

Műholdas helymeghatározás 2.

GNSS alaprendszerek

Dr. Busics, György

Műholdas helymeghatározás 2.: GNSS alaprendszerek

Dr. Busics, György

Lektor: Dr. Takács, Bence

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2011

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

Kivonat

A GNSS helymeghatározás alapfeltétele a navigációs műholdak rendszerének és az azokat vezérlő rendszernek a megléte. Eddig két GNSS alaprendszert hoztak létre teljes kiépítettségben – az amerikai GPS-t és az orosz GLONASSZ-t – és további navigációs műholdrendszereket is terveznek. A meglévő és tervezett műholdas helymeghatározó rendszereket és a fejlesztésükre, az ún. modernizációra vonatkozó elképzeléseket tekintjük át ebben a modulban.

Jelen szellemi terméket a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

Tartalom

2. GNSS alaprendszerek	1
1. 2.1 Bevezetés	1
2. 2.2 Az amerikai GPS	1
2.1. 2.2.1 A GPS műholdjai	2
2.2. 2.2.2 A GPS vezérlő rendszere és vonatkoztatási rendszere	4
2.3. 2.2.3 A GPS modernizációja	6
3. 2.3 Az orosz GLONASSZ	6
3.1. 2.3.1 A GLONASSZ holdak	7
3.2. 2.3.2 A GLONASSZ vezérlő rendszere és vonatkoztatási rendszere	9
3.3. 2.3.3 A GLONASSZ modernizációja	10
4. 2.4 Az európai Galileo	10
4.1. 2.4.1 A Galileo tervezett műholdjairól	11
4.2. 2.4.2 A Galileo tervezett vezérlő rendszeréről és szolgáltatásairól	13
4.3. 2.4.3 A Galileo tervezett szolgáltatásai	15
5. 2.5 A kínai Compass	16

A táblázatok listája

2-1. A GPS holdak öt típusa.	2
2-8. ábra. GLONASSZ-M típusú műhold és szerelése (forrás: RussianSpaceWeb.com)2-2. A GLONASSZ holdak négy típusa.	7
2-3. A GPS, a GLONASSZ és a Galileo összehasonlítása.	13

2. fejezet - GNSS alaprendszerek

1. 2.1 Bevezetés

A GNSS helymeghatározás alapfeltétele a navigációs műholdak rendszerének és az azokat vezérlő rendszernek a megléte, amit együttesen GNSS alaprendszernek nevezünk. Teljes kiépítettséget elérő alaprendszert e sorok írásáig csak két nagyhatalom, az Amerikai Egyesült Államok és Oroszország (az egykori Szovjetunió) tudott létrehozni. Az amerikai GPS műholdas navigációs rendszert hivatalosan 1995-ben nyilvánították teljesen kiépítetté s azóta nemcsak működése, hanem fejlesztése is folyamatos. Az orosz GLONASSZ rendszer egyszer már elérte a teljes kiépítettség szintjét (1995-ben), de azt nem sikerült fenntartani; 2011-ben várható, hogy újból 24 GLONASSZ hold jelét lehet észlelni. Mindkét GNSS alaprendszer modernizálására hosszú távú terveket dolgoztak ki.

Két tervezett GNSS rendszerről van tudomásunk. Az Európai Unió által kezdeményezett GNSS alaprendszer, a Galileo jelenleg a kiépítés állapotában van, elkészülte 2014 után várható. Kína is elkezdte egy további navigációs alaprendszer megvalósítását Compass (Beidou) néven. Feltételezhető, hogy a gazdasági erőviszonyok átrendeződése, a gazdasági-technológiai fejlődés, a bekerülési összegek csökkenése vagy egyéb okok következtében más országok, vagy más országcsoportok is létrehozhatnak műholdas navigációs alaprendszereket.

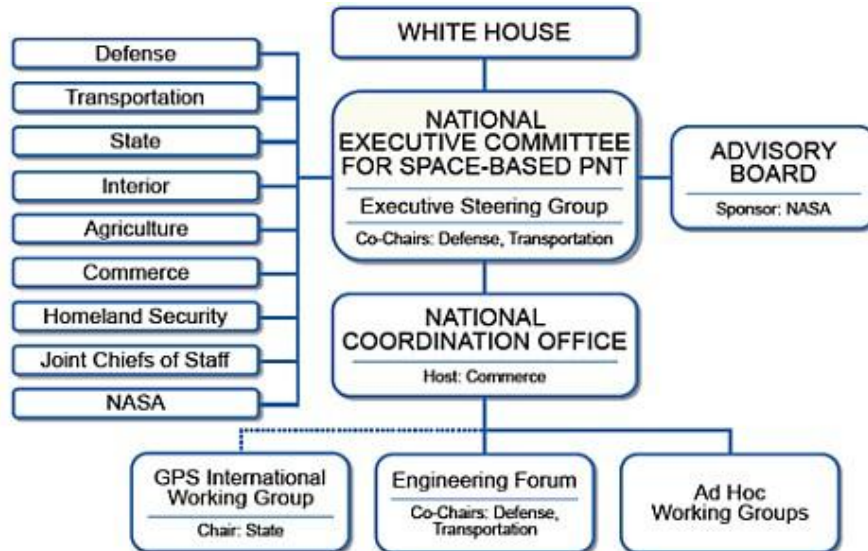
A GNSS rendszerek állapota semmilyen értelemben nem statikus; nemcsak a műhold-konstelláció változik, hanem a fejlesztési tervek és lehetőségek miatt is állandó a változás. Éppen ezért e műholdas rendszereknek csak a múltja lezárt, jövőjük teljes bizonyossággal nem írható le. E tekintetben a napi hírek, hírlevelek, a rendszerek státuszát leíró információk, hírportálok tanulmányozása ajánlott. A világgúrral kapcsolatos legfrissebb hírek magyar nyelven a www.urvilag.hu honlapon olvashatók.

A meglévő és tervezett műholdas helymeghatározó rendszereket és a fejlesztésükre, az ún. modernizációra vonatkozó elképzeléseket tekintjük át ebben a modulban.

2. 2.2 Az amerikai GPS

A GPS (*Global Positioning System*) az Egyesült Államok védelmi minisztériuma (*DoD: Department of Defense*) felügyelete alatt működő amerikai alaprendszert jelöli, amely az egyik legismertebb rövidítés a helymeghatározás és navigáció területén. A rendszer üzemeltetését, fenntartását az amerikai légierő (*USAF: US Air Force*) és az amerikai katonai térképész szolgálat (*NIMA: National Imagery and Mapping Agency*) látja el. Elsődlegesen katonai célokra hozták létre, de polgári célú felhasználása ma sokkal dominánsabb, amit kongresszusi és elnöki jogszabályok is biztosítanak. A GPS-t hivatalosan duális (katonai és polgári) rendszernek tekintik, s ennek a kettős feladatnak való megfelelést a jövőben is fenn kívánják tartani. A műholdas alapú szolgáltatásokat PNT-nek is jelölik a *Positioning, Navigation, Timing* szavak kezdőbetűiből, ami a műholdas helymeghatározás, a műholdas navigáció és a műholdas időmeghatározás összefoglaló neve. Az amerikai PNT szolgáltatásokat a legfelsőbb politikai szinten koordinálják. Az amerikai politika szerint a GPS:

- 1983 óta ingyenes és az is marad a jövőben a közvetlen felhasználóknak
- A GPS duális felhasználású marad (katonai+polgári)
- A GPS jelstruktúra nyitott minden fejlesztő és alkalmazó számára
- Ösztönözni kell a GPS beépülését más civil, kereskedelmi és tudományos alkalmazásokba
- Bátorítani kell a magánszektor beruházásait
- Javítani kell a közlekedés biztonságát és hatékonyságát
- A rendszer fejlesztendő pontosság, integritás, hozzáférés tekintetében



2-1. ábra. Az USA műholdas alapú szolgáltatásait (PNT) felügyelő szervezetek

2.1. 2.2.1 A GPS műholdjai

A GPS műholdas alrendszerének története jól mutatja, hogy az igényeknek és technikai fejlettségnek megfelelően az egyes műholdak kiépítettsége folyamatosan változott és a jövőben is jelentős fejlődés előtt áll.



2-2. ábra. A GPS műholdak legújabb, II-F jelű típusa és szerelése

A műholdas alrendszer azt a célt szolgálja, hogy „a földkerekség bármely pontján, bármely időpontban egyszerre legalább négy műhold legyen mérésre alkalmas helyzetben” (Ádám et al. 2004). Többféle koncepció elvi tesztje után ezt a feltételt a következő műhold-konfigurációval valósították meg: az Egyenlítő síkjával 55 fokos szöget bezáró 6 darab ellipszispályán (félnagy tengelyük 26560 km), pályánként 4 műhold kering, 12 sziderikus óras keringési idővel a Föld felszínétől mintegy 20 200 km-es távolságban. A pályákat az A, B, C, D, E betűkkel jelölik, azon belül pedig sorszámozzák a műhold pozíciókat. Magukat a GPS holdakat egyrészt a felbocsátási sorszámuk (SVN: *Satellite Vehicle Number*), másrészt a hozzájuk rendelt kód sorszámára (PRN: *Pseudo Random Noise*) szerint azonosítják.

2-1. A GPS holdak öt típusa. táblázat -

	Block I	Block II	Block IIA	Block IIR(-M)	GPS IIF
Felbocsátási időszak	1978-1985	1989-1990	1990-1997	1997-2007	2010-

Hordozórakéta	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Lockheed M	Lockheed M	Boeing
Műholdak száma	11	9	19	21 (2010: 12R és 8 M típus)	33 (2010: 1)
Tervezett élettartam	4,5 év	7,3 év	7,5 év	10 év	12 év
Tömeg	845 kg	1660 kg	1816 kg	2032 kg	1630 kg
Atomóra típus	cézium	2 cézium + 2 rubídium	2 cézium + 2 rubídium	3 rubídium (hot backup)	hidrogén mézer
Jelek száma	2	2	2	3	4
Pontosság (SPP)	50 m	100 m	100 m	22 m	6 m
Újdonság	teszt	Selective Availability	autonóm navigáció	M kód, L2c frekv.	L5 frekvencia

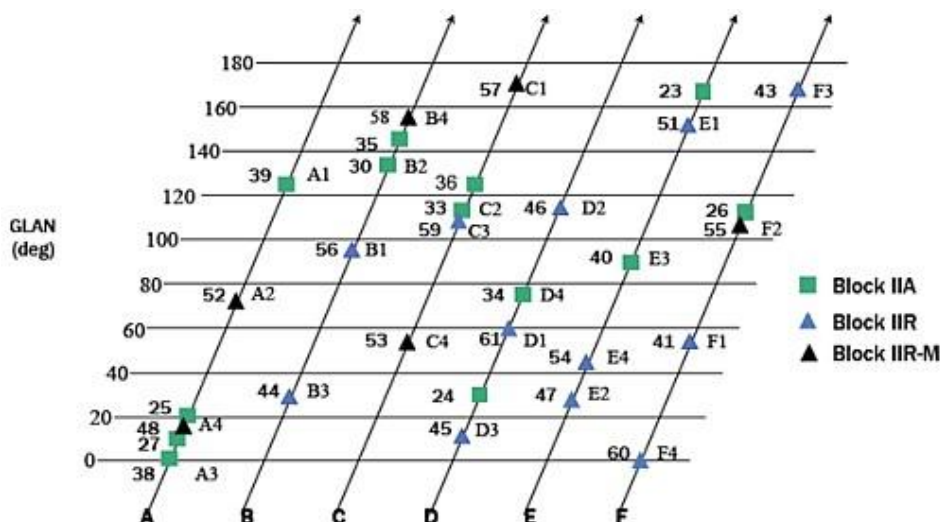
A GPS műholdaknak öt típusát különböztetik meg. Az első Block I. típusú műholdat 1978. február 22-én állították pályára. Csak 1989-ben, a Block II. típusú holdakkal kezdődött el az operatív szakasz. 1993 végére sikerült mind a 24 tervezett műholdat pályára juttatni, ekkor érték el az alapkiépítést (*IOC: Initial Operation Capability*). A GPS rendszert csak 1995-ben nyilvánították hivatalosan teljesen kiépítetté (*FOC: Full Operation Capability*), amikor 24 db Block IIA típusú hold volt pályán. Minden Block I. – Block IIA típusú GPS műhold ugyanazt a két vivőfrekvenciát állítja elő: az L1 jelüt ($f_1=1575,42\text{ MHz}$, $\lambda_1=19,03\text{ cm}$) és az L2 jelüt ($f_2=1227,60\text{ MHz}$, $\lambda_2=24,42\text{ cm}$).

Az L1 jelet a C/A kóddal és a P kóddal, az L2 jelet csak a P kóddal modulálják a futási idő (kódtávolság) meghatározása érdekében. Csak a C/A kód szabad hozzáférésű, a P kód valós időben katonai célokra szolgál. A GPS rendszerben (a Block IIA típusú holdakig bezárólag) háromféle típusú kód lehetséges:

- L1 vivőjelen C/A és P kódmérés (L1 C/A és L1P, röviden C1 és P1),
- L2 vivőjelen P kódmérés, röviden LP2,
- mindkét frekvencián vivőfázis mérés (L1 és L2 fázismérés).

Ez a helyzet lényegesen megváltozik majd, ha megvalósul a GPS rendszer ún. modernizációja. Ez többek között a C/A kód sugárzását jelenti az L2 frekvencián (L2C), új katonai kódot (M jelzéssel) és az eddigi kettő mellett egy harmadik frekvencia (L5) bevezetését.

Az első olyan GPS holdat (BlockII R-M jelzésűt), amely az L2 frekvencián is képes a C/A kódot sugározni valamint az M-kódot is, 2005. szeptember 24-én indították. A "M" betű új titkos katonai kódot jelent (*M: Military*), ami az eredetileg ugyanerre szolgáló titkos P-(Y-) kódnál is nehezebben törhető fel és zavarható. Egy évvel később, 2006. szeptember 25-én került sor Cape Canaveral-ből a második BlockII R-M hold startjára, amely az A jelű pályasík 2. pozícióját foglalta el. Mind a tervezett 8 darab R-M típusú hold 2010-ig pályára került.



2-3. ábra. GPS műhold-konstelláció 2009-ben (6 darab R-M típus)

2010. május 27-én kezdődött a következő generációs új típusú, II-F jelű (*F: Follow on*) GPS-holdak felbocsátása. A 2F jelű műholdsorozat fő jellemzői: javult az atomórák pontossága; a számítógépes rendszerük könnyebben átprogramozható; nő a tervezett élettartam; belép a harmadik frekvencia. A nem katonai felhasználók – kiemelten a polgári légi közlekedés – számára különösen fontos, hogy szolgálatzerűen megjelenik egy új navigációs jel (L5; a 1176,45 MHz frekvencián). Ennek a haszna azonban nem érezhető azonnal, hiszen a helymeghatározáshoz egyszerre több, a horizont fölött látszó műholdról kell a jeleket venni. Így tehát a 2F műhold-generáció további tagjainak folyamatos felbocsátásától várható majd a javulás. Az első 2F típusú műhold a B pályasík 2. pozícióját foglalja el, ahol eddig GPS 2A-27 teljesített szolgálatot. Ezt még 1996 szeptemberében indították, és már túlteljesítette tervezett élettartamát.

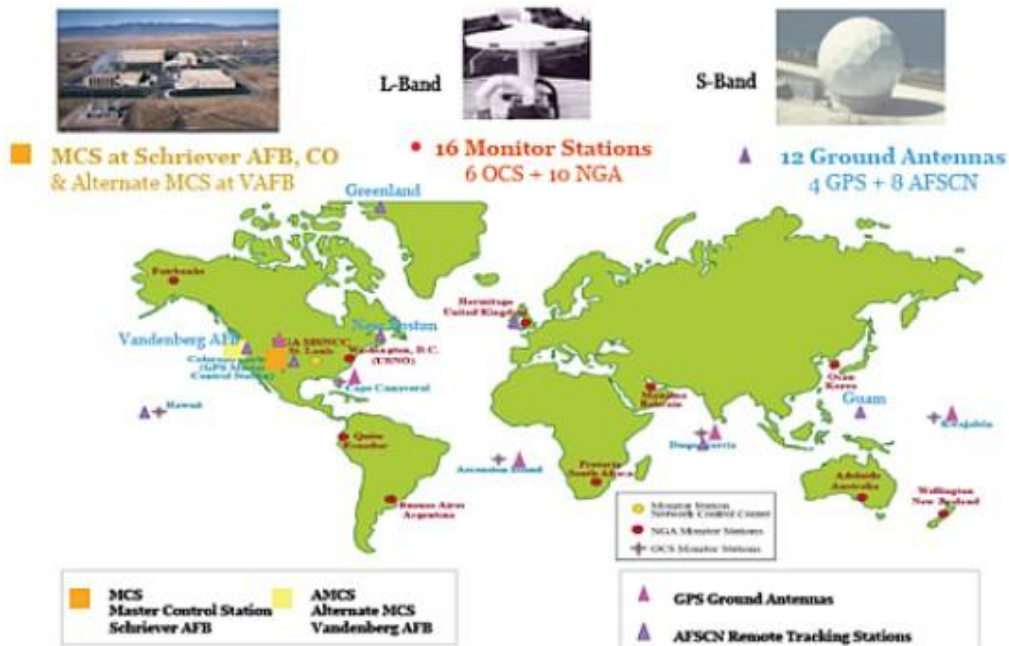
2011 januárjában 11 db Block IIA típusú, 12 db Block IIR típusú, 8 darab Block IIR-M típusú és 1 darab GPS IIF típusú műhold alkotta a műholdas alrendszert, azaz a tervezett 24 helyett 32 GPS hold üzemelt.

2.2. 2.2.2 A GPS vezérlő rendszere és vonatkoztatási rendszere

A GPS földi követőállomásait kezdetben az Egyenlítő közelében, óceáni szigeteken lévő amerikai katonai támaszpontokon (ismert koordinátájú pontokon) telepítették (Hawaii, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension). A GPS-korszak kezdetén négy követőállomás volt, továbbá egy vezérlőközpont (*MCS: Master Control Station*) Colorado Springs-ben, a Schriever légibázison. Később a követőállomások száma bővült.

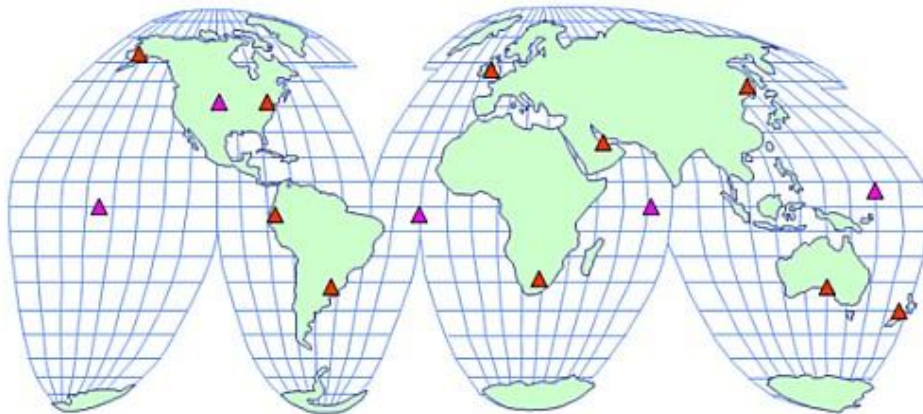
A monitorállomások feladata az egyes műholdak pályadatainak és órakorrekcióinak meghatározása, előrejelzése, valamint ezen adatok és más navigációs adatok feljuttatása a műholdakra. Erre a célra földi antennával ellátott injektáló (adatfeljuttató) állomások szolgálnak, ilyen Hawaii és Schriever kivételével a többi követőállomás.

A vezérlőközpont helyettesítésére (meghibásodás esetén kiváltására) Washington közelében ideiglenes vezérlőközpontot is működtettek, de ezt a funkciót a Vandenberg légibázison épült alternatív vezérlőközpont vette át.



2-4. ábra. A GPS vezérlő alrendszere 2009-ben

A GPS vonatkoztatási rendszere a WGS84 földi vonatkoztatási rendszer (bővebben erről a 6. modulban), szó szerinti fordításban a Geodéziai Világrendszer WGS84 (*WGS84: World Geodetic System*). A WGS84 tehát az amerikai GPS alaprendszer fenntartójának földi vonatkoztatási rendszere, amelyet a GPS követőállomások koordinátái valósítanak meg. A rendszerfenntartó politikai szempontból az Amerikai Nemzetvédelmi Minisztérium (*DoD*), szakmai szempontból a katonai térképész szolgálat (*jelenlegi neve National Geospatial-Intelligence Agency*). A GPS követőállomások koordinátáit kezdetben doppleres mérésekből, a DMA által fenntartott korábbi, WGS72-vel jelölt vonatkoztatási rendszerben határozták meg, majd fokozatos finomítás eredményeként születtek a jelenlegi koordináták. A pálya meghatározásában résztvevő követőállomások száma is változott: kezdetben 5 volt, ami később 15-re bővült.



2-5. A WGS84 (G873) rendszert megvalósító GPS követőállomások

A GPS-időszámítás 1986-os indulásától a GPS rendszer teljes kiépítéséig nem volt lehetőség teljes körű, hosszú időtartamú GPS-mérésekre, így a követőállomások koordinátái sem lehettek kellő pontosságúak. A GPS követőállomások koordinátáit ezért pontosítani kellett, amire eddig háromszor került sor: 1994-ben (a 730. GPS-héten), 1997-ben (a 873. GPS-héten) és 2001-ben (az 1150. GPS-héten). Ez a változás a relatív helymeghatározásra nem volt hatással, az abszolút helymeghatározásban pedig észrevétlen maradt, a pontossági korlátok miatt. Miután ezzel a vonatkoztatási rendszer alaphálózata megváltozott, szabatosan a WGS84(G1), WGS84(G730), WGS84(G873), WGS84(G1150) megnevezést kellene használnunk. A követőállomások koordinátáinak megváltoztatását az is indokolta, hogy minél jobb összhang, azonosság legyen a polgári követőszolgálat ITRS rendszere (bővebben a 7. modulban) és a katonai szolgálat WGS rendszere között. A két rendszer közötti eredetileg 1-2 méteres eltérés jelenleg centiméteresre csökkent, ami a gyakorlati felhasználás szempontjából elhanyagolható. Szigorú értelemben a WGS84 koordináták és az ITRS koordináták azonban nem tekinthetők azonosnak, mert a két rendszer alapirányai nem azonosak, de ez a gyakorlati alkalmazást nem érinti.

A WGS84 nemcsak geometriai értelemben vett földi vonatkoztatási rendszert jelöl, hanem *geodéziai* vonatkoztatási rendszert (földmodellt) is. Így a WGS84 egy vonatkoztatási ellipszoidot, ún. szintellipszoidot is jelent, aminek megadták a normál nehézségi erőterre vonatkozó paramétereit. A WGS84 vonatkoztatási ellipszoid kistengelye és az ITRS koordináta-rendszer Z tengelye egybeesik, a földi pontok helymeghatározó adatai így térbeli derékszögű koordinátákkal és ellipszoidi felületi koordinátákkal egyaránt megadhatók.

2.3. 2.2.3 A GPS modernizációja

A GPS modernizáció összefoglalva a következő változásokat jelenti:

- A C/A kódot az L2 vivőfrekvencián is alkalmazni fogják, ennek jele: L2C. Ezáltal a polgári felhasználók számára egyszerűbben kiküszöbölhető lesz az ionoszféra hatása, a vevők kevésbé lesznek érzékenyek az interferenciára. 24 darab L2C típusú műhold jelenléte (IOC) 2012 körül várható (Hein G et al. 2007).
- Új kódot vezetnek be az L1 és L2 frekvencián tisztán katonai célokra, ez az ún. M (*military*) kód. Az L2C-vel és M kóddal felszerelt első Block IIR-M (*replenishment-modernized-R-M*) típusú holdat 2005 szeptemberében indították.
- Az L1 és L2 frekvenciák mellett egy új, harmadik vivőjelet (frekvenciát) vezetnek be polgári célra, amelynek jele: L5. Erre a Block IIF (*follow on-F*) jelű új típusú GPS holdak lesznek képesek, amelyek közül az első felbocsátására többszöri halasztás után 2010 májusában került sor.

Megkezdődött a 2025 utáni modernizáció tervezési szakasza is. Ennek a modernizációs szakasznak a neve Block III., ami új típusú GPS holdakra utal és valószínűleg egy negyedik civil vivőjel bevezetésével jár. BlockIII. típusú holdakat várhatóan 2016 után fognak csak pályára állítani.

A GPS modernizáció megvalósulása után polgári célra négyféle kódérés lesz lehetséges (L1C/A, L2C, L5I és L5Q jelű), katonai célra ugyancsak négyféle kódérési lehetőség áll majd fenn (L1M, L2M, L1P és L2P).

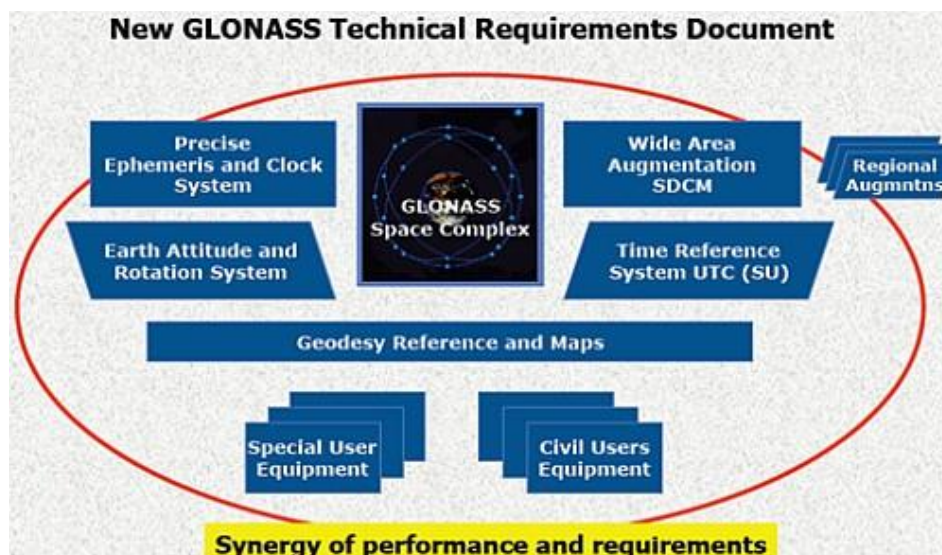
3. 2.3 Az orosz GLONASSZ

Az orosz GNSS alaprendszer kiépítésének célja és megoldása az amerikai GPS-hez hasonló, a rendszer mintegy válasznak tekinthető az amerikai kezdeményezésre, és ahhoz hasonlóan katonai és polgári rendeltetésű (ICD GLO 2002). A GLONASSZ (*Globalnaja Navigacionnaja Szputnyikovaja Sisztjema*) előzménye egy Ciklon nevű rádió navigációs rendszer volt (miképpen a GPS-nek a Transit). A fejlesztések a 70-es években indultak és hasonló időrendben vezettek célhoz, mint a GPS-nél. Az orosz rendszer is katonai felügyelet alatt áll és a legmagasabb szinten valósul meg a politikai elvi irányítása. Abban is hasonlít az amerikaihoz, hogy katonai és polgári (duális) felhasználású és a civil felhasználók számára a hozzáférés korlátozható. Az abszolút helymeghatározás (degradált és anélküli) pontossága is a GPS-hez hasonló.



2-6. ábra. A GLONASSZ logója

A GLONASSZ rendszerben teljes kiépítés esetén az Egyenlítő síkjával 64,8 fokos szöget bezáró három pályán, pályánként 8 műhold kering, 19100 km Föld feletti magasságban. Összességében tehát itt is 24 műhold jelenti a teljes kiépítettséget, amit 1995 decemberére sikerült először elérni. Finanszírozási okokból azonban a teljes kiépítettség állapotát nem tudták fenntartani, így e sorok írásakor (2011 januárjában) ennek az állapotnak az elérése még cél. A 24 holdból 21 aktív és 3 tartalék.

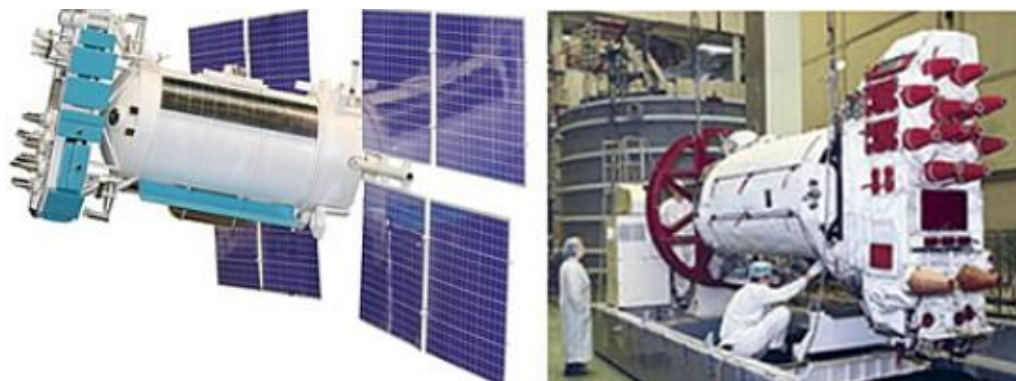


2-7. ábra. Az orosz PNT szolgáltatások szerkezete

3.1. 2.3.1 A GLONASSZ holdak

A GLONASSZ holdaknak, a GPS-holdakhoz hasonlóan, több generációját különböztetik meg. Az első és második generációs GLONASSZ holdak neve Hurrikán volt (oroszul: Uragan) amit a felbocsátási vagy tesztelési sorszám követett, de Koszmosz *nnnn* azonosítóval is rendelkeztek a holdak.

A GLONASSZ holdak a három, egymással 120 fokra elhelyezkedő pályán belül is szimmetrikusan, 45 fokként helyezkednek el, a helyük (pozíciójuk) kötött (*slot*). Azonosításuk sorszámmal történik: az I-es pályán 1-től 8-ig, a II-es pályán 9-től 16-ig, a III-as pályán 17-től 24-ig vannak a pozíciók kiosztva.



2-8. ábra. GLONASSZ-M típusú műhold és szerelése (forrás: RussianSpaceWeb.com)2-2. A GLONASSZ holdak négy típusa. táblázat -

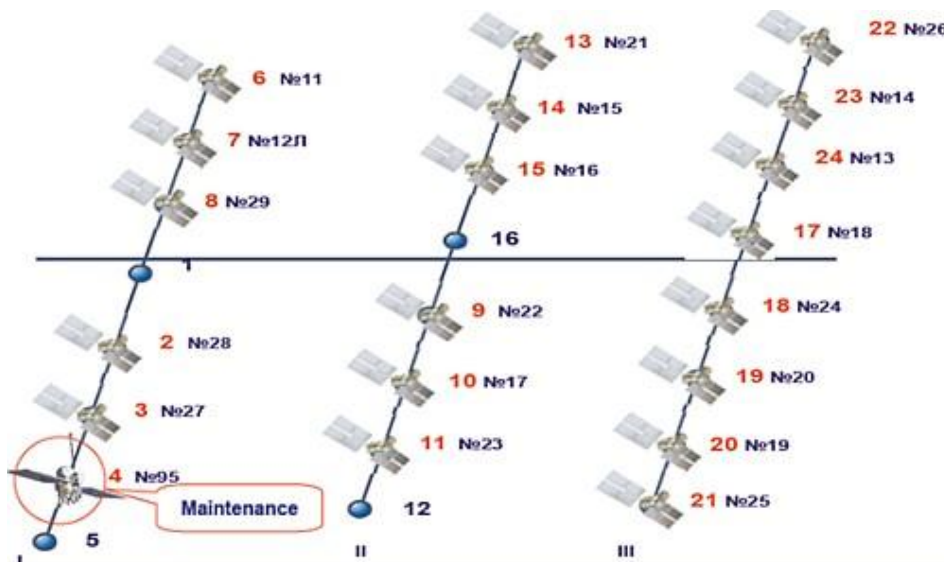
	GLONASSZ	GLONASSZ -M	GLONASSZ -K1	GLONASSZ -K2
Felbocsátási időszaka	1982-2007	2003-tól	2010-től	2013-tól
Hold/hordozórakéta	3	3	6	6
Összes indított műhold	81 db	26 db	3 (sikertelen)	-
Tervezett élettartam	3 év	7 év	10 év	10 év

Tömeg	1250 kg	1450 kg	995 kg	995 kg
Műholdóra stabilitás	$5 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14}$
Vivőjelek száma	1	2	3	3
Vivőjelek	L1SF, L2SF, L1OF	L1SF, L2SF, L1OF, L2OF	L1SF, L2SF, L1OF, L2OF, L3OC	L1SF, L2SF, L1OF, L2OF, L1OC, L3OC, L1SC, L2SC
Pontosság (SPP)	60 m	30 m	5-8 m	5-8 m
Újdonság	teszt	lézer-reflektor	kereső-mentő szolgáltatás	SBAS

Az első műholdak startjára 1982. október 12-én került sor, Proton hordozórakétával, amely egyszerre 3 holdat képes pályára juttatni. Az első kísérleti holdak élettartama viszonylag rövid volt, átlagosan 22 hónap. Később, 1988 és 2000 között az újabb típust 3 éves élettartamra tervezték, de ennél tovább szolgáltak, a leghosszabb 68 hónapig.

A következő generációs GLONASSZ-M (Uragan-M) jelű műholdakat is Proton-K hordozórakétával, hármasával juttatták Föld körüli pályára, 2007-ig összesen 14-et. A műholdak számát tekintve a következő adatok jellemzők a múltira: 2002 decemberében 7 GLONASSZ hold működött; 2006-ban 12, 2007-ben 8, 2009 végén 18. 2010-ben három indítást terveztek, ebből kettő volt sikeres. 2010. március 2-án a III-as pálya 22., 23., 24. számú holdja, 2010. szeptember 2-án a II-es pálya 9., 12., 16. számú holdja került pályára.

2010. december 5-én Proton-M rakétával újabb 3 GLONASSZ műholdat bocsátottak fel, de mielőtt elérték volna a pályájukat, a rakéta-végfokozat hibás működése miatt a rakéta felrobbant és a Csendes-óceánban landoltak. Ezek lettek volna az első GLONASSZ-K1 típusú holdak. A GLONASSZ-K típusú holdak újdonsága a következő tulajdonságokkal jellemezhető: előállításuk olcsóbb, kisebb tömegűek, ezekről lesz először lehetőség a civil L3 frekvencia vételére, alkalmasak lesznek kereső-mentő szolgáltatásra.



2-9. ábra. GLONASSZ-konstelláció 2009 májusában

A GLONASSZ-K2 típusú holdak pályára állítását jelenlegi ismereteink szerint 2013-tól tervezik. Az eddigi két frekvencián kívül harmadik frekvencián is sugároznak, de úgy osztják meg, hogy két jel katonai, egy pedig civil célokat szolgál.

2011. január elején a GLONASSZ konstelláció számadatokban így néz ki: összesen 26 műhold van az űrben, de ezek közül karbantartás miatt 4 nem üzemel.

A GLONASSZ holdak mindegyike ugyanazt a kódot közvetíti, de más-más frekvencián. A frekvenciák kiosztása meghatározott képlet szerint történik. A L1 középponti frekvenciája 1602 MHz, az L2-é 1246 MHz. Az egyes csatornák frekvenciáinak kiosztása adott képlet szerint történik ($n=-7,-6,-5,\dots,0,\dots,6$, korábban $n=-7,\dots,0,\dots,13$), a frekvenciamegosztás FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) technikát használva. A GPS ezzel szemben a kódmeosztás (CDMA: *Code Division Multiple Access*) elve szerint működik.

L1 (FDMA): $1602 \text{ MHz} + n \times 0,5625 \text{ MHz}$

L1 (CDMA): 1575,42 MHz

L2 (FDMA): $1246 \text{ MHz} + n \times 0,4375 \text{ MHz}$

L2 (CDMA): 1242 MHz

L3 (CDMA): 1202,025 MHz

L5 (CDMA): 1176,45 MHz

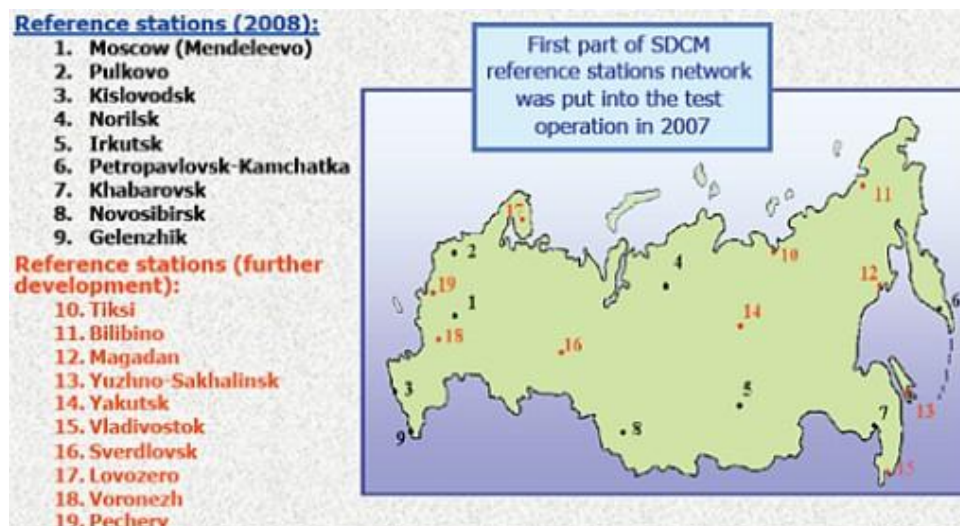
A 2-2. táblázatban az O jelenti a nyílt elérésű jelet (*O: Open Access*), míg az S a katonai célú speciális jelet (*S: Special*). Az F betű az FDMA, a C betű a CDMA rövidítésből adódik.

A GLONASSZ harmadik frekvenciáját egyelőre tesztelési céllal alkalmazzák civil használatra, de a jelstruktúra tervezése még nem ért véget. Az újabb jelstruktúrát összehangolták a GPS és a Galileo jeleivel, így a felhasználók több alarendszer jeleit tudják venni (L1C, L5).

Megjegyzendő, hogy azonos frekvencia is hozzárendelhető két műholdhoz – amennyiben azok nem észlelhetők egyidőben ugyanazon helyről.

3.2. 2.3.2 A GLONASSZ vezérlő rendszere és vonatkoztatási rendszere

Az orosz vezérlő alrendszer 2008-ban 9 földi követőállomásból állt, ezek mind Oroszország területén helyezkednek el (Moszkva, Szentpétervár (Pulkovo), Kiszlovodszk, Norilszk, Irkutszk, Petropavloszk-Kamcsatszkij, Habarovszk, Novoszibirszk, Gelencsik).



2-10. ábra. A GLONASSZ jelenlegi és tervezett követőállomásai

Az Antarktiszon, a Bellingshausen nevű kutatóállomáson is létesült GLONASSZ követőállomás. A vezérlőközpont a Moszkva közelében lévő Golucino 2-ben van. A vezérlő rendszer angol rövidítése: SDCM (*System for Differential Correction and Monitoring*).

A GLONASSZ rendszer rendszer-ideje nem a GPS idő, hanem UTC idő a moszkvai időzóna szerint. A GLONASSZ holdak cézium atomórával rendelkeznek, pontosságuk naponta 1 nanoszekundum.

A vonatkoztatási rendszer is különbözik a GPS-étől, jele: PZ-90 (*Parametri Zemli*). A PZ-90 nemcsak földi térbeli vonatkoztatási rendszer, hanem geodéziai vonatkoztatási rendszer is, azaz földmodell (normál nehézségi erőter és normálellipszoid).

A PZ-90 rendszert az ITRS legújabb realizációjával összhangba hozták és ezt rendszeresen finomítják (jelenlegi jelzése: PZ-90.02).

3.3. 2.3.3 A GLONASSZ modernizációja

Az orosz parlament modernizációs programot és költségvetést fogadott el a GLONASSZ fejlesztésére, beleértve a másik két alaprendszerrel való együttműködés biztosítását. A GLONASSZ-K jelű holdak modernizált változatának, a GLONASSZ-KM típusnak a felbocsátását 2015-től kezdődően tervezik, új frekvenciát használva; L5 (CDMA): 1176,45 MHz.

A követőállomások számát bővíteni tervezik, Oroszország területén nyolccal és további öttel nem orosz területen, így Kubában, Vietnámban, Braziliában és Ausztráliában.

Terveznek egy globális SBAS rendszert is, DGNSS szolgáltatás és monitoring céljából. Az adattovábbítás 3 darab, geostacionárius pályára kerülő műholdról történne, 2011-től kezdődően. A távközlési műholdak a Lucs nevet kapták; sorrendben a Lucs5A ($\lambda=16^\circ\text{W}$), Lucs5B ($\lambda=95^\circ\text{E}$), Lucs4 ($\lambda=167^\circ\text{E}$) felbocsátása várható, amelyek világméretben teljes sugárzási lefedettséget biztosítanak.

4. 2.4 Az európai Galileo

A Galileo nevű GNSS rendszer az amerikai és az orosz műholdas navigációs rendszerek európai versenytársa. Céljában nem, de megvalósításában és szolgáltatásaiban eltér az eddig működő rendszerektől. A Galileo deklaráltan tisztán polgári célú műholdas navigációs rendszer lenne, nincs katonai vonatkozása. Nyugat-európai (német, francia, angol, olasz) kezdeményezésként indult 1999-ben. Célja egy európai, fejlett GNSS rendszer létrehozása.

Kezdetben fele-fele részben az Európai Unió (*EU: European Union*) és az Európai Űrügynökség (*ESA: European Space Agency*) finanszírozta, és komoly reményeket fűztek a magánszektor befektetéseire is (PPP beruházások). Mivel e remények nem váltak valóra, jelenleg a projekt teljes finanszírozása az EU költségvetéséből történik.

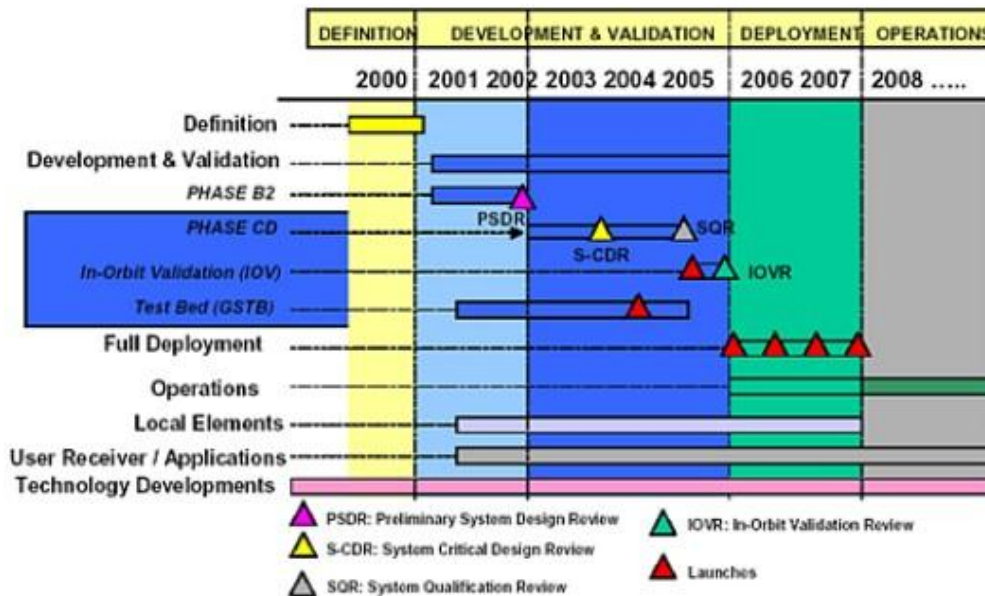


2-11. A Galileo logója

A Galileo eddigi történetének néhány állomása:

- 2001: megszületnek az első projektleírások

- 2002. március 26.: az Európa Tanács határozatot hoz a projekt indításáról 1,1 milliárd eurót irányoz elő az első (2002-2005 közötti) fejlesztési szakaszra; a becsült költség 3,4 milliárd euró. A műholdak indítását a 2006-2010 közötti időszakra tervezik
- 2003: közös vállalatot alapítanak Brüsszelben (*Galileo Joint Undertaking*)
- 2004. június: előzetes megállapodás az USA-val a frekvenciákról
- 2005. december 28.: az első kísérleti műhold startja (GIOVE-A)
- 2007: pénzügyi válságban a projekt
- 2008. április 27: a második kísérleti műhold startja (GIOVE-B)
- 2008. ápr.: pénzforrást szabadítanak fel: PPP helyett csak EU-s finanszírozás lesz a jövőben
- 2009. november: Francia Guyanában követőállomást avatnak
- 2010. december: Svédországban követőállomást, Olaszországban irányítóközpontot avatnak



2-12. ábra. Az első terv időrendje, amely nem valósult meg

4.1. 2.4.1 A Galileo tervezett műholdjairól

A műholdas alrendszer 30 darab, közepes magasságú Föld körüli pályán (*MEO: Medium Earth Orbit*) keringő műholdból fog állni a teljes kiépítésben, ebből 3 tartalék. A műholdak három, 56 fokos hajlású pályán keringenek a Föld körül, 24 000 km-es átlagos magasságban (a pálya fél nagytengelye átlagosan 29601,297 km). A műhold-konstellációt úgy tervezték, hogy a magasabb (akár 75°-os) északi és déli szélességi körökön a GPS-hez képest több műhold legyen észlelhető, így például a skandináv országok a jelenleginél kedvezőbb helyzetbe kerülnek. A keringési idő 14 óra 22 perc, a műhold-konstelláció 10 naponta ismétlődik.



2-13. ábra. A Galileo 30 holdja 3 pályán



2-14. ábra. Az első kísérleti hold indítása Bajkonurból 2005 decemberében

A Galileo rendszer első kísérleti műholdját 2005. december 28-án juttatták 23260 km magasságú Föld körüli pályára Bajkonurból, Sojuz hordozórakétával tesztelési céllal, GIOVE-A névvel (*GIOVE: Galileo In-Orbit Validation Element*, más jelzéssel: *GSTB/V2A*). Fedélzetén 2 darab 10 ns/nap stabilitású svájci (Termex) rubídium atomórát helyeztek el. A kísérleti hold 2006. január 12-én elkezdte a rádiójelek sugárzását. A műhold jeleit a földi obszervatóriumokban elemzik, ellenőrzik; vizsgálják azt is, hogy nem okoznak-e zavaró interferenciát a három kijelölt frekvenciasáv szomszédságában.

A Galileo rendszer második tesztműholdját 2008. április 27-én juttatták közepes Föld körüli pályára (GIOVE-B). Fedélzetén 1 ns/nap stabilitású német gyártmányú hidrogén mézer órát helyeztek el, első alkalommal mozgó űrjárművön. A kísérleti hold 2008. május 7-én rendben elkezdte a rádiójelek sugárzását. A jel szerkezete egy előző évi amerikai-európai megállapodás értelmében közös lesz a Galileo és a modernizálandó GPS rendszerben. A GIOVE-A és B csak tesztelési holdak, nem lesznek részei a majdani teljes rendszernek, csupán a technológia egyes elemeit próbálják ki velük.

2006 januárjában az ESA és a Galileo Industries nevű konzorcium képviselői aláírták azt a szerződést, melynek értelmében az utóbbi vállalokozási szövetség legyártja az első négy „valódi” Galileo műholdat. A négy első (*IOV: In-Orbit Validation*) műhold gyártása során azonban váratlan technikai problémák léptek fel és a költségeket is jelentősen, 400 millió euróval túllépték.

2007 végén az Európai Parlament 3,4 milliárd eurós összeget fogadott el a Galileo kiépítése céljára, a 2013-ig tartó költségvetési periódusra. Akkor úgy kalkuláltak, hogy 2013-ra a rendszer már működőképes állapotba jut, ami azonban túl optimista reménynek bizonyult.

2010 januárjában az Európai Bizottság bejelentette, hogy a német OHB System vezetésével gyártják le a navigációs műholdrendszer első hullámában pályára állítandó 14 Galileo műholdat. A megbízást elnyert OHB partnere a brit Surrey Satellite Technology cég. Ők a navigációs jeleket előállító fedélzeti berendezéseket szállítják. Az első űreszköz elkészítése 2012 júliusára remélhető. A terv az, hogy onnantól kezdve 2014 tavaszáig folyamatosan, másfél havonta készüljenek el az új Galileo műholdak. A szerződés értelmében a gyártók 566 millió eurót kapnak munkájukért. A rendszer kiszolgáltatására, technikai összehangolására, a jelek biztonságának és minőségének szavatolására, a földi hálózat kialakítására a Thales Alenia Space vezette csoport kapott megbízást. A 2010 és 2014 közötti első időszakban ezért 85 millió eurót kapnak.

A 2010-es állapot szerint úgy tűnik, hogy 2014 végéig is legfeljebb csak részleges (4+14=18 műholdból álló) kiépítettségben lehet reménykedni. Közben a költségvetés jelentős része elment az első, a rendszer „éles” próbáját jelentő fázis négy műholdjának legyártására. Ezeket a holdakat az EADS Astrium és Thales Alenia Space űripari vállalatok építik. Közülük az első két hold a remények szerint 2011 őszén startolhat.

Az EU következő költségvetési periódusa 2014-ben indul, de a Galileo folytatásához addig is pénzt kellene teremteni. A program irányítói további áldozatvállalást várnak a tagországoktól, különösen Németországtól, ahol az első 18-ból 14 műhold épül. Miközben a politikai vezetők a plusz támogatásért küzdenek, a szakértők az elszálló költségek visszafogásának lehetőségein gondolkodnak. A fennmaradó műholdak megépítése érdekében 2011-ben meg kell kezdeni a tárgyalásokat, hogy ne legyen kihagyás az első fázis befejezése, vagyis a 18 műhold pályára állítása után.

2-3. A GPS, a GLONASSZ és a Galileo összehasonlítása. táblázat -

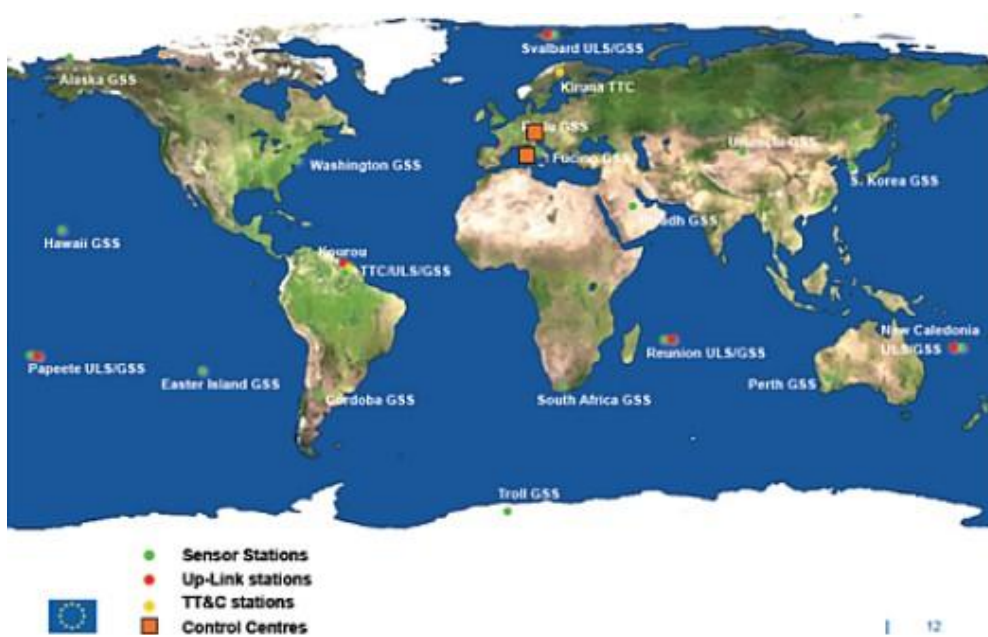
	GPS	GLONASSZ	GALILEO
Műholdpályák száma	6	3	3
Műholdak száma (teljes kiépítésnél)	$6 \times 4 = 24$	$3 \times 8 = 24$	$3 \times (9+1) = 30$
Pályamagasság	20 180 km	19 100 km	23 222 km
Keringési idő	11 óra 56 perc	11 óra 15 perc	14 óra 22 perc
Pályahajlás	55°	64,8°	56°
Vonatkoztatási rendszer	WGS84	PZ90	ITRS
Rendszer idő	GPS idő	UTC idő	GST idő
Jel megosztás	kódok szerint (CDMA)	frekvenciák szerint (FDMA)	kódok szerint (CDMA)
Frekvenciák száma	ma: 2 (L1, L2) később: 3	ma: 2 (L1, L2) később: 3	4 (L1A, L1B, E5, E6)
Jelek száma	ma: 3 később: 8		10

4.2. 2.4.2 A Galileo tervezett vezérlő rendszeréről és szolgáltatásairól

A vezérlő alrendszer a következő típusú állomásokból áll majd:

- vezérlőközpontok (*GCC: Galileo Control Centre*),
- követő- és vezérlőállomások (*TTC: Telemetry, Tracking and Command*)
- adatfeltöltő állomások (*ULS: Up-Link Station*)
- egyszerű követőállomások (*GSS: Galileo Sensor Station*).

Egy-egy Galileo földi állomás egyszerre több funkciót is betölthet. A világméretű követő- és vezérlőállomáshálózat feladata a műholdak működésének és pályájának nyomon követése és új parancsok felküldése a fedélzetükre. A Galileo első fejlesztési szakaszában (*IOV: In-Orbit Validation*) két vezérlő központ (*GCC*), 2 követő- és vezérlőállomás (*TTC*), 5 adatfeltöltő állomás (*ULS*) és 18 egyszerű követőállomás (*GSS*) üzembe helyezését tervezik. A követőállomások (*GSS*) adatai először a vezérlőállomásokra (*TTC*) kerülnek, majd onnan a központba (*GCC*).



2-15. ábra. A Galileo tervezett vezérlő alrendszere az első fejlesztési szakaszban (IOV)

A Galileónak, a GPS-hez hasonlóan, saját rendszerideje lesz (*GST: Galileo System Time*). A Galileo műholdak közvetítik a GST-hez viszonyított időkülönbséget a GPS-időtől és az UTC-től.

A Galileo vonatkoztatási rendszere (*GTRS: Galileo Terrestrial Reference System*) az ITRF rendszer legújabb megvalósításával lesz azonos.

A vezérlő rendszernek két központja lesz; az egyik Németországban, München mellett (Oberpaffenhofen), a másik Olaszországban, Fucinóban. A központok feladata a műholdak működésének követése, irányítása, a navigációs üzenetek előállítása. A két központ között a feladatokat megosztják, de a Galileo folyamatos működésének biztosítása érdekében, szükség esetén bármelyikük át tudja venni a teljes irányítást, ha a másik központban váratlan zavar lépne fel. Az IOV fázisban Németországból irányítják majd a műholdakat, az olasz központ pedig a navigációs szolgáltatás biztosításáért felel (műholdak pályadatainak és órahibáinak számítása, navigációs üzenetek előállítása). A két GCC működtetését a Spaceopal nevű olasz-német vegyesvállalat végzi.



2-16. ábra. A fucinói (balra) és az oberpfaffenhofeni (jobbra) irányító állomás

A Rómától 130 km-re keletre fekvő fucinói központ ünnepélyes megnyitására 2010. december 20-án került sor. Az olasz Galileo-központ a világ legnagyobb műholdas kommunikációs állomásán kapott helyet. Az 1963-ban megnyitott állomás területén több mint 90 antenna működik. Az állomást kereskedelmi műhold-üzemeltető cégek, mint pl. az Inmarsat is használják. A helyszín kiválóan alkalmas a rádiós távközlésre, mivel nagy kiterjedésű, sík területen fekszik, a körülötte levő magaslatok pedig leárnyékolják a földi forrásokból származó zavaró rádió-interferenciát. A helyszín ideális tulajdonságai a medencét kitöltő több évszázados munkával történő lecsapolása eredményeként alakultak ki.

2009. november 19-én avatták fel Kourou mellett, Francia Guyanában az első Galileo követő- és vezérlőállomást (TTC). A kourou-i állomás hármast funkciókat tölt be; TTC állomás (a műholdak működésének és pályájának nyomon követésére), ULS állomás (adatok, parancsok felküldésére a műholdakra) és GSS követőállomás (monitorozásra, ellenőrzésre) is helyet kapott is. Kourou 1970-től működik, mint francia űrrepülőtér, innen indítják az Ariane rakétákat. Mivel közel fekszik az Egyenlítőhöz, könnyebb a rakéták startja. A Galileo holdakat is innen, indítják majd, a tervek szerint kettesével, mégpedig Szozjuz hordozórakétákkal. Ehhez külön indítóállást építenek. Az első startra legkorábban 2011 végén kerülhet sor. Az egyelőre lekötött első 10 start 397 millió euróba kerül.

2010. december 12-én Svédországban, Kirunában újabb Galileo követő- és vezérlőállomást (TTC) avattak. Az északi sarkkörön is 200 km-rel túl fekvő kirunai állomás lesz a Galileo követő- és vezérlőállomás-hálózatának másik olyan tagja, amely már a kezdeti, IOV fázisban szolgálatba áll. A 13 méter átmérőjű rádióteleszkóp és a berendezések működése automatikus, emberi beavatkozásra csak karbantartás vagy egy esetleges zavar elhárítása esetén van szükség.

4.3. 2.4.3 A Galileo tervezett szolgáltatásai

Még az új évezred kezdetén, a legelső tervezési fázisban számos terv született a Galileo szolgáltatásait, felhasználóit, költségeit illetően. A kezdeti tervek nem valósultak meg, ezért az itt következő felsorolást a Galileo öt tervezett szolgáltatásáról is kellő óvatossággal kell kezelni.

1. Nyílt szolgáltatás (Open Service – OS). Tömeges igényeket kielégítő, bárki számára hozzáférhető ingyenes jelvételezés, 6 m-es abszolút helymeghatározási pontossággal.

2. Életvédelmi szolgáltatás (Safety-of-Life Service – SOL). Elsősorban a közlekedés számára fenntartott navigációs szolgáltatás, magas fokú integritás biztosításával.

3. Kereskedelmi szolgáltatás (Commercial Service – CS). Nagy pontossági igényeket kielégítő szolgáltatás, 2 külön frekvencián azon regisztrált felhasználóknak, akik erre külön előfizetnek. Ide sorolhatók a geodéziai pontosságot és fázismérést igénylő felhasználók.

4. **Közbiztonsági szolgáltatás** (*Public Regulated Service – PRS*). A rendőrség, határőrség, vámőrség és a biztonsági szolgálatok számára fenntartott, titkosított szolgáltatás, amelyhez a hozzáférés engedélyhez kötött.

5. **Életbiztonsági és mentő szolgáltatás** (*Search and Rescue Services – SaR*). Ez a szolgáltatás Európa hozzájárulásának tekinthető a világban már működő életmentő és kereső szolgálatokhoz (KOSZPASZ-SARSAT). A jelenlegi megoldáshoz képest csökkenni fog a riasztástól számított várakozási idő, és lényegesen nőni fog a helymeghatározás pontossága (a mostani néhány km-ről néhány méterre), továbbá a szolgáltatás lehetsége takart környezetben is lehetséges lesz.

A Galileo része lesz a jelenlegi EGNOS rendszer is (bővebben a 7. modulban).

A Galileo regionális komponensei közé fog tartozni egy olyan garantált integritás-ellenőrzés, amely független lesz az alaprendszertől. Legalább két, 25 fokos magassági szög felett észlelhető műhold biztosítja a jelvételet.

A Galileo lokális komponense olyan földi rádiócsatornákon meglévő kommunikációs hálózatokat jelent, amellyel pontosságnövelő és integritás-ellenőrző információkat továbbítanak az alaprendszerről.

5. 2.5 A kínai Compass

Kína nemcsak gazdasági világhatalommá vált, hanem űrhatalommá is, a legutóbbi években például azzal, hogy önállóan embert tudott küldeni a világűrbe. Kína is elkezdte egy saját GNSS rendszer kiépítését. 2003-ban még úgy volt, hogy Kína az Európai Unió Galileo programjához csatlakozik, de aztán másként alakult a történet. A kínai GNSS rendszernek két neve is van: angolul **Compass** (ami az iránytűre utal), kínaiul **Beidou** (ami a Nagy Medve csillagkép, a Göncölszekér kínai elnevezése, ami a navigáció legősibb, a csillagok megfigyelésére támaszkodó módjára utal).

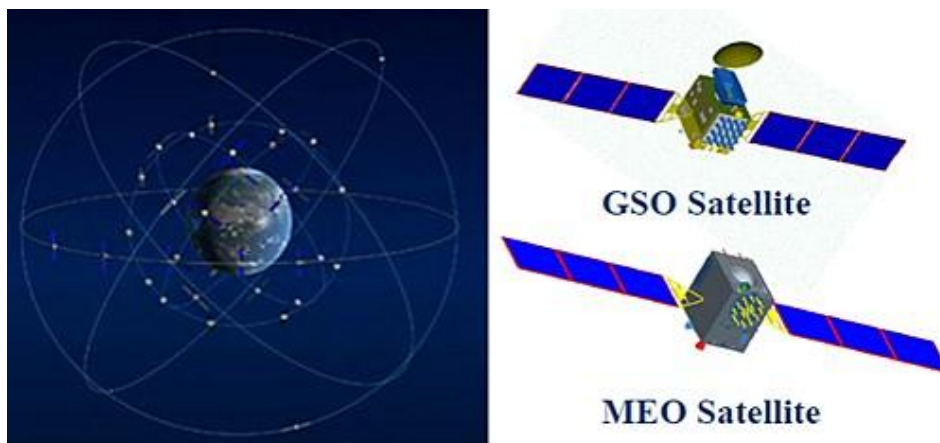
A Compass (vagy Beidou) műholdas rendszer alapvetően ugyanolyan kiépítésű és funkciójú lenne, mint a már létező GPS és GLONASSZ rendszer. Az abszolút helymeghatározás pontosságát a teljes kiépítés után 10 méterre becsülik. A Compass állítólag öt nyílt (ingyenes) és öt titkos (katonai) szolgáltatást nyújt majd, nyolc különböző rádiófrekvencián.

A kínai GNSS rendszer közelmúltja a következő főbb eseményekkel jellemezhető:

- 2000-től: Beidou-1 néven kísérleti holdat bocsátanak fel regionális rendszer kiépítése céljából;
- 2003: Kína és az EU szerződést köt a Galileóban való együttműködésről;
- 2006. október: Kína bejelenti egy önálló GNSS rendszer kiépítését (CNSS)
- 2007. április: az első Compass M-1 hold startja
- 2010-ben 5 új Compass-M holdat bocsátottak fel

A kínaiak célja először egy regionális lefedettséget biztosító helymeghatározó és navigációs műholdrendszer kiépítése volt. A Beidou-1 jelzésű holdak közül négyet bocsátottak fel: 2000-ben kettőt, majd 2003-ban és 2007-ben egyet-egyet.

A Beidou-1 rendszert a tervek szerint a Beidou-2 váltja fel. Ez összesen 35 műholdat fog tartalmazni. Közülük 27 lesz közepes Föld körüli pályán keringő, ún. MEO (*MEO: Medium Earth Orbit*) műhold, 5 geostacionárius pályán lévő ún. GEO műhold, 3 pedig ugyancsak a Föld 1 napos forgási periódusával megegyező keringési idejű, de az Egyenlítőhöz képest 55°-os szögben hajló (*IGSO: Inclined Geosynchronous Orbit*) pályán keringő műhold.



2-17. ábra. A Beidou rendszer konstellációja és műholdjai

A Beidou-2 korszak az Compass M1 jelű első MEO hold felbocsátásával kezdődött 2007. április 14-én, ezt használták fel a rádiójelek tesztelésére. Az ismét geostacionárius (GEO) pályára szánt G2 műhold 2009. április 15-én indult, de valószínűleg irányíthatatlanná vált.

2010-ben igen látványos előrelépés történt a kínai GNSS rendszer kiépítésében. Abban az évben ötször bővítették sikeresen a Beidou navigációs műholdrendszert. Az ötödik (összesítésben a 15.) kínai űrstartra 2010. december 17-én került sor a Hszicsang nevű űrrepülőtérről, Hosszú Menetelés-3A elnevezésű hordozórakétával. Ez a műhold (Compass-IGSO2) először átmeneti, az Egyenlítő síkjához képest 55° -os hajlásszögű, elnyúlt ellipszispályára került. A végleges, körhöz közeli pálya magassága kb. 36 ezer km (nagy hajlásszögű geoszinkron pálya). A pályahajlás miatt a műhold navigációs rádiójeleit magasabb földrajzi szélességeken is venni tudják majd.

2007 óta a Beidou-2 rendszerben a 2010 évvégi műholdindítás volt a hetedik a sorban. A kiépítés gyorsítására utal, hogy 2010-ben öt Beidou hold került pályára. A hétből négy hold az Egyenlítő fölött geostacionárius pályán működik (GEO), kettő pedig egy kb. 21 ezer km magas, ún. közepes Föld körüli pályán van (MEO).

Előbb az ázsiai és csendes-óceáni térséget kívánják lefedni a műholdas navigációs szolgáltatással (2012-re a tervek szerint 14 műhoddal), később azt globálisra terjesztik ki.

A Kínában történekről (a kínai űreseményekről) magyar nyelven a kínai rádió magyar nyelvű adásából és annak honlapjáról is tájékozódhatunk.



2-18. ábra. Kínai Compass vevők



2-19. ábra. Tudósítás a kínai rádió (<http://hungarian.cri.cn/>) nemzetközi adásának magyar nyelvű honlapján



2-20. ábra. Tudósítás a kínai rádió (<http://hungarian.cri.cn/>) nemzetközi adásának magyar nyelvű honlapján

Irodalomjegyzék

- Ádám J, Bányai L, Borza T, Busics Gy, Kenyeres A, Krauter A, Takács B : *Műholdas helymeghatározás*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- Amár I, Both E, Horváth A : *Űrtan*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1996
- Frey S : *Folytatódik a GPS modernizációja*. Űrvilág magazin. 2006, www.urvilag.hu
- Frey S : *Ismét GPS műhold indult*. Űrvilág magazin, 2007, www.urvilag.hu
- Frey S : *Galileo: költekezés, késés*. Űrvilág magazin, 2009, www.urvilag.hu
- Frey S : *Új GPS műhold indult*. Űrvilág magazin, 2009, www.urvilag.hu
- Frey S : *Galileo irányítóközpont nyílt Olaszországban*. Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Kínai navigációs műhold startolt*. Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Lassan készül, mint a Luca széke...* Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Még több pénz, még több késés?* Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Rekorddöntő kínai műholdindítás*. Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Szerződés az első 14 Galileo műholdra*. Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Tovább épül a kínai műholdas helymeghatározó rendszer*, 2010, www.urvilag.hu
- Frey S : *Új korszak kezdete a GPS-ben*. Űrvilág magazin, 2010, www.urvilag.hu
- Hein G, Rodriguez J, Wallner S, Eisfeller B, Pany T, Hartl P: *Envisioning a Future GNSS System of Systems*. Inside GNSS, 2007,
- Husti Gy, -Ádám J, Bányai L, Borza T, Busics Gy, Krauter A : *Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés)*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2000

ICD GLO : *GLONASS Interface Control Document*, Coordination Scientific Information Center, Moscow, Russia, www.glonasscenter.ru

Krauter A : *Geodézia. Egyetemi jegyzet*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002

Rizos C, M Higgins, S Hewitson : *New Global Navigation Satellite System Developments and Their Impact on Survey Service Providers and Surveyors*. Article of the Months October 2005, www.fig.net

Szentpéteri L : *Sikeresen startolt az első újgenerációs GPS műhold*. Űrvilág magazin, 2005, www.urvilag.hu

Vollath U, R Patra, X Chen, H Landau : *GALILEO/Modernized GPS: A New Challenge to Network RTK*, www.gpsnet.dk