

Műholdas helymeghatározás 5.

RTK és más kinematikus technológiák

Dr. Busics, György

Műholdas helymeghatározás 5.: RTK és más kinematikus technológiák

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

Hagyományos RTK GNSS technológiát az 1990-es évek közepe óta van lehetőség alkalmazni, de igazából az új évezred kezdetétől kezdődött a széleskörű használat, amikor az aktív hálózatok szolgáltatásaként megjelent a hálózatos RTK. A modul a Magyarországon is használható VRS, FKP, MAC eljárások hátterét mutatja meg, de kitér a hagyományos RTK és az utófeldolgozásos kinematikus módszerre is.

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

Tartalom

5. RTK és más kinematikus technológiák	1
1. 5.1 Bevezetés	1
2. 5.2 Utófeldolgozásos kinematikus technológia	1
3. 5.3 Hagyományos RTK	3
4. 5.4 Hálózatos RTK technológia	4
4.1. 5.4.1 A VRS koncepció	7
4.2. 5.4.2 Az FKP koncepció	8
4.3. 5.4.3 A MAC koncepció	9
4.4. 5.4.4 A PPP RTK koncepció, terv	11

5. fejezet - RTK és más kinematikus technológiák

1. 5.1 Bevezetés

A hazai GPS-korszak kezdetén, az 1990-es évek elején gyakorlatilag csak statikus GPS méréseket lehetett alkalmazni geodéziai pontsűrítésre. A kinematikus módszer csak utófeldolgozással, nehézkesen volt használható a gyors inicializálás megoldatlansága miatt. 1994-ben jelent meg (a mai szóhasználat szerinti) hagyományos RTK, amit neveztek GPS-mérőállomásnak is, mivel a mérőállomás funkciójához hasonlóan geodéziai pontosságú felmérésre és kitzúzásra is alkalmas volt. A műszerfelszerelés azonban (különösen hazai körülmények között) drága volt, mivel két darab kétfrekvenciás vevőt, rádió adó- vevőt és korszerű szoftvert kellett a felhasználónak beszereznie, üzemeltetnie.

Az aktív hálózatok kiépítése és az új matematikai modelleken alapuló szoftvertechnika fejlődése hozott áttörést az RTK technológiában. A folyamatosan üzemelő permanens állomások, központi adatszolgáltatással és szervezéssel egyre inkább valós idejű adatokat kezdtek szolgáltatni, kezdetben csak egy állomásét, majd több állomásét is feldolgozva. Az új évezred első éveitől kezdődően fokozatosan kialakult a hálózatos (más szóhasználat: hálózati) RTK módszer. Ehhez szükség volt az adattovábbítás új csatornájának, az Internetnek a felhasználására, az RTK-adatok internetes szabványának (NTRIP) bevezetésére és a központban számos szerveren üzemelő intelligens szoftverek kifejlesztésére.

Ez a folyamat (a világtendenciákkal közel egyidőben) Magyarországon is végbement, a lassabb megvalósítás oka csak a pénzügyi nehézségekben keresendő. A hálózatos RTK rövid idő alatt népszerűvé vált a geodéziai felhasználók körében, mert gyors, gazdaságos és kényelmes helymeghatározást tesz lehetővé egyetlen vevővel, cm-es pontossággal.

Ebben a modulban a hagyományos és a hálózatos RTK mérési lehetőségeit mutatjuk be. A hálózatos RTK mindhárom eddigi megvalósítása (ún. koncepciója) Magyarországon is elérhető, így a VRS, az FKP és a MAC elvét szakirodalom alapján részletesebben is ismertetjük. A német Geo++ cég (amely a hálózatos RTK hazánkban alkalmazott szoftverét is fejleszti) publikációi alapján vázoljuk a PPP RTK koncepció lényegét is. A PPP RTK ezidáig a gyakorlatban teljes mértékben még nem valósult meg, de ezen az elven lehetséges már utófeldolgozáshoz virtuális adatok generálása (virtuális RINEX).

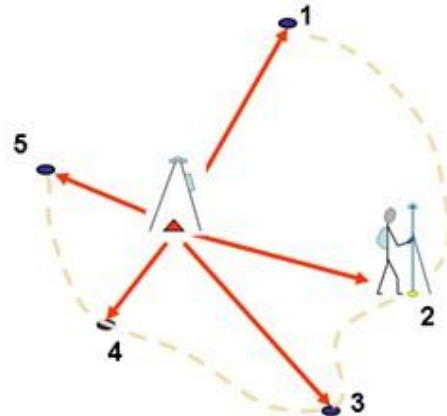
A hazai GNSS központ szolgáltatásai az utóbbi néhány évben is jelentősen fejlődtek, bővültek, nem kétséges, hogy a jövőben is komoly változások várhatók. A hazai infrastruktúra helyzetéről, szolgáltatásairól a penci KGO munkatársai eddig rendszeresen beszámoltak, közleményeiket érdemes elolvasni. Az aktuális változásokról Internetről, hírlevelekből, friss cikkekből tájékozódhatunk.

2. 5.2 Utófeldolgozásos kinematikus technológia

A vevőantenna mozgás közbeni geodéziai pontosságú relatív helymeghatározására a statikus mérésekkel egyidőben nyílt lehetőség, de a gyakorlati alkalmazás kezdetben akadályozott volt. Az egyik akadályt a kevés műhold, a másik akadályt az inicializálás gyakorlatias megoldásának hiánya jelentette. Az inicializálásra mérés technikai szempontból kezdetben két lehetőség volt: statikus méréssel meghatározni a mozgó vevővel bejárando útvonal kezdőpontját (az inicializáló pontot), vagy a térbeli rendszerben már ismert inicializáló pontról indítani a mozgó vevőt. Az inicializálás megoldása után további problémát jelentett a jelvesztés (az észlelt műholdak számának négy alá csökkenése), ami természetes, takarásos környezetben szükségszerűen bekövetkezett; ilyenkor újra-inicializálásra volt szükség. A kinematikus módszert támogató inicializálást az RTK rendszerek megjelenése hozta el, ahol megvalósították az menet közbeni inicializálást (*On-The-Fly – OTF*). Miután az OTF inicializálást az utófeldolgozó szoftverekbe is beépítették, a kinematikus mérés geodéziai alkalmazása szélesedett. Megkülönböztetünk félkinematikus (*Stop-and-go survey – SGS*) és valódi kinematikus (*True kinematic survey – TKS*) mérést. (A félkinematikus kifejezést *Krauter András* alkalmazta először a stop-and-go magyar megfelelőjeként). Mivel a pontok terepi azonosítását csak a félkinematikus mérés teszi lehetővé – egyedi diszkrét pontok mérésére csak ez alkalmas – e jegyzetben a folyamatos kinematikus méréssel nem foglalkozunk. A félkinematikus mérés pontossága nem marad el a gyors statikustól, mivel azonban tartórúdon történik a megállásos helyeken az antenna felállítása, a tartórúd mozdulatlanságára és függőlegességére is ügyelni kell, ha gondos pontazonosításra van szükség. A félkinematikus mérés hátránya a statikushoz képest,

hogy az útvonal bejárása közben is biztosítani kell a folyamatos jelvételt (általában négynél több műholdra). Az újrainicializálás OTF esetén nem alapvető probléma, de ennek is van egy meghatározott időtartama (ami percekben mérhető). A félkinematikus mérés lényeges előnye viszont, hogy egy meghatározandó ponton csak nagyon rövid ideig kell mérni: a megállásos helyen a mérési időtartam az adatrögzítési időköz függvénye, ami általában 1 másodperc és 30 másodperc közötti érték. Tömeges pontmennyiség esetén félkinematikus módszernél töredékére csökkenhet a mérési folyamat időtartama, így mint gazdaságos technológiát érdemes külön kezelni.

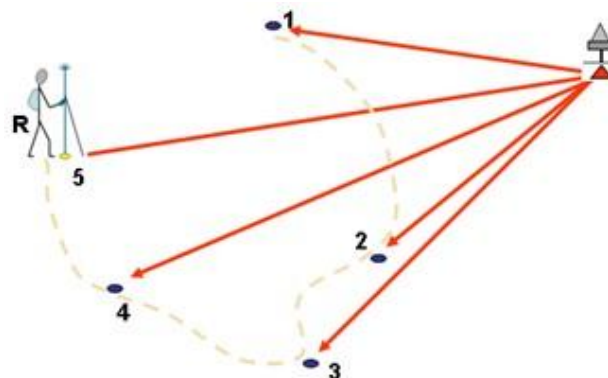
Félkinematikus mérés OGPSH pontokra támaszkodva



5-1. ábra. Félkinematikus mérés; referencia: OGPSH

Először a mérés referenciapontját kell telepíteni. Ez lehet OGPSH pont, vagy OGPSH-pontokból előzőleg meghatározott térbeli alappont. Telepíthetünk ideiglenes referenciapontot magunk is, a GPS mérés szempontjából ideális (takarásmentes) helyen, ahol a referenciavevő őrzése is megoldott. Az ideiglenes referenciapont meghatározásához a mérési adatokat ilyenkor a kinematikus útvonal során fogjuk gyűjteni úgy, hogy az útvonal egyes megállásos pontjai OGPSH pontok lesznek. Ha nem esik útba az ismert OGPSH pont, akkor külön felkeressük (ez egy külön „útvonal” lesz). Mivel egy-egy kinematikus útvonal időtartamának is van minimuma (ennek hossza függ az inicializálás megoldásától), érdemes az OGPSH pontra érkezéskor a GPS vevőt mielőbb bekapcsolni, elindítani a mérést, majd a pontraállást követően rögzíteni a pontszámot és a megállásos helyhez (OGPSH ponthoz) tartozó adatokat. A mérendő pontokat tehát bejárhatjuk olyan útvonalak megállásos helyeként, amely pontok között folyamatos a jelvételezés, de a mérendő pont lehet egy különálló útvonal (láncolat) egyetlen diszkrét pontja. A kinematikus útvonalak feldolgozása ezután irodában, utólag történik, amelynek végeredményeként csak a megállásos helyek koordinátái fontosak számunkra (az útvonal többi pontja nem). Kétségtelen hátrány a real-time módszerekhez képest, hogy a pontosságról vagy megfeleléségről csak az irodában szerzünk tudomást.

Félkinematikus mérés permanens állomásra vagy virtuális pontra támaszkodva



5-2. ábra. Félkinematikus mérés; referencia: permanens (vagy virtuális)

Ez a technológia alapvetően azonos az előbbivel, a lényegi különbség az, hogy saját bázisállomás helyett permanens állomást használunk. Ez – vagyis az infrastruktúra egy elemének, az aktív hálózat egy pontjának használata – gazdasági előnnyel jár, ezért kiemelésre érdemes. A terepi mérésnél félkinematikus módszerrel dolgozunk, optimális útvonal-bejárásra törekszünk. Ellenőrzés céljából felkereshetünk adott pontokat is. A

feldolgozásnál a munkaterülethez legközelebbi egy vagy több permanens állomás adatát használjuk fel. A mérés előkészítése során ügyelni kell arra, hogy a mozgó vevőnk adatrögzítési időköze a permanens állomások rögzítési időközével összhangban legyen. Itt is megemlítjük, hogy a permanens állomásokon kívül OGPSH pontok, és EOVS/EOMA alappontok bevonása célszerű, a feladattól függően. Ha csak a hagyományos vonatkoztatási rendszerben ismert pontokat vonunk be, akkor ezt a technológiát valósítjuk meg félkinematikus méréssel.

3. 5.3 Hagyományos RTK

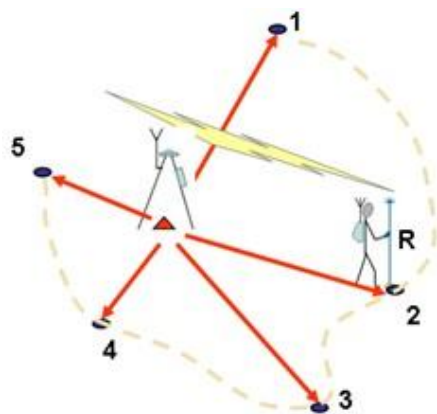
A geodéziai célra alkalmas, valós idejű technológia (*Real-Time Kinematic – RTK*), 1994-ben jelent meg. Ehhez meg kellett oldani egy referenciavevő teljes mérés-anyagának (kódmérés és fázismérés) és a fáziscentrum koordinátáinak közel egyidejű továbbítását a mozgó vevőhöz; a mozgó vevőnél az alkalmas fogadó-egység és feldolgozó szoftver beépítését a vezérlő egységbe valamint az OTF inicializálás szoftveres megoldását. A mérési adatok továbbításának kommunikációs eszköze kezdetben egy URH rádióadó és rádióvevő volt. A referenciavevőt egy, a térbeli vonatkoztatási rendszerben ismert ponton kellett telepíteni. A vázolt megoldást nevezzük „hagyományos RTK”-nak. Az RTK-val szerzett első hazai tapasztalatokat Magyarországon 1995-ben publikálták (*Borza, 1995*). Az RTK technológia több előnyös tulajdonságát érdemes kiemelni.

- A hagyományos földi pontsűrítéshez képest az RTK előnye, hogy nincs szükség összelátásra az adott pont és az új pont között, továbbá ez a távolság akár több tíz kilométeres is lehet.
- A statikus GPS pontsűrítéshez képest az RTK előnye, hogy azonnali ellenőrzésre van lehetőség a terepen, mert látjuk a meghatározás minőségét (ponthibáját). Ennek a visszajelzésnek azért van nagy jelentősége, mert a ciklustöbbségtelmesség meghatározása (a műhold-geometria, a takarás miatt) rendszerint nehézségekkel jár, s ha ezzel már a mérés során szembesülünk, elkerülhetjük a pótmérést.
- A statikus méréshez képest lényeges előny a rendkívül rövid mérési időtartam, ami az OTF inicializálásnak és a félkinematikus módszernek köszönhető.
- A valós időben feldolgozott fázismérés révén elvégezhető a geodéziai pontosságú kitzés vagy egy objektum mozgásának folyamatos követése, ami az alkalmazások újabb sorát nyitja meg.

A terepi mérési eljárást tekintve a valós idejű mérés (vagy RTK-mérés) félkinematikus vagy valódi kinematikus módszer, amelynek van egy inicializálási része és egy útvonal-mérési része. Az inicializálás időtartama a kezdeti 1-4 percről mára 20-30 másodpercre csökkent, a szoftvertől függően. Az útvonalmérés során másodpercenként (előre beállított időközönként) kijelzett koordináták középhibái is láthatók, amelyek fázismérés és fix megoldás esetén cm-es nagyságrendűek.

A kezdeti, „hagyományosnak” jellemzett állapot után jelentős fejlődés következett be az infrastruktúrában, mindenekelőtt az adatátviteli lehetőségek bővülésében és a permanens állomások alkotta hálózat lehetőségeinek kihasználásában. Alapvetően kétféle RTK megoldást különböztetünk meg: az egyetlen referenciavevőre épülő egybázisos megoldást (*single base solution*) és a több referenciavevő együttes adatait figyelembe vevő hálózatos RTK-t (*Network RTK*).

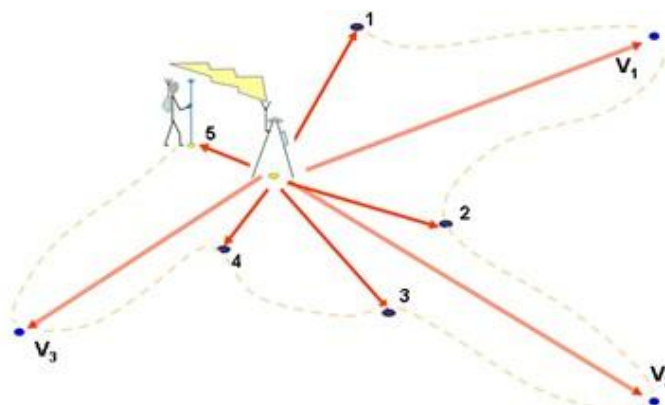
Saját RTK-bázis használata OGPSH referenciaponton



5-3. ábra. Hagyományos RTK mérés; referencia: OGPSH

Ez a technológia az 1994-es bevezetése óta fokozatosan nyer egyre szélesebb körű felhasználást. A „hagyományos” jelző nemcsak a referenciaállomás saját telepítését és a saját rádió adó-vevőt jelenti, hanem korlátozott bázistávolságot is. Az 1990-es évek közepén alkalmazott modellek nem tették lehetővé a bázistávolság 15-20 km-t meghaladó növelését. A saját rádióadó kis teljesítménye (amit Magyarországon a frekvenciaengedélyben is megkötnek), továbbá a terepakadályok miatti rádióvétel korlátozott volta tovább csökkentette a 15-20 km-es elvi hatótávolságot, akár csak 1-2 km-es körzetre. A rádióadás korlátozott hatótávolsága növelhető mobiltelefonos adatátvitellel vagy Internetes adat-kapcsolattal a referenciavevő és a mozgó vevő között.

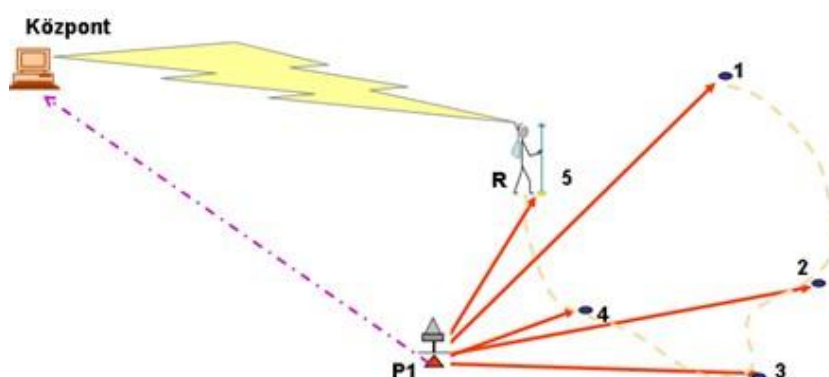
Hagyományos RTK-val mért önálló térbeli hálózat illesztése helyi rendszerbe



5-4. ábra. Hagyományos RTK mérés önálló 3D rendszerben

Önálló térbeli hálózat kialakítását nemcsak statikus méréssel végezhetjük, hanem RTK méréssel is. A referenciavevőt egy minden szempontból ideális (de nem adott) helyen telepítjük, koordinátáinak elfogadjuk a pillanatnyi (navigációs) megoldást, vagy rövid idejű statikus mérés átlagát. Ebben a „kvázi WGS84” térbeli vonatkoztatási rendszerben olyan pontokat mérünk először, amelyek a helyi rendszerben ismertek. A helyi rendszer nemcsak a HD72 lehet, hanem például vetületnélküli, önálló síkbeli koordináta-rendszer is, ami a mérnökgeodéziában gyakori. Ezután következik a transzformáció megoldása, majd ezt követően már a helyi rendszerben rögzíthetők az új pontok koordinátái vagy kitűzési feladat esetén a helyi rendszerben megadott pontokat tudjuk kitűzni. Az RTK mérés előnye (a statikushoz képest) a gyorsaság.

Egyetlen permanens állomásra támaszkodó RTK mérés



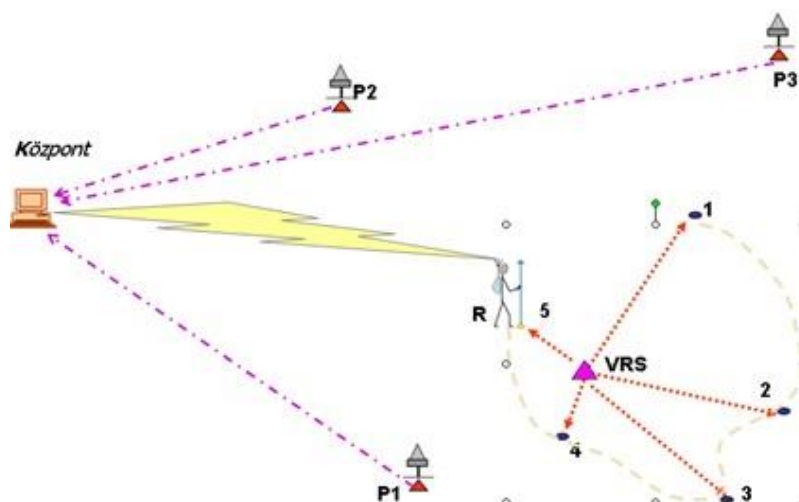
5-5. ábra. Hagyományos RTK mérés; referencia: permanens

Ez a technológia a terepi eljárást tekintve azonos a hagyományos RTK-nál írottakkal. Lényeges előny azonban, hogy nem magunk telepítünk referenciaállomást, hanem egy permanens állomás adatait használjuk referenciaként. Az aktív hálózat egy pontjának használata gazdasági előnnyel jár, ezért érdemes kiemelésre a módszer. Az adatkommunikáció biztosítását a mobil telefónia fejlődése és az RTCM formátumú adatoknak Interneten történő szabványosított továbbítása tette lehetővé. Meg kellett oldani a permanens állomások adatainak központi gyűjtését, feldolgozását és továbbítását, ami tehát egy feldolgozó központot feltételez. A kérdés megoldása a hálózatos RTK koncepcióhoz vezetett.

4. 5.4 Hálózatos RTK technológia

A hálózatos RTK egy nagyobb földrajzi térségben összehangoltan működő permanens GNSS- állomásokat jelent, amelyek adatait feldolgozó központ gyűjti és elemzi abból a célból, hogy a méréseket befolyásoló tényezőket modellezze, és szolgáltatásai révén lehetővé tegye a térségben tevékenykedő felhasználók igényeinek kielégítését a nagy pontosságú, megbízható és hatékony valós idejű helymeghatározás érdekében. Ez a meghatározás a következő feltételek teljesülését jelenti:

- A bázisállomások és a központi szolgáltatások valóban folyamatosan működnek a hét minden napján, a nap 24 órájában. Az ún. rendelkezésre állás garantált szolgáltatás.
- A bázisállomások biztonságos működését (az adatok jóságát, integritását) is garantálni kell. A mérési adatok folyamatos ellenőrzésére, a szolgáltatott adatok helyességének felügyeletére eljárásokat kell működtetni.
- Legalább egy feldolgozó központra feltétlenül szükség van, ahol megfelelő hardveres, szoftveres és kommunikációs háttér és felügyelő személyzet biztosítja a működést.
- A központnak valós idejű (azonnali) adatokat kell szolgáltatnia a felhasználók felé.



5-6. ábra. Hálózatos RTK mérés; referencia: virtuális (VRS)

A hálózat-alapú működés azon tulajdonságát használják ki, hogy a referenciavevők ismert helyzetű pontokon folyamatosan mérnek, így az állomások között értelmezett ciklustöbbsértelműség, a műhold pályahibák, a légköri- és más hatások számíthatók, majd a hibahatásokból adódó korrekciók a felhasználók számára valós időben továbbíthatók, az ehhez szükséges technikai feltételek adottak. A hálózatos RTK előnye általában, illetve az egybázisú RTK-val összevetve a következőkben foglalható össze:

- A GNSS hibahatások valós idejű, folyamatos modellezése megvalósítható. Minden egyes hiba-összetevő meghatározható.
- A modellparaméterek előrejelzése is lehetséges. Ehhez az állomáshálózat bizonyos időtartamú korábbi méréseinek feldolgozása szükséges.
- Egyes állomások adatainak kimaradása esetén is létrehozható a modell. A hálózatos RTK kevésbé érzékeny az egyes bázisállomások működési zavaraira.
- A bázisállomások közötti távolság növelhető, ugyanolyan pontossági igény mellett.
- A permanens állomások esetleges mozgása ellenőrizhető. Ez reprezentálhat helyi geodinamikai folyamatot is, így a mozgás-monitoring a hálózatos RTK „mellék-termékének” is tekinthető (Wanninger 2005).
- A felhasználók száma növekedhet, illetve korlát nélküli lehet, ha megfelelő korrekciós szolgáltatás biztosított.
- A felhasználó szempontjából nagyobb biztonság (integritás) és pontosság érhető el.
- A felhasználó szempontjából megvalósítható az egy vevővel végzett, cm pontosságú GNSS mérés.

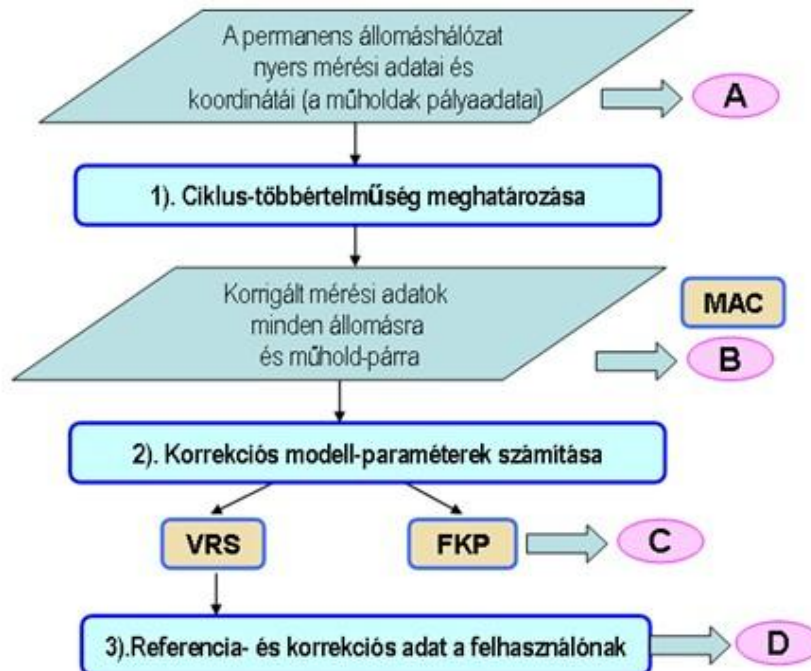
Az egybázisos megoldáshoz képest előnyös a felhasználó nagyobb biztonsága (egy állomás kiesése miatt nem hiúsul meg a mérés), valamint, hogy nagyobb pontosság érhető el. Ugyanakkor az infrastruktúra minden elemének: az egyes permanens állomásoknak, a központi szervernek és szoftvernek valamint az adatátvitelnek folyamatosan és hibátlanul kell működnie, aminek megvalósítása nem kis feladat. A felhasználó úgy érzékeli, hogy egyetlen mozgó vevővel mér cm-es pontossággal, a háttérben azonban a teljes földi kiegészítő rendszer üzemel.

A hálózatos RTK eddig megvalósított rendszereiben a feldolgozás folyamata három részre különíthető el (Wanninger 2005; Lachapelle 2002):

Az állomáshálózat adatainak valós idejű előfeldolgozása a központban. Ez elsősorban a ciklustöbbségtelműség egész számként történő feloldását jelenti a kettős különbségekre az állomás-párok és műhold-párok vonatkozásában, ami alapfeltétele a további számításoknak. A szokásos vektorfeldolgozással szemben itt előnyös, hogy a vektor-végpontok (állomások) koordinátái nagy pontossággal ismertek, nehézséget jelent viszont a feldolgozás folytonossága (műhold-váltáskor, adatkieséskor újraszámítás szükséges). Ez esetben nem fedélzeti pályaadatokat, hanem IGS által előrejelzett (*rapid*) precíz pályaadatokat használnak, továbbá kalibrált antennákat és antenna-modelleket, általában jó előzetes értékeket a paraméterekre.

A korrekciós modell paramétereinek számítása. A modellezés folyamatát ez esetben gyakran interpolációnak is nevezik, amelynek célja a GNSS hibaforrások becslése az aktív hálózat által lefedett munkaterületen. Számos modell illetve interpolációs eljárás létezik. Egyik csoportosítási lehetőség, hogy elkülönítik-e a diszperzív és a nem-diszperzív komponenseket, ami kapcsolódik a szóbanforgó paraméterek változási sebességéhez.

A felhasználó számára szükséges referencia-adatok és modellparaméterek meghatározása. A felhasználó számára csak az ő földrajzi környezetében lévő állomás(ok) adatai illetve csak az ő földrajzi helyétől függő, a rá vonatkozó korrekciók fontosak, ezért ezeknek a meghatározása külön feladat. Vagyis ki kell választani a felhasználó számára a referenciaállomást (amely lehet valóságos vagy virtuális), illetve ehhez a referenciaállomáshoz tartozó mérési adatokat és korrekciókat.



5-7. ábra. Adatfeldolgozási feladatok a hálózatos RTK-ban. Az A, B, C, D betűjelek a rover-nél felmerülő további teendőkre utalnak.

A hálózatos RTK adatfeldolgozási alapfeladatai megoszthatók az adatfeldolgozó központ (központi szerver) és a felhasználó (a rovernél alkalmazott szoftver) között. Wanninger négy elvi és gyakorlati lehetőséget sorol fel, amelyek napjainkban különböző vizsgálatok tárgyát képezik, ezeket az 5-7. ábrán nagy betűk jelzik.

A:Több állomás permanens adatainak feldolgozása a rovernél. Ez a mód minden feladatot a rover-re hárít, csak azt biztosítja a központ, hogy a rover környezetében lévő állomások adatait továbbítja. Elvileg előnyös, hogy a felhasználó a nyers adatokat kapja meg és eldöntheti, hogy melyik a legalkalmasabb megoldás

(amennyiben ezt a szoftver támogatja). Gyakorlati hátrány azonban, hogy az inicializálás percekig vehet igénybe, ami nem versenyképes a többi módszerrel.

B:Több állomás korrigált mérési adatainak feldolgozása a rovernél. A korrigált adat azt jelenti, hogy a ciklustöbbszámításokat a permanens állomások között a központ már meghatározta és azok az egész hálózat-részre közzéteszik (*common ambiguity level*). Ez a módszer a gyakorlatban MAC (*Master Auxiliary Concept*) néven ismert és az RTCM 3.0 szabványba is beépítették (*Leica Geosystems 2005a, b, c*).

C:Korrektíófelületi paraméterek továbbítása a rover-nek. A korrektíós modell-paramétereket a központ határozza meg (2. feladat), de a korrektíó számítása a rover-nél történik (3. feladat), miután egy permanens állomás adatait is megkapta a felhasználó. A módszert a német aktív hálózatban vezették be először és FKP rövidítéssel illetik.

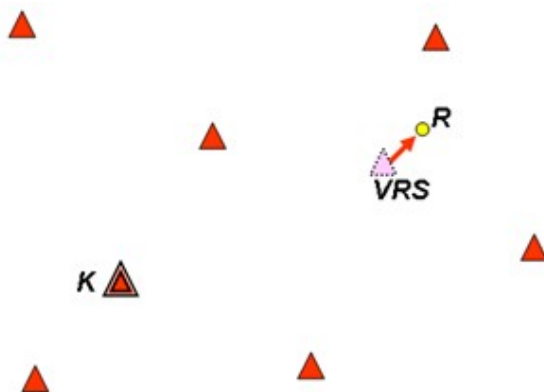
D:Virtuális referenciaállomás adatainak továbbítása a rover-nek. A központi szoftver a rover közvetlen környezetében (általában 5 km-en belül) lévő pontra generál fiktív, javított mérési adatokat, ezeket a referencia-méréseket a rover „hagyományos” módon használja fel.

A hálózatos RTK gyakorlati megvalósítása az évezred első éveire tehető. Ekkor jöttek létre az ún. elsőgenerációs hálózati megoldások a fejlett országokban. A hálózatos RTK technológia hazai alkalmazására 2005 őszétől van lehetőség, miután a penci feldolgozó központban üzembe helyezték a megfelelő felügyelő szoftvereket.

A gyakorlatban eddig három elgondolást (ún. reprezentációs koncepciót) valósítottak meg szoftveres úton, ezeket a következőkben hálózatos RTK-technológiáknak tekintjük.

4.1. 5.4.1 A VRS koncepció

A VRS (*Virtual Reference Station*) koncepciót *Lambert Wanninger* dolgozta ki 1997-ben (*Wanninger 2003*), s azt a Trimble cég megvásárolta, majd műszereibe beépítette. E koncepció szerint a mozgó vevőnek először el kell küldenie a központba a földrajzi helyzetének közelítő koordinátáit, ami kétirányú adatátvitelt feltételez a felhasználó és a központ között. A központ erre a helyre lokalizált mérési eredményeket vagy korrektíókat generál, majd ezeket a virtuális adatokat továbbítja a mozgó vevőnek. A felhasználó számára a VRS olyan, mint egy közelben lévő „igazi” referenciaállomás.



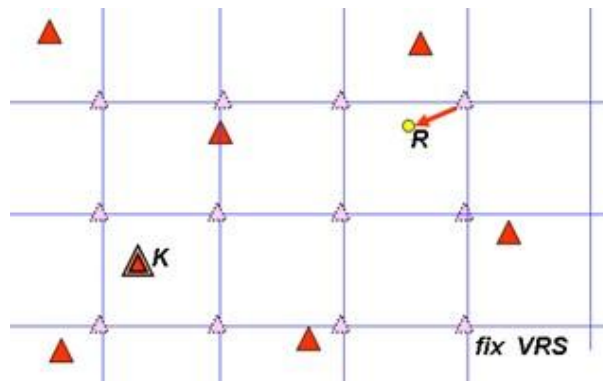
5-8. ábra. A virtuális referenciaállomás fiktív, korrigált mérési adatait a K központ generálja az R rover körül állomások adataiból

Az elv széles körben elterjedt, ami annak is tulajdonítható, hogy a felhasználói oldalon nincs szükség különleges hardver- vagy szoftver elemre, mivel a méréseket ugyanúgy kell feldolgozni, mint a hagyományos RTK esetében. Minden egyes mozgó vevőre más-más referencia-mérést kell generálni, ezért egységes adatszórásról nem lehet szó.

Az eredeti koncepció szerint a virtuális korrektíók mindig a mozgó vevő kezdeti koordinátáira vonatkoztak, függetlenül annak mozgásától. Ez akkor jelentkezik hátrányként, ha a felhasználó esetleg több km-rel eltávolodik eredeti helyétől, mert ez már nem elhanyagolható hibát okozhat a pozícióban. Mivel a mozgó vevő nem érzékeli a referenciaállomás mesterséges voltát, a „túl közeli” referencia miatt esetleg nem optimális feldolgozást használ (például egyfrekvenciás mérésen alapuló megoldást a kétfrekvenciás helyett). Ezen hátrányok miatt egyes szoftverek eleve eltolják a virtuális referenciaállomás koordinátáit kb. 4-5 km-rel az

elsőre beküldött közelítő pozícióhoz képest. Ennek a változatnak a rövidítése PRS-mód (*Pseudo Reference Station*). A Geo++ cég a GNSMART szoftverben olyan PRS-módot alkalmaz, amelynél a rover eltolt pozícióját időnként frissítik a kinematikus útvonalnak megfelelően. Így elkerülhető a meghatározás hibájának (*representation error*) növekedése a bázistávolság növekedése miatt, ugyanakkor a kinematikus mérésnek sincs akadálya nagy kiterjedésű munkaterületen. A PRS-mód a tapasztalatok szerint jobb eredményeket szolgáltat, mint az eredeti VRS-mód. PRS-módban megbízhatóbb eredményeket kaptak a régebbi típusú RTK vevőkkel is.

Már az első VRS hálózati tesztek és működő hálózatok jó eredményeket adtak. A Terrasat cég höhenkircheni központjában egy GPS-antenna jelét négy Trimble5700-as vevőbe vezették, real-time teszthez. A négy vevőben rendre egy-egy 16 km-re illetve 32 km-re lévő bázisállomás adatait dolgozták fel, egybázisos illetve VRS-módban. Hálózati VRS-módban az inicializálás ideje (*Time-to-fix-TTF*) az esetek 95%-ban 15 másodperc alatt volt; az egybázisos megoldással a TTF-érték pedig 200-300 másodperc között alakult, a távolságtól függően (Landau et al. 2002).



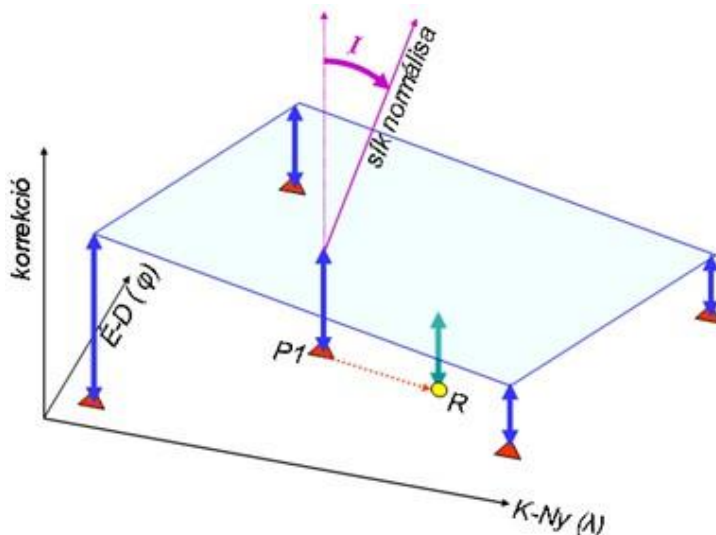
5-9. ábra. Előre definiált VRS-ek a négyzetrács-konceptióban

A korrekciók szabványosítására egy szabályos négyzetháló alapú megoldást javasoltak (Townsend 2000). A központi szoftver nem minden egyes felhasználó pozíciójára, hanem egy előre rögzített négyzetháló sarokpontjaira generál korrigált mérési eredményeket. A mozgó vevő számára ezekből kell a hozzá legközelebb esőt kiválasztani vagy interpolálással meghatározni. Ez lényegét tekintve VRS-mód, de a VRS-állomás helye előre ismert és meghatározott. Ez a koncepció (négyzetrács-VRS) és a következőkben tárgyalandó FKP-koncepció kombinálható egymással (Landau et al. 2003).

4.2. 5.4.2 Az FKP koncepció

Ennek a koncepciónak a rövidítése (FKP) német eredetű (*Flächen-Korrektur-Parameter*), ugyanis a német geodéziai szolgálat ilyen módon kezdeményezte az ottani SAPOS aktív hálózatban a korrekciók szabványosítását.

Az elv szerint az állomáshálózati kiegyenlítés alapján a központ külön-külön határoz meg korrekciós paramétereket minden egyes permanens állomáshoz. A távolságfüggő korrekciók modellezésére egy felületet használnak egy-egy permanens állomás esetében. A gyakorlatban a legegyszerűbb lineáris modell (kiegyenlítő sík) is hatékonyan bizonyult. A kiegyenlítő felület dőlésének É-D-i és K-Ny irányú összetevője a két paraméter. Ez az egyszerű lineáris modell (*linear FKP model*) a gyakorlatban hatékonyan bizonyult, de elvileg magasabb fokúra is cserélhető.



5-10. ábra. Az FKP koncepció felületi paramétereinek szimbolikus ábrázolása

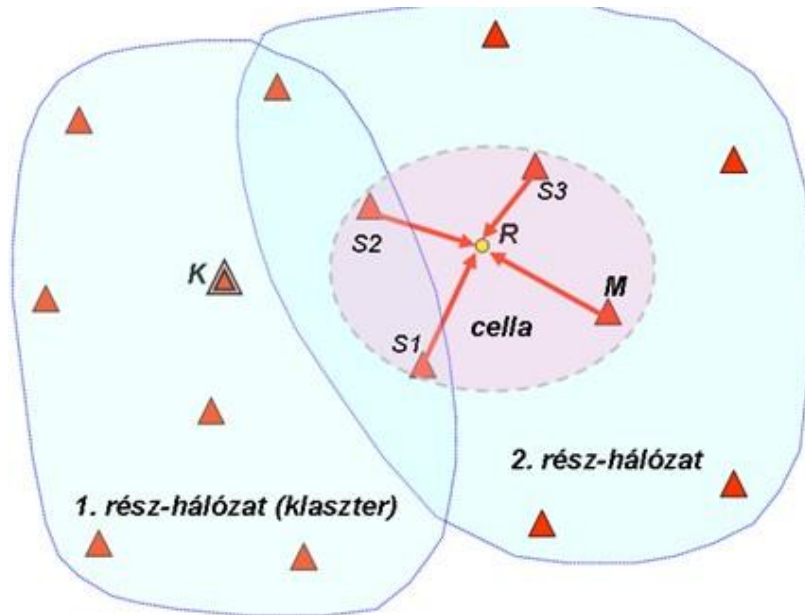
A felhasználónak tudnia kell, melyik a legközelebbi permanens állomás és ehhez kell kapcsolódnia, pontosabban ennek a valóságos állomásnak a nyers mérési adatait és a hálózati információt tartalmazó korrekciófelület két paraméterét kell letöltenie a központi szerverről. A kapcsolat tehát egyirányú, csak adatletöltésről van szó, így a korrekciók továbbítása központilag egységesen lehetséges, ami előnyös tulajdonság. A nyers mérési adatok feldolgozása, javítása tehát a felhasználói oldalon történik. A letöltött referenciaállomás és a mozgó vevő közötti koordináta-különbségből, valamint a vett korrekciós paramétereiből számítható a mozgó vevő pillanatnyi helyzetére vonatkozó távolságfüggő hiba, külön L1 és L2 frekvenciára.

A gyakorlatban itt is lehetőség van a közelítő pozíció beküldésére, vagyis a kétoldalú kommunikációra, aminek az lehet az előnye, hogy a felhasználó helyett a központi szoftver választja ki a működő állomások közül a legközelebbit. Ebben az esetben elegendő a mérés elején, egyetlen alkalommal beküldeni a pozíciót, ezután a lokalizálást a mozgó vevő végzi. (Magyarországon ez a jelenlegi helyzet).

Előnyös, hogy a mozgó vevő esetleg több kilométeres eltávolodásától függően mindig a megfelelő egyedi javítást számítja a felhasználói szoftver. Természetesen a bázistávolság nem növekedhet túl nagyra (a határt 100 km-re becsülik), mert a korrekciós paraméterek a távolság növekedésével elvesztik érvényüket.

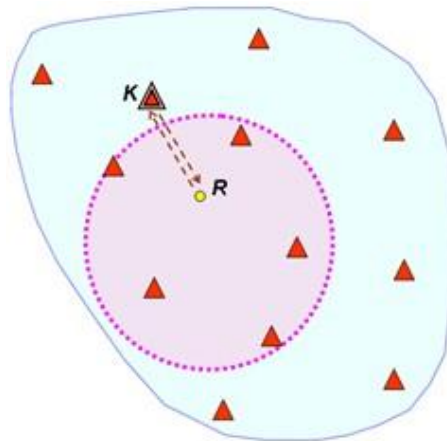
4.3. 5.4.3 A MAC koncepció

A Leica cég által ajánlott MAC-koncepció (*Master Auxiliary Concept–MAC*) célja az, hogy minden lényeges információt – elsődlegesen nyers mérési adatot és korrekciót – továbbítson a mozgó vevőnek, de tömörített formában, elkülönítve a gyors és lassú változású korrekciókat (*Euler et al. 2001, Cranenbroeck 2005*). A főállomás és a segédállomás (kiegészítő állomás) fogalmának bevezetését ez esetben a küldendő adatok mennyiségének csökkentése indokolja. Ugyanis csak a főállomás nyers mérési adatait továbbítják teljes terjedelemben, eredeti formában; az összes többi, a feldolgozáshoz szükséges állomás esetében csak a főállomás adataihoz viszonyított korrekció-különbségeket. Az előnyt az adattovábbítás során a bitekben elérhető megtakarítás jelenti, mert ezáltal kisebb sávszélességre van szükség. A felhasználói oldalon a különbségekből visszaállíthatók a kiegészítő állomások eredeti nyers mérései s tetszőleges módon, a felhasználó által kiválasztott modell alapján feldolgozhatók. A felhasználó így nemcsak egyszerű interpolálást végezhet, hanem a környező állomásokra mért vektorokból álló hálózatkiegyenlítést (*multiple-baseline positioning*), vagy egyedi modellezést is. A felhasználói szabadság ilyen értelmű növelését általában előnyösnek tartják (*Lachapelle, Alves 2002*). A fenti elv szerint generált korrekciós üzenetet MAX rövidítéssel illetik a Leica cég műszereiben.



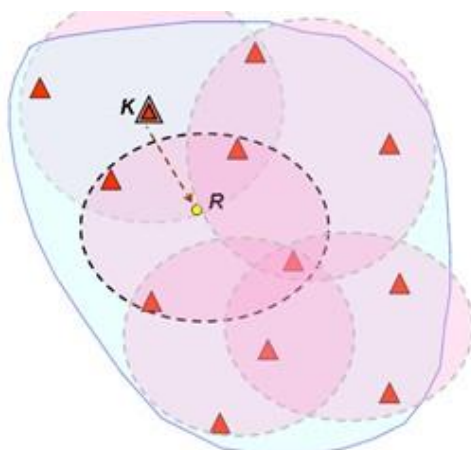
5-11. ábra. A klaszter, a cella, a főállomás (M) és a segédállomások (S) rajzi értelmezése

A MAC-konceptió szerint a hálózat klaszterekre és cellákra osztható. *Hálózat* alatt itt most azon permanens állomások összességét értik, amelyek méréseit a központi szoftver feldolgozza és továbbítja (Magyarországon például jelenleg a nemzeti aktív hálózatot, de ehhez később a szomszédos országok határmenti állomásait is hozzá lehet sorolni). A *klaszter* olyan, akár egymást átfedő rész-hálózatot jelent (Euler 2005), amelyet együttesen számítanak, és amelyben a pontpárok közötti ciklustöbbsértelműség-értékek azonosak (*common ambiguity level*). Az egyes klaszterek átfedik egymást, azaz a szomszédos klasztereknek vannak közös pontjaik. A *cella* a klaszter azon rész-halmaza, amelyet egy-egy mozgó vevő felhasznál a helymeghatározás során. A cellán belül kerül kijelölésre a főállomás és a segédállomások. A cellához tartozó állomások kijelölése attól függ, hogy a felhasználó és a központ között kétirányú vagy egyirányú-e a kapcsolat.



5-12. ábra. Kétirányú kapcsolatnál a központ választja ki a rovernek megfelelő cellát illetve állomásokat

Kétirányú kapcsolat esetén a mozgó vevő elküldi földrajzi pozícióját a központnak, ahol a szoftver automatikusan kiválasztja a cellához tartozó állomásokat és jelöli ki azok közül a főállomást. Ez az automatikusan meghatározott cellához tartozó MAX-korrekció (Leica műszerekben rövidítése: *ACM–Automatic Cell corrections MAX*).



5-13. ábra. Egyirányú kapcsolatnál előre definiált cellák közül lehet választani

Egyirányú kapcsolat esetén olyan, előre definiált cellák közül választhat a felhasználó, amelyeket előzőleg a vezérlő szoftvert működtető operátor manuálisan kijelölt. A cella kiválasztásához tehát a felhasználónak ismernie kell az előre definiált cellákat, illetve azt, hogy ő éppen melyik cellában tartózkodik. A Leica-műszerekben az így kapott korrekció rövidítése: *SCM – Single Cell corrections MAX*.

Azon régebbi típusú műszerek illetve más gyártók szoftverei számára, amelyek nem ismerik az RTCM V3.0 formátumot, a Spider szoftver a régebbi, RTCM V2.3-as formátumú korrekciót küldi, de a MAC koncepciót alkalmazva. Ez az *i-MAX* rövidítésű korrekció-típus (*Individualized Master-Auxiliary Corrections*). Ez esetben kétirányú kapcsolat szükséges a rover és a központ között.

A MAC koncepciót a *Leica 1200* típusú GNSS vevőkbe és a *SmartStation* GPS-mérőállomásba beépítették. Egy, a SAPOS-hálózatban 2003-ban végzett bajorországi teszt során az egybázisú és hálózati megoldást hasonlították össze. A hálózatos RTK során a diszperzív hibák 60-80%-kal, a nem-diszperzív hibák 40-80%-kal csökkentek. 45, 60 és 90 másodperces mérési időtartam alatt a legtöbb fix megoldást sík-illesztéses interpolációval lehetett elérni. (Euler et al., 2004).

A MAC koncepció hátrányaként említik (a konkurensok), hogy mindig csak egy hálózat-rész (egy cella) adatait kapja a rover és nincs történeti információ a korrekciós adatok változásáról. Továbbá csak fix ciklustöbbszörletesség esetén érvényesek az adatok, de ez az állapot esetleg nem érhető el. Az adatfrissítés 10 másodperces időtartama is kritikusnak tűnik (Trimble Terrasat 2005).

4.4. 5.4.4 A PPP RTK koncepció, terv

A műholdas helymeghatározásban használatos PPP rövidítés eredetileg az abszolút helymeghatározás javított változatát jelöli, más szóval precíz (szabatos) helymeghatározást egyetlen vevővel (*PPP: Precise Point Positioning*). A PPP-fogalmat először olyan, hosszabb időtartamú statikus mérések *utólagos* feldolgozására használták, amikor precíz pályaadatokat és órahibákat számításba véve, a magányos vevővel végzett mérésekből keletkezett koordináták pontosságát deciméteresre javították. Mára kidolgozták a *valós idejű* PPP-RTK elméletét, ami azt jelenti, hogy egy permanens állomásokból álló nagyterjedésű hálózat mérései alapján az időben változó összes GNSS-hibaforrást modellezik, és javításként figyelembe veszik a vevő-koordináták valós idejű számításánál (Wübbena et al 2005). Növelhető-e tovább a javított abszolút helymeghatározás pontossága? Az igenlő választ a német Geo++ cég fejlesztői adták meg, akik kidolgozták a GNSMART szoftvert. A név a *Global Navigation Satellite System software using a State Monitoring And Representation Technique* elnevezésből származik.

Ebben az elnevezésben a *state monitoring* a GNSS méréseket befolyásoló rendszer *állapotának* folyamatos *figyelését* jelenti, amelyre vonatkozik az ún. *állapot-tér-modell*. (Az állapot-tér modell elméletét Kálmán Rudolf (1930-) magyar származású amerikai matematikus dolgozta ki.) Az állapot-tér-modell a dinamikusan változó rendszer állapotának mennyiségi jellemzésére szolgál, amit minden egyes időpontban egy-egy állapotváltozó (vagy állapotvektor) ír le. Az állapotváltozók száma adja a szükséges tér dimenzióját.

Amennyiben a GNSS rendszer – mint dinamikus rendszer – hibaforrásait a permanens állomásokon végzett mérések alapján sikerül nagy pontossággal modellezni (egy-egy állapotvektorral leírni), akkor bármely időpontra és bármely földrajzi helyre megadhatók a rendszerre jellemző hibák, igen nagy pontossággal. Erre az

információra támaszkodva, az állomáshálózattal lefedett terület bármely pontján működő GNSS-RTK-vevő mérési eredményei megjavíthatók, illetve a számítás kiinduló adatai pontosíthatók, és megvalósulhat a cm-es pontosságú helymeghatározás egyetlen vevővel – erre utal a PPP-RTK rövidítés. Voltaképpen ez a hálózatos RTK koncepció eredeti célja is, így mondhatjuk, hogy ugyanazon célt más módon értük el.

Mennyiben más ez a megoldás – amit állapot-tér-modellezésnek nevezünk (angolul: *State Space Modeling-SSM*) –, mint a jelenlegi gyakorlatban megvalósult koncepciók? Az állapot-tér-modellezés jellemzőit és szoftveres megoldásait a Geo++ cég fejlesztői több publikációban ismertették, ezeket foglaljuk most össze (*Wübbena et al. 2004, 2005*).

A mostani (és az eddigi összes koncepció) esetében a folyamat két részre osztható:

1. Először egy modell-*alkotásra* kerül sor, ennek során a GNSS hibákat modellezzük (*modeling*).
2. Másodsor egy adott helyen és adott időben meghatározzák a hibák hatását. Ezt modell-*megvalósítási* (megjelenítési, helymeghatározási) technikának is nevezik (*representation technique*).

A most tárgyalt koncepció és az összes eddigi koncepció megkülönböztetéseként két fogalmat vezettek be: az állapot-tér (*state space*) és a mérés-tér (*observation space*) fogalmát. Vegyük előbb a mérés-tér fogalmát, ami minden eddigi differenciális (relatív) feldolgozási módszer általános jellemzője, mivel a *javított mérési eredmény* meghatározását (és nem a hibaforrások meghatározását) tekinti alapfeladatnak. A differenciális feldolgozáskor a mérési eredmények különbségeit használjuk számítási kiinduló adatként. Ezekben a különbségekben „eltűnnek” az egyes hibák. Kimutatható, hogy az egyes korrekciók a fázismérések egyszerűes vagy kétszeres különbségeinek feleltethetők meg. Végül soron a korrekciókkal csak a hibák összesített hatását (*lump sum*) tudják kimutatni, az egyes hibaösszetevőket ezzel az eljárással nem lehet elkülöníteni. Ennek gyakorlati következménye az, hogy hagyományos RTK esetén a bázistávolság egy bizonyos határon túl nem növelhető. A mérés-tér azt jelenti, hogy a feldolgozás során valamely ismert pont méréseit, továbbá más ismert pontokra vonatkozó távolság-különbségeket illetve korrekciókat használnak fel. Ezeket a korrekciókat továbbítják a rover felé a különböző koncepcióknak (VRS, FKP, MAC) megfelelően. Ennek az eljárásnak az összefoglaló neve a mérés-tér megvalósítás (*Observation Space Representation – OSR*).

Az állapot-tér megvalósítás (*State Space Representation – SSR*) ezzel szemben lehetővé teszi minden egyes GNSS hibaforrás egyedi meghatározását, mint állapotvektort. Az aktuális állapotvektorokat továbbítják a rovernek. A rover megjavítja a saját mérési eredményeit az állapot-tér modell alapján és a javított mérésekkel végzi el a helymeghatározást.

Az állapot-tér modellezés (SSR) előnyei a hagyományos OSR megoldásokkal összevetve:

A paraméterek (állapotvektorok) egyenkénti meghatározása lehetővé teszi, hogy az egyes paraméterek változásához, dinamikájához illeszkedő frissítési (adat-továbbítási) időközök határozzanak meg. Ezáltal az adat-továbbításhoz szükséges sávszélesség optimalizálható. Az egyes állapotváltozók továbbítása *Wübbena* szerint a következő időközönként ajánlott: pályaadatok (3 óra); troposzféra (2 óra); ionoszféra (10 mp-10 perc); műhold órahiba (10 mp). Ha összevetjük ezt azzal, hogy OSR módban minden (összesített) adatot egységesen 10 másodpercenként továbbítanak, akkor érzékelhető a megtakarítás.

Másik lehetőség a továbbítandó üzenet rövidítésére, hogy az állapotváltozók hossza is különböző, ez is csökkentheti a sávszélességet. Az SSR módban az összes állapotvektor számára másodpercenként 1500 bit továbbítása szükséges. Az összehasonlító vizsgálatok szerint az összes többi megoldásnál (VRS, PRS, FKP, MAC) ennek többszörösére, esetenként több tízszeresére van szükség. Mivel az adatcsomagok díját fizetni kell, az adatletöltésben elérhető csökkenés anyagi előnyt jelent.

Az SSR modell értékei (állapotvektorai) az egész lefedett területre, a teljes hálózatra érvényesek, ezekből az adott helyen lévő rover a saját javításait meghatározhatja. Szemben tehát az eddigi hálózatos RTK koncepciókkal, a „korrekciók” nem kötődnek egyik referenciaállomáshoz sem (mint az FKP esetében); nincs szükség a hálózat részekre osztására (mint a MAC esetében); nem kell egyedileg számítani és továbbítani korrekciókat (mint a VRS esetében). Tehát ugyanazon modell-paraméterek érvényesek a teljes hálózatra.

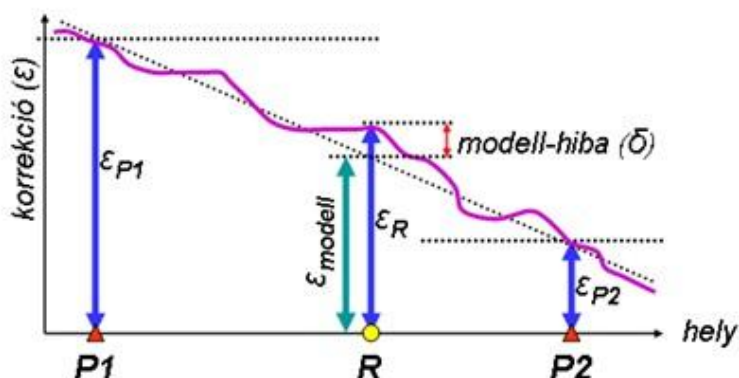
Az adatok továbbítása, szórása (*broadcasting*) szempontjából az SSR koncepció ideális: csak egyirányú kapcsolatra van szükség, az egész hálózatban egységesek a paraméterek, a felhasználók száma nem korlátozott. Az Internet-GPRS mellett szóba jöhetnek olyan megoldások mint az RDS vagy a digitális tv. Ideális megoldásnak a műholdas kiegészítő rendszerek, a geostacionárius műholdak felhasználása látszik (ha ezen műsorszóró holdak magassági szöge megfelelő az adott helyről). Elképzelhető, hogy a jövőbeni Galileo-holdak

a saját frekvenciájukon állapotvektorokat is továbbítanak. Ez esetben nem merül fel külön kommunikációs költség, amennyiben ez beépített lehetőség a vevőben (hasonlóan az EGNOS-kompatibilis, SBAS navigációs vevőkhöz).

A SSR esetében a rover helymeghatározás maradék modell-hibái (*representation error*) kisebb értékűek, mint az OSR-nél, mivel a paraméterek becslése és előrejelzése nagyobb pontossággal végezhető el. A rovernél használt interpolációs eljárások optimálisan igazodhatnak a különböző állapotvektorok jellegéhez. Ezzel szemben az eddigi OSR modellnél az interpolációs eljárás az összes hatást együttesen kifejező korrekciók alapján volt csak elvégezhető.

Az SSR lehetővé teszi az állomás-függő hibahatások meghatározását, kezelését.

Végül további előny, hogy az SSR lehetővé teszi az egyfrekvenciás vevők használatát is.



5-14. ábra. A modell-hiba grafikus ábrázolása

Az előbb vázolt koncepció 2006-ban elvi szinten létezett, de a GNSMART szoftverben több elemét megvalósították. Ahhoz, hogy a PPP-RTK koncepció a gyakorlatban teljeskörűen megvalósuljon, a felhasználói oldal kiépítése, de mindenek előtt a módszer szabványosítása szükséges, ami hosszabb időt vesz igénybe.

Irodalomjegyzék

- Ádám J, Bányai L, Borza T, Busics Gy, Kenyeres A, Krauter A, Takács B: *Műholdas helymeghatározás.*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- Beutler G: *Revolution in Geodesy and Surveying.*, Published in Proceedings FIG Working Week 2004, Athens, Greece, 2004.
- Biró P: *A vonatkoztatási rendszerek és a geodéziai dátum.*, Geomatikai Közlemények VII. kötet, Sopron, 2002.
- Borza T: *Az első cm-pontosságú valós idejű kinematikus GPS-technika Magyarországon.*, Geodézia és Kartográfia, 1995.
- Borza T, Galambos I, Horváth T, Kenyeres A: *Célegyenesben a hazai GNSS kiegészítő rendszer építése.*, Geodézia és Kartográfia, 2007.
- Borza T, Kenyeres A, Virág G: *Műholdas geodéziai vonatkoztatási rendszerünk (ETRS89) felújítása.*, Geodézia és Kartográfia, 2007.
- Busics Gy: *A GPS geodéziai alkalmazásáról.*, Geodézia és Kartográfia, 1997.
- Busics Gy: *Alappontmeghatározás RTK-val.*, Geomatikai Közlemények VIII. kötet, Sopron GGKI, 2005.
- Busics Gy: *Technológia-váltás a GNSS korszakban.*, Geomatikai Közlemények X. kötet, Sopron GGKI, 2006.
- Busics Gy - Horváth T): *Az aktív hálózatok adottságainak kihasználása a műholdas helymeghatározásban.*, Geod. és Kart., 2006.

- Cranenbroeck J.: *An innovation in GPS network RTK software and algorithms.*, 2005., www.leica-geosystems.com
- Euler H J: *Reference Station Network Information Distribution.*, IAG Working Group 4.5.1: Network RTK., 2005., www.network-rtk.info
- Euler H J, O Zelzer, F Takac, B E Zebhauser: *Applicability of Standardized Network RTK Messages for Surveying Rovers.*, ION GPS/GNSS 2003, September 9-12, Portland OR., 2003., www.leica-geosystems.com
- Euler H-J, St Seeger, O Zelzer, F Takac, B E Zebhauser: *Improvement of Positioning Performance Using Standardized Network RTK Messages*, ION NTM, January 26-28, 2004, San Diego, CA, 2004., www.leica-geosystems.com
- Fotopoulos G - Cannon M E: *An Overview of Multiple-Reference Station Methods for cm-Level Positioning.*, GPS Solutions, Vol. 4, No. 3, 1-10, 2001.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J: *Global Positioning System Theory and Practice. Fourth, revised edition.*, Springer-Verlag., Wien, New York, 1997.
- Horváth T: *Javított valós idejű helymeghatározás Interneten keresztül.*, Geomatikai Közlemények, VIII. kötet, GGKI Sopron, 2005.
- Husti Gy, -Ádám J, Bánai L, Borza T, Busics Gy, Krauter A: *Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés).*, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2000.
- KGO: *Tájékoztató az OGPSH és a GNSSnet.hu koordináta-rendszerének pontosításáról, felújításáról.*, 2007., www.gnssnet.hu
- Krauter A (2002): *Geodézia. Egyetemi jegyzet*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002.
- Lachapelle G - K O'Keefe: *Network Real-Time Kinematic Performance Analysis Using RTCM 3.0 And The Southern Alberta Network.*, Geomatica, Vol. 61, No.1, 29-41., 2006.
- Lachapelle G - P Alves: *Multiple Reference Station Approach: Overview and Current Research.*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1, No.2, 133-136., 2002.
- Landau H,U. Vollath,X. Chen: *Virtual Reference Station Systems*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1, No.2, 137-143., 2002.
- Landau H,U. Vollath,X. Chen: *Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK – Advantages and Limitations.*, Proceedings of ENC-GNSS, April 2003, Graz, Austria., 2003.
- Leica Geosystems (2005a): *Leica GPS Spider. Setting the Standard for GPS Networks.*, Leica white paper. 2005., www.leica-geosystems.com
- Leica Geosystems (2005b): *Networked Reference Stations. Take it to the MAX!*, Leica white paper., 2005., www.leica-geosystems.com
- Leica Geosystems (2005c): *Networked Reference Stations.*, White Paper., 2005., www.leica-geosystems.com
- Lenz E: *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and benefit in Modern Surveying Systems.*, FIG Working week, May 22-27, 2004, Athen, Greece, 2004.
- Mnyerczán A.: *Minőségi fejlesztések a hazai GNSS szolgáltatásban.*, Geodézia és Kartográfia, 2009/10. 15-20., 2009.
- Raquet J - Lachapelle G: *RTK positioning with multiple reference stations*, GPS World, 12(4): 48-53., 2001.
- Rizos C: *Network RTK Research and Implementation - A Geodetic Perspective.*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1, No.2, 144-150, 2002., www.gmat/unsu.edu.au

- 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., 2005., www.fig.net
- Rizos C - S Han: *Reference Station Network Based RTK Systems - Concepts and Progress.*, 2003.
- Townsend B, A J Van Dierendonck, J Neumann, I Petrovski, S Kawaguchi, H Torimoto: *A proposal for standardized network RTK messages.*, 13th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation, Salt Lake City, Utah, 19-22 September, 1871-1878., 2000.
- Trimble Terrasat GmbH.: *Support of network formats by Trimble GPSNet network RTK solution.* White paper., 2005., www.trimble.com
- Vollath U, H Landau, X Chen: *Network RTK versus Single Base RTK – Understanding the Error Characteristics.*, Proceedings of ION-GPS 2002, 24-27 September, 2002, Portland, OR, 2002.
- Wanninger L: *GPS on the Web: Virtual Reference Stations (VRS).*, IAG Working Group 4.5.1: Network RTK, 2003., www.network-rtk.info
- Wanninger L: *Introduction to Network RTK.*, IAG Working Group 4.5.1: Network RTK., 2005., www.network-rtk.info
- Wübbena G: *On the modelling of GNSS observations for high-precision position determination.*, Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen an der Universität Hannover, Nr. 239, Hannover, 143-155., Hannover, 2001.
- Wübbena G, A Bagge, M Schmitz: *Networks-Based Techniques for RTK Applications.*, Presented at the GPS Symposium, GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, November 14-16, Tokyo, Japan., 2001.
- Wübbena G, M Schmitz, A Bagge: *GNSMART Irregularity Readings for Distance Dependent Errors.*, Geo++ White Paper., 2004., www.geopp.de
- Wübbena G, M Schmitz, A Bagge: *PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks.*, Presented at the ION GNSS 2005, September 13-16, Long Beach, California., 2005., www.geopp.de
- Zebhauser B, H J Euler, R Keenan, G Wübbena: *A Novel Approach for the Use of Information from Reference Station Networks Conforming to RTCM V2.3 and Future V3.0.*, Published in Proceedings of ION NTM 2002, San Diego, California, 2002.