

Szextánstól a hálózati RTK-ig

Dr. Borza Tibor osztályvezető

Földmérési és Távérzékelési Intézet, Kozmikus Geodéziai Observatórium



A Geodézia és Kartográfia 2008/8 számában dr. Nagy Dezső egy a szakmánkat érintő érdekes cikket közölt a földrajzi hosszúság meghatározásának problémájáról. Ez a cikk adta az ötletet, hogy jelen írással csatlakozzam az elindított gondolat-hoz, és a hosszúságon túl, általában a navigációs meghatározás technikáit és azok pontosságát kíséreljem meg bemutatni, az ókortól napjainkig. A cikk a Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Földmérő napon, 2008. június 13-án elhangzott előadás szerkesztett változata.

Az ember párezer év alatt meghódította a földrészeket, nem sokáig jelentettek akadályt az óceánok. Navigálásra a felfedező utakon is szükség volt, egyrészt hogy haza-, másrészt hogy visszataláljanak. A kezdeti, emlékeztetőre és becslésre hagyatkozó navigálást a mérésekre alapozott technikák váltották fel. Mik voltak ezek a technikák, és milyen pontosságot lehetett elérni velük? Milyen lépcsőkön át jutottunk el a cm pontos valós idejű helymeghatározásig?

Szárazföldön a természetes és mesterséges tereptárgyakat használtuk és használjuk ma is navigálásra, de hogyan navigáltunk a tengereken, ahol mindez nem áll rendelkezésre?

Elődeink az ó korban behajózták a Földközi-tengert, de mert egy-egy kiadós vihar következtében el-eltévedtek (lásd Odüsszeusz), igyekeztek az óceánok mentén, a partközelen maradni. A navigálás kezdetben tehát az irány tartásában és az idő becslésében merült ki, amihez a Napra, esetleg a csillagokra támaszkodtak.

Az első jelentős áttörést az iránytű felfedezése jelentette, amivel a kínaiak járultak hozzá az egyetemes fejlődéshez. Iránytűvel már borult időben is tudták tartani az irányt.

Az európai nagy felfedezések kiváltó oka, a keleti – mindenek előtt a kínai és indiai – áruk elérése az arab befolyás alatt álló területek megkerülésével, tehát nyugati irányból. Az újkor kezdetén a navigálást a geodéziában jól ismert sokszögelés mintájára végezték. Lényege az, hogy megmérték az azimutot és a hajó sebességét, amit

távolságra számoltak át. Ahogy haladtak előre, rajzolták fel a megtett utat a térképre. A sebesség méréséhez egy kb. 300 méter hosszú, úgy 15 méterenként csomókkal tűzdelt spárgát dobtak a vízbe. Ahogy a hajó haladt, a spárga csavarodott le, és számolták hány csomó csavarodik le fél perc alatt. A csomó mértékegység ma is használatos, 1,85 km/óra.

Milyen pontosságot lehetett ezzel a technikával elérni? Iránymérésben elkövetett 1 fok hiba, 100 km után közel 2 km hibát okoz a menetirányra merőlegesen. Az imbolygó hajókon a kezdetleges műszerekkel persze aligha tudtak 1 fok pontosan mérni, így az ebből adódó hiba néhány 100 km után már 10 km nagyságrendű volt. A távolságmérés még nagyobb gondot okozott, mert akár 5–10%-os hibát is vétettek, hiszen csak időnként mérték a sebességet. Ennél a módszernél a hibák, amint ez sokszögelésnél jól ismert, a megtett út függvényében halmozódtak. Nem véletlen, hogy még ma is két sziget (San Salvador és Samana Cay) gondolja úgy, hogy Kolumbusz náluk lépett először partra (National Geographic Vol. 170, No.5., 1986. november). A két sziget távolsága úgy 120 km. A relatív meghatározási technika (az előző pozícióhoz képest történik a meghatározás) hátránya, hogy egy vihar után (amikor nem lehetett mérést végezni) nem tudhatták, hová is sodródtak. Szükség lett volna az abszolút meghatározási technikára.

A sokszögeléses módszerrel párhuzamosan elméletben egy korszerűbb módszer is létezett, de a korabeli megfigyelő műszerek technikai színvonala még sokáig nem tette lehetővé annak gyakorlati alkalmazását. Ez a technika a geodéziában ugyancsak jól ismert földrajzi helymeghatározás. Itt a csillagok segítségével határozzák meg a földrajzi szélességet, és az idő mérésével a hosszúságot. A szélesség esetében már nem halmozódik a hiba a megtett út függvényében, ami egy jelentős előrelépés, de a hosszúság mérésénél közvetve igen, mert az órák hibája az idő múlásával növekszik.

A szélesség meghatározása egyszerű. Megmérjük a Sarkcsillag (Poláris) zenitszögét és kivonjuk 90 fokból. A kézben lógatott szextánssal (1. ábra), a Sarkcsillagra végzett irányzást kezdetben jó, ha egy fok pontossággal el tudták végezni. Egy fok – átszámítva – a földfelszínen mintegy 110 km-t jelent (40 000 km felel meg 360 foknak), ezért a módszert akkor volt értelme használni, amikor a szögmérés pontossága elérte a tizedfokot. A Poláris mellett természetesen más csillagokkal is lehet dolgozni, de az lényegesen bonyolultabb feladatot jelent. Nagyobb problémát okozott a hosszúság meghatározása, ameddig nem alkották meg a megfelelő pontosságú órát. A módszer az időmérésen alapszik. Ha egy adott meridiánon, pl. Greenwich-en éppen déli 12 óra van, mert a Nap éppen akkor delel, akkor az egyenlítőn mérve úgy 1700 km-el nyugatra a Nap még csak 11 óránál jár, keletre viszont már du. 1 óránál tart. Ebből következik, hogy a helyi idő és a Greenwichi idő különbsége éppen a földrajzi hosszúságot adja meg idő mértékegységben. Egy óra a mi szélességünkön kb. 1200 km-nek, egy időperc pedig 20 km-nek felel meg. Annak ismeretében, hogy az 1700-as évek közepéig az órák naponta közel egy perccel hibáztak, a hosszúságmérést nem sok sikerrel alkalmazták. Az ingaórák, majd a hajón is alkalmazható kronométerek kifejlesztésével a XVIII. század közepére sikerült elérni, hogy a hiba napok, sőt hetek alatt is csak néhány másodperc legyen. Ekkorra már a szélesség meghatározása is javult, így az 1900-as évekre, a rádiós technika megjelenésekor, a 10 km-es pontosság elérése, a leg-hosszabb utakon is reális volt.

A földrajzi helymeghatározást – egészen az 1980-as évekig – mi földmérők is alkalmaztuk. A geodéziában elérhető pontosság, alkalmazva a Wild T4 típusú műszert,



1. ábra Szextáns

1–2 méter, de csak több napos, gyakran több hetes munkával. A szárazföldi, precíz földrajzi helymeghatározás nélkülözhetetlen volt az ismeretlen földrészek térképezésénél.

A hajózásban szerepet kaptak a világítótornyok is (2. ábra), amelyeket azonban a Föld görbülete miatt csak 30–40 km-ről lehetett meglátni. Segítségükkel sikerült az aktuális navigációs hibát még a kikötő előtt korrigálni, és a zátonyokat elkerülni.

A rádiózás elterjedésével a világítótornyokat felváltották a rádióadók, amelyekkel a hatótávolság szinte korlátlan lett.

A navigátor meghatározta az adóktól való távolságot, majd kimetszette saját helyét a térképen. Az egyik legtovább élő ilyen rendszer a Loran C (3. ábra). Nézzük a módszer pontosságát. Aránylag kis távolságon, tehát a kikötőben és környezetében lehetséges mikrohullámú (méter hosszúságú) frekvenciát alkalmazni, ezért a pontosság is méter körüli. A mikrohullám közel egyenes vonalban terjed, ezért a földgömbület miatt az óceánokon nem alkalmazható. Ezer km-es távolságok áthidalása rádióval csak hosszúhullámon (több km) lehetséges, amelynek azonban pontossága is több km. Az óceánok közepén tehát továbbra is a km-es pontosság volt a jellemző.



2. ábra Világítótorony Krétán

Az elektromágneses hullámokkal végzett távolságmérés a geodéziában is jelentős szerepet játszott, de mára néhány speciális feladat kivételével, az egy dimenziós távmérőket kiszorította a 3D műholdas technika.

Tengeren, de akár a sivatagban is, ahol nincsenek te-reptárgyak, vagy rossz látási viszonyok mellett bárhol, égetően szükség volt olyan technikára, amely képes a 100 m alatti pontosságra a fölfelszínen, tehát globálisan. A globális technika egyet jelent az űrkutatással. Rálátás az egész Földre az űrből lehetséges.

A navigáció, de a geodézia is, már ugrásra készen várta az űrkorszakot, és már az első szputnyik jeleiből megfigyelték a sugárzott jelek frekvencia csúszását. Erre a jelenségre (Doppler effektus) – alapozták egy évtizeddel később – az első műholdas, globális helymeghatározó rendszert.

Műholdas helymeghatározásnál a világitótornyok (geodéziai nyelven ismert pontok) szerepét a műholdak veszik át. Nagy probléma azonban, hogy ezek a „világitótornyok” mozognak, mégpedig másodpercenként több km-es sebességgel. Első számú feladat volt tehát ezeknek a gyorsan mozgó műholdaknak a pillanatnyi helyét meghatározni, hogy felhasználhassuk őket a helymeghatározáshoz. Ha ugyanis tudjuk, hogy hol voltak a mérés pillanatában, akkor legalább három holdra végzett távolságméréssel meghatározhatjuk, kimetszhetjük saját helyünket. A távolságok mérése itt is rádiós technikával történik. Nehezíti a feladatot, hogy a műholdak helyét nem utólag, hanem előre kell ismerni, hogy az a mérés pillanatában már kéznél legyen. A pályaszámítás alapjait már Kepler lerakta, de a bolygók pályaszámítására megalkotott képletek a műholdakra nézve csak durva közelítést adnak. A Föld légköre, gravitációs tere, a napszél és sok más zavaró hatás következtében a műholdak letérnek a kepleri pályáról. A perturbáció számítás kidolgozásával, nagy nemzetközi összefogással, a 70-es évekre sikerült elérni, hogy egy napra előre, mintegy 10 méteres pontossággal meg lehessen adni a műholdak helyét. (Ebben a hatalmas munkában a hazai műholdmegfigyelés is kivette részét.)

A technikai akadály elhárult, már csupán a globális helymeghatározó rendszer megvalósításához szükséges, nem csekély mértékű támogatást kellett megszerezni, ami stratégiai szempontok miatt, az akkori két szuperhatalom katonáinak sikerült először. A 60-as évek végére, az amerikai Tengerészeti Minisztérium létrehozta az NNSS helymeghatározó rendszert, amely a műholdra végzett távolságkülönbségek mérésével végezte a helymeghatározást.

A Doppler-technikával úgy óránként lehetett meghatározni egy-egy pozíciót, kb. 50 méteres pontossággal, bárhol a világon. Főleg a tengeri

hajózásban terjedt el, de érdekes módon, kezdetől lehetővé tették a civil felhasználók hozzáféréseit is. (A kezdetben embargós műszert, a régióban elsőként Magyarország szerezte be 1978-ban.)

Az első műholdas technika volt, amely bizonyos területeken már kiváltotta a hagyományos technikát, ugyanis speciális módszerekkel elérhető volt vele a dm-es pontosság is. Ott, ahol nem volt geodéziai hálózat (pl. afrikai országban), hatékonyan alkalmazták. Nálunk az I. rendű vízszintes hálózat ellenőrzésére, finomítására használtuk. Az NNSS napi geodézia feladatok végzésére még nem volt sem elég pontos, sem elég hatékony.

Az oroszoknak is megvolt a saját Doppler rendszerük, a Cikkada, de a civilek nem kerülhettek kapcsolatba vele. Említésre érdemes, hogy orosz kereskedelmi flotta egy magyar félkatonai elektronikai cégtől rendelt Doppler-vevőket, mert a Cikkada-hoz nekik sem volt hozzáférésük.

A 80-as években a kis-méretű atomórák megjelenése, a számítástechnika miniatürizálása, a kommunikációs és kódolási technika fejlődése lehetővé tette a GPS típusú rendszerek kiépítését. Döntő különbsége a Doppler rendszerhez képest, hogy egy óra helyett a másodperc tört része alatt



3. ábra Loran C jelvétele NewYork kikötőjében

végezhető egy-egy meghatározás, továbbá a mérés pontossága is javult, mert a Doppler-technika méteres hullámhosszúságát egy nagyságrenddel csökkentették. A műholdak számát megötszörölték, és több mint húszszor magasabbra tették a pályát. A GPS technikánál 25–30 db, 20 000 km magas pályán keringő műhold biztosítja az „ismert pontokat”, ügyelve arra, hogy minden időben, bárhol, legkevesebb négy hold látható legyen. A GPS vevő által egy időben több műholdra mért távolságokkal – hasonlóan a rádiós navigációs módszerhez, csak három dimenzióban – ki lehet metszeni a vevő helyét.

A GPS technika következtében a több ezer év alatt szerzett navigációs tudás egy csapásra elértéktelenedett, koordináta leolvasássá egyszerűsödött. Az eredeti rendeltetése szerint katonai navigációs rendszer használata kiszélesedett, a közlekedés mellett alkalmazzák pl. a mezőgazdaságban és a térinformatikában mindenütt, ahol a

helyismeret is szükséges valamilyen más adathoz. A lehetőségek tárháza csak most kezd feltöltődni. Rövidesen nem lesz mobil telefon GNSS chip nélkül. Itt tudatosan írtunk GNSS-t, mert az amerikai GPS mellett létezik az orosz GLONASS, épül az EU Galileo, és Kínában is terveznek egy saját rendszert. Nem mintha nagy szükség lenne ezekre a GPS mellett, de a nagyhatalmak nem akarnak kiszolgáltatott szerepbe kényszerülni. Ezeket az alapszereket a következőkben tárgyalt kiegészítő rendszerekkel együtt nevezzük GNSS-nek.

Egyetlen GNSS vevővel végzett helymeghatározás, legyen az akár a legdrágább geodéziai műszer, nem pontosabb, mint néhány méter. Vannak olyan szakterületek – mindenek előtt a geodézia –, ahol ez kevés. Ugyanakkor azt a kényelmet, amit az egyetlen vevővel végzett ún. abszolút helymeghatározás biztosít, jó lenne elérni a cm pontosságú technikánál is. (Nagy pontosságú GPS meghatározást kezdettől lehetett végezni, de csakis több vevővel és utólagos feldolgozással.) A feladat tehát az, hogy egyetlen vevő használatával a méteres pontosságot feljavítsuk cm-re, valós időben.

Mindezt jelentős beruházással és fejlesztéssel, de meg lehet oldani. Ki kell építeni a GNSS kiegészítő rendszert, amely relatív helymeghatározással tudja biztosítani a szükséges pontosságot. Relatív mérésnél nem a Föld centrumához, hanem a viszonylag közeli ponthoz képest határozzuk meg magunkat (4. ábra). A kisebb méretek nagyobb pontossággal párosulnak. Relatív módszernél egy sor hiba kiesik, így válik lehetségessé a 20 000 km távoli holdakra végzett méréssel a cm, sőt mm-es pontosság elérése. A kiegészítő rendszer alapja ezért az aktív GNSS hálózat, amelynek referencia pontjai jelentik az ismert pontokat.

Itthon, a javaslatától számítva, tíz év kártartó munkával, nagyjából egyidőben szomszédainkkal, lényegében kiépült az aktív GNSS hálózat. Jelenleg, országhatáron belül több mint 30 állomás üzemel, de közel egy tucat határon túli állomást is bekapcsolunk a hálózatba. (A bekapcsolások még folytatódnak.)

A kiegészítő rendszer másik lényeges eleme a szolgáltató központ. Ez magától adódóan a KGO-ban kapott helyet. Innen történik a hazai állomások felügyelete, a permanens állomások méréseinek fogadása, a mért adatok feldolgozása, itt képezik azokat a korrekciókat, melyek a felhasználók méteres pontosságú méréseit valós időben képesek feljavitani 1 cm-re. A korrekciók Internet és mobil adattovábbítás felhasználásával jutnak a felhasználás helyszínére.

A kiegészítő rendszer által elvégzett folyamatot elmondani hosszadalmas, de a valóságban mindez egy másodpercen belül játszódik le, így a műszer kijelzőjén a cm pontos koordináták közel valós időben olvashatók le. Hogy milyen változást jelent a geodéziában egy-egy pont megbízható

meghatározása perc, sőt másodpercek alatt, arról a földmérők idősebb képviselői sokat tudnának mesélni. Ma már a geodéziai helymeghatározás döntő hányadát nálunk is így végzik.

A navigáció és a geodézia alapfeladata lényegében, csak a pontosságban különbözik. A navigáció történeti fejlődése ezért egyben a geodézia története is. Nincs ez másképpen a műholdas helymeghatározásnál sem, ahol egy célzottan navigációs technikára épült rá a precíz geodéziai helymeghatározás. Befejezésül egy sokatmondó adat: az első szextánstól a hálózati RTK-ig tartó műszaki fejlesztések következtében, a helymeghatározás mintegy tízmilliószor lett pontosabb.

From the sextant to network RTK

Borza, T.

Summary

Humans conquered all continents within some thousands of years, even the oceans did not mean obstacle for long. Navigation was inevitable during discoveries partly to find the way back home or back to the discovered land. Navigation based on memory and estimation where changed to techniques based on measurements. What were these techniques and what accuracy could be achieved? What steps were needed to get to cm accurate real time positioning?



4. ábra RTK a legpontosabb navigációs technika