

Műholdas helymeghatározás 1.

A GNSS-ről általában

Dr. Busics, György

Műholdas helymeghatározás 1.: A GNSS-ről általában

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 fogalmából indulunk ki, majd néhány elemét (a kiegészítő rendszereket, a technológiákat és a szoftvereket) tekintjük át átfogó jelleggel. Mintapéldán elemezzük a nyers mérési adatokat.

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

Tartalom

1. A GNSS-ről általában	1
1.1 Bevezetés	1
1.2 A GNSS értelmezéséről	1
1.3 A GNSS infrastruktúráról	3
1.4 A nyers mérési adatokról és azok továbbításáról	5
1.5 A GNSS technológiákról	11
1.6 A GNSS feldolgozó szoftverekről	14

A táblázatok listája

1-1. Szoftverek összehasonlítása.	15
1-2. A feldolgozás alapadatai az egyes számítási modulokban.	17
1-3. A TGO és LGO modul elnevezéseinek összehasonlítása.	17

1. fejezet - A GNSS-ről általában

1. 1.1 Bevezetés

A globális műholdas navigációs rendszerek összefoglaló jellemzésére a GPS betűszót mára a GNSS kifejezés váltotta fel. Bár kezdettől (az 1980-as évektől) fogva két ilyen globális helymeghatározó rendszer létezett (a GPS és a GLONASSZ), a gyakorlatban azonban szinte csak a GPS használata volt általános. 2011-ben már mindkét navigációs rendszer teljes kiépítésű és további hasonló rendszerek bevezetését tervezik, ezért indokolt egy általános összefoglaló név használata, ha általában beszélünk ilyen rendszerekről.

A műholdas helymeghatározás elmúlt két évtizedében leginkább az ún. GNSS infrastruktúra fejlődött és az azt támogató szoftverek. Ebben a modulban ezeket tekintjük át összefoglaló jelleggel. A GNSS mérés eredményeinek jobb megismerése céljából egy mintapéldán keresztül a nyers mérési adatokat elemezzük.

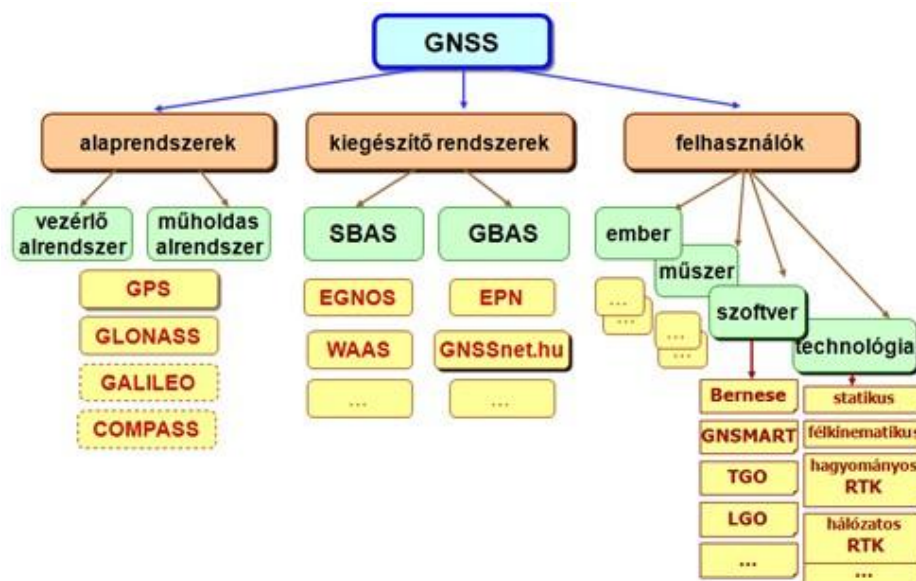
Fontosnak tartjuk itt megemlíteni, hogy ez a tananyag a Műholdas helymeghatározás BSc tantárgy egyes előadásainak írásos változata. Ez a tantárgy nem előzmények nélküli, ráépül az eddigi szakmai tantárgyakra. Ezek közül kiemeljük a Geodéziai hálózatok tantárgyat, amelyben teljeskörű, de egyszerűsített képet adunk a műholdas helymeghatározás geodéziai alkalmazásáról. Az ott bevezetett fogalmak ismeretét ebben a tananyagban feltételezzük, mint ahogyan a szakmai alapismereteket is.

2. 1.2 A GNSS értelmezéséről

A globális navigációs műholdrendszer (*Global Navigational Satellite System – GNSS*) a helymeghatározás, a navigáció és az időmeghatározás feladatainak megoldását hivatott szolgálni mesterséges holdak segítségével. A GNSS rendszer szolgáltatásait jelölik PNT jelzővel is (*PNT: Positioning, Navigation, Timing Services*), mert azok helymeghatározásra, navigációra és időmeghatározásra irányulnak.

A GNSS technológiával végzett műholdas helymeghatározás azon alapszik, hogy a mesterséges holdak helyzete ismert, azok – geometriai értelemben – egy adott időpillanatban ismert pontoknak tekinthetők egy definiált vonatkoztatási rendszerben. A műholdak pályadatait ugyanis ismert helyzetű földi pontokon észlelő pályakövető állomások meghatározzák és ezeket az ún. navigációs adatokat a mesterséges holdak saját maguk sugározzák. A felhasználó (a GNSS vevő) közvetett módon távolságot határoz meg a vevő és néhány, egyidőben (szimultán módon) észlelt műhold között, majd ezen távolságok és a műhold-pozíciók ismeretében a vevő helyzete egy megadott vonatkoztatási rendszerben kiszámítható. A vevő sebessége is számítható, mivel ismert azon időtartam, ami a vevő két helyzet-meghatározása között eltelik.

Ennek az egyszerűnek tűnő alapelvnek a megvalósítása napjaink csúcstechnikájának bevonását igényli és jelentős anyagi befektetést kíván meg. A csúcstechnikát olyan tudományágak legújabb eredményei alapozzák meg, mint az elektronika, a távközlés, az égi mechanika, a légkörfizika, a relativitáselmélet, a matematika, a szoftverfejlesztés és természetesen a geodézia is. GNSS rendszer kifejlesztését csak gazdasági nagyhatalmak vagy társult országok engedhetik meg maguknak a jelentős költségek miatt.



1-1. ábra. A GNSS összetevői, bővített értelmezés esetén

A GNSS, mint rendszer, több részre tagolható. Lehetséges olyan értelmezés, amely minden, a műholdas helymeghatározásban szerepet játszó tényezőt (alrendszert) figyelembe vesz és a GNSS-t több alrendszer együtteseként, fogja fel. Az alrendszerek csoportosítása a következő lehet:

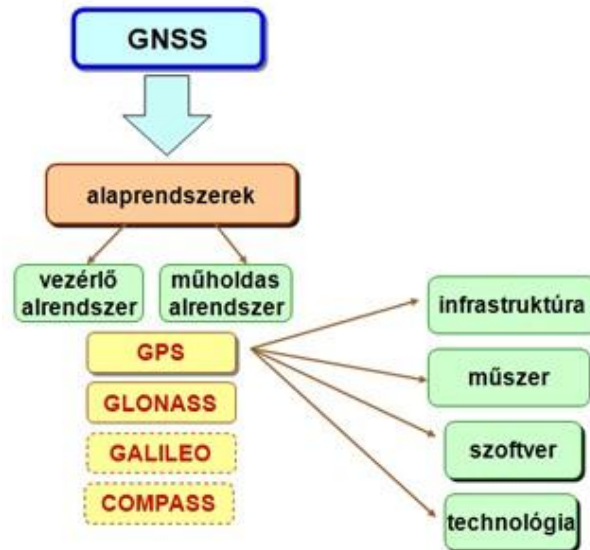
- GNSS alaprendszerek,
- GNSS kiegészítő rendszerek,
- felhasználói oldal (felhasználói alrendszer).

A GNSS alaprendszereknek két összetevője van: maguk a navigációs mesterséges holdak (a műholdas alrendszer), továbbá egy adott vonatkoztatási rendszer ismert pontjain folyamatosan üzemelő, a rendszert felügyelő, ellenőrző és adatokkal ellátó ún. követőállomások (a vezérlő alrendszer).

2010-ben öt GNSS alaprendszerről van tudomásunk, ezek közül kettő ténylegesen üzemel (GPS, GLONASSZ), három pedig a tervezés állapotában van (az európai Galileo, a kínai Compass és az indiai IRNS); bemutatásukra a 2. modulban kerül sor.

A GNSS rendszer másik elemét GNSS kiegészítő rendszernek nevezzük. A kiegészítő rendszerek lehetnek földi alapúak (*Ground Based Augmentation System – GBAS*), vagy műholdas alapúak (*Satellite Based Augmentation System – SBAS*). Részletesen a 3. és 4. modul foglalkozik ezekkel.

A GNSS rendszer különálló elemének tekintjük az ún. felhasználói oldalt. Ez alatt értjük a felhasználók által használt GNSS vevőkészülékeket, a vevőkészülékben vagy külső számítógépeken üzemelő szoftvereket, továbbá a kiegészítő rendszert üzemeltető szoftvereket. A szoftverfejlesztés jelentősége egyre nagyobb egyrészt a GNSS technológia gazdaságosságának növelésében, másrészt a GNSS alkalmazási területek bővítésében.



1-2. ábra. A GNSS összetevői, szűkebb értelemben (csak alaprendszerek)

2010-ben fontos rendelet jelent meg a GNSS technológia geodéziai célú alkalmazásával kapcsolatban Magyarországon. A 47/2010. (IV. 29) FVM rendelet bevezető fejezete fogalom-meghatározásokkal foglalkozik, így megadja a GNSS jelentését is. E szerint a GNSS csak az alaprendszereket jelenti. Idézve a rendeletből: „GNSS: a globális műholdas helymeghatározó rendszerek (GPS NAVSTAR, GLONASSZ, Galileo, COMPASS, GINSS) közös elnevezése.”

Az IGS honlapja szerint is a GNSS fogalmába csak az alaprendszerek tartoznak, azoknak az összefoglaló neve. Az angol nyelvű meghatározás így szól: „GNSS stands for Global Navigation Satellite System. Currently operating GNSS's are GPS (U.S.A.'s Global Positioning System) and GLONASS (Russia's Global Navigation Satellite System)”.

Itt érdemes megjegyezni, hogy az EGNOS-t kezdetben GNSS1 névvel jelölték, megkülönböztetésül az amerikai GPS rendszertől. Ebből alakult ki a műholdas navigációs rendszerek összefoglaló jelölése, a GNSS.

A Wikipedia a GNSS rendszerek két generációját különbözteti meg aszerint, hogy a civil felhasználást, a pontosság és az integritás növelését mennyire segítik. Eszerint a GNSS-1 jelű első generáció a GNSS alaprendszerek és GNSS kiegészítő rendszerek együttesét, kombinációját jelenti. Ez megfelel a GNSS először tárgyalt, bővített értelmezésének. A Wikipedia szerint a GNSS-2 jelű második generáció az elsőtől abban különbözik, hogy tisztán polgári fenntartású. Ennek felelne meg a Galileo és az EGNOS, amennyiben kiéptülne.

3. 1.3 A GNSS infrastruktúráról

GNSS infrastruktúra alatt a GNSS kiegészítő rendszereket értjük. Ezek lényegében az alaprendszer üzemeltetőjétől független geodéziai hálózatok. A GPS/GNSS technika automatizáltsága tette lehetővé, hogy a klasszikus geodéziai hálózatokkal ellentétben, amelyeket csak egyszer mértek meg, most lehetőség adódik az időben folyamatosan végzett GNSS mérésekre. A nagyobb (országnyi, földrésznyi, földkerekségnyi) területen folyamatosan üzemelő (ún. permanens) állomások alkotta pontok halmazát, amelynek működését egy központ felügyeli aktív hálózatnak nevezzük. Ilyen értelmezésben minden klasszikus geodéziai hálózat passzív hálózat, továbbá az olyan GPS-hálózatok is, amelyek csak meghatározott idejű mérésekből állnak össze. A passzív GPS hálózatokat a 3. modul, az aktív hálózatokat a 4. modul mutatja be.

Kiegészítő rendszereket kezdetben azért hoztak létre, hogy legyenek a rendszer-fenntartótól független pályakövető állomások (pl. CIGNET), illetve a helymeghatározás pontosságát növeljék (DGPS szolgáltatások). Mára a kiegészítő rendszerek a pontosság, az integritás és a gazdaságosság növelésének egyre nagyobb szerepet betöltő eszközeivé váltak és egyre több újabb alkalmazási területet és szolgáltatást nyitnak meg. Az elmúlt két évtizedben a legnagyobb fejlődés a GNSS infrastruktúrában következett be, ha magát a GNSS-t teljességében nézzük.

Összefoglalásul a GNSS infrastruktúrát (GNSS hálózatokat) a következő szempontok alapján csoportosíthatjuk.

Földrajzi kiterjedtség szerint:

- világhálózat (ami az egész földkerekségre kiterjed, ilyen az IGS vagy az OmniStar);
- kontinentális hálózat (a mi szempontunkból az európai aktív hálózat, az EPN kiemelt jelentőségű)
- nemzeti hálózat (például a hazai aktív hálózat)
- helyi hálózat (számtalan ilyen felmérési hálózatot és mérnökgeodéziai hálózatot hoztak létre az elmúlt években).

A mérés folyamatossága szerint:

- passzív hálózat (OGPSH)
- aktív hálózat (GNSSnet.hu).

Az adattovábbítás csatornája (médiума) szerint:

- műholdas alapú (EGNOS)
- földi alapú (GNSSnet.hu).

Az adattovábbítás fejlettsége szerint:

1. szintű infrastruktúra (passzív hálózat, referenciapontként)
2. szintű infrastruktúra (aktív hálózat, utólagos adatszolgáltatás)
3. szintű infrastruktúra (aktív hálózat, valós idejű adatszolgáltatás)

A hálózat számítási módja szerint lehet:

- kötött hálózat
- szabad hálózat.

Itt említjük meg, hogy a geodéziai célú helymeghatározás legalább cm-es ponthibájú koordinátákra törekszik, amit jelenleg csak relatív módszerrel lehet megoldani. A GNSS mérés során ilyenkor arra van szükség, hogy legalább két vevő egyidejűen (szimultán) végezzen észlelést. Ez történhet csak a felhasználó műszereire támaszkodva (autonóm módban) vagy szolgáltatásként átvéve (éppen az ilyen szolgáltatások nyújtása az aktív hálózatok egyik kiemelt szerepe). A szimultán mérés során, amikor egy térbeli vektort mérünk, a vektor kezdőpontját **referenciapont**nak nevezzük.

Amennyiben ez a mérés saját vevővel történik, autonóm módban és csak a vektor-mérés idején üzemeltetjük a vevőt, akkor azt a 47/2010. (IV. 29) FVM rendelet szerint **bázisállomás**nak nevezzük.

Ha egy alapponton állandóan mérő vevőberendezést üzemeltetnénk, akkor azt **permanens állomás**nak nevezzük. Ma is működik Magyarországon több magán vagy állami kézben lévő permanens állomás az állami földmérés GNSS-hálózatától függetlenül. Némely cég több permanens állomást is üzemeltet.

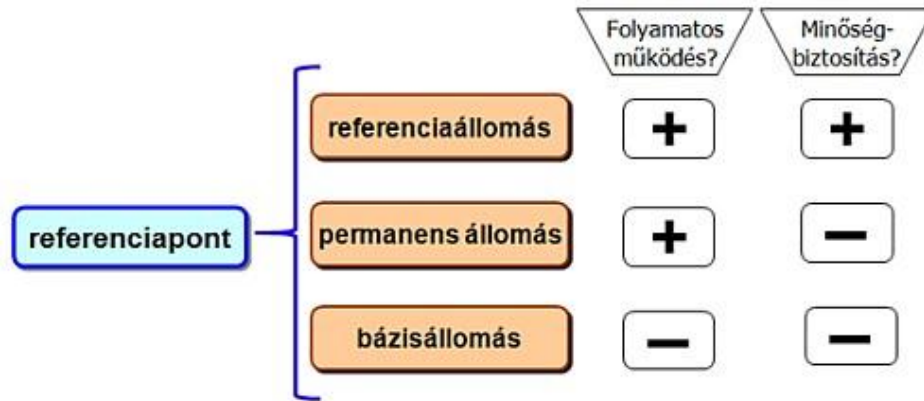
A folyamatosan monitorozott aktív hálózat rendszerbe szervezett állomásait nevezzük **referenciaállomás**nak. Ilyen aktív hálózat jelenleg csak egy működik Magyarországon, a hivatalos, állami fenntartású GNSSnet.hu.

Idézet a 47/2010. (IV. 29) FVM rendeletről:

„*Permanens állomás*: ismert alapponton folyamatosan észlelő GNSS vevőberendezés;

Referencia állomás: az aktív GNSS hálózat részét képező, hitelesített és minőségbiztosítással ellátott permanens állomás;

Bázisállomás: korábban meghatározott alapponton felállított, a relatív helymeghatározásokhoz szükséges referencia-méréseket végző GNSS vevőberendezés.”



1-3. ábra. A referenciapont megvalósításának értelmezése

4. 1.4 A nyers mérési adatokról és azok továbbításáról

A GPS/GNSS mérés eredményeként ún. nyers mérési adatokat kapunk további feldolgozás és/vagy tárolás céljából. A nyers mérési adatok kódtávolságok, fázisértékek és Doppler-számok lehetnek.

A **kódmérés** a műhold által kibocsátott kód és a vevő által előállított referencia-jel (replika kód) kódelemeinek összehasonlításán alapszik. A kódmérés eredmény a kódtávolság (pszeudotávolság) méterben kifejezve.

A **fázismérés** a műhold által kibocsátott vivőjel és a vevő által előállított referencia-jel fázisának összehasonlításán (fáziskülönbség mérésen) alapszik. A fázismérés eredménye egy olyan számérték, amelynek egész része az egész periódusok (ciklusok) számát jelenti, tört része pedig a fáziskülönbséget, ciklus-egységben kifejezve.

A **Doppler-mérés** az elektromágneses hullám megváltozott frekvenciájának mérésén alapszik, amit a kibocsátó műhold és a vevő egymáshoz viszonyított mozgása okoz. A Doppler-mérés eredménye egy meghatározott időtartam alatt mért ún. Doppler-szám, amely kellően rövid időtartam esetén a frekvencia-változással egyezik meg.

A **RINEX** (*Receiver Independent Exchange Format*) formátumot már a GPS-korszak kezdetén kidolgozták abból a célból, hogy az egyes gyártók saját mérési formátumait egységesíteni lehessen és a feldolgozáshoz egy műszertől, gyártótól független mérési állomány álljon rendelkezésre. A RINEX egy egyszerű szövegfájl, tehát bármely szövegszerkesztővel olvasható. Két részből áll: a fejlécből és a nyers mérési adatokat tartalmazó listából. A fejléc minden sora (rekordja) 80 karakter hosszúságú, amelynek utolsó 20 karaktere megjegyzésként írja le a rekord tartalmát. Az egyes adatok helye szigorúan kötött. A mérési lista egy-egy rekordcsoportja „alcímmel” kezdődik, ebben a kezdőrekordban adják meg a mérési időpontot és a mért holdak PRN számát, ezután következnek a nyers mérési adatok a kezdőrekordban megadott sorrendben, és a fejlécben megadott típusonként. A fájl neve még a DOS-os operációs rendszerhez igazodóan 8 karakterből áll, kiterjesztése 3 karakter. A fájlnev felépítése: **ssssdddp.yyt**, ahol:

- **ssss**: név (pontazonosító, station)
- **ddd**: az év napjának sorszáma (day)
- **p**: mérési periódus
- **yy**: az évszám utolsó két karaktere
- **p**: fájl típus (amely a következő lehet: **o** (*observation*)-GPS mérési fájl; **n** (*navigation*)-navigációs adatok (pl. fedélzeti pályaadatok, ionoszféra paraméterek); **m** (*meteorological*)-meteorológiai adatok; **g** GLONASSZ mérési fájl.

A RINEX fájlra eddig a következő szabványok vonatkoznak:

- RINEX Version 1 (1989-2002)
- RINEX Version 2.10 – 2.20 (2002-2006)

- RINEX Version 3.00 (2006. októbertől)

A **SINEX** (*Software Independent Exchange Format*) formátumot a feldolgozás eredményének egységes, szoftvertől független igénye hozta létre. Ez az adatsere formátum elsősorban az aktív hálózatok ún. napi és heti megoldásait előállító adatfeldolgozó (ún. analízis-) központokban használatos. A RINEX és a SINEX részletes leírása megtalálható az Interneten.

Az **RTCM** eredetileg egy amerikai bizottság (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) neve, amely tengerészeti rádió navigációs szolgáltatások szabványosítására állítottak fel, de később a DGPS technika korrekciós jeleinek az egységesítését is felvállalta. A DGPS-hez hasonlóan szükség volt az RTK adatok egységesítésére, majd a hálózatos RTK szabványosítására is. Így az ún. RTCM szabványok lényegében a GNSS technológiák fejlődését is követték, segítették és az összes valós idejű technológia megújításában fontos szerepet játszanak ma is. Az RTK-adatok továbbításában megmaradtak az egyes gyártók eredeti bináris adatformátumai is, így például a Trimble cég saját formátuma (*CMR: Compact Measurement Record*).

Az RTCM szabványokat az SC-104 jelű bizottság adja ki (*RTCM Special Committee 104*). A bizottság először 1985-ben adott ki ajánlást a DGPS korrekciós adatok formátumáról. Az egyes (RTCM n.xx jelzésű) verziók tartalmilag a következő fejlődésen mentek át, a bővítéseket megnevezve:

- 2.0 verzió: csak a kódérések korrekcióit tartalmazta
- 2.1: GPS kód-és fázismérések nyers értékei és korrekciói
- 2.2: GPS és GLONASSZ kód- és fázismérések valamint korrekciók
- 2.3: további kiegészítő adatok (pl. antenna-típus, fáziscentrum)
- 3.0: hálózatos RTK (Network RTK) adatok
- 3.1: transzformációk

A 2.3 verziójú szabvány, amely DGPS és RTK adatok továbbítására vonatkozik és egy mellékletet is tartalmaz, teljes neve ez: *RTCM 10402.3 RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service, Version 2.3 with Amendment 1 (May 21, 2010)*.

A szabványok rövid leírása nyilvános, de a teljes szöveg csak díjfizetés ellenében tölthető le (www.rtcn.org).

Üzenet Típus	Tartalom	Frissítés
1	DGPS - kód korrekció	1 s
2	DGPS - delta kód korrekció	2 óránként automatikusan
3	Referenciaállomás koord.	17 s
6	Üres üzenet (Null frame)	5 s
14	Idő információ	61 s
15	Ionoszféra ioninformáció	5-10 min
16	Speciális (szöveges) üzenet	300 s
17	GPS efemerisz	2 percenként
18	RTK - nyers fázismérés	1 s
19	RTK - nyers kódérés	1 s
20	RTK - kód korrekció	1 s
21	RTK - fázis korrekció	1 s
22	Referenciaállomás koord. jav.	17 s
23	Antenna információ	19 s
24	Antenna referenciapont koord.	19 s
31	GLONASSZ kód korr.	1 s
59	Szabadon definiálható, pl. FKP	10 s

 - Összetartozó üzenetek

1-4. ábra. Az RTCM 2.xx szabvány üzeneteinek tartalmi elemei

Üzenet Típus	Tartalom	Frissítés
1001	GPS RTK, L1 nyers kód- és fázismérés	1 s
1002	GPS RTK, L1 nyers kód- és fázismérés + CNR	1 s
1003	GPS RTK, L1/L2 nyers kód- és fázismérés	1 s
1004	GPS RTK, L1/L2 nyers kód- és fázismérés +CNR	1 s
1005	Antenna ARP koordináták antenna magasság nélkül	17 s
1006	Antenna ARP koordináták antenna magassággal	max. 29 s
1007	Antenna típus leírás	19 s
1008	Antenna típus leírás + SN	max. 29 s
1009	GLONASSZ RTK, L1 nyers kód- és fázismérés	1 s
1010	GLONASSZ RTK, L1 nyers kód- és fázismérés + CNR	1 s
1011	GLONASSZ RTK, L1 nyers kód- és fázismérés	1 s
1012	GLONASSZ RTK, L1/L2 nyers kód- és fázismérés + CNR	1 s

 - Összetartozó üzenetek

1-5. ábra. Az RTCM 3.xx szabvány üzeneteinek tartalmi elemei

Az **NTRIP** (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) rövidítést a hálózatos RTK és az Internet összekapcsolása hozta létre, mivel az Internet bizonyult a központból sugárzott RTK-adatok leghatékonyabb, legrugalmasabb adattovábbítási csatornájának. Az első ajánlást (*NTRIP, Version 1.0*) a német geodéziai szolgálat (BKG) munkatársai dolgozták ki 2004 szeptemberében. 2009 júniusában az RTCM SC-104 bizottság a módosított (*NTRIP, Version 2.0*) verziót elfogadta RTCM-szabványnak és a további változatokat is az RTCM fogja kiadni.

Az NTRIP az RTCM formátumú adatok Internetes továbbításának szabványa, Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.1. típusú protokollja. A mobil Internetes kapcsolat formája lehet GSM, GPRS, EDGE, vagy UMTS. A felhasználó számítógépe lehet asztali, laptop vagy marokgép (PDA).

Az NTRIP szoftvernek három típusa van: NtripClient, NtripServer, NtripCaster. Az NtripCaster a küldő oldalon futó HTTP szerver-program. A fogadó oldalon az NtripClient és az NtripServer HTTP kliens programokat használják.

A következőkben egy **mintafeladat** bemutatásával ismerkedünk meg a **RINEX fájl szerkezetével**, a nyers mérési adatok természetével, elemzésével. Legyen a feladat a következő. Válasszuk ki egy, a székesfehérvári referenciaállomáson rögzített RINEX formátumú mérési fájlból, egy kerek 15 perces (t_1 jelű) időpontra, és a rákövetkező (t_2 jelű) időpontra vonatkozó mérési adatokat! Töltsünk le Interneten keresztül a mérés napjára érvényes precíz pályaadatokat! Válaszoljunk a következő kérdésekre, célszerűen Excel táblázatos formában:

1. Hány GPS műholdat „észlelt” a vevő a választott (t_1) időpontban?
2. Hány Glonass műholdat észlelt a vevő a választott (t_1) időpontban?
3. Mennyi volt a műhold-vevő távolság méterben az észlelt holdakra, a C/A és a P kód mérésből, a választott (t_1) és a következő (t_2) epochában? Mennyi volt a kódtávolság változása a két időpont között az észlelt holdak esetében? (Ezt és a többi kérdést csak a GPS-holdokra értelmezve válaszoljuk meg).
4. Mennyi volt a fázistávolság változása a két időpont között az észlelt holdak esetében az L1 és az L2 fázismérésnél?
5. Mennyi a t_1 időpontban a precíz pályaadatokból és az álláspont ismert koordinátáiból számítható valódi távolság a vevőantenna és a műholdak között? Mekkora a különbség a számított távolság és a mért kódtávolság között?

A székesfehérvári referenciaállomás (SZFV) 2011. január 4-én GPS-időben pontosan 7 órakor mért adatait választottuk t1 időpontnak, a 15 másodperccel később rögzítetteket t2 időpontnak. A válaszokat *Jámbor Tamás* levelezős hallgatónk megoldása alapján ismertetjük.

2.11	OBSERVATION DATA		H		RINEX VERSION / TYPE			
GN-RINEX 1.3	Geo++ GmbH		04-JAN-11 07:00		PGM / RUN BY / DATE			
RX02RX0 1.9w	Geo++ RX Converter		2011-01-06 13:11		COMMENT			
SZFU					MARKER NAME			
11210H001					MARKER NUMBER			
SG0	FOH1				OBSERVER / AGENCY			
356558	LEICA GRX1200GGPRO		8.00/3.019		REC # / TYPE / VERS			
200925	LEIAT504GG		LEIS		ANT # / TYPE			
4119980.6776	1372039.0305	4656178.8967			APPROX POSITION XYZ			
0.0000	0.0000	0.0000			ANTENNA: DELTA H/E/N			
1 1					WAVELENGTH FACT L1/2			
8 C1 L1 D1 P2 L2 D2 S1 S2					# / TYPES OF OBSERV			
15					INTERVAL			
2011 1 4 7 0 0.0000000 GPS					TIME OF FIRST OBS			
15					LEAP SECONDS			
					END OF HEADER			

1-6. ábra. A választott RINEX fájl fejléce

A RINEX fájl fejlécében számunkra fontos (kimásolandó) adatok a referenciapont koordinátái (APPROX POSITION XYZ), azonban a névvel ellentétben, ezek most hibátlan koordinátának tekinthetők. A székesfehérvári referenciaállomás koordinátái így: X = 4119980.678 Y=1372039.031 Z=4656178.897

További fontos sor a fejlécben a mérések típusát írja le (# / TYPES OF OBSERV), ebben az első szám a mérési adatsorok eredmény-mezőinek számát adja meg. Esetünkben ez a sor: 8 C1 L1 D1 P2 L2 D2 S1 S2 ami azt jelenti, hogy 8 oszlopban lesznek mérési adatok minden egyes rögzített időpontra a következő sorrendben:

- C1: kódtávolság az L1 frekvencián, C/A kód alapján mérve, méterben
- L1: fázisérték az L1 vivőhullámon mérve, ciklus-egységben
- D1: Doppler-szám az L1 frekvencián mérve
- P2: kódtávolság az L2 frekvencián P kód alapján mérve, méterben
- L2: fázisérték az L2 vivőhullámon mérve, ciklus-egységben
- D1: Doppler-szám az L2 frekvencián mérve
- S1: jel/zaj viszony (*Signal/Noise*) az L1 frekvencián
- S2: jel/zaj viszony az L2 frekvencián

11 1 4 7 0 0.000000 0 17G30G21G29G16G31G25G 6G 5G18R21R20R11							
20118370.522	105722751.911	620.907	20118369.266	82381362.291	483.827	51.750	50.000
20843177.899	109531646.979	830.336	20843175.395	85349323.163	647.020	51.000	50.250
21465563.893	112802305.173	-2018.834	21465562.574	87897895.619	-1573.114	50.250	48.250
21973888.960	115473559.057	2452.107	21973886.679	89979394.385	1910.732	49.250	43.250
23122302.833	121508511.597	-2735.874	23122300.803	94681932.714	-2131.845	47.250	41.500
23478715.003	123381480.660	-3527.732	23478715.944	96141411.791	-2748.885	46.750	39.750
23748106.978	124797145.014	2909.441	23748106.033	97244526.486	2267.098	42.750	37.000
23841055.505	125285586.414	-1688.729	23841054.372	97625125.771	-1315.888	44.750	39.500
24351615.626	127968604.488	3229.320	24351614.325	99715800.836	2516.361	44.500	38.500
19907326.271	106528139.069	1144.527	19907328.995	82855246.066	890.188	51.750	49.000
20510662.276	109679734.551	-2091.437	20510667.129	85306493.438	-1626.676	50.500	48.250
20582317.221	109985650.962	-1842.202	20582322.461	85544426.911	-1432.825	49.500	42.750
21409741.100	114447352.451	1699.034	21409746.698	89014644.980	1321.473	49.750	46.250
21942911.449	117215088.392	2548.234	21942918.454	91167319.969	1981.951	48.000	44.250
22967238.840	122428291.773	-4524.928	22967246.927	95222033.485	-3519.387	45.750	35.500
23159768.373	123628419.753	3174.017	23159773.767	96155466.917	2468.681	44.500	40.500
23171525.268	123647705.514	4205.432	23171531.654	96170471.651	3270.888	46.000	42.250

1-7. ábra. A RINEX fájl mérési adatai a t1 időpontban

Most a t1 időpontú mérési adatokat nézzük meg a RINEX fájlban. Az időpont sorában látható, hogy összesen 17 darab műholdat észlelt a vevő. A G jelűek a GPS holdak (G30G21G29G16G31G25G 6G 5G18), ezekből 9 van. Az R (Russian) jelűek a GLONASSZ holdak (R21R20R11R 5R12R10R22R 6), ezekből 8 van. Ezzel válaszoltunk az első két kérdésre.

A számunkra fontos mérési eredményeket kimásolhatjuk egy táblázatba mindkét időpontra vonatkozóan.

Műhold száma	Észlelések típusa					
	C1	P2	L1	L2	D1	D2
G30	20118370.52	20118369.266	105722751.911	82381362.291	620.907	483.827
G21	20843177.899	20843175.395	109531646.979	85349323.163	830.336	647.020
G29	21465563.893	21465562.574	112802305.173	87897895.619	-2018.834	-1573.114
G16	21973888.960	21973886.679	115473559.057	89979394.385	2452.107	1910.732
G31	23122302.833	23122300.803	121508511.600	94681932.714	-2735.874	-2131.845
G25	23478715.003	23478715.944	123381480.660	96141411.791	-3527.732	-2748.885
G 6	23748106.978	23748106.033	124797145.014	97244526.486	2909.441	2267.098
G 5	23841055.505	23841054.372	125285586.414	97625125.771	-1688.729	-1315.888
G18	24351615.626	24351614.325	127968604.488	99715800.836	3229.320	2516.360

1-8. ábra. Nyers mérési adatok a t1 időpontban. (kódtávolságok, fázisértékek és Doppler-értékek a kétfrekvenciás mérésből)

Műhold száma	Észlelések típusa					
	C1	P2	L1	L2	D1	D2
G30	20116611.759	20116610.463	105713509.426	82374160.349	611.326	476.36
G21	20840817.362	20840814.826	109519242.152	85339657.060	823.541	641.719
G29	21471331.340	21471329.961	112832612.969	87921512.073	-2022.329	-1575.836
G16	21966897.001	21966894.753	115436816.001	89950763.427	2446.876	1906.652
G31	23130118.654	23130116.619	121549583.890	94713937.082	-2740.540	-2135.487
G25	23488788.551	23488789.622	123434417.669	96182661.381	-3530.616	-2751.133
G 6	23739803.827	23739802.977	124753511.472	97210526.326	2908.283	2266.195
G 5	23845887.685	23845886.528	125310979.408	97644912.515	-1697.080	-1322.395
G18	24342398.244	24342397.113	127920167.036	99678057.422	3228.911	2516.032

1-9. ábra. Nyers mérési adatok a t_2 időpontban. (kódtávolságok, fázisértékek és Doppler-értékek a kétfrekvenciás mérésből)

A kódtávolságok változását firtató kérdésre egyszerűen válaszolhatunk, ha a megfelelő sorokban lévő értékeket kivonjuk egymásból. A fázistávolságok változását azonban csak akkor tudjuk bemutatni, ha a ciklusegységben adott fázismérési eredményt az L1 frekvencián 0.1903 méterrel, az L2 frekvencián 0.2442 méterrel kell megszorozzuk majd ezt követően végezzük el a kivonást.

Műhold száma	C1 a t_1 epochában	C1 a t_2 epochában	$t_2 - t_1$	P2 a t_1 epochában	P2 a t_2 epochában	$t_2 - t_1$
G30	20118370.522	20116611.759	-1758.763	20118369.266	20116610.463	-1758.803
G21	20843177.899	20840817.362	-2360.537	20843175.395	20840814.826	-2360.569
G29	21465563.893	21471331.340	5767.447	21465562.574	21471329.961	5767.387
G16	21973888.960	21966897.001	-6991.959	21973886.679	21966894.753	-6991.926
G31	23122302.833	23130118.654	7815.821	23122300.803	23130116.619	7815.816
G25	23478715.003	23488788.551	10073.548	23478715.944	23488789.622	10073.678
G 6	23748106.978	23739803.827	-8303.151	23748106.033	23739802.977	-8303.056
G 5	23841055.505	23845887.685	4832.180	23841054.372	23845886.528	4832.156
G18	24351615.626	24342398.244	-9217.382	24351614.325	24342397.113	-9217.212

1 10. ábra. A kódtávolságok változása a t_1 és t_2 időpont között

Műhold száma	L1 a t_1 epochában	L1 a t_2 epochában	$t_2 - t_1$	L2 a t_1 epochában	L2 a t_2 epochában	$t_2 - t_1$
G30	20119039.689	20117280.844	-1758.845	20117528.671	20115769.957	-1758.714
G21	20843872.420	20841511.782	-2360.639	20842304.716	20839944.254	-2360.462
G29	21466278.674	21472046.248	5767.574	21464666.110	21470433.248	5767.138
G16	21974618.289	21967626.085	-6992.204	21972968.109	21965976.429	-6991.680
G31	23123069.757	23130885.814	7816.057	23121327.969	23129143.435	7815.467
G25	23479495.770	23489569.682	10073.913	23477732.759	23487805.909	10073.150
G 6	23748896.696	23740593.233	-8303.463	23747113.368	23738810.529	-8302.839
G 5	23841847.095	23846679.381	4832.287	23840055.713	23844887.636	4831.923
G18	24352425.434	24343207.787	-9217.647	24350598.564	24341381.622	-9216.942

1-11. ábra. A fázistávolságok változása a t_1 és t_2 időpont között

Azt látjuk, hogy az egymásnak megfelelő távolság-változások hasonló értékek. A kétféle kód mérésből kapott változások általában 1 deciméterre térnek el egymástól, míg a fázismérésből kapottak 3-5 deciméterre.

A következő kérdés megválaszolásához előbb a precíz pályaadat fájlt kell tanulmányoznunk. Itt a t_i időpontban növekvő sorrendben a GPS-holdak geocentrikus koordinátáit (X, Y, Z) találjuk, km egységben; majd az utolsó oszlopban a műhold órahíját mikroszekundum egységben. Innen kell kiválasztani a mérés sorrendjében a nekünk szükséges adatokat.

* 2011 1 4 7 0 0.00000000				
PG01	16996.441120	-2273.603421	20204.191217	-197.139796
PG02	-19898.207153	13324.127441	10966.887686	312.677388
PG03	10220.682635	-22677.562658	8435.868368	657.842751
PG04	-25863.423143	6757.564686	913.897119	262.244821
PG05	-7174.089100	14223.204525	21219.824477	-93.438524
PG06	13902.156174	-19043.057465	12198.402526	377.182225
PG07	-19297.199423	-7329.977643	16831.865757	1.290065
PG08	-25761.856763	-969.805328	7508.092876	7.125549

1-12. ábra. A precíz pályaadatok a t_1 időpontban (csak az első 8, aláhúzva a nekünk szükségesek)

A térbeli távolságokat térbeli Pitagorasz tétellel számíthatjuk, ahol az alsó index az i -dik műhold koordinátáit jelöli, az index nélküli koordináták az SZFV állomás ismert értékei:

$$t_{i-számított} = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2}$$

1-1. egyenlet

Az összehasonlításhoz mért távolságokat a műhold δ órahibájával még javítani kell. Ehhez a fénysebesség $c=299\,792\,458$ méter/sec ismert értékét használjuk és a mikroszekundum átváltását szekundumra ($1\ \mu\text{sec}=10^{-6}$ sec). A mért távolságok javított értéke:

$$t_{i-mért} = t_i^{mért} + c \cdot \delta$$

1-2. egyenlet

Műhold száma	Műhold-vevő valódi táv	javított C1 a t_1 epochában	javított P2 a t_1 epochában	valódi – mért (C1)	valódi – mért (P2)
G30	20211450.468	20211466.960	20211465.704	16.492	15.236
G21	20808936.015	20808942.653	20808940.149	6.637	4.133
G29	21518226.582	21518183.153	21518181.834	-43.429	-44.748
G16	21931899.675	21931950.401	21931948.120	50.726	48.445
G31	23130089.403	23130063.646	23130061.616	-25.758	-27.788
G25	23460271.252	23460213.347	23460214.288	-57.905	-56.964
G 6	23861103.487	23861183.364	23861182.419	79.877	78.932
G 5	23813080.893	23813043.340	23813042.207	-37.553	-38.686
G18	24385744.458	24385799.444	24385798.143	54.985	53.684

1-13. ábra. A műhold-vevő távolságok koordinátákból számított és a mért értékének különbségei (kódtávolság korrekciók)

A számított és a mért távolságok különbséget mind a C/A, mind a P kódból megkaptuk, ezek egymáshoz hasonló, több tíz méteres nagyságrendű értékek, amelyek elsősorban az ionoszférikus hatásból, de minden további GNSS hibaforrásból adódnak. A kód-korrekciók továbbításán alapul a DGPS módszer.

5. 1.5 A GNSS technológiákról

Helymeghatározási technológia alatt mindazon módszerek, eljárások összességét értjük, amelyeket a helymeghatározás folyamatában alkalmazunk egy – a helymeghatározáson alapuló – felhasználói igény kielégítése érdekében. A felhasználói igény nemcsak műszaki paraméterekkel jellemzett lehet, hanem a termelékenységgel, gazdaságossággal, versenyképességgel összefüggő is. A helymeghatározási technológia fejlesztésének célja így nemcsak műszaki jellegű (a pontosság növelése, az alkalmazási terület bővítése...), hanem gazdasági jellegű is (a költségek csökkentése, a ráfordítási idő csökkentése...).

A GNSS rendszer a földrajzi hely ismeretére épülő igen sokféle felhasználói igény kielégítésére alkalmas, ennél fogva az alkalmazható technológiák is sokfélék. A csoportosításnál a GNSS alaprendszerek jelenlegi állapotából, a hazai GNSS infrastruktúra jelen fejlettségéből indulunk ki. A következőkben a GNSS technológiák csoportosításánál, megkülönböztetésénél, megnevezésénél figyelembe vett szempontokat vesszük sorra.

Pontossági igény

Amennyiben GNSS-technológiát kívánunk használni egy helymeghatározással vagy kitűzéssel összefüggő feladathoz, előbb tisztáznunk kell, mi a pontossági igény. Pontosság tekintetében beszélhetünk tíz méteres, méteres, szubméteres, centiméteres, vagy milliméteres igényről. Gyakran ezeket a pontossági igényeket a navigációs, térinformatikai, geodéziai és geodinamikai jelzőkkel is illetjük, ami az alkalmazási területekre utal. Ebben a tananyagban csak a centiméteres pontossági kategóriába tartozó, az ún. geodéziai pontosságú helymeghatározással foglalkozunk, a többi pontossági kategóriába tartozó alkalmazásokat csak megemlítjük. A centiméteres pontossági kategória azt jelenti, hogy az újonnan meghatározott pontok pont hibája az 1-5 cm-es tartományba esik.

Abszolút és relatív helymeghatározás

Az egyetlen (magányos) vevővel végzett, csak a vevő nyers kódmérési eredményeit felhasználó helymeghatározást nevezzük abszolútnak. Az abszolút helymeghatározás (*SPP: Single Point Positioning*) pontossága jelenleg a geodéziai pontossági igényeket nem elégíti ki, azok csak relatív helymeghatározással érhetőek el, vagyis legalább két (vagy több) vevő szimultán mérésével és az adatok együttes feldolgozásával. A relatív helymeghatározás során vagy a vevők közötti térbeli vektorok összetevőinek meghatározása a cél, vagy az ismert helyzetű ponton vagy pontokon mérő vevő(k) mért adataiból számított ún. korrekciók figyelembevétele az új pontok mérési eredményeinek feldolgozásakor. Az új pont helyzetét adott ponthoz vagy pontokhoz viszonyítva adjuk meg, innen a relatív jelző.

A GPS-korszak kezdetén DGPS módszerről beszéltek akkor, ha az ismert ponton meghatározott kódtávolság-korrekciókat vettek figyelembe (rendszerint valós időben) az új pontnál. Ma DGNSS módszerről beszélnek, mert nemcsak GPS holdak adatait használják fel; nemcsak kódmerést, de (ritkábban) fázismérést is; a valós idejű korrekciók sugárzása nagy területre terjed ki. A DGNSS pontossága azonban legfeljebb szubméteres.

Kódmérés és fázismérés

A kód-összehasonlítás hibája önmagában méteres (esetleg deciméteres), míg a fázismérése milliméteres. A csak kódmerést használó vevők így nem tartoznak a geodézia érdeklődési körébe, alkalmazásuk viszont a térinformatikai adatgyűjtésben és más területeken jelentős lehet. Geodéziai pontosság csak fázisméréses vevőkkel érhető el.

Valós idejű és utólagos feldolgozás

A geodéziai célú relatív helymeghatározás a GPS-korszak kezdetén csak utófeldolgozással, vagyis a különböző vevők mérési eredményeinek irodában történő kiolvasása és a mérést követő együttes számítása útján volt lehetséges. A méréssel gyakorlatilag azonos időben (*real-time*) történő számítás feltétele volt a referenciaállomás adatainak (illetve korrekcióinak) azonnali továbbítása, vagyis az adatkommunikáció megoldása, ami először a DGPS technikánál valósult meg. A geodéziai célú, fázismérésen alapuló, valós idejű relatív helymeghatározás az 1990-es évek közepén, az RTK technológia szoftveres és kommunikációs megvalósításával jött létre. A valós idejű geodéziai helymeghatározás jelentősége egyre nagyobb lesz, mert a feladatok jelentős része ezt igényli, és mert a megbízhatóság az azonnali visszajelzés miatt jelentősen javulhat.

Statikus és kinematikus módszer

A Földhöz (és egymáshoz) képest mozdulatlan helyzetű vevők közötti relatív helymeghatározás a GPS-korszak kezdetén a geodéziában szinte egyeduralkodó volt. A mozgás közbeni (kinematikusnak nevezett) relatív helymeghatározás elterjedését az inicializálás problémájának gyakorlatias megoldása tette lehetővé. A pontossági igények növelése esetén a statikus módszer jelentősége megmarad, de a kinematikus módszerek elterjedését a mérési időtartamban jelentkező megtakarítás nagyban elősegíti.

Egybázisos és több-bázisos megoldás

Egybázisos megoldásról beszélünk, ha az új pont koordinátáinak meghatározásában csak egyetlen adott pont (*egy bázis – single base*) vesz részt. Ha egy új pont meghatározásához több pontról mért vektorokat használunk fel, akkor több-bázisos megoldást (*multi-base solution*) említünk. Az egy- illetve több bázis értelmezhető egy- vagy több referenciapontként, egy- vagy több vektorként illetve egy- vagy több adott pont koordinátájaként vagy korrekciós adataként és vonatkoztatható mind a valós idejű, mind az utólagos feldolgozásra. A valós idejű multibázisos megoldás magyar elnevezése: hálózatos RTK (vagy hálózati RTK). Az utólagos feldolgozásnál eredeti értelemben azt nevezték multibázisos megoldásnak, amikor egy mérési perióduson belül több vevőt használtak egyidejűleg, ún. szinkron mérési periódusokban történt a mérés és a feldolgozás. Tágabb értelemben nevezhetjük azt a technológiát is multibázisosnak, amikor egyetlen új pont meghatározásához több adott pontot használunk fel.

Autonóm mérés és szolgáltatásra épülő mérés

Az autonóm mérés azt jelenti, hogy a felhasználó saját maga biztosítja a relatív helymeghatározás feltételeit, vagyis a szimultán észlelést, amihez legalább két vevő szükséges, továbbá – valós idejű megoldáshoz – az adatkommunikációs feltételeket. Ennek előnye a függetlenségben, autonómiában van, mert így a felhasználó nem függ más szolgáltatóktól. A felhasználók számának növekedése viszont felveti az ésszerűség és gazdaságosság szempontjait, vagyis azt, hogy a felhasználók referencia-adatokkal (nyers mérési eredményekkel vagy korrekciókkal) való ellátását központilag, szervezeten célszerű megoldani. Ez az egyik ösztönzője a GNSS infrastruktúra kiépítésének.

A GNSS szolgáltatás színvonala

Ha GNSS szolgáltatásokat veszünk igénybe, akkor a GNSS infrastruktúra kiépítettsége, a referenciaadatok köre, az adatszolgáltatás módja, az adatkommunikációs megoldások, a rendelkezésre állás biztosítása, egy szóval a szolgáltatás-minőség lényeges befolyással bír a technológiára. Az infrastruktúra első szintjének tekintjük a passzív GPS hálózat (az OGPSH) meglétét; második szintjének az aktív hálózatot utólagos adateléréssel; harmadik szintnek a valós idejű szolgáltatásokat az aktív hálózatban. Infrastruktúra nélküli állapotról beszélünk, ha térbeli hálózat hiányában csak a hagyományos vonatkoztatási rendszerekre lehet támaszkodni – ez volt a helyzet az 1990-es évek elején Magyarországon. A GNSS szolgáltatásokhoz sorolhatók a feldolgozó központ támogató szoftverei illetve a központi szoftver nyújtotta lehetőségek.

A helyi vonatkoztatási rendszerre való áttérés megoldása

A helymeghatározás végeredményére Magyarországon szinte mindig a HD72 (EOV/EOMA) vonatkoztatási rendszerben van szükség, ezért a transzformációs megoldás is kiemelt jelentőségű. A mérések feldolgozásához hasonlóan a transzformáció is lehet utólagos vagy valós idejű (on-line). A megoldás lehet országos hatókörű (az egész ország területén egységes érvényű), avagy helyi érvényű, más néven lokális. A helyi vonatkoztatási rendszerre való áttérésnél feltételezzük, hogy az OGPSH-ra, mint 3D közös-pont adatbázisra támaszkodhatunk. Csak említés szintjén foglalkozunk azzal az esettel, amikor még nem volt OGPSH, vagy az OGPSH-t ma sem kívánjuk igénybe venni.

A geodéziai pontmeghatározás céljának figyelembevétele

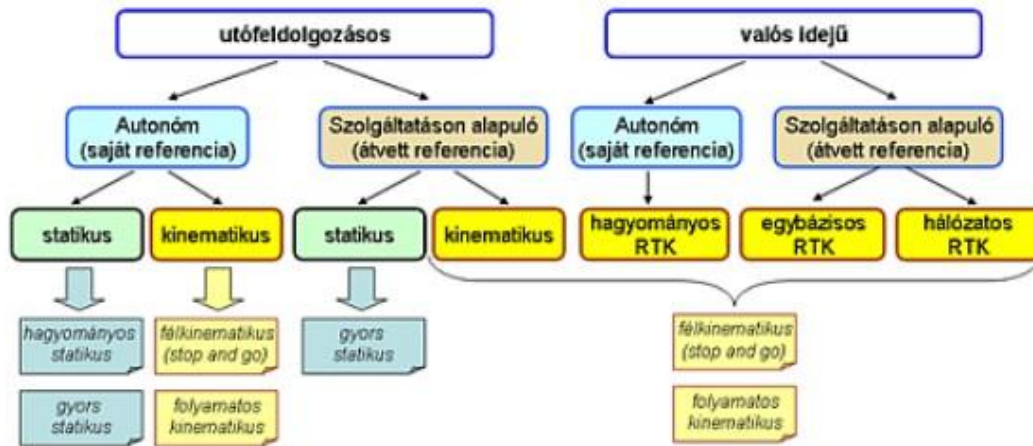
Amennyiben az 1-5 cm-es ponthibájú geodéziai célú igényből indulunk ki, ezen belül is lehetnek olyan további megfontolások, amelyek a technológiát befolyásolják. A geodéziai pontokat szokás alappontokra és részletpontokra osztani, a helymeghatározás irányulhat egyik vagy másik pontcsoportra. A geodéziai pontokat a pontcsoportokon belül további rendűségi osztályokba soroljuk. Gyakorisága, elterjedtsége és tömeges pontigénye miatt a gyakorlatban kétféle geodéziai pontcsoportnak van különös jelentősége: a felmérési alappontsűrítésnek (ami a klasszikus sokszögelést váltotta fel a néhány száz méteren belül elhelyezkedő alappontsűrítésben) és az első- másodrendű részletpontok felmérésének (ami tömegesen előforduló munkafeladat). Ha pontok kitűzése a munka célja, akkor csak valós idejű módszerek jöhetnek szóba. Ha mozgásvizsgálat a cél, akkor a mozgás jellegének, időbeli lefolyásának függvényében ismételt statikus mérések, és egyre inkább folyamatos monitoring jelleggel kinematikus mérések jöhetnek szóba. A helymeghatározás irányulhat térbeli koordináták, csak vízszintes vagy csak magassági adatok előállítására, ami tovább árnyalhatja az alkalmazott módszereket.

A szempontrendszer végén megemlítyük azokat a technológiákat, amelyek geodéziai szempontból nem jöhetnek szóba, de alkalmazásuk kiterjedt, ezek az SPP és DGNSS rövidítéssel jelölhetők.

Bármely GNSS vevő a bekapcsolása után néhány másodpercen belül kódérésre alapozva meghatározza a térbeli helyzetét, általában földrajzi ellipszoidi koordinátákkal. Ezt nevezzük abszolút helymeghatározásnak (*SPP: Single Point Positioning*), amihez az alrendszer által biztosított adatokon kívül semmilyen más infrastruktúra-elem nem szükséges. Létezik olyan abszolút meghatározás, amelyhez precíz pályaadatok és más további modell-adatokat használnak fel, ennek rövidítése: PPP (*Precise Point Positioning*) és új irányzat a valós idejű szabatos abszolút helymeghatározás is (*PPP RTK*), ezekről később lesz szó.

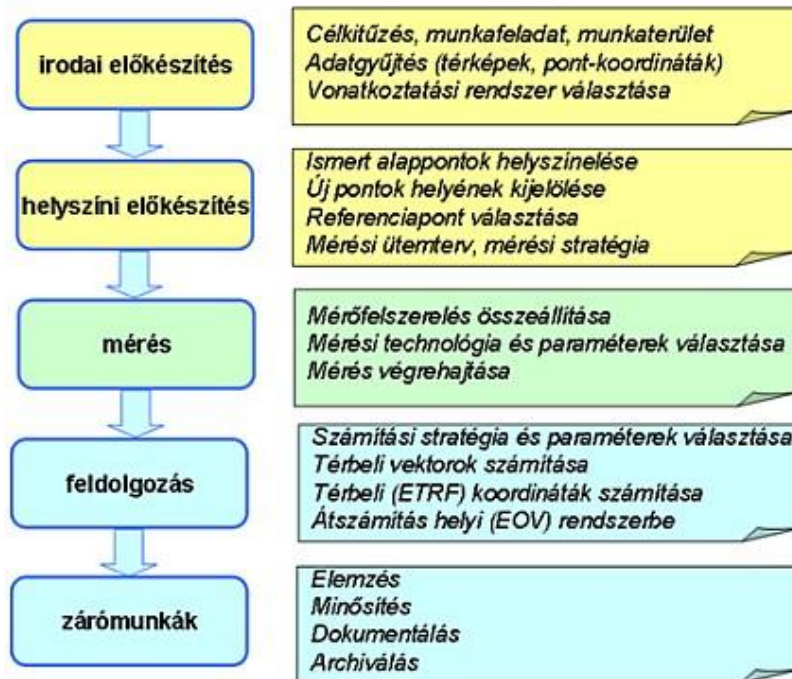
A DGNSS technológiánál a műholdas vagy a földi kiegészítő rendszer szolgáltatásaként kódtávolság-korrekciókat veszünk igénybe valós időben. A mért hatótávolságokat ezzel megjavítva, az SPP megoldásnál pontosabb koordinátákat kapunk. A műholdas kiegészítő rendszerek esetében a korrekciós adatszolgáltatás geostacionárius műholdon át történik. A földi kiegészítő rendszerek esetében a kommunikációs csatorna lehet: URH rádióadó, rádióbacon, kereskedelmi rádióadó oldalsávja (RDS), mobiltelefonos szolgáltatás (GSM). Magyarországon is volt többféle próbálkozás, jelenleg a permanens állomások kódéréses korrekciójának Internetes továbbítása a leggyakorlatiasabb megoldás. A kódéréses adatok a rover tárolt adataival relatív módban utólag is feldolgozhatók, ekkor utófeldolgozásos DGNSS-ről beszélünk.

A vázolt szempontok szerint többféle csoportosítás lehetséges, aszerint, hogy melyik szempontot tekintjük előbbre valónak, dominánsnak.



1-14. ábra. A technológiai jellemzők egy lehetséges csoportosítása

A gyakorlati megvalósítást olyan munkafolyamattal célszerű leírni, amely a geodéziában évszázadok óta bevált, csak most a GPS-technológiára kell azt vonatkoztatnunk.



1-15. ábra. A geodéziai célú GNSS pontmeghatározás általános folyamata és feladatai

6. 1.6 A GNSS feldolgozó szoftverekről

A GNSS mérés automatikus folyamat, szükséges tehát, hogy a feldolgozás is automatizált legyen. A nyers adatok kinyerése is bonyolult szoftvert igényel, de a további feldolgozási folyamat, ami irányulhat abszolút vagy relatív helymeghatározásra, nemkülönben. Az utóbbi két évtizedben a GNSS technika alkalmazásában végbement fejlődés egyrészt az infrastruktúra fejlődésének, másrészt a szoftverfejlesztésnek köszönhető. A szoftverfejlesztés mögött új matematikai modellek, új ötletek, új koncepciók és elméletek találhatók – ilyen módon is kapcsolódik egymáshoz a helymeghatározás elmélete és gyakorlata.

A GNSS szoftverek csoportosítási lehetőségei:

Telepítés (működés) eszköze (helye) szerint:

- GNSS vevőbe épített (firmware)
- vezérlő egységbe (kontrollerbe) épített

- számítógépre telepített (utófeldolgozó)
- permanens állomást vezérlő szoftver
- hálózatos RTK központ vezérlő szoftvere

Célja (pontossága) szerint:

- navigációs (10 méteres, csak kódmerést használó)
- térinformatikai (méteres, elsősorban kódmerésen alapuló)
- geodéziai (centiméteres, fázismérést is használó)

A helymeghatározás elve szerint:

- abszolút (SPP, PPP, PPP-RTK)
- relatív (vektorfeldolgozáson alapuló)

Az alkalmazás helyszíne szerint:

- on-line (távoli számítógépen futtatott)
- off-line (felhasználói gépen futtatott)

Igényessége (felhasználási területe) szerint:

- tudományos (Bernese)
- kereskedelmi (Leica Geomatics, Trimble Geomatics Office)

A következőkben a geodéziai pontosságot biztosító, vektorfeldolgozáson alapuló, utófeldolgozó szoftverekkel foglalkozunk. Minden műszerforgalmazó a műszerhez feldolgozó ún. kereskedelmi szoftvert is ajánl, ami a szokásos, mérnöki feladatok megoldását szolgálja. Az ún. tudományos szoftverek a GNSS hibaforrások modellezésére, minden körülmény részletes figyelembevételére szolgálnak.

1-1. Szoftverek összehasonlítása. táblázat -

kereskedelmi	tudományos
Felhasználóbarát, könnyen elsajátítható	Használata képzettséget igényel (sok paraméter)
Mindennapos gyakorlati feladatokhoz	Tudományos, speciális, szabatos feladatokhoz
Forráskódja nem elérhető („fekete doboz”)	Forráskódja hozzáférhető, továbbfejleszhető
Gyártóhoz (vevőtípushoz) kötött	Vevő-független (RINEX-en keresztül)

A szoftverek részeként vagy különálló programként (ingyenesen) ún. tervező modulok segítik a méréskor várható konstelláció előzetes megismerését. A GNSS tervező programok kiinduló adatai:

- Közelítő (durva) pályaadatok (*almanach* fájl)
- Álláspont földrajzi koordinátái
- Mérés dátuma, időtartama (helyi időben, időzóna)

- Kitakarási ábra (szükség szerint a vektor mindkét végpontjáról)

A közelítő pályaadatok a mérési adatok mellett automatikusan tárolódnak (tehát rendelkezésünkre állnak, ha beolvastunk már mérési fájlt), de a friss almanach adatokat az Internetről is letölthetjük különböző formátumokban. Az álláspont koordinátaira csak közelítéssel van szükség, ezeket általában világtérképről is kiválaszthatjuk. Két eset lehetséges, amikor az időpontot adjuk meg: egy múltbeli állapotot akarunk rekonstruálni, vagy egy jövőbeni helyzetre vagyunk kíváncsiak. Arra kell ügyelnünk, hogy a kívánt időpontban érvényes almanach-fájl legyen kiválasztva. A kitakarási ábrát a két szögérték (azimut, magassági szög) beírásával vagy kijelöléssel adhatjuk meg. Rajzi és/vagy táblázatos formában a következő eredmény-fájlt választhatjuk:

- Műholdak láthatósága
- Holdkelte/holdnyugta - idő grafikon
- Darabszám - idő grafikon
- *Sky plot* (azimut - magassági szög poláris ábra)
- Műhold geometria (DOP értékek)
- Az előző eredmények a kitakarás figyelembevételével

Az utófeldolgozó szoftverek fő moduljai, funkciói a következők:

- Munkaterületek kezelése
- Adatbázisok kezelése (adat import, export)
- Antenna-típusok kezelése
- Vonatkoztatási rendszerek kezelése
- Vektor-összetevők számítása
- Térbeli hálózat kiegyenlítése
- Átszámítás helyi rendszerbe

Az azonos földrajzi területen, azonos időben mért összetartozó mérések, azaz a munkaterületek kezelése más szoftverekhez hasonló módon történik: létrehozás, tárolás, másolás, törlés a fő funkciók. A munkaterülethez időzóna, vonatkoztatási rendszer, hibahatár rendelhető hozzá.

Az adatok behívása és az eredmények kivitele szintén alapvető adatmenedzselési funkció. Importálható: nyers mérési adat, RINEX adat (ez nem minden esetben támogatott), precíz pályaadat, adott pontok listája, kódlista, térkép stb. Exportálható: RINEX adat, koordináta-lista szöveges és térképi formátumban, a feldolgozás paramétereit, eredményeit tartalmazó naplófájl.

A kereskedelmi szoftverek általában csak a saját antennatípust ismerik fel, az idegen típust azonban külön kell definiálni. Ilyenkor a fáziscentrum értékeket kell megadni az antenna referenciaponthoz viszonyítva (esetleg azok változását is a térbeli irány függvényében). Ha permanens állomás adatait használjuk, tájékozódni kell, hogy a mérési adatok az antenna melyik pontjára vonatkoznak.

Minden GNSS feldolgozó szoftverben alapértelmezett a WGS84 vonatkoztatási rendszer, amelyben a koordináták kétféle módon, térbeli derékszögű vagy ellipszoidi földrajzi formában jeleníthetők meg, ezek egyenértékűek. A helyi vonatkoztatási rendszerek definiálásához azok alapfelületét, vetületét, geoid modelljét, a különböző transzformációs modelleket és azok paramétereit kell tudni kezelni. A transzformációs paraméterek rendszerint hozzárendelhetők egy munkaterülethez, majd ezt követően az adatok tárolhatók a helyi rendszerben.

Az érdemi számítási modulok bemenő és kimenő adatait táblázatosan foglaljuk össze. A számítás folyamata három lépésre különíthető el. Először a nyers mérési adatokból térbeli vektorokat kell számítani, különböző számítási paraméterek megadása mellett. Ezt követi a végleges térbeli koordináták előállítása (legegyszerűbb

esetben a referenciaponthoz való összeadással). Végül transzformációval a helyi vonatkoztatási rendszerben kapjuk meg a végleges eredményt.

1-2. A feldolgozás alapadatai az egyes számítási modulokban. táblázat -

		Bemenő adat	Kimenő adat
1.	Térbeli vektorok számítása	P, ϕ Kódtávolság, fázistávolság	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ Vektorösszetevők, kovariancia-mátrix
2.	Térbeli koordináták számítása	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	X, Y, Z Geocentrikus térbeli koordináták, pontosság
3.	Helyi koordináták számítása	X, Y, Z	$y, x, (H)$ Helyi vízszintes koordináták, magasság

A továbbiakban a *Trimble Geomatics Office (TGO)* és a *Leica GEO Office (LGO)* egyes moduljainak elnevezését mutatjuk be.

1-3. A TGO és LGO modul elnevezéseinek összehasonlítása. táblázat -

Modul neve magyarul	Modul neve angolul	(TGO)	LGO
Tervezés	Planning	Planning (Quick Plan)	Satellite Availability (Survey design)
Adatátvitel	Data transfer	Import-export	Tools/Import-export
Adatfeldolgozás/ vektor-feldolgozás	Data processing	Process GPS baseline	Data processing
Térbeli hálózat kiegyenlítése	Network computation	Adjustment	Adjustment
Transzformációk	Datum and coordinate transformation	GPS Site calibration	Datum/Map
Adatbázis kezelés	Data base management	Project CAD	Management/ Projects
Dokumentálás	Utilities	Report	Report



1-16. ábra. Két kereskedelmi szoftver bejelentkező képernyő-képe

A relatív GNSS feldolgozás számítási lépéseinek összefoglalása:

- Új projekt létrehozása (beállítások, vonatkoztatási rendszer)
- Mérések beolvasása
- Számítandó vektorok kijelölése, számítás paramétereinek beállítása
- Vektorszámítás (előtte: poligonzárás, ellenőrzés)
- Térbeli kiegyenlítés
- Transzformáció
- Dokumentálás (naplófájlok, vázlatok), adatmentés (listák)

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

Beutler G: *Revolution in Geodesy and Surveying.* Published in Proceedings FIG, Working Week 2004

Global and European Reference Systems: Theory and Practice. 2000, IERS website: lareg.ensg.ign.fr

Busics Gy : *Technológia-váltás a GNSS korszakban.* Geomatikai Közlemények X. kötet, Sopron GGKI, 2006

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

Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J : *Global Positioning System Theory and Practice.* Fourth, revised edition. Springer-Verlag. Wien, New York 1997

Husti Gy, -Ádám J, Bányai L, Borza T, Busics Gy, Krauter A : *Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés).* Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2000

Kenyeres A : *GPS vagy GNSS?* Űrvilág magazin, 2008, www.urvilag.hu

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