



ÚTÁLLAPOT FELMÉRÉS INTEGRÁLT MÉRŐRENDSZERREL

PhD értekezés tézisei

KERTÉSZ IMRE

Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Budapest, 2011



1 A kutatás előzményei

A mobil térképezés gyorsan fejlődő terület; az elmúlt 20 évben az automatizált felmérő rendszerek a vonalas létesítmények környezetének elsődleges felmérő technológiájává váltak, köszönhetően a hagyományos geodéziai módszereket megközelítő pontosságuknak és a nagy adatgyűjtési sebességnek, amely a térinformatikai rendszerek adatszükségleteit egyszerűen ki tudja elégíteni.

Magyarországon is célszerű lenne több mobil felmérő rendszert használni, különösen a közúthálózat felméréséhez. Az úthálózat általános állapota az elmúlt néhány évtized alatt jelentősen romlott az elmaradt felújítások miatt. Az úthálózaton a forgalmi terhelés az utóbbi időszakban emelkedő tendenciát mutat, ezért szükség lenne a gyors beavatkozásra a további romlás elkerülésére. Ehhez egyrészt pénzre, másrészt naprakész nyilvántartásra van szükség. A nyilvántartási adatokat automatizált felmérő rendszerekkel rövid időn belül elő lehet állítani, azonban ezen eszközök beszerzése több százmilliós költséget is jelenthet, ami a szűkös pénzügyi erőforrások miatt nem áll az üzemeltető vállalatok rendelkezésére. Ezért Magyarországon, vállalati tulajdonban nincsenek ilyen típusú eszközök, csak bérlet során kerülnek az országba. A Magyar Közút Nonprofit Zrt. (az állami közutak kezeléséért felelős), burkolat felmérésre a svéd RST rendszert bérlti.

Ezen a helyzeten változtatni lehetne azzal, hogy Magyarországon fejlesztenek a hazai igényeknek (alacsony beszerzési és fenntartási költség) megfelelő felmérő járműveket. Doktori értekezésemben a probléma egy részére megoldást kínáló eszközöket és módszereket, valamint a velük elért eredményeket ismertetem. A bemutatott eszközök megfelelnek a fentebb említett követelményeknek, felépítésük egyszerű, kevés komponensből állnak, működtetési költségük alacsony.

2 A vizsgálatok célja

Az úthálózat üzemeltetéshez ismerni kell a hálózat aktuális állapotát, valamint azt, hogy a leromlási folyamat a burkolat élettartamát figyelembe véve hol tart. Ehhez rendszeres felméréseket kell végezni. Nagy mennyiségű adat gyűjtése esetén, azonos adatmennyiséget feltételezve az automatizált rendszereknek nincs alternatívája. Céлом az útburkolat bizonyos állapotjellemzőinek automatikus meghatározására alkalmas módszerek kidolgozása volt. A feladatot két különböző technológia segítségével végeztem

el, optikai és inerciális szenzorokkal. Ezen kívül a mobil térképező rendszerben csak GNSS vevővel végzett helymeghatározás lehetőségeinek elérhető árkategóriába tartozó inerciális szenzorokkal való javítására végeztem kísérleti méréseket.

3 A vizsgálatok módszerei

A kutatás első lépéseként megvizsgáltam több kereskedelmi forgalomban elérhető és kutatási célból készült rendszert, melyek tapasztalatait a későbbi fejlesztések során szeretném felhasználni. Megvizsgáltam, hogy a rendszerek az egyes feladattípusok elvégzésére milyen fajta szenzorokat használnak és azt tapasztaltam, hogy bizonyos feladattípusokhoz, hasonló pontosság mellett többféle szenzor is megfelelő (pl. az útpálya környezetének felmérésére lézerszkennerek vagy több kamerából álló rendszer). A megvizsgált útburkolat felmérő rendszereknél azt tapasztaltam, hogy bonyolultabb felépítésűek, mint az általános feladatokra alkalmas rendszerek, mert több szenzortípust (lézer, optikai stb.) használnak egyszerre az útpálya jellemzőinek meghatározásához (pálya geometria, hossz- és keresztirányú profil, mikro- és makrotextúra, repedés felismerés stb.)

Az útburkolat felméréssel nyert adatokat a burkolat leromlási folyamatának meghatározásához, valamint a javítási, karbantartási és felújítási feladatok megfelelő időzítésére és a költségek becslésére használják. A burkolat romlását csak akkor lehet megfelelően követni, ha az adatokat rendszerbe szervezzük. Az úthálózat üzemeltetésre útburkolat-gazdálkodási rendszert használnak, amelynek segítségével a leromlási folyamat az egész hálózatra nézve nyomon követhető.

Az útburkolat-gazdálkodási rendszerek adatbankban tárolják a mért útburkolat jellemzőket. Az adatbank naprakész állapotát a rendszeres felmérésekkel lehet biztosítani. Az útburkolat általános állapotáról gyorsan nyújt információt a nemzetközi érdességi index (*International Roughness Index*, IRI), az index meghatározásához csak egy hosszirányú profil mérésére van szükség.

A PHORMS (*PHOtogrammetric Road Measurement System*, fotogrammetriai útfelmérő rendszer) rendszerrel hosszirányú és keresztirányú profilméréseket végeztem, amelyek segítségével az IRI mérőszámhoz hasonló BEI (Burkolat Egyenetlenségi Index) mérőszámot

határoztam meg. Budapest úthálózatán végeztem a tesztméréseket, melynek során az egyes útszakaszokat minősítettem a BEI érték meghatározásával.

A PHORMS rendszernek vannak hátrányos tulajdonságai (pl. az alacsony mérési frekvencia), melyek kiküszöbölésére új útburkolat felmérési módszert dolgoztam ki, mellyel a hossz- és keresztirányú profil meghatározás egyszerűbbé válik. Kisméretű tárgyak segítségével vizsgáltam, hogy a módszer alkalmas-e a burkolat profiljának meghatározásra, valamint meghatároztam – adott kamera és felvételi geometria esetén – az elérhető pontosságot. A modell geometriai felépítése egyszerű, kevés paraméterrel leírható. A módszer tényleges alkalmazása előtt megvizsgáltam, hogy a paraméterek változása (pl. a felmérő rendszer mozgása esetén) milyen hatással van a meghatározott profilokra. Ezzel az új, egykamerás módszerrel a mért keresztirányú profilok több ponttal jellemezhetők, mert az útburkolat felmérése, ellentétben az elterjedtebb rendszerekkel, nem pont, hanem vonallézerrel történik. A vonallézer világítja meg a felméréndő profilt, amiről felvétel készül, így a profil részletessége a felvételezéshez használt kamera vízszintes felbontásától nagymértékben függ.

A járművek haladása során az útburkolati hibák legnagyobb hatással a kocsiszekrény függőleges irányú mozgására vannak. Ha inerciális műszert erősítünk a járműre a függőleges gyorsulás komponensét vizsgálva az utazási komfortról kaphatunk információt. Minél rosszabb az útburkolat minősége (kátyú, süllyedés, repedés stb. miatt) annál nagyobb lesz a kocsiszekrény függőleges mozgása. A függőleges irányú gyorsulásérték segítségével a különböző burkolattípusok megkülönböztetésének lehetőségét vizsgáltam. A nyers gyorsulásértékek és az abból levezethető BEI index a különböző minőségű burkolattípusok egyszerű megkülönböztetését teszi lehetővé.

A mobil felmérő rendszerek használata során nagyon fontos a használt szenzorok pontos helyének és helyzetének ismerete. Ezért a helymeghatározó rendszernek egyrészt minél pontosabb koordinátákat kell szolgáltatnia, másrészt a működési frekvenciájának elegendőnek kell lennie a nagy adatmennyiséget rögzítő rendszerekkel (pl. lézerszkennerek) történő együttes használathoz. Megvizsgáltam, hogy MEMS (*Micro Electro Mechanical System*, mikroelektro-mechanikai rendszer) szenzort tartalmazó inerciális műszerekkel milyen helymeghatározási pontosság érhető el. Kálmán-szűrő alkalmazásával épületen

belül végeztem helymeghatározási kísérleteket, mert ott a forgalom és az időjárás zavaró hatása kiküszöbölhető. Az eredmények azt mutatják, hogy még a legegyszerűbb modell alapján működő szűrővel is elegendő pontosságot lehet biztosítani bizonyos feladatokhoz.

4 Új tudományos eredmények

[1] Rendszereztem és átfogóan elemeztem a közúti mobil térképező megoldásokat.

A mobil térképezés fejlődése az utóbbi 5-10 évben felgyorsult, köszönhetően a nagy, térképezéssel foglalkozó cégeknek. Számos, különböző feladatra alkalmas rendszer készült, melyek hasonló alapelvek szerint működnek. Egy új rendszer fejlesztése esetén fontos a korábbi megoldások ismerete. A teljesség igénye nélkül összegyűjtöttem, és csoportosítottam az ismertebb gépjármű alapú mobil térképező rendszereket.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [3]

[2] Módszert dolgoztam ki egyenetlenségi útállapot jellemző meghatározására.

A közúthálózat állapotának felmérésére a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott *International Roughness Index* (IRI) analógiájára kidolgoztam a Burkolat Egyenetlenségi Index (BEI) mérőszámot, melyet a Fővárosi Közterület-fenntartó Zrt. a kifejlesztett PHORMS rendszerrel már több, mint 800 km útszakaszra meghatározott. A BEI a meghatározás elvét tekintve hasonló az IRI egyenetlenségi mutatóhoz, azonban kevésbé részletes hosszirányú profilmérés adataiból is meghatározható.

A tézis alapjául szolgáló publikációk:[3], [6], [7]

[3] Profil alapú optikai mérési elv felhasználásával útállapot felmérésre használható felületmodellező megoldást dolgoztam ki.

Lézer vonalprojektor és digitális kamera felhasználásával megvalósítható a profil alapú objektum-mérés, majd a profilok és objektumok relatív mozgásával a kamera által érzékelt felület teljes körűen leképezhető és – utólagos feldolgozással – rekonstruálható. Profilmérő technikát dolgoztam ki, melynek használatával egy tárgy tetszőleges profilpontjainak a kamera rendszerében értelmezett magassága meghatározható, több profil rögzítése esetén a tárgy felülete rekonstruálható.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [5], [9], [11]

[4] Inerciális mérőegység segítségével útburkolat jellemzőket határoztam meg.

Az útburkolat állapotának, egyenetlenségének jellemzésére a mérőjármű fedélzetén elhelyezett inerciális mérőegység (IMU) mérései is alkalmasak. Az IMU három egymásra merőleges tengely mentén képes gyorsulást és szögelfordulást mérni, melyek közül a függőleges tengely mentén mért gyorsulás-komponensnek és a burkolat állapotának, valamint anyagának erős korrelációját mutattam ki. A mért gyorsulások alapján az útpálya objektív minősítése elvégezhető.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [2], [3], [4]

[5] Módszert dolgoztam ki inerciális mérések navigációs alkalmazására.

Az inerciális mérőegység méréseire támaszkodva matematikai módszerek (pl. Kálmán-szűrő) segítségével elvégezhető a helymeghatározás. Épületen belül végzett mérésekkel igazoltam, hogy belépő szintű inerciális műszer és egyszerű Kálmán-szűrő használatával a nem szélső pontosságot igénylő mobil térképező rendszer relatív helymeghatározása síkon megoldható.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [1], [8], [10]

5 A tézispontokhoz kapcsolódó publikációk

[1] Barsi Á. - Lovas T. - Kertész I. (2006): The Potential of Low-End IMUs for Mobile Mapping Systems. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING XXXVI:(1/A+B) pp. 1-4.

[2] Kertész I. (2006): GPS/INS-mérések térinformatikai elemzése, TÉRINFORMATIKA XVIII:(7) pp. 11-12.

[3] Kertész I. - Barsi Á. (2007): Inerciális mérések mobil térképező rendszerben, GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK X: pp. 89-98.

[4] Kertész I. - Lovas T. - Barsi Á. (2007): Measurement of road roughness by low-cost photogrammetric system. In: 5th Symposium on Mobile Mapping Technology. Padova, Olaszország, 2007.05.29-2007.05.31. pp. 1-4.

[5] Lovas T. - Kertész I. - Fi I. - Barsi Á. (2007): New Concept of Profile Based Pavement Measurement System. In: Proc. ASPRS ANNUAL CONFERENCE. Tampa, USA, 2007.05.07-2007.05.11. pp. 1-7.

[6] Kertész I. - Lovas T. - Barsi Á. (2008): Photogrammetric pavement detection system. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING XXXVII:(B5) pp. 897-902.

- [7] Kertész I. - Lovas T. - Barsi Á. (2009): Úthálózat felmérése Budapesten kamerás mobil térképező rendszerrel. GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XII: pp. 301-307.
- [8] Kertész I. - Barsi Á. (2010): Kül- és beltéri navigáció támogatása inerciális mérőeszközzel. AZ ELMÉLET ÉS A GYAKORLAT TALÁLKOZÁSA A TÉRINFORMATIKÁBAN. Debrecen, Magyarország, 2010.06.10-2010.06.11. Debrecen: REXPO, pp. 257-264.(ISBN: 978-963-06-9341-7)
- [9] Kertész I. - Barsi Á. (2010): Tárgyrekonstrukció egy kamera és lézer segítségével, GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XIII/1: pp. 51-57.
- [10] Barsi Á. - Berényi A. - Kertész I. – Lovas T. (2011): Modular MEMS-based Indoor Positioning, 7TH SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, Krakkó, Lengyelország, 2011.06.13-2011.06.16. pp. 1-4.
- [11] Kertész I. - Barsi Á. (2011): Egykamerás objektum-rekonstrukció új módszere, GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA (megjelenés alatt)