

## A GPS Toolkit

Ismerkedjünk meg a GPS működésével, és egy ingyenes könyvtár segítségével szerezzünk pontosabb adatokat földrajzi helyzetünkről!

**R**obbanásszerű – talán ez a legjobb kifejezés a globális helymeghatározó rendszerrel (*Global Positioning System, GPS*) kapcsolatos piacon az elmúlt években látott növekedésre. A növekedés okai szerteágazók, de a legfontosabb talán a gazdasági, nevezetesen az, hogy a *GPS* elérése teljesen ingyenes, és az ehhez szükséges eszközök ára is meredeken zuhan. Ennek köszönhető, hogy a *GPS*-felhasználók helymeghatározásra képes készülékek széles választékából csemegézhetnek. A *GPS*-t régóta használják más területeken is, az űrbéli időjárás vagy a földrészek mozgásának vizsgálata és a pontos időzítési adatok szolgáltatása csak három példa ezek közül.

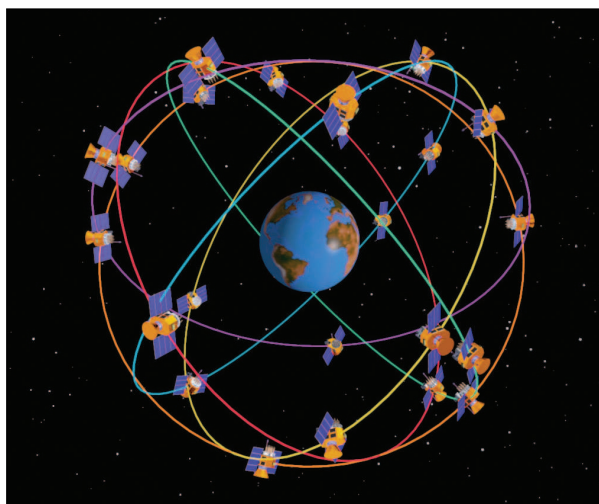
Ha a *GPS*-t komolyabb célokra, vagy akár csak pontosabb helymeghatározásra szeretnénk használni, akkor a *GPS*-vevő által begyűjtött nyers megfigyelési adatokat fel kell dolgoznunk. Korábban az ilyen feldolgozásokat jellemzően zárt programok végezték. *GPS Toolkit*, röviden *GPSTk* névvel azonban ma már létezik egy tervezet, amely a nyílt forrás és a kutatói közösségek számára *LGPL* hatálya alatt érhető el. A *GPSTk* az austiniai *Texasi Egyetem Alkalmazott Kutatások Laboratóriuma* által vezetett, még 1978-ban, az első műhold fellövése előtt indított *GPS*-vonatközű kutatás mellékterméke. A munkában programmérnökök és tudósok egyaránt részt vesznek. A labor munkatársai nemrég úgy döntöttek, hogy alapszintű *GPS*-feldolgozó programjuk nagy részét nyílt forrással elérhetővé teszik – így született a *GPSTk*.

### A globális helymeghatározó rendszer

A *GPS* valójában az *USA* kormányzatának polgári jelet is szolgáltató műholdas navigációs rendszere. Írásunk születésekor összesen 29 darab – 12 órás pályán keringő – műhold szórja jelét folyamatosan. A *Föld* bármely pontjáról minden pillanatban 8-12 műhold látható.

### A GPS-ről röviden

Mindegyik műhold szórt spektrumú jeleket szór az 1575,42 és az 1227,6 MHz-es frekvencián, ezeket rendre L1-nek és L2-nek nevezzük. A polgári jel jelenleg csak az L1-en érhető el. A jel két összetevőből áll, az időkódból és a navigációs üzenetből. A kapott időkód és a belső időkód különbségét véve a vevő meg tudja határozni, hogy a jel mekkora távolságot tett meg. A kódok közötti különbséget a – nyilván nem tökéletes – vevőoldali óra hibái is befolyásolják,



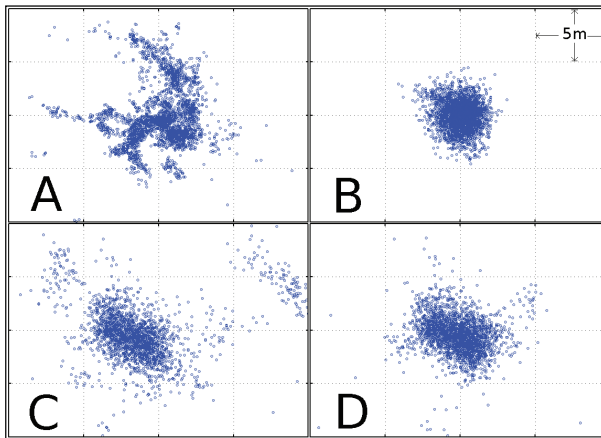
1. kép GPS műholdak együttállásának képe az Aerospace Corporation weboldaláról (☞ [www.aero.org/news/current/gps-orbit.html](http://www.aero.org/news/current/gps-orbit.html))

ezért áltartománynak hívjuk. A navigációs üzenet a műhold efemeriszét, vagyis pályájának numerikus modelljét tartalmazza.

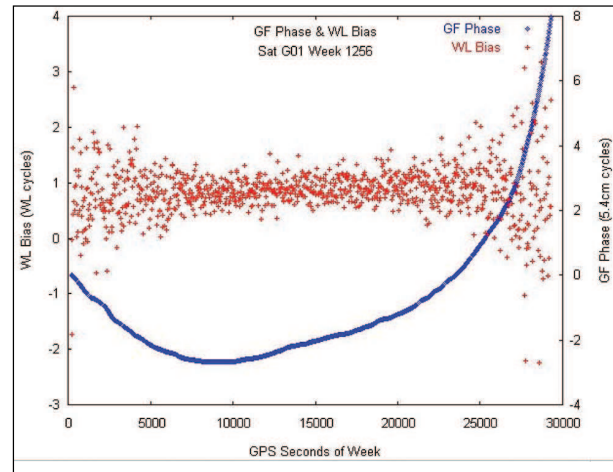
A *GPS*-vevők az áltartomány mellett a vivőfázist, röviden a fázist is mérik, rögzítik. A fázis az áltartományhoz hasonlóan adott tartományba esik, ám benne ismeretlen konstans érték is szerepel, amit fázisbizonytalanságnak nevezünk. Itt már sokkal egyenletesebb értékről van szó, amely az áltartománnyal összevetve századannyi mérési zajtól terhes, így pontos helymeghatározásra is alkalmas. Mérésének módjából fakadóan a fázis véletlenszerű, hirtelen ugrásokat mutat. Ezek a diszkrét változások mindig a *GPS*-jel hullámhosszának többszörösei, és cikluscusúzássoknak nevezzük őket.

### A helyzetmegoldás

Egy normál helyzetmegoldáshoz minden látható műholdról egy áltartomány mérésre és egy efemeriszre van szükség. Legalább négy mérésre van szükség, ugyanis négy ismeretlenünk van: három helykoordináta és a vevőoldali óra eltérése. A megoldás alapszintű algoritmusának ismertetése a hivatalos *GPS Interface Control Documentben*,



2. ábra Bal oldalon helyzetadatok egy GPS-vevőtől. Jobb oldalon a GPSTk algoritmusai által számított helyzetek.



3. ábra Normál szélessávú (vörös) és geometriamentes (kék) fázis egy műholdról

© Kiskapu Kft. Minden jog fenntartva

az ICD-GPS-200-ban található. A helyzetmegoldás pontosságát két tényező rontja, a megfigyelési és az efemeriszben észlelt hibák.

### A mérési hibák csökkentése

A GPS-jel a Föld légkörének minden rétegén áthalad. A rétegek mindegyike más hatást gyakorol a jelre. Az ionoszféra, a légkör nagy magasságú, elektromosan töltött rétege például késlelteti a jelet, ami miatt nő a távmérési hiba. A késleltetés frekvenciafüggő, vagyis közvetlenül kiszámítható, ha mindkét GPS-frekvencián kapunk adatot. A troposzféra, a légkör legalsó rétege szintén késlelteti a jelet, ám ezt a késleltetést is lehet modellezni és semlegesíteni. Az egyéb hibák jelentős része magával a GPS-jellel kapcsolatos, ilyenek például a többszörös visszaverődések és a relativisztikus hatások.

A pontosabb alkalmazások a hibák hatásait az úgynevezett különbségi, differenciális GPS (DGPS) megoldással csökkentik. Ennél a felhasználó és egy közeli viszonyítási vevő által kapott jelek eltéréseit figyelve a mindkét vevő által érzékelt hibák, vagyis a hibák túlnyomó része kiküszöbölhető. A DGPS a viszonyítási vevőhöz képesti helyzetet ad meg, ehhez hozzáadva a viszonyítási helyzetet megkapjuk a felhasználó abszolút helyzetét.

A DGPS használatának alternatívája a hibák modellezése és közvetlen semlegesítése. A GPS-jeleket érintő hatások új és hibaforrásokra érzéketlen modelljének megalkotása komoly kutatások tárgya az ARL:UT-n és más laborokban egyaránt. Ilyen modellek kidolgozására kiindulásként a helymeghatározó algoritmus használható. Az alapszemlélet az, hogy a helymeghatározó algoritmust kifordítva meg lehet vizsgálni magukat a helyesbítő lépéseket. Ha például hálózatot állítunk össze a vevőkből, és összesítjük ezek megfigyeléseit, akkor világszintű térképet készíthetünk az ionoszféráról.

### Továbbfejlesztett efemeriszek

A GPS alapú helyzetmegoldások pontossága leginkább jobb műholdas efemeriszekkel javítható. Az amerikai *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)* feladata a pontos efemeriszek előállítása és nyilvánossá tétele. Ezek alapján pontosabban meg lehet ismerni a műholdak pályáját. A szórt navigációs üzenetekben szereplő pályaadatok méte-

res nagyságrendű hibát tartalmaznak, a pontos efemeriszek ellenben 10 cm nagyságrenddel pontosak. Az *International GPS Service (IGS)* egy világméretű polgári együttműködés, amely szintén szolgáltat pontos efemeriszeket. A pontos efemeriszek előállításához szükséges adatokat megfigyelő állomások világméretű hálózatai szolgáltatják.

### GPS adatforrások

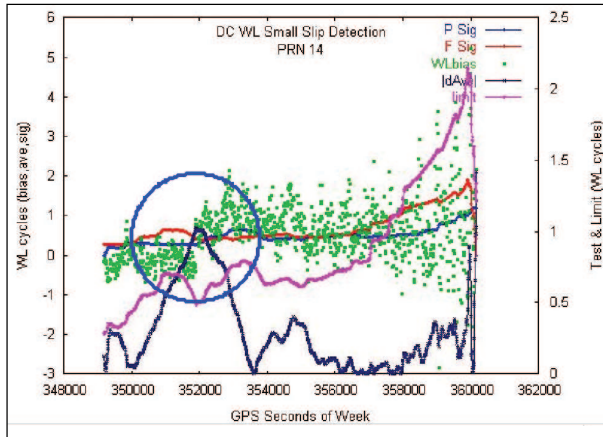
Sok megfigyelőállomás adatai szabadon elérhetők az interneten keresztül, de az állomások jelentős része az IGS-nek is átadja eredményeit. Emellett sok hálózat szintén közlésezi eredményeit az interneten, ilyen például az *Australian Regional GPS Network (ARGN)*, illetve a NASA-hoz kötődő, világszintű *Crust Dynamics Data Information System (CDIS)* rendszer.

### GPS fájlformátumok

A GPS megfigyelések eredményeit kutatók által, kutatók számára fejlesztett, szabványos formában szokták rögzíteni. A formátum kapcsán fontos gondolat, hogy az adatoknak függetleneknek kell lenniük a begyűjtésüket végző megfigyelőeszköz típusától. Ezt tükrözi a formátum neve is: receiver independent exchange (kb. vevőtől független adatcsere), röviden *RINEX*. Egy másik GPS vonatkozású formátum az *SP-3*, amely pontos efemeriszeket tárol. A *GPSTk* a *RINEX* és az *SP-3* formátumot egyaránt támogatja.

### A GPS-vevők és a nyílt forrás viszonya

A GPS-vevők az elmúlt években egyre olcsóbbak és egyre nagyobb tudásúak lettek, különösen, ami a hordozható készülékeket illeti. A vevők szolgáltatásainak egy része általánosan mondható. Például mindegyikük néhány másodpercenként bocsátja ki kimenetén az éppen érvényes helyzetmegoldást. A vevők mindegyike tárol egy helyzetlistát is, ennek elemeit útvonalpontoknak nevezzük. Sok készülék képes feltölthető térképek megjelenítésére, továbbá jelentős részük PC-vel vagy kézigéppel is tud kapcsolatot tartani abból a célból, hogy a gépen adattárolást végezzen vagy helyzetadatokat adjon át a rajta futó térképprogramnak. A számítógépekkel és egyéb eszközökkel folytatott adatcsere általában a *National Marine Electronics Association*



4. ábra Csúszás észlelhető (kék kör) a szélessávú adatsorban (zöld), ahol a próbamennyiség (sötétkék) nagyobb a határértéknél (bíbor)

**NMEA-0183** jelzésű szabványa szerint történik. Az **NMEA-0183** egy ASCII alapú, helyzetmegoldások, útvonalpontok és vevőoldali hibakeresési adatok továbbítására alkalmas formátumot ad meg. Egy sornyi NMEA formátumú adat, más megnevezéssel mondat, körülbelül így épül fel: \$GPGLL,5133.81,N,00042.25,W\*75

Az adatsor egy szélesség-hosszúság pontot határoz meg: 51° 33,81 perc észak, 0° 42,25 perc nyugat. A záró rész az ellenőrző összeg.

Nyilvános szabványként az **NMEA-0183** formátum biztosítja a választás szabadságát a GPS-használóknak. A nyílt forrású alkalmazások általában **NMEA-0183** formátumban fogadják a helyzetadatokat a vevőegységektől.

Zárt szabványokkal is gyakran találkozhatunk. A **SIRF** például zárt protokoll, használatának jogát a vevőegységek gyártói vásárolhatják meg, de nem egy gyártó saját bináris protokollt fejlesztett ki. Azóta ezeknek a protokolloknak egy részét megnyitották, néhányat pedig visszafejtettek. A **GPSBabel** egy nyílt forrású tervezet, célja a fogyasztói szintű vevőkkel végzett adatsere biztosítása. A **Sharc Project** hasonló tervezet, ám célja a földmérési szintű vevőkkel való adatsere lehetővé tétele.

A fogyasztói szintű vevőkhöz számos figyelemre méltó nyílt forrású alkalmazás létezik. Van köztük autós navigációra használható, például a **GPS Drive Project** mindehhez grafikus térképet rajzol nekünk. A **GPS Drive a Festival** nevű alkalmazással is összecsatolható, így a vezetési utasításokat beszéd formájában kapjuk meg. A **WiGLE.net** és a hozzá hasonló oldalak a nyilvános vezeték nélküli hozzáférési pontok koordinátáit gyűjtik, **GPS** készülékünkkel könnyedén megtalálhatjuk őket.

A **DGPS** megvalósítása hagyományosan kettő vagy több vevővel történik, amelyek helyzetadataikat rádióhullámokon továbbítják. Nyílt forrású alkalmazásokkal a **DGPS**-t immár IP felett is meg tudjuk valósítani, ugyanis a **gpsd** nevű nyílt forrású tervezet képes **NMEA-0183** mondatokat TCP/IP felett továbbítani. A **gps3d Project**, amely helyzetünket és a **GPS** beállításait három dimenzióban jeleníti meg, szintén képes **gps3d** kiszolgáló segítségével dolgozni. Mindezen alkalmazások szabványos helymeghatározásra alapulnak.

Ha magasabb szintre szeretnénk lépni, akkor közvetlenül a vevő által végzett megfigyelések eredményeivel kell dolgoznunk, ezt a lehetőséget viszont csak néhány nyílt forrású vagy szabadon elérhető program biztosítja. Az **OpenSourceGPS** például **Zarlink** lapkakészletre épülő **GPS**-vevő kifejlesztését célozza. Az **UNAVCO** teqc eszközkészlete minőségbiztosítást végez, illetve a vevőtől érkező nyers adatokat feldolgozva **RINEX** formátumú üzeneteket állít elő, de zárt forrású. A **GPSTk** célja ezekkel szemben az, hogy a felhasználóknak a megfigyelések eredményeinek elérésén túl a feldolgozó algoritmusok továbbfejlesztésére is megadja a lehetőséget.

### A GPS Toolkit

A **GPS Toolkit (GPSTk)** kódja tisztán ANSI C++ alapú. Géptípustól független, **Linuxon**, **Solarison** és **Microsoft Windowson** egyaránt lefordítható és gond nélkül használható. Minden megtalálható benne, ami az önálló, konzolos programok írásához szükséges, illetve számos teljes alkalmazás is része. Tervezése nagymértékben objektumorientált. Minden a **gpstk**: névtéren belül található. Egy **RINEX** formátumú megfigyelésfájl például ilyen egyszerűen lehet olvasni és írni:

```
// RINEX fájl megnyitása, olvasása és írása
using namespace gpstk;
// bemeneti fájlfolym
RinexObsStream rin(inputfile);
// kimeneti fájlfolym
RinexObsStream rout(outputfile,
ios::out|ios::trunc);
DayTime nextTime; // dátum/idő objektum
RinexObsHeader head; //RINEX fejléc objektum
RinexObsData data; //RINEX adat objektum

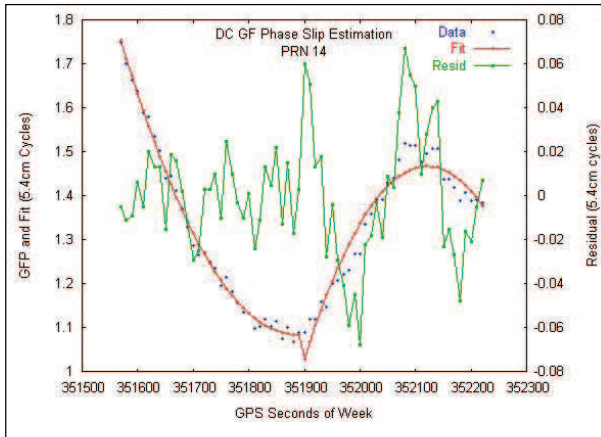
// a RINEX fejléc beolvasása
rin >> head;
rout.header = rin.header;
rout << rout.header;

// végiglépkedés a különféle időpontokhoz tartozó
// adatokon
while (rin >> data) {
nextTime = data.time;
// megfigyelési adat megváltoztatása
rout << data;
}
```

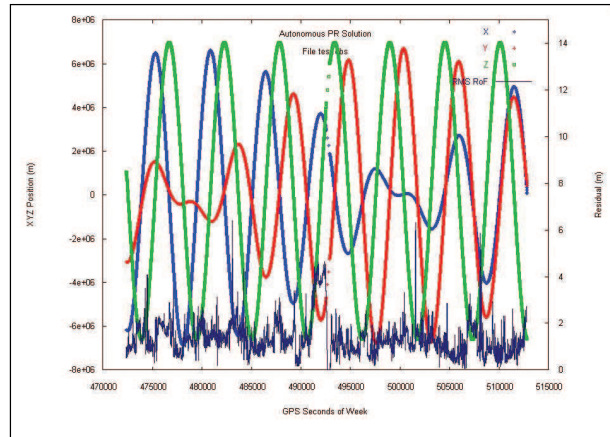
A könyvtár legfontosabb képességei a **RINEX** fájlok olvasására/írására épülnek. Része egy teljes értékű dátum- és időkezelő osztály, amellyel **GPS** és egyéb formátumú időcímkéket lehet manipulálni.

A **RINEX** fájlok kezelésén túl a **GPSTk** geodéziai koordináták (szélesség és hosszúság) kezelésére alkalmas, valamint **GPS** efemerisz számításokra használható osztályokat is tartalmaz. Ugyancsak található benne egy teljes értékű, sablon alapú mátrix- és vektorkezelő csomag, illetve **GPS** helymeghatározó és navigációs algoritmusok, melyeket nagy számú troposzféra modell egészít ki.

Végül, a terjesztés önálló programokat is tartalmaz. Találunk benne **RINEX** fájlok ellenőrzésére és módosítására, összegz-



5. ábra A cikluscúszás becsült mértéke



6. ábra Helyzetek interpolálása

sek készítésére, megfigyelési adatok eltávolítására vagy módosítására, a mondatok szakadásait javító, valamint a megszokott hibák és helyesbítő tényezők számítására alkalmas segédprogramot. Utóbbi például az ionoszférában a jel útvonalán található teljes elektrontartalmat képes meghatározni.

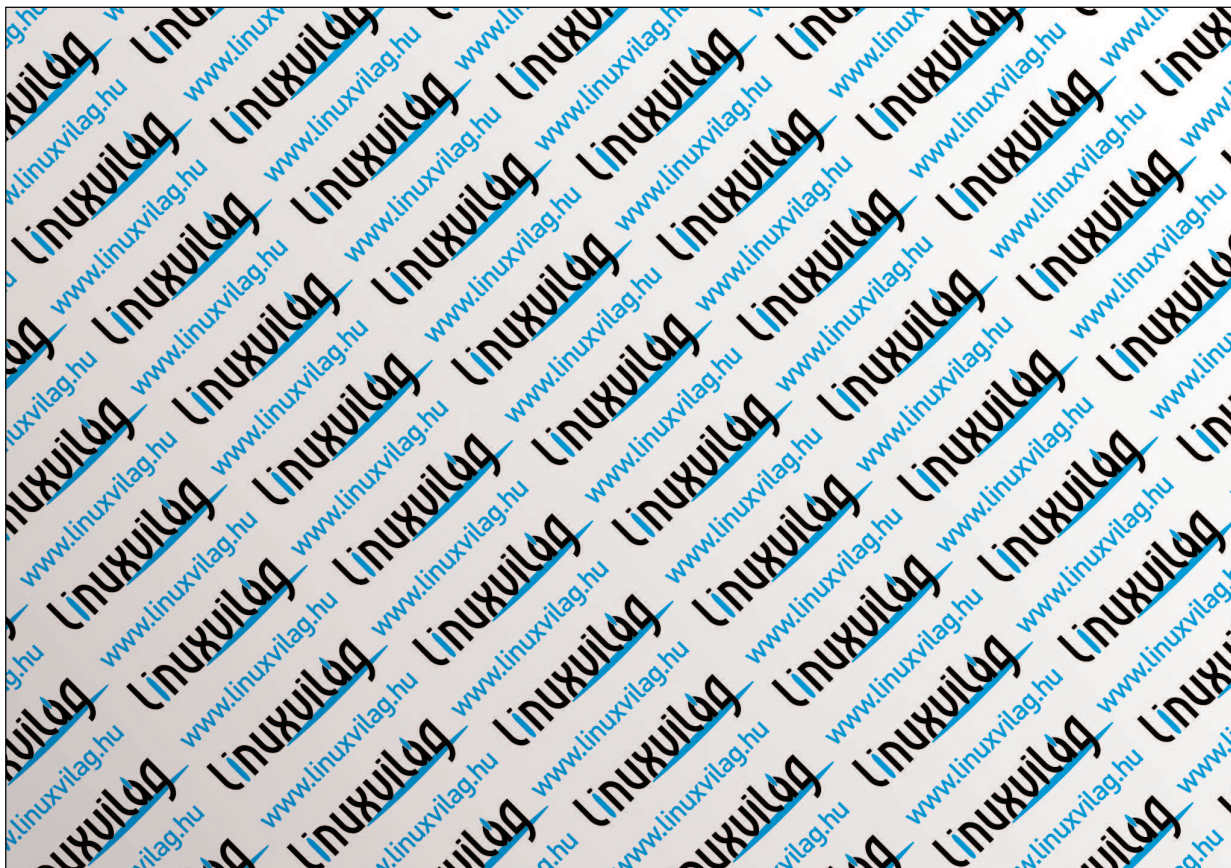
**Az első lépések a GPS Toolkitkel**

A *GPS Toolkit* .tar állomány formájában tölthető le. (Lásd az internetes források részt.) Az eszközkészlet lefordításához szükség van a jam-re, a make egyik helyettesítőjére, illetve a forrásfájlok alapján leírásokat előállító *Doxygenre*.

A fordítás menete nagyjából a következőképpen alakul:

```
tar xvzf gpstk-1.0.tar.gz
cd gpstk
jam
doxygen
su
jam -sPREFIX=/usr install
```

A fenti parancssorozattal lefordítjuk és – a /usr fa alá – telepítjük a *GPSTk* dinamikus és megosztott könyvtárait, vala-



© Kiskapu Kft. Minden jog fenntartva

mint a fejlécfájlokat. Létrejön egy doc alkönyvtár is, amely a *GPSTk* könyvtár HTML alapú leírásait tartalmazza. Az alábbiakban három, az ARL:UT-n készített *GPSTk* példalkalmazást szeretnék ismertetni. A második ezek közül a *GPSTk*-ban is szerepel.

### Megnövelt pontosságú helymeghatározás

A *GPSTk* által előállított helyzetmegoldások jóval pontosabbak, a hibahatásokra érzéketlenebbek a *GPS*-vevők által szolgáltatottnál. A 2. ábrán az ebből fakadó előnyöket szemléltettük; mindkét tengely a -10 – 10 méter tartományt ábrázolja.

Az A ábra a helyzetszámításokat, illetve keleti és északi irányú szórásukat szemlélteti. Egy fogyasztói szintű *GPS*-vevő ilyen eredményeket szolgáltat. A B ábra a légköri késleltetések figyelembe vételével kapott helyzetbecsléseket szemlélteti. A közvetlen feldolgozás nemcsak a pontosságot, de a hibátűrést is javítja. A C ábrán láthatjuk, mi származik egy műhold meghibásodásából. A D ábrán követhetjük, hogy a hibás műhold *GPSTk* általi felismerésekor és kiiktatásakor mi történik.

### Vivőfázis-szakadások helyesbítése

A *GPS*-adatok feldolgozásakor sok gondot okoznak a vivőfázisban megjelenő szakadások. A fázisadatok felhasználása előtt fel kell ismerni és helyesbíteni kell a cikluscsúszásokat. A *GPSTk* csomag tartalmaz egy szakadásjavító alkalmazást, amely pontosan ezt a feladatot látja el. A javítási lehetőséget természetesen maga a könyvtár is biztosítja.

A *GPSTk* szakadásjavítója a kétfrekvenciás fázisadatok két lineáris kombinációját állítja elő, ezeket szélessávú fázistorzításnak és geometriamentes fázisnak nevezzük. Normál adatok esetére ezek alakulását a 3. ábra szemlélteti. A szélessávú torzítás (vörös) zajos ugyan, de átlaga állandó. A geometriamentes fázis nem függ a vevő és a műhold geometriai viszonyától, de az ionoszféra miatt fellépő késleltetés erősen befolyásolja, pontosabban egyenesen arányos ezzel a késleltetéssel. Normál esetben az ionoszféra nyugodt és egyenletes, ám előfordul, hogy aktívabb, zavarosabb állapotba kerül, ilyenkor ez az érték széles tartományban változhat. A geometriamentes fázis és a szélessávú zaj az adatsor elején és végén egyaránt növekszik, a műhold ugyanis ekkor kel és nyugszik, ilyenkor a jelnek hosszabb útvonalat kell megtennie a légkörben.

A szakadásjavító először a szélessávú fázistorzításban keresi meg a csúszásokat. A 4. ábra egy ilyen felismerésének esetét szemlélteti. Ha a szélessávú fázistorzításban csúszást talál, a kód a geometriamentes fázist is megvizsgálja, és abban is csúszást keres. A csúszás nagyságát úgy becsüli meg, hogy a csúszás két oldalán alacsony fokú polinomokkal közelíti az adatokat, extrapolál a csúszás pontjára, majd különbséget számol.

### Műholdak helyzetének interpolálása

A *GPSTk* egy másik az ARL:UT-n kidolgozott alkalmazásához egy alacsony pályán keringő, *GPS*-vevővel rendelkező műholdra is szükség van. Ez a műhold a felette látható műholdak *GPS*-adatait is begyűjti, ezeket felsőoldali adatoknak nevezzük, illetve az alatta láthatókat is, ezek lesznek az alsóoldali adatok. Az alsóoldali *GPS*-jel meglehetősen hosszú utat tesz meg a légkörben, így kiválóan használható a légkör állapotának figyelésére. A felsőoldali adatok alapján vé-

gezhető el az alacsony pályán keringő, gyorsan mozgó műhold helyzetének meghatározása. A gond az, hogy a felsőoldali adatok gyűjtése kisebb – 10 másodperces – gyakorisággal történik, mint az alsóoldaliaké (1 másodperc), ám a nagyobb gyakorisággal érkező alsóoldali adatok feldolgozásához szükség van a műhold pontos helyzetére. Ennek a problémának a megoldására született egy *GPSTk* alapú program, amely beolvassa a *GPS*-adatokat, a felsőoldali adatok alapján kiszámítja az alacsony pályájú műhold helyzetét, majd ezeket egy másodperces időosztásokra interpolálja. Az eredmény, az alacsony pályájú műhold Föld körüli útja a 6. ábrán látható.

### A *GPSTk* jövője

Nyílt forrású, *GPS*-adatok feldolgozására alkalmas, a *GPS Toolkit*hez hasonló szolgáltatásokat nyújtó csomag eddig még nem létezett – izgatottan várjuk, mi fejlődik majd ki belőle. A *GPSTk* széleskörű figyelemre számíthat. Az egyetemek a *GPSTk*-t felhasználhatják a *GPS*-adatok nyílt forrású kóddal való feldolgozására. A beágyazott eszközök fejlesztői olyan programokat állíthatnak össze, amelyek *GPS* alapú helymeghatározásra, valamint *RINEX* adatfájlok olvasására, írására és szerkesztésére képesek. A kutatók kiváló kiindulási alapnak találják majd tisztán program alapú *GPS*-vevők megvalósításához.

Bár a *GPSTk* további sorsa elsősorban a felhasználók visszajelzéseitől és hozzájárulásától függ, a műholdas navigáció terén beálló változások is befolyásolni fogják. A közeljövőről annyit, hogy az első olyan műholdat, amely polgári használatra is ad majd kétfrekvenciás áltartományokat, várhatóan 2005-ben lövik fel. Az *Európai Unió* elindította a *Galileo*t, ennek célja a *GPS*-sel kompatibilis, polgári irányítású szolgáltatás biztosítása – valószínűleg átrendezi majd az eddigi erőviszonyokat. Hosszútávon várható, hogy a *GPS* rendszer új jeleket fog tartalmazni az L5 és az M kódokban. A *GPSTk* az alapszintű megfigyelési lehetőségekre építkezve megfelelő alapot kínál majd mindezen változások, újdonságok követéséhez és kihasználásához. Bízunk abban, hogy az egyetemi hallgatók, a laboratóriumi kutatók, a rendszermérnökök és a programfejlesztők egyaránt ki tudják majd használni a *GPS Toolkit* által kínált lehetőségeket, és maguk is hozzájárulnak további fejlesztéséhez. Saját laborunkon belül is rengeteg előnnyel járt és jár a használata, ezért reméljük, hogy a *GPSTk* még számos újszerű *GPS*-es alkalmazás elkészítésében játszhat szerepet.

*Linux Journal* 2004. szeptember, 125. szám

**Dr. Brian W. Tolman** kutató a Texasi Egyetem Alkalmazott Kutatások Laboratóriumában. Immár 18 éves tapasztalattal rendelkezik a GPS vonatkozású kutatásokban, adatelemzésekben és programfejlesztésekben. Doktori címét az austini Texasi Egyetemen, elméleti fizikából szerezte.

**Ben Harris** mérnökutató az austini Texasi Egyetemen. Amikor éppen nem *GPS*-es témájú vizsgálatokat végez, doktori dolgozatával foglalkozik vagy csodálatos családjával van együtt, akkor robothalakat programoz a Pulp Fiction egyes jeleneteinek eljátszására.