

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

**Térinformatikai módszerek
és technológiák
a felszíni közúti közlekedésben**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

BARSI ÁRPÁD

BUDAPEST

2019

Tartalomjegyzék

I. Bevezetés.....	3
II. A tudományos kutatás célkitűzései	4
III. Módszerek	6
A. Adatnyerés.....	6
1. Kamera alapú adatnyerés	6
2. Pontfelhő alapú adatnyerés	8
3. Egyéb adatnyerés.....	10
B. Adattárolás és kezelés.....	11
C. Adatelemzés	12
1. A fotogrammetria és távérzékelés eljárásai.....	12
2. Digitális képfeldolgozási módszerek	14
3. A lézerszkennelés elemző eljárásai.....	15
4. Kommunikációs technológiákra épülő módszerek.....	16
5. Mesterséges intelligencia-módszerek	18
D. Adatmegjelenítés	20
IV. A tudományos eredmények	22
A. Úthálózati elemek térképezése	22
B. Az útpálya jellemzőinek mérése és térképezése	22
C. Az úthálózat környezeti elemeinek térképezése.....	23
D. Közlekedő objektumok távérzékelése és térinformatikája.....	24
V. Az eredmények alkalmazása	24
VI. Irodalom	26
VII. A téziseket alátámasztó publikációk	26
VIII. A kutatómunka témaköréből készült további saját publikációk	31

I. Bevezetés

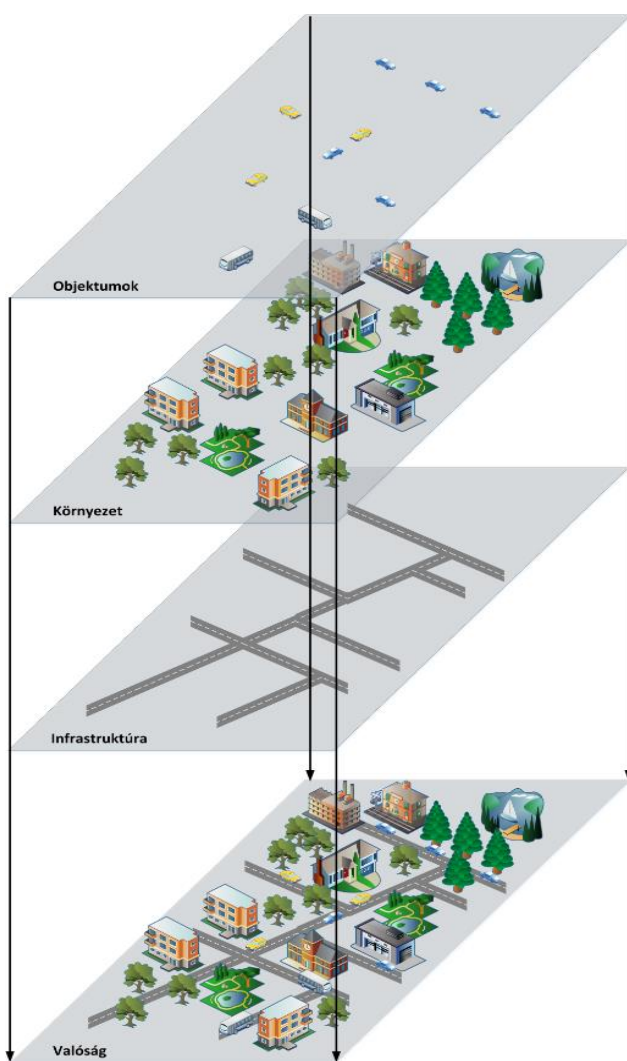
Magyarország országos közúthálózatának teljes hossza 32 006 km, amiből 8 917 km főhálózati út. A 2018-ban így nyilvántartott hálózatból 2 335 km az európai úthálózatnak is része. 1 474 km hosszon keresztül autópályák és autóutak húzódnak, míg további 174 578 km hosszú szakaszokon a helyi közutak. Egy 2005-ös adat szerint a nemzeti vagyonban 12 000 milliárd forint értéket képviselt az úthálózat [1], [2]. A statisztikák 36 ezer közlekedési és szállítási vállalkozást tartanak nyilván, amik 2 038 milliárd forint bruttó hozzáadott értéket termeltek az elmúlt évben. Az előző évhez képest 4.7 %-al megnövekedett, s így már 4.2 millió darab közúti gépjármű jelentős gazdasági tétel [3]. Érezhetően rendkívüli jelentősége van tehát az utaknak, közlekedésnek az ország szempontjából.

A térinformatika a tér tudománya, ami alappillérként a földtudományokra és az informatikára támaszkodik. A felmérési, helymeghatározási és ábrázolási módszerekkel, valamint a számítógépes technológiákkal együtt azt tűzte ki feladatául, hogy a megfelelő mennyiségű és minőségű adat begyűjtését követően alkalmas módon tárolja és kezelje azt, majd különféle elemzési megoldások felhasználásával új információt vezessen le, állítson elő és tegye azt megfelelő módon láthatóvá [4]. A térinformatika így – fogalmazhatjuk meg – értéknövelt szolgáltatásaival és termékeivel igyekszik szolgálni a megrendelőit.

Az Amerikai Egyesült Államok minden tagállamában működik egy közlekedési minisztérium. Ezen szervezeteknek a bevonásával 2016-ban végeztek egy felmérést a térinformatika használatáról, körülményeiről, helyzetéről. A kapott eredmények szerint 71 %-uknál minősített térinformatikus dolgozik, sőt 67 %-ban önálló térinformatikai csoport is létezik. Elsődlegesen helymeghatározási feladatokat, technológiai támogatást és alaptérképek elkészítését végzik. Legfontosabb szerepként a tervezést és az információszolgáltatást jelölték meg a válaszadók. A felmérést végző szervezetet *Geographic Information System for Transportation* néven lehet megtalálni, magyarra **közlekedési térinformatika** kifejezéssel fordíthatnánk [5].

A térinformatika a földrajzi valóság objektumainak, a közlekedési térinformatika pedig a közlekedéssel kapcsolatba hozható objektumoknak és azok jelenségeinek információival foglalkozik, azaz helyhez köthető közlekedés-szállítás vonatkozású információkat gyűjt, tárol és elemez. Gyakran modellt alkot, amely a jelenségek és objektumok leírásában, kezelésében nélkülözhetetlen, eredményül térképet, adatbázist vagy más ismeretet, tudást nyerhetünk ki [6].

II. A tudományos kutatás célkitűzései



1. ábra: A közlekedési térinformatika három vizsgált szintje: az infrastruktúra, a környezet és a közlekedő objektumok

A közlekedési térinformatika így magáénak vallja a közlekedés, szállítás, valamint a térinformatika területének feladatait, problémáit, ugyanakkor eszközeit és lehetőségeit is. Tudományos munkám elemi alapja ezért megkerülhetetlen módon mindkét terület részletes megismerése volt. A kutatásban ezután feltártam azokat a lehetőségeket, ahol a két diszciplína metszésbe hozható, ahol a tudománynak a jelen ismeretei szerint jobbítási lehetőségei mutatkoznak. Ezek a felismert témakörök a következők:

- a térinformatikai elemzési eszközök használata, alapvetően a megközelítési mód miatt a gráfok alkalmazási lehetőségei,

- a fotogrammetria egy- és többképes eljárásainak, valamint a távérzékelési módszerek kutatása, képalapú adatnyerési technológiák kidolgozása és közlekedési hasznosítása,
- intenzív tudományos kutatás a digitális képfeldolgozás témakörében, főként műholdas és földi platformokról nyert kamerafelvételek kiértékelése kapcsán,
- a légi, földi, mobil lézerszkennelés lehetőségeinek felderítése, a technológia igazítása a közlekedési igényekhez, továbbá hatékony alkalmazások fejlesztése,
- járműnavigációs és járműfedélzeti mérési eszközök, alkalmazások és rendszerek elvi, majd gyakorlati implementálása,
- a mesterséges intelligencia potenciáljának feltérképezése a fenti feladatok során, a távérzékelés és térinformatika közlekedés-orientált módszertanainak kibővítése, jelenlegi megoldásainak javítása.

A tudományos kutatásom és a belőle szintetizált értekezésem egyik alapvetését a NASA, az amerikai Szövetségi Közlekedési Minisztérium és több neves egyetem (pl. *The Ohio State University*, *University of California Santa Barbara*) részvételével életre hívott konzorcium, a *National Consortium for Remote Sensing in Transportation* (NCRST) központi gondolatából vettem [7].

Az NCRST a lehetséges közlekedés-orientált távérzékelési fejlesztéseket és tudományos kutatásokat az alábbi négy területre osztotta: infrastruktúra (*Infrastructure*), környezet (*Environment*), forgalom (*Flow*) és vészhelyzet (*Emergency*).

Értekezésem ezek szerint a rendező elvek szerint tartalmazza a kutatásokat az utolsó vészhelyzeti rész kivételével, ahol nem folytattam vizsgálatokat. A fontosabb fejezetek az úthálózat elemeinek térképezése és az útpálya jellemzőinek mérése, a környezeti elemek térképezése, végül a közlekedő járművek és gyalogosok távérzékelése és térinformatikája (1. ábra).

III. Módszerek

A kutatásban alkalmazott módszereket a térinformatika, mint informatikai megközelítés filozófiájának csoportosítása szerint ismertetem. Az informatikai rendszerek funkcionális négyese az adatnyerés, tárolás, elemzés (analízis) és megjelenítés (vizualizáció).

A. Adatnyerés

1. Kamera alapú adatnyerés

A közlekedési adatnyerési lehetőségek legáltalánosabb eszközének a kamerákat lehet tekinteni. Kamerák segítségével nagymennyiségű és kiváló felbontású kép rögzíthető a mesterséges holdakról és repülőgépről kiterjedt területek esetében. Kisebb léptékben például városrészek felmérésekor a drónok (UAV-k) fedélzetére erősített kamerákkal lehet alkalmas módon adatot nyerni, míg a felszínen földi mérőkamerákkal, speciális, például forgalomfigyelő kamerákkal vagy akár akciókamerákkal tudunk felvételekhez jutni. A kutatásomban igyekeztem ennek a széles spektrumnak mindegyik aspektusát megismerni, tanulmányozni.

A nagy kiterjedésű területekre a látható és az infravörös hullámhossz-tartományban készült műholdképeket vettem kiindulási adatnak. A Budapestről készült közepes felbontású műholdas Landsat Thematic Mapper képén a környezetet statisztikai részletességgel biztosító felszínborítottságot vizsgáltam [T22], míg Maglód településen nagyfelbontású (Quickbird) felvételekből úthálózatot elemeztem [T5]. Járműdetektálás céljából szintén Budapest közelében az M3-as autópályáról készített Quickbird felvételt használtam.

A repülőgépről készített légifényképek, majd az azokból levezetett ortofofók alkalmasak az egyes útszakaszok lehatárolására és abból hálózat építésére [T2], közlekedési csomópontok felismerésére [T3] és topológiai tanulmányozására, de akár a mesterséges holdakon alapuló helymeghatározás

problémás helyeinek ellenőrzésére, amikor egyszerűsített városmodell segítségével az égbolt láthatóságáról van szükség információra [T26]. A pilóta nélküli repülő (drónok vagy UAV-k) kisebb területekre képesek hatékonyan, gyorsan és kellő geometriai részletességgel adatot biztosítani [T28]. Segítségükkel városmodellek állíthatók elő, ahogy például a BME kampuszáról készült felmérés is ezt illusztrálja (2. ábra).



2. ábra: Pilóta nélküli repülőgépes rendszerrel (UAS) végzett felmérésből származó textúrázott felszínmodell a BME történelmi kampuszáról

A földi fotogrammetria, azaz a felszínről vagy annak közeléből készített felvételek lehetnek sztereo-elrendezésben vagy önálló képenként. Sztereokamerás műszeregyüttes elhelyezhető mozgó mérőjármű fedélzetén, megteremtve a nagy hatékonyságú út- és környezetfelmérés, az ún. mobil térképezés eszközt. A tanszékünkön irányításommal fejlesztett PHORMS-rendszer [T14] ilyen elvet követve Budapest úthálózatában például útpálya-jellemzők meghatározásában, ezáltal a burkolati folyamatok, az útállapot leromlásának nyomon követésében és a felújítások tervezésében nyújt segítséget [T11]. Továbbfejlesztése, a PHORMS2 rendszer monokamerás változatban egyszerűbb és robusztusabb kialakítással működik [T17]. A mozgásban lévő járművek fedélzetére erősített kamerák képeiből utólagosan vizuális odometriával helymeghatározást végeztem [T30]. A vizsgálattal az volt a célom, hogy a kamerák univerzális használhatóságára legyen bizonyíték. A gyalogosok viselkedési mintáinak megmutatása szintén mozgóképsor kiértékelésével könnyen lehetséges. Ehhez rögzíteni kell

egy kamerát a megfigyelendő területre, esetemben a kampusz udvarával határos épület ablakába, ahonnan készített képsor kiértékelése az egyes gyalogosok időpontról időpontra történő haladásáról ad felvilágosítást, végső soron trajektóriáik állapíthatók meg egyénenként [T43]. A teljes gyalogos populáció összes trajektóriájából a vonulási utak részletei tárulnak elénk.

2. Pontfelhő alapú adatnyerés

A távérzékelésben gyorsan fejlődő technológiának számít a lézerszkennelés. A Lidar-nak is nevezett eljárásban a műszer változatos platformokra erősíthető, ezáltal a közlekedés számára információt jelentő elemek (infrastruktúra, környezet vagy maguk a közlekedők) figyelhetők meg és gyűjthető ilyen típusú leíró adat. Attól függően, hogy milyen elrendezésben helyezzük el a szkennert, megkülönböztetünk légi, földi és mobil lézerszkennelést.

A repülőgépes Lidar-megoldások a klasszikus geometriai adatgyűjtésen túl kifejezetten a közlekedés számára is jól használhatók. A felszínborítottság megállapítása diszkrét és teljes hullámalakos berendezésekkel történhet [T23], ezekkel az eszközökkel a környezeti adatokon túl maguk a felvétel idején megfigyelhető járművek is detektálhatók.

A földi lézerszkennelés felszíni aktív távérzékelési technológia. Segítségével a műszer körül 3D-s pontfelhő és színes fényképek készíthetők, majd a feldolgozás során a képek pixeljeinek felhasználásával a pontfelhő pontjai színezhetők, így fotorealisztikus megjelenítés és további elemzések válnak elérhetővé. Klasszikus geometriai adatgyűjtésnek számít például a híd-mérés [S10][S13], de jól használható a közlekedés biztonságának megítélésében a csomópontok vagy más kritikus helyek beláthatósági vizsgálatában [T31]. Az extrém részletesség kihasználásában a közlekedés jelentkezik: a földi lézerszkennelés akár mm közeli pontsűrűségével az útpálya felületé-

ről cm-es felbontású, például az OpenCRG-szabványnak megfelelő felületmodell állítható elő [T20]. Ilyen adatot a járművek viselkedésének tesztelői, a járműelemek tervezői használnak szimulációs rendszereikben. Emellett a pontfelhő (szemi)automatikus vagy manuális szegmentálásával tematikus információ nyerhető ki [T19]. Ezzel a lehetőséggel a környezet foglaltsági (*occupancy*) információi vezethetők le, vagy sáv-szintű útleírás és modell készíthető [T29].

A mozgó jármű-platformra helyezett lézerszkennelést mobil lézerszkennelésnek, vagy mobil térképezésnek hívjuk. Ennek a technológiának köszönhetően nagy területek, nagyobb terjedelmű úthálózatok mérhetők fel rövid terepi munkával. A gyűjtött óriási adatmennyiség részletes nyilvántartási rendszereket, városmodellezőket és közlekedési döntéshozókat szolgál ki. A városmodellek kapcsán a környezeti és infrastruktúra-elemek leírása, azok hatékony tárolási és hozzáférési modelljének kidolgozása vet fel tudományos érdeklődésre számot tartó kérdéseket.

A lézerszkennerek közül a profilszkennerek különleges szerepet töltenek be. A szokásos ipari felhasználáson túl kifejezetten a közlekedés számára előnyösen lehet használni, mivel egy vizsgált keresztmetszet és az azon történő áthaladások folyamatos megfigyelésére kínál lehetőséget. Ilyen típusú vizsgálatot végeztem híd alatt elhaladó járművekkel, illetve beltérben, folyosón közlekedő gyalogosokkal [T43][S20].

A flash-Lidar eszközök működése azon alapszik, hogy egy infravörös mintát felvillantva megvilágítják a tárgyakat, majd a mélység változékonysága miatt bekövetkezett mintázat-változást kihasználva háromszögeléssel meghatározzák a tárgytér mélységeit. Eredményül egy mátrixba rendezett távolságkép keletkezik, amit a mátrix celláinak irányában érzékelt távolságként értelmezve a feldolgozás során gyakran pontfelhő formátumban kezelnek. Az eszközt eredetileg beltéri használatra tervezték; kis hatótávolsága ellenére részletes információkkal képes szolgálni. Az épületekben

mozgó emberek megfigyelésére ezzel a berendezéssel megfigyelő rendszerhez jutunk, ami állandósított műszerként folyamatos méréseket rögzítve a gyalogosok haladó mozgásának térbeli követésére alkalmas [T43].

3. Egyéb adatnyerés

A közlekedésben az egyik leggyakrabban használt mérés technika a műholdas helymeghatározás. A GNSS-rendszerben végzett megfigyelések révén megfelelő matematikai apparátussal a műszer helyét meg lehet határozni. A különböző mérési módszerek, használt frekvenciák és csatornák szerint számos mód közül lehet választani. A pozíció felhasználható a navigáció folyamatában; ez kiforrott, inkább kereskedelmi megoldás. A felmérések során szintén gyakran támaszkodnak ilyen technológiára, azonban a jelvesztés vagy kedvezőtlen pontosságot eredményező műhold-konfiguráció hátrányainak csökkentésére inerciális mérőegységgel egészítik ki a pozícionáló rendszert. Az így fejlesztett GNSS/IMU megoldás a mobil térképezésben alapfelszereltségnek számít, gyakran még egy további független mérőkomponenssel, a kerékfordulatszám mérésére való odométerrel együtt. Az infrastruktúra felmérésére fejlesztett térképező rendszerünk, a PHORMS is rendelkezik ilyen pozícionáló egységgel. Érdekes kutatást jelentett továbbá az is, hogy az önmagában elvégzett gyorsulás- és szögváltozás-mérések, amelyek az inerciális egység nyers mérési eredményei, az útburkolat minőségével, annak egyenetlenségtől, de típusától is függően változó értékeket mutat [S6]. Ezzel a vizsgálattal tanulmányoztuk, hogy milyen technológiával lehetséges inerciális mérésekből a burkolattípusra következtetéseket tenni [T15].

A beléptető- és áruházi lopásgátló rendszerekben széles körben használt rádiófrekvenciás azonosító címkék (RFID-tag-ek) nagyobb hatótávolságból elvégezhető olvasása már a közlekedés számára is eszközt jelent. A passzív címkék mellett aktív kivitelűeket is forgalmaznak, amelyek nemcsak az olvasó antenna jelének felhasználásával jutnak a válaszoláshoz szükséges energiához, hanem saját tápellátásuk révén a vett jelet erősíteni,

kiegészíteni és visszasugározni képesek – megnövelt, tapasztalatom szerint akár 100 m távolságra is. Ennek a műszaki megoldásnak a közlekedésben történő alkalmazása munkahipotézist képezett [T41][T42][S23].

B. Adattárolás és kezelés

A közlekedési térinformatikai kutatásaimban elsősorban a térinformatikai rendszerek (GIS) szabványos adatrepresentációira támaszkodtam. Ezek a pontból, vonalból, vonalláncból és poligonból álló vektoros modell, valamint a szabályos rácsként felfogható raszteres modell. Bizonyos rendszerekben a nagyobb rugalmasság érdekében mindkét megoldás, adott esetben ötvözött, ún. hibrid adatmodellje is elérhető. Munkám folyamán a legtöbb elemzési fázisban ezeket a modelleket alapnak tekintettem.

A hálózatszerű adattartalom analízisében a térinformatikai realizációk is használják a gráfos megközelítést. A gráfelméletben kidolgozott eljárások, például a legrövidebb út algoritmus a kézenfekvő a közlekedési alkalmazásokban. Ezekkel a gráfokra épülő lehetőségekkel szintén éltem a kutatás során.

A környezet leírására a napjainkban elterjedt térinformatikai rendszerekben szinte kizárólag kétdimenziós (2D) megoldással lehet találkozni. A felszínborítottsági adatok tárolására, valamint az úthálózat geometriai leírására ez a dimenziószám alkalmas, bár a pontosabb valóság-visszaadás igényli a magasság ekvivalens bevonását is. Az egydimenziós (1D) felfogható domborzatmodellek függetlenül jelennek meg a rendszerekben, emiatt az irodalom általánosan e két megoldás közös leírására a 2D+1D jelzéssel utal. Az egyre pontosabb környezeti megadásnál „igazi” 3D modellre van szükség. A CAD-rendszerekben megtalálható geometriai primitívek ugyan pontosan megadják az épületek, útpálya, utcabútorok stb. térbeli leírását, azonban használatuk nem minden elemzésben kényelmes. A pixel háromdimenziós kiterjesztése a voxel; ezeknek az elemi kockáknak az egymásra építése képezi a diszkrét tér geometriai modelljét. Nagyobb

területre is használható, ugyanakkor hatékony elérést biztosító adatmodellnek fejlesztettem a ritka-mátrix alapú voxel-reprezentációt (3. ábra) [T29].



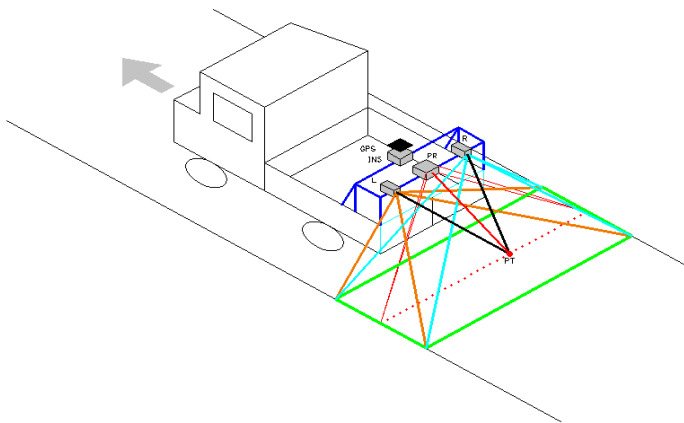
3. ábra: 100 cm, 50 cm és 10 cm terepi felbontású ritka-mátrix alapú voxelmodell a Magyar Nemzeti Múzeum épületéről végzett földi lézerszkennelés pontfelhője alapján

C. Adatelemzés

Az értéknövelt termékek, eredmények a térinformatikai rendszerek szempontjából az analízis fázisban keletkeznek. Munkám során több lényeges területet érintettem; most nagyobb csoportokat képezve kívánom a megoldásokat ismertetni.

1. A fotogrammetria és távérzékelés eljárásai

A fotogrammetriai alapösszefüggések, a centrális vetítés leírására szolgáló kollinearitási egyenletek felhasználásával ismert helyen ismert tájékozású kamerákkal térbeli, azaz 3D pontmeghatározás végezhető [10]. A kamera-



4. ábra: A PHORMS nevű fotogrammetriai elven működő útburkolati felmérő rendszer bloksémája

helyek és helyzetek külön mérőegységekkel meghatározhatók, így technológia építhető egy fotogrammetriai elvet alkalmazó felmérőrendszerre [T11][T12][T13][T14]. Ennek a fejlesztésnek az eredményeként jött létre a PHORMS mérőkörnyezet (4. ábra): a közutak állapotának objektív meghatározására irányult

kutató-fejlesztő munka a helymeghatározó komponense révén a tájékozási

paramétereket biztosítja, a kamerafelvételek alapján képfeldolgozási eljárásokkal együtt fotogrammetriai elvet követve térbeli előmetszéssel nagytömegű pontmeghatározás történik. A burkolati felszín pontjainak nagy sűrűségéből állapot- és egyenetlenségi jellemzők, repedezettségi adatok stb. vezethetők le. Egykamerás változatában újragondolt geometriai elrendezésének köszönhetően a PHORMS2 egyszerűbb eszközökkel nyújtja a felmérésben a megnövelt teljesítményt [T17].

A *Structure-from-Motion* elvet alkalmazó algoritmusok segítségével nagyszámú felvétel relatív és abszolút tájékozása valósítható meg. A külső tájékozási adatok közül a járműfedélzeti kamerák esetében vizuális odometria végezhető, vagyis a képek elkészítési helyei kiszámíthatók. A jármű koordinátarendszeréhez szorosan kötött kamerákkal így a trajektória nagy pontossággal számítható [T37].

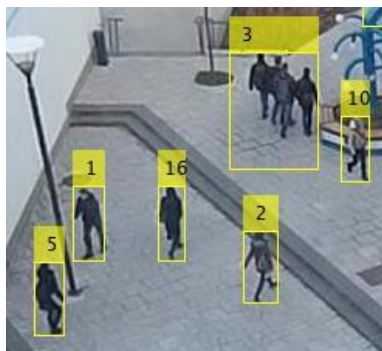
A külső tájékozási elemek birtokában hatékony pontmeghatározási eljárások sűrű pontfelhőt képesek levezetni, amelyek a felszín-, domborzat-, épület- és környezetmodellezésben nyújtanak rendkívül jól használható háttérrel. Az algoritmikus alapot ebben a munkában a *MultiView Stereo* (MVS) eljárások adják. A városmodellek ilyen elkészítésével az automatizált közlekedéshez nélkülözhetetlen környezeti adatok állíthatók elő, továbbá a közlekedés biztonsága szempontjából fontos összelátás is elemezhető. A városmodell alkalmas eszköz annak tanulmányozására is, hogy a műholdas helymeghatározás számára hogyan befolyásolja a beépített környezet a mesterséges holdak észlelését [T26].

A távérzékeléssel nyert felvételek tematikus tartalmának kinyerése hasonló módon hasznos az infrastruktúra környezetének pontos leírásában. Ennek eszköztára a képek szegmentálása és osztályozása; megoldási technológiaként statisztikai (pl. klasszikus klaszterező eljárások, így *k-means*) és neurális metódusok (pl. SOM-alapú elemzés) jönnek szóba [T22]. A felszínborítottsági térképezés akár légi lézerszkennerral előállított adathalmazból is elvégezhető [T3].

2. Digitális képfeldolgozási módszerek

A képfeldolgozás és -értés technológiai eszköztárat nyújt a digitális felvételeket eredményező adatnyerési technológiák mellé. A képfeldolgozás alacsony szintű eljárásai a képek konverzióját, minőségének javítását idézik elő. Ezek a hétköznapi eljárások szinte minden fotogrammetriai-távérzékelési megoldásban helyet kapnak. A transzformációk ezen túlmenően egyedi új ismeretek kinyerésére jelentenek megoldást, így a Radon-, valamint a Hough-transzformáció [T5][T6] az úthálózati képek elemeinek felismerésében [T3], szegmentálásában [T2], a kereszteződések geometriai jellemzőinek leírásában töltenek be fontos szerepet [T4][T9][T10].

A digitális képek tematikus tartalmának kinyeréséhez kiváló megoldásnak bizonyult a *Gaussian Mixture Model* (GMM), amelyre jármű- és gyalogosdetektálás módszere volt építhető (5. ábra) [T43].



a) gyalogosok felismerése (lehatárolása) GMM-módszerrel (képrészlet). Az előállított nyers bináris folt minimális befoglaló téglalapjai számozottak. Az (ábrán 3-as számmal jelölt) összeolvadó gyalogos csoport kezelése külön feladat.



b) gyalogos-trajektóriák előállítása az összetartozó azonosítók súlypontjainak egyesítésével

5. ábra: GMM-módszerrel végzett gyalogos-felismerés és az egyező azonosítójú gyalogosok súlypontjainak összeszerkesztésével előálló (még szűrés előtti) trajektória-kép

3. A lézerszkennelés elemző eljárásai

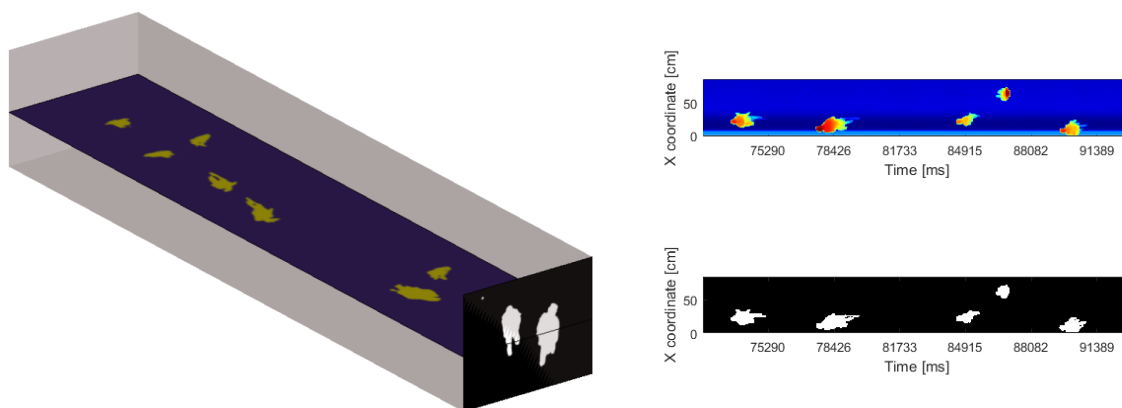
A különféle lézerszkennelési módoknak köszönhetően információgazdag, de méretében nagy adatmennyiség keletkezik. Ennek az értelmezése történhet emberi beavatkozással és számítógépes kiértékeléssel. Az emberi közreműködés bonyolult szituációkban teljesít jól; a környezeti elemek gyakran csak így térképezhetők. A szkennertől rögzített visszaverődött jelintenzitás-értékek szürkeárnyalatnak tekintett felhasználásával rövid betanítás után az útburkolat sávjainak lehatárolása, továbbá statikus foglaltsági rács (*occupancy grid*) levezetése történhet meg [T24].

A pontfelhők geometriai kiértékelése eredményezheti a terepi objektumok beazonosítását, viselkedésének tanulmányozását. Hidak terhelésvizsgálatánál folyamatában elemezhető a függesztő kábelek méretének változása [S10][S11][S12], de hasonló alkalmazási példának tekintem a közvilágítási oszlopok beazonosítását, majd a lámpák bevilágítási modelljének megfelelően az útpálya megvilágítottságának elemzését [T31]. Közlekedésbiztonság szempontjából kiemelő a kereszteződések és más lehetséges veszélyes helyek beható analízise, amelynek során a járművek számára akadályt jelentő építmények és növényzet hatása mutatható ki pontos geometriai jellemzőkkel.

Külön foglalkoztam az útpálya felületének lézerszkenneléssel végzett felmérésével, amelyből ma még különlegesnek számító alkalmazásként mikroszintű modell is előállítható. Ilyen modell a szimulációkban hasznosítható *Curved Regular Grid* (CRG) reprezentáció, melyet pl. az OpenCRG szabvány támogat [8]. A szabályos görbült rács magasságainak feltöltése hatékonyan végezhető el lézerszkenneléssel nyert adatokból, ugyanakkor ennek a módszernek a használatával valóság-hű szimulációs környezet hozható létre [T19][T20].

A lézerszkennelt pontfelhők klasszikus felhasználása folyamán új eszköz is kidolgozásra került. A gyalogosdetektálás eljárásában rögzített helyen működő profilszkennert adataira térbeli-időbeli dimenziót ötvöző ese-

ménymező, raszteres történeti kép definiálható (6. ábra). A háromdimenziós adatkockának felfogott történeti kép két hosszúság és egy idő jellegű tengellyel reprezentálja a közlekedési folyamatot. A két hosszúság-dimenzió egy teljes profilsíknak feleltethető meg, amely az időtengelyen egyetlen pont. Az azonos térbeli koordinátájú pontban az ott tapasztalt jelenség időbelisége vizsgálható [T43][T44][S20].



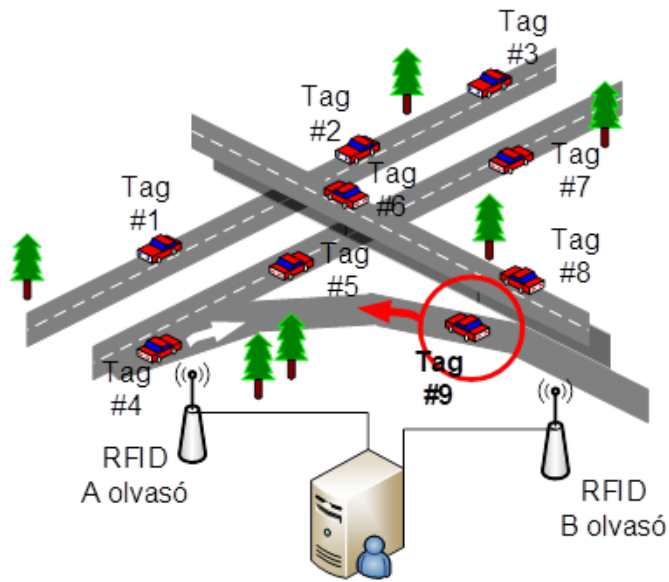
a) a teljes háromdimenziós történeti kép, mint térbeli-időbeli adatkocka

b) egy térbeli és egy időbeli tengely mentén vizsgálható közlekedési folyamat ábrája

6. ábra: Térbeli-időbeli dimenziókat tartalmazó közlekedési adatkocka, amelynek profilmódú lézerszkenneléssel egyszerűen előállítható

4. Kommunikációs technológiákra épülő módszerek

A műszaki területeken számos kommunikációs lehetőséget felhasználó eljárással találkozhatunk. A közlekedésben a legismertebb ide tartozó megoldás a műholdas helymeghatározás családja, azaz a Földet körülvéő pályákon keringő mesterséges holdak folyamatos jelsugárzását fogadni képes



7. ábra: Forgalommal szembehajtó jármű észlelésére kifejlesztett RFID-alapú rendszer

vevők meghatározzák a jel által megtett utat, a kommunikáció révén a műholdak pozícióit fogadva ebből az adatrendszerből számítják a vevőberendezés pozícióját. Mivel elterjedt módszerről van szó, a kutatásomban eszközként tekintettem rá.

A rádiófrekvenciás azonosítás (RFID) technológiája – nevével összhangban – azonosításra szolgál [9]. A közlekedés biztonságosságának fejlesztése ér-

dekében ezért a tudományos kutatómunka fókuszában az állt, hogy milyen módon alkalmas ez a módszer. Kétféle konfigurációban üzemeltethető az RFID-rendszer. Az első esetében az azonosító címkék (tag-ek) rögzítettek és az azokat olvasó berendezés mozog. Ilyen konfiguráció alkalmas például járműre szerelt antenna számára a veszélyes helyeket (*black spot*-okat) előre jelezni és a járművezetőt körültekintésre felszólítani [T39]. A másik konfigurációban az olvasók rögzítettek, a címkék pedig a közlekedésben részt vevő járművekkel együtt mozognak. Az egyszerű azonosító olvasásával a járművek jelenléte, több antenna által végzett leolvasás után a haladás iránya is megállapítható. Ez az ötlet a forgalommal szemben haladó rendkívül veszélyes járművek (*ghost driver*) gyors és automatikus észlelésére alkalmas (7. ábra) [T40]. Többantennás rendszerrel teljes forgalmi helyzeteket, közlekedési csomópontokat lehet monitoring célból felszerelni [S23]. A címkék ezen túlmenően információk hordozására is képesek, így távolról olvasható elektronikus forgalmi engedélyként (és rendszámként) is alkalmazhatók [T41][T42]. Beléptetésre, megfigyelésre normál haladási sebesség mellett, akár autópályán magyar sebességhatárokon belül is alkalmasak.

5. Mesterséges intelligencia-módszerek

A közlekedési térinformatikai kutatásom legjelentősebb módszertani csoportja a mesterséges intelligencia eszközeinek alkalmazása és alapvető fejlesztése. A mesterséges intelligencia igen szerteágazó világából a következő rendszerek, az evolúciós eljárások és a gépi tanulás területeire figyeltem.

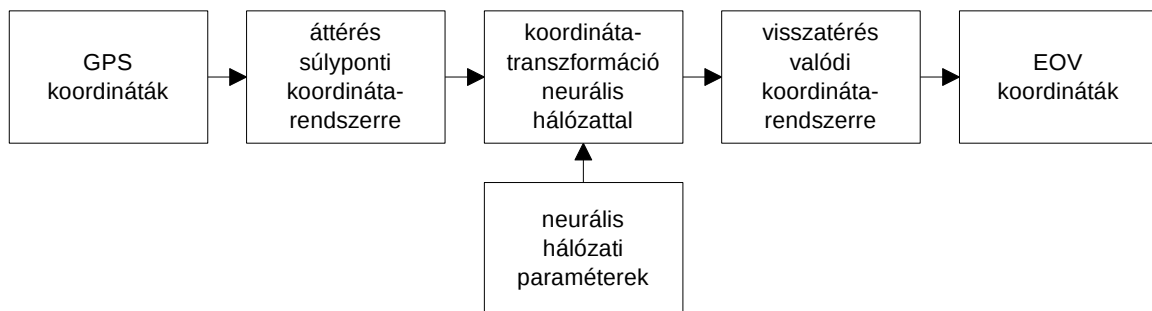
A következő rendszerek csoportjába tartoznak a szakértői rendszerek, amelyek működéséhez szabályokat kell alkotni, majd azok kezelésével döntések hozhatók. Munkámban légi lézerszkenneléssel nyert pontfelhő szegmentálásával járműveket határoltunk le a környezetüktől. Egy-egy jármű-pontcsoport esetében azok felismerésére és osztályba sorolásához tulajdonságteret definiáltunk és annak dimenzióit állapítottuk meg, majd a tulajdonságok alapul vételével járműcsoportokat megkülönböztető szabályokat alkottunk. A szabályok így ismeretlen hovatarozású pontfelhőt járműcsoportként azonosítottak [T35][T36].

Az evolúciós eljárások csoporton belül a genetikusan algoritmusok működése a biológiai inspirációból vett három alapelemet követi: egyedek másolódnak, mutálódnak és kereszteződnek. Képértései kutatásomban egy útszegmenst evolúciós egyednek tekintve véletlen elhelyezkedéssel és 5-dimenziós tulajdonságtérben populációt hoztam létre, majd előzetesen szegmentált képre támaszkodva a három alapelemet implementálásával az evolúciós folyamatot megvalósítva az utakat jelentő szakaszok pozícionálását végeztem el [T2].

A gépi tanulás csoport önmagában még tovább bontható. Az ellenőrzött (vagy felügyelt) tanítás csoportban a legkorábbi, így kiforrott mesterséges neurális hálózat módszerét, a hibavisszacsatolásos (*backpropagation*) eljárást használtam. Lézerszkenneléssel végzett adathalmazban járműfelismerési feladat kapcsán [T35], illetve az ortofotókon végzett csomópontok felismerésében [T3][T4] vettem ennek az eljárásnak a hasznát. A tanítási folyamatban a nagyobb teljesítményt igénylő, ám gyorsabban lefutó numerikus

minimalizáló eljárások közül a Levenberg-Marquard módszert választottam a paraméterek meghatározásához.

A szintén ide sorolt radiális bázisú (RBF) neurális hálózattípust numerikusan leképezési feladatra alkalmaztam, ahol a bemenet a műholdas helymeghatározásból származó WGS84 térbeli derékszögű koordinátákból, a kimenet a magyarországi Egységes Országos Vetületi rendszerben értelmezett térbeli koordinátákból álltak. Ennek a koordinátatranszformációs megoldásnak köszönhetően egyetlen neurális rendszerre támaszkodva az egész ország területén a nyers GPS-mérésekből kapott koordináták a magyar EOVS-koordináta rendszerre voltak átszámíthatók (8. ábra) [T16][S8].

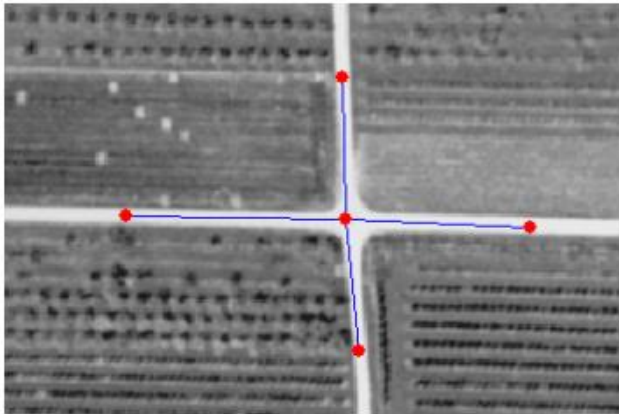


8. ábra: Radiális bázisú neurális hálózattal végzett koordináta-transzformáció elvi sémája

Ellenőrzött neurális módszerként a *Support Vector Machine* (SVM) eljárást is teszteltem például légifénykép szegmentálásában és légi lézerszkennerrel mért adathalmaz feldolgozásában [T2].

A nem-ellenőrzött (nem-felügyelt) csoportba sorolható Kohonen-féle SOM (*Self Organizing Map* – önszerveződő neurális leképezés) eljárásával felszínborítottsági térképet vezettem le nagyfelbontású űrfelvételből [T22]. Ennek a módszernek a lényege az, hogy a borítottsági kategóriákat egy-egy neuron reprezentálja a SOM-hálózatában, majd a multispektrális csatornák pixeljeiben tárolt értékek bemenetként kerültek a neuronhálóra. A versengő tanulás eredményeként a neuronok az önhasznó pixelklasztereket vonzották magukhoz, így állt elő a neurononkénti klaszterezett eredménykép. Záróműveletként a klaszterek terepi borítottsági kategóriáknak voltak

megfeleltethetők. A SOM alapvetően egyszerűen kialakított neuron-hálózatot kezel.



9. ábra: Önszerveződő neurongráf segítségével azonosított útkereszteződés

Felismertem, hogy a digitális képek kiértékelésében a terepi objektumokról előzetes ismereteink lehetnek, amelyek topológiai változatlan neuronmezővel megadhatók. A versengő neurális tanítás módosításával ennek az egyedi topológiával rendelkező, elnevezésem után önszerveződő neurongráfnak (*Self Organizing Neuron Graph* – SONG) tanítási eljárása hozható létre. A tetszőleges elemszámú és illeszkedéseket tartalmazó gráffal megadott neuronhálót a kezdeti véletlen elhelyezésből és elrendezésből a felismerni kívánt objektum alakzatát leíró pixelek geometriája vezérli és a pontos szerkezet megállapításához vezeti. Útkereszteződések (9. ábra), vagy más előre megadható topológiájú alakzatok automatikus megkeresésére alkalmas ez a módszer [T7][T8][T9][T10][S2].

A növekvő neurális gáz (GNG) technika a tanítási folyamat során időbeli dinamikával kezeli a hálózatot alkotó neuronok sorát; új neuronok beszúrásával és régi neuronok eltávolításával képes a kívánt geometriai formáció alakját felvenni. Utcahálózat azonosításában és leírásában válik be ez a megoldás [T1].

D. Adatmegjelenítés

Az informatikai és így a térinformatikai rendszerekben a levezetett eredményeket megfelelő eszközökkel kell a felhasználónak megjeleníteni. Tudományos kutatási munkám folyamán gazdag eszköztárat használtam jó-

magam is. A legtöbb esetben megszokott vektoros és raszteres ábrázolások történtek, esetenként azok hibrid változatával. A pontfelhők vizualizációjában hasonlóképp alkalmaztam az általános térbeli pontonkénti, de a felületmodell- és a mesh-modell megjelenítéseket is. Különleges és saját fejlesztésűnek tekinthető a flash- és profil-szkennerekkel gyűjtött pontfelhő adatok adatkockája és annak megjelenítése szeletekkel, valamint térbeli-időbeli pontfelhőként [T43][T44][S20]. Ilyen adatkocka vizualizációt Microsoft Kinect-tel és Sick profilszkennerrel végzett gyalogosmegfigyelési adatokon mutatok be. A numerikus és szöveges információk közlésére informatív formázott jelentés is készült, aminek előállítása automatikus módon valósult meg például a PHORMS burkolatfelmérő rendszer kiértékelési munkafázisában [S22]. A járműipari fejlesztők munkájának támogatása megnyilvánult úgy is, hogy az általuk használt szimulátorok számára állítottunk elő alkalmas formátumban bináris kimenetet, így például a német Vires cég OpenX-szabványokra épülő rendszerei felé. Az automatikus vezetés sávváltásban használt asszisztensében teljesen egyedi, végeselemes adatmodellre épülő sávgeometriai leírást alkottam, majd annak felhasználásának elősegítésére áttekintő megjelenítést készítettem [T19]. A burkolatból vett furatminták CT-s kiértékelése kapcsán a tapasztalt nyálábkeményedés miatt torzult ábrázolás történik, javítására saját FFT-alapú módszerrel fejlesztettünk [S3][S4][S9]. A térbeli térinformatikai tartalom kezelésén túl a voxelekre épülő adatmodellnek nemcsak előállítására és hatékony memóriahasználatára, hanem az *.obj* kiterjesztésű szabványos formátumon alapulóan egyéni megjelenítésére grafikai rutint dolgoztam ki [T29]. Munkámban a legtöbb esetben a Mathworks Matlab rendszerének vizualizációs képességeire támaszkodtam, így az oktatásban a hallgatóknak is számos mintapéldát sikerült készíteni. A megjelenítéshez lazán kapcsolódó grafikus felhasználói felületek (GUI – *Graphical User Interface*) kialakítását is itt említem meg, amelyekre a NEUTRA nevű neurális hálózaton alapuló koordinátatranszformáció végrehajtásánál vagy a SONG kísérleti rendszerének paraméterezésére szolgáló felületnél találunk példát.

IV. A tudományos eredmények

A. Úthálózati elemek térképezése

Tézis 1: Módszertant dolgoztam ki közúthálózat elemeinek detektálására és térképezésére képfeldolgozási és mesterséges intelligencia eszközök használatával.

Altézis 1.1: Útdetektálási algoritmusokat fejlesztettem képfeldolgozási eszközök és mesterséges intelligencia kombinációjával, felhasználva a genetikus algoritmusokat és a növekvő neurális gázokat (Growing Neural Gas).

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T1], [T2]

Altézis 1.2: Úthálózati csomópontok felismerésére eljárást fejlesztettem klasszikus képfeldolgozási műveletek és mesterséges neurális hálózat alkalmazásával, elsősorban Hough- és Radon-transzformáció, továbbá JEANS neurális technológiák segítségével.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T3] – [T6]

Altézis 1.3: Új neurális hálózattípust, az önszerveződő neurongráfot (Self-Organizing Neuron Graph – SONG) dolgoztam ki, amelynek neuronszerkezete gráffal adható meg, tanulási algoritmus pedig a Kohonen-féle önszerveződésen alapszik.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T7], [T8]

Altézis 1.4: SONG-típusú neurális hálózatot alkalmaztam közlekedési csomópontok detektálására.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T9], [T10]

B. Az útpálya jellemzőinek mérése és térképezése

Tézis 2: Az útpálya felületi és szerkezeti jellemzőinek meghatározására integrált mérőrendszert fejlesztettem és megfelelő módszertant dolgoztam ki.

Altézés 2.1: Sztereofotogrammetriai alapú mobil útburkolati felmérő rendszert terveztem és építettem.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T11] – [T16]

Altézés 2.2: Kidolgoztam egy monokamerás és lézerprojektoros mobil felmérő rendszer koncepciótervét és igazoltam alkalmazhatóságát útpálya felületi jellemzőinek mérésére.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T17], [T18]

Altézés 2.3: Az útburkolaton található sávhatárok és a pálya felületi jellemzőinek meghatározására földi és mobil lézerszkennelésen alapuló módszertant dolgoztam ki.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T19] – [T21]

C. Az úthálózat környezeti elemeinek térképezése

Tézés 3: Optikai és lézerszkenneléses távérzékelési módokat dolgoztam ki úthálózat környezetének nagyfelbontású és nagy pontosságú térképezésére.

Altézés 3.1: Útkörnyezet felszínborítottsági térképezésére mesterséges neurális hálózati technológiát dolgoztam ki.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T22], [T23]

Altézés 3.2: A járműirányításban használt statikus foglaltsági térkép előállítására lézerszkennelt pontfelhő-feldolgozó technológiát fejlesztettem ki.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T24]

Altézés 3.3: Nagyfelbontású háromdimenziós útkörnyezeti modellt fejlesztettem ki légifényképezésre, valamint földi és mobil lézerszkennelésre alapozottan.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T25] – [T31]

D. Közlekedő objektumok távérzékelése és térinformatikája

Tézis 4: Az úthálózaton közlekedő objektumok, elsősorban a járművek és a gyalogosok mérésére távérzékelési módszereket alkalmazó modell-alapú érzékelési és felismerési rendszereket és technológiákat dolgoztam ki.

Altézis 4.1: Távérzékelésen alapuló modelleket készítettem és alkalmaztam járműérzékelésre és felismerésre.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T32] – [T36]

Altézis 4.2: A mozgó járművek viselkedésének elemzéséhez távérzékelési/térinformatikai módszereket implementáltam, elsősorban a vizuális odometria és a GNSS-alapú mérések köréből.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T37], [T38]

Altézis 4.3: Kidolgoztam a rádiófrekvenciás azonosítás (RFID) közlekedésbiztonsági alkalmazására szolgáló technológiát és kísérletekkel igazoltam a gyakorlati használhatóságot.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T39] – [T42]

Altézis 4.4: Kamerás és lézerszkenneres távérzékelési technológiákat fejlesztettem gyalogosok automatikus bel- és kültéri detektálására.

A tézis alapjául szolgáló publikációk: [T43], [T44]

V. Az eredmények alkalmazása

Az ismertetett tudományos eredmények egy része elméleti, jó részük a gyakorlatban is megvalósított rendszerekben vagy szoftverimplementációkban hasznosíthatók. A közúthálózat elemeinek azonosítására és térképezésére irányuló fejlesztések folyamatosan alkalmaznak újabb és újabb megoldásokat, véleményem szerint a mesterséges intelligencia beépítésével a kidolgozott megoldásaim is integrálhatók vagy azok lesznek hamarosan.

Az úthálózat állapotának megfigyelésére és folyamatos monitorozására éppen a gyakorlat oldalán merült fel az igény; a munkatársaimmal kifejlesztett PHORMS rendszer ezért kifejezetten jól illeszkedik a gyakorlathoz. A fejlesztőmunka ezért a gyakorlati megépíthetőség és könnyű használat megcélzásával zajlott; az elméleti eljárások és módszerek mindegyike kipróbált és alaposan tesztelt realizációban testesült meg. Az eleinte Fővárosi Közterületfenntartó Zrt, később a Budapesti Közlekedési Központ által használt rendszer 2008 és 2011 között közel 800 km fővárosi kezelésű utat mért fel – esetenként több alkalommal is.

A közlekedési folyamatok pontos valós ismerete nem nélkülözheti a járművek és gyalogosok megfigyelését. Úgy gondolom, hogy a bemutatott megoldások közül néhány a költséghatékonyan megvalósítható rendszer eleme lehet, így például az időjárásálló és egyszerűen kezelhető akciókamerák, valamint a rájuk fejlesztett módszertan effektíven segíthet nagyobb kiterjedés elérésére a forgalmi viszonyok megismerésében. A gyalogosfelületek közelében elhelyezett érzékelők révén pedig nemcsak numerikus forgalmi jellemzők, hanem viselkedési mintázatok is megállapíthatók, amelyek a későbbi várostervezési, kül- és beltéri közlekedési létesítmények, infrastruktúra-elemek (járdák, folyosók stb.) kialakításában játszhatnak szerepet.

Nagyon fontosnak tartom a szimulációs támogatást. A valóságból a bemutatott távérzékelési eljárásokkal nyert nagymennyiségű, ugyanakkor pontos adat, illetve az azokból előállítható információ szimulációs környezetekbe vihető át. A szimulátorok napjaink rendkívüli jelentőséggel bíró fejlesztő eszközei, amelyek a járműkutatás, -fejlesztés és -gyártás folyamán időt és költséget takaríthatnak meg, ezzel egyszerre a biztonság növelése felé is vezethetnek. A mostani munkafolyamatban felértékelődő szimulációk ezért a távérzékeléstől és a kapcsolódó térinformatikai feldolgozásból kiválóan hasznosítható makroszkópikus és mikroszkópikus térbeli, valamint attribútum-információkhoz jutnak.

VI. Irodalom

- [1] Magyar Közút, “Az állami közúthálózat fő jellemzői,” 2018. [Online]. Available: <http://internet.kozut.hu/Lapok/az-allami-kozuthalozat-fo-jellemzoi.aspx>. [Accessed: 12-Aug-2018].
- [2] A. Timár and I. Rozgonyi, Közlekedéstervezés I.: Utak tervezése, építése és fenntartása, HEFOP jegy. Pécs: Pécsi Tudományegyetem, 2007.
- [3] KSH Helyzetkép a szállítási ágazatról, 2017, Központi Statisztikai Hivatal, Jelentés, 2018.12.12.
- [4] Á. Detrekői and G. Szabó, Térinformatika - Elmélet és alkalmazások. Budapest: Typotex Kiadó, 2013.
- [5] GIS-T, “Survey Results & Analysis for 2016 GIS-T Survey & State Roll Call,” web page, 2016. [Online]. Available: [http://www.gis-t.org/uploads/2016 GIST Survey and Roll Call - Report.pdf](http://www.gis-t.org/uploads/2016%20GIST%20Survey%20and%20Roll%20Call%20-%20Report.pdf).
- [6] T. Bernhardsen, Geographic information systems. Viak IT, 1992.
- [7] T. Lovas, Térinformatikai módszerek és a lézeres távérzékelési technológia közlekedési célú felhasználásának vizsgálata, PhD értekezés. 2004.
- [8] Vires, “OpenCRG,” 2018. [Online]. Available: <http://www.opencrg.org/>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [9] K. Finkenzeller, RFID Handbook. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2003.
- [10] K. Kraus and P. Waldhäusl, Fotogrammetria : alapok és általános módszerek. Tertia, 1998.

VII. A téziseket alátámasztó publikációk

- [T1] A. Barsi, “Road network detection by growing neuron gas,” Int. Arch. Photogramm. Remote Sens., vol. XXXVII, no. B3b, pp. 545–548, 2008.

- [T2] A. Barsi, “ROAD DETECTION BY NEURAL AND GENETIC ALGORITHM IN URBAN ENVIRONMENT,” *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXIX-B3, pp. 247–252, Jul. 2012.
- [T3] A. Barsi, C. Heipke, and F. Willrich, “JUNCTION EXTRACTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK SYSTEM – JEANS,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXIV, no. 3B, pp. 18–21, 2002.
- [T4] A. Barsi and C. Heipke, “Detecting road junctions by artificial neural networks,” *2nd GRSS/ISPRS Jt. Work. Remote Sens. Data Fusion over Urban Areas, URBAN 2003*, pp. 129–132, 2003.
- [T5] A. Barsi, “City structure analysis on Quickbird imagery by multiscale radon transformation,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2011, vol. 38, no. 4W19.
- [T6] Z. Tóth and A. Barsi, “Analyzing Road Junctions By Geometric Transformations,” *Proc. ISPRS Work. Comm. III Work. Group*, vol. 5., vol. XXXVI, no. I/W3, pp. 1–4, 2005.
- [T7] A. Barsi, “Neural Self-Organization in Processing High-Resolution Image Data,” in *EARSEL*, 2003, pp. 1–6.
- [T8] A. Barsi, “Neural self-organization using graphs,” in *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, 2003, vol. 2734.
- [T9] A. Barsi, “Generalization of topology preserving maps: A graph approach,” in *IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings*, 2004, vol. 1.
- [T10] A. Barsi, “Object detection using neural self-organization,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXV, no. 3, pp. 366–371, 2004.
- [T11] Á. Barsi, I. Fi, G. Mélykúti, T. Lovas, and Z. Tóth, “Az útburkolat hibáinak detektálása,” *MÉLYÉPÍTŐ TÜKÖRKÉP*, pp. 2–4, 2005.

- [T12] T. Lovas, I. Kertész, I. Fi, and A. Barsi, “New concept of profile based pavement measurement system,” in *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS Annual Conference 2007: Identifying Geospatial Solutions*, 2007, vol. 1.
- [T13] T. Lovas, I. Kertész, I. Fi, and A. Barsi, “Photogrammetric pavement detection system,” in *Pavement Cracking: Mechanisms, Modeling, Detection, Testing and Case Histories*, 2008.
- [T14] I. Kertész, T. Lovas, and Á. Barsi, “Photogrammetric pavement detection system,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXVII, no. B5, pp. 897–902, 2008.
- [T15] Á. Barsi, T. Lovas, and I. Kertész, “The Potential of Low-End IMUs for Mobile Mapping Systems,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXVI, no. 1/A+B, pp. 1–4, 2006.
- [T16] Á. Barsi, “Performing coordinate transformation by artificial neural network,” *Allg. VERMESSUNGS-NACHRICHTEN*, vol. 108, no. 4, pp. 134–137, 2001.
- [T17] I. Kertész and Á. Barsi, “Egykamerás objektum-rekonstrukció új módszere,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. LXIV, no. 3–4, pp. 9–12, 2012.
- [T18] I. Kertész and Á. Barsi, “Tárgyrekonstrukció egy kamera és lézer segítségével,” *GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK*, vol. XIII/1, pp. 51–57, 2010.
- [T19] A. Barsi, V. Poto, A. Somogyi, T. Lovas, V. Tihanyi, and Z. Szalay, “Supporting autonomous vehicles by creating HD maps,” *Prod. Eng. Arch.*, vol. 16, pp. 43–46, 2017.
- [T20] A. Barsi, V. Poto, and V. Tihanyi, “Creating OpenCRG road surface model from terrestrial laser scanning data for autonomous vehicles,” no. 9783319756769, 2018.

[T21] V. Potó, A. Csepinszky, and Á. Barsi, “Representing road related laserscanned data in curved regular grid: A support to autonomous vehicles,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2018, vol. 42, no. 2.

[T22] Á. Barsi, K. Gáspár, and Z. Szepessy, “Unsupervised classification of high resolution satellite imagery by self-organizing neural network,” *ACTA Geogr. DEBRECINA Landsc. Environ.*, vol. 4, no. 1, pp. 37–43, 2010.

[T23] H. Neuberger, Á. Barsi, and A. Juhász, “Lidar alapú felszínborítottság-vizsgálat,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. 67, no. 9–10, pp. 15–19, 2015.

[T24] Á. Barsi, Á. Nyerges, V. Potó, and V. Tihanyi, “AN OFFLINE PATH PLANNING METHOD FOR AUTONOMOUS VEHICLES,” *Prod. Eng. Arch.*, vol. 19, pp. 37–42, Jul. 2018.

[T25] Z. Tóth, T. Lovas, G. Mélykúti, and Á. Barsi, “Image-Based Driver’s Guidance System,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXV, no. B4, pp. 388–390, 2004.

[T26] T. Lovas, B. Takács, and Á. Barsi, “Analyzing the urban canyon effect in Budapest,” in *GNSS The European Navigation Conference*, 2003, pp. 1–10.

[T27] Z. Kugler, A. Ládai, and Á. Barsi, “Digitális magasságmodellek összehasonlítása városi környezetben,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. 56, no. 10, 2004.

[T28] A. Somogyi, T. Lovas, and A. Barsi, “Comparison of spatial reconstruction software packages using DSLR images,” *Pollack Period.*, vol. 12, no. 2, 2017.

[T29] V. Potó, J. Á. Somogyi, T. Lovas, and Á. Barsi, “Laser scanned point clouds to support autonomous vehicles,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 27, pp. 531–537, 2017.

- [T30] V. Potó and Á. Barsi, “Önvezető járművek helymeghatározása 3D városmodell segítségével,” in *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII.*, 2017, pp. 301–307.
- [T31] B. Molnar, T. Lovas, A. Barsi, and A. Somogyi, “MOBILE MAPPING SYSTEM FOR STREETLAMP DETECTION,” in *9th International Symposium on Mobile Mapping Technology*, 2015.
- [T32] A. Szele, A. Barsi, and L. Kisgyorgy, “Analysis of Headway Characteristics in Dissipating Queues,” in *Proceedings of the International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA*, 2016, pp. 115–120.
- [T33] Á. Rakusz, T. Lovas, and Á. Barsi, “Lidar-based vehicle segmentation,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXV, no. 2, pp. 156–159, 2004.
- [T34] T. Lovas, A. Barsi, K. Szocs, and Z. Kibedy, “Reconstruction of laserscanned vehicles,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXVI, no. I/W3, pp. 8–12, 2005.
- [T35] T. Lovas, C. K. Toth, and A. Barsi, “Model-based vehicle detection from lidar data,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2004, vol. 35.
- [T36] T. Lovas, A. Barsi, and C. K. Toth, “Detecting moving targets in laser scanning,” 2004, pp. 1–7.
- [T37] V. Potó and Á. Barsi, “Applying Structure-from-Motion technique for visual odometry,” in *AIS 2017 - 12th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas*, 2017, pp. 145–149.
- [T38] Á. Barsi and T. Lovas, “Térinformatika a közlekedésben,” *GEO-MATIKAI KÖZLEMÉNYEK*, vol. 7, pp. 91–98, 2004.
- [T39] N. Krausz and Á. Barsi, “Rádiófrekvenciás azonosítás a közlekedés biztonságának támogatására,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. LIX, no. 8–9, pp. 24–28, 2007.

[T40] Á. Barsi, T. Lovas, and N. Krausz, “Forgalommal szembehajtó jármű detektálása RFID segítségével,” *GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK*, vol. XII, pp. 211–216, 2009.

[T41] N. Krausz, T. Lovas, and Á. Barsi, “Radio Frequency Identification in Supporting Traffic Safety,” *Period. Polytech. Civ. Eng.*, Mar. 2017.

[T42] N. Krausz and Á. Barsi, “Analysis of ghost driver hazard of road junctions by graph technique,” *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 45, no. 4, 2017.

[T43] A. Barsi, T. Lovas, Z. Igazvölgyi, and K. Radóczy, “Automatic pedestrian trajectory detection to support planning,” in *Imaging and Geospatial Technology Forum, IGTF 2016*, 2016.

[T44] A. Barsi, T. Lovas, B. Molnar, A. Somogyi, and Z. Igazvölgyi, “Pedestrian detection by laser scanning and depth imagery,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.*, vol. 41, pp. 465–468, 2016.

VIII. A kutatómunka témaköréből készült további saját publikációk

[S1] Á. Barsi and C. Heipke, “Artificial neural networks for the detection of road junctions in aerial images,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXIV, no. 3/W8, pp. 113–118, 2003.

[S2] A. Barsi, “Graph Based Neural Self-Organization in Analyzing Remotely Sensed Images,” in *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2003*, vol. 6, no. C, IEEE, Ed. New York: IEEE Press, 2003, pp. 3937–3939.

[S3] É. Lublóy, T. Földes, D. Ambrus, K. Kapitány, and Á. Barsi, “Útpályaszerkezetből vett fűrt magminták szemrevételezése és értékelése CT-vel,” *ÉPÍTŐANYAG*, vol. 66, no. 3, pp. 64–67, 2014.

- [S4] É. Lubláy, D. Ambrus, K. Kapitány, and Á. Barsi, “Air Void Distribution of Asphalts Determined by Computed Tomography,” *Period. Polytech. Civ. Eng.*, vol. 59, no. 4, pp. 503–510, 2015.
- [S5] Z. Tóth, G. Mélykúti, and Á. Barsi, “Digitális videokamera kalibrációja,” *GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK*, vol. 8, p. 297, 2005.
- [S6] I. Kertész and Á. Barsi, “ÚTBURKOLAT - FELMÉRÉS MOBIL TÉRKÉPEZŐ RENDSZERREL,” *Geomatikai Közlemények*, pp. 3–9, 2007.
- [S7] I. Kertész and Á. Barsi, “Kálmán-szűrés alkalmazása épületen belüli és kültéri mérésekre,” *GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK*, vol. XIV/1, pp. 81–87, 2011.
- [S8] Á. Barsi, “Koordináta-transzformáció megoldása neurális hálózattal,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. LI, no. 10, pp. 12–18, 1999.
- [S9] K. Kapitány and A. Barsi, “Fourier transformation-based CT correction method for geomaterial core samples,” *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 1, 2016.
- [S10] T. Lovas, A. Berényi, Á. Barsi, and L. Dunai, “A Megyeri híd terhelésvizsgálatának támogatása földi lézerszkenneléssel,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. LXI, no. 1, pp. 20–26, 2009.
- [S11] T. Lovas, A. Berényi, and Á. Barsi, “A Szabadság híd terhelésvizsgálatának támogatása földi lézerszkenneléssel,” pp. 1–6, 2009.
- [S12] T. Lovas, Á. Barsi, A. Polgár, Z. Kibédy, and Á. Detrekői, “A dunajvárosi Pentele híd terhelésvizsgálatának támogatása földi lézerszkenneléssel,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. LIX, no. 10–11, pp. 32–39, 2007.
- [S13] A. Berényi, T. Lovas, Á. Barsi, and L. Dunai, “Potential of Terrestrial Laserscanning in Load Test Measurements of Bridges,” *Period. Polytech. Civ. Eng.*, vol. 53, no. 1, pp. 25–33, 2009.

- [S14] Á. Somogyi and Á. Barsi, “Pixel-based 3D Object Reconstruction,” in 11th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas (AIS 2016), Budapest: Óbudai Egyetem, 2016, pp. 60–63.
- [S15] Z. Kugler and Á. Barsi, “Automatikus fotogrammetriai eljárással előállított digitális terepmodell beépített környezetben,” *GEODÉZIA ÉS KARTOGRÁFIA*, vol. 57, no. 12, pp. 12–17, 2005.
- [S16] A. Somogyi, A. Barsi, B. Molnar, and T. Lovas, “CROWDSOURCING BASED 3D MODELING,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLI-B5, pp. 587–590, 2016.
- [S17] Z. Koppanyi, T. Lovas, A. Barsi, H. Demeter, A. Beeharee, and A. Berenyi, “TRACKING VEHICLE IN GSM NETWORK TO SUPPORT INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS,” *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXIX-B2, no. B2, pp. 139–144, Jul. 2012.
- [S18] C. K. Toth, A. Barsi, and T. Lovas, “Vehicle Recognition from LiDAR Data,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. XXXIV, no. 3/W13, pp. 162–166, 2003.
- [S19] Á. Barsi, T. Lovas, and G. Bakos, “Mapping of city traffic network from digital aerial images,” in *Geoinformation for European-wide Integration*, T. Benes, Ed. Rotterdam: Millpress Science Publishers, 2003, pp. 659–664.
- [S20] T. Lovas and Á. Barsi, “Pedestrian detection by profile laser scanning,” in 4th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), E.-K. Domokos, V. Dénes, and T. János, Eds. Budapest: BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2015, pp. 408–412.
- [S21] A. Barsi and C. Heipke, “Detecting road junctions by artificial neural networks,” 2nd GRSS/ISPRS Jt. Work. Remote Sens. Data Fusion over Urban Areas, URBAN 2003, pp. 129–132, 2003.

[S22] Á. Barsi, I. Fi, G. Mélykúti, T. Lovas, and Z. Tóth, “Az útburkolat hibáinak detektálása,” MÉLYÉPÍTŐ TÜKÖRKÉP, pp. 2–4, 2005.

[S23] N. Krausz and Á. Barsi, “Analysis of ghost driver hazard of road junctions by graph technique,” Period. Polytech. Transp. Eng., vol. 45, no. 4, 2017.