite de majoritatea receptorilor pentru măsurători GPS. Geodezul ar trebui să aleagă cea mai adecvată tehnică pentru realizarea măsurătorilor.

Metoda statică – folosită pentru linii lungi, rețele geodezice, studiul plăcilor tectonice, etc. Oferă o precizie mare pentru distanțe lungi, dar comparativ este lentă.

Metoda static rapidă – folosită pentru organizarea rețelelor de control locale, îndesirea de rețele, etc. Oferă o precizie ridicată pentru măsurarea bazelor de până la 20 km lungime și este mult mai rapidă decât metoda statică.

Metoda cinematică – folosită pentru măsurarea de detalii și măsurarea de mai multe puncte într-o succesiune rapidă. Este o modalitate foarte eficientă pentru măsurarea mai multor puncte situate aproape unul de altul. În orice caz, dacă există obstrucții spre cer ca și poduri, copaci, clădiri înalte etc, și mai puțin de 4 sateliți pot fi observați, echipamentul trebuie reinițializat, fapt care poate lua 5-10 minute. O tehnică de procesare cunoscută ca On The-Fly (OTF) a făcut un mare progres în minimizarea acestei restricții.

Metoda de măsurare în timp real RTK – RTK folosește o legătură de transmitere a datelor radio pentru a transmite datele de la satelit, de la bază la mobil. Aceasta face posibilă calcularea coordonatelor și afișarea acestora în timp real, în timpul desfășurării măsurătorilor. Este folosită pentru aplicații similare metodei cinematice.

Metoda de măsurare combinată - Combinarea primelor trei metode poate asigura executarea oricărui proiect oricât de amplu, cu condiția cunoașterii și aprecierii corecte a locului și momentului unde se pretează a fi utilizată fiecare metodă. Rolul impactului planificării lucrărilor se va evidenția în acest caz în mod deosebit.

Pozițiile diferitelor puncte de pe suprafața terestră pot fi determinate utilizând tehnici și tehnologii multiple de măsurare.

Astfel, poziționarea se poate face în raport cu un anumit sistem de coordonate care se alege de obicei ca fiind geocentric în raport cu un alt punct determinat anterior sau, în contextul existenței unei rețele de puncte predeterminate. Noțiunea de poziționare poate fi atribuită atât elementelor aflate în mișcare (mobile) cât și celor fixe (statice).

Determinările pot fi făcute relativ la un sistem de coordonate bine definit, de regulă tridimensional, la care originea o constituie chiar centrul de masă al Pământului, fie în raport cu un alt punct ce reprezintă originea unui sistem de coordonate locale, diferit de centrul de masă al Pământului și stabilit conform scopului și destinației urmărite.

In tabelul ce urmeaza sunt recapitulati timpii de executie și preciziile care caracterizeaza metodele enumerate mai sus .

Tabel 3: Timpii de execuție ai sesiunii și precizia de determinare

Metoda operativa	Timpii de observatie referiti la baze mai mici de 20 km	Precizie	Limitări
Statică	Circa o ora	Precizie subcentimetrica (de la 0.2 la 10 ppm)	Nici una
Rapid statică (Fast static)	Circa 5-20 minute: Timpul efectiv depinde de lungimea bazei si de configuratia satelitilor	De la 1 la 10 ppm	Necesitatea receptorilor de a se adapta la metoda.
Pseudo-statică	Circa 20 minute pentru vector (cere insa doua serii de observatii de 10 minute fiecare)	De la 2 la 20 ppm	Cere doua interventii pe fiecare punct , la un interval de timp de cel puțin o ora.
Cinematică	2 minute sau cel puțin pentru fiecare vector	De la 1 la 10 ppm	Cere si mentinerea contactului cu cel puțin 4 sateliti pe intreaga durata a sesiunii masuratorii, si in timpul mutarilor dintre puncte

Tabel 4: Sectoarele de utilizare ale acestor metode

Statică	Rapid - statică	Pseudo-statică	Cinematică
Determinarea punctelor de retele, subretele sau indesire; determinarea punctelor de sprijin pentru fotogrametrie	Determinarea punctelor de indesire, determinarea de puncte de sprijin pentru fotogrametrie, etc.	Determinarea de puncte de indesire, de puncte de sprijin pentru fotogrametrie etc.	Masuratori de detaliu, masuratori de modele digitale ale terenului, de profil, sectiune, etc. In versiunea aerotriangulatiei e utilizata pentru ghidarea traectoriei de acceleratie si determinarea centrelor de precizie ale aerofotografiei pentru controlul zonei de triangulatie

2.3. Metoda de măsurare statică

Aceasta a fost prima metodă dezvoltată în cadrul măsurătorilor GPS. Poate fi utilizată pentru măsurarea bazelor lungi, de obicei de 20 km) și mai lungi.

Un receptor este amplasat pe un punct ale cărui coordonate sunt cunoscute cu precizie în sistemul WGS'84. Acesta este cunoscut sub denumirea de receptor bază (mamă). Celălalt receptor este amplasat la celălalt capăt al bazei și este cunoscut sub denumirea de mobil (rover).

Datele sunt apoi înregistrate de ambele stații simultan. Este important ca datele să fie înregistrate la același interval de timp de către fiecare stație. Durata de timp între înregistrările de date poate fi setată la intervale de 15, 30 sau 60 de secunde.

Receptorii trebuie să colecteze datele pentru o perioadă precisă de timp. Această perioadă este influențată de lungimea bazei, de numărul sateliților observați și de geometria sateliților. Ca regulă de bază, timpul de observație

este de minim o oră pentru o lungime a bazei de 20 km cu 5 sateliți și un GDOP predominant de 8. Bazele mai lungi necesită un timp de observație mai îndelungat.

Odată ce au fost colectate date suficiente, receptorii pot fi opriți. Mobilul (rover-ul) poate fi apoi mutat pe următoarea bază și măsurătorile pot începe din nou.

Este foarte importantă introducerea redundanței în rețeaua care este măsurată. Aceasta implică măsurarea punctelor cel puțin ce două ori și creează verificări de siguranță împotriva unor probleme care altfel ar putea trece neobservate.

O creștere a productivității poate fi realizată prin adăugarea unui receptor mobil suplimentar. Buna coordonare este necesară între echipele care execută măsurătorile pentru a putea maximiza efectul de folosire a trei receptori. Un exemplu este dat în figura de mai jos.

Ca o estimare empirică a preciziei măsurătorilor relative, se poate considera ± 5 mm (3 mm) +1 ppm din lungimea bazei. Aceasta este metoda principală pentru crearea rețelelor geodezice de sprijin.

O reducere substanțială a duratei sesiunilor de lucru, la 5 – 20 minute pentru o sesiune, este atinsă cu metoda Static rapidă, fiind folosită pentru estimarea ambiguităților. Metoda oferă rezultate foarte bune la determinări de baze scurte (maxim 5 – 10 km), cu constelații satelitare foarte bune și cu receptoare care măsoară pe ambele frecvențe. Precizia potențială este estimată la (± 5 mm +1 ppm). Metoda se utilizează des la îndesirea rețelelor de sprijin și reperaj fotogrametric.

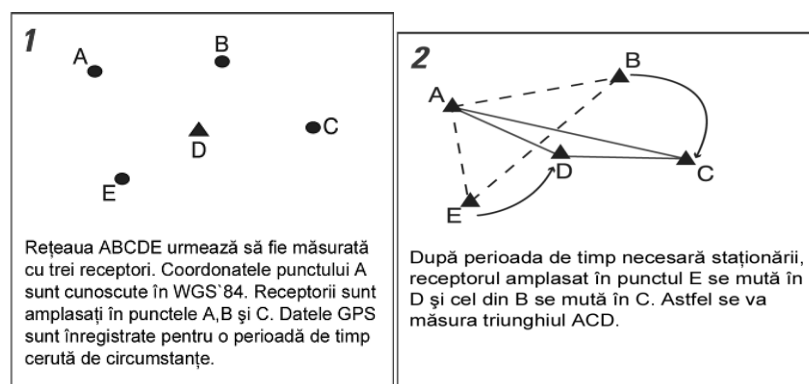


Fig.2.9a Realizarea măsurătorilor GPS în metoda statică. Etapele 1, 2

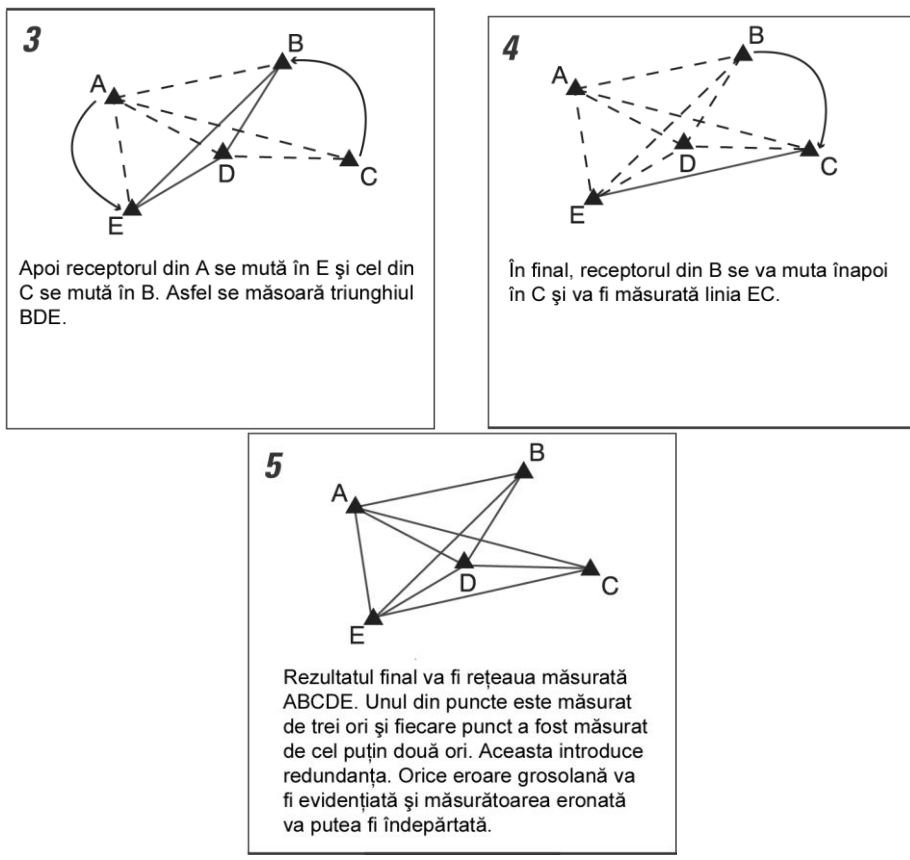


Fig.2.9 b Realizarea măsurătorilor GPS în metoda statică. Etapele 3, 4, 5

2.3. Metoda static rapidă

În metoda de măsurare static rapidă, este ales un punct de referință și unul sau mai mulți roveri lucrează în raport cu el. Caracteristic, metoda static rapidă este folosită pentru îndesirea rețelelor existente, stabilirea controlului, etc. În cadrul acestei metode nu se va observa o bază pe ora, ci în 5-20 minute. Timpul de observație depinde de configurația sateliților și este stabilit pe bază de experiență și în funcție de lucrarea ce urmează a fi de executat. În general, cu o valoare a PDOP-ului mai mică de 7, timpul de observare în funcție de numărul de sateliți este aproximativ următorul:

Număr de sateliți	Timp de observare (Minute)
4	Mai mult de 20
5	De la 10 la 20
6 sau mai mulți	De la 5 la 10

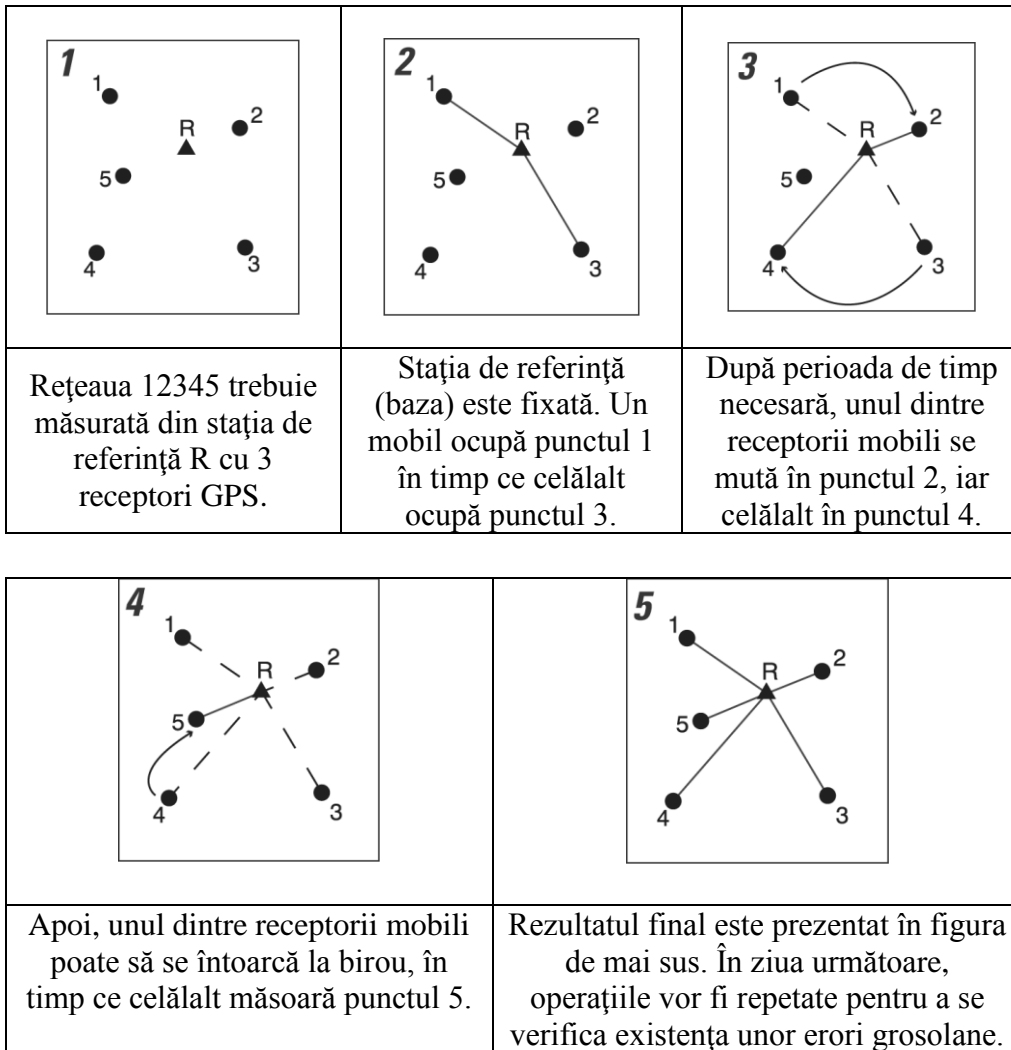


Fig.2.10 Realizarea măsurătorilor GPS cu metoda static rapidă (fast-static)

Trebuie realizate verificări pentru a ne asigura de faptul că nici o eroare grosolană nu a intervenit în măsurători. Acest lucru poate fi realizat prin remăsurarea punctelor în un alt moment al zilei.

Atunci când lucrăm cu doi sau mai mulți receptori mobili, o alternativă este aceea să ne asigurăm că toți mobiii funcționează în fiecare punct ocupat simultan. Astfel este permis ca datele de la fiecare stație să fie folosite ori ca referință ori ca rover pe durata postprocesării fiind cea mai eficientă metodă de lucru dar de altfel și cea mai greu de sincronizat.

O altă cale de introducere a redundanței este aceea de a stabili două stații fixe și de a folosi un mobil pentru staționarea pe puncte așa cum este arătat în figura de mai sus.

Sau varianta alternativă

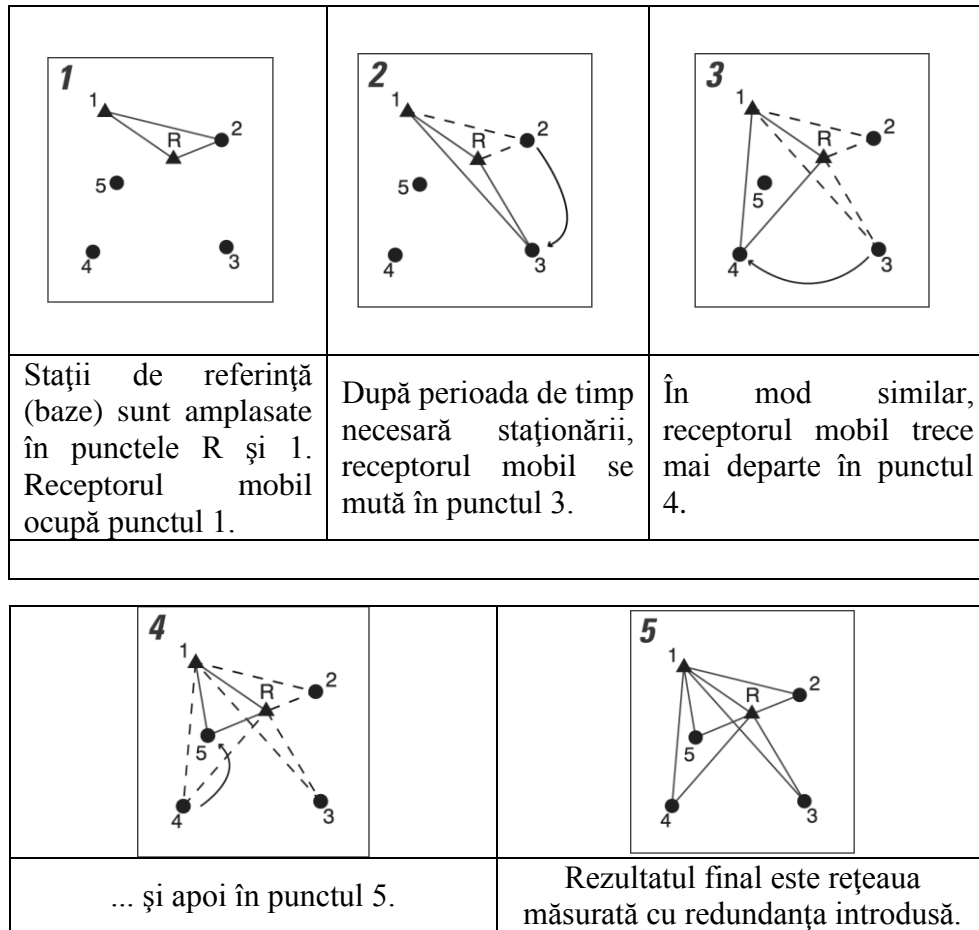


Fig.2.10 Variantă alternativă de realizare a măsurătorilor GPS cu metoda static rapidă

2.3. Metoda cinematică

Metoda cinematică este de obicei utilizată pentru măsurători de detaliu, înregistrarea traiectoriilor, etc., deși odată cu apariția metodei RTK popularitatea ei este pe o pantă descrescătoare.

Tehnica implică mutarea receptorului mobil (rover) a cărui poziție poate fi calculată relativ la receptorul fix (bază).

În primul rând, mobilul trebuie să îndeplinească ceea ce este cunoscut ca inițializare. Aceasta este în fond același lucru ca și a măsura un punct cu metoda static rapidă și a permite soft-ului postprocesarea pentru rezolvarea ambiguității odată ajunși la birou. Baza și mobilul sunt porniți și rămân nemișcați pentru 5-20 de minute, înregistrând date. Timpul de staționare depinde de lungimea bazei de la receptorul fix și de numărul sateliților observați.

După această perioadă, după această perioadă mobilul poate fi mutat nestingherit. Utilizatorul poate înregistra pozițiile la o rată de înregistrare predefinită, poate înregistra poziții distincte, sau o combinație a celor două. Această parte a măsurătorii este denumită în mod comun lanțul cinematic.

Un aspect important a fi urmărit este acela ca pe parcursul măsurătorii să se evite apropierea de obiecte care ar putea bloca semnalul sateliților spre receptorul mobil. Dacă oricând pe parcursul măsurătorii mobilul observă mai puțin de 4 sateliți, măsurătoarea trebuie oprită, receptorul trebuie mutat într-o poziție în care 4 sau mai mulți sateliți sunt observați și trebuie refăcută inițializarea înainte de continuarea măsurătorilor.

❖ *Metoda cinematică OTF*

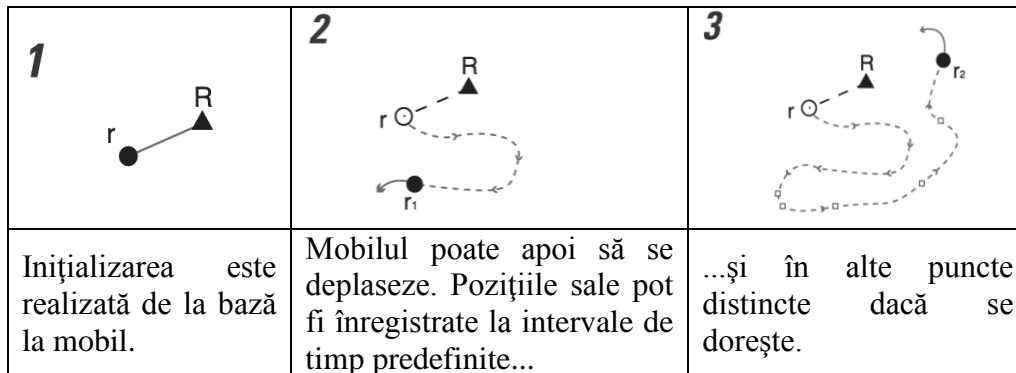


Fig.2.12 Realizarea măsurătorilor GPS în metoda cinematică

Aceasta este o variantă a metodei cinematice și înlătură cerințele de inițializare și cele următoare inițializării când numărul sateliților observați scade sub 4.

Metoda cinematică OTF este o metodă de procesare care este aplicată măsurătorilor pe parcursul postprocesării. La începutul măsurătorilor, operatorul poate pur și simplu să se deplaseze cu receptorul și să înregistreze datele. Dacă va trece pe sub coroana unui copac și va pierde sateliții, la momentul intrării în aria de acoperire a sateliților, sistemul se va reinițializa automat.

2.3. Metoda cinematică în timp real

Prescurtarea de RTK provine de la cinematic în timp real. Este o metodă de măsurare cinematică OTF ce se derulează în timp real.

Stația fixă are atașată o legătură radio și retransmite datele pe care le recepționează de la sateliți.

Și mobilul are o legătură radio și recepționează transmis de stația fixă. Mobilul recepționează de altfel date și direct de la sateliți prin intermediul propriei sale antene GPS. Aceste două seturi de date pot fi procesate împreună de receptorul mobil în scopul rezolvării ambiguității și prin urmare se va obține o precizie ridicată relativ la receptorul fix.

Odată ce receptorul fix a fost instalat și transmite date prin legătura radio, receptorul mobil poate fi activat.

Atunci când urmărește sateliții și recepționează date de la fix, poate începe procesul de inițializare. Acesta este similar cu inițializarea realizată în cazul unei măsurători cinematice OTF, diferența principală fiind faptul că este dusă la capăt în timp real.

Odată ce inițializarea este completă, ambiguitățile sunt rezolvate și mobilul poate înregistra puncte și coordonate. În acest moment precizia de determinare a bazei este de cuprinsă în intervalul 1-5 cm.

Este importantă menținerea contactului cu receptorul fix, căci altfel mobilul ar putea pierde ambiguitatea. Aceasta duce la calcularea unei poziții a punctului mult depărtată de realitate.

În plus, probleme ar putea fi întâlnite la măsurarea aproape de obstrucții ca și clădiri înalte, copaci, etc. unde semnalul sateliților ar putea fi blocat.

RTK a devenit foarte repede cea mai întâlnită metodă de obținere a unor precizii ridicate, măsurători GPS de acuratețe mare pe arii restrânse și poate fi utilizat și pentru aplicații similare celor la care se folosesc stațiile totale. Aceasta include și măsurători de detaliu, supraveghere, aplicații COGO, etc.

❖ Legătura radio

Majoritatea sistemelor GPS RTK, folosesc mici modemuri radio pe frecvența UHF. Comunicația radio este cea parte a sistemului RTK cu care majoritatea utilizatorilor întâmpină dificultăți. Merită luată în considerare influența următorilor factori în momentul încercării optimizării performanței legăturii radio:

Puterea transmițătorului radio. În general vorbind, mai multă putere înseamnă performanță mai bună. Oricum, majoritatea țărilor restricționează legal puterea de emisie la 0,5-2W.

Înălțimea antenei transmițătorului. Comunicațiile radio pot fi afectate de linia de vizare. Cu cât mai sus este poziționată antena, cu atât este mai puțin probabil să fie probleme cu linia de vizare. De asemenea va crește raza de acțiune a comunicațiilor radio. Același lucru este valabil și în cazul antenei receptoare.

Alți factori de influență ce afectează performanța includ lungimea cablului până la antena radio (cabluri mai lungi înseamnă pierderi mai mari) și tipul de antenă radio folosită.

2.3 SURSE DE ERORI ÎN MĂSURĂTORILE GPS

2.3. Generalități

Sistemul GPS a fost conceput ca un sistem de navigație în special în scopuri militare. În acest domeniu de aplicare interesează în mod deosebit poziționarea în timp real cu măsurarea și prelucrarea pseudodistanțelor.

Tehnica GPS, ca și orice altă tehnică de măsurare, este afectată de erori sistematice și de erori aleatoare.

Principalele surse de erori ce influențează măsurătorile GPS sunt legate de:

- efectele instrumentale;
- efectele mediului de propagare;
- deficiențele în modelele dinamice utilizate pentru determinarea mișcărilor relative ale sateliților GPS.

Aceste surse de erori pot provoca:

I. Erori sistematice (eliminate sau estimate în procesul de calcul):

- erori sistematice de reprezentare a orbitelor;
- erori sistematice ale modelului de funcționare a ceasului satelitului;
- coordonatele (cunoscute) stației;
- eroarea sistematică a ceasului receptorului;
- eroarea troposferică și ionosferică;
- ambiguitatea fazei purtătoare.

II. Erori aleatoare (remanente în procesul de calcul):

- erori sistematice reziduale;
- "cycle-slip" necorecțate;
- excentricitatea centrului de fază;
- eroarea datorată reflexiei semnalelor (multipath);
- eroarea aleatoare de măsurare.

2.3. Principalele erori și modul de eliminare sau reducere a lor

❖ Erori ale satelitului

Erorile datorate sateliților sistemului GPS au ca sursă erorile efemeridelor și cele ale ceasurilor din sateliți.

Este evident că erorile efemeridelor influențează precizia poziționării. Unii autori estimează, foarte optimist, eroarea poziționării la 1,5 m, datorită impreciziei efemeridelor. Alții afirmă ca valoarea amintită reprezintă doar efectul impreciziei poziției

radiale al sateliților pe orbite, eroarea totală fiind de două sau de trei ori mai mare. Estimările se referă la soluția de navigație obținută cu efemeridele transmise în mesajul de navigație al semnalelor GPS și recepționate de utilizator.

Existența unor servicii specializate care se ocupă de determinarea efemeridelor sateliților GPS au condus, în prezent, la o evaluare mult mai precisă a efemeridelor. Aceste date pot fi puse la dispoziția utilizatorilor autorizați prin internet și cuprind:

- Constelația actuală a sateliților (Satellite Health Data);
- Starea și dezvoltarea planificată a sistemului;
- Efemeridele precise;
- Almanahul;
- Vizibilități;
- Ondulația geoidului;
- Parametrii rotației Pământului;
- Firme constructoare de echipamente GPS, etc.

❖ Erori sistematice ale ceasurilor

Acestea reprezintă efectele instrumentale ale ceasurilor sistemelor emițătoare și receptoare.

În funcție de modul de prelucrare a datelor, influența acestor erori este diferită:

- pentru faza oscilației purtătoare (nediferențiată) și ecuații de fază simplu diferențiate: fluctuații ale oscilatoarelor (satelitului și receptorului)
- în ecuațiile dublu diferențiate utilizate uzual, efectele fluctuațiilor oscilatoarelor sunt reduse considerabil, dar nu este eliminată influența negativă a:
 - abaterii timpului epocii față de UTC- aceasta este specifică receptoarelor și provoacă interpolarea efemeridelor pentru un moment de timp eronat. Eroarea introdusă în măsurarea bazei este determinată de produsul erorii de timp cu viteza unghiulară a satelitului.
 - Pentru a obține măsurători de baze cu precizie de sub 1ppm este necesară sincronizarea ceasurilor receptorului cu timpul UTC sub ~ 7 ms.
 - 2. abaterii timpului înregistrat pentru o epocă, de două receptoare.
 - Pentru a obține o eroare sub 1cm, eroarea ceasului receptorului trebuie să fie menținută sub 3 μ s. Această eroare este critică pentru măsurători de înaltă precizie și baze scurte.
 - driftul între două receptoare: - în general driftul dintre oscilatoarele a două receptoare nu constituie o problemă.

Probleme pot apare dacă oscilatoarele nu sunt bine calibrate sau nu se pregătesc corespunzător. În orice caz, drifturile pot fi estimate din diferența ecuațiilor de fază dintre stații.

❖ Efectul datorat reflexiei semnalelor (efectul multipath)

În măsurătorile GPS se presupune că semnalul ajunge direct de la satelit la receptor. Dar acest lucru nu este întotdeauna adevărat, alături de semnalul direct ajungând la receptor și semnale reflectate datorate contactului cu solul sau alte obiecte, înainte de a atinge antena. Dacă diferența de drum parcursă de cele două semnale (direct și reflectat) este considerabil de mare (mai mare de 10 m) atunci se poate face o diferențiere între

semnalul care ajunge direct la receptor și semnalul care a fost reflectat. În cazul în care diferența de drum este mică, apare o incertitudine de determinare a semnalului direct și deci implicit a momentului de timp la care acesta a fost recepțat.

Mărimea erorii este de aproximativ:

- 10 m pentru cod și variază încet;
- 0.01 m pentru faza purtătoare și variază rapid.

Pentru a reduce această eroare se poate alege atent amplasarea antenei sau se prelungește perioada observațiilor. De asemenea există metode de diminuare a efectului de multipath cum ar fi: tehnica procesării semnalului și utilizarea unor inele de respingere a efectului de multipath (numite choke rings).

Tehnica procesării semnalului constă în analiza separată a semnalului direct față de semnalul reflectat. Acest procedeu este inefficient dacă diferența de drum parcursă de semnalul direct și cel indirect este mai mică de câțiva metri. Eliminarea semnalului reflectat implică uneori eliminarea unei părți din semnalul direct fapt ce duce la mărirea zgomotului (ceea ce nu este de dorit).

Folosirea inelelor de respingere a efectului de multipath funcționează doar în cazul în care semnalul a fost reflectat de obiecte aflate sub nivelul antenei. Semnalul reflectat atinge partea inferioară a antenei și el este respins. Această tehnică nu este eficientă în cazul în care semnalele au fost reflectate de obiecte aflate deasupra antenei.

Totuși, majoritatea semnalelor care sunt reflectate de obiecte aflate deasupra antenei determină o diferență mai mare de 10 m între drumul parcurs de semnalul direct și cel reflectat și eroarea poate fi eliminată prin tehnica procesării semnalului. Deoarece cele două metode prezentate sunt complementare ca natură este posibilă diminuarea erorii de multipath atât în cazul în care diferența de drum parcursă de semnalul direct și de cel indirect este mare cât și în cazul în care aceasta este mică.

❖ *Erorile sistematice ale orbitei*

Aceste erori sunt datorate interpolării greșite a efemeridelor sau efectului de disponibilitate selectivă (S.A) introdus de către proprietarul sistemului sau pot fi datorate manevrelor sateliților.

Mărimea erorilor este de aproximativ:

- 10-20 m pentru efemeridele difuzate;
- 100 m pentru efemeridele difuzate și efectul de disponibilitate selectivă activat (SA).

Metodele de evaluare a erorilor sistematice ale orbitelor sunt:

- presupunerea că pozițiile satelitului sunt puncte cunoscute (efemeridele sunt considerate a fi perfecte);
- lucrul în mod diferențial: - diferențe de fază (ecuații de fază nediferențiate cu estimarea erorii de ceas a satelitului). În acest caz eroarea orbitei va fi ținută sub 20 m (nivel 1ppm).
- calculul orbitei - se presupune că sateliții sunt noi și se caută rezolvarea acestei probleme prin:
 - introducerea unor erori sistematice geometrice și estimarea a trei translații (se pot introduce și rotații);
 - introducerea unui model dinamic cu parametri keplerieni (ca și condiții inițiale) pentru un model de forțe.

❖ Erori sistematice ionosferice

Aceste erori sunt datorate influenței mediului de propagare (mediul conține particule încărcate electric) la o altitudine între 50-1000 km.

Mărimea acestor erori sistematice depinde de variațiile elevației sateliților, variațiile anuale ale ionosferei, exploziile solare, etc.

Influența ionosferei este mai mare pe timpul zilei și mai redusă pe timpul nopții. De asemenea se poate observa o ciclicitate a mărimii erorii datorate ionosferei în funcție de timp. În ciclul actual valoarea maximă a influenței ionosferei a avut loc în anul 1998 iar cea minimă în anul 2004. Acest ciclu se repetă.

Valoarea erorii datorate ionosferei este mai mare de 10 m și din această cauză ea trebuie diminuată.

Unii receptori utilizează modele matematice ale efectelor ionosferei. Cunoscând cu aproximare densitatea de particule încărcate electric din ionosferă (aceste date sunt transmise de către sateliți), eroarea datorată ionosferei poate fi diminuată cu aproximativ 50%.

Eroarea ionosferei este invers proporțională cu frecvența semnalului. Cu cât frecvența semnalului este mai mare cu atât impactul ionosferei asupra preciziei măsurătorilor este mai mic. Deci, dacă se folosesc două frecvențe, este posibil să se elimine eroarea datorată ionosferei. Din această cauză sateliții GPS transmit informații pe două frecvențe numite L1 și L2. Receptorii de precizie recepționează ambele semnale pentru a putea elimina eroarea ionosferică. Receptorii de precizie scăzută recepționează doar pe frecvența L1. Aceasta este una dintre modalitățile principale de diferențiere între tipurile de receptori, cei care recepționează două frecvențe se numesc receptori de dublă frecvență iar ceilalți receptori de simplă frecvență.

❖ Erori sistematice troposferice

Aceste erori sunt datorate efectelor mediului de propagare între suprafața Pământului și altitudini de aproximativ 50-80 km și au două componente:

- componenta uscată;
- componenta umedă;

Mărimea erorii este de ordinul a 2-3 m pentru zenit și aproximativ 20 m pentru o elevație de 10° .

Pentru estimarea (sau eliminarea) acestor erori putem:

- să le ignorăm;
- să utilizăm modele troposferice standard cum ar fi:
 - modelul cu atmosferă standard;
 - modelul cu atmosferă standard și parametri de scară;
 - modelul cu atmosferă standard și date meteo de suprafață;
 - modelul cu atmosferă standard, parametru de scară și date meteo de suprafață;
 - modelul profilului local de refracție pe verticală.

❖ Erori sistematice ale ambiguității (N)

Eroarea sistematică de ambiguitate este o eroare sistematică cu o amplitudine ce depinde de lungimea de undă a purtătoarei (λ). Valoarea ambiguității este $N\lambda$.

Valoarea ambiguității este mult mai complexă în măsurătorile cu două frecvențe decât în cazul măsurătorilor cu o frecvență.

În primul caz este foarte greu de a fixa ambiguitatea pentru baze lungi.

Dacă parametri ambiguității sunt estimați în procesul de compensare, ei vor fi afectați de erori sistematice nemodelate ca eroarea orbitei, erori troposferice, etc. Influența acestor erori exprimată în fracțiuni de ciclu (λ) scade cu creșterea lungimii de undă. În lucrul cu două frecvențe se pot utiliza combinații liniare pentru a îmbunătăți estimarea ambiguității.

Opțiunile de modelare sunt:

- soluția geometrică (pentru observații cu durata mai mare de 1 oră);
- combinația purtătoarei și codului numai pentru receptoare cu codul P pe benzile L1 sau / și L2.
- Fixarea ambiguității este posibilă numai dacă erorile remanente (ΔN) sunt mai mici decât jumătate din lungimea de undă ($\Delta N < \lambda/2$).
- Propagarea erorilor sistematice și aleatoare în coordonatele stației depinde de:
 - distribuția pe cer a sateliților (geometria constelației);
 - latitudinea punctului de stație;
 - unghiul minim de elevație impus;
 - orientarea bazei.

Propagarea erorilor pentru soluțiile cu ambiguitățile fixate, soluțiile cu ambiguitățile libere și direcțiile zenitale ale observațiilor, trebuie luată în considerare.

Pentru soluțiile cu ambiguități libere trebuie considerate în plus lungimea arcului și orientarea traiectoriei fiecărui satelit.

Pentru a îmbunătăți rezultatele măsurătorilor GPS este importantă cunoașterea geometriei sateliților și a tipului de compensare prin metoda celor mai mici pătrate (ambiguități fixate sau libere). În prezent, au fost dezvoltate tehnici de simulare care ajută utilizatorii GPS pentru o înțelegere mai bună a propagării efectelor erorilor sistematice și aleatoare în coordonatele geodezice.

În tabelul 2.1 sunt prezentate pe scurt principalele erori, cauzele ce le produc și modul în care ele pot fi reduse sau chiar eliminate.

Trebuie explicat ce se înțelege prin folosirea metodelor diferențiale deoarece aceasta este cea mai frecvent utilizată metodă de eliminare a erorilor. Presupunând că dispunem de doi receptori relativ apropiați unul de celălalt. În acest caz erorile orologiilor sateliților, erorile orbitelor sateliților, eroarea ionosferei, a troposferei și disponibilitatea selectivă influențează în același mod ambii receptori. Dacă se cunoaște poziția exactă a unuia dintre receptori atunci putem folosi aceste date pentru a calcula erorile ce au intervenit în cadrul măsurătorii iar aceste valori pot fi folosite pentru a corecta datele obținute de la celălalt receptor.

Receptorul care se găsește pe punctul cunoscut se numește receptor fix sau bază iar cel care se găsește pe punctul ce trebuie determinat se numește receptor mobil sau rover. În determinarea corecțiilor ce se aplică receptorului mobil este importantă cunoașterea cu precizie a poziției punctului fix.

Distanța dintre receptorul fix și cel mobil se numește bază. Când baza este scurtă (distanța dintre cei doi receptori este mică) domeniile de erori ai celor doi receptori sunt aproape identice și în acest caz se pot folosi corecțiile determinate pentru receptorul fix și pentru receptorul mobil. Cu cât lungimea bazei este mai mare cu atât corelația dintre domeniile de erori ale celor doi receptori este mai slabă rezultând erori reziduale. Ca și regulă ne putem aștepta la o scădere a preciziei de determinare cu 1 mm atunci când

baza se mărește cu 1 km și se utilizează pentru măsurători receptori de dublă frecvență. Pe scurt putem spune că eroarea crește cu 1 ppm (o parte pe milion). În cazul receptorilor de simplă frecvență eroarea crește cu 2 ppm.

Prin metode diferențiale se pot elimina majoritatea erorilor excepție eroarea de multipath și eroarea receptorilor.

Eroarea receptorului (sau zgomotul) este de aproximativ 10 cm pentru măsurarea prin cod și de 1 mm pentru măsurarea cu ajutorul fazei purtătoare. Pe de altă parte eroarea de multipath poate fi de ordinul metrilor în cazul determinărilor cu ajutorul codului și de ordinul centimetrelor pentru faza purtătoare. Astfel, eliminarea erorii de multipath combinată cu folosirea metodelor diferențiale duce la o precizie de ordinul milimetrilor în cazul utilizării fazei purtătoare și de ordinul decimetrilor în cazul utilizării codului.

Tabel 5 Tipuri de erori

Tipul de eroare	Cauze	Corectare
Diminuarea preciziei geometrice a rezultatelor	Proasta configurație a constelațiilor în momentul observațiilor	Executarea observațiilor în perioada în care configurația sateliților este cea mai bună
Eroarea efemeridelor	Variația poziției teoretice a sateliților de-a lungul orbitei lor	Folosirea metodelor diferențiale
Întârzierea ionosferică	Încetinirea vitezei semnalului datorată traversării ionosferei	Folosirea metodelor diferențiale
Întârzierea troposferică	Încetinirea vitezei semnalului datorată traversării troposferei	Folosirea metodelor diferențiale

Tipul de eroare	Cauze	Corectare
Defazajul orologiilor sateliților	Eroarea în măsurarea timpului din partea orologiilor la bordul satelitului	Folosirea metodelor diferențiale
Eroarea orologiului de la receptor	Eroarea în măsurarea timpului de parcurgere al semnalului din partea receptorului	Este calculat și eliminat folosind observațiile a patru sateliți
Receptor zgomotos	Obstrucții sau alte cauze locale	Dificil de eliminat
Starea de funcționare a satelitului	Erori cu privire la un satelit determinat datorită proastei sale funcționări	Satelitul nu poate fi folosit

3 ALTE SISTEME DE POZIȚIONARE GLOBALĂ PRIN SATELIȚI

3.1 SISTEMUL GLONASS

❖ Domeniile de utilizare a sistemului GLONASS sunt următoarele:

- managementul traficului aerian și naval cu accent pe creșterea siguranței;
- geodezie și cartografie;
- monitorizarea transportului terestru;
- sincronizarea ca timp a două obiecte aflate la distanță;
- monitorizarea ecologică, organizarea operațiunilor de căutare și salvare.

❖ Performanțele sistemului GLONASS

Sistemul GLONASS este controlat de guvernul Federației Ruse prin intermediul Forțelor Spațiale Ruse. Acest sistem va acorda beneficii comunității utilizatorilor civili prin intermediul unei game variate de aplicații. Sistemul GLONASS are două tipuri de semnale de navigație: semnalul standard de navigație, de precizie redusă SP și semnalul de mare precizie HP. Sistemele de poziționare și timp prin intermediul semnalului SP sunt disponibile tuturor utilizatorilor civili în mod continuu pe tot globul pământesc și asigură o precizie de poziționare orizontală de 57-70 m, o precizie a poziționării verticale de 70 m. Aceste caracteristici pot fi în mod semnificativ îmbunătățite folosind modul diferențial de navigație și metode speciale de măsurare (de exemplu prin intermediul fazei purtătoare)

❖ Modul de funcționare al sistemului GLONASS

Pentru obținerea unei poziționări 3D, a determinării vitezei sau a timpului, utilizatorii sistemului GLONASS folosesc semnale radio de navigație care sunt transmise continuu de sateliți. Fiecare satelit GLONASS transmite două tipuri de semnale: semnalul de precizie standard SP și semnalul de precizie ridicată H. Banda L1 A semnalului SP are o frecvență divizată ca multiplu de frecvența de bază L: $L1=1602\text{MHz}+n*0,5625\text{MHz}$, unde n este numărul canalului de frecvență ($n=0,1,2,\dots$). Aceasta înseamnă că fiecare satelit transmite pe frecvența proprie. Totuși unii sateliți transmit pe aceeași frecvență dar acești sateliți sunt poziționați la antipodi pe orbitele satelitare astfel încât nu pot să apară concomitent pe cerul vizibil utilizatorilor. Receptorii GLONASS înregistrează automat semnalele GLONASS de la cel puțin 4 sateliți și măsoară pseudodistanța până la ei. Simultan ei selectează și procesează mesajele de navigație de la sateliți. Computerul din receptorul GLONASS procesează toate datele de intrare și calculează trei coordonate, trei componente de viteză și timpul precis.

❖ Componentele sistemului GLONASS

Sistemul GLONASS include trei părți:

- constelația GLONASS
- sistemul de control la sol
- receptorii GLONASS

Tabelul 6. Constelația GLONASS

GLONASS	
Descrierea constelației	
Număr de sateliți	24 activi (constelația completă)
Geometrie	3 planuri, 8 sateliți pe fiecare plan
Orbita	MEO - 19,100 km (10,313 nmi) circulară, înclinare de 64.8°
Perioada orbitei	11 ore 15 minute
Acoperire	Global
Capabilitate operațională inițială (IOC)	1993 Septembrie
Capabilitate operațională finală (FOC)	-
Coordonat de:	Guvernul Federației Ruse prin intermediul Forțelor Spațiale Ruse

Constelația GLOANSS Completă va fi compusă din 24 de sateliți împărțiți în 3 planuri orbitale care fac un unghi diedru de 120° între ele. Câte 8 sateliți sunt plasați la distanțe egale pe fiecare orbită. În afară de unghiul pe care îl fac între ele, cele trei planuri orbitale au o înclinație de 15°

Fiecare satelit GLONASS se mișcă pe o orbită aflată la o altitudine de 19100 km și fiecare satelit parcurge complet orbita în aproximativ 11 ore și 15 minute. Sateliții sunt astfel dispuși pe orbite astfel încât din orice punct de pe pământ să fie vizibil minim 5 sateliți cu o geometrie adecvată. Datorită acestui fapt sistemul GLONASS asigură o acoperire completă și performantă pentru observațiile de navigație.

O caracteristică a constelației GLONASS este aceea că un satelit va ocupa aceeași poziție după 8 zile. Cum fiecare plan orbital conține 8 sateliți, nu există o repetare identică după o zi siderală deoarece aceea poziție va fi ocupată de alt satelit. Acest lucru este diferit față de constelația GPS unde există o repetare identică după o zi siderală.

Datorită situației economice din Rusia, în aprilie 2002 erau operaționali doar 8 sateliți ceea ce făcea aproape inutil sistemul de navigație.

Deoarece situația economică a Rusiei s-a îmbunătățit, 11 sateliți erau operaționali în martie 2004. În plus a fost proiectat un satelit GLONASS avansat, Glonass-M, care are o durată de viață de 7 ani. Un bloc de trei sateliți din această nouă generație au fost lansați în 26 decembrie 2004. Un satelit și mai evoluat Glonass-K, va avea o greutate mai redusă și o durată de viață de 10-12 ani și se presupune ca va intra în funcțiune în anul 2008.

Fiecare satelit GLONASS transmite un semnal radio de navigație care conține mesajul de navigație pentru utilizatori.

Sistemul de navigație GLONASS ca parte a semnalului radio de navigație include:

- efemeridele;
- timpul (de trecerea deasupra a) satelitului raportat la sistemul GLONASS de timp (UTC - SU);
- mărci de timp;
- Almanahul GLONASS;

Efemeridele reprezintă coordonatele exacte ale satelitului (X, Y, Z) care descriu locația în sistemul de referință geocentric fix PZ-90. Parametrii acestui sistem sunt: $a=6378136$ m, $f=1:289,257839303$. În prezent nu există încă un set de parametrii de transformare între sistemul PZ-90 și WGS-84.

Almanahul păstrează informații despre toți sateliții GLONASS și include elementele orbitei kepleriene, și decalajul de timp pentru fiecare orologiu din sistemul GLONASS cât și date despre starea de sănătate a satelitului.

❖ Sistemul de control la sol al sistemului GLONASS

Constelația GLONASS este condusă la sol de Complexul de Control la Sol GCS. Acesta este alcătuit din Centrul de Control ale sistemului (Krasnoznamensk, regiunea Moscova) și de câteva stații de urmărire (CTS) care sunt amplasate pe teritoriul Rusiei. Stațiile CTS urmăresc sateliții vizibili și acumulează date legate de semnalul acestora. Informația de la stațiile CTS este prelucrată de stația SCC pentru a determina ora sateliților, orbitele exacte și astfel să se corecteze mesajul de navigație a fiecărui satelit. Aceste date sunt transmise sateliților prin intermediul stațiilor CTS care mai sunt folosite și pentru transmiterea informațiilor de control.

❖ Timpul sistemului GLONASS

Sateliții GLONASS sunt echipați cu orologii de cesiu care permit măsurarea timpului cu o precizie ridicată. Cum este bine cunoscută, scara fundamentală de timp pentru toate sistemele de pe pământ este TAI (International Atomic Time). Acest timp este rezultatul analizei de către BIH (Bureau International de l'Heure) din Paris a standardelor atomice din mai multe țări. Unitatea fundamentală a TAI este unitatea din Sistemul Internațional: secunda. Timpul TAI are un singur inconvenient: rotația pământului în jurul soarelui este încetinită cu aproximativ o secundă pe an ceea ce va duce în final la o desincronizare a timpului TAI cu ziua solară. Această problemă a fost depășită prin introducerea timpului UTC care are aceeași unitate de măsură ca și TAI dar acceptă un salt de o secundă pe an ceea ce se întâmplă de obicei la sfârșitul lunii iunie sau decembrie a fiecărui an. Timpul UTC este menținut de VNIIFTRI (Main Metrological Center of Russian Time and Frequency Service) aflat la Mendeleevo, regiunea Moscova. Atunci când UTC este incrementat cu o secundă, sistemul GLONASS își incrementează și el timpul astfel încât nu există diferență de secunde între timpul GLONASS și UTC. Totuși există o diferență de trei ore între timpul GLONASS și timpul UTC (CIS) datorită aspectelor specifice de monitorizare ale sistemului GLONASS astfel că: $GLONASS = UTC + 3h$. În ce privește timpul GPS acesta nu este incrementat cu o secundă și există o diferență de secunde întregi între GPST și UTC. $GPST - UTC = +10s$.

3.2 SISTEMUL GALILEO

3.3. Generalități privind sistemul Galileo

Sistemul Galileo va fi un sistem de poziționare globală prin sateliți și va fi primul sistem civil de acest tip. Acest sistem va avea 30 de sateliți (27 operaționali și 3 de rezervă) staționați pe trei orbite circulare medii ale Pământului la o altitudine de 23616 km și având o înclinație de 56° față de Ecuator. Această configurație va asigura o excelentă acoperire pentru întreaga planetă. Două puncte de control vor fi create în Europa pentru controlul operațiunilor sateliților și administrarea sistemului de navigație.

Dezvoltat de către ESA și Uniunea Europeană pe baza unei finanțări de 50-50%, Galileo va fi un sistem în exclusivitate civil, ce se presupune că va fi operațional începând cu anul 2008. Acest sistem va oferi utilizatorilor europeni și a celor din toată lumea un serviciu de poziționare prin sateliți precis și sigur.

Contractele pentru primii sateliți ai sistemului Galileo au fost semnate în iulie 2003 la ESTEC.

Contractele vizează construirea a doi sateliți experimentali, precursori ai fazei de validare a orbitei sistemului. Unul dintre sateliți a fost lansat la începutul anului 2005 cu scopul de

a asigura frecvențele date sistemului Galileo de către Asociația Internațională în Telecomunicații. Semnalele trebuie să fie emise începând cu cel mai târziu luna iunie a anului 2006 pentru a menține prioritatea pentru alocarea acestor frecvențe.

Unul dintre contracte, valorând 27.9 milioane euro, a fost câștigat de compania britanică Surrey Space Technology Limited. Principala sarcină a acestui satelit de test, care are o greutate la lansare de 400 kg, este transmiterea semnalelor Galileo de pe una dintre orbitele ce vor defini constelația sistemului.

Acest satelit va testa de asemenea, pe perioada sa de zbor, diverse tehnologii critice incluzând ceasurile atomice cu Rubidiu și generatorul de semnal. De asemenea va măsura și parametrii fizici ai orbitei și ai mediului înconjurător în care va funcționa viitoarea constelație. Acesta este primul satelit al Europei plasat pe o orbită medie a Pământului.

Pentru a minimiza riscurile de întârziere, de eșec la lansare, etc., a mai fost semnat un al doilea contract cu consorțiul Galileo Industries (este compus din Alcatel Space Industries (F), Alenia Spazio (I), Astrium GmbH (G), Astrium Ltd (UK) și Galileo Sistemas y Servicios (S)) pentru construirea unui al doilea satelit de test. Valoarea acestui contract este de 72.3 milioane euro.

Acest satelit care va avea o greutate de 525 kg la lansare și va fi reprezentativ pentru sateliții care vor valida orbitele sistemului Galileo. Cu o încărcare utilă foarte similară cu a acestor sateliți care vor forma constelația definitivă, acesta va servi la validarea tuturor tehnologiilor ce vor fi utilizate. De asemenea va trebui să fie folosit și în cadrul fazei de validare propriu-zise.

3.3. Sistemul de referință al sistemului Galileo

❖ Sisteme de coordonate

Sistemul de coordonate al sistemului Galileo va fi adoptat conform unor standarde civile internaționale. Totuși, realizarea sistemului de referință pentru coordonate și timp ai sistemului Galileo va trebui să se bazeze pe stații de referință geodezice și timp diferiți de cei utilizați de sistemul GPS. Aceasta va asigura independența celor două sisteme, permițând unui sistem să joace rolul de sistem de rezervă pentru celălalt sistem.

Sistemul de referință terestru al sistemului Galileo - GTRF va fi o realizare independentă a ITRS stabilit de Biroul Central al IERS. Sistemul de referință rezultat are la bază coordonatele stațiilor fixe terestre ale sistemului Galileo. Sistemul GPS folosește sistemul WGS'84 ca sistem de referință pentru coordonate, care este de asemenea o realizare a ITRS. Pentru definirea lui au fost folosite coordonatele stațiilor terestre ale sistemului GPS. Diferențele dintre WGS'84 și GTRF sunt așteptate să fie de ordinul centimetrelor.

În consecință, vorbind în termeni de interoperabilitate, ambele sisteme GNSS: WGS'84 și GTRF vor fi practic identice încadrându-se într-o toleranță de realizare a ITRS (acest lucru înseamnă că cele două sisteme de coordonate sunt compatibile). Această precizie este suficientă pentru navigație și pentru majoritatea celorlalte cerințe ale utilizatorilor. Discrepanțele care rămân sunt de ordinul a 2 cm și sunt demne de a fi luate în considerare doar pentru cercetătorii din geodezie. Dacă se va dori, parametrii transformării vor putea să fie achiziționați de la furnizori de servicii. Galileo STF nu consideră necesară introducerea acestei informații în mesajul transmis de la sateliții sistemului Galileo.

❖ Sistemul de timp

Sistemul de timp al sistemului Galileo (GST) va trebui să fie o scară continuă de coordonate temporale comandată de TAI cu o deplasare mai mică de 33 nanosecunde. Limitele GST, exprimate prin defazajul relativ față de TAI, vor fi de 50 nanosecunde pentru 95% din orice

perioadă a anului. Defazajul dintre GST și TAI respectiv între GST și UTC (predefinit) vor fi transmise spre utilizatori prin serviciile legate de semnal ale sistemului Galileo.

Segmentul la sol al sistemului Galileo va monitoriza defazajul timpului GST raportat la sistemul de timp al GPS și va fi eventual transmis către utilizatori. Defazajul ar putea de asemenea să fie stabilit în receptorul utilizatorului prin folosirea unei observații spre un satelit. Acuratețea soluției dată de receptor va fi mai mare decât cea care ar fi eventual transmisă. Deci transmiterea acestei informații s-ar putea să nu fie necesară pentru utilizatori.

3.3. Arhitectura sistemului Galileo

Arhitectura sistemului Galileo va fi astfel proiectată încât să permită:

- Adaptarea ca răspuns la tendințele necesităților utilizatorilor de pe toate segmentele de piață;
- Minimizarea costurilor de operare și dezvoltare;
- Minimizarea riscurilor, altele decât cele financiare, inerente unui proiect atât de deosebit în virtutea scopului său, complexității sale și a modificărilor ce pot să intervină;
- Interoperabilitatea cu sistemele deja existente, în special cu sistemul GPS, menținându-și în același timp autonomia și competitivitatea.

Din punct de vedere al arhitecturii, sistemul Galileo va cuprinde patru componente principale:

- Componenta globală;
- Componenta regională;
- Componenta locală;
- Receptorii și terminalele utilizatorilor.

❖ Componenta globală

Componenta globală va cuprinde constelația cu cei 30 de sateliți distribuiți în trei plane orbitale pe orbite medii ale Pământului - MEO. În cadrul fiecărui plan va exista un satelit de rezervă și va exista posibilitatea mutării acestuia. În cazul defectării unui satelit activ se mută satelitul de rezervă pe poziția satelitului defect.

Au fost studiate mai multe tipuri de constelații pentru optimizarea segmentului spațial. Constelația aleasă este alcătuită în exclusivitate din sateliți aflați pe orbite medii ale Pământului care asigură o performanță uniformă atât în ce privește precizia cât și disponibilitatea. De asemenea această constelație oferă mai multă siguranță în cazul defectării unui satelit. În plus, constelația Galileo este convenabilă pentru statele ce se află la o latitudine ridicată și oferă o vizibilitate îmbunătățită pentru orașe fiind în același timp mai puțin împovărat.

Dimensiunea și masa sateliților luată în considerare pentru acest tip de misiuni va asigura optima desfășurare a constelației pe parcursul lansărilor multiple adică 2 până la 8 sateliți în cadrul unei lansări, depinzând de capacitatea de lansare și de constrângerile existente. În final, alegerea lansatorilor va fi decisă ținând cont de costurile lansării unui satelit, de încărcarea utilă ce poate fi lansată adică de număr de sateliți la o singură lansare, de factorii de încredere și de condițiile contractuale, de asigurări.

Controlul constelației sateliților, sincronizarea ceasurilor atomice ale sateliților, procesarea integrității semnalului și manipularea datelor legate de elemente interne și externe sunt realizate de două centre de control ale sistemului Galileo - GCC. Ambele vor fi pe teritoriul european. Aceste centre vor fi cuprinde:

- Mijloace de procesare și sincronizare a orbitelor (OSPF - Orbit Synchronization and Processing Facilities);
- Mijloace de măsurare precisă a timpului (PTF - Precision Timing Facilities);
- Mijloace de procesare a integrității (IPF - Integrity Processing Facilities);
- Mijloace de control a misiunilor (MCF - Mission Control Facility);
- Mijloace de control al sateliților (SCF - Satellite Control Facility);

Transferul de date la și de la sateliți este realizat prin intermediul unei rețele GUS (GALILEO Uplink Stations).

Stațiile de urmărire Galileo - GSS distribuite pe tot globul verifică calitatea semnalului de navigație emis de către sateliți - SIS. Informațiile de la aceste stații sunt transmise printr-o rețea de comunicație - GCN către cele două stații GCC. Informațiile legate de calitatea semnalului în spațiu (SIS), numite și integritatea informațiilor, este factorul ce diferențiază în mod semnificativ sistemul Galileo de alte sisteme GNSS. Integritatea informațiilor va fi transmisă global împreună cu semnalul de navigație și aceasta permite sistemului Galileo să fie un sistem de încredere pentru aplicațiile ce privesc siguranța vieții (Safety-of-Life applications).

❖ Componenta regională

Designul sistemului Galileo este astfel realizat încât să permită obținerea datelor suplimentare prin intermediul unui furnizor regional de servicii folosind legături de integritate autorizate prevăzute de sistem. Din această cauză este posibilă „personalizarea” integrității în cazul în care există un acord de parteneriat cu statele importante. Costul acestor componente vor fi suportate de regiunea care solicită acest serviciu.

Această componentă regională este alcătuită dintr-o rețea suplimentară de stații de urmărire a integrității semnalului și a unui centru de procesare pentru a putea asigura acest serviciu.

❖ Componenta locală

Sistemul Galileo va oferi un nivel înalt de performanță pentru utilizatorii din întreaga lume chiar și în locurile unde nu există o infrastructură la sol. Totuși, în cazul unor aplicații specifice și în anumite zone, este necesar un nivel mai ridicat al performanței de poziționare sau sunt necesare alte funcții de integrare. Pentru comunicațiile locale, de exemplu, serviciul de bază ar crește în valoare prin adăugarea serviciilor amintite înainte.

Pe această cale, pornind de la un concept generic, va fi posibilă adaptarea elementelor locale pentru necesități specifice cum ar fi: aeroporturi, porturi, căi ferate, căi rutiere, zone urbane, etc. Mai mult, fiecare aplicație va avea nevoie de pregătiri pentru cazuri speciale cum ar fi: tunele rutiere, clădiri, complexe subterane de parcare, etc. Faza de definire a sistemului dă posibilitatea formării unei opinii preliminare în legătură cu componenta locală și aceasta va fi elaborată în continuare în cadrul fazei de dezvoltare și de validare a sistemului. În mod obișnuit elementul local trebuie să asigure transmiterea progresivă a semnalului, inclusiv monitorizarea integrității și procesarea și transmiterea datelor.

Datele pot fi transmise la receptorul utilizatorului fie printr-o legătură specială fie prin sisteme externe sistemului Galileo cum ar fi: rețelele de telefonie mobilă, sistemul de navigație maritimă LORAN, etc. În ultimă instanță, informații detaliate asupra poziției exacte a utilizatorului vor putea fi accesibile operatorilor. Prin transmiterea mesajelor de la Terminal la Centrul de Servicii este posibilă conferirea unei valori suplimentare serviciului de bază, de exemplu prin poziționarea exactă a căderilor de semnal.

Pentru anumite modalități de transport, cum ar fi aviația, existența unei componente locale oferind un serviciu pentru aterizări și decolări adaptată la condițiile meteorologice predominante în Europa va juca un rol important în explicarea existenței unor asemenea structuri cât și pentru a face navigația prin sateliți mai atractivă din punct de vedere economic. Din această cauză s-a hotărât să promoveze necesitatea studiilor tehnice și economice și, în cazul în care această idee se dovedește fiabilă, să faciliteze organizarea serviciului local prin structuri puse în practică.

❖ Receptori și terminale ai utilizatorilor

Receptorii vor reprezenta veriga crucială în lanțul sistemului Galileo și vor trebui să satisfacă cerințele pieței, cum ar fi:

- Performanțe și costuri competitive cu cele ale sistemelor existente;
- Trebuie să fie construit adecvat pentru necesitățile utilizatorilor (pentru publicul larg și pentru profesioniști);
- Posibilitatea de a fi realizate schimbări și de integrare a noi servicii (de exemplu cu comunicațiile);
- Posibilitatea utilizării mai multor sisteme de poziționare prin sateliți.

Marea majoritate a receptorilor Galileo vor avea ca dotare servicii de radionavigație prin sateliți combinate sau nu cu alte funcții. În plus posibilitățile tehnice vor duce la un nivel ridicat de integrabilitate a diverselor funcții adică vor exista microchip-uri standard realizate pentru anumite funcții.

Provocarea pe care o ridică piața pentru receptoarele Galileo reprezintă un factor major prin care putem determina dacă industria Europeană a reușit sau nu lansarea în acest domeniu.

3.3. Semnalele sistemului Galileo

Sistemul Galileo va asigura 10 semnale de navigație polarizate conform regulii mâinii drepte în domeniul 1164 – 1215 HMz (E5a și E5b), 1260 – 1300 MHz (E6) și 1559 – 1592 (E2 – L1 – E1), care fac parte din alocarea dată de RNSS (Radio Navigation Satellite Service).

Șase semnale, incluzând trei canale fără date sau mesaje de navigație adică pentru care codul nu a fost modulat cu date, sunt accesibile tuturor utilizatorilor sistemului Galileo pe frecvențele purtătoare E5a, E5b și E2-L1-E1 pentru semnalele OS (Open system) și SoL (Safety-of-life Services). Două semnale pe E6 cu coduri criptate, incluzând un canal fără date, vor fi accesibile doar pentru anumiți utilizatori care și-au câștigat acest drept de la un distribuitor de servicii comerciale CS (Commercial Service). În final, două semnale (unul în banda E6 și unul în E2-L1-E1) cu coduri criptate și date va fi accesibil utilizatorilor autorizați de către PRS (Public Regulated Service).

Semnalele Galileo transportă patru tipuri de date diferite:

- Date OS, care sunt transmise pe frecvențele purtătoare E5a, E5b și E2-L1-E1. Datele OS sunt accesibile tuturor utilizatorilor și includ în principal date de navigație.
- Date CS transmise pe frecvențele E5b, E6 și E2-L1-E1. Toate datele CS sunt criptate și sunt asigurate prin furnizori de servicii ce lucrează cu Centrul de control al sistemului Galileo. Accesul la aceste date comerciale este asigurat direct de furnizorii de servicii.
- Date SoL ce includ în principal date legate de integritate și de precizie a semnalului în spațiu - SISA. Accesul la aceste date e posibil să fie controlat, totuși nu e prevăzut pentru perioada următoare.
- Datele PRS, sunt transmise pe frecvențele purtătoare E6 și L1.

3.3. Considerente asupra sistemelor GPS și Galileo

Acum aproximativ 28 de ani, pe 22 februarie 1978, primul satelit prototip NAVSTAR a fost lansat pe orbită – a fost începutul unei impresionante dezvoltări. Chiar și cei cu imaginație extrem de bogată nu au putut să prevadă impactul real al sistemului GPS asupra unui număr atât de mare de domenii profesionale și în particular asupra geodeziei și măsurătorilor terestre. Azi suntem martorii răsăritului unui alt sistem satelitar puternic, Galileo, cu capacități similare și cu aplicații similare.

Sistemul Galileo aduce cu sine diverse beneficii dar adevăratul beneficiu adus constă în principal în dublarea numărului de sateliți având o geometrie diferită.

În timpul ultimei decade sistemul GPS a ajuns la maxima lui dezvoltare și a revoluționat munca utilizatorilor ce folosesc poziționarea de înaltă precizie cum sunt geodezii, navigatorii și

cei ce se ocupă de știința Pământului. Majoritatea acestor profesioniști s-au obișnuit să utilizeze și să exploateze la maxim sistemul GPS și beneficiile sale.

Doi ani de acum înainte va apare brusc Galileo. Vor utiliza acești specialiști în continuare doar sistemul GPS? Vor trece toți pe Galileo sau doar cei din Europa și Africa? Vor alege sistemul pe baze proprii sau sistemele GPS și Galileo vor trăi fericite împreună și vor fi folosite integral?

Cu NTSC, PAL și alte sisteme pentru televiziune , cu sistemul metric și cel englez pentru distanțe, numai pentru a numi câteva, putem spune că oamenii nu așteaptă după încă un standard dublu sau multiplu. Pentru ca ambele sisteme să devină standard, sistemele GPS și Galileo trebuie să fie interoperabile.

Prin termenul de interoperabilitate se înțelege sub aspect propriu, încercarea de a utiliza toate informațiile utile ale sistemelor GNSS într-un mod optim cu scopul de a obține cel mai bun și cel mai de încredere rezultat. Acest aspect are o importanță particulară în geodezie și măsurători terestre deoarece cele mai multe rețele geodezice se bazează sau urmează să se bazeze pe stații de referință GPS în locul punctelor din rețeaua clasică de sprijin.

Cum va fi viața utilizatorilor după ce Galileo va intra în scenă? Bazându-ne pe specificațiile curente este de așteptat ca sistemul de referință să nu ridice o problemă de interoperabilitate pentru nici unul dintre sisteme. Mica diferență dintre WGS'84 (World Geodetic System 1984) și sistemul de referință terestru al lui Galileo (GTRF) nu va afecta diferența de coordonate folosite de utilizatori cu condiția ca bazele să nu aibă o lungime de mii de km. Sub aspectul timpului, o incertitudine în ce privește diferența dintre timpul GPS și timpul Galileo (GST - Galileo system time) nu îi va influența negativ pe utilizatori cu condiția ca pentru o soluție integrală, toate măsurătorile la receptor să fie luate simultan. Pentru utilizatori modelul diferențial va rezolva problema erorilor orologiilor ale aparatelor implicate sau se va recurge la eliminarea lor prin diferențe convenabile.

Compatibilitatea și independența sistemelor GPS și Galileo este unul dintre scopurile conducătoare ale eforturilor depuse de STF (Galileo Signal Task Force). Politica Comunității Europene este următoarea: Galileo trebuie să fie un sistem deschis , global, compatibil în întregime cu sistemul GPS dar independent de acesta.

Independența înseamnă prevenirea și reducerea vulnerabilității față de căderea simultană a celor două sisteme GPS și Galileo. Aceasta poate fi realizată în parte prin menținerea separată a segmentului spațial și a infrastructurii terestre și în parte prin implementarea unui design distinct pentru semnale și frecvențe separate.

Pentru a discuta termenul de „compatibil în întregime cu sistemul GPS” mai detaliat, trebuie luați în considerare utilizatorii obișnuiți ai sistemelor GNSS (Global Navigation Satellite System). Pentru munca lor acești utilizatori vor să fie poată urmării cât mai mulți sateliți posibil pentru a putea mări performanțele de poziționare și să aibă redundanță la disponibilitatea, integritatea și continuitatea semnalului. Cel mai bun mod de a obține acest lucru este utilizarea modului "all-in-view" , receptori combinați Galileo/GPS care pot fi realizați ieftin doar dacă designul este cât mai simplu posibil.

Acest scop poate fi atins dacă semnalele GPS și Galileo folosesc același centru de frecvențe deoarece utilizarea frecvențelor multiple de către receptorii GNSS va necesita câteva elemente suplimentare (elemente ale antenei, circuite de integrare RF și amplificatoare cu zgomot scăzut) și modalități mai complexe de procesare a semnalelor.

În concluzie, așa cum a mai fost menționat, Uniunea Europeană impune prin designul și dezvoltarea sistemului Galileo o structură de semnal interoperabilă și compatibilă cu componenta civilă a sistemului GPS și cu viitoarea dezvoltare a acestuia. În acest context, compatibilitatea dintre sistemele Galileo și GPS înseamnă de fapt că noul sistem nu degradează capacitatea sistemului deja existent de a funcționa de sine stătător. Interoperabilitatea se referă la capacitatea de combinare a celor două sisteme GNSS pentru a îmbunătăți acuratețea, integritatea, disponibilitatea și încrederea folosind un singur receptor (figurile 5.4 și 5.5).

Se poate doar presupune ce se va întâmpla pe viitor. Totuși realizarea unui sistem de navigație prin sateliți aflat sub control exclusiv civil este deja o realizare. Mai mulți sateliți și posibilitatea de a-i utiliza pe toți este de asemenea o performanță. În viitor se va decide dacă sistemul Galileo reprezintă o reală concurență pentru sistemul GPS, dacă cele două sisteme vor fi interoperabile sau nu și care dintre ele va fi mai utilizat.

**TEHNOLOGII GEODEZICE SPAȚIALE
CURS NR.6**

3.3. CONCEPTUL STAȚIEI DE REFERINȚĂ GNSS

În ultimii ani, pentru măsurătorile topo-geodezice, controlul utilajelor și poziționarea precisă cât și pentru urmărirea comportării în timp a structurilor sunt folosite din ce în ce mai mult stațiile permanente de referință GNSS.

O stație permanentă GNSS îndeplinește în principal următoarele funcții:

- detectarea și urmărirea automată a sateliților;
- înregistrarea, stocarea și analiza calitativă automată a datelor;
- comunicațiile cu alte stații permanente și cu beneficiarii serviciilor.



Figura 3.3.1 Antenă și receptor GNSS

Receptorii GNSS utilizați pentru a deservi stațiile de referință trebuie în mod obligatoriu să poată asigura toate tipurile de măsurători L1, L2, cod și fază, să poată genera toate felurile de semnale necesare RTK, DGPS, NMEA în formatele uzuale cunoscute RTCM, CMR, CMR+ și să poată înregistra continuu datele cu rate (epoci) de până la 5 Hz.

De asemenea, receptorii trebuie să permită înregistrarea simultană a datelor în două fișiere diferite cu rate diferite. Receptorii trebuie să fie prevăzuți cu un număr suficient de porturi pentru: conectarea la PC-ul care asigură rularea programului stației de referință, transmiterea fluxului de date brute, atașarea echipamentului de comunicații pentru transmisiile RTK și DGPS, conectarea la sursa de alimentare și la sursa de rezervă, conectarea dispozitivelor suplimentare cum ar fi senzori meteo sau senzori de mișcare. Receptorii de simplă frecvență nu sunt recomandați pentru ridicările topografice însă pot satisface cerințele navigației și GIS-ului.

Cele două frecvențe servesc la minimalizarea influențelor erorilor relateate perturbărilor ionosferei. Receptorii de dublă frecvență colectează măsurătorile de fază de pe ambele frecvențe în completarea măsurătorilor de cod. Receptorii sunt proiectați să suporte semnalele viitoare GNSS ca și GPS L5 și Galileo.

Receptorul stației de referință transmite măsurătorile de fază și de cod, rover-ului. Roverul folosește aceste măsurători de la referință pentru a-și calcula poziția sa de navigație față de poziția receptorului stației de referință. Cu faza de dublă frecvență și măsurătorile de cod obținute de la cel puțin 5 sateliți, un rover RTK își va calcula poziția sa RTK (fază diferențială) cu o precizie de la 1 la 5 cm. Receptorul calculează cel puțin două poziții RTK

independente înainte de a fi disponibilă, pentru prima dată poziția de navigație. Acest proces continuu asigură cea mai mare încredere posibilă de 99.99% pentru rever-e RTK situate între 30 km și 50 km de o stație de referință. Receptorul are nevoie doar de câteva secunde pentru a calcula o poziție RTK. Precizia orizontală este 10mm + 1ppm iar cea verticală este 20mm + 1ppm.

Receptorii pot îndeplini mai multe operații simultan. Ei pot transmite simultan două formate diferite pe două frecvențe diferite sau folosind două căi diferite (radio și telefon). Fișierele de date brute pot fi descărcate în timp ce receptorul continuă să înregistreze date RTK și DGPS. Stațiile de referință furnizează date de calitate 24 ore pe zi, 365 zile pe an. Ei sunt proiectați să fie rezistenți, izolați și să nu necesite îngrijire. Receptorii stațiilor au o carcasă puternică de magneziu și sunt proiectați să reziste celei mai aspre utilizări și în cel mai sever mediu. Acești receptori operează între temperaturi extreme, sunt pe deplin impermeabili la ploaie, nisip și praf.

Comunicațiile unei stații permanente sunt deosebit de importante. Ele au ca scop transmiterea datelor (informațiilor) spre exterior, cât și recepția unor date și informații. De regulă, comunicarea se realizează bidirecțional. Un indicator al calității transmisiei este viteza de transfer, care este bine să fie cât mai mare (peste 9600 bauds) pentru a asigura un transfer rapid al datelor spre posibii beneficiari. Legăturile de comunicație folosite în general sunt cele telefonice (clasice, speciale sau GSM), radio, rețele de calculatoare (LAN, WAN) sau comunicații satelitare (Inmarsat, Iridium). Cele mai utilizate tipuri de comunicație în cadrul stațiilor GNSS permanente sunt cele Internet (servicii FTP), precum și cele telefonice (GSM, GPRS, ISDN), dar și radio (modemuri de diverse tipuri, în special pentru aplicații locale în timp real). Cantitatea de date transmisă/recepționată depinde o serie de factori, cum ar fi: tipul de date transmise (observații primare, arhivate sau nearhivate; date meteo; corecții diferențiale), intervalul de înregistrare (1s, 5s, 15s, 30s), numărul de sateliți urmăriți la un moment dat. În cazul stației permanente de referință GNSS și în mod diferențial (DGPS) există în plus necesitatea de a se transmite anumiți parametri actuali de stare (corecțiile diferențiale) în mod on-line, aproape în timp real, lucru ce reclamă o fiabilitate ridicată a sistemului de comunicație. Pe lângă observațiile satelitare primare furnizate de stațiile permanente de referință GNSS, acestea mai furnizează și alte date utile: observații meteo (presiune, temperatură, umiditate) cu un grad ridicat de precizie. Datele meteo pot fi valorificate, atât direct de către servicii specializate, dar și indirect prin obținerea unor produse derivate prin integrarea lor cu datele satelitare.

Determinarea poziției vehiculelor și altor obiecte în mișcare, reprezentarea traiectoriei lor pe o hartă digitală în timp real, la un nivel de precizie decimetric și centimetric, de asemenea, vor fi posibile.

Este necesar să existe un sistem de comunicație stabil, eficient și sigur atât pentru a asigura controlul și monitorizarea stației permanente de referință GNSS cât și pentru transmisiile de date. La alegerea sistemului de comunicație se va ține seama de următorii factori:

- scopul pentru care va fi utilizată stația permanentă de referință GNSS sau rețeaua de stații;
- tehnologiile de comunicație disponibile pe plan local și siguranța lor în exploatare ;
- costurile pentru funcționarea sistemului de comunicație folosit;
- costurile pentru service și întreținerea sistemului de comunicație folosit.

Când se decide modul cel mai potrivit pentru transmiterea datelor RTK și DGPS către receptoarele RTK și GIS se vor avea în vedere următoarele:

- numărul de receptoare RTK și/sau GIS pe care le poate suporta stația sau rețeaua;
- distanța la care este necesar să fie folosite receptoarele RTK;
- echipamentul de comunicație necesar receptoarelor RTK;
- costul pentru echipament și pentru menținerea lui în funcțiune.

Receptoarele GNSS, din componența stațiilor permanente de referință, funcționează continuu. Datele brute sunt stocate în interiorul receptoarelor în fișiere cu o lungime

predefinită. Programul asigură controlul receptoarelor și descărcarea automată a datelor la intervale de timp prestabilite. Receptoarele, de asemenea, trimit fluxuri de date brute direct către server fără a le mai stoca în memoria internă. Odată ajunse în server datele brute sunt controlate, validate, comprimate și convertite în formate RINEX sau MRINEX. Datele brute și fișierele RINEX sunt apoi trimise către un server FTP de unde pot fi accesate de utilizatori. Programul monitorizează setările receptorului GNSS, calitatea datelor, legăturile pentru comunicație, funcționarea întregii rețele și după caz, generează mesaje de atenționare și/sau rapoarte. Administratorul sistemului deține controlul total asupra receptoarelor și a întregii rețele.

Dacă sunt disponibile linii telefonice standard (fixe) se pot utiliza modem-uri telefonice pentru realizarea conectării receptoarelor la server. Programul care rulează pe server va apela receptorul și va putea descărca fișierele stocate în mod automat la intervale de timp prestabilite. În cazul stațiilor singulare sau al rețelelor mici un modem telefonic instalat la server este suficient. Modem-urile telefoanelor mobile (GSM, CDMA, TDMA, GPRS) pot fi utilizate acolo unde lipsește telefonia clasică. Telefoanelor trebuie să li se asigure alimentarea în mod continuu și trebuie să fie menținute în stand-by. Costurile în acest caz sunt mai ridicate decât în cazul telefoniei clasice. În cazul în care fluxul de date brute trebuie trimis în mod continuu de la receptor spre server este necesară o legătură de comunicare deschisă permanent. Se poate folosi atât telefonia clasică cât și telefonia mobilă însă costurile vor fi deosebit de ridicate. În acest caz cea mai convenabilă legătură o reprezintă conexiunea de Internet.

O cale de a transmite corecții RTK sau DGPS direct din receptorul stației permanente de referință GNSS o reprezintă utilizarea unui radiomodem. Dacă două asemenea dispozitive sunt atașate unui receptor acestea pot transmite pe frecvențe diferite (utilizând canale diferite). Receptoarele RTK și GIS trebuie să fie echipate cu radiomodem-uri compatibile. Avantajul în acest caz este numărul nelimitat de receptoare care pot primi date. O altă soluție comună o reprezintă atașarea unui modem telefonic, fix sau mobil, la receptorul stației permanente de referință GNSS și de modem-uri mobile compatibile la receptoarele RTK și GIS. De la receptorul mobil se apelează stația permanentă de referință GNSS și se obțin corecțiile RTK sau DGPS. Acest tip de conexiune mărește considerabil raza de acțiune a unui receptor RTK sau GIS dar ridică și costurile determinării punctelor cu valoarea apelurilor telefonice. Pentru a permite conectarea în același timp a mai multor receptoare RTK sau GIS (5, 10) la stația permanentă de referință GNSS trebuie atașat un router sau o centrală telefonică. Transmiterea corecțiilor poate fi făcută simultan atât prin radiomodem cât și prin telefon.

În cazul unor rețele extinse este posibil ca transmiterea corecțiilor diferențiale pentru RTK sau DGPS să fie făcută centralizat de la un centru de control. Astfel receptorul (rover-ul) RTK apelează centrul de control și își identifică poziția aproximativă transmițând coordonate în format NMEA. Programul care rulează pe server-ul de la centrul de control decide care stație permanentă de referință GNSS din rețea este mai aproape de receptor și transmite datele RTK / DGPS de la această stație către respectivul receptor (rover).

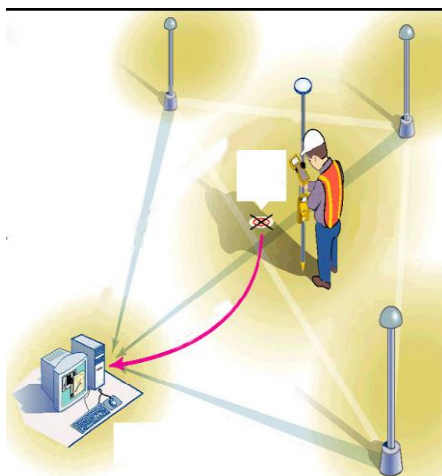


Figura 3.3.2 Transmiterea mesajului NMEA de către rover la serverul rețelei

Pentru fiecare amplasament, softul RTK selectează cea mai apropiată stație de referință, interpolează și aplică corecțiile efemeridelor, troposferei și ionosferei, generând mesaje de corecție RTCM și le transmite roverelor.

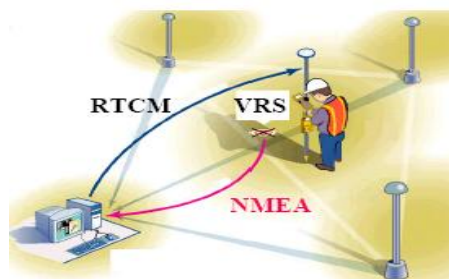


Figura 3.3.3 Transmiterea corecțiilor RTCM de către server-ul rețelei spre rover

Cu aceste mesaje RTCM se îmbunătățește determinarea unui punct. Eroarea orizontală așteptată este de 1-3 cm folosind distanțe de aproximativ 50km între stația de referință și rover. Amplasarea unei stații permanente de referință GNSS se face ținând cont în primul rând de scopul pentru care va fi utilizată. În acest sens se va ține seama de mai mulți factori:

- mărimea suprafeței care trebuie acoperită;
- zonele cu densitate mare de populație și structuri industriale;
- zonele nepopulate sau subdezvoltate;
- serviciile pe care trebuie să le furnizeze stația: date RINEX, date RTK și / sau date DGPS;
- numărul de receptoare RTK și GIS care vor utiliza serviciile stației;
- bugetul disponibil.

Limitarea distanței la care poate opera un receptor RTK trebuie avută în vedere la stabilirea distanței dintre stațiile permanente de referință GNSS care compun o rețea. Aceasta distanță poate varia între 30 și 70 km

O stație permanentă de referință GNSS poate transmite date RTK prin radio direct către receptoarele RTK. Stația va fi monitorizată de un program care rulează pe un calculator și care va permite totodată descărcarea și arhivarea datelor înregistrate. Raza de lucru de aproximativ 30 km este de obicei suficientă în acest caz și asigură preciziile cerute. În cazuri speciale se

poate instala și o a doua sau mai multe stații permanente de referință GNSS pentru a putea asigura obținerea de către receptoarele RTK a două poziții independente pentru determinarea anumitor puncte critice. În acest caz un singur calculator (server) poate asigura controlul pentru toate stațiile permanente de referință GNSS.

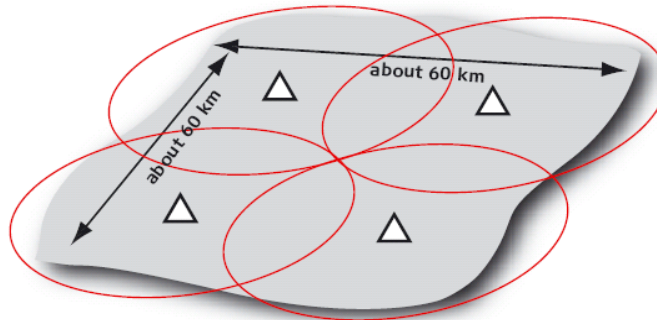


Figura 3.3.4 Raza de acoperire cu servicii GPS

Pentru asigurarea preciziei centimetrice în rețelele geodezice create prin observații satelitare, se folosesc și în prezent stații permanente temporare, prin instalarea unui receptor într-un punct al rețelei și menținerea acestuia fix pe durata mai multor sesiuni de lucru, sau chiar pentru o zi întreaga de observație. Pentru poziționarea relativă cu precizie ridicată, observațiile au fost folosite doar în situația când măsurătorile se desfășurau în apropierea acestor stații, pentru a putea asigura un control asupra erorilor sistematice dependente de lungimea bazei. La proiectarea rețelelor de stații permanente de referință GNSS se are în vedere deservirea unei game cât mai largi de utilizatori, distanța optimă dintre aceste stații considerându-se între 30 și 50 km. Această densitate este considerată în prezent, insuficientă.

Rețeaua de stații permanente de referință GNSS a României este formată în prezent din 38 stații, distanța medie dintre ele fiind de cca. 200 km. Un potențial utilizator al observațiilor de la aceste stații se poate afla în situația cea mai nefavorabilă, la aproximativ 100 km de toate stațiile permanente de referință GNSS care-l înconjoară. Este evident că posesorii de receptoare L1, nu vor solicita observațiile de la aceste stații, neavând posibilitatea de control asupra erorilor dependente de lungimea bazei. Pentru a elimina acest inconvenient, tehnica de poziționare în rețele de stații permanente de densitate redusă a fost orientată spre realizarea de stații virtuale de referință.

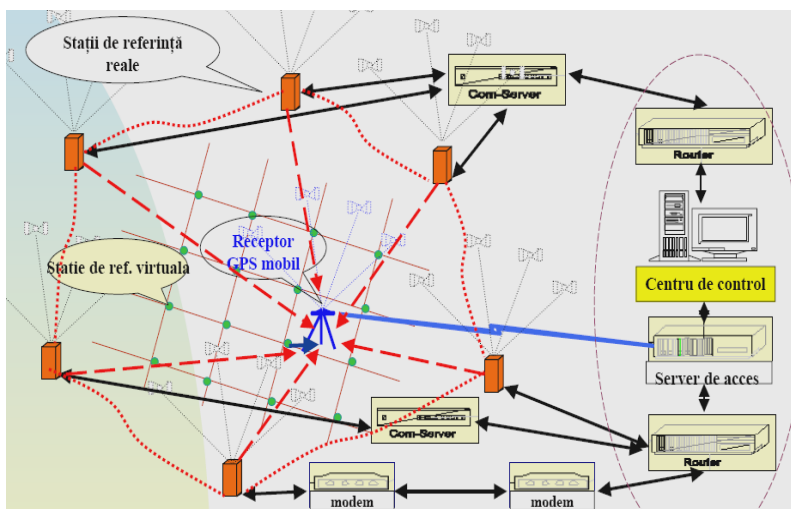


Figura 3.3.5 Conceptul unei stații virtuale de referință

Această soluție reprezintă o modalitate de a utiliza toate informațiile cuprinse în observațiile de la stațiile permanente reale. Observațiile generate prin calcul în stațiile virtuale, au caracteristici mult mai bune față de observațiile reale care ar fi fost efectuate în aceste puncte, întrucât erorile caracteristice stației (multipath, cycle-slip, refracții la marginea obstrucțiilor) nu mai există. Modelul funcțional din programele care generează observațiile în stațiile virtuale folosesc fie ecuațiile liniare pentru o observație de fază fie ecuațiile de dublă diferență.

Pentru generarea de observații în stațiile virtuale sunt necesare coordonatele teoretice ale acestei stații, care se aleg de regulă în centrul zonei de lucru. Datele de la stațiile permanente reale învecinate se centralizează observațiile pe un singur calculator și se prelucrează în comun, estimându-se ambiguitățile pentru fiecare satelit în parte acestea fiind apoi extrase din ecuațiile de observație. Rezultă ecuații care conțin doar corecții ale observațiilor, deci ecuații reduse cu distanța satelit-receptor. Dacă observațiile au fost reduse toate la o singură stație, corecțiile obținute pot fi utilizate pentru a interpola corecții pentru oricare altă stație din rețea.

În cea de-a doua fază, informațiile obținute sunt utilizate pentru generarea de observații corecte pentru stația virtuală. Problema cea mai dificilă o reprezintă aici, modelarea corectă a erorilor de observație. Modelarea se face independent pentru fiecare satelit în parte, folosindu-se plane de corecții, ceea ce corespunde unei interpolări liniare bidimensionale. Dacă sunt folosite trei stații de referință reale, care înconjoară o stație de referință virtuală, ele formează un triunghi, iar suprafața de interpolare este univoc determinată. Suprafețele de corecție sunt descrise de doi parametri, care descriu înclinarea suprafeței de interpolat pe direcțiile Nord și Est. Modelarea influenței refracției ionosferice se face independent de modelarea influenței erorilor orbitale și ale refracției troposferice, astfel încât pentru fiecare suprafață de interpolare se obțin 4 parametri exprimați în ppm. Corecțiile pentru refracția ionosferică se referă doar la semnalul L1.

În condițiile în care toate calculele se realizează centralizat, este suficient ca un utilizator să transmită poziția stației virtuale din zona de lucru, fiindu-i oferite observații pentru stația virtuală în format RINEX, care apoi pot fi prelucrate împreună cu observațiile reale din rețeaua proprie, folosind un program comun de postprocesare a observațiilor satelitare. Marele avantaj al acestei tehnici constă în faptul, că se determină baze scurte, care se pot prelucra chiar și numai pentru receptori cu frecvența L1.

Această tehnică ar reprezenta o soluție și pentru a crea observații în punctele geodezice de ordin superior situate în păduri, unde nu se pot efectua observații reale, în puncte situate în zone foarte greu accesibile, sau puncte care au fost distruse.

Utilizarea observațiilor satelitare pentru poziționarea relativă cu precizie ridicată este justificată doar în situația unui control cât se poate de complet asupra erorilor dependente de lungimea bazelor care se măsoară. Soluțiile bune și sigure, sunt obținute în situația când bazele nu depășesc 10 – 15 km, iar prelucrarea se face doar cu observațiile pe purtătoarea L1. Acest deziderat este realizabil prin utilizarea de stații permanente virtuale, astfel încât bazele măsurate față de această stație să fie de 3-5 km. Avantajele constau în: cheltuieli de comunicare reduse, prelucrarea observațiilor cu efort minim, asigurarea unui control asupra calității datelor și utilizarea fără restricții a programelor de postprocesare.