

***Miskolci Egyetem
Doktori Tanácsa
Miskolc***

***Program: Geotechnikai rendszerek és eljárástechnika
Programvezető: Dr. Kovács Ferenc***

Alprogram: Geotechnikai rendszerek és eljárások kutatása, fejlesztése

Részprogram: Térinformatikai rendszerek geodéziai megalapozása különös tekintettel a geotechnikai adatbázisokra

***Témavezető:
-2000 Dr. Graczka Gyula
2000- :Dr. Balla László***

Tarján Iván
okl. bányamérnök

Térinformatikai és GPS alapú rendszerek pontossági és alkalmazhatósági vizsgálata

Ph. D. értekezés

2002.

Tartalom

Bevezetés	6
1. Műholdas helymeghatározó rendszerek	7
1. 1. A GPS (Global Positioning System) alapelvei	8
1. 2. A műholdas helymeghatározás geometriai alapelve	9
1. 3. A GPS és GLONASS rendszer felépítése	10
1. 4. A kódfázismérés fogalma	14
1. 5. A vivő fázismérés fogalma	16
2. A GPS hibaforrásai	21
2. 1. A DOP	23
2. 1. 1. A geometria hatása a mérésekre általában	24
2. 1. 2. A kovariancia mátrix	26
2. 1. 3. UERE	27
2. 1. 4. A DOP-k	27
2. 1. 5. A gúla	28
2. 1. 6. HDOP-VDOP	31
2. 1. 7. A szélesség	32
2. 1. 8. Konklúzió	32
2. 2. Az ionoszféra hatása	33
2. 2. 1. Törésmutató	33
2. 3. A troposzféra hatása	36
Kiegészítés	37
3. A műholdas helymeghatározás mérési módszerei	41
4. Transzformációk	47
4. 1. Transzformáció navigációs GPS készülékekhez	48
5. DGPS	50
5. 1. A Differenciális GPS	50
5. 2. Az RTK DGPS elve általában	51
5. 2. 1. A differenciális korrekció	51
5. 2. 2. A „range correction”	51
5. 3. Az adatkapcsolat	54

5. 4. A rendszerek felépítése	55
5. 5. Működő szolgáltatások	56
5. 6. A szolgáltatások értékelése	58
Kiegészítés	61
6. Az RDS-DGPS	62
6. 1. RDS	63
6. 2. Tesztelés	64
6. 3. A tesztelés eredményeiből levont következtetések	65
6. 4. Egy másik kísérlet	68
Kiegészítés	70
7. A Kálmán-szűrő és alkalmazása	83
7. 1. Egyenletmentes leírás	83
7. 2. A szűrő matematikai leírása	86
7. 3. GPS/INS integráció	87
Kiegészítés	89
8. Bevezetés a térinformatikai rendszerekhez	96
9. Terepi térképszerkesztés integrált adatgyűjtő eszközökkel	99
9. 1. Előzmények	99
9. 2. A munka tárgya	100
9. 3. A rendszer	101
9. 4. A mérések elve	102
9. 5. Tapasztalatok	103
9. 6. Fejlesztések, javaslatok	105
9. 7. Konklúzió	106
Kiegészítés	106
10. A külfejtéses bányák felmérésének korszerű technológiája	113
10. 1. Az alkalmazott eljárások alapvető elemei	113
10. 2. Az eszköz	113
10. 3. Az üzemeltetést végző szakemberek	114
10. 4. A jelenlegi állapot	114
10. 5. Az adatnyerés és feldolgozás folyamata	115

10. 5. 1. Az adatnyerés	115
10. 5. 2. Az adatfeldolgozás	116
10. 6. Javaslat	117
10. 6. 1. A feladat értékelése és tervezése	117
10. 6. 2. Az adatnyerés GPS-szel	118
10. 6. 3. Adatnyerés CCD kamerával	119
10. 6. 4. Adatbázis-kezelés	120
10. 6. 5. Az adatok megjelenítése, automatikus térképezés	120
10. 7. Összefoglalás	121
Kiegészítés	122
11. ALKALMAZOTT RENDSZEREK	125
11. 1. Rendszerarchitektúra	125
12. OPTIMÁLIS ÚTVONAL KIVÁLASZTÁSÁNAK ALGORITMUSAI	134
12.1. Algoritmusok	134
12. 1. 1. Szélességi keresés	134
12. 1. 2. BELLMAN-FORD algoritmus	135
12. 1. 3. FLOYD-WARSHALL algoritmus	135
12. 1. 4. DIJKSTRA algoritmus	135
12. 1. 5. Összegzés	137
12. 2. Alkalmazások	137
12. 2. 1. Hálózati alkalmazások	137
12. 2. 1. 1. Open Shortest Path First (OSPF)	137
12. 2. 1. 2. Térinformatikai alkalmazások	138
12. 3. DLL definíciója, szerepe	138
12. 3. 1. Statikus linkelés	139
12. 3. 2. Dinamikus linkelés	140
12. 3. 3. DLL készítése	143
12. 3. 4. Optimalizáló függvény	143
12. 3. 4. 1. Az algoritmus működése	144
12. 4. Összegzés	146

12. 4. 1. Adattáblák	147
Kiegészítés	150
13. Összefoglalás	154
14. Irodalomjegyzék	157
Summary	159

Bevezetés

A dolgozat témája alapvetően az elmúlt évek tapasztalatainak összegzése. 1990 óta olyan rendszerek tervezését és kialakítását tűztem ki célul, amelyek segítenek a hazai GPS (műholdas helymeghatározó rendszer) felhasználóknak munkájukban, illetve annak alkalmazásait teszik lehetővé. Ilyenek többek között a differenciális GPS technika egyszerűsítése, vagy az értékek megfelelő kezelése.

Fentiek megvalósításához alapos ismeretekre, gyakorlatra, tapasztalatokra volt szükség, a tervezéshez tesztekre, megfigyelésekre, amelyek megteremthetik az alapját a végleges kialakítás megfelelő és üzemszerű működésének.

Ezek alapján a dolgozat két jól elkülöníthető részre tagolható. Az első (1-4 fejezet) azokat az elméleti alapokat tárgyalja, melyek nélkül a munka el sem kezdhető, valamint az általános tervezési szempontokat a megfigyelések és tapasztalatok tükrében. A második rész (5-12 fejezet) célja a megvalósított rendszerek bemutatása, kialakítása, eszközeinek működése, az alkalmazások magyarázata.

Részletesen megvizsgálom a GPS használata során felmerülő jelentősebb problémákat nem tárgyalva a technika részleteit, szorítkozva azokra a jelenségekre, amelyeket eddig nem, vagy nem megfelelő súllyal kezeltek. (1., 2., 3. fejezet)

Ugyanígy a térképek, térinformatikai rendszerek alapját képező adatbázisok néhány hibájára is felhívom a figyelmet. (10. fejezet)

Tisztázom az idevonatkozó mérési eljárások alapelveit, kiemelve azok kritikus pontjait, a megvalósítás szükséges feltételrendszerét. (7., 9., 10. fejezet)

Példákat mutatok be különböző típusú grafikus és leíró adatbázisokra, vizsgálva azok alkalmazásfüggő tulajdonságait és szerkezetüket. (11., 12. fejezet)

Bemutatom a megvalósított rendszerek szerkezetét, működési elveit, eszközeit és eljárásait is mind elvi mind gyakorlati szempontok szerint.

1. Műholdas helymeghatározó rendszerek

Több műholdas helymeghatározó rendszer létezik illetve létezett, s a jövő tervek hasonlóképpen gazdagok új műholdas megoldásokban. A jelenlegi **szabatos műholdas helymeghatározó rendszerek** közvetlen előzménye az USA Haditengerészete számára 1961-ben kifejlesztett **TRANSIT** műholdas navigációs rendszer, melynek polgári felhasználása 1967-ben kezdődött, s 1994-ben a rendszer működésével együtt véget is ért. [1]

A rendszer alapvető célja tengerészeti navigáció volt, de hasznosították geodéziai célokra is, elsősorban olyan globális feladatok megoldására, mint a NAD 83 nevű észak-amerikai, vagy a WGS 84 dátum létrehozása. A TRANSIT rendszer geodéziai hasznosítását hosszú észlelési idő, utófeldolgozás és viszonylag alacsony, 1 méter körüli pontosság jellemezték.

A TRANSIT rendszerben a mérés alapelve az volt, hogy a vevő a földi pont és a műhold távolságának megváltozását határozta meg egy megadott időintervallumra a Doppler eltolódás segítségével, ezért ezekre a műholdakra a geodéták rendszerint 'doppleres' jelzővel hivatkoztak. A TRANSIT -tal egyidejűleg a Szovjetunióban is kifejlesztettek egy műholdas navigációs rendszert, ezt azonban kizárólag katonai célokra használták és titokvédelmi okokból jellemzőit nem publikálták.

Mind a jelenleg működő, mind pedig a tervezettek között találunk olyan rendszereket, melyek helyzeti pontossága néhány száz métertől egy-két kilométerig terjed. Ezek a rendszerek a korábbi repülőgépes, illetve hajós impulzusos rádiónavigációs rendszerek (SHORAN, HIRAN stb.) műholdas továbbfejlesztései. Ilyen rendszer például az **ARGOS**, mely két TIROS N meteorológiai műholdat használ az állatok helyváltoztatásának tanulmányozására. Az állatokra kb. 2 kg súlyú rádióadót erősítenek, mely 401- 650 MHz frekvencián sugároz, a műholdak veszik a jelet és tovább sugározzák a földi feldolgozó állomásra. A feldolgozó állomás a keresett koordinátákat egy hold vételéből vezeti le mozgó tárgyak esetében ± 800 méter, rögzített tárgyak esetében pedig ± 300 méter középhibával.

A számtalan új kezdeményezés közül csak megemlítjük az intelligens autónavigációs rendszerekben felhasználásra tervezett LORAN C repülőgép navigációs rendszert, mely

mérőelemei két alacsony pályamagasságú úgynevezett LEO műholdon illetve a mozgó gépkocsin helyezkednek el, az eredmények (a gépkocsik koordinátái) pedig a műhold kommunikációs csatornáján keresztül jutnak a földi állomásra. A rendszer egy variánsát a GEOSTAR távközlési műhold segítségével próbálták ki 1993-ban.

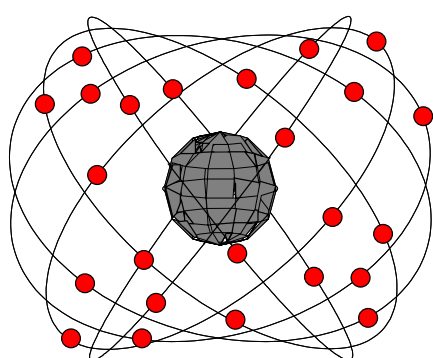
A fenti áttekintés azt kívánta bemutatni, hogy már jelenleg is többféle műholdas rendszer használható különböző pontossági és szolgáltatási paraméterrel, és ez a jövőben a műholdas távközlés fejlődésével még inkább így lesz. Egyre több ugyanis az olyan feladat, amelyben a mérés eredményét nem a mért objektumon, hanem attól távol kívánjuk azonnal, a mérés megtörténte után (jelen időben) megkapni. Ha a pontossági igények nem túl nagyok, az ellenőrzött objektumok száma pedig igen nagy, úgy olcsóbb lehet az ilyen feladatokat olyan műholdas rendszerrel megoldani, mely egyben az adatátvitelt is elvégzi.

Az Egyesült Államok által **GLONASS**-nak nevezett szovjet (orosz) műholdas szabatos navigációs rendszer teljessé tételére az amerikai üzleti körök pénzügyi támogatást ajánlottak fel az orosz kormánynak, és amerikai cégek olyan vevők készítését kezdték meg, melyek a méréshez mind a GPS mind a GLONASS műholdak jeleit felhasználják. 1993-ban 13 műhold üzemelt a tervezett 21 működő és 3 tartalék, összesen 24 műholdból, melyek három pályasíkban keringenek 19.100 km-es közepes magasságban. Hozzá kell még fűznünk, hogy a két rendszer összekapcsolása azért is előnyös, mivel a két rendszer műholdjai olyan pályákon keringenek, melyek kiegészítik egymást, és biztosítják, hogy a föld minden pontján minden időben kellő számú, optimális helyzetű műholdat lehessen észlelni.

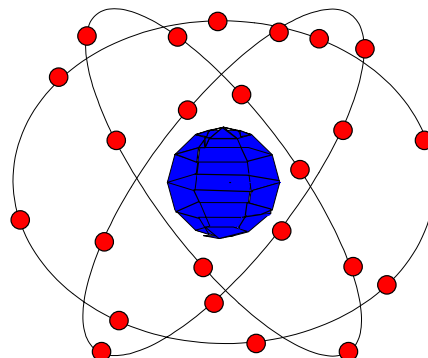
1. 1. A GPS (Global Positioning System = Globális Helymeghatározó Rendszer) alapelvei

A GPS fejlesztésének megkezdését 1972-ben kezdeményezte az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma (US. Department of Defense, DoD). Olyan rendszert szándékoztak megvalósítani, mely a műholdak ismert pozícióiból távolságokat határoz meg ismeretlen helyzetű földi, légi, tengeri objektumokra. Elsődlegesen a rendszer létrehozása katonai célokból történt, de a polgári hasznosítással is számoltak.

A rendszer **űrszegmense** 21 aktív és 3 tartalék műholdból áll, melyek hat darab, 55° inklinációjú síkban helyezkednek el. Mind a 6 síkban négy műhold kering 20 000 km magasan közel kör alakú pályán. A pályákat úgy képzelhetjük el, hogy az egyenlítőt hosszúság szerint 30° -ként felosztjuk, majd minden egymástól 180 fokra fekvő két osztásponton keresztül fektetünk egy olyan körlapot, mely középpontja egybeesik a föld középpontjával, sugara 26 370 km., s az egyenlítő síkjával bezárt hajlásszöge 55° . A műholdak súlya mintegy 750 kg. (a GLONASS műholdak súlya 1500 kg körül van). A rendszer teljes kiépülése óta a föld bármely pontjáról egyszerre 4-8 műhold 'látható' 15° -ot meghaladó magassági szög alatt. A 1. 1. ábrán felvázoltuk a GPS és a GLONASS rendszerek pályáit és a műholdak elhelyezkedését a pályákon.



NAVSTAR GPS

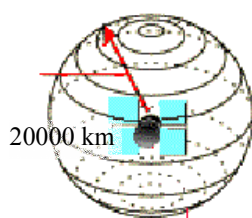


GLONASS

1.1. ábra Műholdas navigációs rendszerek felépítése

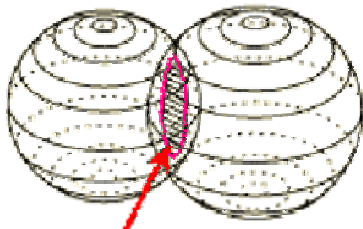
1. 2. A műholdas helymeghatározás geometriai alapelve

A korszerű műholdas helymeghatározó rendszerek a pontok helyzetét térbeli ívmetszéssel határozzák meg.



ezen a gömbön állunk

1.2 ábra - egy távolság mértani helye a térben gömb



két mérés alapján ezen a körön vagyunk valahol

1.3 ábra - két gömb metszésvonala kör



három mérés a két pont egyikét adja meg álláspontként

1.4 ábra - három gömb két pontban metszi egymást

Képzeljük el, hogy egy rögzített pillanatban megmértük álláspontunk és egy műhold távolságát. Legyen ez a távolság 20.000 km. Egy mérés alapján álláspontunkról csak azt tudhatjuk, hogy valahol azon a gömbön van, amelyet a kérdéses műholdra, mint középpontra, 20.000 km-es sugárral szerkesztünk (1. 2. ábra).

Ugyanebben az időpillanatban mérjük meg a távolságunkat egy másik műholdtól is. Legyen ez a távolság 21.800 km. Kézenfekvő, hogy álláspontunk rajta van azon a gömbön is, melyet a második műhold, mint középpont körül 21.800 km-es sugárral szerkeszthetünk. Mivel az álláspontunk mindkét gömbön rajta van, rajta kell, hogy legyen a két gömb metszésvonalaként létrejött körön (1. 3. ábra).

Ha ugyanebben a pillanatban egy harmadik műholdtól is megmérjük a távolságot, legyen ez 23.600 km. és elképzeljük a harmadik gömböt is, úgy ez utóbbi két pontban metszi az első és második gömb metszésvonalát. A két pont közül a valódi álláspont további mérés nélkül néhány egyszerű szabály figyelembevételével meghatározható (1. 4 ábra). Általában e két pont közül az egyik vagy irreálisan messze van a Föld felszínétől, vagy mélyen a Föld gyomrában van, ebből adódik, hogy a másik a mi pozíciónk, de megmérhetjük egy negyedik műholdtól való távolságunkat is (a negyedik gömb csak a mi pontunkat metszheti).

Nem szabad elfelejtenünk, hogy a fenti gondolat kísérletnél a három mérést egy időpillanatban hajtottuk végre, és ismertnek tételeztük fel ebben az időpillanatban mind a három műhold koordinátáit.

1. 3. A GPS és GLONASS rendszer felépítése

A továbbiakban azonban a világszerte elterjedt GPS rendszerrel fogunk foglalkozni, mielőtt azonban ezt megtennénk, szólnunk kell arról, hogy a GPS-hez hasonló rendszer üzembeállítását a volt Szovjetunióban is megkezdték, azonban a Szovjetunió szétesése után a kiépítés üteme lelassult. A későbbiekben ismertetendő '*szelektív hozzáférés*' nevet viselő amerikai politika miatt azonban az amerikai civilek is szeretnék egy olyan kiegészítő mérőrendszerre támaszkodni, mely adatait nem hamisítják mesterségesen. Ezzel magyarázható a **GLONASS** kialakításának az amerikaiak általi támogatása is.

Az első **GLONASS** műholdat 1982 októberében lőtték fel. 1995 végéig több mint 70 műhold került a pályára. A műholdak súlya mintegy 1500 kg, tervezett működési ideje 3 év. A tervek szerint az 1998-tól kezdődően felbocsátandó műholdak tervezett működési ideje 5 év lesz. A teljes kiépítésben a 24 darab **GLONASS** műhold 19 100 km-es közel kör alakú pályán kering három pálya síkban, melyek felszálló ága egymástól 120°-ra helyezkedik el. A pályánként 8 műhold egyenlő távolságra van egymástól, szélesség szerinti attribútum különbségük 45°. A pálya inklinációja 64.8°, egy teljes pálya megtétele kb. 11 óra 15 percig tart. A műholdak pályáját úgy tervezték meg, hogy egyszerre legalább 5 holdat lásson a felhasználó.

A **GPS műholdak** két jelet sugároznak. Az első jel vivőhullám hossza **L1=1575. 42 MHz**, a másodiké **L2=1227. 60 MHz**. E frekvenciákat a nagy pontosságú atomórával stabilizált 10. 23 MHz-es alaphérfvencia sokszorozásával állítják elő. Mindkét vivőhullámot modulálják a körülbelül 30 méter hullámhosszú **P kóddal** (P a precise - szabatos rövidítése). Az **L1** vivőt ezen kívül modulálják még a **C/A** (coarse-acquisition – durva-elérés) **kóddal**, mely kb. 300 m hosszú. A vevő ezeknek a kódoknak a felhasználásával határozza meg a *pseudotávolságokat*. A **P kód** nagyobb (PPS Precise Positioning Service), a **C/A kód** kisebb (SPS Standard Positioning Service) pontosságot biztosít a pseudotávolságok meghatározásában.

Az eredeti katonai célokkal összhangban a DoD a *szelektív elérhetőség* (*selective availability*, röviden **SA**) politikáját gyakorolja, ami azt jelenti, hogy esetenként (pld. az Öbölháború idején) korlátozza a teljes rendszer használatát a polgári alkalmazóknak. Gyakorlatilag ez korábban úgy történt, hogy csonkolták azokat az üzeneteket, melyek a műhold koordinátáit továbbítják a vevőknek. Jelenleg, időnként a C/A kódra műholdanként változó, alacsony hérfvenciás (hosszú idő alatt ismétlődő) torzítást visznek, mely az eredeti 30 m-es pontosságot 100 m. körülire csökkenti. Ez a hatás 2000. május 2. napján az USA elnökének rendelete alapján megszűnt.

Megvalósult az úgynevezett zavarást kivédő (*anti-spoofing*) technika, ami a P kódot a zavaró jelek elleni védelem céljából Y kódra alakítása útján, egy W kód beillesztésével történt. Így a modulált vivőhullámokhoz továbbra is csak a DoD által terjesztett hardver kulccsal lehet hozzáférni.

A GPS a **WGS-84** referencia rendszert használja. A műholdak pillanatnyi, időponttal jelölt koordinátái a navigációs üzenetben foglalnak helyet, melyet mind a P, mind a C/A kód tartalmaz. Természetes, hogy az eredeti feldolgozás a GPS saját referencia rendszerében történik.

Ha más referencia rendszerben dolgozunk, és Magyarországon ez az általános eset, úgy a mérési eredményeket transzformálni kell a használt vonatkozási rendszerbe. Erre akkor van lehetőség, ha a méréssel érintett területen, vagy annak közelében legalább 3 olyan alappontunk van, melyek koordinátái mindkét rendszerben ismertek. Sok országban, így hazánkban is, a transzformációs paramétereket az országos geodéziai szolgálatok biztosítják a felhasználók számára. A közös vonatkozási rendszer meghatározása igen fontos a precíz helymeghatározás szempontjából, így a WGS-84 rendszer és a helyi (lokális, regionális) vonatkozási rendszerek közötti eltérés megállapítása, valamint ennek az eltérésnek a figyelembevétele is szükséges. Erre hivatott az Európai Referencia Hálózat folyamatosan működő permanens vevőrendszere, amelynek mérési adatai alapján időről időre javítják a vonatkozási rendszer paramétereit.

A **GLONASS** rendszer műholdjai szintén két jelet sugároznak folyamatosan: az **SP szabványos pontosságú jel**, a **HP** pedig **nagypontosságú**. A polgári felhasználók számára csak az SP hozzáférés engedélyezett, ezt azonban *nem rontják el mesterségesen*. Az SP L1 vivőfrekvenciája a műholdak számára egyedi és az $L1 = 1602 \text{ MHz} + n * 0.5625 \text{ MHz}$ képletből számolható, ahol n a műhold sorszáma. Egyszerre több azonos sorszámú műhold is működhet (pld. a 6-os vagy 24-es) ezek azonban úgy helyezkednek el, hogy egy álláspontból egyszerre ne legyenek láthatók. A GLONASS jel is tartalmaz navigációs és rendszer üzenetet. [2]

A GLONASS rendszer a **PZ-90** geocentrikus, földhöz kapcsolt referencia rendszerben működik és az $a=6378136 \text{ m}$, $f=1: 298.257839303$ paraméterű földi ellipszoidot használja. Jelenleg még nem ismert végleges transzformáció a **PZ-90** és a **WGS-84** között.

Paraméter/eljárás	GLONASS	GPS
Műholdak		
Műholdak száma	21+3 tartalék	21+3 tartalék
Pályák száma	3	6
Pályahajlás szöge (fok)	64.8	55
Átlagos pályamagasság (km)	25.510	26.560
Jelek		
Alap órajel	5.0 MHz	10.23 MHz
Jeleválasztási eljárás	FDMA	CDMA
Vivő frekvenciák (MHz) L1	1602.0-1615.5	1575.42
(eredeti kialakítás) L2	1246.0-1256.5	1227.60
Kód óra ráta (MHz) C/A	0.511	1.023
P	5.11	10.23
Kód hossz (chip) C/A	511	1023
P	5.11x10 ⁶	6.187104x10 ¹²
C/A kód navigációs üzenet		
Fejléc hossza (perc)	2.5	12.5
Fejléc kapacitása (bit)	7500	37500
Fenntartott tár (bit)	~620	~2750
Szóhossz (sec)	2.0	0.6
Szóhossz (bit)	100	30
Egy keretben lévő szavak száma	15	50
A műhold efemeridáinak meghatározási módja	Geocentrikus Kartézusi koordináták és azok deriváltjai	Kepleri pályaelemek és perturbációs faktorok
Idő referencia	UTC(SU)	UTC(USNO)
Helyzeti referenciarendszer	PZ-90	WGS-84

1.1 táblázat A GPS és a GLONASS rendszerek alapparamétereinek összehasonlítása

Meglehetősen kevés információval bírunk a jelenleg tervezési fázisban lévő, de elfogadott terv szerint készülő Európai Unió által üzemeltetendő Galileo rendszerrel. Ennek legfőbb geometriai tulajdonsága, hogy 3 pályán 29. 000 km magasságban keringő 30 hold képezi majd a rendszert, valamint a sugárzott frekvencia (hullámhossz) megegyezik a GPS L1 frekvenciával. Igen erős tendencia mutatkozik a különböző telekommunikációs rendszerekkel való kompatibilitás megvalósítása felé. (1.1., 1.2. táblázat)

	GPS (jelenlegi rendszer)	Galileo
Műholdak száma	27	30
Pályák száma	6	3
Műholdak elhelyezkedése	egyenetlen	egyenletes
Pályahajlás	53-56 fok	54 fok
Pályasugár	26.561,75 km	29.378,137 km
Használt frekvencia	L1 (1575,42 MHz)	E1 (1575,42 MHz)

1.2. táblázat A GPS és a Galileo rendszer főbb paramétereinek összehasonlítása [3]

Ismerkedjünk meg a GPS mérések alapvető típusaival röviden!

1. 4. A kódfázismérés fogalma

A GPS az úgynevezett **C/A** kóddal csak az **L1** vivőt modulálja, míg a **P** kód és a navigációs üzenet mindkét vivőre rákerül. Mivel a **P** kód titkosság alóli felszabadítására nincs remény, a kódfázismérés megismerésekor a **C/A** kód felhasználására fordítjuk a figyelmünk. [4]



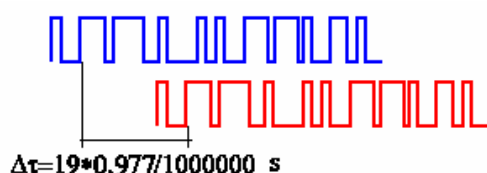
1.5. ábra - a C/A pseudo véletlen kód részlete

A C/A kód (1.5. ábra) úgynevezett **pseudo véletlen kód** (bár meghatározott szabályok szerint készül, mégis úgy néz ki, mintha zaj lenne), zérusok és egyesek egymásutánja, egy elem frekvenciája 1.023 MHz, a kód 1023 bit hosszú, ami időben kifejezve 1 milliszekundumnak (0.001 mp-nek) felel meg. Egy elem hossza, tehát

$2.99792458 \cdot 10^8 \cdot 0.977517106 \cdot 10^{-6} = 293.052$ m., az egész kódsorozat pedig hosszban kifejezve $293.052 \cdot 1023 = 299792.458$ m.

Míg a **GLONASS** rendszerben a *vivő frekvenciát*, addig a **GPS** rendszerben a *C/A kódot* rendelik a műholdakhoz, azaz minden műhold más és más szabály szerint készíti a pseudo véletlen kódot.

A C/A kódot azonban nem csak a műholdak generálják, hanem a vevők is minden milliszekundum kezdetén. Ha az adó órája és a vevő órája pontosan ugyanúgy járna, akkor a vett jel és a vevő jele közti fáziseltolódás kizárólag a műholdról kibocsátott jel terjedési idejétől függne.



1.6. ábra - a vett és a vevő által generált C/A kód időkülönbsége

A 1. 6. ábrán felül ábrázoltuk a vevő által gyártott kódot, alul pedig a vett demodulált jelet. Egy impulzus bit-időben kifejezett értéke $0.977517106 \cdot 10^{-6}$ mp, az ábrán látható érték $19 \cdot 0.977517106 \cdot 10^{-6}$ mp, ami 5567.993 m-nek felel meg.

Feltűnik, hogy miként lehet egy egészében 299. 792 km-es kóddal több, mint 22 000 km-es távolságokat megmérni. Bár erre vonatkozó információt a GPS oktató irodalomban nemigen találunk, a megoldást rendszerint úgy kapjuk meg a szoftverektől, hogy figyelembe veszik az álláspont közelítő koordinátáit (amit az előzőleg mért álláspont koordinátaival vesznek azonosnak) és kiszámolják, hogy az előző álláspont és a műholdak aktuális helyzete közötti távolságokban hányszor volt meg a 299792. 458 méternyi teljes kódhossz. Az így kapott értékeket ezután érvényesnek tekintik az új álláspontra is.

A vevők tehát megméri a szatellitek távolságát és kiolvassák a kódolt információból a műholdak helyzetére vonatkozó adatokat. Geometriai szempontból az álláspont ismeretlen koordinátái akkor számíthatók, ha ezek a mérések illetve helyzeti információk egyidejűleg három műholdra rendelkezésre állnak.

A mért távolságokat azért nevezik **pseudotávolságoknak**, mivel értéküket a vevő órájának a műhold órájához viszonyított késése is befolyásolja. A műholdakon nagy pontosságú atomórák vannak, melyek szinkronizálásával a földi irányító központ foglalkozik. 4 db atomóra (rubídium és cézium) van mindegyik műholdra felszerelve, melyek rövid idejű frekvencia stabilitása 10^{-12} - 10^{-13} . Ezeknek az óráknak az ára 100.000 USD nagyságrendű. A vevőkbe ugyanakkor gazdaságtalan lenne ilyen drága atomórákat beépíteni, arról nem is beszélve, hogy központi szinkronizálásukat sem lehet technikailag megoldani. Az ismeretlen óra hibát egy *negyedik műholdra végzett méréssel* lehet meghatározni.

A pseudotávolságok meghatározása történhet a kódok felhasználásával. Az esetek többségében a vevők a C/A kódot értékelik ki a **korrelációs technika** segítségével. A *korreláció* áramköri megvalósítása olyan, hogy biztosítja a szatellita jel mindhárom komponensét: a műhold óra leolvasását, a navigációs üzenetet és a moduláció nélküli vivőhullámot. Míg a két utóbbi minősége független a megfejtett kódtól, addig az időleolvasás pontossága függ a kód periódusától (hosszától). A periódusnak a C/A kód esetén amint láttuk kb. 300 m távolság felelt meg, míg a katonai használatú P kód esetén 30 m. A szatellita órajelét 1% pontossággal lehet detektálni ezért ideális esetben a C/A kód alkalmazásával végzett pseudotávolság mérések 3 m, a P kód segítségével végzettek pedig 0.3 m-es pontossággal rendelkeznek.

1. 5. A vivő fázismérés fogalma

A kódokat és jeleket a **GPS** az **L1** és **L2** frekvenciák modulálásával juttatja el a vevőkhöz. Ezek a frekvenciák természetesen sokkal magasabbak a kódok frekvenciájánál. Míg a pontosabb **P kód** hullámhossza 30 m., addig az **L1** vivő 1575.42 MHz frekvenciája 19 cm-nek felel meg. [5]

A vivő fázismérésre kialakított vevők áramkörei képesek a kódolástól mentes vivő hullámhossz helyreállítására és meg tudják mérni a vivő fázisát is, azaz meg tudják határozni, hogy a vevő és a műhold közötti teljes távolságban az utolsó *nem teljes* vivő hullám hányad része az egész 19 cm-es hullámnak. A probléma az, hogy a mért hosszban százmillió körüli jelöletlen egész hullám is található, melyek megszámlálása direkt módon technikailag lehetetlen.

Az egész hullámhosszak meghatározásához a vevők hardveresen annyiban tudnak hozzájárulni, hogy rögzíteni tudják az egyes műholdakra vonatkozó teljes hullámhosszak változását. Ha ugyanis a vevő mozdulatlanul áll az állásponton és méri négy műhold távolságát, a műholdak mozgása következtében a távolságok (a teljes hullámok száma és a nem teljes hullám-részek nagyságai, azaz a fázismérési eredmények) változni fognak. Ezek a változások rögzíthetők és tárolhatók.

Ahhoz hogy a feladatot jobban el tudjuk képzelni, írjuk fel az észlelések és a koordináták közötti összefüggést kissé egyszerűsített formában. Jelölje az i index a műholdakat, a j index az észlelési alkalmakat és alkalmazzuk a következő jelöléseket:

- x, y, z - az álláspont koordinátái;
- X_i^j, Y_i^j, Z_i^j - az i -k műhold koordinátái a j -ik észlelési pillanatban;
- h - a vevő hullámhossza;
- c - a hullám terjedési sebessége;
- N_i - a teljes hullámhosszak száma az i -k műholdhoz a kezdő pillanatban;
- df_i^j - a nem teljes hullám rész hossz (a teljes hullámot egységnek tekintve) az i -k műholdra végzett észlelés során a j -ik időpontban;
- dN_i^j - a teljes hullámhosszak számának változása az i -k műholdhoz a j -ik pillanatban a kezdő pillanathoz képest;
- delta^j a vevő órájának eltérése a **GPS** időhöz képest a j -ik időpillanatban.

Egy észlelésre és egy műholdra tehát az alábbi összefüggés írható fel az álláspont és műhold távolságára:

$$[(x - X_i^j)^2 + (y - Y_i^j)^2 + (z - Z_i^j)^2]^{0.5} = (N_i + dN_i^j + df_i^j) \cdot h + \text{delta}^j \cdot c$$

Készítsünk egy táblázatot, melyben feltüntetjük az észlelési alkalmak számát, a megfelelő ismeretlen- és egyenletszámot *feltételezve, hogy egyidejűleg mindig **négy** műhold* távolságát

mérjük. Az 1.3. táblázatból észrevehetjük, hogy három észlelés esetén, már nagyobb az egyenletek száma, mint az ismeretleneké, tehát az ismeretlenek kiegyenlítésével meghatározhatók.

Észlelési alkalmak száma	1	2	3
Ismeretlenek száma	$3+4+1=8$	$3+4+2=9$	$3+4+3=10$
Egyenletek száma	4	8	12

1.3. táblázat Az ismeretlenek és az észlelések számának összefüggése

A gyakorlatban a vivő fázismérésen alapuló módszerek rendszerint két GPS vevőt alkalmaznak. A cél ezeknél a módszereknél az úgy nevezett **relatív helymeghatározás**. A relatív helymeghatározás azt jelenti, hogy két pont közötti távolság X, Y, Z komponenseit kívánjuk meghatározni. Az egyik vevőt az ismert referencia ponton üzemeltetik, míg a másik vevő a meghatározandó ponton üzemel. Mindkét vevő a megadott programnak megfelelően megméri a kijelölt műholdakra a vivő fázist és rögzíti a hozzátartozó idővel együtt. A feldolgozási folyamatban (utófeldolgozásról van szó) a program a vivőfázis észlelések *különbségeiből* számolja a keresett koordináta különbségeket. [6]

Megkülönböztetik az *egyszeres, kétszeres és háromszoros* különbségeket (differenciákat): Az **egyszeres differenciák esetén** az **A** referencia és **B** meghatározandó ponton azonos időben azonos műholdra végzett fázismérések eredményeit kivonjuk egymásból, ezért az *i* és *j* indexektől eltekinthetünk. Így a vevők és szatellitek távolságát T_A -val és T_B -vel jelöljük, azaz $T_A = [(x_A - X_i)^2 + (y_A - Y_i)^2 + (z_A - Z_i)^2]^{0.5}$, stb. észlelési egyenletként a következő kifejezést kapjuk:

$$T_B - T_A = (N_B - N_A + df_B - df_A) \cdot h + (\delta_B - \delta_A) \cdot c$$

Mivel a relatív helymeghatározásban a kiinduló pont koordinátáit ismertnek tételezzük fel, egy fenti egyenlet *három koordináta ismeretlen*, műholdanként egy (azaz n_i) egészshullám-szám ismeretlen és mérési alkalmanként egy (n_t) óra eltérési ismeretlen tartalmaz. Azaz a megoldhatósághoz az n_i, n_t mérési egyenlet számának nagyobbnak kell lennie, mint $3 + n_i + n_t$. Ha például 5 műholdra végzünk két alkalommal mérést, úgy $5 * 2 = 3 + 5 + 2 = 10$, azaz a rendszer egyértelműen megoldható.

A **kétszeres különbségek** azt a mérési elrendezést modellezzik, amikor ugyanabban az időben két műholdra (j és k) végezzük a szimultán mérést az A és B pontokon, képezzük az előzők szerint az egyszeres különbségeket, majd kivonjuk őket egymásból:

$$T_B^k - T_B^j - T_A^k + T_A^j = (N_B^k - N_B^j - N_A^k + N_A^j + df_B^k - df_B^j - df_A^k + df_A^j) \cdot h$$

Megfigyelhetjük a modellnek azt a nagy előnyét, hogy az egyenletből kiesnek a vevők óraeltéréseit leíró ismeretlenek.

Ha itt is megvizsgáljuk a felírható egyenletek és ismeretlenek számát, úgy azt találjuk, hogy mivel egy kétszeres különbség egyenlethez két műhold szükséges, n_i számú műhold esetén egy időpillanatban (epochában) $(n_i - 1)$ egyenlet írható fel, n_i epochában tehát a felírható egyenletek száma $(n_i - 1) \cdot n_i$. Az ismeretlenek száma pedig 3 koordináta ismeretlen és $(n_i - 1)$ egész hullámszám ismeretlen. Azaz négy műhold esetén ($n_i = 4$) két észlelési időpontra ($n_t = 2$) van legalább szükség, ugyanis $(4 - 1) \cdot 2 = 3 + (4 - 1) = 6$.

A **háromszoros különbségek** képzéséhez két időpontban (t_1, t_2) képzett kétszeres különbségek különbségét képezzük. Eredményként azt kapjuk, hogy:

$$\begin{aligned} T_B^k(t_2) - T_B^j(t_2) - T_A^k(t_2) + T_A^j(t_2) - T_B^k(t_1) + T_B^j(t_1) + T_A^k(t_1) - T_A^j(t_1) = \\ (df_B^k(t_2) - df_B^j(t_2) - df_A^k(t_2) + df_A^j(t_2) - df_B^k(t_1) + df_B^j(t_1) + df_A^k(t_1) - df_A^j(t_1)) \cdot h \end{aligned}$$

A háromszoros különbségek képzésének az a nagy előnye, hogy amint a fenti egyenletből látható nem csak az óra javítások hiányoznak belőle, hanem kiküszöbölődtek az egész hullámok számát leíró ismeretlenek is, és ennek következtében ez a modell érzéketlen az úgynevezett '**cikluscúsúsásokra**', azaz arra a hibára, ami az egész hullámszámok változásának meghatározásakor következhet be, ha a vevő valamely akadály következtében ideiglenesen elveszti a kapcsolatot a műhoddal.

A modell természetéből következik, hogy egy háromszoros különbség egyenlethez két észlelési alkalomra van szükség. Következésképpen n_t alkalom esetén $(n_t - 1)$ független észlelési időkombináció írható fel. n_i számú műhold esetén tehát az egyenletek száma $(n_i - 1) \cdot (n_t - 1)$

ennek kell nagyobbnak, vagy egyenlőnek lenni 3-al, a koordináta ismeretlenek számával. Ha 4 műholdra észlelünk, úgy az észlelési alkalmak száma legalább 2 kell legyen mivel, $(4 - 1) * (2 - 1) = 3$.

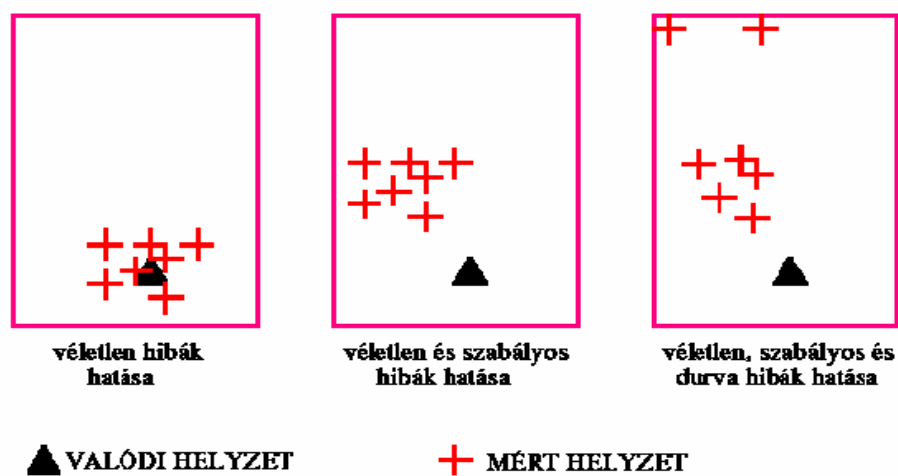
Meg kell jegyeznünk, azonban, hogy bármennyire is előnyös lehet a fenti differenciák képzése, fennáll a hasznos adatok elvesztésének veszélye. Ezt természetesen kellő figyelemmel kezelni lehet úgy, hogy a differenciák előállításakor az eredeti adatsort mentjük és a műveleteket ezután végezzük el, majd az eredményeket ismét összevetjük a nyers adatsorral. [7]

2. A GPS hibaforrásai

A mérés technikában, így a geodéziai mérésekben is megkülönböztetik a

- *véletlen hibákat vagy zajt, a*
- *szabályos vagy szisztematikus hibákat és a*
- *durva hibákat.*

A GPS hibái e három forrás kombinációjából jönnek létre.



2.1. ábra – a GPS hibaforrások hatása

A 2. 1. ábra jól illusztrálja a három hibatípus jellegét. [8]

A zaj a valódi helyzet körüli szóródást idéz elő, végtelen sok mérés esetén a mérések átlaga a valódi helyzetet szolgáltatná.

A szabályos hiba minden mérést egy irányba torzít, a mérési szám növelésével az átlagban a torzítás értéke nem csökken.

A **durva hiba** a mérési pontosságot jelentősen meghaladja, szerencsére nem lép föl rendszeresen és a mérési szám növelésével az eredményekből többnyire jól kiszűrhető.

A **véletlen hibák (zaj)** főként a pseudovéletlen kód kb. 1 méteres zajából és a vevő szintén kb. 1 méteres belső zajából tevődnek össze.

A **szabályos hibákat** a szelektív hozzáférés (SA) és más tényezők okozzák.

Ezek közül megemlítjük:

- A **műhold órák** azon **hiba részét**, melyet a földi irányító központ nem korrigál. Ez az érték elérheti az 1 m.-t.
 - A műhold **sugárzott koordináta hibái** szintén 1 m. körüli értékek.
 - Az atmoszféra alsó 8 - 13 km-es tartományában, a **troposzférában**, a jel terjedési sebessége függ az időjárási tényezőktől (hőmérséklet, légnyomás, párányomás). Ha ezeket nem mérik, és nem veszik figyelembe a számítás során, úgy 1 m-es szabályos hibát okozhatnak.
 - Az **ionoszféra**, az atmoszféra 50 km-től 500 km-ig terjedő tartományának hatását a jel terjedési sebességére különböző modellekkel próbálják figyelembe venni. Mivel azonban ezek a modellek sem tökéletesek bizonyos esetekben 10 m körüli szabályos hibával terhelhetik a mérést.
 - A **GPS** jel nem csak közvetlenül a műholdról, de különböző tereptárgyakról **visszaverődve** is bejuthat a vevőantennába. Mivel a visszavert jel hosszabb utat tesz meg, mint a közvetlenül terjedő ez szabályos hibát eredményez, nagyságát 0.5 m-re becsülhetjük.
- A **durva hibák** több száz kilométeres eltéréseket is eredményezhetnek
- A **földi ellenőrző rendszer** számítógépes vagy emberi hibái egy métertől több száz kilométerig terjedő hibákat okozhatnak.
 - A **felhasználók**, főként a rossz dátum beállítással, 1 m-től több száz méterig terjedő eltéréseket idézhetnek elő.
 - Ha a **vevők** hardvere vagy szoftvere elromlik, tetszőleges nagyságú hiba bekövetkezhet.

- Tipikus az olyan eset, amikor a véletlen és szabályos hibák kombinációjaként minden a pontmeghatározásban résztvevő műholdra 15 m körüli távmérési hiba adódik.

Eddig mérési hibákról beszéltünk, a mért távolságokból azonban a bevezetőben vázolt geometriai elv (három gömb metszése) felhasználásával koordinátákat akarunk meghatározni. Ha az egymást metsző gömbök sugara hibás, úgy a koordináta meghatározás pontosságát befolyásolja a ponttól a műholdakra irányuló vektorok kölcsönös helyzete.

E geometriai hatás figyelembe vételére a GPS - szel foglalkozó szakterület a **GDOP** nevű mennyiséget használja. A GDOP betűszó a **Geometric Dilution of Precision (geometriai pontosság hígulás)** angol kifejezés rövidítése.

Vizsgáljuk meg közelebbről a DOP értékek természetét.

2. 1. A DOP

A pontosságra vonatkozó kérdésre az általános válasz: Az attól függ!

A „mitől” egyik összetevője a mérései körülményeket jellemző paraméterek közül az egyik legjelentősebb a DOP értékek, amelyeknek rövid vizsgálatát végezzük most el. [9]

Általánosságban véve a DoD által (SA-val terhelt) mérések pontosságára adott „garancia” 100m-nél nem nagyobb hiba az időintervallum 95%-ban. Ez azt jelenti, hogy 100m-nél nem nagyobb a mért és valós pozíció közötti távolság a vízszintes értelmű helymeghatározásban, míg a magasságra vonatkozóan ez 156 m, és 340 ns az időátvitel pontossága! (24 műholdas rendszert, 5 fok kitakarási szöget, egyéb zavaró objektum kizárása, legalább 4 műhold egyidejű láthatósága és a PDOP $\leq$ 6 esetében)

2. 1. 1. A geometria hatása a mérésekre általában:

Távolságmérésen alapuló helyzet-meghatározás esetén a mérési pontok elhelyezkedése (fix pontok ill. mozgó vagy mérendő pont) alapvetően befolyásolja a mérés pontosságát. Ennek analógiája a geodéziában ismert hátrametszés esetén előálló veszélyes kör fogalma.

Belátható, hogy bár a két különböző mérési elrendezésben a hibák nagysága lehet azonos úgy, hogy a meghatározandó pozíció hibája mégis nagymértékben különbözik.

Ugyanez a helyzet áll elő a GPS mérések elvégzésekor is.

Mint korábban láttuk, a GPS távolságmérésen alapul, amelynek alapképlete:

$$P = \rho + c(dT - dt) + d_{\text{ion}} + d_{\text{trop}} + e \quad (2.1.)$$

Ahol P a mért pszeudotávolság, ρ a geometriai távolság a vételi időpontban vevő antennája és az adás időpontjában a műhold antennája között, dT és dt a vevő és a műhold órahibája a GPS időhöz képest, d_{ion} és d_{trop} az ionoszférikus és a troposzférikus torzítás, és e a mérési zaj és más, nem modellezett hatások, mint pl. a többutas terjedés, c a fény sebessége vákuumban.

Ha feltesszük, hogy a vevő figyelembe veszi az órahibát (a navigációs üzenet alapján), valamint a légköri késleltetést (belső szoftveres modell alapján), a képlet a következőre egyszerűsödik:

$$P_c = \rho + c \, dT + e_c \quad (2.2.)$$

Ahol, e_c az eredeti mérési zaj és a modell hibák, valamint nem modellezett hibák (mint a korlátozott hozzáférés SA). N darab ilyen egyenletünk adódik a szerint, ahány egyidejű mérést végez a vevőnk.

A ρ paraméter nem lineáris függvénye a vevő- és a műhold koordinátáinak. Ahhoz, hogy a vevő helyzetét meghatározzuk, linearizálni kell a pszeudotávolság egyenletét néhány előzetes

becsléssel, vagy közelítéssel a vevő koordinátáinak tekintetében. Ezeket a kezdeti becsléseket, korrekciókat a vevő aktuális koordinátáiból és órahibájából származtathatjuk, így összevonva és mátrix alakban kifejezve egyenleteinket a modell a következők szerint írható:

$$\Delta \mathbf{P}_c = \mathbf{A} \Delta \mathbf{x} + \mathbf{e}_c \quad (2.3.)$$

Ahol $\Delta \mathbf{P}_c$ a korrigált pseudotávolság mérések és a modellezett pszeudotávolságok közötti különbségek n - hosszúságú vektora a linearizáló pont koordinátái alapján, $\Delta \mathbf{x}$ a négy ismeretlenből álló vektor – a vevő koordinátái és az órahiba (távolságegységekben kifejezve)- a linearizáló pontból, $\mathbf{A}$ a pszeudotávolságok ismeretlenekre vonatkozó parciális deriváltak $n \times 4$ -es mátrixa, $\mathbf{e}_c$ a mérési és egyéb hibák n - hosszúságú mátrixa.

Az $\mathbf{A}$ mátrix első három oszlopa a linearizáló pontról a műholdakra mutató egységvektor komponensei, míg a negyedik oszlop mind 1.

A vevő belső szoftvere, vagy az utófeldolgozó szoftver oldja meg ezt a mátrixegyenletet a legkisebb négyzetek elve alapján. A vevők a Kálmán-szűrőt is használhatják, ami a szokásos legkisebb négyzetek leírásának általánosabb alakja. A megoldás:

$$\Delta \mathbf{x} = - (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \Delta \mathbf{P}_c \quad (2.4.)$$

A súlymátrix ($\mathbf{W}$) tartalmazza az egyidejű mérések hibáinak különbségét, valamint az ezek között szóba jöhető bármilyen korreláltságot. A súlymátrix ugyancsak egyenlő $\sigma_0^{-2} \mathbf{X}^{-1} \Delta \mathbf{P}_c$, ahol $\mathbf{C} \Delta \mathbf{P}_c$ a pszeudotávolságok hibáinak kovariancia mátrixa és a σ_0^2 az osztásfaktor, mint a priori varianciája a súlyegységnek. Általánosságban egy nem lineáris probléma megoldása iterációval lehetséges, bár ha a linearizáló pont megfelelően közel van a valódi megoldáshoz, úgy egyetlen közelítés is elegendő lehet.

2. 1. 2. A kovariancia mátrix

Új kérdésünk tehát így merül fel: „Milyen pontosak lesznek a vevő koordinátái és órahibája a fenti megoldás alapján?” Azaz, hogyan befolyásolják a távolságmérés és a modell hibái a (2.4.)-ből származó becsült paramétereket. Ez a hibaterjedés törvénye alapján válaszolható meg, vagy a kovariancia törvényként is ismert:

$$\mathbf{C}_{\Delta\mathbf{x}} = ((\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W}) \mathbf{C}_{\Delta\mathbf{pC}} ((\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W})^T = (\mathbf{A}^T \mathbf{C}_{\Delta\mathbf{pC}}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \quad (2.5.)$$

Ahol $\mathbf{C}_{\Delta\mathbf{x}}$ a becsült értékek kovariancia mátrixa.

Ez az egyenlet az alapja a mérési analitikának, amelyet olyan széles körben alkalmaznak a mérnöki tudományokban. Ezzel vizsgálható egy adott eljárás paramétereinek hatása valós mérések elvégzésének szükségessége nélkül.

A GPS területén igen sok kérdésre kaphatunk választ ezzel a módszerrel:

- Hogyan viselkedik a mátrix egy adott műhold-konfiguráció esetében?
- Hogyan terjednek a különböző modell hibák a vevő koordináták felé a műhold-konfiguráció függvényében?
- Mekkora lehet egy adott érték hibahatára, hogy az még az eredmény hibáját meghatározott értéken belül tartsa?

Ezek a kérdések nem csak a pszeudotávolság mérésének esetében merülnek fel, de a pontosabb vivőhullám fázisának és a differenciált mérendők vizsgálatakor is.

Ha feltételezzük, hogy az (2.5.) egyenletben a mérési- és modellhibák azonosak minden megfigyelésre egy adott σ értékkel és nem korreláltak, akkor $\mathbf{C}_{\Delta\mathbf{pC}}$ az $\mathbf{I}\sigma^2$ lesz ($\mathbf{I}$ egységmátrix). Ekkor a kovariancia kifejezés $\Delta\mathbf{x}$ -re így egyszerűsödik:

$$\mathbf{C}_{\Delta\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \sigma^2 = \mathbf{D} \sigma^2 \quad (2.6.)$$

A valósághoz közelebb állna, ha inhomogén és nem nulla korreláltságot tételeznénk fel, de ez általában szükségtelen!

Mivel a legkisebb négyzetek becslése a paraméterek egyszerűen hozzáadódnak a linearizáló pont értékeihez – lineáris művelet – így a paraméterbecslés és a javítás azonos kovarianciájúak. A $C_{\Delta x}$ átlójának elemei a vevő koordináták és az órahiba, és a fordított átló elemei (kovariancia) azt mutatják, hogy ezek milyen mértékben korreláltak. [9]

2. 1. 3. UERE

Mint említettük, a σ (standard hiba) mutatja a pszeudotávolság – mérés és a maradék modell hibák összegének eltérését, amit minden egyes megfigyelésre azonosnak vettünk. Ha még azt is feltételezzük, hogy a mérési és modellhibák komponensei függetlenek, úgy egyszerűen négyzetösszezből vont négyzetgyökkel értéket adhatunk σ -nak. Ha összevonjuk a vevő zajt, műholdóra- és pályahibát, atmoszférikus hibát, multipath-t és SA-t – mindegyiket távolságegységben meghatározva – úgy UERE (User Equivalent Range Error) –ként ismert értéket kapunk, amit szigmaként használhatunk.

Az SPS (Standard Positioning Service) esetében ez az érték a 25 méteres tartományba esik, SA nélkül akár 5 m alatti érték is lehet, ekkor az ionoszféra és a multipath adja a hiba jelentősebb részét. PPS (Precise Positioning Service) esetén és kétfrekvenciás eszközökkel ennél is jobb értékek érhetők el.

2. 1. 4. A DOP-k

A σ ismeretében a $C_{\Delta x}$ értékei a (2.6.) szerint számíthatók:

$$\sigma_G = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_U^2 + \sigma_T^2} = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44}} \sigma \quad (2.7.)$$

Ahol σ_E^2, σ_N^2 és σ_U^2 az vevő pozíció becslésének Keleti, Északi és a függőleges komponensének varianciái, és σ_T^2 a vevő becsült órahibájának varianciája.

Amennyiben geocentrikus kartézusi koordinátarendszerben parametrizáljuk a fentieket, úgy egyenesen a helyi koordinátarendszerbe transzformált kovariancia megoldást kaphatunk. Ez a becsült megoldás pontossági érték egyenlő a távolságmérés és a modell hibájának standardhibájával (σ) szorozva a skálafaktorról, ami a **D** mátrix négyzetgyöke. A **D** elemei csak a vevő- műhold geometria függvénye! És miután a skálafaktor tipikusan nagyobb egynél, ez módosítja a távolsághibát, így rontja a pontosságát a helyzet meghatározásának. Ez a faktor a Geometriai Pontosság Hígulása (GDOP).

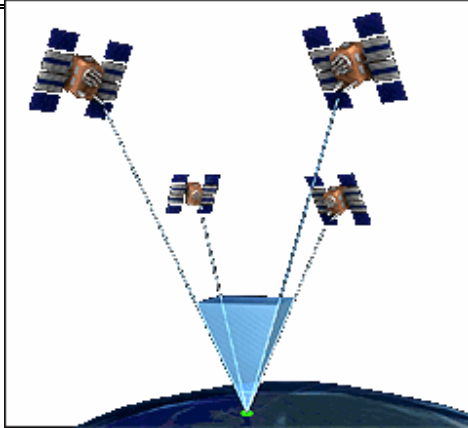
2. 1. 5. A gúla

A vevő-műhold egységvektorok négy csúcsa egy gúlát határoznak meg. A gúla térfogata arányos a DOP értékével, minél nagyobb a gúla térfogata, annál kisebb a DOP értéke. A lehető legnagyobb térfogatú testet úgy kaphatjuk meg, ha egy műhold a zeniten figyelhető meg, míg további 3 a horizont alatt $-19, 47$ fokon, egyenlően elosztott azimutokon. Ekkor a GDOP értéke 1, 581. Mivel ezt a helyzetet nem tudjuk kihasználni, így a horizonton elhelyezkedő holdak esetében a legjobb GDOP érték 1, 732 lehet.

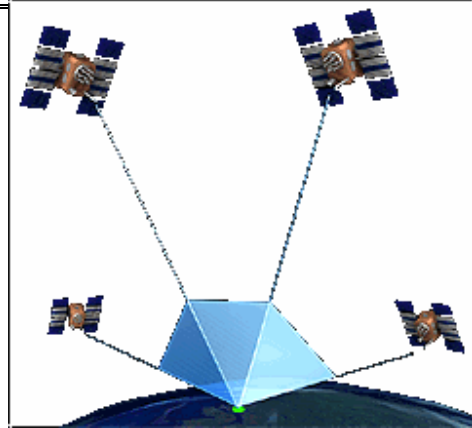
Meghatározás szerint a GDOP fordítva arányos a meghatározandó pontról a műholdakra menő irányok egységvektorai által határolt fordított helyzetű (csúcsára állított) gúla köbtartalmával.

Ha tehát a gúla köbtartalma kicsi, következésképpen a GDOP nagy, a helymeghatározás pontossága pedig alacsony (2. 2. ábra). A fordított esetben, amikor a gúla köbtartalma nagy, a GDOP pedig kicsi, a pontmeghatározás pontossága megnő (2. 3. ábra).

Talán meggyőzőbb a hibák szóban történő kifejtésénél a mérési eredmények grafikus ábrázolása. A következő három ábrát a MIT Lincoln Laboratórium munkatársai készítették a közelmúltban készült méréseik alapján. Az ábrákhoz összességében csak annyi magyarázatot kell hozzátenni, hogy a GDOP felbontható vízszintes és magassági komponensre, az ábrákon szereplő HDOP a vízszintes komponens.



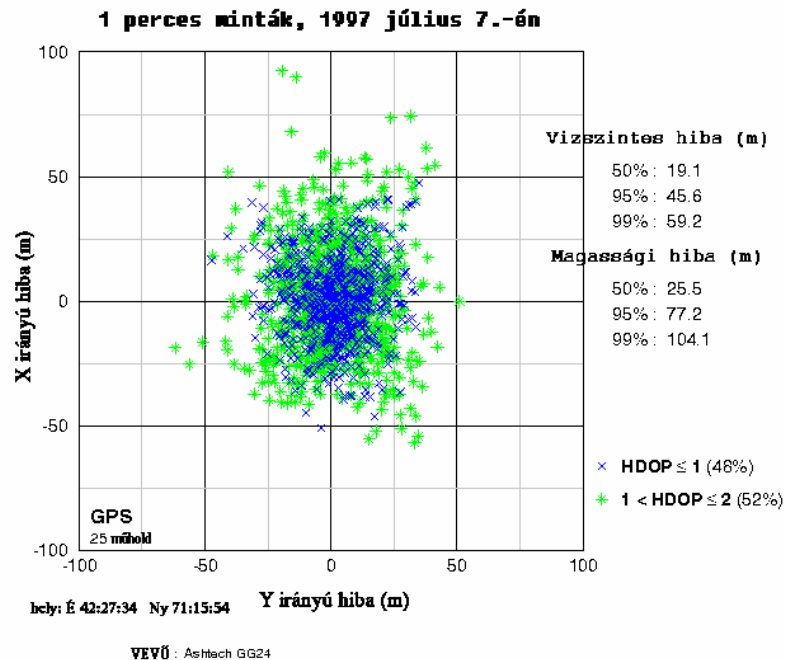
2. 2. ábra rossz GDOP



2. 3. ábra jó GDOP

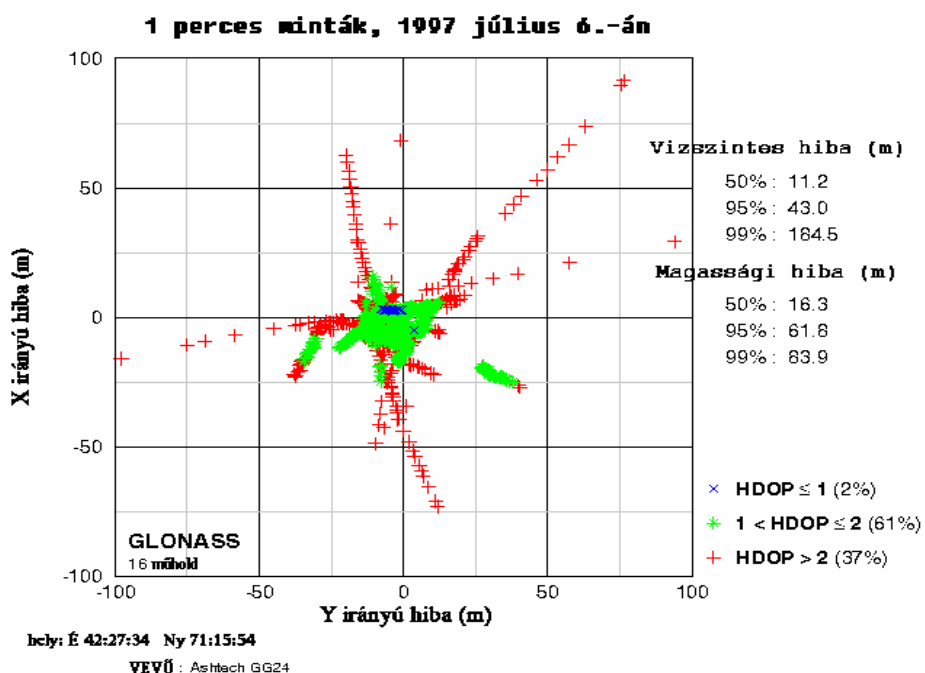
A 2. 4. ábra nagyon jól illusztrálja a véletlen hibák megjelenési formáját. Az ábrán jól követhető, hogy a kisebb tehát pontosabb HDOP-pal rendelkező mérések nagyon jól tömörödnek az elméleti ponthely környezetében.

Érdeemes megfigyelni, hogy míg a vízszintes hiba 99%-os valószínűségi szinten 59.2 m-en belül van, addig a grafikusan fel nem tüntetett magassági hiba ugyanezen a valószínűségi szinten 104.1 m, azaz a vízszintes hibának majdnem a kétszerese.



2. 4. ábra Véletlen hibák hatása a mérésre

A 2. 5. ábra a **GLONASS** mérési eredményeket vehetjük szemügyre. Az első figyelmet érdemlő tény, hogy a 25 **GPS** műhellyel szemben az észlelési időpontban csak 16 GLONASS műhold működött. Ennek következtében egyrészt jelentősen csökkent az 1-nél kisebb HDOP - pal rendelkező mérések száma, másrészt megjelentek a 2-nél nagyobb HDOP értékek is.

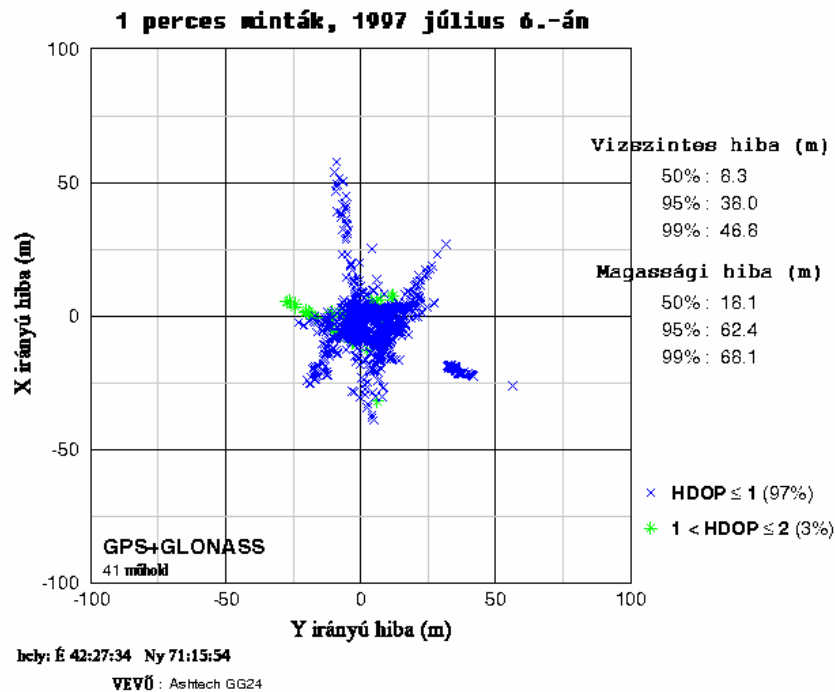


2. 5. ábra GLONASS mérések pontossága

Az ábra egyértelműen bizonyítja, hogy azonos HDOP értékek esetén a GLONASS mérések sokkal pontosabbak. Másik érdekes jelenség, hogy a GLONASS magassági hibája nem tér el szignifikánsan a vízszintes hibától.

A 2. 6. ábra az optimális mérési módszer, a közös **GPS - GLONASS** mérések, pontosságát mutatja be. Az ábra legfőbb mondanivalója, hogy az esetek 97%-ában a HDOP kisebb volt egynél, azaz a két rendszer együttes konstellációja szinte minden időben biztosítja az optimális geometriai elhelyezkedést az észlelt műholdak és az álláspont között. Ennek megfelelően jelentősen nőtt a pontosság nem csak az önálló **GLONASS** észleléshez képest, de az

önálló GPS észleléshez képest is. Különösen jelentős a magassági hiba csökkenése, mely kb. 80%-os a GPS mérésekhez képest.



2. 6. ábra Kombinált mérések pontossága

2. 1. 6. HDOP-VDOP

Általában, minél több műholdat használunk fel a megoldásban, annál kisebb DOP értékeket kapunk, így kisebb a megoldás hibája.

Az ábrán látható, hogy a horizontális hibaértékek általában kisebbek, mint a magassági értelműek. Ez annak az eredménye, hogy jeleket csak a vevő antennája fölötti területről kapunk, így a horizontális meghatározáshoz minden oldalról kapunk értékelhető adatot, míg a vertikálishoz csak az egyikről. A rendszer ebben az értelemben aszimmetrikus. Amennyiben a Föld „áteresztő” lenne rádióhullámokra, úgy nagyjából azonos megbízhatósággal tudnánk függőleges értelmű meghatározást végezni.

2. 1. 7. A szélesség

A HDOP és a VDOP közötti eltérés a földrajzi szélességgel arányosan változik. Minél nagyobb szélességen észlelünk, annál kevesebb műhold van magasan az égen. Ez abból adódik, hogy a műholdak pályahajlása 55 fok, azaz az 55. Szélességi foktól északra, illetve délre soha nem lesz műhold a zeniten, a sarkokon ennek a legnagyobb értéke 45 fok.

Ha 15 fokos kitakarás mellett 4 műholdat követünk, úgy a vízszintes DOP érték 1-2 között változik, míg a függőleges 3-tól akár 7-ig is terjedhet. Ha a kitakarást 5 fokra csökkentjük, úgy ez az érték visszaáll 2-3 közé, időszakos kilengésekkel a 4-re. Ez nem meglepő, hiszen csak a horizont körüli 30 fokos szögben érzékeljük a műholdakat. A 7-es VDOP érték úgy állhat elő, hogy ha az UERE 25 méter, úgy a vertikális hibája négyzetgyöke 175 méter, míg a 95%-os megbízhatósági szinten ez 350 méterre is növekedhet. Ha a kitakarási szöget 5 fokra csökkentjük, a VDOP 2 és 3 közé süllyed és legfeljebb 4 értéket ér el.

2. 1. 8. Konklúzió

Láthattuk, milyen fontos szerepe van a műholdak elhelyezkedési geometriájának a GPS helymeghatározás pontosságában. Ez az adottság mindig figyelmet érdemel a technológia használatakor, bár az új frekvencia bevezetése és a GLONASS műholdak elérhetősége, valamint az előkészületben lévő európai navigációs rendszer használata jelentősen csökkenteni fogja ennek hatását. Így a nem túl távoli jövőben elvárható lehet az önálló GPS vevővel mért pozíció néhány méteren belüli pontossága még a lakott területeken belül is.

Vizsgálódjunk tovább a hibaforrások egy másik összetevője irányában is, amely legalább ilyen jelentőséggel bír a helymeghatározás pontosságában.

2. 2. Az ionoszféra hatása

Az ionoszféra a Föld légkörének felső része, ahol a nap Extra Ultraviola (EUV) és röntgen sugárzásának hatására szabad elektronok keletkeznek, amelyek befolyásolják a rádióhullámok terjedését. Amikor fotonok ütköznek a felső atmoszférában lévő atomokhoz és molekulákhoz, azok energiája felszabadítja azokat a kötéseket, amelyekkel az elektronok kötődnek. Az eredmény nagyszámú szabad negatív töltéssel rendelkező elektron és pozitív töltésű atom és molekula, azaz ion. Az ilyen ionizált gázt plazmának nevezzük. [10]

Az ionoszférának nincs fix határa, bár alsó része jól meghatározható kb. 50 km-ben, míg felső széle 1000km-ig, vagy még azon is túl nyúlhat.

Ahogy a magasság csökken az ionoszféra EUV elnyelése nő, így a semleges részecskék száma is nő. Ez egy maximális elektronsűrűségű réteg képződését eredményezi. Bár különböző atomok és molekulák különböző mértékben nyelik el az EUV-t, az elektrontartalom szempontjából jól meghatározható rétegek keletkeznek, amelyeket D, E, F1 és F2 jelöléssel látunk el. Általában az F2 rétegben található a legmagasabb elektronkoncentráció.

Az ionoszféra szerkezete nem állandó, hanem a naptól származó sugárzás és a Föld mágneses tere hatására állandóan változik. Ez a változékonyság hatással van a GPS műholdak által sugárzott jelekre is, ahogy azok áthatolnak az ionoszférán a felhasználó GPS vevőjéig.

2. 2. 1. Törésmutató

Ahhoz, hogy a GPS műhold és a vevő közötti távolságot pontosan meg tudjuk határozni, ismernünk kell a hullám terjedésének sebességét. A terjedési sebességet a törésmutatóval (n) tudjuk kifejezni (rádióhullámok esetében először csak a vivőhullámra vonatkozóan) a közegre vonatkoztatva. Ez a fény vákuumban mért sebességének és a közegben mért sebesség hányadosa:

$$n = c/v \quad (2.8.)$$

Egy nem modulált hullám terjedési sebességét a hullám egy kiválasztott fázisának terjedési sebességével jellemezzük és a törésmutatót is fázis-törésmutatónak nevezzük. A közeg diszperzív is lehet, ekkor a fázis sebessége a frekvencia függvénye.

Egy jel, vagy modulált vivőhullám egy, a vivőhullám középfrekvenciájára szuperponált hullámok csoportjaként is felfogható. Ha a közeg diszperzív, úgy minden egyes a csoportot alkotó hullám különböző sebességgel terjed. A végeredmény az, hogy a jel modulációja a vivőhullámtól eltérő sebességgel halad, ez a csoportsebesség.

A fázis törésmutatójához (n) hasonlóan a csoportra vonatkoztatva is meghatározható a törésmutató (n_g):

$$n_g = c/v_g \quad (2.9.)$$

Látható, hogy

$$n_g = n + f(dn/df) \quad (2.10.)$$

Ahol a dn/df a frekvenciától való függést mutatja.

Általánosságban, ha a közeg nem homogén, a törésmutatók (n) és (n_g) a közegben elfoglalt helyzet függvényei!

A változó törésmutatók hatására a közegen áthaladó hullámok útja eltér az egyenestől. A törési út egyenes következménye a Fermat-féle törvénynek, amely szerint a rádióhullám az időben lehető legrövidebb utat teszi meg a közegben, azaz az út megtételéhez szükséges legrövidebb idő alatt halad át a közegen.

Az Appleton-Hartree által meghatározott ionoszféra-modell alapján a törésmutató közelítésére a következő egyenlet adódik:

$$N = 1 - (40.28 N_e / f^2) \quad (2.11.)$$

Ahol N_e az elektronsűrűség a köbméter reciproka szerint és f a frekvencia Hz-ben.

Az előzőeket figyelembe véve n_g -re a következő kifejezés adódik:

$$n_g = 1 + (40.28 N_e / f^2) \quad (2.12.)$$

Tipikus értékeket feltételezve megállapítható, hogy bár az egységtől igen kis mértékben eltérő eredményekre jutunk, mégis érdekes. $N_e=1012$ db szabad elektron/ m^3 esetén az $n=0.999838$, míg $n_g=1.000162$, ami azt jelenti, hogy a hullám fázisának sebessége kissé nagyobb, mint a fény vákuumban mérhető sebessége, míg a csoport sebessége annál kicsivel alacsonyabb.

A terjedési sebesség a teljes ionoszférában a törésmutatóval együtt változik, a hullám a teljes réteg integrált hatását szenved el. Így a teljes út megtételéhez szükséges idő:

$$\tau = \text{Int} (n'/c) dS \quad (2.13.)$$

Ahol S a jel által megtett út hossza, n' pedig akár a jel, akár a hullám törésmutatója. Ez átalakítható ekvivalens fény-távolságra a fénysebességgel való szorzás útján, majd a fázis és a csoport törésmutatót behelyettesítve, kapjuk:

$$\rho_p = \rho + (40.28 / f^2) \text{Int} (N_e) dS \quad (2.14.)$$

Ahol ρ a valós műhold-vevő geometrikus távolság. A vivőfázis mérés az ionszférikus hatás miatt rövidebb eredményt ad, míg a pszeudotávolság - mérés hosszabbat, a jel késik, mégpedig ugyanakkora értékkel. A (2.14.) kifejezésben található integrál a teljes elektron tartalom (TEC), ami nem más, mint az egy négyzetméter alapterületű hasámban található elektronok száma az ionszférában.

A teljes elektron tartalom időről időre változik, így ennek hatását a GPS mérésekre különböző modellek segítségével vehetjük számításba. A leglényegesebb tényezője az elektrontartalom megváltozásának a nap periodikus intenzitású tevékenysége. Ennek hatására keletkezik többek között az északi-fény és a mágneses viharok.

A páratartalom nagyon hasonló módon befolyásolja a méréseket, a páratartalom változása a törésmutató változását hozza magával. Erről a hatásról olvashatunk svéd kísérletek leírásakor és mutatnak fel meggyőző eredményeket és érveket ezek kezelésére. Ezzel a tárgykörrel ezen a helyen tovább nem foglalkozom.

2. 3. A troposzféra hatása

Az ionoszférában elszenvedett torzulások után, röviden térjünk ki a troposzférában való áthaladáskor keletkező további hiba forrására, amely igen hasonló módon fejti ki hatását, mint az elektronok. Ez pedig a vízpára, a hasonlóság pedig a törésmutató változása. [11]

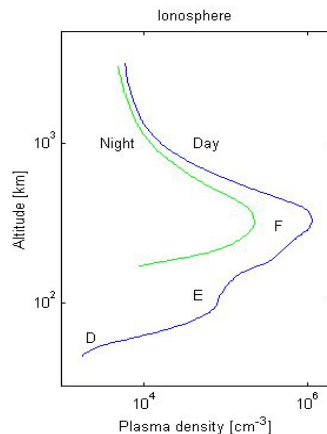
Bár a troposzféra törésmutatójának általános képletében a levegő jellemzői találhatók (P, nyomás, T, hőmérséklet, illetve a parciális nyomások a száraz, illetve nedves alkotókra), a jel által elszenvedett hatás mégis nagyon hasonló, azaz a jel késik a troposzférán való áthaladáskor. Ennek mértéke a párányomás parciális értéke és a légoszlop magasságának függvénye, így az alapvetően befolyásoló tényező a levegő páratartalma.

$$\text{INT}(\text{edh})=e_A H_w \quad (2.15.)$$

Fentiek alapján jogos az igény egy általános atmoszféramodell meghatározásának igénye, amely alapján számítható a késé mértéke, de legalább közelítőleg figyelembe vehető a mérések elvégzésekor. Erre különböző adatsorokat határoztak meg, amelyek kielégítő pontossággal leírják a rétegen való áthaladás okozta késést, így csökkentve ennek hatását a mérések kiértékelésekor.

Kiegészítés

Appleton-Hartree model



2.7. ábra

A Nap ultraviola sugárzása miatt a Föld felső atmoszférája részlegesen ionizált plazma (0.1%, vagy még kevésbé) 70-1500 km magasságban. Ez a régió az ionoszféra, amely mind a magnetoszférával, mind a semleges atmoszférával átfedésben van. Jelentősége abban áll, hogy a rádióhullámok terjedésére nagy hatást gyakorol.

Az ionoszférában rétegeket különböztethetünk meg a rádióhullámokra gyakorolt hatásuk szerint. Ezeket D, E és F rétegekként jelölik és az 2.7. ábra mutatja elhelyezkedésüket éjszakai és nappali időszakokra, közepes szélességen.

Az első réteg (E) kb. 110 km magasságban található. Ezt használják a rádióüzemeltetők, mivel ez az a felület, amiről visszaverődik a hullám távoli vevők felé. Érdekes megjegyezni, hogy ugyanez igaz az ellenkező irányban is, azaz ezen a rétegen nem jut át a rádióhullám. Az E réteg fölött helyezkedik el az F, amely két részre osztható: az F1 kb. 170 km és az F2 250 km magasságban. Ez a réteg is visszaveri a rádióhullámokat. A legalsó réteg a D kb. 80 km magasságban helyezkedik el és alapvetően elnyeli a sugárzást.

Másik megközelítés szerint csak az elektronok mozgását vizsgáljuk. A mágneses térben (B) lévő homogén elektron gázban való hullámterjedés elmélete a magnetoionikus elv. Az ionok figyelmen kívül hagyása csak akkor érvényes, ha a hullám frekvenciája nagy egy

ion ciklotron frekvenciájához képest. Továbbhaladva a közelítésben a nagyfrekvenciás kis amplitúdójú síkhullámok terjedése B-hez képest tetszőleges irányban az Appleton-Hartree elvhez vezet. [33].

- a. A különböző troposzféra-modellek hatékonyságának bemutatására a következő táblázat alkalmas [40]:

Kategória	Referencia	Model	Hiba	Sigma	RMS (mm)
ZTD	GPS	SAAS	1.8	12.2	27.7
ZHD	SAAS	HOPF	-3.7	0.2	3.8
ZHD	SAAS	MOPS	-0.7	3.3	15.7
ZWD	GPS	NWD	-1.5	8.7	13.9
ZWD	GPS	HOPF	-0.9	12.4	28.3
ZWD	GPS	MEND	-5.7	12.0	28.3
ZWD	GPS	MOPS	-20.5	11.5	46.6

ZTD: Zenit teljes (vagy semleges) késés

ZHD: Zenit hidrosztatikus (nedves) késés (kb 2,3 m, 90%-a a ZTD-nek)

ZWD: Zenit száraz késés (kb. 0.15m, 10%-a a ZTD-nek)

SAAS: Saastamoinen modell

HOPF: Hopfield modell

MEND: Mendes modell

MOPS: MOPS modell

NWM: numerikus időjárási modell (pl. a visszaverődési tulajdonságok összegzése alapján

SIGMA: Standard hiba

A legfontosabb modelleket a következők szerint foglalhatjuk össze.

A legegyszerűbb modellek csak az általános meteorológiai paraméterek veszik figyelembe a megfigyelési helyre vonatkoztatva. Ezt MOPS modellként ismerjük.

A Saastamoinen hidrosztatikus modell a felszínen uralkodó teljes nyomást és a nehézségi erőt veszi figyelembe, amit a földrajzi szélesség és az ellipszoidi magasság alapján számít, és az alábbiak szerint írhatjuk:

$$ZHD = ((2.2779 + 0.0024 [mm] P_s) / (1 - 0.00266 \cos^2 \phi - 0.00028 [1/km] h))$$

ZHD: hidrosztatikus késés a zenitre [mm]

P_s : teljes nyomás a felszínen/antenna helyén [hPa]

ϕ : földrajzi szélesség a megfigyelőhelyen

h: ellipszoidi magasság [km]

A Mendes modell a felszíni parciális vízpára nyomás és a zeniti késé közötti összefüggés alapján

$$ZWD = 12.2 [mm] + 9.43 [mm/hPa] e$$

ZWD: a zenitre vonatkozó nedves késés [mm]

e: parciális vízpára nyomása [hPa], ami a relatív páratartalom és a hőmérséklet függvénye.

A legpontosabb közelítése a nedves késés meghatározásának a refraktivitási görbe integrálásával lehetséges:

$$ZWD = 10^{-6} \int (k_2'(e/T) + k_3(e/T^2)) dh$$

ZWD: zenit nedves késés [m]

k_2' : refrakciós állandó, kb: 22.1 K/hPa

k_3 : refrakciós állandó: 370100K²/hPa

e: parciális vízpárányomás [hPa]

T: hőmérséklet [K]

3. A műholdas helymeghatározás mérési módszerei

Nagyon nehéz tiszta és világos terminológiát használni a GPS módszerek és sémák bemutatásakor. A technika folyamatos fejlődésben van, ami gyakran azt eredményezi, hogy egy kismértékben módosított régi módszernek vadonatúj elnevezést adnak. Ez még azzal is bonyolódik, hogy a különböző műszergyártók gyakran ugyanannak a módszernek is más-más nevet adnak. A fentiek magyarázzák, hogy miért döntöttünk úgy, hogy csak a legfontosabb, valóban különböző módszereket fogjuk szerepeltetni rövid összeállításunkban.

Az eredmény megjelenése, azaz a felhasználás szempontjából a módszereket két nagy csoportra oszthatjuk:

- az első csoport tagjai a mérés után gyakorlatilag azonnal szolgáltatják az eredményt, ezek a **valósidejű** vagy **real-time módszerek**;
- a második csoportba azok az eljárások sorolhatók, melyek a mérési eredményekből **utófeldolgozás - post processing** - során számítják a keresett mennyiségeket (leginkább a koordinátákat).

Utofeldolgozásra három okból lehet szükség:

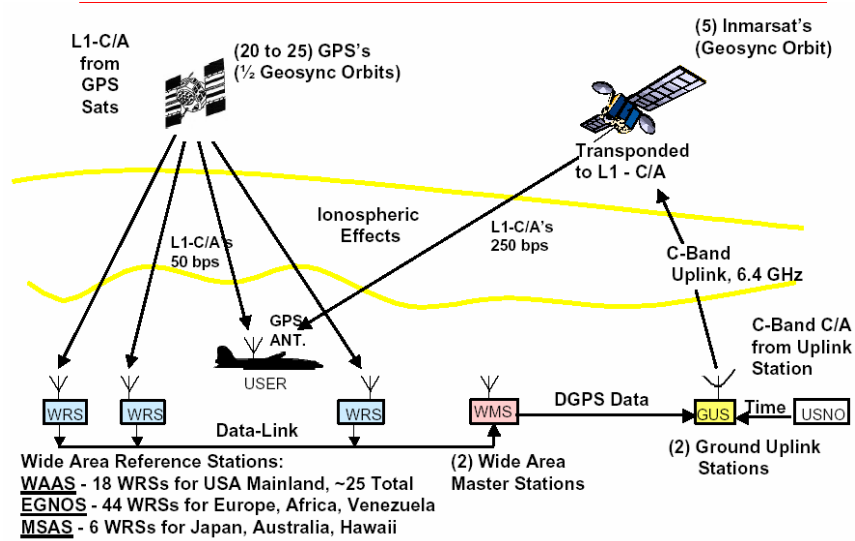
1. egy pont meghatározásához, a nagyobb pontosság érdekében, nagyon sok mérést végzünk, és gyakran, a műhold helyzetét sem a sugárzott, hanem a GPS ellenőrző központ által pontosított pályaadatokkal kívánjuk figyelembe venni;
2. a mérőműszerben nincs megfelelő szoftver (ettől az esettől ma már eltekinthetünk);
3. a meghatározandó mennyiségeket két (vagy több) vevő szimultán észleléseiből lehet kiszámítani, de a vevők között nincs rádiókapcsolat. [12]

Az üzeneteket az **RTCM SC-104** nevű szabvány szerint küldik. A szabvány 21 fajta üzenettípust különböztet meg, ezek közül az 1 és 9 típusú üzenetek tartalmazzak tulajdonképpeni differenciális korrekciót, azzal a különbséggel, hogy az 1 mind a 12 látható műholdra vonatkozó korrekciót egy üzenetben küldi, míg egy 9 típusú üzenet csak három műholdra vonatkozó javítást tartalmaz, azaz négy 9 üzenet egyenértékű egy 1 típusúval.

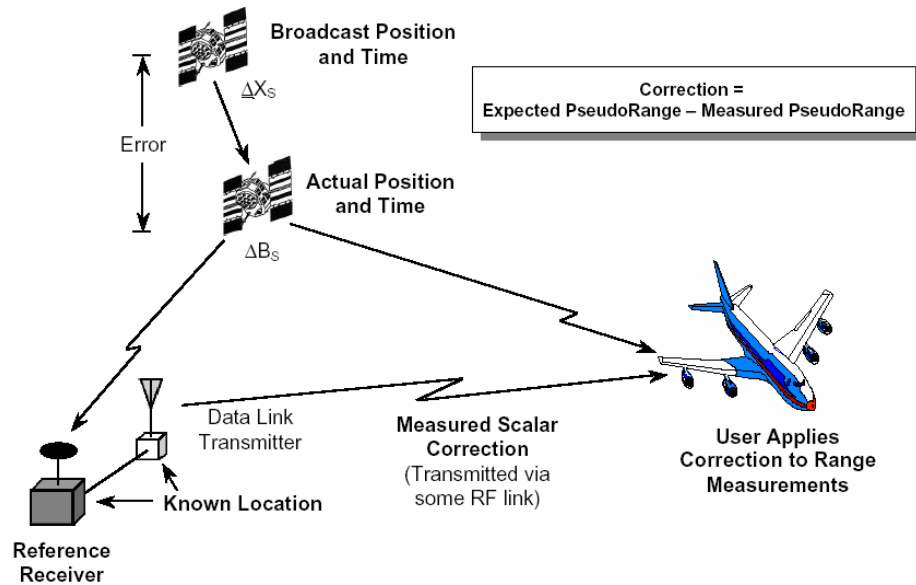
Először az USA-ban, majd a világ többi országában is olyan szolgáltatást vezettek be, mely szükségtelessé teszi a felmérő csoportok számára bázisállomások telepítését. A bázisállomásokat ugyanis stacionáriusan hozzákapsolták a szolgálati vagy műsorszóró rádióadókhoz és a javításokkal ezek oldalsávját modulálják. Az első stacionárius javításközvetítő hálózatot az USA Parti Őrsége telepített a hajókkal kapcsolatot tartó rövidhullámú rádióadó hálózat felhasználásával. Az újabb szárazföldi rendszerek esetén előnyben részesítik a műsorszóró UHF és VHF adókat, mivel ezek nagyobb sáv szélessége gyakoribb üzenetek küldését teszi lehetővé.

Természetesen a légi közlekedés számára ez a megoldás több okból sem jó ezért az USA repülésirányítási hatósága (FAA) kidolgozta a **WAAS projektet** (nagy térségi javítórendszer angol szavai kezdőbetűiből képzett rövidítés), 24 db, az USA területén egyenletesen elosztott megfigyelő állomás adatait egy földi állomás a külön e célból fellőtt geostacionárius pályára állított műholdra továbbítja, mely kettős szerepet játszik (3.1. ábra). A geostacionáris műhold, melyet az amerikai szakzsargonban a "pseudo satellite" azaz ál-műhold szópárból *pseudolite*-nak neveznek a GPS **L1** frekvenciájához közeli 1575. 42 MHz-es frekvencián sugároz, melyet a repülőgép GPS vevője közvetlenül vesz (nincs tehát szükség külön rádió kapcsolatra). A *pseudolite* jele az RTCM SC-104 szabvány szerinti differenciális korrekciós üzeneteken kívül azonban még a GPS - éhez hasonló távolságmérő kódot is sugároz és így a repülőgépen végzett pseudo távolságmérést egy értékkel kiegészíti.

Mivel ez a rendszer csak ún. első kategóriájú leszállást (a látótávolság nagyon rövid, de nem zérus) biztosít, ezért a *FAA* terveiben szerepel egy **LAAS** (helyi javítórendszer) elnevezésű projekt is (3.2. ábra). Ez a leszálló pálya mellé telepített stacionáris állomásról olyan pontos differenciális javításokkal látja el a repülőgép GPS vevőjét, hogy a gép a GPS információra támaszkodva a harmadik kategóriájú leszállásra (zérus látótávolság) is alkalmas legyen.



3.1. Ábra - a WAAS nagytérsegi differenciális GPS javító rendszer
 Az FAA publikációja alapján



3.2. Ábra - a LAAS lokális differenciális GPS javító rendszer
 Az FAA publikációja alapján

Mivel a szárazföldi differenciális helymeghatározás pontossága megköveteli, hogy a bázis állomások 100 km - 200 km körüli távolságra legyenek a mozgó állomásoktól ez jó összhangban

van az URH adók telepítési sűrűségével. A mozgó állomás a javításokat egy vevőegység segítségével tudja venni és átalakítani.

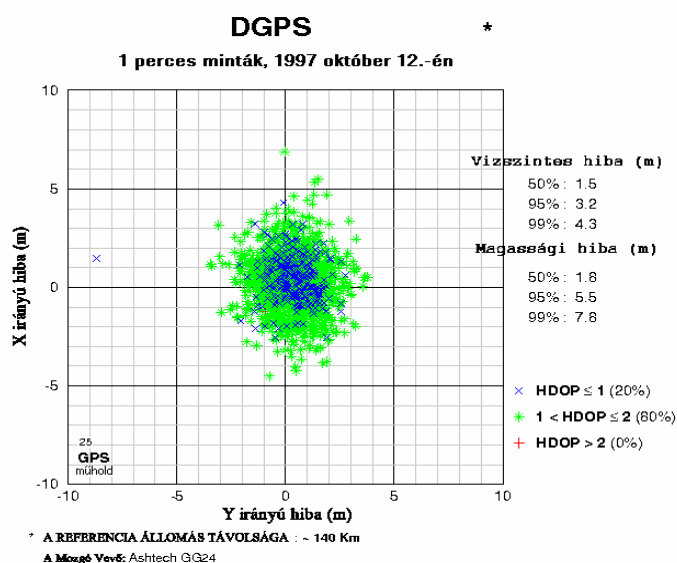
A módszer pontossága sok tényezőtől függ. Ezek közé soroljuk

- a szelektív elérhetőséget (SA);
- a javítási üzenetek gyakoriságát;
- a javítást hordozó rádióhullámok vételi körülményeit;
- a telepített és mozgó műszer kód-meghatározási pontosságát;
- a korrekciós jelsorozat típusösszetételét;
- a visszaverődések mértékét és hatásuk csökkentését.

Standard szárazföldi esetben, jó minőségű telepített és vevőállomást feltételezve, az SA aktuális, viszonylag alacsony szintjén, ha az RTCM SC-104 szabvány által javasolt, az URH sávban a lehetséges maximális gyakorisággal sugározzák a javításokat (50 bit/s adatsebesség esete. Ez 21 másodpercenkénti új javítást jelent 12 műholdra), a helymeghatározás középhibája 95%-os valószínűségi szinten *jobb, mint 3 méter* (3. 3. ábra).

Az előző bekezdésben azért hangsúlyoztuk ki a standard körülményeket, mivel egyrészt a polgári célú C/A kódú vételt az amerikaiak **Standard Helymeghatározó Szolgáltatásnak (SPS)** nevezik, másrészt két műszaki újdonsággal igyekeznek az egyes cégek napjainkban tökéletesíteni a DGPS vevőket, melyek túlmutatnak a standard technikai megoldásokon. Ezeket az újításokat azonban egyelőre rendszerint csak, mint "extrákat" forgalmazzák.

Az egyik ilyen megoldás a **Narrow CorrelatorTM**, egy olyan technika, mely a *keresztkorrelációs kódfázis mérési technikát* tökéletesíti. A módszer lényege, hogy akkor lehet a vett és a referencia kód relatív helyzetét pontosan megmérni, ha sikerül a vett jelek derékszögű négyszög alakját megőrizni, ez pedig a Fourier-sorok elmélete alapján akkor lehetséges, ha a figyelembe vett frekvencia tartomány végtelen.



3. 3. ábra DGPS mérések pontossága

A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy nagyon széles frekvencia spektrumból kell a jeleket helyreállítani. A technika újdonsága többek közt abban van, hogy azokkal az *oldalsávokkal* dolgozik, melyeket a standard vevők kiszűrnek a vett jelből.

A visszaverődések csökkentésére kidolgozott technológia (**MET**) a kódfázismérést végrehajtó áramkörüri hurkot egészíti ki egy úgynevezett MRDLL áramkörrel, mely a *maximum-likelihood* módszerrel meghatározza az eredeti és a visszavert hullám paramétereit, majd a rendszer ezekből az értékekből javítja az *eredeti* kódfázismérő szolgáltatása eredményeket.

Az antenna kialakítással is csökkenteni lehet a visszaverődések hatását. [13]

A piacon található GPS vevők három nagy csoportba oszthatók. A **C/A kódú pseudotávolság vevőket** főként turisták, hajósok és autóversenyzők használják. A csoport jobb minőségű eszközei legalább négy független csatornával rendelkeznek, melyeken szimultán mérhetik négy vagy több műhold jelét. Az álláspont koordinátáit valós időben jelzik ki ellipszoidi

szélességben, hosszúságban és ellipszoid feletti magasságban, de lehetőség van a kijelzés átváltására és a földrajzi koordináták helyett vetületi síkkoordináták megadására (az ellipszoid feletti magasság természetesen ebben a kijelzési módban is megjelenik).

A C/A vivőhullám vevőket a földmérők és geodéták használják minden olyan feladatban, mely szabatos mérést igényel. Ezek a berendezések négy-tizenkét független csatornával rendelkeznek valamint megfelelő memóriával a kód távolságok és mért vivőfázisok idővel kapcsolt tárolására. Mivel a régebbi vevőtípusoknál az eredményeket a vevő nem tudja a terepen kiszámítani, azok csak a telephelyi számítógépen végzett utófeldolgozás eredményeképpen kaphatók meg. E mellett azonban ezek a vevők képesek az első csoportnál említett műveletekre is, ebben az esetben természetesen a pontosságuk is azokhoz hasonló. Korszerű típusaik képesek az L2 fázisának mérésére is a négyzetre-emelési technikával, ami azért hasznos, mert lehetővé teszi az ionoszféra hatására létrejövő hiba csökkentését, ezen kívül a legkorszerűbb rendszerek valósidejű adatszolgáltatásra is alkalmasak.

A P kódvevők rendszerint (amerikai) katonai környezetben kerülnek felhasználásra. Polgári szakemberek által végrehajtott vizsgálatok tanúsága szerint e modellek képesek igen hosszú vonalakat (100 km) néhány centiméteres pontossággal mérni, másrészt közepes távolságok esetén (20 km), a vonal szabatos mérése igen rövid idő (10 perc) alatt elvégezhető.

Kiegészítés

A műholdas helymeghatározás mérési módszereit röviden a következőképpen foglalhatjuk össze. [38]

- Statikus
- Gyors-statikus
- Fél-kinematikus
- Valós idejű kinematikus
- Folyamatos kinematikus

Statikus helymeghatározás egy vevővel is (abszolút értelmű meghatározás) megvalósítható. Ezt általában bázisállomások esetében használják és a differenciális korrekciók meghatározása a cél. Differenciális üzemmódban hosszú mérési idő jellemzi, szélső pontossági igények kielégítésére alkalmas. Általában utófeldolgozással nyerik az eredményeket.

Gyors-statikus mérések jellemző időigénye 5-20 perc pontonként, a fázis-többsértelműséget utófeldolgozással minden pontra fel kell oldani. A mozgó vevőt a pontok közötti átállás idejére ki lehet kapcsolni. Alappont-sűrítés jellemző eljárása.

Fél-kinematikus módszer esetében a mozgó vevő a pontok közötti átállás idején is bekapcsolva marad, a pontok elválasztását a szoftver jelöli. A fázis-többsértelműséget a mérés kezdetén az ún. összejáratással oldják fel. Az OTF (on-the-fly) inicializálással ez feleslegessé vált és az átállások idején előforduló jelvesztésből eredő problémák egy része is megoldódott. Általában utófeldolgozással nyerik az eredményt, aminek a hátránya a minőség-ellenőrzési lehetőség időpontjának eltolódása. Jellemzően részletmérésre használták, de az RTK elterjedése óta alig alkalmazzák.

A valós idejű kinematikus módszer esetében a mozgó- és a bázisvevő között adatátviteli kapcsolat létezik. Így a bázisállomáson előállított differenciális korrekciókat a mozgó vevő feldolgozza a saját mérése alapján, így a koordináta azonnal rendelkezésre áll és a

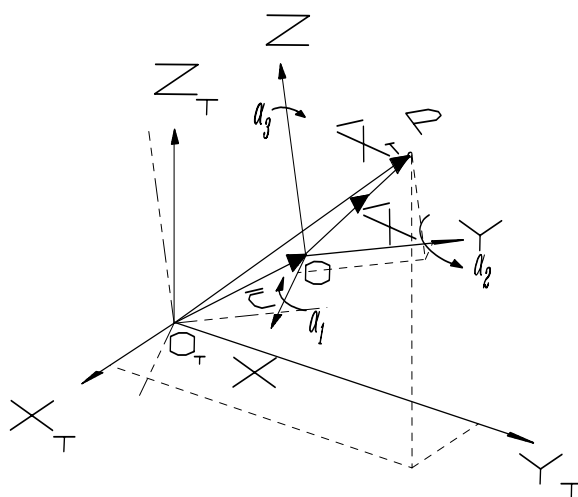
minőség ellenőrzése is megtörténhet. Részletmérések elvégzésére használják, de a kitűzés feladatit is képes ellátni.

A folyamatos kinematikus módszer esetében a szükséges időigény 1-5 másodperc. A vevő általában valamilyen jármű helyzetét reprezentálja, így légi fotogrammetriai mérések esetén a repülőgép, vagy útfelméréseket végző gépjármű helyzetét határozhatjuk meg viszonylag nagy pontossággal.

4. Transzformációk

A különválasztott vízszintes és magassági referencia rendszer esetén szükségünk van **magassági dátumra** is. A magassági dátum nem más, mint a kérdéses régióhoz közeli középengerszintet rögzítő stabilan állandósított magassági pont.

Ha szükségünk van a különböző vízszintes, illetve háromdimenziós dátumokban meghatározott pontok együttes kezelésére, illetve a GPS segítségével kívánunk meghatározni más dátumhoz kötött koordinátákat, úgy **térbeli hasonlósági koordináta transzformációt** kell végrehajtanunk. [14]



4.1. ábra Transzformálás két koordináta rendszer között

Annak érdekében, hogy gyakorlati oldalról is megmutathassuk a fenti rendszer használatát, illetve annak egyfajta közelítő eredményét, álljon itt a leggyakrabban használt paraméterlista a GPS és az EOVS rendszerek megfeleltetéséről. (4.1. táblázat)

dc_1 [m]	dc_2 [m]	dc_3 [m]	$d\mu$ ppm	arcsec	arcsec	arcsec
-56.15±5.53	75.70±5.26	16.25±5.74	-4.65±0.61	+0.21±0.14	+0.20±0.22	+0.37±0.17

4.1. táblázat WGS-84 és EOVS megfeleltetési paraméterlista

A mindennapi használat során alkalmazott GPS kézi vevők rendelkeznek azzal a lehetőséggel, hogy a felhasználó beállíthatja a koordináták megjelenítésének referenciáit, azaz

saját koordinátarendszerének megfeleltetést kell biztosítani a helymeghatározás alaprendszerével (WGS 84). Ez az EOVS esetében nem egyszerű feladat, hiszen láttuk, hogy nincs egyértelmű átszámíthatóság a két alapfelület között. Tehát a közelítő eljárás alkalmazása elkerülhetetlen, amellyel adott felhasználáshoz elegendő pontosságú transzformáció állítható elő. Ilyen az alábbi paramétersor is, amit 7 transzformációs paraméter biztosításával 1 méternél nem rosszabb megfeleltetést lehet biztosítani.

Láthatjuk azt is, hogy az egyértelmű átválthatóság legfontosabb problémáját - a kettős vetítést – küszöböljük ki azáltal, hogy az alapfelületet metsző kúpfelülettel váltjuk ki.

4.1. Transzformáció navigációs GPS készülékekhez

Magyarországon különösen szükség volt olyan megoldásra, amely segít a hazai GPS felhasználóknak abban, hogy megfelelő pontossággal megjeleníthessék helyzetüket a helyi koordinátarendszerben is. Erre a következő megoldás született [15]:

Térbeli hasonlósági transzformáció			Metsző kúpfelület paraméterei	
	Országos	Budapest régió	GRS 67 ellipszoidhoz	
cx eltolás [m]	-47,929	-27,175	φ_0	47° 08' 39,8174"
cy eltolás [m]	+68,298	+39,525	λ_0	19° 02' 54,8584"
cz eltolás [m]	+11,858	+10,961	φ_1	47° 49' 08,4121"
cx forgatás ["]	-0,202093	+0,224941	φ_2	46° 28' 10,9353"
ay forgatás ["]	+0,068156	+0,492984	Y ₀	650 000 m
az forgatás ["]	-0,409138	-1,432814	X ₀	200 000 m
Méretaránytényező [ppm]	-2,195172	-3,229583		

A GPS vevőkészülékben beállíthatók a következő értékek:

Coordinate system →	User grid →	Lambert conic →	Two standard parallel
Koordináta rendszer	Felhasználó által definiálható koordinátarendszer	Lambert féle kúpvetület	Metsző kúp

Latitude of origin	47,14439 N [°]
Longitude of origin	19,04857 E [°]
Latitude of standard parallel 1	47,81900 N [°]
Latitude of standard parallel 2	46,46970 N [°]
Scale factor	1,00000000
Units to meters conv.	1,00000000
False easting at origin	650084,0 [m]
False north at origin	200029,0 [m]

A fenti paraméterekkel transzformált koordináták "kvázi EOVS" koordináták. Ennek a transzformációnak a megbízhatósága mintegy 1 méter országosan. Fel kell hívni a figyelmet, azonban, arra is, hogy a GPS helymeghatározás megbízhatósága akár 30 méter is lehet, amelyen természetesen a transzformáció nem segít.

Egy általánosságban használt GPS kézi egységen az EOVS koordináták a következő formában jelennek meg:

Példa	Standard forma	GPS vevő megjelenítése
Y EOVS	602464 [m]	006-02-464E [m]
X EOVS	205070 [m]	002-05-070N [m]

Ezek alapján megállapítható, hogy minőségét tekintve a WGS 84 koordináta-rendszer közel minden pontossági és méréstechnológiai igényt kielégít, a Föld teljes területén alkalmazható az eljárás használhatóságának figyelembevételével és annak határain belül.

Ez nem jelenti azt, hogy a Földre vonatkozó, vagy adott alkalmazás esetén minden jellegű helyzet-meghatározási mérést ebben a rendszerben kell, vagy kizárólag célszerű elvégezni.

5. DGPS

5.1. A Differenciális GPS

A differenciális GPS alapelve, különböző tanulmányokból, jól ismert. E helyen elég annyit megemlíteni, hogy az abszolút mérési eljárás pontosságát az amerikai Védelmi Minisztérium (DoD) "100 m 2D RMS 95% biztonsággal, illetve 300 m 2D RMS 99% megbízhatósággal" definiálta (SA). Az SA hatása 2000. május 2-án megszűnt, aminek következtében a pontossági határok mintegy 90%-kal jobbakk, azaz 10, illetve 30 méterre javult.

Nagyon kevés olyan felhasználás van, amely ezt a szintű pontosságot elegendőnek fogadná el, így a megbízhatóság fokozására kell törekedni. Ennek megoldását kínálja a DGPS, amelynek alapötlete és legnagyobb előnye az, hogy az elsődleges hibaforrások egy ismert és egy ismeretlen (megfelelően közeli) ponton szisztematikusak és nagymértékben korreláltak, így minimalizálhatók a két pont közötti differenciálással.

Az 5.1. táblázat mutatja az elsődleges hibaforrásokat és azok helytől és időszaktól függő dekorreláltságukat.

Hibák	Helyi dekorreláció	Időszakos dekorreláció
Pályaadatok	Eleváció és Azimutfüggő	Pozíció. Sebesség és Gyorsulás hibafüggő
SV Óra	Teljesen korrelált	Függ az órahiba változásától, a SA torzítás változástól és a gyorsulástól
Ionoszféra	Magassági szög. Helyi	Hely, idő és Geomágneses szélesség függő
	Idő és Geomágneses szélesség függő	
Troposzféra	Hőm. Nyomás és Páratart. helyi függése ismeretlen	Hőm. Nyomás és Páratart. időszaki függése ismeretlen
Vevő Óra	Nincs korreláció	Óra hiba és gyorsulásfüggő
Referenciahely	Nincs korreláció	Nincs korreláció
Multipath	Nincs korreláció	SV mozgásfüggő

5.1. táblázat A hibák és korreláltságuk

5. 2. Az RTK DGPS elve általában

A Real Time Differenciális GPS elmélete és gyakorlati megvalósításának technikája arra az alapgondolatra támaszkodik, hogy a GPS megfigyelések hibái egy adott területen belül közel azonosak. Ha ez a hiba meghatározható egy rögzített ponton – tehát ismertté válik a hibát leíró összefüggés – úgy ez bármely másik ponton azonnal alkalmazható. A hiba a következő módszerrel határozható meg.

Egy ismert koordinátájú pontra GPS antennát helyezünk el. Ez a GPS vevő lesz a referencia, vagy bázis állomás. A hiba az ismert és mért koordináták közötti különbséggel egyenlő. Ezt – csak az előjel megváltoztatásával – átalakíthatjuk differenciális korrekcióvá, ami a megfelelő digitális adatkapcsolat útján továbbítható a felhasználó által üzemeltetett „rover”, vagy más néven mobil állomáshoz. Ez a GPS vevő korrekcióba veszi a mért értékei, azaz a pozíció számításához. [16]

5. 2. 1. A differenciális korrekciót többféleképpen is meghatározhatjuk. Az egyik egyszerű eljárás „block shift” néven vált ismertté. A korrekciós adatcsomag tulajdonképpen a két ismert pont közötti differenciavektorból, a változásvektorból és a mérés időpontjából áll. Ez az üzenetszerkezet azzal az előnnyel jár, hogy a felhasználó a pozíció javításához csak a minimálisan szükséges mennyiségű adatot kapja meg. Az eljárás a járműkövetés esetén különösen hasznos, amikor sok különböző irányba haladó mozgó felhasználó pozícióját kell meghatározni, illetve figyelemmel kísérni. Ilyenkor a helyzeti adatok és a hozzájuk tartozó időpontok egy közös központban futnak, itt alkalmazzák a block shift korrekciót, így a diszpécserközpont folyamatosan, pontos információt kaphat a működtetett járművek helyzetéről. A rendszerben akkor állhat elő hiba, ha a bázis és a mobil állomás által felhasznált műholdak konstellációi különböznek.

5. 2. 2. A „range correction” módszer – ami független a megfigyelt műholdaktól – igen hatékony útja a pontos, differenciálisan korrigált koordináták meghatározásának. Ezt a módszert nevezik pseudorange korrekciónak is, ahol a korrekciós üzenet az egyes megfigyelhető műholdakra vonatkozó – a műhold és a vevő közötti pseudotávolság – „pseudorange” javításából áll.

A bázis és a mobil állomás azonos időben végez megfigyeléseket a GPS holdakra. A pseudo távolságokat mérik minden vevőről minden észlelhető műholdra. Mivel a bázis pozíciója ismert és az aktuális műholdpálya adatait a vevőben tárolhatjuk, a valódi távolságok számíthatók minden műholdra. A mért és a hozzá tartozó számított pseudotávolság érték különbsége lesz az adott időpontban a bázisra vonatkozó pseudotávolság korrekció. A korrekciókat az adattovábbító rendszeren elküldik a mozgó felhasználóhoz, annak GPS vevőjéhez. A pseudotávolság korrekciójának változása és a változás sebessége is meghatározható és továbbítható a felhasználók felé.

A range rate korrekció a pseudotávolságok időbeli különbségeinek javítására szolgál. A távoli GPS vevő így előre meghatározhatja a korrekció mértékét a következő megfigyelésekre vonatkozóan. A felhasználó ezzel megoldhatja azt a problémát, hogy a bázisállomásról érkező adatnak idő szükséges ahhoz, hogy a mozgó oldalon számításba vehetővé váljon. Az is lehetővé válik ezzel a módszerrel, hogy az adattovábbítás pillanatnyi szünetelése esetén a már megérkezett üzenetek még használhatók és ez meg is történjen.

$$\delta\rho_s(t) = \delta\rho_s(t_0) + ((\delta\rho_s(t_0))/(\delta t_0)) [t-t_0] \quad (5.1.)$$

$$\rho_r^s(t) = \rho_r^s(t)_M + \delta\rho_s(t) \quad (5.2.)$$

ahol $\delta\rho_s(t_0)$ az s -edik műholdra vonatkozó pseudotávolság korrekció a t_0 időpillanatban, $\delta\rho_s(t_0)/\delta t_0$ a range rate korrekció, $\delta\rho_s(t)$ a t időpillanatban érvényes pseudotávolság korrekció, $\rho_r^s(t)_M$ a távoli vevő által mért pseudotávolság korrekció, és $\rho_r^s(t)$ a távoli GPS vevő által a pontos pozíció meghatározásához felhasznált korrigált pseudotávolság. A $[t-t_0]$ kifejezés az adattovábbítás által igénybevett időintervallum. Minél nagyobb ez az érték, annál nagyobb a végső helyzet-meghatározásban jelentkező hiba. Alapvető a technológia kialakításánál ennek az értéknek, az adatlátenciának a minimumon tartása.

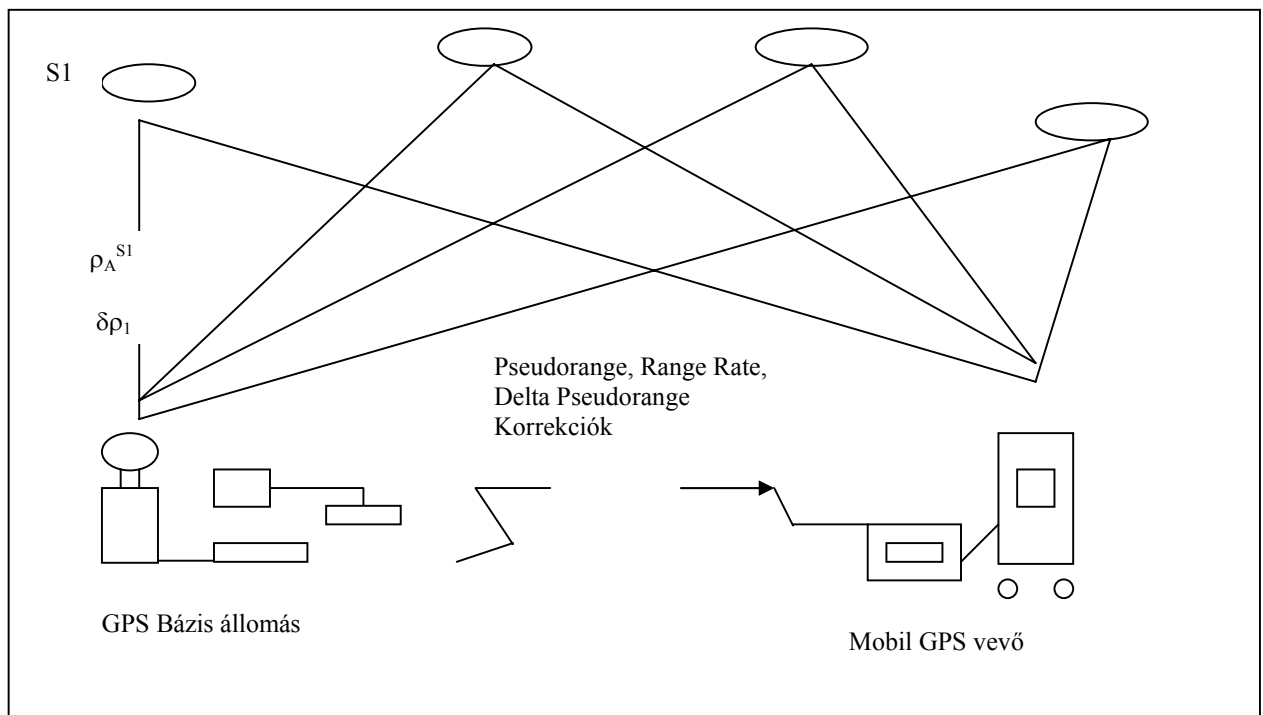
A delta pseudotávolság korrekció akkor szükséges, ha a bázisállomáson dekódolt orbitális információk eltérnek a mobil vevő által vett pályaadatoktól. Ez a helyzet akkor állhat elő, amikor a GPS rendszer pályaadat-frissítése éppen folyik és így a bázisállomás azonnal alkalmazni tudja

az információkat, de a mobil vevőnek még hosszabb időre van szüksége ugyanezt megtenni. A delta differenciális korrekció a következőképpen számítható:

$$\Delta\delta\rho_s(t_0)=\delta\rho_s(t_0)_{old} - \delta\rho_s(t_0)_{new} \quad (5.3.)$$

$$\Delta\delta\rho_s(t_0)/\Delta\delta(t_0)=(\delta\rho_s(t_0)/\delta t_0)_{old} - (\delta\rho_s(t_0)/\delta t_0)_{new} \quad (5.4.)$$

Ahol a $\delta\rho_s(t_0)_{old}$ és a $\delta\rho_s(t_0)_{new}$ a régi és új pályaadatokból számított pseudotávolság korrekciók a t_0 időpontban, a $(\delta\rho_s(t_0)/\delta t_0)_{old}$ és a $(\delta\rho_s(t_0)/\delta t_0)_{new}$ a range rate korrekciók. A $\Delta\delta\rho_s(t_0)$ a delta pseudorange korrekció és a $\Delta\delta\rho_s(t_0)/\Delta\delta t_0$ pedig a delta range rate korrekció. Így a távoli GPS vevő alkalmazni tudja a delta korrekciókat a pseudorange korrekciók előállításához, ami független a műhold pályadatainak korától.



5. 1. ábra a DGPS alapelrendezése

5. 3. Az adatkapcsolat

Valós időben történő differenciáláshoz a referenciahely észleléseiből számítható különböző hiba- és korrekcióüzeneteket valamilyen kommunikációs csatornán el kell juttatni a mozgó, vagy távoli (rover) egységhez szabványos formában. Az eljárás leggyengébb láncszeme ez az adatkapcsolat. Eddigi kísérletek és alkalmazott rendszerek vizsgálatai alapján a következőket állapíthatjuk meg.

Alapvetően 5 féle eljárást alkalmazhatunk, amelyek

- műholdas telekommunikáció
- helyi rádióhálózatok
- mobil telefonhálózat
- széles spektrumú rádióhálózat
- VHF/UHF rádiók.

A műholdas telekommunikáció megvalósításához szükséges eszközök és felszerelések igen drágák, üzemeltetésük azonban viszonylag olcsó. Fontosabb, hogy az adatátvitel minősége gyenge, viszont nagy területet képes egyszerre ellátni.

A helyi rádióhálózatok kiépítése szintén drága, talán még nagyobb költséget jelent, mint az előző módszer. Fenntartási és üzemeltetési költsége ennek sem számottevő. Nagy előnye, hogy az adattovábbítás sebessége igen nagy lehet, valamint a hang és adattovábbítás egyszerre valósulhat meg, ami a diszpécserrendszerek kialakítása esetén fontos lehet. Jó fedettséget lehet elérni megfelelő tervezéssel és kivitelezéssel.

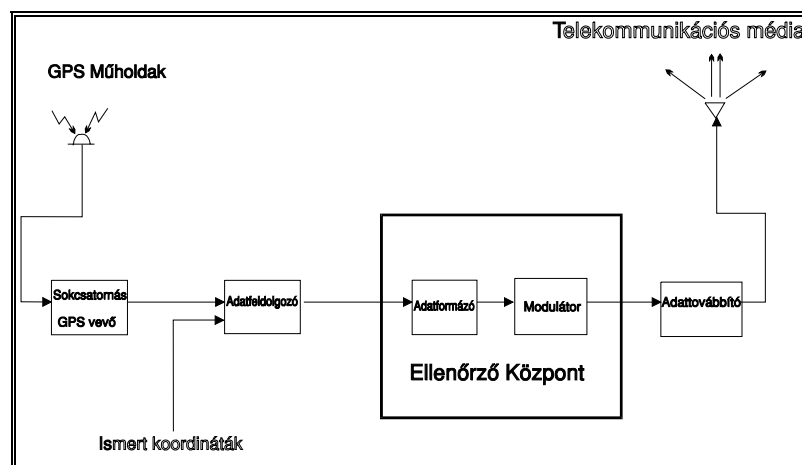
A mobil telefonhálózatok használatánál az eszközigény nem túl nagy, azonban a fenntartás (hívásdíjak) ára nem biztosítja a gazdaságos üzemeltetést. A hálózat fedettsége megegyezik a mobil fedettséggel, az adattovábbítás megfelelően gyors.

Széles spektrumú rádióhálózatok esetén elmondható, hogy azonos frekvencián többutas adatátvitel valósítható meg, hatótávolsága nem túl nagy, így megfelelő távolságokra újabb állomásokat kell telepíteni.

A VHF/UHF rádiók a taxik és futárszolgálatok hagyományos médiája. Az eszköz és a fenntartási költségek gyakorlatilag elhanyagolhatóak, az adattovábbítás sebessége növelhető és egyszerre kb. 10 jármű pozíciójavítása oldható meg. Nagy hátránya az ismert "zajosság".

5. 4. A rendszerek felépítése

Mindegyik működő szolgáltatás elvét tekintve azonos módon épül fel. (5. 2. ábra)



5. 2. ábra a DGPS szolgáltatások általános felépítése

A GPS vevőegységet a referenciahelyen állítják fel, amely RTCM SC-104 formátumú adatokat szolgáltat egy feldolgozóegységhez. Ebben az eszközben a GPS vevő ismert pozícióját tárolják, így a korrekciók számíthatók.

A korrekciós adatsor egy központba fut, ahol a formátum és a megfelelő médiára való moduláció kialakítása történik, majd a médiával való fizikai kapcsolat létesítése következik.

A lényeges eltérés az alkalmazott rendszerekben az adathordozó közeg és emiatt az ellenőrző központ, az abban működő egységek, felszerelések. [17]

5. 5. Működő szolgáltatások

A RACAL-Skyfix Wide Area Differential GPS rendszernek 3 típusa működik. Az első az ún. Single Reference Station DGPS, amelynek alapja egy az adott területen létrehozott referenciaállomás-hálózat. Ezek, mint önálló viszonyítási pontok adják meg saját pozíciójukat, a felhasználó pedig a hozzá legközelebb eső, vagy legjobban "vehető" állomás adatait illeszti be saját mérései kiértékelésébe.

A Multi-Reference Station DGPS működése során a felhasználó igényei szerint választhat 1-8 állomás adatiból, amelyek alapján súlyozott négyzetösszeges kiegyenlítéssel határozza meg a rover helyzetét (decentralizált rendszer).

A Networked DGPS szolgáltatás alkalmazásakor a teljes referenciahálózat adatai alapján egy virtuális pontra (a hálózat középpontjára) állapítják meg a korrekciókat, amelyeket azután alkalmazhatunk a kiértékelés során. Meg kell jegyezni, hogy ebben az esetben az RTCM üzenetek formája a Type 25, amely a részletes korrekciós üzenetet tartalmazza és Type 3 a virtuális referenciaállomás koordinátáit adja.

Az adatkapcsolat geostacionárius telekommunikációs műholdak útján jön létre, amelyhez megfelelő felhasználói eszközök vásárlása szükséges.

Az Omnistar-Starfix rendszer Ausztráliában az elsőrendű ponthálózatot használja alappontokként. A differenciális korrekciók ugyancsak műholdak segítségével kerülnek a végfelhasználókhoz (OmniStar).

A Wide Area Augmentation System (WAAS) elsősorban a légi navigáció segítségére fejlesztett rendszer, ilyen módon a korrekciós üzenetek formátuma is eltér (RTCA SC-159, Eurocae WG-28). A légiközlekedés szervezői elterjedten alkalmazzák a repülés befejezésének fázisában, mint kritikus manőver lehető legpontosabb navigációjának megvalósítása érdekében.

Kétféle korrekciót sugároznak

- gyors
- lassú

Amennyiben a jármű mindkét jelsort alkalmazni tudja, úgy a pontosság 5-10 m körül lehet, míg csak gyors korrekciók figyelembevételének esetén ez mintegy 40 m-re tehető.

Érdekessége ennek az eljárásnak, hogy a telekommunikációs műholdak a korrekciókat a GPS L1 frekvencián sugározzák vissza a felhasználóknak, amelynek így két előnye is van. Az egyik, hogy a holdakra GPS észlelést lehet végezni, ami már nem tartalmazza a Selective Availability-t, a másik, hogy nincs szükség külön kommunikációs eszközre, hiszen a GPS vevők képesek az ilyen jellegű adatokat fogadni.

Széles körben alkalmazzák a lokális DGPS szolgáltatásokat, amelyeket kis területen nagy pontossági igények esetén célszerű használni. Ebben az esetben kimarad az adatformát és modulációt végző központ, hiszen az adatkapcsolat direkt a két GPS vevő között. A vevőkhöz opcionális saját adatátvitelt biztosító eszközökkel elérhető, hogy nem túl nagy távolságot áthidalva a referenciaállomás RTCM üzenetét a rover alkalmazza a helyzet-meghatározás során.

Az Accpoint (Pinpoint) szolgáltatás az FM rádióhullám tartományában a 120-150 Mhz között sugározza a differenciális korrekciókat a megfelelő vevőegységgel rendelkező felhasználónak. A rendszer a pagerekhez (személyhívókhoz) hasonlóan működik, és soros porton csatlakozik a feldolgozó egységhez.

Szintén FM hullámsávtartományban, ám kereskedelmi rádióadások mellett működik Európa talán legelterjedtebb DGPS szolgáltatása. Először az Egyesült Királyságban vezették be 1993-ban, majd sorban csatlakoztak Svédország, Finnország, Norvégia, Dánia, BeNeLux, Svájc, Ausztria, Franciaország, Spanyolország, Olaszország, és Németországgal folytak tárgyalások az alkalmazás feltételeiről. Az USA-ban, Kanadában, Ausztráliában és Singapore-ban szintén ez a rendszer üzemel.

A szolgáltatás jelenleg 1 méter pontosságot biztosít, mint legjobb eredmény a megfelelő előfizetés alapján, de a centiméter nagyságrendű helymeghatározást segítő alkalmazás már fejlesztés alatt áll.

Az eljárás az FM rádióadások mellett sugárzott digitális jelsorozatot használja (RDS, Radio Data System). A korrekciós üzenetek formátuma lehet Type1, Type 9 (single satellite) és Type2 (delta range).

A korrekciók vételére megfelelő vevőegységek alkalmasak, amelyek egyébként kompatibilisek az ARI, RDS és RBDS rendszerekkel is.

Miután a differenciális korrekciók nyérése, formátumozása, feldolgozása és eljuttatása időbe telik, minden szolgáltatás alapvető célja az, hogy az üzenetek minél hamarabb eljussanak a felhasználóhoz (adatlatencia minimalizálása). Ebben az esetben ez igen jól sikerült, köszönhetően az igen körütekintő kísérleteknek. Meghatározták az adatlatencia nagysága által befolyásolt pontossági értékeket különböző adatátviteli sebességek esetében és az eredmények a következőképpen alakultak.

-50 baud:	32, 36 cm
-100 baud:	12, 82 cm
FM subcarrier:	8, 35 cm

5. 6. A szolgáltatások értékelése

Mint láttuk, a különböző DGPS rendszerek, tulajdonképpen azonos elemekből épülnek fel, és eljárást követnek. Mindegyik alapvetően támaszkodik az országos referenciapont-hálózatra, RTCM formátumú üzeneteket állít elő és továbbít a felhasználóhoz, folyamatos minőségbiztosítást végeznek, szükséges valamilyen adathordozó közeg (média) az adattovábbítás céljaira és mind specifikus vevőegységeket igényel az adatok vételére.

A különbségek leginkább az adatátvitel minőségében van, amelynek elsődleges szerepe van a pontosság megállapításában. Mint azt már említettük, nemcsak a média, de az adatátvitel biztonsága is kulcskérdés. Szintén az elsődleges szempontok közé sorolható a feldolgozási sebesség, azaz az adatlatencia kérdése.

Felhasználói oldalról a szolgáltatások ára és eszközigénye meghatározó szempont.

Kiegészítés

A Block Shift módszer

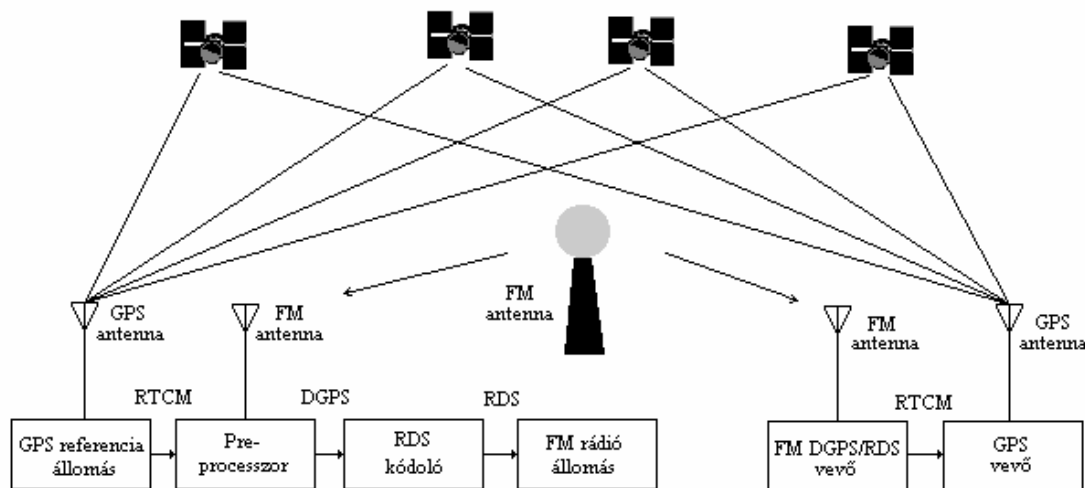
A Block Shift korrekciós módszer alapelve a következő: A bázisállomáson folyamatosan mérjük a bázis koordinátáit, míg a mozgó vevőről megkapjuk annak helyzetét, de csupán a koordinátákat és a pozíció meghatározás időpontját. A mozgó vevő és a bázis közötti adatkapcsolat minősége érdektelen, csupán sebességére nézve lehet igény a minél gyorsabb átvitel. A központban a vevő pozíciójára vonatkozó időpontban érvényes mérés eltérését kell meghatározni a bázis átlagos, vagy „valódi” pozíciójához képest, majd ezt az eltérést alkalmazni a mozgó vevő koordinátáira. Mint azt a dolgozatban is említettem, ennek a módszernek az a legnagyobb hátránya, hogy semmi nem biztosítja a két pozíció azonos körülmények közötti keletkezését. Ezért ez a módszer csak abban az esetben alkalmazható megfelelő eredménnyel, ha a mozgó vevő által meghatározott pozícióhoz rendelkezésre állnak a felhasznált műholdak azonosítói és ezt a bázison figyelembe lehet venni annak helyzetének ki-, illetve újraszámításakor.

6. Az RDS-DGPS

Magyarországon 1996-97-ben Differenciális GPS korrekciók szolgáltatás-szerű sugárzásának feltételeit valósítottam meg kollégám és a magyar műsorszóró az Antenna Hungária segítségével. Az ekkor elkezdődött tesztüzem, amely a Juventus Rádió RDS jelfolyamát használta, folytatása a Sláger Rádió hullámhosszán elérhető szolgáltatás lett, majd a mikrohullámú gerinchálózat beüzemelése után országos hozzáférést biztosított.

A létező rádióállomások - mint kommunikációs kapcsolat - felhasználásával hatékonyan tudjuk eljuttatni a differenciális korrekciós adatokat a felhasználókhoz. Ezzel a technikával úgy aknázhathatjuk ki a DGPS teljes előnyét, hogy csak egy töredéket használunk fel az RDS rendelkezésre álló sáv szélességéből. Így más RDS szolgáltatásokat is lehet sugározni ugyanazon a rádióadón. A korrekciós adatokat RTCM SC-104 formátumnak megfelelően sugározzák és az RDS vevőn be lehet állítani, hogy az 1-es, 2-es, vagy a 9-es típusú üzenetet vegye.

A 6.1. ábrán a DGPS-RDS blokkvázlata látható:



6.1. ábra Az RDS DGPS szolgáltatás felépítése

6. 1. RDS

Az RDS-t európai szabványként fejlesztették ki a digitális adatok továbbítására, az FM rádióállomások által sugárzott segédvívő frekvencia felhasználásával. A rendszert kezdetben arra tervezték, hogy szolgáltatásokat nyújtson azoknak az adóknak, amelyek támogatják az intelligens rádióvevők új generációját. Néhány ilyen szolgáltatás a teljesség igénye nélkül: alfa-numerikus rádióadó azonosító mezők, forgalmi riasztás, zene/beszédjelzés, alternatív frekvencia táblák. Az RDS-t széles körben használják Európában. Jelenleg az európai FM rádióadók 80 %-a nyújt RDS szolgáltatást és az új rádióadók majdnem felét szerelik fel RDS adókkal. Az USA-ban is kifejlesztettek egy hasonló rendszert RBDS (Radio Broadcast Data System) néven. Egy RDS vevőnek mindkét rendszer alatt problémamentesen kell üzemelnie.

Az RDS/RBDS rádióvevők azóta kezdenek elterjedni, amióta az autógyártóktól közvetlenül meg lehet vásárolni őket. Az RDS gyorsan terjed a világ többi részén is, Mexikónak, Izraelnek, Kínának, Dél-Afrikának, Tunéziának, és Hong-Kong-nak már van, vagy tervezi a bevezetését. Az RDS-t úgy alkották meg, hogy a jövőbeni szolgáltatásbővítéseket lehetővé tegye, Ezért olyan üzenettípust és üzenetstruktúrát definiálnak, amely azt szolgálja, hogy az RDS-t személyhívásra használják az ország egész területén. Vannak még olyan üzenettípusok is, amelyek segítségével az adók forgalmi adatokat, rádiószövegeket sugározhatnak.

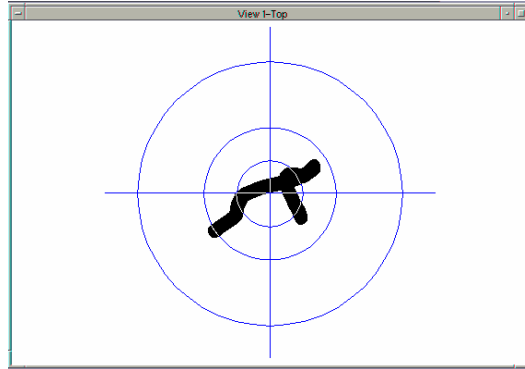
Az adatokat 1187. 5 bit/s sebességgel sugározzák elnyomott vivővel, dupla oldalsávval. Átlagosan 11. 4 adatcsoportot továbbítanak másodpercenként, minden egyes csoport 4 db16 bites blokkot és 10 hibajavító bitet tartalmaz, jellegzetesen 7 vagy 8 csoport érhető el másodpercenként.

Magyarországon 1996-ban kezdődött meg a rendszer üzembeállításának tervezése, majd 1997-98-ban tesztüzem volt. 2000. májusától a földi differenciális korrekciós szolgáltatások nagyrészt elvesztették piacukat, így az üzemet szüneteltetik.

Előzetes vizsgálatként és értékelésként ezzel a rendszerrel mért eredmények a következő kísérlet alapján ítéltethők meg. **[18]**

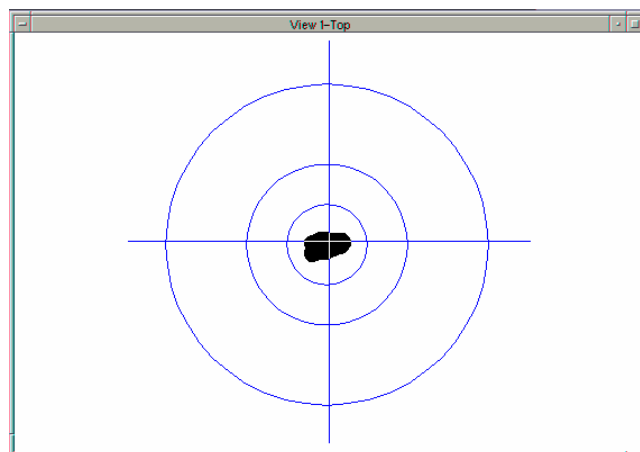
6. 2. Tesztelés

Először abszolút, statikus méréssel 3000 pontot mértünk fel, az eredmény a 6. 2. ábrán látható.



6. 2. ábra Statikus abszolút GPS mérés diagrammja

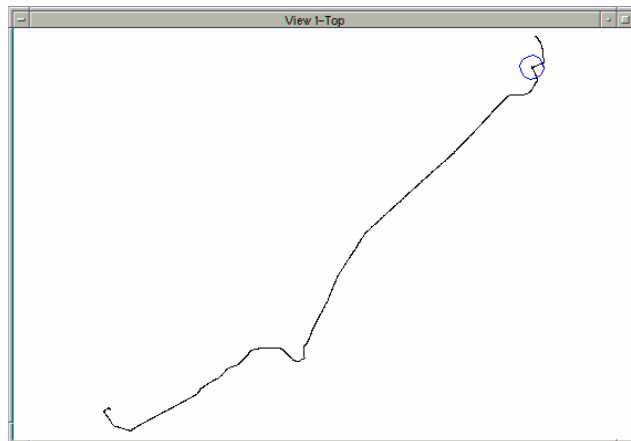
A mérést megismételtük statikus differenciális módban is, ennek az eredményét a 6. 3. ábra mutatja.



6. 3. ábra Statikus RDS-DGPS mérés diagrammja

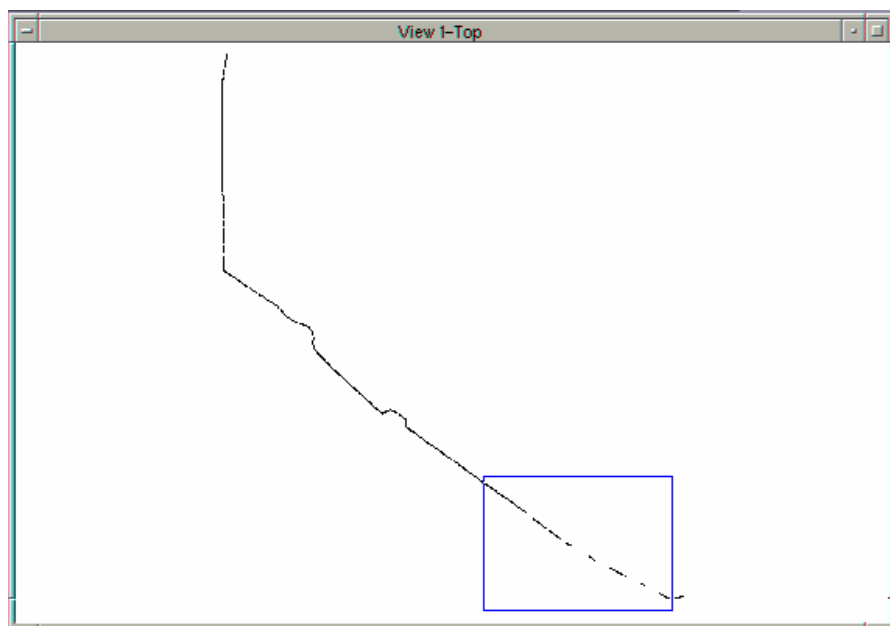
A koncentrikus körök 5, 10, 20 méter sugarúak, minden egyes felvett pont 1 méter sugarú kör.

A szolgáltatást kinematikus mérési technikával tesztelve, elsőként abszolút mérési módszer alkalmazásával rögzítettük a Miskolc Tiszai pu.-Edelény útvonal koordinátáit (6. 4. ábra). A körön belüli rész a 6. 6. ábrán nagyítva látható.



6. 4. ábra Abszolút kinematikus mérés diagrammja

Utoljára kinematikus-differenciális méréssel rögzítettük az Andrássy út - Geodézia Rt. útvonal koordinátáit Budapesten (6. 5. ábra). A bekeretezett rész a 6. 7. ábrán látható nagyítva.

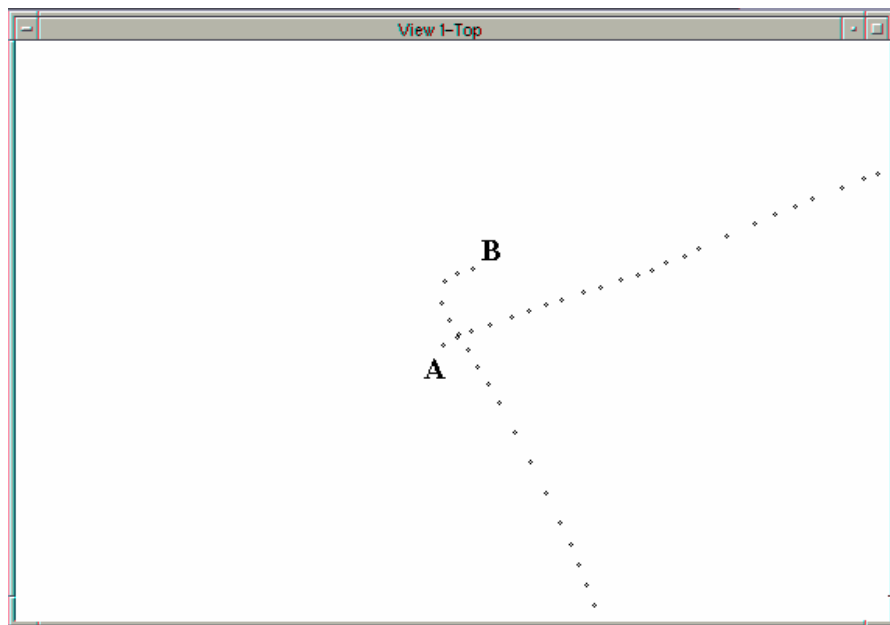


6. 5. ábra Kinematikus RDS-DGPS mérés diagrammja

6. 3. A tesztelés eredményeiből levont következtetések

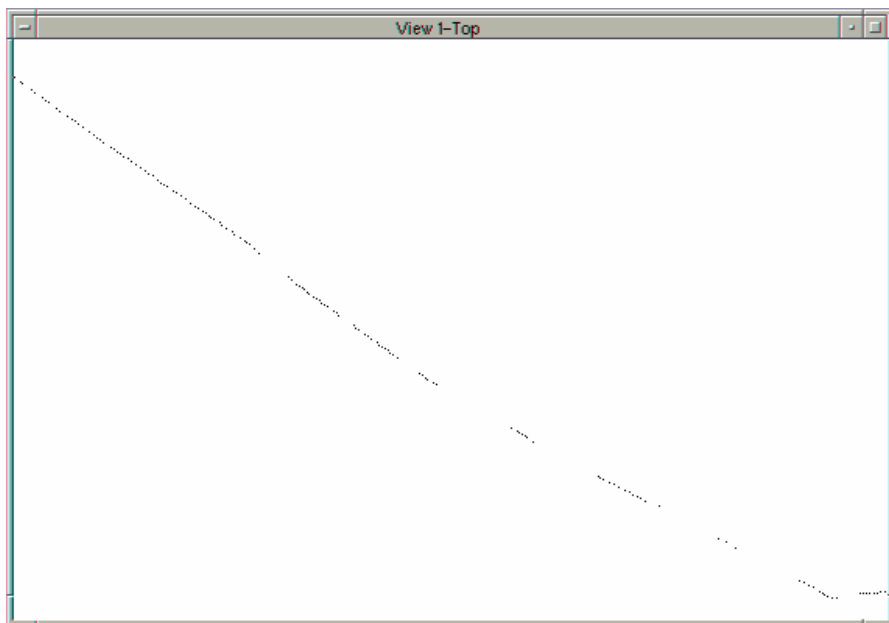
Abszolút-statisztikus mérés esetén (6. 2. ábra) az átlagos ponttól való legnagyobb eltérés 10. 03 méter volt, ugyanez az érték differenciális-statisztikus mérési technikával (6. 3. ábra) 2. 15 méter. Ebből is látható, hogy a differenciális mérés esetén lényegesen pontosabb pozíciót kapunk.

Egy érdekes mérési eredmény is a differenciális mérési technika mellett szól. Abszolút mérést használva, megállva két magas ház között a GPS vevő – természetesen - rögtön elvesztette a műholdakat, de miután újra elindultam - balra kanyarodva - újból nyomon tudta követni őket. A 6. 6. ábrán látható, hogy a műholdak elvesztése előtti utolsó (**A**) és a műholdak megtalálása utáni első (**B**) pont között nagy a távolság, ami városi közlekedésben nem kielégítő, tehát erre a mérési módszerre nem lehet alkalmazásokat építeni. (Megjegyzés: Az egymás után következő pontok közötti távolság min. 10 méter.)



6. 6. ábra Jelvesztés hatása kinematikus méréskor

Ez differenciális mérési technikával nem fordulhat elő, amit a 6. 7. ábra bizonyít. Az ábra Budapesten az Andrássy utat ábrázolja.



6. 7. ábra Jelvesztés hatása kinematikus RDS-DGPS esetén

Az út felé behajló fák miatt a GPS folyamatosan elvesztette-megtalálta a műholdakat, de ez nem eredményezett a 6. 6. ábrán látható ún. pozícióugrásokat - a differenciális mérési módszer miatt. (Megjegyzés: A pontok között min. 5 méter a távolság.)

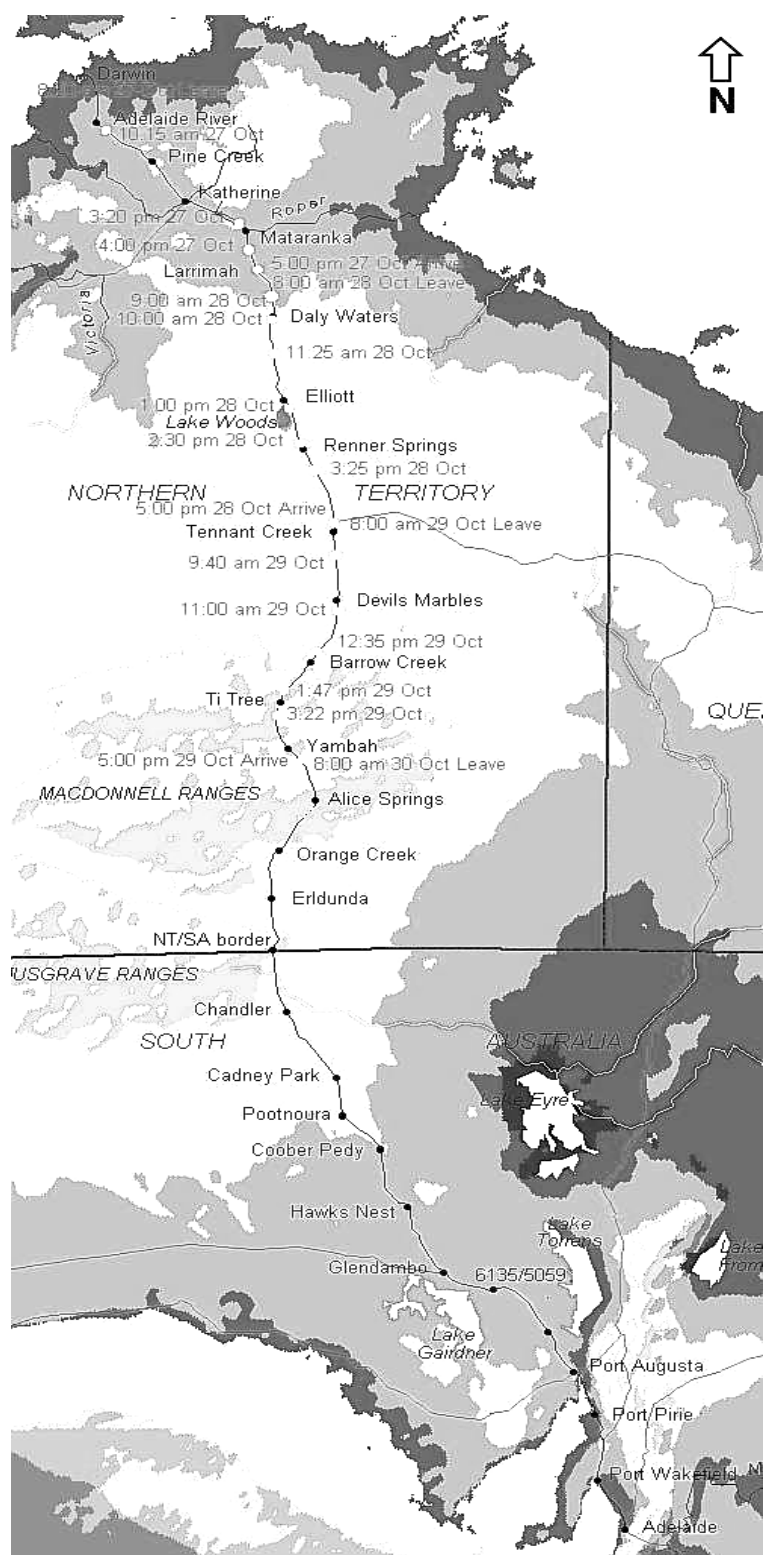
Megállapítom, hogy a földi rádiósugárzásos DGPS szolgáltatás adatlátenciája a legkisebb, így megfelelő infrastruktúra használatával optimális eredmény biztosítható.

A tapasztalatok alapján elmondható, hogy mind a technikai, - technológiai fejlődés szempontjait, mind a piaci igények kielégítését figyelembe véve, minden rendszer kialakításakor a teljes pontosságot jellemző fő szempontként jelentkező tényező határozza meg az elemek pontossági követelményét. A tesztek megmutatták a mérésakor elérhető dinamikus pontosság határát, illetve azok jellemzőit. Amennyiben azonos körülmények közötti mérések eredményének felhasználása történik térinformatikai rendszerekben, úgy a térképek minőségének és az adatgyűjtés megbízhatóságának összhangban kell lennie.

6. 4. Egy másik kísérlet

1996. október 27 - november 3. között zajlott a napenergiával hajtott autók éves küzdelme Darwintól Adelaide-ig Ausztráliában. A University of New South Wales Elektrotechnikai Tanszéke és Geomatika Tanszéke összefogott, és mintegy 3000 km távolságból kísérték figyelemmel versenyzőik útját, amit rögtön közzétettek az Internet-en, óránként frissítve a térképet. Az autót felszerelték egy GPS vevővel és a LandStar rendszert használva műholdas adatkapcsolat útján kapták meg a korrekciókat, majd küldték tovább a már kiértékelt pozíciókat.

A verseny mintegy 3300 km távolságot jelentett és átlagosan 90 km/h sebességgel haladtak a versenyzők. A DGPS szolgáltatás pontossága megfelelő volt a jármű nyomon követésére, mintegy 10-50 m-re volt tehető. 6. 8. ábra [19]



6. 8. ábra Útvonal Ausztrálián át

Kiegészítés

1. DGPS megfigyelési egyenleteit az alábbiak szerint mutatom be.

A differenciális GPS mérések megfigyelési egyenleteit, valamint a hibák kezelésének módját a következők alapján tekinthetjük át. [26] [27]

1. A kód pszeudotávolság mérés modellje

$$\begin{aligned}\bar{\rho} = & ((\hat{x}_{sv} - x)^2 + (\hat{y}_{sv} - y)^2 + (\hat{z}_{sv} - z)^2)^{0.5} \\ & + c\Delta t_{tr}(t) + MP(t) + \eta(t) + c\Delta t_{sv}(t) \\ & + SA(t) + E(t) + c\Delta t_{ion}(t) + c\Delta t_{tr}(t)\end{aligned}\quad (1)$$

,ahol c a fénysebesség, $\Delta t_{tr}(t)$ a vevő órahibája, Δt_{sv} a műhold órahibája, $SA(t)$ a korlátozott hozzáférés hibája (**megszűnt**), $E(t)$ pályaelemek számításából eredő hiba, $\Delta t_{ion}(t)$ az ionoszférikus hiba, $\Delta t_{tr}(t)$ a troposzférikus hiba, $MP(t)$ a többutas terjedésből adódó hiba és $\eta(t)$ a mérési zaj. Az (1) utolsó 5 kifejezését közös hibaként is nevezzük, mert egy adott földrajzi területen lévő minden vevőt ugyanolyan módon befolyásolja. A befolyás erőssége a két mérőeszköz egymáshoz viszonyított távolságával arányos. Ezeknek, illetve a nem közös hibáknak a szétválasztása fontos a differenciális korrekciók meghatározása során.

A fázismérés megfigyelési modellje a következőképpen írható:

$$\begin{aligned}\bar{\phi}\lambda = & ((\hat{x}_{sv} - x)^2 + (\hat{y}_{sv} - y)^2 + (\hat{z}_{sv} - z)^2)^{0.5} \\ & + c\Delta t_{tr}(t) + mp(t) + \zeta(t) + N\lambda + c\Delta t_{sv}(t) \\ & + SA(t) + E(t) - c\Delta t_{ion}(t) + c\Delta t_{tr}(t)\end{aligned}\quad (2)$$

,ahol $\lambda=c/f$ a vivőfrekvenciához tartozó hullámhossz, mp a fázis multipath, és ζ a fázismérés zaja.

A fázis multipath nagyságrendjét tekintve a cm-es tartományba esik, míg a fázismérés zajának standard hibája milliméteres nagyságú (mintegy a hullámhossza 1%-a). Az N konstans egész, amely a teljes ciklusok számát jelenti a mérés kezdeti időpontjában a vevő és a műhold között. Ennek zavarai nem ismertek, de a fázismérés nem alkalmas ál-távolság meghatározásra, amíg ez az egészérték nem áll rendelkezésre. Ezt a „zavart” nevezzük fázis-többértelműségnek.

A Doppler mérést, mint a vivőfázis rövid idő alatti változását értelmezhetjük.

$$\begin{aligned} \bar{D} = & \frac{d}{dt} ((\hat{x}_{sv} - x)^2 + (\hat{y}_{sv} - y)^2 + (\hat{z}_{sv} - z)^2)^{0.5} \\ & + \frac{d}{dt} c\Delta t_r(t) + \frac{d}{dt} mp(t) + \beta(t) + \frac{d}{dt} \\ & \cdot [c\Delta t_{sv}(t) + SA(t) + E(t) - c\Delta t_{ion}(t) + c\Delta t_{tr}(t)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Megjegyzendő, hogy a Doppler-mérés nem tartalmazza a fázis-többértelműséget az idő szerinti derivált miatt, mivel az (N) állandó.

Az ionoszférikus torzítás ellenkező hatást gyakorol a kód-, illetve a fáziskésésre, ahol a kód késik, ott a fázis siet. Mivel ez a hatás a vivőfrekvencia értékétől függ, ennek modelljét a következő két egyenlet írja le, ahol TEC a teljes elektronsűrűség az ionoszféra egy adott keresztmetszetében, és $I_a = (A/f_1 f_2) TEC$.

$$c\Delta t_{ion}(f) = \frac{A}{f^2} TEC \quad (4)$$

$$c\Delta t_{ion_1}(f) = \frac{f_2}{f_1} I_a \quad \text{and} \quad c\Delta t_{ion_2}(f) = \frac{f_1}{f_2} I_a. \quad (5)$$

A differenciális korrekció kiszámításakor a bázisvevő egy jól meghatározott ponton (x_0, y_0, z_0) felállítva meghatározza a bázis-műhold távolságot:

$$\hat{R}_0 = ((\hat{x}_{sv} - x_0)^2 + (\hat{y}_{sv} - y_0)^2 + (\hat{z}_{sv} - z_0)^2)^{0.5}. \quad (6)$$

Az egyszerű távolság-meghatározásra vonatkozó differenciális korrekciót a számított és mért vevő-műhold-távolságok különbségeként értelmezhetjük.

$$\hat{\Delta}_{\text{DGPS}}(t) = \hat{R}_o - \bar{p} \quad (7)$$

$$= -(c\Delta t_o(t) + c\Delta t_{sv}(t) + SA(t) + E(t) + c\Delta t_a(t) + MP(t) + \eta(t)) \quad (8)$$

,ahol Δt_0 a vevő órájának hibáját jelenti. A Δ_{DGPS} jelölés az RTCM előírásból adódik, ami a felhasználó oldalán történő alkalmazást írja elő. A szabvány előírja azt is, hogy a sugárzott korrekciókban úgy kell javítani, hogy a bázis- és a műhold-órahibák kiessenek. Így a sugárzott differenciális korrekciók a következő alakot veszik fel.

$$\hat{\Delta}_{\text{GPS}}(t) = \hat{R}_o + c\Delta \hat{t}_o(t) + c\Delta \hat{t}_{sv}(t) - \bar{p} \quad (9)$$

$$= -(c\delta t_o(t) + c\delta t_{sv}(t) + SA(t) + E(t) + c\Delta t_a(t) + MP(t) + \eta(t)) \quad (10)$$

,ahol a $c\delta t_0$ és $c\delta t_{sv}$ a referencia vevő és a műhold reziduális órahibáját jelentik. A reziduális műhold órahiba kicsi és minden vevő esetében azonos, amelyek azonos műholdak pályaelemeit használják a műhold órahibájának javításának kiszámításához.

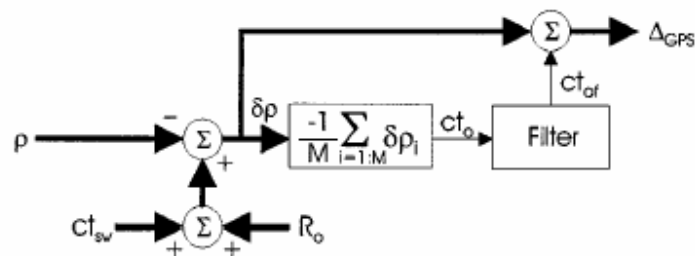
A (9) egyenlet a bázisállomás számításait mutatja, a (10) pedig a maradvány hibaforrásokat a számított jelfolyamban. Látható, hogy a Δ_{DGPS} jel tartalmazza a szükséges közös hibaforrásokat, amelyek kiesnek majd a felhasználói oldalon történő számítások során. Szintén tartalmazza a többutas terjedést és a mérési zajt, amelyek akár több méteres hibát is jelenthetnek, ezért a nem közös hibáknak a jelfolyamból történő kiküszöbölése még a sugárzás előtt szükséges. Hasonló módon járhatunk el a Doppler mérések korrekcióba vételéhez szüksége modell esetében is.

A referenciavevő órahibájának kiküszöbölése nem feltétlenül szükséges, mert a felhasználó helyzetének kiszámításakor minden, az áltávolság mérésére vonatkozó közös hiba csak a felhasználó-vevő órahibájának becslési pontosságát befolyásolja. A

referencia-vevő órahibájának kiküszöbölésére több lehetőség is van, gyakorlati szempontból azonban csak a korrekciós jel hosszúságának csökkentése a cél.

A felhasználó oldaláról nézve, új műhold „felkelése”, vagy „lenyugvása” során az órahiba a differenciális távolság-korrekció és a látható műholdak számának hányadosának mértékében szakadással változik, amely attól függő mértékben befolyásolhatja a felhasználó pozíciójának pontosságát, hogy abba milyen számítási algoritmust építettek be. Amennyiben a kétszeres különbségek képzése szerepet kap ebben, úgy a helyzet-meghatározást nem befolyásolja, mivel mindkét vevő órahibája kiesik. Ha csak egyszeres különbségek képzését használják, és az órahiba szűrt modelljét alkalmazzák a felhasználó vevőjében, úgy az órahiba változásának nagyságát kell figyelembe venni. Amennyiben ez nagyobb az óra modellje alapján várható értéknél, úgy az befolyásolja a felhasználó helyzet-meghatározásának pontosságát.

Az ábra a fenti eljárás szerinti bázisállomás elrendezését mutatja blokk-diagrammon.



A fent bemutatott technika hibakezelése a bázisállomáson és vevőben egyaránt szerepet kap. A bázis oldalon a differenciális korrekciók számításakor kell modellezni a hibaforrásokat, a vevőoldalon pedig az egységek firmware-je tartalmaz különböző hibamodelleket a pozíció-meghatározás számára.

Az egyfrekvenciás bázisállomás által generált differenciális korrekciók vizsgálata során az ionoszférikus hatást a többi közös hibától külön célszerű

modellezni, mivel ez különbözőképpen befolyásolja a kód- és a fázistávolság méréseket. Ezért legyen

$$\Delta_{\text{DGPS}} = -r_c - \frac{f_2}{f_1} I_a \quad (11)$$

,ahol I_a az (5) egyenlet alapján meghatározott és

$$r_c(t) = c\delta t_{\text{ca}}(t) + c\delta t_{\text{sv}}(t) + SA(t) + E(t) \quad (12)$$

Mivel a referenciaállomáson meghatározott differenciális korrekciókat a multipath és a vevő zaja még mindig terheli, így a mért korrekció modellje:

$$\Delta_{\text{DGPS}} = -r_c - \frac{f_2}{f_1} I_a - MP - \eta \quad (13)$$

Legyen $z_1 = \Delta_{\text{DGPS}}$ (méterben meghatározva), ekkor

$$\begin{aligned} \bar{z}_1(t) &= \hat{R}_a(t) + c\Delta\hat{t}_{\text{sv}}(t) + c\Delta\hat{t}_{\text{ca}}(t) - \hat{p}_{\text{ca}1}(t) \\ &= -r_c - \frac{f_2}{f_1} I_a - MP_1 - \eta_1. \end{aligned} \quad (14), (15)$$

Legyen z_2 a bázisállomáson hasonlóan feldolgozott f_1 frekvencián vett fázismérésből származó távolság-korrekció (ciklusokban meghatározva)

$$\begin{aligned} \bar{z}_2(t) &= (\hat{R}_a(t) + c\Delta\hat{t}_{\text{sv}}(t) + c\Delta\hat{t}_{\text{ca}}(t))/\lambda_1 - \hat{\phi}_{\text{ca}1}(t) \\ &= \frac{-1}{\lambda_1} r_c + \frac{1}{\lambda_2} I_a - N_1 - mp_1 - \nu_1 \end{aligned} \quad (16), (17)$$

A bázis differenciális korrekcióinak számításához használjuk fel mind a kód-, mind a fázisméréseket, akkor a vezérlő állapotvektor 6 paramétert igényel, amelyek $x=[r_c,$

$dr_c/dt, d^2r_c/dt, MP, I_a, N]^T$. Az első három állapotváltozó a távolságkorrekció és annak első két deriváltja az ionoszférikus hatás nélkül. A negyedik a kód-multipath, amit szeretnénk kiejteni, az ötödik az ionoszférikus hatás, és végül a fázis-többértelműség, ami valódi változó és csak becsülni lehet.

A vonatkozó mérési mátrixok

$$z_1(t) = H_1 x, \quad H_1 = \begin{bmatrix} -1, & 0, & 0, & -1, & -\frac{f_2}{f_1}, & 0 \end{bmatrix}$$

$$z_2(t) = H_2 x, \quad H_2 = \begin{bmatrix} \frac{-1}{\lambda_1}, & 0, & 0, & 0, & \frac{1}{\lambda_2}, & -1 \end{bmatrix}.$$

,ami alapján a szükséges differenciális korrekciók számíthatók az alkalmazott Kálmán-szűrő állapotából

$$y_1(t) = L_1 x(t), \quad L_1 = \begin{bmatrix} -1, & 0, & 0, & 0, & -\frac{f_2}{f_1}, & 0 \end{bmatrix}$$

$$y_2(t) = L_2 x(t), \quad L_2 = [0, -1, 0, 0, 0, 0].$$

Az y_1 tartalmazza a távolságjavítást az ionoszférikus hibával együtt, de eltávolította a multipath-t, a kód mérés zaját, a referenciaállomás órahibáját és a műhold órájának előre jelzett hibáját. A megalkotott állapotmodell így a következő alakot veszi fel:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_M} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + w(t)$$

,ahol a τ_a és τ_M perc, míg τ_i óra nagyságrendű korrelációt jelentenek.

Kétfrekvenciás bázisállomás esetén az eljárás annyiban változik, hogy a kezdeti állapotvektor 8 változót tartalmaz, amelyek a második frekvenciára vonatkozó multipath-t és fázis-többsértelműséget is tartalmazzák.

A fenti bázis-állomás mérési és számítási eljárásának alapját az a tény adja, hogy a korlátozott hozzáférés megszüntetése miatt a multipath jelenti a legjelentősebb nem közös hiba forrását. Ezt a következő 3 táblázat alapján láthatjuk be.

	Common Mode Errors	Standard Deviation	Correlation time
SA	Selective Availability	24.0 m	5 min.
$c\Delta t_{\text{ion}}^{(i)}$	Ionosphere	7.0 m	6 hours
$\Delta t_{\text{ep}}^{(i)} E$	Clock and Ephemeris	3.6 m	1 hour
$c\Delta t_{\text{tr}}^{(i)}$	Troposphere	0.7 m	10's mins.
	Non-common Mode Errors		
η	Receiver Noise	0.1-0.7 m	secs.
MP	Multipath	0.1-3.0 m	2 min.

Az átvolság mérési hibája a hibaforrások alapján

	Common Mode Errors	Standard Deviation	Correlation time
$c\Delta t_{\text{ion}}^{(i)}$	Ionosphere	7.0 m	6 hours
$\Delta t_{\text{ep}}^{(i)} E$	Clock and Ephemeris	3.6 m	1 hour
$c\Delta t_{\text{tr}}^{(i)}$	Troposphere	0.7 m	10's mins.
	Non-common Mode Errors		
η	Receiver Noise	0.1-0.7 m	secs.
MP	Multipath	0.1-3.0 m	2 min.

Az SA megszüntetése utáni hibaforrások és azok hatása

	Common Mode Errors	Standard Deviation	Correlation time
$\Delta t_{\text{sat},E}^{(0)}$	Clock and Ephemeris	3.6 m	1 hour
$c\Delta t_{\text{tr}}^{(0)}$	Troposphere	0.7 m	10's mins.
	Non-common Mode Errors		
η	Receiver Noise	0.1-0.7 m	secs.
MP	Multipath	0.1-3.0 m	2 min.

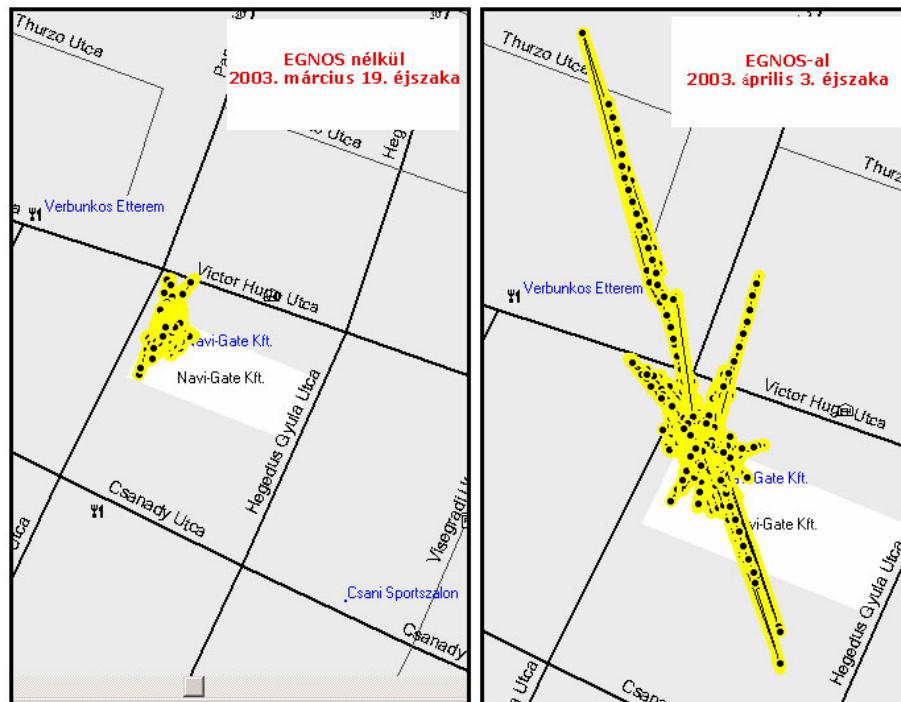
Az új civil frekvencia bevezetésének hatására előálló hibaforrás-hibamérték táblázat

2. A differenciális GPS szolgáltatásokra vonatkozó kérdésre a következő választ adom.

A kereskedelmi forgalomban hozzáférhető WAAS (EGNOS) kompatibilis vevők jövőbeni elterjedése szükségszerű. Itt személyes tapasztalataimra támaszkodva néhány gondolatot közölnék.

- a. Az OMNISTAR korrekciók és használata igen előnyösnek bizonyult még 2000-ben, amikor a FÖMI számára egy komplett terepi adatrögzítő egységetadtunk át. Az akkori üzembeállításkor gyors tesztet végeztünk az eszköz megfelelőségének vizsgálata érdekében, ahol is a kritérium az 1-1.5 méteres hibahatár volt. A korrekciós szolgáltatással ezt a hibahatárt tökéletesen tartani lehetett. Nagyobb gondot okozott a koordináták EOVB-be transzformálása, mert az eszköz (Sokkia) nem támogatta a hazai koordináta-rendszert. Ezt külön kérésre oldotta meg a szállító. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy a műholdas differenciális korrekciók (WAAS) kielégítik a felhasználói igényeket, azonban egyéb szükségletek kielégítése csak utólag, vagy nehézkesen lehetséges egy adott gyártó esetében. Másrészt a szolgáltatás ára viszonylag magas, bár széles a „választék”. Ez annyit jelent, hogy különböző típusú szolgáltatásokat kínál, pl. az OMNISTAR. Ezek pedig lehetnek területre, vagy időre korlátozottak, vagy a virtuális bázis kijelölése statikus vagy kinematikus módon is lehetséges, így a szolgáltatás igénybevételének díja ezektől a paraméterektől függ.

- b. Érdekes a kézi navigációs vevők használata során szerzett tapasztalatom az WAAS (EGNOS) differenciális korrekciók esetében. Ezek a vevőegységek már elérhető áron megvásárolhatók, így várható gyors elterjedésük. A navigációs panelen leolvasható, hogy mikor áll rendelkezésre a méréshez a korrekció, amelyet jelenleg 2 műhold sugároz, a 33 és a 44. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy ha „látható” a két hold bármelyike, akkor a többi „látható”, így a helymeghatározáshoz felhasznált műholdak mellett megjelenik a differenciálást jelölő betű, „D”. Ekkor azonban a műszer által meghatározott PDOP érték a sokszorosára ugrik (bár az NMEA mondatban szereplő HDOP érték nem változik lényegesen). Ennek okára vonatkozóan két feltételezésem van. Az egyik, hogy a jelenlegi rendszer tesztüzemben áll és ebből adódóan a korrekciók nem optimálisak. A másik, hogy a DOP meghatározását, illetve a pozíció számításakor a kiválasztott holdak esetében a vevő nem a geometriailag optimális elrendezést választja és ezen a korrekció csak tovább ront. Általános elv a GPS vevők esetében, hogy a SNR (jel-zaj-viszony) alapján keresi meg először az igénybe vehető műholdakat az első fix meghatározása érdekében, csak ezután halad a mind jobb megoldások felé. Ez természetes műszaki tervezési elv (abból dolgozok – először-, ami rendelkezésre áll), így előfordulhat, hogy rosszabb geometriát választ folyamatos üzemben is azért, mert a differenciális korrekció prioritást élvez a vevő algoritmusában a DOP értékelésével szemben. Ennek vizsgálata érdekes eredményre vezethet. A fentiek bemutatására álljon itt az alábbi ábra, amely két mérési sor grafikus interpretálása.



6.9. ábra

- c. Hazánkban a differenciális korrekciós sugárzás kialakítására folyamatosan volt igény és volt vállalkozó. Szakmailag bármelyik kezdeményezés indokolt volt, illetve most is az. Jelenleg is folyik a permanens bázisállomások telepítése, nyilvánvaló szándék ezek későbbi összekapcsolása és a jelek szórása valamilyen médian keresztül (jelenleg Interneten, GSM kapcsolaton hozzáférhetők különböző típusú üzenetek, illetve rendelhetők utófeldolgozás számára is adatsorok). A rendszerek életképességét, illetve élettartamát nagymértékben befolyásolja a szolgáltató/üzembentartó személye, illetve az, hogy mennyire tudja gazdaságilag és politikailag indokolni azt.
- d. A koordináta-rendszerek közötti átjárhatóság kérdése is felmerül, még ha csak érintőlegesen is, a hazai szakmai felhasználók számára. A WGS-84 és az EOV rendszerek között ugyanis, nincs egzakt matematikai transzformáció, bár a jelenlegi transzformációs együtthatók már igen nagy pontosságot biztosítanak.

e. RDS rendszer

Az RDS alapú DGPS jelsugárzás fizikai megvalósítása a 6.1. ábra alapján a következőképpen valósult meg.

A GPS referenciaállomás egy Trimble 4000SSE kétfrekvenciás kód- és vivőfázismérő, a korrekciók RTCM SC-104 formátumban kiadni képes vevő. Így ezzel rendelkezésre állt minden olyan adat, amely a mozgó állomás pozíciójának javításához szükséges.

Az elő-feldolgozó egység (Pre-processor) tulajdonképpen egy integrált egység. Fizikailag ez tartalmazza a GPS vevőt is. Az egység feladata a korrekciós jelfolyamból leválogatni azokat, amelyek az RDS jelfolyamba is bekerülnek, valamint ellenőrző feladatot is ellátott úgy, hogy egy RDS-3000 vevőegységgel vette a kisugárzott korrekciókat, azokat elemezte és összevetette az eredeti korrekciókkal.

A pre-processor tartalmazott egy teljes RDS kóder kimeneti protokollját is.

Az elő-feldolgozó egység jele az RDS kóderbe érkezik a stúdió sztereo jelével együtt, ahol a két jelfolyamból előáll a z un. sztereo-kompozit jel, ami innen közvetlenül az adóba kerül és kisugározzák.

A mozgó oldalon a GPS vevő (kisteljesítményű, de korrekciók fogadására alkalmas vevőegység) veszi a műholdak jelét, amellyel meghatározza saját pozícióját. Ezt szabványos soros porton (DSUB9, vagy gyártóspecifikus kialakítású, de RS-232 kommunikációs szabvány szerint működő) összekötöttük az RDS-vevővel, és a javításokat alkalmaztuk.

Az RDS-vevő gyakorlatilag fordított irányban hajtja végre ugyanazokat a műveleteket, amelyeket az elő-feldolgozó egység végez, azaz a stabil, nem változó értékeket visszahelyettesíti az eredeti jelfolyamba, újra előállítva a szabványos RTCM formátumot. Így érhető el az, hogy a korrekciók adatlátenciája – az az időintervallum, ami a korrekciós jelek megszületésétől azok felhasználásáig tart – minimális a többi szolgáltatáshoz képest. Összehasonlításképpen néhány jellemző adat található a dolgozatban (52. old.)

- f. A jelszolgáltatás a kezdetektől csupán egyetlen bázisra támaszkodva valósult meg. Ez az Országos Mikrohullámú Központ Széchenyi-hegyi állomásának diszpécserépületének tetején elhelyezett vevőantennából az épületben elhelyezett elő-feldolgozó egységben keletkezett adatsorból készült. A szolgáltatás utolsó évében az országos mikrohullámú gerinchálózat segítségével a sugárzási helyek száma növekedett, így a Sláger Rádió minden hullámhosszán fogható volt a jelfolyam a mono- és a sztereo- fedettség közötti területi sávban. A mellékletben látható a teljes fedettségi térkép.

Ezek alapján, a Miskolcon elvégzett kísérletek az adótól, referenciaállomástól mintegy 120-130km távolságban, míg a Budapesten végzetek körülbelül 10-20km-en belül történtek. A kísérletek során egy Trimble PathFinder vevőt használtunk, az RDS jelfolyam vételét egy AztecRDS-3000 vevő biztosította. Az FM antenna hossza szabványos 60cm hosszú pálca volt. Más esetekben, például a GGKI Tolna és Baranya megyei mérései során, a helyi adottságok miatt, irányított 1,5m hosszúságú polarizált antennát kellett alkalmazni.

- g. Az „átlagos ponttól való legnagyobb eltérés” megfogalmazás valóban helytelen. Ez az átlagtól való legnagyobb eltérés. Mivel nem állt rendelkezésünkre (nem is törekedtünk) alappont, vagy más, országos koordináta-rendszerben rögzített ponton való felállásra, esetünkben elegendő volt a szórás, illetve a maximális eltérés meghatározása.

- h. Jelen esetben a méréseket, illetve azok vizsgálatát kizárólag a szolgáltatás minőségének megállapítása érdekében végeztük. Így a mérési elrendezés egy bázisállomás korrekciós jeleinek vétele alapján történt, az RTCM 1, 2, illetve 9 típusú üzenetek felhasználásával, bármely időpontra vonatkozóan, egyéb javítások, illetve interpoláció nélkül. Erre vonatkozik a vastagon szedett bekezdés 3. mondata, mégpedig a térképek minőségére vonatkozóan. Azaz, mivel a helyzet-meghatározás fenti módszerrel elérhető pontossága kb. 2-3méter, a megjelenítési felület, illetve grafikus adatbázis megbízhatóságának ennek meg kell felelnie. Jellemzően a kereskedelmi forgalomban kapható digitális Magyarország

állományok – legalábbis a mérések időpontjában – messze elmaradtak a DGPS-szel támogatott eszközök pontosságától, ami egyrészt a térképek transzformációból eredő hibájának, másrészt az elérhető méretaránynak volt köszönhető.

- i. A korrekciós szolgáltatások piacvesztésének okai között valóban lehet találni olyat, amelyben a szolgáltató marketing és árpolitikája a fő probléma. Ez azonban nem egyértelmű, hiszen a földi sugárzás Magyarországon, mint értéknövelő szolgáltatás volt elérhető, így csak valamely rádióadóval, vagy a műsorszóróval közösen volt biztosítható. Következésképpen az árpolitika kétoldalú megállapodás alapján volt kialakítható, a marketing pedig részesedés-arányosan történt. További megoldandó feladat volt a fejlesztés, hiszen egyetlen bázisállomás adatai kerültek csak az adóra, így a pontosság – és az elérhető szolgáltatások területe az adott pontossági osztályban – korlátozott volt. Ennek eredménye volt az, hogy a három különböző pontosságú szolgáltatás minőségének biztosítása csak az adó (Széchenyi-hegy) körzetében volt megfelelő. Végezetül, nemrégiben újra felmerült a szolgáltatás ismételt bevezetése, ami várhatóan Miskolc és környéke területén lesz elérhető kísérleti jelleggel, majd további munka szükséges ahhoz, hogy más területi egységek számára is biztosíthatóak legyenek a korrekciók, amennyiben erre igény mutatkozik.

7. A Kálmán-szűrő és alkalmazása

Az 1960-as bemutatása óta a Kálmán-szűrő ezernyi navigációs alkalmazás integráló eleme lett. Egyszerűsége és könnyű alkalmazhatósága tette lehetővé, hogy a navigációs szenzorok integrálásakor felmerülő problémák vizsgálata ezzel a rekurzív digitális algoritmussal történhessen. [20]

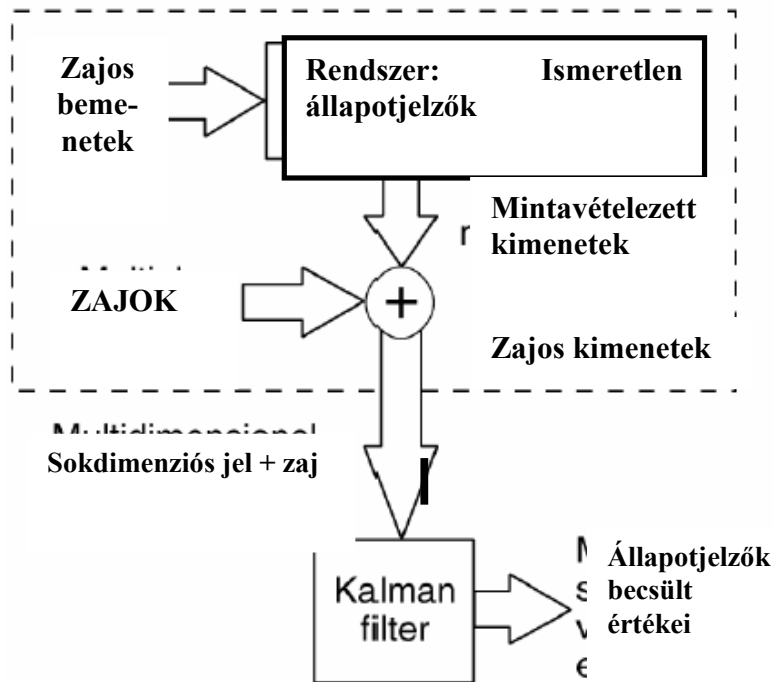
A szűrő statisztikai modellt használ az egyes mérésekből származó információk pontos súlyának meghatározásához, amit a következő mérésekhez használ fel, így biztosítja a rendszer optimális teljesítményét. Ugyancsak meghatározhatók az aktuális eltérések a tervezéskor azonnali minőség-ellenőrzés, vagy off-line rendszerelemzések számára, így a szűrő különösen népszerű a GPS/inerciális és az önálló GPS navigációs egységek vizsgálata és működtetése területén.

Kálmán Rudolf által bemutatott algoritmus igen jó visszhangra talált: a számítógépek már elég fejlettek voltak, nagy igény mutatkozott ilyen jellegű megoldások iránt és az algoritmus roppant egyszerű formába önthető.

7. 1. Egyenletmentes leírás

A Kálmán szűrő egy többszörös bemenettel és többszörös kimenettel rendelkező digitális szűrő, amely képes valós időben optimálisan megbecsülni a rendszer állapotát a zajjal terhelt outputok alapján (7. 1. ábra).

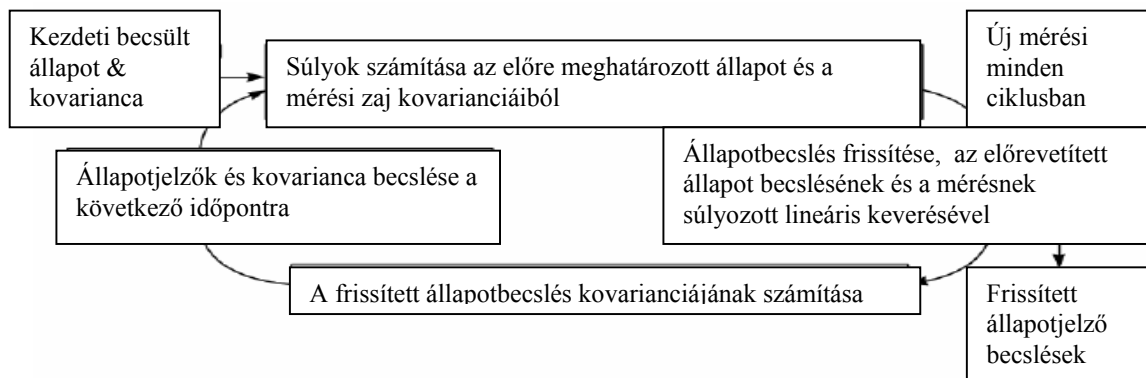
Ezek az állapotjelzők a szükséges változók ahhoz, hogy teljes egészében leírható legyen a rendszer viselkedése az idő függvényében (mint pozíció, sebesség, feszültség, stb.) Valójában a többszörös zajjal terhelt output úgy is felfogható, mint sokdimenziós jel plusz zaj, a rendszert leíró jellemzők ismeretlen jeleivel.



7. 1. ábra A Kálmán-szűrő elhelyezkedése a mérési folyamatban

A Kálmán-filter azután megszüri a zajos méréseket és megbecsüli a szükséges jeleket. A becslés optimális abból a szempontból, hogy minimalizálja a legkisebb négyzetek hibáját. Ez egy igen általános feltételnek mutatkozik, amin belül más feltétel (bármilyen monoton növekvő, szimmetrikus hibafüggvény, mint az abszolút érték) azonos becslésre vezet.

A 7. 2. ábra mutatja a Kálmán-szűrő algoritmusát. Mivel az állapot (jel) tipikusan véletlen skalár változók vektora (inkább, mint egyetlen változó), az állapot bizonytalanságának becslése a variancia - kovariancia mátrix- vagy egyszerűen kovariancia mátrix.



7. 2. ábra A Kálmán-szűrő algoritmus

A főátlá minden egyes kifejezése a változók középtől való négyzetes eltérése, és ennek négyzetgyöke a középhiba. A mátrix keresztátlójának kifejezései a kovarianciák, amelyek bármely változó pár közötti korreláltságot mutatják.

A többszörös mérések (minden egyes időpontra) is vektorok, amelyeket a rekurzív algoritmus dolgoz fel időről időre. Ez azt jelenti, hogy az eljárás iteratív módon ismétli önmagát minden egyes új mérési vektor esetében az előző ciklusban megszerzett adatot használva. Ez különbözteti meg az ún. batch-processing eljárástól, ahol az összes korábbi mérési eredményt tárolni kell.

Egy kezdeti állapotbecslésből és annak kovariancia mátrixából kiindulva a szűrő meghatározza azokat a súlyokat, amelyeket az első mérési vektorral kombinálva megadja a frissített „legjobb” becslést. Amennyiben a mérési zaj kovarianciája sokkal kisebb, mint a kezdeti állapot becslése, úgy a mérési súly magas lesz, a kiindulási becslése pedig alacsony.

Ugyanígy, a skalár-állapotok közötti relatív súlyozás annak is függvénye, hogy a vizsgált mennyiség hogyan viselkedik a mérésben. A mérésekben előre látható állapotok magas súlyértékeket kapnak.

Mivel a szűrő egy frissített állapotbecslést készít az új mérések alapján, az állapotbecslés kovarianciájának is változnia kell az újonnan hozzáadott információk alapján, csökkenő bizonytalanságot eredményezve. A frissített állapotbecslés és az ehhez tartozó kovariancia alkotja a Kálmán-szűrő kimenetét.

Végül a következő mérési vektor előkészítése érdekében a szűrőnek előre kell vetítenie a friss állapotbecslést és kovarianciáját a következő mérési időpontra. Az aktuális rendszerállapot vektort változónak tételezzük fel az időben egy determinisztikus lineáris transzformáció és egy független véletlen zaj szerint. Ezért a kezdeti állapotbecslés csak a determinisztikus transzformációt veheti figyelembe, mivel a valós zaj ismeretlen. A kovariancia mindkettőt figyelembe veszi, hiszen a véletlen zaj bizonytalansága ismert. Így az előmeghatározás bizonytalansága nő, mivel az állapotbecslés előmeghatározása nem számolhat a hozzáadott véletlen zajjal. Ezzel az utolsó lépéssel válik teljessé a Kálmán-szűrő ciklusa.

Látható, hogy amint a mérési vektor rekurzív módon feldolgozott, az állapotbecslés bizonytalansága általában csökken (ha minden állapot változó is egyben) a mérésekből akkumulált információk miatt. Igaz, az előmeghatározási lépésben információt veszünk (nő a bizonytalanság) a bizonytalanság egy nyugalmi állapotba kerül. Ekkor a bizonytalanság nagysága nő az előmeghatározási lépésben, majd csökken a frissítési lépésben kiegyenlítve egymás hatását. Ha nincs véletlen zaj az adott modellben akkor, amikor a következő lépésbe jut az állapot, úgy a bizonytalanság 0-ra csökken. Mivel az állapotbecslés bizonytalansága időben változik, ugyanígy van ez a súlyokkal is. Ha a rendszer állapota konstans, a Kálmán-szűrő egy szekvenciális formája a determinisztikus, klasszikus legkisebb négyzeteknek súlymátrix-szal, ami egyenlő a mérési zajok kovariancia mátrixának inverzével. Más szóval a Kálmán-filter alapvetően a legkisebb négyzetek problémájának rekurzív megoldása.

7. 2. A szűrő matematikai leírása

A Kálmán-szűrő azt tételezi fel, hogy a rendszer állapotvektora, x_k , úgy változik/fejlődik az időben

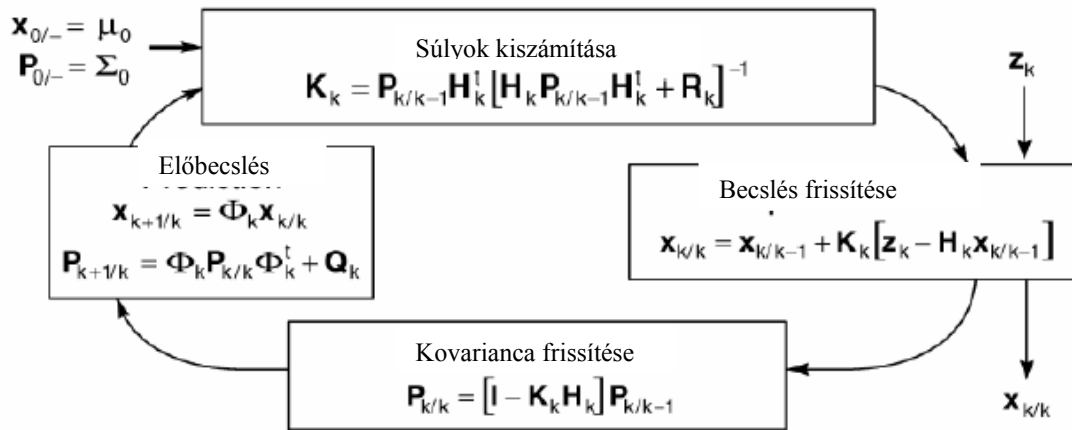
$$x_{k+1} = F_k x_k + w_k \quad (7.1.)$$

a mérési vektorral, ami

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (7.2.)$$

szerint adott, ahol x_0 , w_k , és v_k kölcsönösen korrelálatlan vektorok. Az utóbbi kettő tisztán zaj sorozatok, amelyek középvértéke m_0 , 0, és 0 valamint nemnegatív határozott kovarianciái az S_0 , Q_k , és R_k , megfelelően. A megfelelő optimális Kálmán-filter a 7.1. ábra szerinti rekurzív algoritmus szerint adott, ami a 7.3.ábrával mutat összhangot. Az $x_{k/j}$ vektor jelöli az x optimális becsült értékét a t_k időpontra vonatkozóan, amit a t_j időpontig rendelkezésre álló mérések alapján kapunk, és $P_{k/j}$ a megfelelő „optimális” becslési hiba kovariancia mátrix, ahol az alkalmazott szűrő modell egyezik a valós világgal, ahol az adatok keletkeztek. Számos módszerrel megállapíthatók/kiszámíthatók a szűrők egyenletei. Az általánosított legkisebb négyzetes hibák minimalizálása, $E[e_{k/j}^t A e_{k/j}]$, ahol $e_{k/j}[x_k - x_{k/j}]$ és A bármilyen pozitív félighatározott súlymátrix, azt eredményezi a Kálmán egyenletekben, mintha minden változó és zaj Gauss-eloszlású lenne.

A nem Gauss-i esetekre még egy kitétel érvényes, hogy lineáris összefüggésnek kell lennie az állapotbecslés, a mérések és az előjelzett állapotok között.

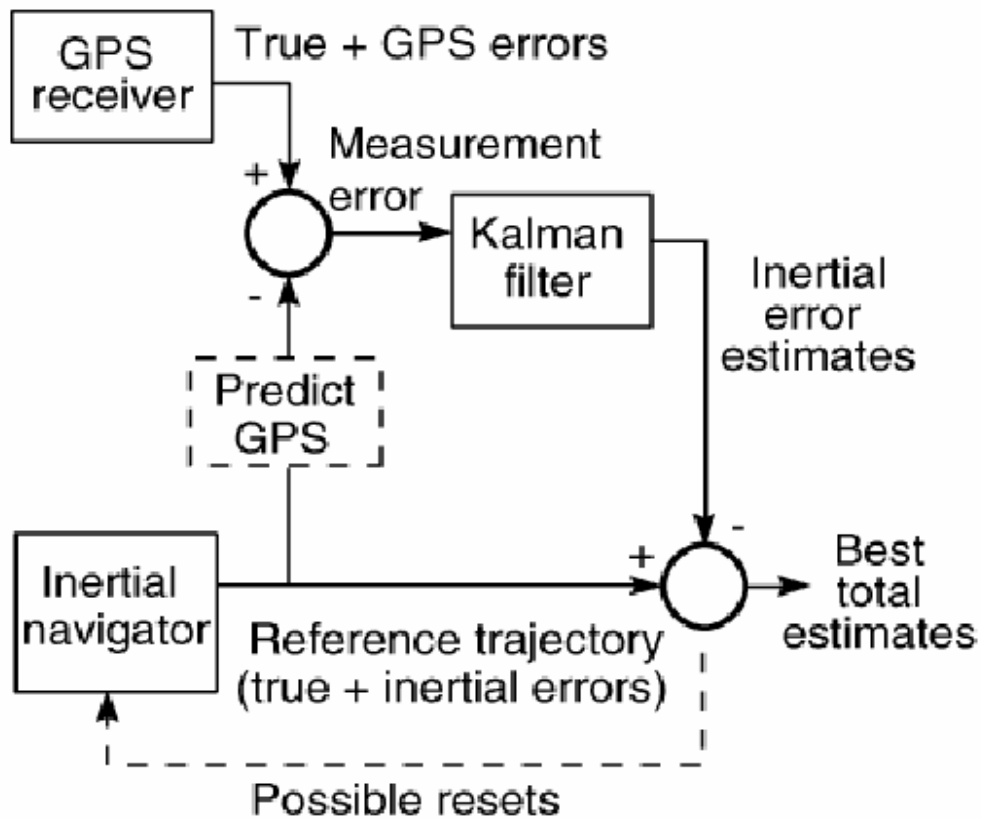


7. 3. ábra A Kálmán-szűrő rekurzív algoritmus

7. 3. GPS/INS integráció

Alapvetően az Inerciális Navigációs Rendszerek (INS) gyakorlatilag zajmentes kimenetet adnak, ami idővel lassan módosul, romlik, „hibázik”. A GPS minimális időbeli változást tartalmaz, annál több zajt. A Kálmán-szűrő, statisztikai modellt használva, alkalmas mindkét rendszer eltérő viselkedéséből adódó optimalizálásra.

Mint az látható, a Kálmán-filter lineáris algoritmus és feltételezi, hogy a mérést elvégző eljárás, rendszer is az. Mivel a legtöbb rendszer nem lineáris (ideértve a GPS-t és az INS-t is) egy linearizáló eljárás szükséges, amely a módszert néhány ismert alagra helyezi (referenciák). A 7. 4. ábrán a GPS-INS integrációját szemléltetjük. Látható, hogy a valós értékeket a szűrő kiiktatja, csak a két rendszer hibáit kell modellezni. Remélhetőleg a viszonyítási terület megfelelően közel van a valósághoz, így a hibamodell lineáris lesz, tehát a szűrő alkalmazható.



7. 4. ábra Szenzorok integrációja Kálmán-szűrővel

Tehát, bár a teljes rendszer nem lineáris, a Kálmán-szűrő a lineáris változók alapján működik. Vannak lazán kapcsolt rendszerek, ahol az output a felhasználó koordinátái. Preferált a szorosan kapcsolt rendszer, ahol a GPS mérések esetén a pseudotávolság (vivőfázis) az output, így a GPS pozíció már önmagában szűrt érték lehet. Amennyiben ez nem lehetséges, úgy a lazán kapcsolt rendszerrel kell dolgozni.

Kiegészítés

A Kálmán szűrő egyik leglényegesebb eleme az állapotvektor elemeinek változását leíró átviteli mátrix.

Egy GPS vevő mozgását, kinematikus állapotának leírását a következőképpen tehetjük:

Legyen a vevő pozíciója (állapota) vízszintes x , és y koordinátaival és a mozgás irányával meghatározott:

$$x_k, y_k, \psi_k,$$

így a változás

$$x_{k+1} = x_k + \cos \psi_k u_{tk} + w_{kx}$$

$$y_{k+1} = y_k + \sin \psi_k u_{tk} + w_{ky}$$

$$\psi_{k+1} = \psi_k + u_{\psi k} + w_{k\psi}$$

,ahol a mintavételi időre eső elmozdulás u_{tk} a ψ_k irányban és $u_{\psi k}$ elfordulással, valamint $w_k = N(0; Q_k)$ normális eloszlású zaj. [29] [31] [32]

Amennyiben a rendszerben rendelkezésre állnak sebességértékek, vagy egyéb paraméterei a rendszernek, úgy azokat, megfelelő feltételek teljesülése esetén számításba lehet venni.

Fentiek alapján az átviteli mátrix az

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_{tk} \sin(\psi_k) \\ 0 & 1 & u_{tk} \cos(\psi_k) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

alakot veszi fel.

Sokkal gyakoribb a rendszerek dinamikus elven történő jellemzése. Ennek oka a kinematikus rendszerben történő áttérés két állapot között akkor, amikor a rendszerben gyorsulás is szerepet kap. Például, egy konstans sebességet leíró rendszerről egy konstans gyorsulásúra való áttérés numerikus differenciálást jelent, ami instabil eljárás, így a zajszint erősödik. Ellenkező irányban pedig a művelet stabil, de nagyon érzékeny a kezdeti értékek hibájára. [30]

Általános esetben egy mozgó vevő állapotát az

$$\mathbf{x}(t) = [\mathbf{p}(t), \mathbf{v}(t), \mathbf{a}(t)]^T \text{ vektorral jellemezhetjük.}$$

Ennek a vektornak a becslése az előző állapotra vonatkozóan

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}(t-\Delta t) + \Delta t \mathbf{v}(t-\Delta t) + \frac{1}{2} \Delta t^2 \mathbf{a}(t-\Delta t)$$

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{v}(t-\Delta t) + \Delta t \mathbf{a}(t-\Delta t)$$

$$\mathbf{a}(t) = \mathbf{a}(t-\Delta t)$$

,ami mátrix alakban írva:

$$\mathbf{x}'(t) = [\mathbf{p}(t), \mathbf{v}(t), \mathbf{a}(t)]^T = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{1}{2} \Delta t^2 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{p}(t-\Delta t) \\ \mathbf{v}(t-\Delta t) \\ \mathbf{a}(t-\Delta t) \end{bmatrix} = \Phi \mathbf{x}(t-\Delta t)$$

Jellemezzük egy inerciális mérőeszköz mozgását a helyzetével, valamint döléseivel a következőképpen:

$$\bar{\mathbf{r}} = [\mathbf{x} \ \mathbf{y} \ \mathbf{z}]^T \quad \bar{\mathbf{p}} = [\boldsymbol{\theta} \ \boldsymbol{\phi} \ \boldsymbol{\psi}]^T \quad \bar{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \bar{\mathbf{r}}^T & \bar{\mathbf{p}}^T & \dot{\bar{\mathbf{r}}}^T & \dot{\bar{\mathbf{p}}}^T \end{bmatrix}^T$$

,ahol a mozgási és a dölési változókat összevontuk.

Ekkor az állapotegyenletek:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \bar{r} \\ \bar{p} \\ \dot{\bar{r}} \\ \dot{\bar{p}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boxed{0} & \boxed{1} \\ \boxed{0} & \boxed{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{r} \\ \bar{p} \\ \dot{\bar{r}} \\ \dot{\bar{p}} \end{bmatrix} \quad \dot{\bar{x}} = F\bar{x}$$

alakot vesznek fel. Ez a mátrix triviális, mert a feltételezett dinamika is az volt. Az idő és a változások mérése után az átviteli mátrix írható:

$$\bar{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} \boxed{1} & dt \boxed{1} \\ \boxed{0} & \boxed{1} \end{bmatrix} \bar{x}_k$$

és, mivel az F mátrix konstans és a négyzetre emeléssel eltűnik, így

$$\Phi_k = I + F dt$$

A fenti modell alkalmazása csak akkor lehetséges, ha valamilyen kiegészítő eszközzel időnként mérni tudjuk a valós pozíciót, ellenkező esetben a szűrő megengedhetetlen mértékben távolodik a megoldástól. Ezt kiküszöbölendő a következő feltevésekkel javítjuk a modellt:

- az eszköz csak az saját y-tengelye mentén/irányában mozog
- az eszköz csak a saját z-tengelye körül forog

Ebben az esetben az állapotváltozók:

$$\bar{x} = [x \ y \ z \ V \ \theta \ \phi \ \psi \ \beta]^T$$

,ahol V az eszköz sebességének y-tengelyre vetítése, míg β az eszköz szögsebességének z-tengelyre vonatkozó komponense. A vonatkozó differenciál-egyenletek:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ V \\ \theta \\ \phi \\ \psi \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Vs\psi c\theta \\ Vc\psi c\theta \\ Vs\theta \\ 0 \\ \dot{\beta}s\phi \\ -\dot{\beta}t\theta c\phi \\ \dot{\beta}c\phi/c\theta \\ 0 \end{bmatrix}$$

,ami alapján a valódi linearizált folytonos differenciál-egyenletek:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta V \\ \Delta \theta \\ \Delta \phi \\ \Delta \psi \\ \Delta \dot{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -s\psi c\theta & Vs\psi s\theta & 0 & -Vc\psi c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c\psi c\theta & -Vc\psi s\theta & 0 & -Vs\psi c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s\theta & 0 & 0 & Vc\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{\beta}c\phi & 0 & s\phi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\dot{\beta}c\phi/c^2\theta & \dot{\beta}t\theta s\phi & 0 & -t\theta c\phi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{\beta}s\theta c\phi/c^2\theta & -\dot{\beta}s\phi/c\theta & 0 & c\phi/c\theta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta V \\ \Delta \theta \\ \Delta \phi \\ \Delta \psi \\ \Delta \dot{\beta} \end{bmatrix}$$

,amiből az átviteli mátrix:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ V \\ \theta \\ \phi \\ \psi \\ \dot{\beta} \end{bmatrix}_{K+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -s\psi c\theta dt & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & c\psi c\theta dt & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s\theta dt & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & s\phi dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -t\theta c\phi dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & c\phi dt/c\theta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_K \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ V \\ \theta \\ \phi \\ \psi \\ \dot{\beta} \end{bmatrix}_K$$

alakban következnek.

A GPS vevőre vonatkozó mérési modellt írhatjuk:

$$\psi_1 = \sqrt{(X_1 - x) + (Y_1 - y) + (Z_1 - z)} + c\Delta t$$

$$\psi_2 = \sqrt{(X_2 - x) + (Y_2 - y) + (Z_2 - z)} + c\Delta t$$

$$\psi_3 = \sqrt{(X_3 - x) + (Y_3 - y) + (Z_3 - z)} + c\Delta t$$

$$\psi_4 = \sqrt{(X_4 - x) + (Y_4 - y) + (Z_4 - z)} + c\Delta t$$

,ahol Y_i a zaj nélküli ál-távolság az i -edik műholdra, $[X_i \ Y_i \ Z_i]^T$ az i -edik műhold geocentrikus derékszögű koordinátái és c a fénysebesség. A vevő helyzete $[x \ y \ z]^T$.

A rendszer modellt egy mozgó vevőre legalább a helyzeti és a sebességvektorral kell definiálni.

Célszerű szétválasztani az óra-hibát az oszcillátor frekvencia-hibája (bias), illetve a frekvencia stabilitásának eltérései alapján (drift).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ b \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ b \\ d \end{bmatrix}$$

A fenti rendszer-modell alapján az átviteli mátrix azonnal következik.

A differenciális korrekciók meghatározáskor az átviteli mátrixok kialakítása a következők szerint történhet.

A korábban leírt egyfrekvenciás bázisállomás állapotmodellje alapján:

$$\mathbf{x}=[r_c, dr_c/dt, d^2r_c/dt, MP, I_a, N]^T$$

Ez alapján az állapotváltozás modell és az átviteli mátrix:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_M} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}(t) + \boldsymbol{\omega}(t)$$

A kétfrekvenciás bázis esetében az állapotvektort két további változóval egészíthetjük ki, ezek pedig a második frekvenciára vonatkozó multipath és fázis-többértelműség:

$$\mathbf{x}=[r_c, dr_c/dt, d^2r_c/dt, MP_1, MP_2, I_a, N_1, N_2]^T$$

,ahonnan az állapotváltozás modell és átviteli mátrix:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_M} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_M} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\tau_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \boldsymbol{\omega}$$

Ezekben az esetekben a szűrés célja a kód-multipath, a kódmérési zaj, a referencia-órahiba és a várható műhold órahiba hatásának kiejtése, illetve minimalizálása volt. A korrekciós kimenetek pedig a kód-távolság korrekciót és annak változását jelentik.

Fontos megjegyezni, hogy a szűrő kialakítását a kimeneten megfigyelhető változókra vonatkozó mérések lehetősége határozza meg. Ezt a szűrőt vezérlő zaj alapján lehet definiálni. Az állapot modellben minden olyan változó szerepelhet, amelynek elméleti vagy gyakorlati szempontból hatása van a rendszerre, azonban biztosítani kell a mérés lehetőségét.

8. Bevezetés a térinformatikai rendszerekhez

A történeti fejlődésből láthatóan a térinformatikai rendszerek alapvető elemei a következők:

1. Grafikus adatbázis
2. Leíró adatbázis
3. Hardver
4. Szoftver
5. Élő erő

Gyakran az adatbázisokat és a szoftvert egy egységben kezelik, ami sokáig helyénvaló is volt, sőt vannak rendszerek, amelyekben ez most is igaz. A téma tárgyalása szempontjából és gyakorlati okokból is célszerű külön vizsgálni ezeket az elemeket. Vegyük sorra az okokat. [21]

A térinformatikai rendszerek alapvető kérdéseit már láttuk. A kérdés és az igényelt válasz is helyhez kötött információkra vonatkoznak. Ennek a folyamatnak jól elkülöníthető fázisai vannak, amelyeket különböző módon, ennek következtében különböző „helyen” kell végrehajtani.

Vegyük egy egyszerű példát: Hol található Miskolc?

A válasz többféleképpen megadható:

- a./ Koordinátákkal
- b./ Szövegesen
- c./ Megjelenítve, ábrázolva (grafikusan)

Az eljárást a software hajtja végre, amelyben kódoljuk a vizsgálat szempontjait azok alapján az adatbázisok alapján, amelyek a rendelkezésünkre állnak. Vagyis a válasz megadásához feltétlenül szükség van az információt hordozó adatokra, de azoknak csak egy része nélkülözhetetlen.

Vagyis, ha koordinátákkal adjuk meg a választ, úgy elegendő egy leíró adatbázis, amelyben a kereshető objektumok azonosítói és azok megfelelő adatai szerepelnek. Ez az

érdeklődésre számot tartó területről elkészült 3 oszlopos adatbázist feltételez mindenféle grafikus megjelenítési lehetőséget mellőzve.

Amennyiben szöveges választ várunk, úgy ugyanehhez az azonosítóhoz rendelt szöveges adatbázisra van szükség. Magyarországi viszonyokat figyelembe véve ehhez sem kell túlzottan nagyméretű adatbázis.

A megjelenítés, azonban, már grafikus adatok tárolását és kezelését feltételezi, amelynek igen különböző típusai és igényei lehetnek.

Van még egy nem elhanyagolható szempont is, ami miatt a software-t és az adatbázist célszerű külön kezelni, ez pedig gazdasági természetű. Azaz a feldolgozás rendszerét, algoritmusait, egyéb szükséges módszereit külön vásárolja meg a felhasználó, a grafikus és leíró adatbázisoktól elkülönítve. Sőt, az adatokat olyan formában szeretné a felhasználó, amilyenben azt a már beszerzett szoftverrel kezelni is tudja, vagy fordítva, ha már rendelkezésére állnak adatok, olyan szoftvert vásárol, hogy azokat fel tudja dolgozni. Ebből a szempontból a két elem feltételezi egymást, nem kezelhetők egy egységként.

Az alkalmazott rendszerek között találunk olyanokat, amelyek nem képesek nyílt formátumú adatbázisokat feldolgozni. A helyzet ebben az esetben is azonos, hiszen az adatot meg kell szerezni, fel kell dolgozni és megfelelő kezelési eljárásokat kell biztosítani ezek használatához.

Néhány példa:

1. Magyarországon a térképek néhány általános formátumban vásárolhatók meg, pl. MapInfo .MIF, ArcInfo .SHP, MicroStation .DGN vagy éppen AutoDesk .DWG, míg az általánosan elfogadott fájl formátum a .DXF (data exchange format).
2. Az ezekhez a formátumokhoz tartozó – fent megjelölt – szoftverek nem tartalmazzák ezeket, hiszen a felhasználás helye nem rögzített, azok, mint eszközök szükségesek az állományok létrehozásához is.
3. Vannak olyan formátumok, amelyek bár nyílt adatbázisokból keletkeztethetők, mégsem használhatók fel más szoftverben. Ilyen az AutoDesk MapGuide .MWF nem visszaállítható állománya. Ennek értelmét is a kereskedelem adja meg: a látvány is hordoz információt

(tematikus térképek), így értéket képvisel, tehát eladható, nyíltan publikálható, hiszen nincs mód visszaélésre. Ezért igen gyakran találkozhatunk ilyen, vagy ehhez hasonló állományokkal az Interneten, vagy más hálózati, többfelhasználós rendszerekben.

4. Hasonló célt szolgálnak a csak hivatkozásállományokat használó programok, amelyek a térképek, vagy más adatokat tartalmazó központi hardvert igényelnek. Itt tárolhatók az adatok, míg távoli elérést biztosítva a felhasználónak, elérhetővé tehetők ezek számára. Ilyen pl. a MapInfo MapX .GST állománya.
5. Végül vannak alkalmazások, amelyek saját típusú kódolási algoritmust tartalmaznak. Ilyen a kézi GPS vevőkben található grafikus adatbázisok szerkesztésére alkalmas szoftverek, vagy speciális alkalmazások, térképi megjelenítést biztosító programok. Pl. a magyarországi PANDANT rendszer software-e is ilyen „saját formátumú” grafikus adatbázisokat használ.
6. Van még egy nem elhanyagolható típusa a grafikus „adatbázisoknak”, amelyek tulajdonképpen csak a vizualizációt segítik, ezek pedig a raszter állományok. Ebben az esetben nincs szó egyébről, mint az információt publikálni, azaz a papír adathordozó elektronikus megfelelője. Ilyen formátumok a .BMP, .GIF, .TIF stb. Az adatok változtatását egyedi szempontok határozzák meg, felhasználás-orientált alkalmazások esetén jelentősek, és komoly hangsúlyt kap a módosítás minőségi ellenőrzése is.

Tekintsük meg, milyen gyakorlati megvalósítási lehetőségei vannak az adatgyűjtésnek a korábban említett eszközök használata esetén.

9. Terepi térképszerkesztés integrált adatgyűjtő eszközökkel

1995-ben az ausztrál Wollongong City Council megbízásából olyan rendszer tesztelését végeztem, amelynek célja az egyemberes felmérés végrehajthatóságának és terepen történő térkép szerkesztésének, javításának vizsgálata volt.

A tesztelt rendszer felépítése, a mérések végrehajtása, kiértékelése, pontossági vizsgálatok, valamint az adaptáció eredményei e fejezet tárgya. Vizsgálat alá kerülnek továbbá az eszközök és ismeretek bányászatban történő alkalmazási lehetőségei is. [22]

9. 1. Előzmények

Az Ausztrál Államszövetség 1995 elején törvényt fogadott el az önkormányzati vagyon nyilvántartásának szabályairól, amelyben kötelezte azokat digitális adatszolgáltatásra a vagyon tekintetében. Az értékek nyilvántartását, a változások vezetését és az új felmérések elvégzését a különböző osztályok saját hatáskörükben végzik.

Mivel a Wollongong Városi Önkormányzat már a '80-as években rendelkezett teljes digitális térképpel a Geodéziai Osztályon és erre alapozva a többi osztály is felvevte adatait, a rendszer csaknem teljes, azonban a törvény az aktuális állapot kimutatását írta elő. Ezért szükség volt egy olyan eszközre, amely gazdaságosan megoldja a gyors adatgyűjtést. Felmerült az is, hogy lehetőség szerint ez az eszköz, vagy eszköz-együttes képes legyen a nem tökéletesen illeszkedő, vagy torzult térképi állományok rektifikálására tehát geodéziai munkák végzésére is.

A cél egy minél kevesebb embert igénylő, gyors, pontos eszköz és eljárás kidolgozása volt, amelyre több lehetőség kínálkozott (9.1. táblázat). Nem szerepel a táblázatban a Criterion 400 Series LaserRangeFinder, mert később jutott tudomásukra a rendszer lényeges előnye, ami nevezetesen az egy személy általi működtethetőség.

Az előzetes felmérések alapján a hagyományos geodéziai eljárás és a kapcsolt terepi adatrögzítők és szoftverek alkalmazását elvetették gazdaságossági megfontolások alapján. A GPS és PenComputer esetében sikerült hozzájutniuk az eszközökhöz, amiről szintén beszámol a tanulmány.

A Criterion Szenzorintegrált rendszer kipróbálását korábbi szakmai kapcsolatok útján szervezték, így két hét állt rendelkezésre az eszköz tesztelésére minden, a gyakorlatban előforduló helyzetben mind a hardver, mind a szoftver tekintetében.

Technika	Előny	Hátrány
Hagyományos felmérés	Nagy pontosság 1-3 cm	Nagy költség Szükségtelenül nagy pontosság Két emberes kezelés Legtöbb rendszer nem képes strukturált attribútum kezelésre
Légi fotogrammetria	Pontos 10-60 cm	Igen magas költség A tárgyakat takarhatják más tereptárgyak Az attribútum gyűjtést külön kell megoldani a földön Az azonosítás tévesztésének nagy esélye van
GPS Geodéziai 1-3 cm Nav C/A (0.3 -3 m)	Kis-nagy pontosság Kis-nagy költség a pontosságtól függően. Közvetlen digitális output Strukturált attribútum kezelés Abszolút földrajzi koordináták az adott dátumban	Hatékonyság Időigényes a műszertől függően Az ég láthatóságának erős befolyása Multipath

9.1. táblázat: A választható eljárások és értékelésük

9. 2. A munka tárgya

A program célja a Criterion Series 400 LaserRangefinder geodéziai mérőműszer pontossági vizsgálata, PenComputer alapú terepi térképszerkesztő és attribútumgyűjtő kezelése, az interface fejlesztésére irányuló megjegyzések összegyűjtése és a teljes rendszer üzemeltetésére vonatkozó kérdések tisztázása volt.

A cél egy minél kevesebb emberi erőt igénylő gyors, pontos eljárás alkalmazása a következő szempontok alapján:

- Pontosság, a vagyontárgyak helyzetének bemérése 1-5 méter pontossággal, azok értékének meghatározása állaguk alapján, az alappont-hálózat újramérése 5-10 cm élességgel.

- Gazdaságosság, termelékenység, a különböző osztályok által nyilvántartott tereptárgyak, műtárgyak tulajdonságainak egy útvonal bejárásával történő felkeresése, rögzítése és felmérése.

Mint látható, a feltételek igen szűkre szabják a lehetőségeket, ami problémát is okozott, elsősorban a pontosság tekintetében. Míg a vagyonyilvántartás céljait az 1-5 méter pontosság tökéletesen kielégíti, addig a geodéziai munkák elvégzéséhez csak sokkal jobb, 10-20 centiméter élességet kell produkálni.

9. 3. A rendszer

Tesztelésre két rendszer állt rendelkezésre; a PCMCIA Rockwell GPS Card differenciális üzemmódban (postprocessing) hozzákapcsolt PenComputerrel és a Criterion Series 400 LaserRangefinder terepi adatrögzítővel és attribútumgyűjtővel.

- GPS-PenComputer

A mérést egy Kalidor 400 típusú Pen based computer (tollas érintőképernyős számítógép) segítségével végeztük, amelyen előre telepítették az adatgyűjtő szoftvert, ami FieldNotes, MapInfo, vagy MicroStation Field volt. Mindhárom gyakorlatilag azonos struktúra szerint kezelte az állományokat, egy adatkönyvtár létrehozása (VisualBasic interface) után olyan felület állt rendelkezésre, amelyet csupán választásos alapon ki kellett tölteni. A számítógép szintén rendelkezett előzetes igénybejelentés útján GPS illeszthetőséggel, amely a Rockwell PCMCIA GPS Card volt.

- Criterion-PenComputer (+ GPS)

A rendszer felépítése abban különbözik az előzőtől, hogy a pozíció meghatározását és az attribútumok gyűjtését külön munkafázisban kell végezni, mert a műszernek nincs közvetlen

kompatibilitása a számítógéppel. Így terepi adatrögzítő szükséges ahhoz, hogy a koordinátákat tárolja, majd a helymeghatározás után az attribútumok rögzítéséhez alkalmazható a számítógép.

9. 4. A mérések elve

A GPS-rendszerrel történő mérések elvét nem kell bemutatni. Az adatgyűjtést differenciális módszerrel hajtottuk végre. A mozgó egység végighaladt a kiválasztott útvonalon megfelelően megválasztott sebességgel, miközben rögzítette a pozíciót. Ehhez illesztette az adott helyen feltalálható vagyontárgyak leíró adatait az előre megadott adatkönyvtár kitöltésével. Ebben az adatkönyvtárban megtalálható minden felmérendő tereptárgy, az azokat leíró tulajdonságok (méret, kor, kód, állag stb.). Ezeket a mérés befejeztével a központi rendszerbe olvasták, az előzőeket frissítették és itt végezték el a szükséges analízist is (felújítási idő, annak időpontja, várható költsége, a vagyon értéke, stb.).

A pozíciókat kétféleképpen értékelhetik ki, a./ utófeldolgozással, b./ valós időben, amihez azonban folyamatos adatátviteli kapcsolat szükséges.

Criterion műszer, terepi adatrögzítő, PenComputer

Ebben az esetben, mint már említettük, szét kell választani a helymeghatározást és a leíró adatok gyűjtését, ám ez a gazdaságosság szempontjából nem okoz hátrányt.

A műszer, felépítéséből adódóan, alkalmas a mérések gyors és biztonságos tárolására. Az eszköz tulajdonképpen egy visszaverő felületet nem igénylő lézer távmérő és egy fluxgate (elektromágneses) kompasz kombinációja, ami képessé teszi a kezelő helyzetének meghatározását egy ismert koordinátájú pont irányzásával. A kompasz méri a mágneses azimutot, amit a helyi viszonyok esetében érvényes konvergenciaértékkel javítva megkaphatjuk az adott alappontra menő irányszöveget, valamint a lézerrel távolságot mérve az álláspont koordinátái, poláris pontmeghatározás elvén, rögzíthetők. Minden egyes állásponttól szükséges egy ellenőrző alappont mérése, de nem kell a műszerrel alapponton felállni. Az állásponttól a mérendő összes tereptárgy, épületsarok-pontok, fák helyzete adott távolságon belül meghatározható anélkül, hogy a szakember azokat fizikailag felkeresse. Az eszköz függőleges

értelemben is képes mérni a távolságot és szöget, így lejtőszögek, ferdetávolságok is meghatározhatók. A mérések 5-10 másodpercet vesznek igénybe és egy személy elegendő az eszköz kezeléséhez.

Lehetőség van arra is, hogy a méréseket GPS alappontról indítva és/vagy oda visszatérve hajtsák végre, így teremtve meg a kapcsolatot a koordináta-rendszerek között, valamint az alappontokkal nem jól ellátott területeken az ellenőrzésre.

A gyűjtött adatok a terepi adatrögzítőben tárolhatók, amely beépített szoftverrel rendelkezik a kiértékelés meggyorsítása érdekében. A kiszámított koordináták azonnal térképen ábrázolhatók.

Az eszköz nem feltételez visszaverő felületet és nem szükséges alapponton felállni vele, bár az ellenőrzőpontok bemérésének pontossága érdekében (a pontok elhelyezkedése miatt is) gyakran nem árt prizma, vagy tárcsa használata.

Második lépésben a koordinátákkal adott helyeket, tárgyakat egy terepi számítógéppel (PenComputer) felszerelt szakember újra felkeresi, és részletesen kitölti az adott adatkönyvtárat. Az ilyen módon összegyűjtött tulajdonságok, ugyanúgy, mint előbb, felkerülnek a központi nyilvántartás megfelelő rétegére és az analízis szolgálatára állnak.

9. 5. Tapasztalatok

A GPS-szel végzett kísérletek nagy hatékonyságról és a kitűzött pontossági követelmények (1-5 m) teljesüléséről tanúskodtak. Utólagos feldolgozással tartható volt az 1-3 méter, de a mozgás közbeni pontmeghatározás esetében az adatátvitel nehézségei miatt, csak 5-10m volt a megbízhatóság, amely újabb feldolgozást igényelt. Az adatgyűjtéshez legalább két ember szükséges, az egyik az adatokat felvevő személy, aki nem feltétlenül geodéta, míg a másik a sofőr, akik egyébként igen jól meg tudták osztani a feladatokat.

Előnye ennek a rendszernek a hatékonyság, produktivitás, de hozzá kell tenni, hogy a sebesség, vagy egyéb (időjárás, útviszonyok, más tereptárgyak takarása) miatt kb. 5-10% tévedés történt, ami ismételt felkeresést eredményezett.

Hátrányként elsősorban a GPS használatakor előálló árnyékolási problémák említethetők fás, parkos területek, illetve magas épületek közelsége esetén, ahol ráadásul a multipath is

jelentkezett. Valós időben történő feldolgozás esetén az adatkapcsolat fenntartása időnként zavart okozott.

A Criterion műszer használatát viszonylag hosszabb időn keresztül kellett, és tudtuk gyakorolni, ami sok fontos tapasztalat birtokába juttatta a felhasználókat.

A rendszer egyértelmű előnye a portabilitás, a gyorsaság, és a biztonság. Az eszköz "hand-held" váltamasszal, egyszerű az irányzás, rövid az irányzási idő, könnyű a kezelés. A gyári adatok szerinti pontossága ± 0.3 fok, amelynek értékelését később láthatjuk.

Ezzel együtt megoldható kényszerközpontos felállítása, vagy akár mono-, bi-, vagy tripodra helyezése is. A mérési eredményeket értékelve megállapítható volt, hogy 1 méter körüli pontosság minden esetben elérhető kb. 250-300 méter távolságon belül. Ennek két fő oka van: a./ a kompasz bizonytalansága, b./az irányzási technika és a támaszok megválasztása.

A tájoló nagyon érzékeny mindenféle mágneses behatásra. Mivel a város területén igen gyakran előfordulnak földalatti vezetékek, ezek hatása nem minden esetben jelezhető előre, bár az azimutális mágneses irányeltérés kiküszöbölhető. Ezek az anomáliák gyakran okoztak az alapértéken túli 10' iránymérési hibát, ami távoli pontok esetében 10m nagyságrendű koordinátahibákat jelenthetnek.

Nagy figyelmet kellett szentelni a műszer irányzás közbeni "tartására". Mivel ennek súlya közel 15 kg, a puszta kézben tartás is egy idő után megerőltetővé válik, az irányzás nehezen megvalósítható a kívánt pontossággal. Monopod esetében az eljárás lényegesen javul, míg bipoddal gyakorlatilag tökéletesen végrehajtható. Ilyenkor azonban sokat veszít az egyik leglényegesebb előnyéből, a könnyű szállíthatóságból.

További nehézségek jelentkezhetnek viszonylag távoli, 200 méteren túli pontok, keskeny vagy kisméretű tárgyak irányzásakor. Ezekben az esetekben nélkülözhetetlennek tűnt a jeltábla, vagy prizma használata a lézerimpulzusok biztos visszajuttatása érdekében, ami ismét a kétfős üzemeltetést igényelte.

Mindezeket figyelembe véve az eszköz alkalmas a tágabb pontossági követelmények kielégítésére, de nem végezhetők vele geodéziai pontosságú felmérések. Az üzemeltető személyzet testi épiségének biztonsága mondható további nagy előnyének.

9. 6. Fejlesztési javaslatok

A két adatnyerési eljárás tulajdonképpen azonos elvekre épül, csupán a mérőműszer adottságaiban térnek el egymástól.

A GPS-PenComputer rendszer már működő együttes, fejlesztési lehetőségeit tekintve a Real Time eljárás erősítése jelenthet előrelépést, amelynek egyetlen lényeges feltétele a folyamatos adatátviteli kapcsolat megléte. Ennek tárgyalását a Differenciális GPS szolgáltatások körében már elvégeztük.

A Criterion műszer fejlesztése alapot adhatna egy pontos és biztonságos eljárás magalkotásához. Az eszköz használata során szerzett tapasztalatok alapján a súlycsökkentést és a kompasz külső behatásokkal szembeni ellenállásának fokozását emelhetjük ki, mint változtatásra szoruló jellemzőket. A fluxgate helyett érdemes volna optikai, vagy lézer giroszkóp alkalmazását megvizsgálni. Meg kell jegyezni, hogy a kompasz geodéziai alkalmazása egyébként sem indokolt, éppen a fent említett okokból kifolyólag.

Mivel a rendszer nagyon kompakt, egy személy is kényelmesen tudja kezelni, és az adatgyűjtést elvégezni, a hardverek az időjárási és terepi körülményeknek megfelelően nagyon "védtett" kivitelűek, így alkalmazhatóak volnának mostoha körülmények közötti felhasználásra is. Ilyenek a bányafelmérések, illetve nyilvántartások, melyekkel teljes információs rendszerben lehetne kezelni a bánya megnyitásától a rekultivációig tartó folyamatokat.

9. 7. Konklúzió

A két, nagyon hasonló elven felépített rendszer használata igen hasznos tapasztalatok megszerzését segítette elő. Kényelmes, gyors biztonságos eljárások, gyakorlatilag bármilyen már létező GIS- szel kompatibilisek, felhasználási lehetőségeik igen sokrétűek.

A fejlesztések során kiderült, hogy a jelenlegi technikai színvonalon, valamint a gyakorlati megvalósíthatóság keretein belül elvi felépítésüket tekintve a térinformatikai GPS alapú adatgyűjtő eszközök felépítése azonos. Eltérés a fejlesztések alapkoncepciójában van, ezért az az adatszerkezet összeállításában mutatkozik leginkább. Az adatgyűjtő eszközök elvét tekintve megállapítható, hogy az integrált mérőeszközök esetében Kálmán-szűrő alkalmazása

szükséges. A részletmérések esetén használt összetett egységek nem igénylik e szűrő alkalmazását, az elkülönített mérőeszközök külső behatásoktól nem mentesek. Ezek kiküszöbölését, de legalábbis a hatások csökkentését javasolom.

Tekintsünk egy másik példát arra, hogyan lehetséges térinformatikai rendszerekhez szükséges adatokat gyűjteni szélsőséges körülmények között is.

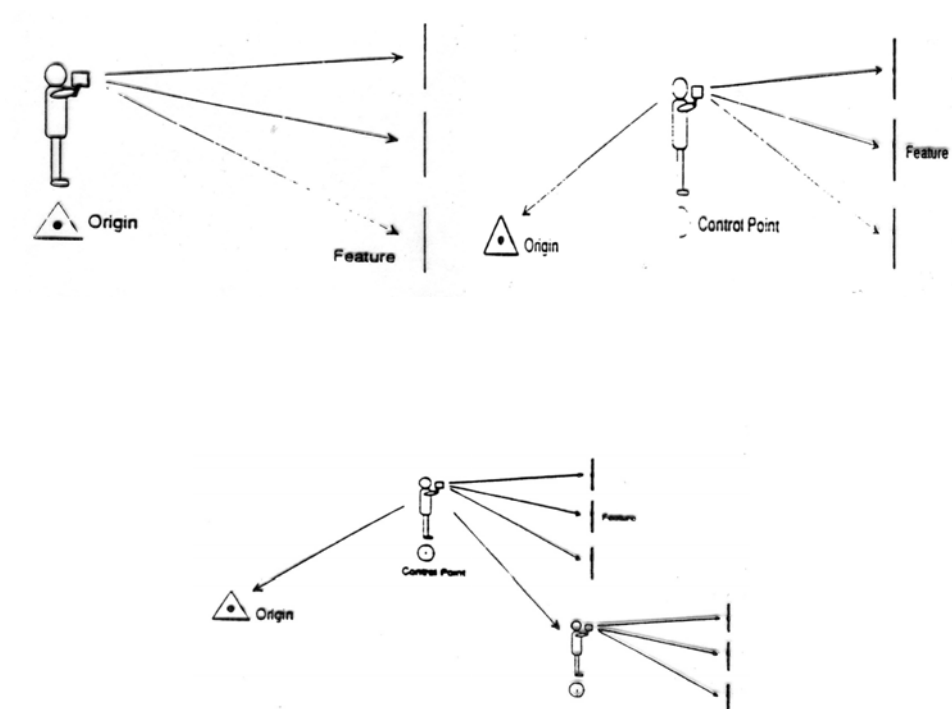
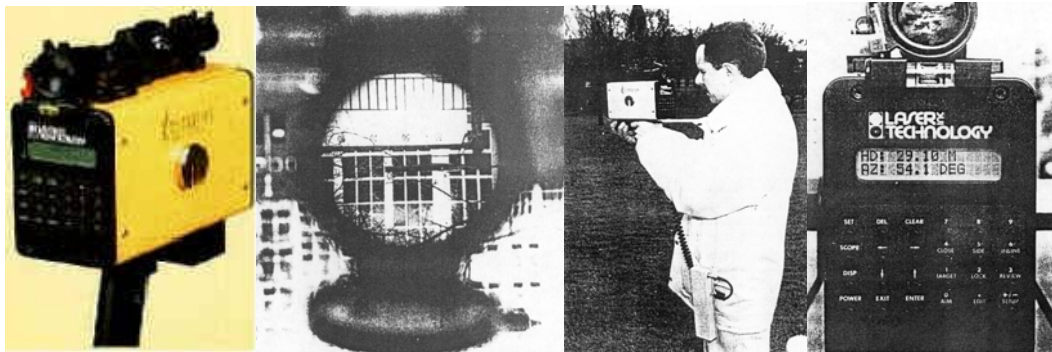
Kiegészítés

- a. A „Bevezetés a Térinformatikába” cím talán helytelen döntés volt, a céloom a tárgyalt területhez szükséges alapvető eszközök ismertetése volt, célirányosan.
- b. A GIS alapú szoftver-rendszerek architektúráját tekintve egyetértek a bírálatban megfogalmazott felvetésekkel. Azonban a dolgozat súlyponti részében bemutatott esetekben éppen az alkalmazások jellege tette szükségessé a felépítés minőségi kritikáját.

Azaz, egyszerűbb tervezési, elemzési feladatokra nyilvánvalóan lehet találni megfelelő, magas színvonalú szoftvereket, amelyek együttesen kezelik a két típusú adatbázist. Nagyobb rendszerek esetében nemcsak kényelmi, de biztonsági szempontok alapján jobb döntésnek bizonyul a különválasztott adatbázis-kezelés. A megjegyzésben említett Oracle adatbázis-szerver például éppen fordítva teljesíti azt a követelményt, hogy egy rendszeren belül lehessen kezelni nagy adatbázisokat, az Oracle Spatial modulja képes grafikus állományokat fogadni – egyelőre még csak néhány elfogadottabb grafikus formátumot, mint pl. a MapInfo – elősegítendő a rendszerintegrációt.

A megjegyzés utolsó szakaszával teljesen egyetértek azzal, hogy addig, amíg a szabványos adatformátum nem elérhető minden rendszer számára, illetve az átjárhatóság nem teljesíti a vele szemben támasztott követelményeket, használata igencsak nehezen valósítható meg. Ezt azonban a mai gazdasági szereplők, mint potenciális megrendelők nem igen fogadják el, vagyis a megoldást a jelenlegi körülmények között, az elérhető (hozzáférhető) elemekkel kell megoldani.
- c. A 9.1. táblázat a megbízó által rendelkezésemre bocsátott általános szempontok alapján készült. Nem volt cél az eljárások megvalósításának eszközeit minősíteni, csupán a technológia alkalmazásával jelentkező előnyök és hátrányok bemutatása. A következő két táblázat azonban bemutatja az általam használt két legfontosabb eszköz műszaki paramétereit, illetve azok használatát.

Criterion 400	
<u>Dimensions:</u>	9cm x 17cm x 22cm
<u>Weight:</u>	2.72kg
<u>Range:</u>	To triple prism (12km), Utility pole (213m), Building (457m), Minimum (3m)
<u>Accuracy:</u>	Azimuth (+/- 0.5 deg), Range (+/-9.1cm), Inclination (+/-0.1 deg within 45 deg of horizontal; +/-0.2 deg between 45 and 60 deg of horizontal)
<u>Laser Characteristics:</u>	Beam divergence (3 milliradians), Target acquisition (0.3 sec), Eye safety (FDA Class 1, CFR 21), Type (Pulse, 904-nanometer wavelength)
<u>Inclinometer Characteristics:</u>	Type (Damped fluid), Range (+/-60 deg), Measurement period (1-17 Secs variable)
<u>Compass Characteristics:</u>	Type (Fluxgate), Measurement period (1-26 secs variable), Tilt range (+/-15 deg, +/-60deg with peep sight)
<u>Power Characteristics:</u>	Type (Nominal 9.6 volts DC), Current (360mA display backlight off, 425mA display backlight on), Battery life (7.5 hours), Battery lifetime (1000 charge/discharge cycles), Safeguards (Reverse-polarity and surge protected)
<u>Display:</u>	Type (Backlit liquid crystal display, LCD), Size (2 lines x 16 characters)
<u>Communications:</u>	Type (RS232 Serial, NMEA format), Cable plug (Lemo FGG.1B.305.CNAD72Z),
<u>Scope:</u>	(2.5-power Leupold Scope with cross hairs, custom tree-width reticle on
<u>Menus:</u>	Criterion 400) Basic Measurements (Tree Heights, Diameters, Basal Areas, Unit Survey,
<u>Environment:</u>	Distance, Conductor Clearance)
<u>Sealing:</u>	Temperature (-22 deg F to +122 deg F, -30 C to +50 deg C) Water and dust resistant



A Criterion műszer technikai paramétereiből is látható, hogy NMEA formátumú adatkommunikációra képes soros interfészen keresztül. Ez azért fontos, mert a műszerrel lehetséges GPS mérésekkel kiegészített eljárások megvalósítása. Ilyen pl. az alapponton való felálláskor, vagy arra menő iránymérés beillesztése a pontsorba, amellyel rögzíteni

lehet bizonyos jellegzetes, vagy szükséges pontok koordinátáit. Ennek technikáját mutatják a fenti ábra.

A következő ábra képe és táblázata a „tollas” számítógépet ábrázolja és tartalmazza a főbb technikai paramétereket.



General Specifications

Processors

Main CPU	TI486SXLC
Clock speed	25 MHz
Co-processor	CX-83587 socket on main board (optional)

Memory

ROM	256K
RAM	8MB standard, expandable to 16MB
Data storage	1.8" 170MB and higher HDD or 10-80MB IDE flash disk
Backup memory	256KB (flash memory)

Display

Resolution	640 x 480 VGA LCD
Type	Transreflective
Dot pitch	0.23mm
Display size	5.98" x 4.46"
Backlight	CFL sidelight built in
Video interface	Local bus video

Tablet

Technology	Pressure sensitive
Pen	Tetherless type

Software

Operating system	MS-DOS™ and MS-Windows 3.1 with Pen Extension™ (PenRight!Pro and PenDOS optional)
BIOS	IBM® PC-AT® compatible

Interfaces

Parallel	Centronics™ compatible (20-pin mini)
Serial	RS-232 (9-pin)

Physical

Dimensions	9.7"(L) x 6.4"(W) x 1.8"(H)
Weight	3.35 lbs (1.5 kg) with battery pack

Power supply

Battery type	Built-in nickel-metal hydride battery (backup battery prevents data loss when changing battery)
Battery life	6-8 hrs. standard operation (w/power savings) 2 hrs. continuous operation Multiple power-saving functions
Power saving	
Adapters	AC/DC
Cigarette lighter	Input: 100-125VAC Output: 15 VDC Optional

Recharging

AC adapter	2 hrs. or less (non-operation)
------------	--------------------------------

Environmental

Temperature	Operating: +14° F to +122° F Storage: -22° F to +158° F
Humidity	Operating: 10% to 95% RH Storage: 5% to 95% RH
Shock	Tested, 3-foot drop or more*
Vibration	Operating: 5-200Hz 1.0G Storage: 5-200Hz 1.5G
Dust and water resistance	Rain/mist proof (IEC529 IPX4) (including salt water)

Reliability

MTTR	30 minutes
MTBF	5000 hrs.
Emissions/Safety	Certifications: FCC class B, UL/CSA

* Configuration dependent.

- d. Egyetértek a bírálatban említett mágneses deklinációra tett észrevétellel, és ez az az érték, amelyet az eszközben konstans módon javításként meg lehet adni, így a mágneses és a földrajzi északi irányok közötti kapcsolat megállapítható.

A dolgozatban említett szakasz éppen azt akarta kifejezni, hogy bár a fent említett kapcsolat egyértelműen meghatározható, az ezen kívüli tényezők hatása azonban nem, így a föld alatti, vagy figyelembe nem vett föld feletti (járművek karosszériája, egyéb fémtárgyak) objektumoké.

10. A külfejtéses bányák felmérésének technológiája

A korszerű geodéziai eszközök megjelenése és elterjedése teremtette meg az alapját azoknak eljárásoknak, amelyekkel a különböző célra használt területek gyors, pontos felmérése, valamint a mért adatok kiértékelése is lehetséges. Ilyen módon az eredmények nem csak numerikus és kézi grafikus állományokként, hanem számítógépes alkalmazások útján digitális numerikus és grafikus formában is előállhatnak. [23]

10. 1. Az alkalmazott eljárások alapvető elemei

Még a részletek tárgyalása előtt igen fontos teendő az elérendő cél pontos meghatározása. Különböző bányák esetében ez ugyanis meglehetősen eltérő lehet attól függően, hogy mi a teljesítmény mérésének alapja:

- tömegmérés
- térfogatmérés
- távolságmérés
- a fejtés sebességének, vagy haladási irányának mérése, stb.

Ennek függvényében kell döntenünk, illetve rögzítenünk a mérési eljárás paramétereit, s megterveznünk a hálózatot, ha erre szükség van.

10. 2. Az eszköz

A modern eljárások alkalmazásakor alapvető fontosságú, hogy a használt eszköz a szükséges adatokat digitális formában rögzítse, biztosítva azok további számítógépes felhasználhatóságát. Ilyen műszerek bemutatása minden bizonnyal szükségtelen, de talán érdemes egy rövid osztályozást készíteni, az eljárás meghatározása, illetve a köztük lévő különbségek kiemelése miatt.

a. Totál mérőállomások, amelyek a hagyományos geodéziai eljárások műszerei, automatikus terepi adatrögzítéssel, esetleg rádiókapcsolattal. A felmérés alapelve nem változik, továbbra is szögek és távolságok meghatározása a feladat, majd a térkép előállítása.

b. GPS vevőkészülékek, amelyek közvetlenül koordináták meghatározására alkalmasak, így az eljárás időigénye jelentősen csökkenhet. Terepi adatrögzítéssel, vagy on-line rádiókapcsolattal real-time módban igen hatékony megoldás.

c. Komplex fotogrammetriai eljárás, amely állandó időközönként felvett képfeldolgozást jelent, majd a kiértékelt adatokból előállítja a szükséges formátumú adatbázist, és/vagy a grafikus térképet. Az eljárás tulajdonképpen a video-képfeldolgozásra épül, kihasználva annak minden előnyét (gyorsaság, automatizálhatóság, mozgathatóság), ötvözve a fotogrammetria előnyeivel (pontosság, hatékonyság).

Az eszközök beszerzési és üzemeltetési költségei természetesen változóak, de a hatékonyság és a rendszerek által nyújtott előnyök ezeket kompenzálják.

10. 3. Az üzemeltetést végző szakemberek.

Képzésük, továbbképzésük lehetőségeinek megteremtése elsődlegesen fontos feladat. Az új technológiák megismerése és alkalmazása a fejlesztési irányok figyelemmel kísérése rendkívül fontos akkor, amikor a technikai fejlődés ilyen intenzitást mutat az felmérő hálózatoktól az adatbázisokon át a számítógépes feldolgozásig.

10. 4. A jelenlegi állapot

A mai hazai gyakorlat alapján a következőket állapíthatjuk meg.

Mivel ipari geodéziai célokra elsősorban a totális mérőállomások kerülnek alkalmazásra, tehát a meghatározott feladatokat hagyományos eljárásokkal végzik el, a költségek viszonylag alacsony szinten tarthatók. Ekkor ugyanis nincs szükség szakemberek állandó, szintentartó képzésére, a technológiát sem szükséges hosszabb-rövidebb időszakonként átalakítani, módosítani, s a műszerek beszerzési költsége sem a legmagasabb. Hátránya azonban, hogy a kialakult módszer nem minden esetben az optimális, ragaszkodni kell néhány hagyományos

alapfeltételhez, mint például az összeláthatóság a pontok között, vagy az alaphálózat létesítése. Nem minden esetben megoldott továbbá a feldolgozás minőségi biztosítása. Megfelelően rögzítettek a pontossági követelmények és az adatszolgáltatás rendszere. Mivel a teljesítményt általában tömegben vagy térfogatban mérik, ennek megfelelően a pontosság 10-20 cm kell, hogy legyen. A teljesítmény elszámolási rendje miatt az adatszolgáltatás gyakorisága jelenleg napi 1-2 alkalom, majd a havi elszámolás érdekében további 1 alkalom. Az adatok feldolgozása is ennek megfelelően alakul, az adatokból a térkép szerkesztése sok munkát igényel.

10. 5. Az adatnyerés és feldolgozás folyamata

10. 5. 1. Az adatnyerés

A felmérés során számunkra a szignifikáns pontok koordinátáinak meghatározása az alapvető feladat. Ennek egyik legpraktikusabb módszere a műholdas geodézia, amely a mérések eredményeit mindenfajta további számítás nélkül térbeli, abszolút koordináták alakban adja meg és tárolja. Ennek számos előnye van a további feldolgozás szempontjából. Az adatnyerés pontossága sok tényező függvénye. Abszolút pontossága 150 méter közelében van, ám differenciális üzemmódban, statikus eljárással és utófeldolgozással ez az érték a műszerektől függően néhány centimétertől szubméterig terjedő megbízhatóságúra javítható. Az adott 10-20 centiméteres pontosság minden körülmények között biztosítható egy közepesen felszerelt rendszerrel is. Hozzá kell tenni, hogy napjainkra az abszolút GPS meghatározási pontossága lényegesen jobb lett, így a feltételek tovább javultak.

Az alapfelszereltség ezekben az esetekben egy differenciális mérési eljáráshoz szükséges kiépítés. Fel kell állítani egy referenciaállomást olyan helyen, ahol annak sérülésmentes, folyamatos üzemeltetése lehetséges. A terepen, célszerűen megválasztott pontokat a geodéta felkeresi, minden ponton 1-2 perces észlelést végez, majd az irodába visszatérve kiértékeli az eredményt. Mivel az adatok tárolása digitális formában történik, az utófeldolgozás eredménye is digitális formátumú lesz, ezért nem okoz gondot a kapott eredmények megjelenítése számítógépen.

A CCD kamerás adatnyerési eljárás alapja, hogy a leképezéskor a kamera képsíkján a kép egy oszlop-sor pixelmátrixban jelenik meg, tehát a pontok azonosítása digitális formában történik. A kiértékelő szoftver felismeri a célpontot, centroid kiterjesztést végez, ezzel 3 dimenziós koordinátákat rendel minden egyes egységhez. Amennyiben a kamera álláspontjának koordinátái ismertek, úgy a kapott eredmény helyi, vagy országos rendszerbe is illeszthető. A kamera felépítéséből adódóan (rövid lencsefókusz, nagy látószög, kis képméret) körülbelül 1:80.000 pontosságra képes szemben a geodéziai fotokamerákkal, amelyek 1:1.000.000 (20 méteren 0.02 mm) pontosságot is elérhetik. Mivel a feladathoz elegendő az előbbi alacsonyabb pontossági érték is, így használata indokolt lehet. Nyilvánvaló az is, hogy a rendszert sztereoszkópikus módon kell használni a térmodell kialakíthatósága érdekében.

10. 5. 2. Az adatfeldolgozás

A fenti esetekben egy alapszintű számítógépes háttérre támaszkodva a végcél egy olyan, megbízható pontosságú térkép, amely az esetleges új felmérések befejezése után a legrövidebb időn belül aktuálissá tehető.

A területről készített CCD felvételek pixelenkénti korrelációs vizsgálatával már két felvétel esetén is kimutatható a terület változása, a fejtési homlok előrehaladása. Amennyiben több felvételt "állítunk egymás mögé" egy időfolyamatot tudunk modellezni. Ekkor a képekhez tartozó negyedik koordinátát, az időt is rögzítenünk kell, s természetesen figyelembe venni az adatok kiértékelése folyamán.

Mivel általában a felvételeket nem egyenlő időközönként készítjük, - ahhoz, hogy a változásokat folyamatos eseménysorként tekinthessük - bizonyos matematikai eljárásokat kell alkalmaznunk. A felvételek információtartalmából kiindulva és a vizsgált téregységet stacionáriusnak vagy kvázistacionáriusnak feltételezve megalkotjuk a téregység matematikai modelljét.

Ezen a modellen, - ismerve a téregység földtani felépítését úgy szerkezetére, domborzati viszonyaira, mint minőségére vonatkozóan - előre prognosztizálni tudjuk a fejtés közbeni

változásokat, meghatározhatjuk a felhasználó által megkívánt minőségi paraméterek biztosításához szükséges, a különböző minőségű kiegészítők keverésén alapuló művelési ütemezést, vagy akár a fejtés megkezdésétől a rekultiváció befejezéséig tartó eseménysor elemeit.

A matematikai modell megalkotásakor, - a mérési adatok, mint tény adatbázis mellett - létrehozunk egy, úgynevezett modell adatbáziscsoportot, mely a különböző modellalkotási módszerek alkalmazásával kerül feltöltésre.

A számítógépes térképezés során az adatbázisnak mindig a megfelelő részét kell kijelölni, és annak tartalmát megjeleníteni. Az adatbázis-kezelés másik eredménye a megfelelő teljesítmény elszámolása, illetve ellenőrzése. A megfelelő állapot rögzítése után a számítás már nem okoz problémát.

A rendszernek nagy előnye hogy az adathalmaz gyakorlatilag azonnal rendelkezésre áll, így a felhasználás módjától függően grafikus, vagy alfanumerikus formában megjeleníthető.

10. 6. Javaslat

10. 6. 1. A feladat értékelése és tervezése

A feladat egy olyan mérési eljárás kidolgozása, amely megfelelő pontossággal méri a fejtés vonalának haladását, annak eredményét adatbázisban kezeli, a célnak megfelelően megjeleníti. További szükséges feltétel, hogy lehetőleg a mérési eredmények kiértékelése után rövid időn belül, megjelenjen az aktuális térkép, és az elszámolási adat. Ezeknek a feltételeknek a következőképpen lehet eleget tenni. Vizsgáljuk meg először a GPS alkalmazásának lehetőségeit.

10. 6. 2. Az adatnyerés GPS-szel

Az adatnyerési eljárás alapja a differenciális kvázistatikus, vagy stop-and-go módszer. A mérendő területen kívül, de attól nem túl nagy távolságban létrehozunk egy referenciaállomást, a mérést pedig a megszabott időközönként elvégezzük. A geodéta felkeresi a mérendő pontokat, amelyeket saját maga határoz meg a terepi körülmények alapján. Az adatbázis-kezelés miatt

célszerű minden mérés alkalmával azonos számú pontot meghatározni, amiről a későbbiekben még lesz szó. A pontok megfelelő pontosságú meghatározásához szükséges idő egyenként nem haladja meg az 1-3 percet.

A nyert adatokat az irodában a referenciaállomás adataival ki kell egyenlíteni, ekkor áll elő a megfelelő pontosságú korrigált koordinátahalmaz, amely az adatbázis aktuális részét tölti ki. Ennek megjelenítése a térképen gyakorlatilag a végleges értékek megjelenésével egy időben történhet. A térképen a fejtési vonal ábrázolása egy kitüntetett típusú vonallal történhet, míg a már elhagyott adatsorozatok egy archiválásra kijelölt típusra váltanak, és megfelelő módon rögzítésre kerülnek.

GPS felmérés során a real-time kiértékelés módszerének alkalmazására is megvan a lehetőség, azonban ebben az esetben erre nincs szükség. Amennyiben a mérendő pontok nem mozognának, úgy lenne létjogosultsága a módszernek, nem kellene bejárni a terepet, de mivel éppen a mozgás mérése és regisztrálása a cél, így sem elvi, sem költség szempontból nem javasolható.

Az eljárás így is gyors, pontos, és megfelel a követelményeknek.

10. 6. 3. Adatnyerés CCD kamerával

A fotogrammetriai eljárások alapján történő adatnyerés ebben az esetben sem változik meg jelentősen, csupán a kép kiértékelése válik lényegesen gyorsabbá, és a körülményeknek, illetve a feltételeknek megfelelően pontosabbá. A digitális kamerák rendelkeznek olyan egységgel, amely a képet a felvétel pillanatában egy sor-oszlop pixelmátrixba rendezi, valamint a kiértékelés során a szoftver, két kép (sztereó képpár) alapján, célfelismerést és centriod kiterjesztést végez, így a célpont, jel koordinátáit megfelelő pontossággal drága kiértékelő eszközök nélkül a számítógép határozhatja meg.

Ezt az eljárást alapul véve, valamint tudva azt, hogy a kamera képes önműködően automatizáltan dolgozni, a következő eljárás lenne alkalmazható. A fejtés és a munkagépek közelében, de azoktól megbízható távolságban, viszonylag állandó pontokon mérési hálózat

alkotható, amely az idő múlásával változtatható az igényeknek megfelelően. Ezeken a pontokon egy-egy kamerát felállítva (mivel ezek lehetnek viszonylag nagylátószögűek, így nem kell négynél több) folyamatosan és önműködően meghatározott időközönként lehet rögzíteni a valós állapotot képi digitális formában. Megteremtve az összeköttetést egy PC-s környezettel, azon folyhat a képek kiértékelése, amelyből a koordinátahalmaz rendelkezésre állhat.

Amennyiben a két adatnyerési eljárást kombináljuk, azaz a kamerák helyzetét GPS-szel rögzítjük, és állandóan ellenőrizzük, úgy helyi, vagy országos-koordinátarendszerekben kaphatjuk az adatokat, továbbá fel lehet használni a GPS rádió-, vagy modemkapcsolatot a képek továbbítására is. A rendszer időnkénti újrainstallálását a munka folyamán időben meg lehet kezdeni, az eszközök kis méretük miatt könnyen áthelyezhetőek, újra munkába állításuk nem okoz jelentős nehézséget.

10. 6. 4. Adatbázis-kezelés

Az adatbázis-kezelés alapvető feltételei szerint a formátum kialakítása elsődleges fontosságú. Nyilvánvaló, hogy a számítások alapja a koordinátahalmaz, így azok száma és jellemzői az előre meghatározandók. Háromdimenziós mérések alkalmával a pont azonosítója, annak három koordinátája kell, hogy szerepeljen elsősorban. Ezek alapján számíthatóak a szükséges paraméterek.

A mérések során kialakítható a folyamatos frissítés, amelyben megoldható a régi, az előző, illetve az új mérések eredményeinek helye, megjeleníthetősége, vagy archiválása.

Másik oldalról, a koordinátahalmazból kiszámíthatók a szintvonalak helyzetei, megfelelő pontossággal adható meg a térfogat, illetve tömeg, amely az elszámolás során ellenőrizhető.

A koordinátahalmaz kialakításánál jelentkezik a mérendő pontok számának problémája. Mivel az adatbázis a számításokat egy meghatározott algoritmus alapján, rutinszerűen végzi, így ezekben az esetekben feltételként jelenhet meg, hogy lehetőleg azonos számú pontról kapjunk koordinátákat, amely a megjelenítés során egymásnak megfeleltethetők, illetve ilyeneknek feltételezzük. Kevesebb számú felvett pont esetében a következő koordinátahalmazban a kimaradó pont koordinátája 0. 00. 00-val helyettesíthető, több mért pont esetében azonban problémát okoz a megfeleltetés, így kerülendő.

10. 6. 5. Az adatok megjelenítése, automatikus térképezés

Az adatbázisban előálló koordinátsorok gyakorlatilag azonnal térképi megjelenítésre alkalmasak. A jelenleg meglévő térképek digitalizálása után ki kell jelölni azokat a paramétereket, amelyek a térképen a mérések során változnak, vagy a változás megjelenítése szükséges. A fejtési vonal különleges adottságai alapján kiemelt jelentőségű, ennek a mérésekből számított helyzete azonnal követhető. Az adatbázis első (vagy utolsó) sora, mint az aktuális állapot, megfelelően definiált módon jelenik meg a számítások elvégzése után, azonnal.

Nyilvánvaló, hogy a digitális térképi állomány nem csak ezekre a feladatokra alkalmas, illetve szükséges. Teljes információs bázisként használható a döntések előkészítésében, a művelés során felmerülő problémák megoldása terén. A rekultiváció céljaira is alkalmazható a teljes eljárás a felméréstől a megjelenítésig, a feltöltési vonal és térfogat, esetleg a betelepített terület felhasználásának nyilvántartására, ami a további mezőgazdasági felhasználók számára is elérhető és hasznos termék lehet.

10. 7. Összefoglalás

A külfejtések felmérésének eddigi gyakorlatát a pontosság és a hatékonyság szempontjából ésszerűnek látszik felváltani egy újabb eljárással. Ezek közül mutattam be kettőt, amelyek bármelyike képes a gyors és megbízható adatszolgáltatásra, valamint használatuk útján megteremthetők az automatikus térképezés és a bányászati térinformatika alapvető elemei.

A javasolt rendszerek közül a helyi adottságoknak és igényeknek megfelelően lehet választani, pontosságban egyenrangúak. Felhasználhatóságuk túlmutat a bányászat határain, amely más ipari területek szempontjából, vagy a rendszert üzemeltetőjének más irányú üzleti tevékenységet is biztosíthat.

Ipari alkalmazások vizsgálata megmutatta a csúcstechnológia alkalmazásának lehetőségét, sőt szükségességét. Bizonyítom az integrált mérési rendszer pontosságát és gazdaságosságát is. Az adatok kezelését leghatékonyabban, az ipari technológiához legjobban illeszkedve, automatizált adatbázis-kezeléssel kell végezni.

Tekintsük át azokat a rendszereket, amelyeket az elmúlt több mint 10 év folyamán üzembeállítottunk. Ezek az alkalmazások különböző célokat szolgálnak, némelyik a mai napig üzemel. Bemutatom ezek elvi felépítését és a jövőbeli fejlesztési irányokat is, valamint a függelékben megtalálhatók az elkészült programok felhasználói dokumentációja is.

Kiegészítés

A GPS általános és bányászati alkalmazásával kapcsolatban a következő kiegészítést teszem.

A dolgozatban bemutatott eljárások alternatívát javasolnak a hagyományos felmérési módszerekre vonatkozóan. Ennek célja elsősorban, gazdaságossági szempontok alapján történő vizsgálat volt.

Az eljárások alkalmazhatóságát az egységek külön-külön meghatározzák, azaz ahol a GPS, illetve annak alapján működő eljárások használhatók, ott az integrált rendszer is működőképes. Ennek szellemében nyilvánvaló, hogy a bemutatott eljárások esetében a következő nehézségek állnak elő:

- A GPS vevő pontatlanságai, illetve üzemelése során előálló ismert hibatényezők (a vevő típusa, vételi viszonyok, multipath, stb.),
- A GPS vevőhöz kapcsolódó kiegészítő egységek, illetve azok működésének feltételei (differenciális szolgáltatás, annak vevőegysége, pontossága, adatlátencia kérdése),
- Az alkalmazott utólagos, vagy valós-idejű feldolgozó szoftverek minősége,
- A GPS nélküli rendszerek esetében a mérőeszközök minősége, alkalmazási feltételeik,
- Az alkalmazás természetes környezete.

Ezek alapján az általános térinformatikai adatgyűjtés számára kielégítő pontosságú a DGPS, mint mérési eljárás, ráadásul sokkal kevésbé befolyásolják olyan hatások, mint a dolgozatban említett lézeres mérőeszközt. Természetesen, a városi környezet miatti más hibahatásokkal szemben a rendszer érzékenyebb (multipath, műhold-geometria).

Bányászati alkalmazások esetében gondos megfeleléségi vizsgálatok elvégzése szükséges. A mérési elrendezés kialakítása, a pontok meghatározása, illetve a mérés során történő „minőségbiztosítás” mind feltétele a hatékony munka elvégzésének. Itt is fontos a

GPS-DGPS-RTK GPS pontossági vizsgálata és ennek eredményeinek figyelembevétele (kitakarás következtében romló geometria, multipath), azonban ezek minden egyes esetben változóak a helyi körülmények szerint.

A dolgozatban ismertetett eljárások általános technológiai szempontokat vesznek alapul, ami az alkalmazhatóságot és annak feltételeit vizsgálja. A konkrét pontossági vizsgálatok nem nélkülözhetők az üzembeállítás előtt.

A dolgozatban említett eljárás kifejezetten a külszíni bányák felmérésre készült. Egy felmérési technológia elkészítése, természetesen, nem nélkülözheti az adott terület adottságainak vizsgálatát, ám lényeges különbség a nagyterjedésű külfejtések között nem fedezhető fel. Nyilvánvaló, hogy a régebben művelés alatt álló iharkúti külfejtés esetében ez a felmérési eljárás nem lenne alkalmazható az elszámoltatási rendszerhez, hiszen szűk helyen, kis területen történő munkavégzéskor komoly nehézségeket okoz a hely hiánya.

Magyarország jelenlegi külfejtései között, illetve a gazdaságosan művelhető bányák jelentős többségében azonban nem ez a helyzet. Széles homlokokon, nagy kiterjedésű és méretű gépekkel történik a fejtés, ami megteremti annak lehetőségét, hogy a fenti eljárások létjogosultsággal bírjanak!

- b. A hagyományos eljárást nem vetem el, csupán megpróbáltam alternatívát kínálni, amely esetleg gazdaságosabban biztosítja a megkívánt pontosságot.
- c. A CCD kamerák szoftverei a képkiértékelés különböző lehetőségeit biztosítják a megfelelő szempontok szerinti eredmények érdekében. Ennek egyik módszere a képen az objektumok meghatározása, különösen azokban az esetekben, amikor csak egy-két jellegzetesen kiugró, centroid jellegű elem található. Ilyenkor, az ezt az elemet körülvevő, adott értéken belül eső pixelek is az objektumot alkotják, ami már kiterjedéssel bír és műveletek végezhetők velük. [34]
- d. Az automatikus korreláció valóban megköveteli a bánya jellegének vizsgálatát.

- e. A 0,0,0 koordináta annak szemléltetését/kiemelését szolgálta, hogy ezeket a pontokat valamilyen módon meg kell különböztetni azoktól, amelyekre új értékek állnak rendelkezésre. A konkrét modell, illetve számítási eljárás alapján kell eldönteni azt, hogy a kimaradó pontok milyen paraméterekkel kerüljenek az adatsorba.

11. ALKALMAZOTT RENDSZEREK

Az 1990-es évek közepe óta igen gyakran előfordult, hogy a GPS alapú mérések technológiáját valamilyen jól meghatározott számítógépes környezetben történő alkalmazás használja fel. Ezekre legjobb példa a járműkövetéses logisztikai, vagy vagyonvédelmi rendszerek, amelyekben a kinematikus abszolút/relatív GPS mérések eredményét egy a járműtől távoli felügyeleti központba kell eljuttatni, ahol azokat tovább használják, elemzik. Ebben a munkában a jelenleg hazánkban használatban álló rendszerek közül számos alkalommal vettem részt, amelyek különböző céllal, különböző rendszerfelépítést használva jöttek létre. Ezek közül a leglényegesebbeket említve:

1. PANDANT/Környezetvédelmi rendszer (jelenleg az Antenna Hungária Rt. üzemelteti)
2. Internetes járműkövetéses logisztikai rendszer a MATÁVCOM Kft. megbízásából
3. Önálló diszpécser alapú, illetve távoli hozzáféréses rendszer a Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóság illetve fuvarszervező vállalkozások megbízásából.

11. 1. Rendszer-architektúra

Napjainkban számos térinformatikai alapú rendszer működik világszerte különböző igények kielégítése céljából. Hazánkban sincs ez másként, és a legfontosabb területe ezek felhasználásának a járművekről érkező adatok hozzáféréseinek biztosítása.

A megvalósult és működő rendszereket két fő csoportra oszthatjuk:

- On-line, illetve
- Off-line típusúak.

Bár sok függ attól, milyen szempontból vizsgáljuk a rendszert magát, az osztályozás minden nézőpontból azonos eredményre vezet.

Az adatgyűjtés oldaláról tekintve az eljárás on-line, ha az adatgyűjtést végző eszköz folyamatos kapcsolatban áll a központi adatbázissal, a gyűjtött adatokat folyamatosan adja át

annak. Ebben az esetben minimális mennyiségű helyi (terepi, eszközoldali) tárhelyre van szükség, viszont a kommunikációs költségek igen magasak is lehetnek.

A járműkövetéses rendszerek alapvető igénye a költségek minimalizálása, így inkább nevezhetők off-line alkalmazásoknak. Ilyenkor a mobil oldalra kisméretű, de az igények kielégítéséhez még elegendő háttértárat kell biztosítani. Ezek mérete az adatgyűjtő eszközben működő szoftver méretétől és rezidens adattartalmától függnek. Gyakorlati tapasztalatok szerint ez a tartomány az 1 MB nagyságrendbe esik, amely kielégítő a később részletezendő eszközök működéséhez.

A végfelhasználó oldaláról nézve on-line a rendszer, ha minden központba érkező adat azonnal megjelenik, szerkeszthetővé tehető. Ez nagymértékű automatizálási igényt tételez fel a központi oldal szoftverétől, vagy adatbázis-kezelőjétől, vagy a végfelhasználónak kell üzemeltetni a központot is.

Off-line a rendszer, ha a végfelhasználó csak időként jut adathoz, azt az adatbázisból le kell válogatnia, és át kell töltenie a felhasználás helyére.

Szintén különbség van az adatfeldolgozás helye szerint a rendszerek szerkezetében, hiszen a fentiek alapján látható, hogy szerver-kliens felépítésű rendszerekben megvalósítható a „távolsági” adathasznosítás.

Internet/intranet használata esetében a központi adatbázis tárolja a beérkező gyűjtött adatokat, üzenetekben kódolt információkat. Kérésre a feldolgozási folyamat végén publikálni kell az eredményeket a felhasználás helyén adott infrastruktúrának megfelelő formában (.html, .bmp.). Ebben az elrendezésben az adat fizikailag az adatbázisban marad, tehát minden feldolgozási feladatot a szervernek kell elvégeznie. Ilyenek az adatok leválogatása, műveletek elvégzése, formázás, publikációs, és még számos egyéb járulékos feladat megoldása hárul a hardverre, amelynek megvan az a veszélye, hogy a rendszer sebessége kritikus határ alá csökken, a gépidő, illetve az erőforrás nem elegendő. A problémát a felhasználók számának korlátozásával, vagy a feladatok megosztásával, szervezésével lehet feloldani. [24]

Nem áll elő a fenti helyzet abban az esetben, ha a feldolgozás a végfelhasználó által birtokolt, üzemeltetett kliens oldali szoftverre hárul. Előnyös lehet ez azért is, mert a kiszolgáló

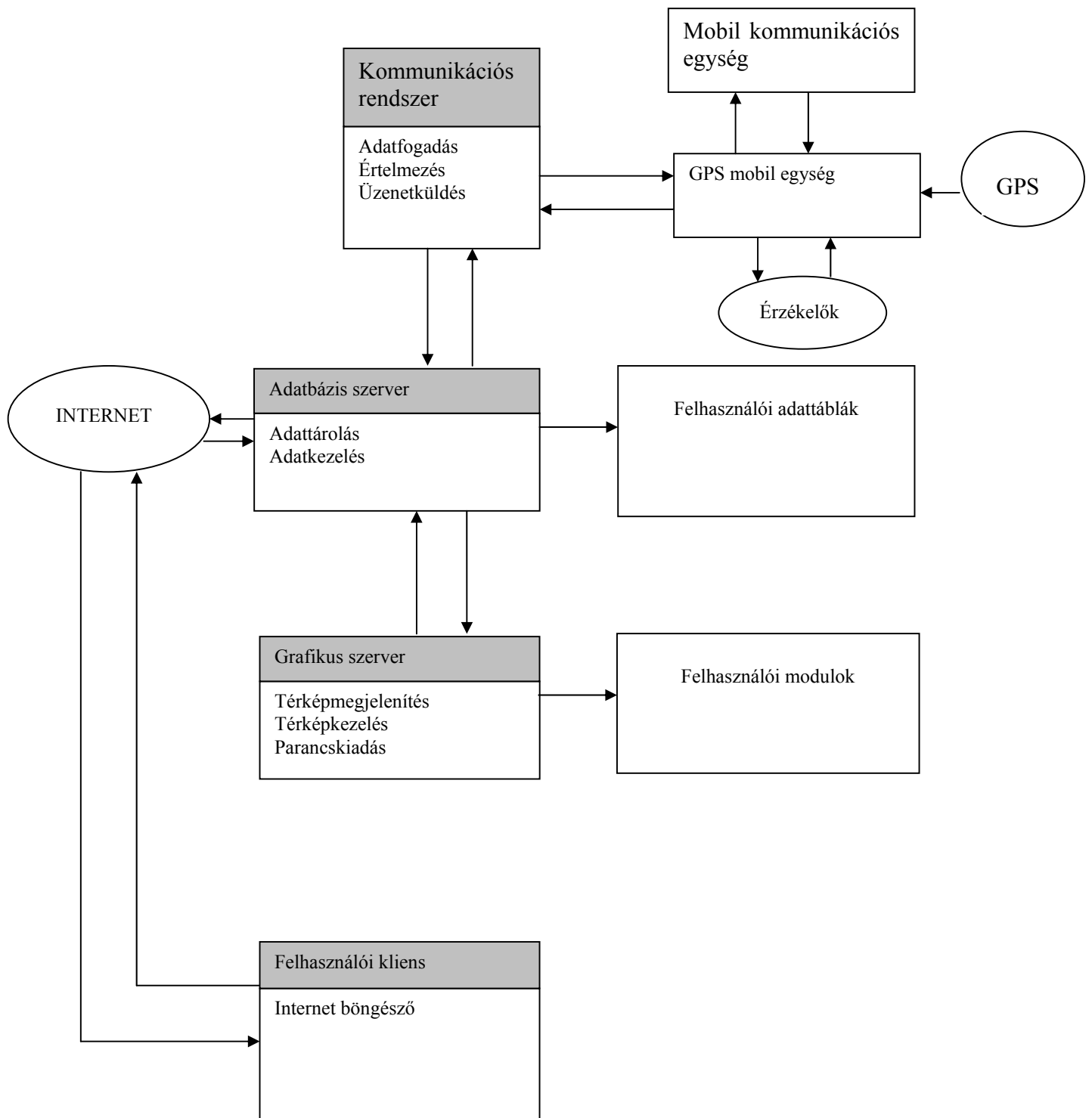
oldalon telepíteni szükséges hardver-szoftver együttes erőforrásait optimalizálni lehet, terheltsége csökken. Nem elhanyagolható az a szempont sem, hogy az adatok ilyenkor valóban a felhasználóhoz kerülnek, jobban igazíthatók a szoftverek a felhasználó igényeihez, a központi tárolás csak mintegy háttérrel biztosít az adatvesztés ellen, újra hozzáférhetőkké válnak, vagy azok maradnak.

A két elrendezés közötti különbséget jól szemléltetik az alábbi 10.1., 10.2., 10.3. ábrák.

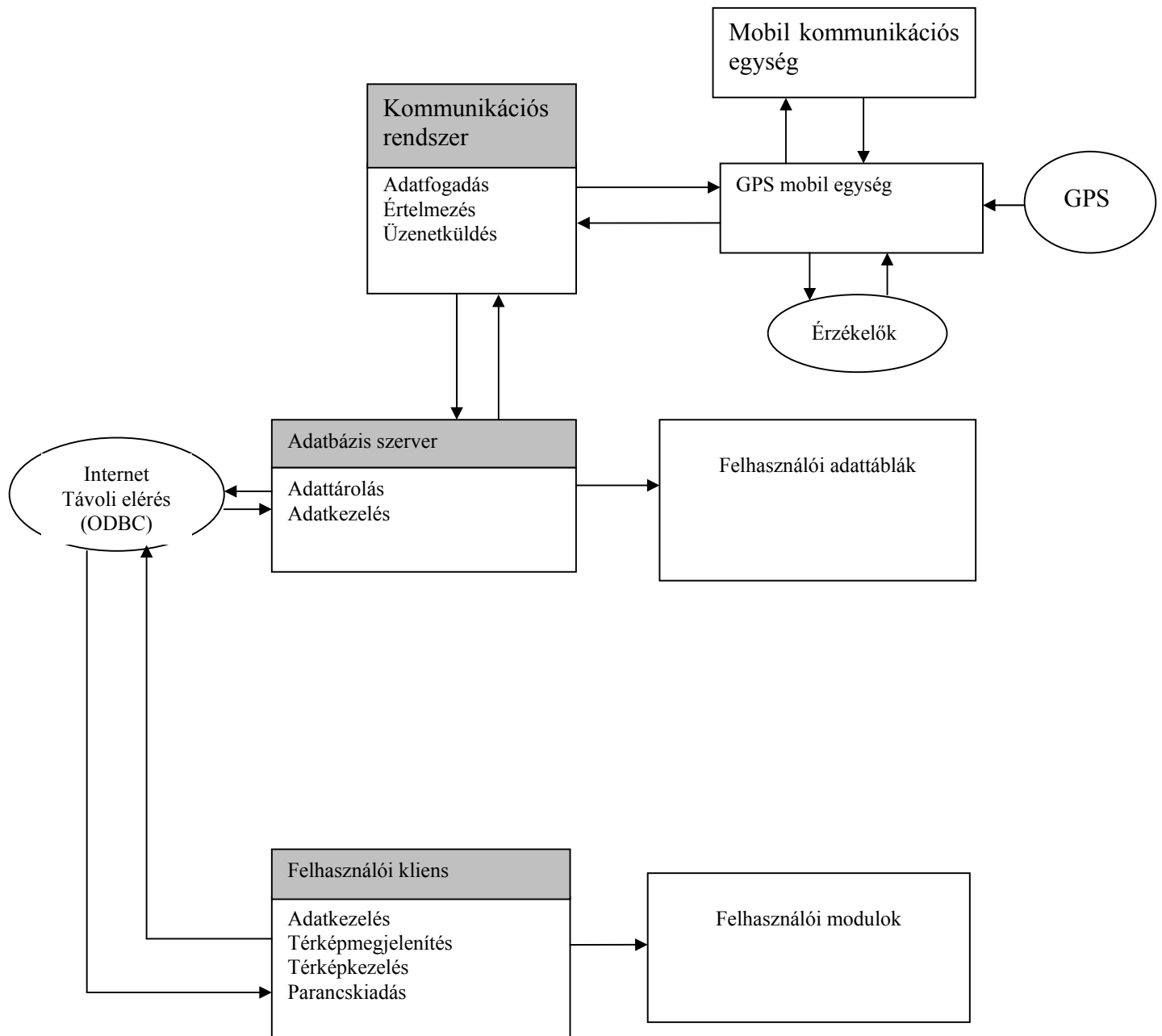
A kiszolgáló oldalon az alkalmazások tekintetében lényeges különbségek mutatkoznak. Mint ahogy az ábrákból jól látható az egyik Internet alapú hozzáférés, a másikban adatbázis hozzáférés az alapgondolat. Ezek alapján választottuk ki az alapszoftvereket is, ami az előbbi esetben Autodesk MapGuide, Access, később Oracle adatbázissal, az utóbbiban pedig gyakorlatilag csak az Oracle adatbázis-kezelő elegendőnek bizonyulna, de a térképi megjelenítés céljaira MapInfo MapX alapokon fejlesztett alkalmazás-csomag valósult meg.

A Harmadik rendszer speciális feladatok ellátását célozza, így ennek minden eleme ezt tükrözi.

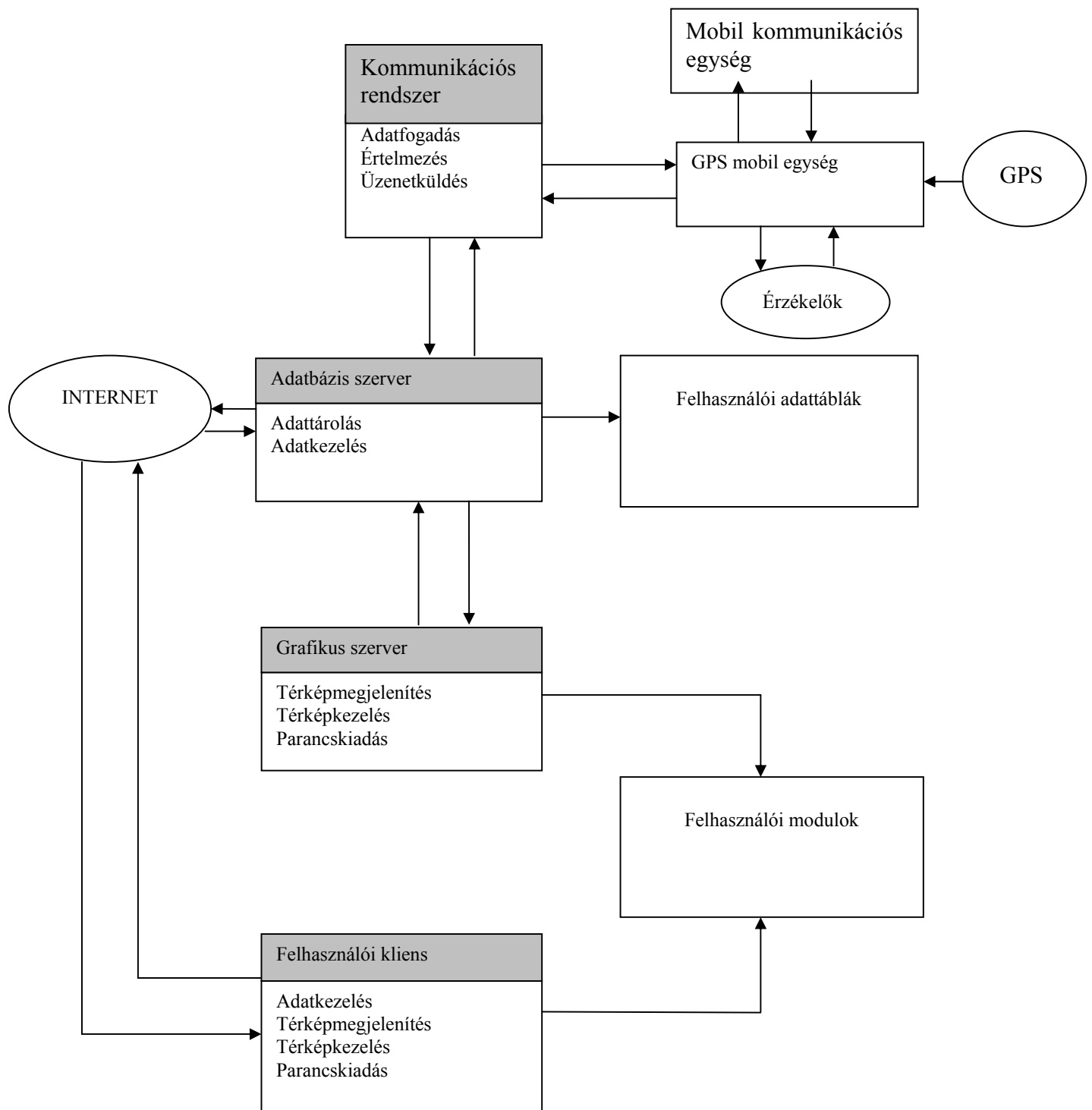
Mindegyik rendszer leírását tartalmazza a Függelék. (3., 4., 5., 6. Függelék)



11. 1. ábra Grafikus szerver alapú rendszer



11. 2. ábra Grafikus kliens alapú rendszer



11. 3. ábra Térinformatikai mobil GPS rendszer elvi struktúra

Mindkét elrendezés előnyeinek kihasználása érdekében a 10. 3. ábrán látható szerkezet lenne ideális.

Ekkor ugyanis mind a grafikus, mind az attributív adatok ugyanarról a helyről kerülhetnének a felhasználóhoz, a műveletek elvégzéséről, vagy elvégeztetéséről a felhasználó dönthetne, az adatbázis integritása biztosítható lenne, valamint a térinformatikai műveletek időigénye jelentősen csökkenhet.

Ennek feltételeinek megértéséhez vizsgáljuk meg az adatgyűjtő eszközök és az adatbázisok minőségét.

A térinformatikai adatgyűjtő eszközök alapelvüket és felépítésüket tekintve gyakorlatilag azonosak. Láthatjuk, hogy input oldalon a mérendő mennyiségekre vonatkozó egyes mérési eredményeket találhatunk, amelyet a GPS mint helyzeti adatot biztosító egység egészít ki. Annak érdekében, hogy pozícióadat mindig álljon rendelkezésre, amellyel a referenciát biztosíthatjuk az attributív adatok számára, a GPS-t kombinálhatjuk az inerciális navigációs szenzorokkal (INS), mint azt a Kálmán szűrő ismertetésekor már említettük.

A megszerzett adatok egy „intelligenciába” kerülnek, ahol a nyers adatok előzetes feldolgozása és formába öntése történik. Ez gyakorlatilag az adatok szűrését, pontossági és kapacitásbeli megfontolások alapján az adatsor rövidítését, valamint a kommunikációs szoftver számára történő formázást jelent. Az így előállított – digitális - adatsor lesz azután az egység outputja és kerül a központi adatbázisba akár mobil kommunikációs csatornákon, akár direkt módon (kábel, infravörös érzékelő, kis-hatótávolságú rádió). (1., 2. Függelék)

A központi egység tulajdonképpen a szerver adatbázisa, amelynek inputja a fentiek szerint rendelkezésre álló adatsor. Ahhoz, hogy ebből információt nyerjünk, további feldolgozás szükséges, amely már a kommunikációs csatornák után következő szoftvermodulok feladata. A mellékletben bemutatott adatszerkezet és adatbázis is ennek a folyamatnak az eredménye.

Meg kell jegyezni, hogy a kommunikációs és az egyéb feldolgozó szoftvermodulokat, illetve az eljárásokat célszerű külön fizikai egységként kezelni. Ennek az a megfontolás és

gyakorlati tapasztalat az alapja, hogy a kommunikáció általában nem igényel nagy megbízhatóságú, ezért nagy értékű hardvert, így az adatvesztés az adatbázis oldalán esetleg bekövetkező üzemszünet esetén kiküszöbölhető, vagy esélye nagymértékben csökkenthető. Ez az elrendezés valósult meg a Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóság Airport Minibusz szolgáltatásához igényelt kiszolgáló diszpécser beüzemelésekor. (3. Függelék)

Az adatkezelés már említett integritásának vizsgálatakor, a választott és használt adatbázis-kezelő szoftvernek van leginkább jelentősége. A rendelkezésre álló tapasztalatok alapján a megvalósult rendszerek adatbázis-kezelő szoftvereinek rövid összehasonlítását tesszük meg.

A./ Microsoft Access

Igen gyakran és széles körben használt elterjedt programcsomag, amelyet a könnyű kezelhetőség jellemez. Hátránya a nagy helyigény mind a program, mind az állományok kezelése tekintetében. Műveleti sebessége, elérhetősége lassú, keresési rutinok futtatása, az eredmények grafikus megjelenítése csak korlátozottan kielégítő. Megfelelő meghajtók alkalmazása esetén távoli elérés valósítható meg. (4. Függelék)

B./ Paradox

A Borland Delphi fejlesztőfelület által leginkább támogatott adatbázisforma. Formátuma elavult, de az algoritmusok igen gyorsan futnak, a keresések és a megjelenítés gyakorlatilag várakozásmentesen történik. Nem alkalmazható kiszolgáló oldalon.

C./ Oracle

Talán a legsokoldalúbb adatbázis-kezelő csomag. A program robosztus, megbízható, szabványos SQL nyelven programozható (lsd. melléklet). A keresési algoritmusok gyorsan eredményt hoznak, kiszolgálási feladatokat maximálisan támogat, sőt a legnagyobb adatbázisok ezen a programon találhatók. Minden távoli elérési protokollt támogat. (5. Függelék)

Hátránya a nagy helyigény a program számára, a képzett és hozzáértő karbantartó és fejlesztő személyzet szükségessége, valamint a bekerülési költség.

Az adatgyűjtés hatékonyságát és költségérzékenységet szem előtt tartva a következő megállapításra jutottam: a jelenlegi adatátviteli médiák tekintetében az átviteli technológia meghatározza a még gazdaságosan átvihető adatok mennyiségét, illetve az eredmény minőségét. Ehhez kapcsolódik az alkalmazott szoftverelemek kapcsolatainak megteremtése, és azok minősége. Olyan rendszer kialakítását javasolom, amely távoli elérés útján biztosítja a grafikus és attributív adatbázisokat a felhasználók részére, míg az adatok gyűjtése nagybiztonságú adatbázisban való tárolással történjen.

A következőkben tekintsük át a térinformatikai alapú mobil rendszerek egyik leggyakrabban alkalmazott részének működését, megvalósításának feltételeit. Ez a feladat pedig az ügynök-probléma megoldásának kiterjesztett változatainak rendszerbe állítása. Általánosságban, az útvonalak, bejárási utak optimalizálása az egyik leghatékonyabb eszköze a költségek minimalizálásának, így alapvető igényként jelentkezik a felhasználók oldaláról.

12. OPTIMÁLIS ÚTVONAL KIVÁLASZTÁSÁNAK ALGORITMUSAI

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni azt az eljárást, amely a térinformációs rendszerekben alkalmazott egyik leggyakoribb esetben, az optimalizálás megoldásában öltött testet. Látható, hogy az elvek mérlegelése után a fizikai megvalósítás is komoly, kissé más irányú felkészültséget igényel. A végeredmény bemutatása és annak kritikája sem maradhat el.

12.1. Algoritmusok

A forgalomirányítási algoritmusok esetén a legrövidebb út meghatározása a cél, amelyet a gráfelmélet segítségével hajthatunk végre. [25] A következő elméletek a legismertebbek:

- Szélességi keresés
- Bellman-Ford
- Dijkstra
- Floyd-Warshall.

Az első kettő ezek közül valamely csúctól az összes többi csúcshoz határozza meg a legrövidebb utat, míg a harmadik algoritmus az összes lehetséges különböző csúcspár esetén vizsgálja a lehetőségeket. Nincs olyan ismert módszer, amely csak valamely i és j csúcsok között határozza meg a legrövidebb bejárást. Ahhoz, hogy az i és j csúcsok között meghatározzuk a legkisebb „költségű” utat, meg kell határozni az i és az összes többi csúcs között a legrövidebb távolságú vonalakat.

Mindegyik esetben tesztprogramokkal modelleztük az elmélet megvalósíthatóságát.

12. 1. 1. Szélességi keresés

Szélességi keresés - egy pontból, 1 értékű élekre, lépésszáma $e+v$:
megjelöljük s szomszédjait, majd ezek még meg nem jelölt szomszédjait, és így tovább.

12. 1. 2. BELLMAN-FORD algoritmus

Ford algoritmus - egy pontból, tetszőleges élekre, lépésszáma $e \cdot v$: Az éleken rögzített sorrendben javítunk, amíg változás van, de legfeljebb v -szer. Bellman egyenletei azt fejezik ki, hogy a legrövidebb út hossza az induló csúcsból az i csúcsig egyenlő a legrövidebb út hossza a kezdeti csúcstól az i -t megelőző csúcsig plusz az utolsó él hossza.

Ha ismerjük a Bellman-Ford algoritmus alapján kapott D_i értéket, amelyek a Bellman egyenletek megoldásai és feltesszük, hogy tetszőleges, a kezdeti csúcsot nem tartalmazó kör hossza pozitív, akkor egyszerűen megkonstruálhatjuk magukat a legrövidebb utakat is.

12. 1. 3. FLOYD-WARSHALL algoritmus

Floyd algoritmus - minden pontpárra, tetszőleges élekre, lépésszáma v^3 . A pontokra sorban megvizsgáljuk, hogy érdemes-e rajtuk keresztül menni.

Ez az algoritmus az előző algoritmusoktól eltérően minden i és j csúcspár között meghatározza az i -ből j -be vezető legrövidebb út hosszát. Hasonlóan a Bellman-Ford algoritmushoz, az él hossza lehet negatív is, de bármilyen kör hossza nem lehet negatív. A gráfban előforduló csúcsokat rendre $1, 2, \dots, N$ -nel jelöljük. Az i -ből a j csúcsba vezető minimális hosszúságú út hossza N számú iterációs lépés után adódik.

12. 1. 4. DIJKSTRA algoritmus

Dijkstra algoritmus részletesen a következő:

Tegyük fel, hogy minden él hossza pozitív. Az alapgondolat: megkeresni a legrövidebb utakat ezen utak hosszának sorrendjében. Először tehát keressük meg a legrövidebb legrövidebb utat, azután a második legrövidebb utat, stb.

Tegyük fel, hogy már eljutottunk a csúcsok valamely P halmazáig, amelyre igaz, hogy tetszőleges P -beli csúcs közelebb van 1 -hez, mint tetszőleges nem P -beli csúcs. Tegyük fel, továbbá, hogy minden P -beli i csúcs esetén ismerjük az 1 -től az i csúcsba vezető legrövidebb út

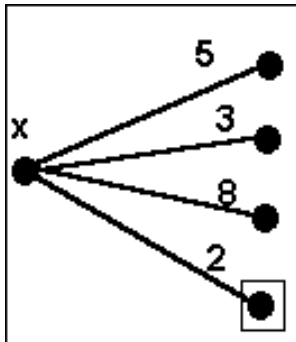
hosszát és egy ilyen út utolsó i -be mutató élét, és minden nem P -beli i csúcs esetén ismerjük azon utak D_i minimális hosszát, amelyek az 1-ből az i -be vezetnek, és amelyek mentén csak az i nem P -beli csúcs. Ha P -n kívül még van csúcs, akkor vegyük hozzá P -hez azt a P -hez nem tartozó i csúcsot, amelyre a D_i legkisebb. Legyen az i -hez rendelt él annak az útnak az utolsó éle, amely mentén D_i elérték. Ezen i pont esetén igaz, hogy D_i az 1-ből az i -be vezető legrövidebb út hossza.

1. Legyen kezdetben

$P = \{1\}$, $D_1 = d_{1j}$ minden $j \neq 1$

2. Keressük meg azon $i \notin P$, melyre

$$D_i = \min D_j \quad (j \notin P)$$



12.1. ábra A Dijkstra algoritmus

Legyen $P = P \cup \{i\}$ és jegyezzük meg azt az i -be mutató élet, mely része annak az útnak, amely mentén D_i elérték. Ha P már minden csúcsot tartalmaz, akkor a rutin befejeződött. Ha nem, akkor folytatás a 3-tól.

3. Minden $j \notin P$ -re legyen $D_j = \min [D_j, D_i + d_{ij}]$

Folytatás 1-től.

12. 1. 5. Összegzés

A módszerek közül a Dijkstra algoritmust választottuk ki felhasználásra, amit az alábbi előnyei indokolnak a többi módszerrel szemben:

- egyszerű, hatékony
- gyors, optimális a számítási igénye

- csak pozitív távolságú élek szerepelhetnek
- kiválóan alkalmazható a térinformatikai probléma megoldására.
- könnyen implementálható.
- a tesztek ezeket a tulajdonságokat maximálisan igazolták

12. 2. Alkalmazások

12. 2. 1. Hálózati alkalmazások

Az alkalmazások igen jelentős része a forgalomirányítás megvalósítására használhatóak fel, ahol a legrövidebb úton kell továbbítani a csomagokat a forrásponttól a rendeltetési pontig. Valós körülmények között a közvetlen irányított kapcsolatok hossza változhat részint azért, mert ezek a kapcsolatok meghibásodhatnak, részint amiatt, hogy olyan mértéket választunk, amely eredendően időfüggő (pl.: várakozó sorok hossza a kimeneteknél, átlagos késleltetési idők a kapcsolatokon, stb.).

12. 2. 1. 1. Nyisd a Legrövidebb Utat Először (Open Shortest Path First)(OSPF)

Az OSPF (Open Shortest Path First) egy link-state protokoll, melyet az IETF Interior Gateway Protocol munkacsoportja fejlesztett ki elsősorban a RIP hiányosságai miatt. 2. verziója az RFC1247-ben 1991 júliusában jelent meg és körülbelül ötször olyan terjedelmes, mint a RIP leírása. Maga az OSPF elnevezés onnan ered, hogy a kialakult topológiai gráfban a legrövidebb utat a Dijkstra nevéhez fűződő „legrövidebb utat előre" (shortest path first, SPF) algoritmus szerint keresik a router-ek. Ez egy igen hatékony $O(N \cdot \log N)$ rendű algoritmus, ahol N a link-ek száma és ennyi idő alatt a gráfból az összes célponthoz meghatározza a legrövidebb utat. Valójában az OSPF bonyolult, ám sokkal kifinomultabb, kevesebb sávszélességet foglal, hurokmentes és számos más előnnyel rendelkezik a RIP-hez képest. A link-state protokollok működése két részből áll. Először minden állomás felderíti a hálózat topológiáját, majd a kapott gráfban megkeresi a legrövidebb útvonalat és az ahhoz tartozó első állomást, amely felé továbbítani fogja a csomagot. Nyilvánvaló, hogy életbevágóan fontos, hogy a router-ekben levő

topológia egyező legyen és a legrövidebb út kiszámítása is mindenhol ugyanazon algoritmus szerint működjön. (Az A router B felé számítja a legrövidebb útvonalat, a B pedig A felé, ebben az esetben ütközés keletkezik, a megoldás lehetetlenné válik.) Az utóbbi feltétel könnyen teljesíthető, ám a topológiai adatbázisok szinkronizálása komoly munkát igényel. A hálózat topológiáját a kapcsolatok állapotát leíró rekordok (link-state records) terjesztésével tudatják egymással az állomások.

12. 2. 1. 2. Térinformatikai alkalmazások

Optimalizálást igényelő GIS szoftverekben igen gyakran felhasználásra kerül az optimalizálás valamilyen típusa.

A *Route View 3.0* v, a meglévő „okos” közúthálózaton optimális bejárást, depo optimalizálást, objektumok, települések távolság és időmátrixát elkészítő, a MapInfoval együtt működő szoftver. A legfrissebb verziója a 16/32 bites, tehát Windows 95/98/XP és Win.NT/2000 platformon is működik.

12. 3. DLL definíciója, szerepe

A DLL-ek (Dinamic Link Library) olyan adat-, erőforrás- és függvény-gyűjtemények, amelyek dinamikusan töltődnek be a memóriába, ha valamelyik alkalmazás hivatkozik rájuk, így nem kapcsolódnak statikusan a programhoz. A futtatható fájl információt tartalmaz arról, hogy melyik DLL melyik függvényét fogja meghívni. Természetesen ezeknek a függvényeknek “exportáltak” kell szerepelniük.

A DLL-ek alap programegységek a Windows-ban. Nagy szerepet játszanak abban, hogy a párhuzamosan futó programok a memóriában egyetlen egy példányban tárolt függvénycsoporton osztozkodjanak. A Windows főleg DLL-ekből áll, amelyek biztosítják az összes Windows szolgáltatást (felhasználói felület stb..).

Az alkalmazások meghívhatják a könyvtár (*Library*) függvényeit. Ahhoz, hogy az alkalmazás meg tudja hívni a függvényeket a könyvtárból, kapcsolni (linkelni) kell ezt a könyvtárat a programhoz. A linkelés kétféleképpen történhet

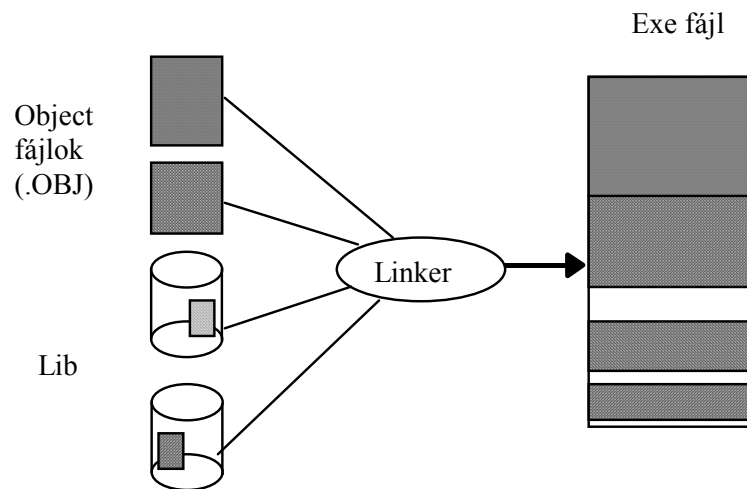
- statikus linkelés
- dinamikus linkelés

A DLL-ek olyan könyvtárak, amelyek dinamikusan kapcsolódnak az alkalmazáshoz. Általában a Windows alatt megírt programok mind a kétféle kapcsolást használják. A következőkben a két típus közötti különbséget mutatjuk be, különös tekintettel a dinamikus linkelésről, hiszen a Windows rendszerben ez nélkülözhetetlen. Azt mondhatjuk, hogy ez a fajta kapcsolat képezi a Windows működésének lényegét.

12. 3. 1. Statikus linkelés

A statikus linkelés esetében a kapcsoló (linker) másolja az összes szükséges kódot a könyvtárból a futtatható fájlba. A statikus linkeléssel készített futtatható fájl önállóan is képes működni, hiszen a futtatáshoz szükséges összes kód benne van a fájlban még akkor is, ha az alkalmazás a könyvtár egyetlen egy rutinjára hivatkozik. Ez természetesen fölöslegesen növeli a futtatható fájl méretét. A 12. 2. ábra szemlélteti a statikus linkelés lényegét.

Ebben az esetben, ha ebből az applikációból több példány fut egyszerre, akkor annyi példányban van a memóriában az összes kód, ahány példányban fut a program.



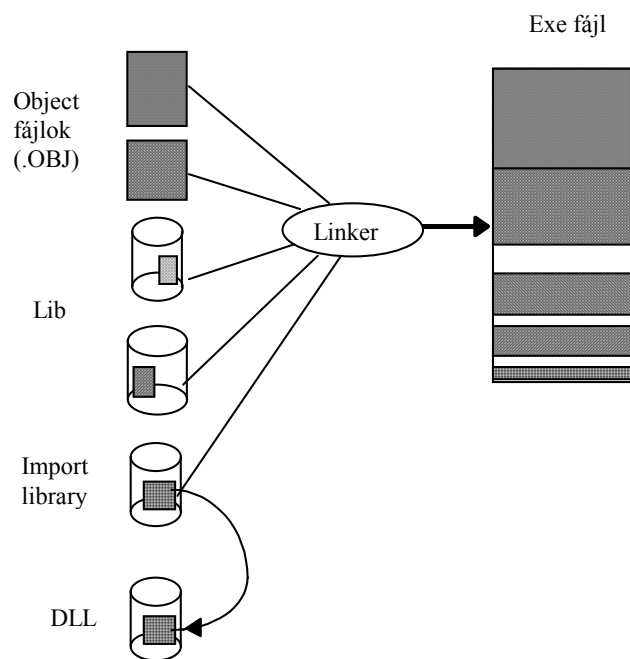
12.2.ábra Statikus linkelés

12. 3. 2. Dinamikus linkelés

A dinamikus linkelés rugalmasabb, mint a statikus. Két módja van az *implicit* és az *explicit*. Az implicit esetben az alkalmazás futtatható fájlját összekapcsoljuk egy speciális import könyvtárral, ami biztosítja az interface-t a program és a DLL között. Ezt a könyvtárat létre lehet hozni az **IMPLIB** segédprogram segítségével. A következőképpen:

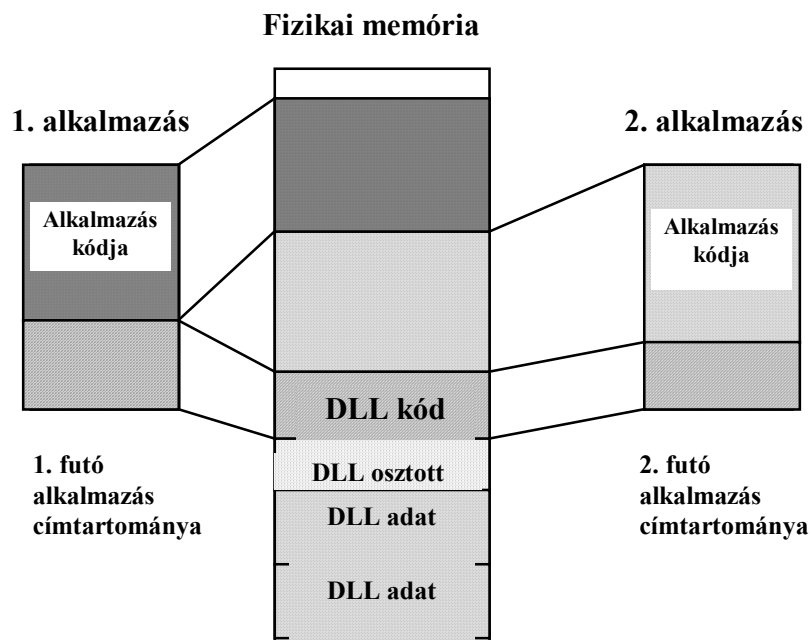
```
IMPLIB DLLNEV.LIB DLLNEV.DLL
```

Az így keletkezett **Lib** kiterjesztésű fájlt hozzá kell kapcsolni a programunkhoz. Ez kiváltható a definíciós fájl **IMPORTS** szekcióban levő függvény felsorolással. A program indításakor a Windows automatikusan tölti be a memóriába azokat a DLL-eket, amelyekre hivatkozik a programunk. A betöltött DLL-ek egyetlen egy példányban vannak jelen a memóriában attól függetlenül, hogy hány alkalmazás, illetve hány alkalmazás-példány hivatkozik rájuk. A 12. 3. ábra demonstrálja az impliciten dinamikusan linkelt futtatható fájl szerkezetét.



12.3.ábra Dinamikus linkelés

A 12. 4. ábra olyan példát mutat, amikor két program fut egyszerre és azok egyetlen egy DLL-t használnak.



12.4. ábra Közös DLL használata

Explicit linkelés esetén az alkalmazás kifejtve meghívja a **LoadLibrary** API függvényt, hogy betöltse a DLL-t a memóriába. A betöltés után az applikáció a DLL bármelyik függvényét el tudja érni. Egy függvény címének az eléréséhez a **GetProcAddress** függvényt használjuk, amelynek argumentumaként a függvény nevét adjuk meg. Amikor a programnak már nincsen szüksége az adott DLL-re, akkor a **FreeLibrary** függvény meghívásával megszakíthatja a kapcsolatot vele. Amennyiben expliciten használjuk a DLL-t, nincsen szükség az importkönyvtárra. Az explicit módszer akkor ajánlatos ha a DLL erőforrásokat tartalmaz

```
hClickBar = LoadLibrary("BUTTON.DLL");
if (hClickBar < 32)
{
// Hibával tért vissza.
FreeLibrary(hClickBar);
MessageBox(GetFocus(), "Dynamic Link Library BUTTON.DLL must be
    present", szAppName, MB_ICONEXCLAMATION | MB_OK);
return 0;
}
```

Érdemes megemlíteni, hogy a dinamikus könyvtáraknak más kiterjesztésük is lehet, de a Windows csak a .DLL kiterjesztésűeket tölti be automatikusan. A statikus linkelés esetén a Lib-ekre és obj-ekre csak a fejlesztés során van szükségünk, a futtatáshoz nem kellene. A dinamikus esetben akár impliciten, akár expliciten hivatkozik a programunk egy DLL-re, a DLL-nek a futási időben is “elérhető” helyen kell lennie. A Windows a következő sorrendben keresi a DLL-t:

- az aktuális könyvtár
- a Windows könyvtár
- a Windows\system könyvtár
- a futó program EXE fájlját tartalmazó könyvtár
- a PATH -ban felsorolt helyen

Minden esetben a header fájlt, ami a függvény prototípusát definiálja, tartalmaznia kell a programunknak.

12. 3. 3. DLL készítése

Általában egy Windows program a következő fájlokat tartalmazza: egy definíciós (. def) fájl, egy erőforrás fájl (. rc) és legalább egy forrás fájl (C vagy CPP).

A programozási nyelvek új változatai szinte kivétel nélkül rendelkeznek saját fejlesztési környezettel. Pl. a Borland C++ esetén az IDE környezet, ami rendelkezik, editorral, Debuggerrel, stb. és resource editorként a WorkShop használható. A Visual C++ esetén szintén hasonló a helyzet más elnevezésekkel.

12. 3. 4. Optimalizáló függvény

Bemenő paraméterek

A mapbasic nyelven írt eljárásban meghívásra kerül egy C nyelven írt dll rutin, melynek kezdeti paraméterei:

- Aktuális útszakasz azonosítója
- Végcél azonosítója

SearchInfo(j, SEARCH_INFO_ROW)

A parancs segítségével, egy keresés által talált objektum tulajdonságai kaphatóak meg.

- Városhoz tartozó adattábla sorainak száma

TableInfo(tabla, TAB_INFO_NROWS)

Ahol a tabla a nyitott adattábla neve, a következő paraméter a sorok számára utal.

A visszatérési értékként megkapjuk a tábla rekordjainak számát.

A TableInfo parancs segítségével számos jellemző tulajdonság szerezhető meg egy tábláról.

- Városhoz tartozó adatállományok teljes elérési útvonala.

path=TableInfo(tabla, TAB_INFO_TABFILE)

left\$(path, len(path)-3) + "txt"

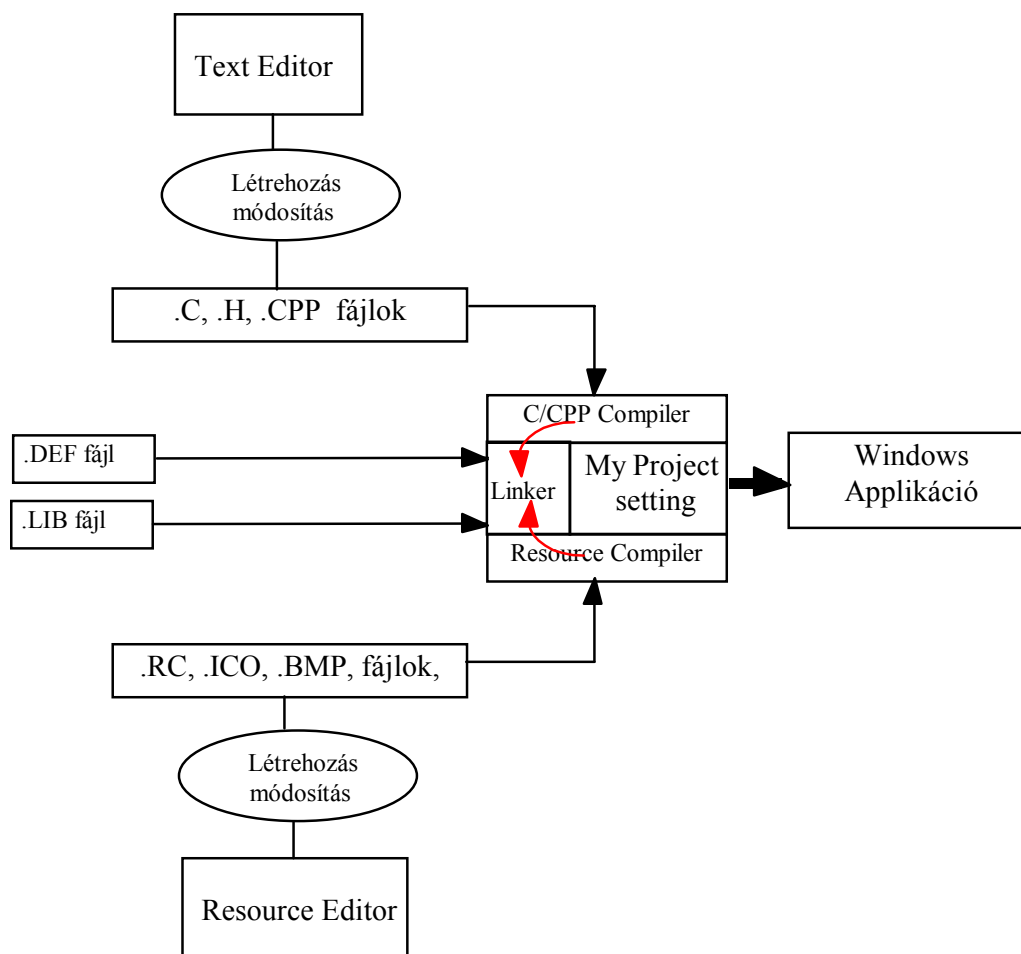
12. 3. 4. 1. Az algoritmus működése

Az elérési útvonalnak megfelelő szöveges fájlt dolgozzuk fel, minek során az adatok bekerülnek egy tömbbe, amelyet dinamikus memóriefoglalással hozzuk létre, kihasználva a C++ „new” operátorát.

Ezek után a Dijkstra algoritmust végrehajtó függvény kapja meg a vezérlést, ami vizsgálja a kiinduló pontból elérhető utak hosszát, majd a legrövidebben folytatja a keresést:

```
if (dist[row][col] + tomb[tavolsag].uthossz < dist[honnan][j] )
{
    dist[honnan][j] = tomb[tavolsag].uthossz + dist[row][col];
    parent[honnan][j].egy = row;
    parent[honnan][j].ketto = col;
    pqueue_insert(pq, honnan,j, dist[honnan][j]); // beszúrás a listába
}
```

A részeredmények egy növekvő sorba kerülnek, amelyben mindig a legkisebb „költségű” szálon folytatódik a keresés, más szavakkal a legrövidebb utakat rendezzük sorba. Ha a keresés eléri azt az útszakaszt, melyre szeretnénk eljutni, akkor a ciklus megszakad. Természetesen a folyamat során tároljuk az egy szállhoz tartozó utak azonosítóit, így biztosítva a későbbi egyértelmű megjelenítését a program által szolgáltatott eredménynek. A szülő út azonosítóját, valamint annak hosszát jegyezzük fel. A kapott útvonal szakaszainak azonosítóit egy tömbben tároljuk, ezt pedig átadjuk a mapbasic modulnak. A program szervezésének diagrammját mutatja a 12.5. ábra.



12.5. ábra Az alkalmazások szervezése

12. 4. Összegzés



12. 6. Ábra Eredmények megjelenítése

Az alkalmazás hibája, a helyenként nem megfelelően rögzített térkép miatt adódik, ugyanis egyes útszakaszok nem kereszteződéstől kereszteződésig tartanak, hanem azon túl is. Ez az útvonal hosszának figyelembevételekor okozhat anomáliákat (12. 6. ábra), amit a térinformatikai adatgyűjtés elemzése során kiszűrhetünk. Egyszerűbben, a térkép, vagy grafikus adatbázis minősége alapvetően meghatározza az eljárás használhatóságát. A legújabb alkalmazások, útvonalkereső szoftverek egy másik eljárást is alkalmaznak, amit csomópontos grafikus adatbázis alapján lehet használni. Ebben minden egyes csomópont, elágazás rendelkezik egy leíró adatrekorddal, ahol a csomópontba érkező és onnan induló objektumok azonosítóit is tárolják, így biztosítva a különböző feltételek szerinti továbbhaladást (egyirányú utak, fordulási szabályok, közlekedési előírások).

A logisztikai rendszerek egyik fő követelménye a bejárési útvonal előre tervezhetősége, annak optimalizálása. A költségcsökkentés alapvető érdeke minden gazdasági szervezetnek. Az optimalizáló algoritmusok vizsgálata alapján megállapítom, hogy a térinformatikai rendszerek egyszerűséget és hatékonyságot, gyors számítást igénylő eljárása a Dijkstra-féle módszer, ezért ennek megvalósult formáját is alkalmazásra javasolom.

12. 4. 1. Adattáblák

Az adatok két fájlformátumban vannak tárolva:

A./ Mapinfo állományokban (MAP, TAB, IND...).

Állomány kiterjesztése	Leírás
MAP	A MapInfo grafikus adatait tároló fájlja
IND	Indexállomány.
IN	Azonosító állomány.
TAB	Az adattábla szerkezeti felépítését tárolja.
DAT	Adatállomány.

A tábla mezői:

<u>Név, Típus(), Index</u>	<u>Megjegyzés</u>
Nev Char (27) Index 1	Az utca neve. Egyik index.
Fromleft Smallint	Négy attribútum. utcák irányítottságának megvalósításához szükséges adatok
Toleft Smallint	
Fromright Smallint	
Toright Smallint	
Nev_rovid Char (29)	Utcák rövid nevei.
Nev_regi Char (29)	Utcák régi nevei.
Mslink_id Integer Index 2	Azonosító mező. Másik index.
Intercount Integer	Minden egyes úthoz tartozó elágazások száma.
Inter1 -> Inter10 Integer	Az elágazó utak azonosítói.
OBJLENM Integer	Út hossza, méterben.

Az egymáshoz kapcsolódó utak azonosítóinak táblázatban való tárolására egy segéd mapbasic programot kell alkalmazni. Szerencsére a MapInfo egyik hasznos tulajdonsága, hogy képes meghatározni két vonal, mint grafikus objektum kereszteződését, az utak vizsgálatával megvalósítható a kapcsolódó utak meghatározása. A find utasítás nyújt arra lehetőséget, hogy két út kereszteződését megadja, de ezelőtt egy

find táblanév (mezőnév)

parancs segítségével inicializálni kell, ahol a tábla „mezőnév” szerint indexelt.

A Find szintaktikája:

find „útazonosító” [&& „útazonosító”]

A parancs segítségével utca keresése valamint két út keresztezésének helye kereshető. Mivel az utak azonosítására egész (integer) értéket használunk, ezért egy sztring-konvertálást kell elvégezni.

A vizsgálat ciklusban helyezkedik el, az adatok előállítása idő és gépigényes. Az eljárás az összes kereszteződési lehetőséget megvizsgálja.

B./ Szöveges fájlban.

A grafikus adatok kiegészítő attribútumai „ASCII” szöveges fájlban lementve a következők:

Az útszakasz - azonosítója

- hossza, méterben megadva
- a kapcsolódó útszakaszok száma és
- azok azonosítói.

Ezek az adatok szükségesek a Dijkstra algoritmus megfelelő alkalmazásához.

További fejlesztés célja, hogy az utak egyéb tulajdonságai is súlyt kapjanak az optimalizálás során, pl.:

- Terheltség
- Egyirányúság
- Útépités, karbantartás stb.

Továbbá a megjelenítés egy másik alternatívájaként a kijelzendő optimális út a MapInfo MIF kiterjesztésű csereformátumának szabványa szerint kerülne lementésre, ezzel elkerülve a select utasítás gyengeségét.

Az előnyei az alkalmazásnak:

- Gyors
- Könnyű kezelhetőség
- A kezdeti kívánalmaknak teljes mértékben eleget tesz
- Az optimalizálás megbízható
- Ésszerű felhasználhatósági lehetőségek

Esetleges gyakorlati felhasználás megköveteli a későbbi célállomás kiválasztásának billentyűzettel való megoldását.

Kiegészítés

A dolgozatban ismertetett GPS alapú térinformatikai rendszerek kiépítésében 1995 óta veszek részt.

Az első alkalmazás a PANDANT névre keresztelt jármű-vagyonvédelmi rendszer üzembeállítása volt, amelyet a Belügyminisztérium által kiírt nyílt pályázat keretében kellett kialakítani. Az általános követelmények alapján olyan rendszer felállítása volt szükséges, amely a rendvédelmi szervezeteknek csak „minősített” információt szolgáltat.

Feladatom az volt, hogy minden szempont figyelembevételével (rendvédelmi egységek, szolgáltatói igények, ügyfél igények) a lehető legnagyobb biztonságot szolgáltató adatgyűjtő, feldolgozó és továbbító rendszert tervezek. Ennek eredménye a jelenleg is működő szolgáltatás. A rendszer két diszpécser tartalmaz felhasználói szoftverekkel, a kettő között on-line adatátvitel (bérelt vonali összeköttetés), valamint hardvert és adatbázist. A kommunikáció GSM adatátvitelen történik

A következő feladat az Airport Minibus logisztikai diszpécserének kialakítása volt, amelyre 1998-ban került sor. Az igények és adottságok felmérése után a feladatom ugyancsak a tervezés volt. Adottsága ennek a rendszernek az URH-n történő kommunikáció, amelynek adatátviteli kapacitása igencsak szűkös. A meglévő technikához kellett igazítani az adatgyűjtés módszerét is, ami komoly technikai fejlesztést igényelt. Mind a diszpécser oldalán, mind pedig a jármű oldalán szükséges algoritmusok tervezésében, valamint a további felhasználások (optimalizálási feladatok) felé biztosítandó interfészek kialakításában szerepet kaptam.

Nagy feladat volt a MatávCom Kft. számára tervezett és kivitelezett Internet alapú logisztikai szolgáltatás központjának kialakítása. Ennek tervének kidolgozása, a technikai feltételek biztosítása az én feladatom volt, a jármű-oldali eszközök megfelelőségének vizsgálata, azok biztosítása, a grafikus térképállományok kiválasztása, beillesztése és sok egyéb mellett. A rendszert Autodesk MapGuide alapszoftverre fejlesztettük ki, az alkalmazás programnyelve VisualBasic, az adatbáziskezelő először MS Access, majd

Oracle. A szolgáltatás a mai napig üzemel, legutóbb a Sarki Expedíció útvonalát követhettük nyomon.

A kombinált logisztikai rendszerek fejlesztése immár 3 éve folyamatosan történik. Ennek lényege, hogy az előzmények fényében kialakult az az álláspontom, hogy a piaci résztvevők igényei természetesen eltérőek, ezért a biztosítandó szolgáltatások mennyiségét és minőségét modulárisan kialakított szoftver rendszerrel rugalmasabban lehet kielégíteni. Így fejlesztettünk egy desktop alkalmazást, valamint egy szerver-kliens alapú hálózati alkalmazást. A biztosított szolgáltatások köre folyamatosan bővül a piaci igényeknek megfelelően.

Ennek a 4 rendszernek a felhasználói leírását tartalmazza a dolgozat függeléke.

a. Optimalizálási algoritmusokat röviden a következők szerint tekinthetjük át.

A szélességi keresés elve a következő: Adott egy súlyozatlan, egyszerű, irányítatlan gráf. (A gráfnak nem feltétlenül kell irányítatlannak lennie, én most az egyszerűség kedvéért teszem fel ezt.) Adott egy s kezdő csúcs. Minden csúcsra határozzuk meg a legrövidebb távolságát s -től. Ez úgy lehetséges, hogy először megkeressük az s szomszédait, utána azokat a pontokat, amelyek 2 távolságra vannak s -től (s szomszédainak a még nem látogatott szomszédai), majd a 3 távolságra levőket (az előbbi pontok szomszédai) stb. addig, amíg el nem akadunk. Minden egyes lépésben feljegyezzük az s -től mért távolságot, valamint azt, hogy mely pontból értük el (ős). Azoknak a pontoknak nem lesz őse, amelyek nem elérhetőek s -ből, valamint magának s -nek. Több ősjelölt esetén elég egyet megjegyezni.

A Bellmann-Ford algoritmus elve a közelítés minden csúcs esetén a végleges súlyhoz. Az egyes (i -edik) iterációs lépések során minden csúcshoz megkeressük a maximálisan i élszámú, legrövidebb utat az s csúctól.

Ennek időigénye (lépésszáma): $v \cdot e$, ahol e az élek száma, v pedig a csúcsok száma.

Amennyiben egy iterációban nem változik egy érték sem, úgy az algoritmus véget ér.

Az iterációk számát erősen befolyásolja a feldolgozási sorrend.

A Floyd-Warshall algoritmus a dinamikus programozás módszerét használja. Az algoritmus v^3 lépésszámú és negatív súlyú élek is szerepelhetnek, de negatív összsúlyú körök megoldása nem lehetséges ezzel. A legrövidebb út meghatározásához egy „szülő” mátrix létrehozása szükséges minden nagy ciklus számításához.

- b. Az idézett megállapítás valóban a Floyd-Warshall algoritmust volt hivatott jellemezni.
- c. A Dijkstra-algoritmus lépésszáma: v^2
- d. Az RIP - Routing Information Protocol [35]

Az RIP tulajdonképpen egy IGP (interior gateway protocol), azaz helyi hálózati protokoll. Egyetlen autonóm rendszeren belül ad útválasztási lehetőséget. Az algoritmus nagy hálózati stabilitást biztosít és garantálja azt, hogy ha egy hálózati kapcsolat megszakad, azt a hálózat összes többi kapcsolatára nézve gyorsan alkalmazni tudja, így más kapcsolatokon keresztül eljuttatja az üzenetet a címzetthez.

Az RIP működése a útvonal-adatbázison keresztül történik, ahol a leggyorsabb útvonalakra vonatkozó adatokat tárolja rendszer egyik számítógéptől a másikig, egy frissítési algoritmust, amelyben minden router „megmondja” a többinek, melyik út a leggyorsabb a saját helyéről nézve, és egy másik frissítési algoritmust, amely minden routernek engedélyezi, hogy a szomszédos routertől érkező információk alapján frissítse a saját adatbázisát.

Az RIP algoritmus a következők szerint működik.

Szabályos időközönként minden router frissítést küld a saját adatbázisáról a vele közvetlen kapcsolatban álló összes többinek. Némely router ezt képes 30 másodpercenként megtenni, így a hálózat mindig friss információkkal rendelkezik azokról a változásokról, ha egy számítógép, vagy router le-, vagy felcsatlakozott a hálózatra.

Amikor az X router úgy találja, hogy az Y router gyorsabban elérhető egy Z routeren keresztül, akkor frissíti a saját adatbázisát, és továbbküldi a frissítést a szomszédainak, egész addig, amíg az információ a teljes hálózaton el nem terjedt. Ennek matematikai leírása a következők szerint történik.

- Legyen $D(i,j)$ legjobb úton lévő routerek száma az i-edik routertől a j-edikig.
- Legyen $d(i,j)$ a távolság az i-ediktől a j-edikig, és ezt vegyük végtelenre, ha az i megegyezik a j-vel, vagy nem közvetlen szomszédok.
- A legjobb távolság ekkor
$$D(i,i) = 0, \text{ minden } i\text{-re}$$
$$D(i,j) = \min(d(i,k) + D(k,j)), \text{ minden } i < j, \text{ minden } k\text{-n keresztül.}$$

Bizonyított, hogy az algoritmus konvergál minden cím távolságának legjobb becsléséhez. Az RIP az UDP hálózati protokollt használja, mert ez különösen hatékony és nincs probléma, ha egy üzenet (frissítés) valamilyen ok miatt elvész, mert hamarosan másik üzenet érkezik egy másik állomásról.

- e. RouteView 3.0v szoftver példaként jelentkezett a dolgozatban. Ennek alternatívájaként dolgoztuk ki azt az algoritmust és programot, amely megfelelőnek bizonyult az alkalmazásokhoz. Ebben a munkában konzulensként működtem közre és diplomatervezési feladat volt a hivatkozott Soltész Zsolt részére.

A program a Dijkstra-algoritmust használja, MapBasic alkalmazásban. A rendelkezésre álló digitális térkép-állomány nem volt megfelelő az eredmények szabatos kiértékeléséhez, viszont megfelelő volt tesztelésre. Ezek alapján a program futtatása tökéletes eredményt szolgáltatott az adott térképen.

13. Összefoglalás

Dolgozatomban az elmúlt 12 év tudományos kutatásainak és kereskedelmi tevékenységének eredményeit összegeztem.

Kutatásaim célja a GPS alapú mérési eszközök és alkalmazások tervezési szempontjainak tisztázása, azok meghatározása, az alkalmazások pontosságának vizsgálata volt. Ehhez kapcsolódott azoknak az adatbázisoknak a vizsgálata, amelyekben az adatokat összegyűjtjük, kezeljük. Az adatbázis-kezelési technológiák használata során szerzett tapasztalatok jelentősen befolyásolták az időben egymás után következő rendszerek tervezési folyamatát.

Az adatok publikálásának kérdései kritikusak a hazai viszonylatban. Megvizsgáltam, milyen lehetőségek állnak rendelkezésre a felhasználó számára saját, vagy idegen forrásból gyűjtött adatok hozzáférésére.

Bemutattam néhányat azok közül a jelentősebb munkák közül, amelyek a fenti vizsgálatok és eredmények alapján üzembe álltak hazánkban.

Az első négy fejezetben részletesen megvizsgáltam a GPS mérések alapvető elemeit, amelyek befolyásolják annak alkalmazását és alkalmazhatóságát. Nagy hangsúlyt kaptak a hibaforrások és a vonatkozási rendszerek közötti összhang megteremtése.

A hibaforrások vizsgálata alapján az 5. és 6. fejezetben megvizsgáltam a Differenciális GPS korrekciós szolgáltatások minőségét és arra a megállapításra jutottam, hogy -szakmai és gazdasági szempontok alapján- az RDS rendszerű földi rádiósugárzásos Differenciális GPS korrekciók minőségileg a legjobbak. A szolgáltatás megfelelő infrastruktúra megléte esetén optimális eredményt biztosít a felhasználások túlnyomó többségében. Ez a rendszer hazánkban 1998-2000 között közreműködéssel üzemelt is.

Az adatgyűjtés folyamatának vizsgálata során a GPS alapú eszközök használata és alkalmazása volt a kutatásom fő területe, amit a 7. fejezetben tárgyalok. Ezen a téren szerzett ismereteim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy integrált adatgyűjtő egységek esetén a Kálmán-szűrő alkalmazása szükséges. Azokban az esetekben, ahol az integráció nem a

végeredmény meghatározásának feltétele, ott a szűrő nem feltétlenül szükséges, de a különálló mérőelemek környezeti hatásainak csökkentése továbbra is megoldandó feladatot jelent.

A térinformatikai rendszerek rohamos terjedése indokolja a kialakítás körülményeinek és céljainak részletes vizsgálatát a 8. fejezetben. Minden rendszer esetében elsődleges feladat az alkalmazás céljának meghatározása, amit gazdasági és szakmai döntésekkel kell alátámasztani. Nagyon fontos paraméter a térinformatikai rendszer pontosságát alapvetően meghatározó grafikus adatbázis minősége, más szóval a térkép pontossága. Másik oldalról tekintve a rendszer üzemét az adatgyűjtés pontosságát nem érdemes a térképi pontosságnál sokkal jobbra, vagy annál lényegesen rosszabbra választani. Tesztek alapján minden adatgyűjtő eszköz dinamikus pontosságát meg lehet határozni, eszerint pedig ki lehet választani a megfelelő minőségű térképi alapot. Megállapítottam, hogy amennyiben azonos körülmények közötti mérések eredményének felhasználása történik térinformatikai rendszerekben, úgy a térképek minőségének és az adatgyűjtés megbízhatóságának összhangban kell lennie.

Ipari alkalmazások vizsgálata során több, különböző típusú és működési elvű eszközt használtam és elemeztem, amit a 9. és 10. fejezetben tárgyalok. Az alkalmazások során megállapítottam, hogy az egységek optimális kihasználhatóságát a háttérrel biztosító adatbázis-kezelés határozza meg.

A térinformatikai rendszerek kialakítása során gyakran szükséges a megszerzett adatok azonnali továbbítása a központi számítógép felé. Ekkor az adatgyűjtő eszközbe illeszteni kell egy kommunikációs egységet is, amely ezt a feladatot ellátja. A 11. fejezet alapján megállapítottam, hogy a jelenlegi adatátviteli médiák tekintetében az átviteli technológia meghatározza a még gazdaságosan átvihető adatok mennyiségét, illetve az eredmény minőségét. Ehhez az adatszerkezet optimális kialakítása szükséges, valamint az alkalmazott szoftverelemek kapcsolatainak megteremtése és azok minősége. Olyan rendszer kialakítását javaslom, amely távoli elérés útján biztosítja a grafikus és attributív adatbázisokat a felhasználók részére, míg az adatok gyűjtése nagybiztonságú adatbázisban való tárolással történik.

A térinformatikai rendszerek egyik fő felhasználója a logisztikai alkalmazók közössége. Ennek egyenes következménye, hogy logisztikai feladatok megoldása alapvető célja lehet egy ilyen rendszernek. A költségek csökkentése elemi érdeke minden gazdasági szervezetnek. A 12. fejezetben az optimalizáló algoritmusok vizsgálata során megállapítottam, hogy a térinformatikai rendszerekben történő alkalmazhatóság szempontjából legmegfelelőbb a Dijkstra-féle módszer. Egyszerűséget és hatékonyságot, gyors számítást biztosító eljárás. Ennek alapján megvalósult alkalmazást is bemutatok, és használatát javasolom.

Irodalomjegyzék

- [1] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [2] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [3] Galileo's World 2001/2
- [4] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [5] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [6] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [7] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [8] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm#alap
- [9] Langley, R.: Dilution of Position GPS World, 1999/5
- [10] Langley R.: GPS, the Ionosphere and the Solar Maximum GPS World, 2000/7
- [11] <http://www.knmi.nl/samenw/cost716/GPSvsHIRLAM.html>
- [12] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35b.htm#alap
- [13] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35b.htm#alap
- [14] Sárközy: http://bme-geod.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t30.htm#alkalmaz
- [15] Busics Gy.: (1996): Közelítő transzformációk a GPS és az EOV koordináta-rendszerei között. Geodézia és Kartográfia, 1996/6. 20-26. old. (1999): Közelítő transzformációk a WGS 84 rendszerből a hazai EOV és Gauss-Krüger vetületekbe való áttéréshez. Geomatika, 1999/7. 12-14. old.
- [16] Hargitai R. - Tarján I. Új Valós-idejű differenciális GPS szolgáltatás – Geodézia és Kartográfia, 1996/9. XLVIII. Budapest
- [17] Tarján I.: Nemzetközi tapasztalatok a Differenciális szolgáltatások területén – 11. Kozmikus Geodéziai Szeminárium, Budapest, 1996. november 11-12. Konferenciakiadvány pp. 194-201.
- [18] Erki L.: Diplomaterv 1996
- [19] Tarján I.: [17]
- [20] Larry J. Levy :The Kalman Filter: Navigation's Integration Workhorse GPSWorld 1997/9
- [21] Detrekői Á.-Szabó Gy.: Bevezetés a Térinformatikába
- [22] Tarján I.: Terepi térképszerkesztés Criterion Series 400 LaserRangfinderrel illetve GPS-szel integrált Pen Computer rendszerek használatával– XXXV. Bányamérő továbbképzés és tapasztalatcsere, Tatabánya, 1996. május 20-22. , Konferenciakiadvány
- [23] Graczka Gy.-Hargitai R.-Tarján I.: A külfejtéses bányák felmérése korszerű eszközökkel és automatikus térképezése
- [24] Balla L.: Geotechnológiai felhasználású GPS rendszerek összehasonlító elemzése
- [25] Soltész Zs.: Diplomaterv 1997

Kiegészítések irodalma:

- [26] Husti Gy.: Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés)
- [27] Farrel, J. – Givargis, T.: Differential GPS Reference Station, Algorithm-Design and Analysis (IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 8, No. 3, May, 2000. p. 519-531.
- [28] Alonzo, K. :A 3D State Space Formulation of a Navigation Kalman Filter for Autonomous Vehicles., The Robotics Institute, 1994.
- [29] Jose Guivant,J. –Nebot, E.- Baiker, S.:Autonomous Navigation and Map building Using Laser Range Sensors in Outdoor Applications, Journal of Robotic System, No 10. 2000, pp 565-583.
- [30] M. Moore, J. Wang: Adaptive Dynamic Modelling for Kinematic Positioning
Satellite Navigation & Positioning Group, School of Surveying & Spatial Information
Systems The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, AUSTRALIA
- [31] E. Kiriy-M. Buehler: Three-state Extended Kalman Filter for Mobile Robot Localization,
April 12, 2002 kiriy@cim.mcgill.ca
- [32] R. Thrapp – C. Westbrook – D. Subramanian: Robust localization algorithms for an
autonomous campus tour guide_ Department of Computer Science Rice University, Houston TX
77005, USA richardt,cw,devika@cs.rice.edu February 15, 2001
- [33] Schiffler, A.: [SuperDARN Maps of Double-peaked Doppler Velocity Spectra](#) , Thesis, 1996
- [34] <http://star-www.rl.ac.uk>
- [35] http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/rip.htm
- [36] petra.hos.u-szeged.hu/~csaba/szakmai/algorithmusok/
- [37] Schueler T.- Hein G.W.- Eissfeller B.: On the Use of Numerical Weather Field for
Troposphere Delay Estimation in Wide Area Augmentation Systems, Institute of Geodesy and
Navigation, University of the Federal Armed Forces Munich

Summary

I summarised my scientific and commercial researches and developments in my thesis have been made in the past 12 years.

The aim of the research was to clarify the requirements of GPS based measurement units and applications and the investigation of their accuracy. In addition, I examined the databases in which data were collected and handled. The experiences gathered during investigating the database handling technologies strongly influenced the stream of my works time to time.

The issues of data publication are critical in Hungary. I examined the options for the users of access and getting in to different datasources stored either their own or foreign databases.

I introduced some of my main works that were developed and put in to use in Hungary as the result of these examinations.

I made detailed examination of the basics of GPS measurement that have influence on the application and applicability. The error sources and the establishment of the consonance of different reference systems is outlined.

According to the examination of error sources I investigated the quality of Differential GPS services that resulted that –based on professional and economical viewpoints- the RDS based terrestrial radio transmission of DGPS correction service is the most advantageous. The service can provide optimal result for most of the application in case of reliable infrastructure. This system was in use between 1998-2000 with my assistance.

During the investigation of the workflow of data collection the main field of it was the use of GPS based unit. The conclusion of these researches is that Kalman-filter has to be used in integrated data collection equipment. In case of the integration does not provide final result the filter is not necessary but the different measurement units are under influences of natural environment. This influence must be eliminated or decreased as much as possible.

The fast spread of use of Geographical Information System justifies the detailed examination of the requirements of the establishment of such systems. The main issue for every

system is to set up the goal to achieve with the application that based on professional and economical reasons. The quality of the graphical database used in the GIS –the accuracy of map, in other words- is a key issue. On the other hand, looking at the operation of the system, there is no need to select more accurate map than the accuracy of data collection, neither a much less accurate one. The dynamic accuracy of the unit of data collection can be work out by tests so the basemap can be chosen according to that. I concluded that in case the measurements are made within the same environment and used in GIS the quality of the map and the accuracy of data collection has to be consonant.

During investigation of industrial application I used and examined units of different types and working methods. Through the use of them I concluded that the optimal applicability of the measurement units is based on the database that provides the background for the data.

There is a common demand establishing a GIS quite often to transmit the data to the central computer straight away after the data is collected. In this case the data collection unit has to have the feature of transmission, communication. I concluded that regarding the available data transmission technologies the quantity and quality of data can be economically transmitted is the function of the given and used technology. The optimal data structure has to be formed and the applied software elements has to be qualified and connected. I propose a system that provides remote access to the users for graphical and attributive database while the data collected are stored in a highly secured database.

Some of the main users of GIS are logistics companies. Therefore logistical application has to be built in to the systems. To reduce the running costs is essential for all of the business participants. According to the examination of route optimising algorithms I concluded that regarding the applicability in GIS the best algorithm is the Dijkstra method. It provides simplicity and effectiveness as well as quick computing method. I propose the use of one of the applications based on this algorithm.