



Kinematikus GPS-mérések tapasztalatai

Takács Bence BME, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb az érdeklődés a GPS alapú navigációs rendszerek iránt. A cikkben a kinematikus mérésekkel meghatározott pozíciók pontosságát, továbbá az ideális, illetve a beépített városi környezetben végzett mérések hatékonyságát vizsgáljuk. A méréseket részben navigációs vevőkkel, részben geodéziai vevőkkel végeztük, előbbi esetben a vevő által számított pozíciókat vizsgáltuk, utóbbi esetben a méréseket mind abszolút, mind pedig relatív módon, egyrészt saját fejlesztésű szoftverrel, másrészt a gyakorlatban használt kereskedelmi szoftverekkel dolgoztuk fel.

Mérések ismert útvonalon

Statikus mérések esetén egyszerű a pontosság vizsgálata: a méréseket ismert ponton végezzük, majd összehasonlítjuk a „mért” koordinátákat az ismert és hibátlannak tekintett koordinátákkal. A kinematikus mérések pontosságának vizsgálata sokkal bonyolultabb, hiszen nem egyszerű feladat egy mozgó jármű helyzetét „hibátlanul” meghatározni.

A kinematikus mérések vizsgálatával foglalkozó publikáció – Magyarországon talán elsőként – 1995-ben jelent meg [1], ahol Busics György az M7 autópálya egy szakaszán vizsgálta egy GPS-antennával felszerelt gépkocsi mozgáspályáját, majd egy másik elrendezésben egy modellvasút ismert sugarú körpálya jelentette a mozgó antenna „hibátlan” haladási vonalát. GPS mérések térinformatikai rendszerbe illesztéséről Lovas 2001. évi tanulmányában [3] olvashatunk.

Tegyük fel, hogy ismert valamely út geometriája, például egy korábbi geodéziai felmérés eredményeként. Ha ezen az úton haladva végzünk GPS méréseket, akkor az út (vagy az adott forgalmi sáv) tengelyvonala tekinthető a mozgó jármű „hibátlan” mozgáspályájának. Természetesen ez elhanyagolásokat tartalmaz, hiszen a jármű nem feltétlenül a forgalmi sáv közepén halad. A módszer tehát csak a navigációs, esetleg a térinformatikai, de semmiképpen sem a geodéziai célú GPS mérések pontosságvizsgálatára alkalmas. A pontosság mérőszáma

a „mért” pozícióknak az elméleti mozgáspályájától vett merőleges távolságából vezethető le. Ez az eltérés a navigációból keresztirányú hiba (cross-track error) néven ismert. A merőleges távolság, tehát az oldalirányú kitérés nem tekinthető a „mért” pozíció teljes hibájának, mivel nem tartalmazza sem a hiba mozgásirányú (hosszirányú hiba, along-track error), sem pedig a függőleges (magassági) irányú összetevőjének értékét.

A vizsgálatok során több alkalommal végeztünk kinematikus méréseket az M3 autópályán. Az autópálya digitális térképe kutatási célra rendelkezésünkre áll, így lehetőség volt a mérések pontosságának becslésére az előbbieket szerint. Kétféle mérési technológiát alkalmaztunk:

1. Garmin eMap vevővel rögzítettük a vevő által számított abszolút pozíciókat NMEA formátumban. A mérések során az antennát mágnes rögzítette a gépkocsi tetején. A GPS vevő soros adatkimenetéhez egy Psion S5 palmtop csatlakozott adatrögzítőként, és az adatátvitelt egy terminal emulátor program biztosította.

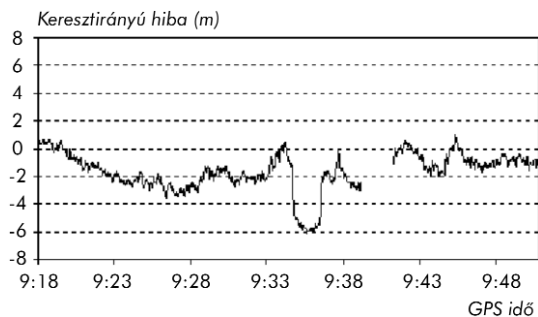
2. Geodéziai GPS vevővel (Geotracer 3140) másodpercenként rögzítettük a „nyers” mérési eredményeket (pszeudótávolságokat, illetve fázis-mérési adatokat). Az előző pontban említett antenna házi készítésű adapterrel csatlakozott a Geotracer vevőhöz. A méréseket saját fejlesztésű szoftverrel dolgoztuk fel, mind abszolút, mind pedig relatív (differenciális) értelemben. Később az adatokat több, ún. kereskedelmi szoftverrel is feldolgoztuk.

A cikk terjedelme nem teszi lehetővé az összes eredmény bemutatását, ezért csak a legfontosabbakat ismertetjük. A részletek [7]-ben megtalálhatók.

Navigációs vevő által számított pozíciók vizsgálata

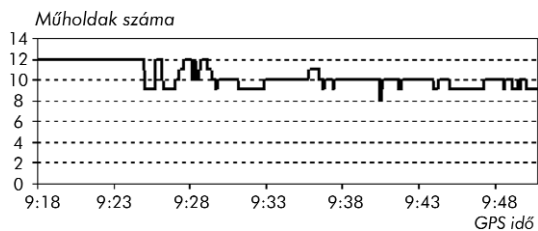
Az 1. ábra egy Garmin eMap vevő által meghatározott pozíciókból levezethető keresztirányú eltéréseket mutatja. Az ábráról megállapítható, hogy a keresztirányú hiba általában -3 m és +1 m között változott, egy 9:35 körül látható szakasz kivételével. Az ott mutatkozó -6 m körüli eltérés azonban

nem mérési hiba: ekkor a gépkocsi sávot váltva jobbra lehúzódtott a kapaszkodósávba. A gépkocsi egyébként csekély forgalom mellett (vasárnap délelőtt) kb. 80 km/h sebességgel haladt. Az eredmények összhangban vannak a statikus mérések vizsgálata során szerzett tapasztalatokkal [6]. Az ábrán 9:40 körül látható szakadás a gödöllői fizető kapu területére esik, az autópálya kiszélesedése miatt itt a keresztirányú eltérés nincs értelmezve.



1. ábra Keresztirányú eltérés (mérés navigációs vevővel az M3 autópályán Hatvan és Budapest között 2001. december 2-án)

A kedvező eredmények azzal magyarázhatók, hogy az M3 autópálya szinte teljes hosszában biztosított a szabad kilátás csaknem a teljes égboltra. Erről tanúskodik az egyszerre észlelhető műholdak nagy száma (2. ábra). Városi környezetben vagy alsóbbrendű utakon feltehetően sokkal keve-



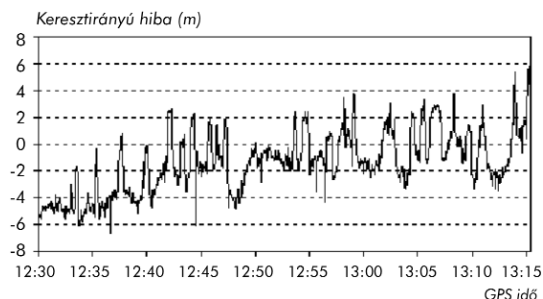
2. ábra Az egyidejűleg észlelt műholdak száma (mérés navigációs vevővel az M3 autópályán Hatvan és Budapest között 2001. december 2-án)

sebb műhold „látható”, és lényegesen több alkalommal szakad meg a műhold-vevő kapcsolat. További magyarázat, hogy a mérés során a vevő szoftver szempontjából kedvező körülmények között: egyenes sebességgel, egyszerű geometriájú (hosszú egyenesek és nagy sugarú ívek alkotta) úton végeztük a méréseket. Az is megemlíthető, hogy a GPS vevő „normal” és nem „battery save”

üzemmódban mért. „Battery save” üzemmódban a vevő csökkentett teljesítménnyel dolgozik, és valószínűleg mind a méréseket, mind a számításokat ritkábban végzi.

Geodéziai vevővel rögzített mérések feldolgozása

A 3. ábrán a Geotracer geodéziai vevővel rögzített és saját fejlesztésű szoftverrel feldolgozott mérésekből levezethető keresztirányú eltérések láthatók. Geodéziai vevővel a navigációs vevőhöz képest (1. ábra) valamivel nagyobb, -6 m és +6 m

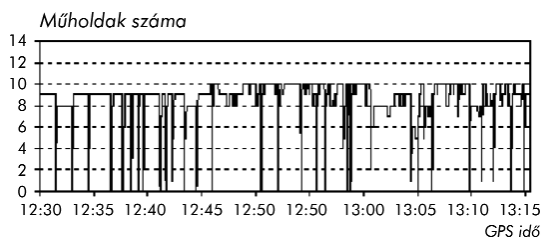


3. ábra Keresztirányú eltérés (mérés geodéziai vevővel az M3 autópályán Ludas és Budapest között 2002. március 13-án)

közötti eltéréseket kaptunk. A mérést hétköznap délután, erős forgalom mellett kb. 120 km/h sebességgel haladó (és emiatt gyakran előző) gépkocsival végeztük (az ábrán a kiemelkedések felelnek meg az előzéseknek).

A 4. ábra a mérés során észlelt műholdak számát mutatja. A navigációs vevőhöz képest lényeges különbség, hogy a műholdak száma bizonyos (meglehetősen gyakori) időpontokban a kritikus négy alá csökken. Ezek az időpontok mindig egy-egy, az autópályán átvélő műtárgy alatti áthaladáshoz köthetők. Az ábra szerint, a kinematikus mérés során egyébként zavartalan körülmények között a mozgó geodéziai vevő több alkalommal is 10 műholdra tudott méréseket végezni. Megjegyezzük, hogy a mérés ideje alatt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Általános és Felsőgeodézia Tanszék által üzemeltetett permanens állomás folyamatosan 9 műholdat észlelt, de az észlelhető műholdak száma ennél több is lehet, mert az állomás vevője 9 csatornás.

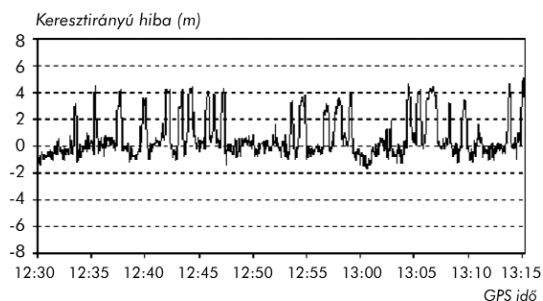
A méréseket nemcsak abszolút, hanem relatív (differenciális) helymeghatározásként is feldolgoztuk, a BME permanens állomását használva bázisállomásként. A feldolgozás során kizárólag



4. ábra Az egyidejűleg észlelt műholdak száma (mérés geodéziai vevővel az M3 autópályán Ludas és Budapest között 2002. március 13-án)

csak a kódmérési eredményeket vettük figyelembe, a fázismérési eredményeket nem. Az 5. ábrán a differenciális javítások alkalmazásával levezetett pozíciók keresztirányú hibái láthatók. Az ábrán jól felismerhetők az előzések.

A méréseket a saját fejlesztésű szoftver mellett a gyakorlatból jól ismert Trimble Geomatics Office (TGO) 1.01 változatával is feldolgoztuk. A



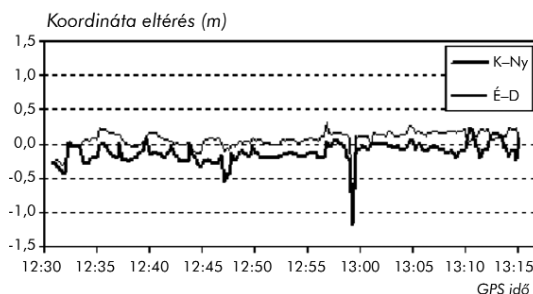
5. ábra Keresztirányú eltérés a differenciális javítások alkalmazása után (mérés geodéziai vevővel az M3 autópályán Ludas és Budapest között 2002. március 13-án)

két szoftver által meghatározott koordináták eltérése a 6. ábrán látható. Az eredmények jó egyezést mutatnak. Mivel a bázisállomáson (BME permanens állomás) a rögzítési időköz 15 másodperc, a mozgó vevőnél ugyanez 1 másodperc, ezért csak minden 15. időpont esetén van szimultán mérés, a TGO-val csak ezeket az időpontokat lehetett feldolgozni (a saját szoftverrel természetesen minden időponthoz tartozó pozíció levezethető).

Mérések városi környezetben

Az M3 autópályán ideális körülmények között végzett mérések után méréseket végeztünk a főváros területén is a következő útvonalon: Óbudai

temető–Pomázi út–Szentendrei út–Árpád híd–Róbert Károly körút–Hungária körút–Thököly út–Rákóczi út–Kossuth Lajos utca–Erzsébet híd–Budai felső rakpart–Lajos utca–Bécsi út–Óbudai temető. A méréseket a már említett geodéziai vevővel (az eredményeket most is a saját fejlesztésű szoftverrel dolgoztuk fel) és a navigációs vevővel is elvégeztük. A városi környezetben végzett mérések elsődleges célja a módszer hatékonyságának vizsgálata volt.



6. ábra A saját fejlesztésű szoftver és a TGO által számított koordináták eltérése (mérés geodéziai vevővel az M3 autópályán Ludas és Budapest között 2002. március 13-án)

A Garmin műszerrel végzett mérés pontosan 48 percig tartott. Mivel az NMEA adatokat a vevő 2 másodpercenként küldi a soros adatkimenetre, ezért összesen 1440 pozíció rögzítése volt lehetséges. A mérés során az adatrögzítő egység (Psion S5 palmtop) 1393 pozíciót rögzített; ez a teljes adatmennyiség közel 97 százaléka. Ugyanez az eredmény a geodéziai vevő esetén lényegesen szerényebb: 3113 (másodpercenként számítható) lehetséges pozícióból 1616 rögzítése volt sikeres: ez az esetek 51 százaléka. (A két mérést ugyanazon az útvonalon, de különböző időben végeztük, ebből adódik a 48 perc és a 3113 másodperc ~ 52 perc közötti eltérés.) Az M3 autópályán végzett mérések tapasztalata is azt mutatta, hogy egy-egy műtárgy alatt történő áthaladás során a geodéziai vevő elvesztette a műholdakat, míg a navigációs vevő nem. A jelenség további vizsgálatokat igényel, elképzelhető, hogy a geodéziai vevőhöz csatlakoztatott „idegen” antenna lehet a jelvesztés részbeni magyarázata. A 7. ábrán a navigációs vevő által rögzített eredmények grafikus ábrázolásának egy részlete látható digitális várostérképre illesztve a pozíciók WGS-84 > EOVSz transzformációja után. A meghatározott útvonalat vastag fekete vonal jelzi.



7. ábra Az abszolút pozíciók illeszkedése a digitális várostérképre a WGS-84 \rightarrow EOVSz transzformáció után (mérés navigációs vevővel Budapesten, 2002. március 27-én)

Összefoglalás

A korlátozott hozzáférés felfüggesztése után fokozott figyelmet érdemel az abszolút helymeghatározás pontosságának és hatékonyságának vizsgálata. A cikkben ideális és beépített városi környezetben végzett kinematikus mérések tapasztalatait mutattuk be. A mérések feldolgozásához saját fejlesztésű szoftvert is használtunk. Az eredmények legfontosabb tapasztalata, hogy ideális körülmények között a legolcsóbb navigációs vevőkkel is lehetséges abszolút értelemben néhány méter pontosságú kinematikus helymeghatározás. Városi környezetben a pontosság számszerű vizsgálatát még nem tudtuk elvégezni, de méréseink során a navigációs vevő a megtett útvonal 97 százalékában képes volt helymeghatározást végezni.

IRODALOM

1. *Busics Gy.* (1995): A globális helymeghatározó rendszer és geodéziai alkalmazása (Egyetemi doktori értekezés), Székesfehérvár, 1995; kézirat

2. *Han, S. C.–Kwon, J. H.–Jekeli, C.* (2001): Accurate absolute GPS positioning through satellite clock error estimation, *Journal of Geodesy* 75: 33–43

3. *Lovas T.–Barsi Á.–Eppel, G.* (2001): Processing of GPS measurements for navigational GIS, Presented at the "Vistas for Geodesy in the New Millennium" IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, 2–7 September 2001

4. *Parkinson, B. W.–Spilker, J. J.* (eds) (1996): *Global Positioning System: Theory and Applica-*

tions I–II. Vol. 164. Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA Washington, 1996

5. *Schwarz, K. P.–Nassar, S.* (2001): A Simple Algorithm for Bridging DGPS Outages by INS Bias Modeling, Presented at 3rd Symposium on Mobile Mapping Technology, Kairo, Egypt, 2–8 January 2001

6. *Takács B.* (2001): Műholdas helymeghatározás a korlátozott hozzáférés (SA) felfüggesztése után, *Híradástechnika*, 2001. augusztus, Vol. LVI, No. 6., pp. 3–8.

7. *Takács B.* (2002): Kinematikus GPS mérések vizsgálata (Kutatási részjelentés a T030645 számú OTKA pályázathoz), Budapest, 2002. április

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett vizsgálatok a T030645 számú OTKA pályázat támogatásával folytak, a támogatásért ezúton is köszönetet mondunk.

Experiences in kinematic GPS measurements

B. Takács
Summary

Nowadays, especially after turning off Selective Availability, there is an increasing demand on GPS based navigational systems. Accuracy and efficiency of kinematic GPS measurements in ideal and rural environment are investigated. Data were collected by navigational and geodetic receivers. First, positions calculated by the receivers were checked, then raw measurements were post processed both in absolute and relative method with an own developed software. Coordinates were compared with results processed by commercial software.