

**Opponensi vélemény**  
**Barsi Árpád**  
**„Térinformatikai módszerek és technológiák a felszíni közúti közlekedésben”**  
**c. akadémiai doktori értekezéséről**

**A témaválasztás**

A kutató által választott *téma a közúti közlekedésben alkalmazásra kerülő térinformatikával, azon belül térképészeti módszerekkel, eljárásokkal, technológiai megoldásokkal foglalkozik.*

A kutató a térinformatika két alappillérenek a földtudományokat és a számítógépes informatikát tekinti. Modellezési megközelítése alapvetően a térképészeti funkciót helyezi előtérbe. Vizsgálatai során a térinformatikát az információs rendszereknél általánosan érvényes egységekre - adatgyűjtésre, adattárolásra, elemzésre és megjelenítésre - tagolva értelmezi.

Az alkalmazási terület pontosabban a felszíni közúti közlekedés, melynek kiemelten vizsgált részei, *egyrészt* helyhez kötött infrastrukturális létesítmények (úthálózati elemek, közlekedési csomópontok, útpálya jellemzők és hidak, valamint az úthálózat környezeti elemei), *másrészt* közlekedő objektumok (járművek, gyalogosok). Ezeknek a létesítményeknek, illetve objektumoknak az együttese képezi a térképészeti célú modellezési vizsgálatok tárgyát.

A témaválasztás kettős indíttatású; a közúti közlekedés, mint alkalmazási terület, illetve a térinformatika, mint új, modern tudományág. Ezek együttese határozza meg a kutató tudományos érdeklődésének irányát. A közúti közlekedés műszaki létesítményei és összetett forgalmi áramlatai számos vonatkozásban vetnek fel hatékonyság javító beavatkozásokra vonatkozó igényeket. Az exponenciális sebességgel fejlődő, gazdag eszköz-rendszerű térinformatika pedig igen sokféle lehetőséget kínál e problémák kedvezőbb, esetenként a korábbiakhoz képest új elvekre, új technológiákra és/vagy új, esetleg kombinált, esetenként integrált módszerekre épülő megoldására. A kutató e kétféle forrás metszetében, a földfelszíni modellezésben használt részmodelleket elemezve és áttekintve veszi számba a térinformatika széles tárházát és a közúti közlekedésre adaptálva, alkalmazási területenként rendeli egymáshoz a szükséges, illetve a lehetséges javítási, fejlesztési beavatkozásokat, s ezen fókuszpontok mentén jelöli ki tudományos vizsgálatai kiemelt területeit.

A szerző *témaválasztása fontosságát* a számok tükrében, az USA vonatkozó tevékenységének 2016 évi statisztikai adataival illusztrálva mutatja be. A közlekedési térinformatika fokozódó jelentőségéről, pénzügyi súlyáról számos meggyőző nemzetközi adatot közöl. A *téma időszerűségét* a vizsgálatai által érintett hazai közúthálózati adatokkal és a nemzeti útvagyon értékeadataival is alátámasztja.

A *témaválasztás újszerűsége* a vizsgált közúti problémák megoldásának, a kidolgozott, illetve korszerűsített *módszerek integrált fejlesztésében és alkalmazás-centrikus megközelítésében*, továbbá a *javasolt új eljárások* gyakorlati tapasztalatokat is figyelembe vevő, *gondos implementálásában* jelölhető meg.

**Az értekezés célkitűzése**

A kutató a célok megfogalmazásánál abból a felismerésből indult ki, hogy a térinformatika elemzési eszközeivel az adatokban rejlő információk kinyerésével olyan értéknövelt termékek/szolgáltatások hozhatók létre, melyekkel a felszíni közúti közlekedés hatékonyabbá, biztonságosabbá, környezettudatosabbá tehető, ily módon rendszerelemeinek kialakítása és működtetése az eddiginél fenntarthatóbb módon valósítható meg. Ezeknek az összetett céloknak az elérése érdekében az értekezés az alábbi témakörök kutatását jelölte meg kutatásai rész-céljaiként:

- bővíteni és fejleszteni a térinformatikai elemzési eszközök, közöttük a gráfok alkalmazási lehetőségeit,
- kutatni és fejleszteni kép alapú adat-nyerési és feldolgozási eljárások közlekedési célú felhasználásához egyképes és sztereofotogrammetriai, valamint úrtávérzékelési módszereket,
- fejleszteni a digitális képfeldolgozási technika felhasználását a műholdas és földi platformokon nyert kamerafelvételek kiértékelésében,
- felderíteni és fejleszteni a légi, a földi és a mobil lézerszkennelésben rejlő közlekedési alkalmazási lehetőségeket,
- fejleszteni a járműnavigációs és járműfedélzeti mérési eszközöket és alkalmazásokat,
- fejleszteni a mesterséges intelligencia módszereinek alkalmazását a távérzékelés, a térinformatika és a közlekedési adatok elemzésében.

### **Az értekezés felépítése, szerkezete és általános értékelése**

A Szerző értekezését *7 fejezetre tagolva, 130 oldal* terjedelemben mutatja be. Az értekezés *felépítése* két rendező elvet követ.

Az *egyik rendező elv* az amerikai NCRST (National Consortium for Remote Sensing in Transportation) kutatási konzorciumtól származik. Az általuk ismertett közlekedési távérzékelési alkalmazásokat követve, a Szerző saját tudományos vizsgálatait (a vészhelyzet kivételével) az ott szereplő területekre építi. Így a 2. fejezet az *úthálózati elemek* térképezésével foglalkozik, a 3. fejezet az *útpálya jellemzők mérésének és térképezésének* fejlesztett változatait tárgyalja, a 4. fejezet az úthálózat mentén található *környezet elemeinek* térképezési eljárásait vizsgálva azonosítja a lehetséges fejlesztési megoldásokat, végül az 5. fejezet a *közlekedő objektumok* érzékelését és térinformatikai elemzését támogató fejlesztési megoldásokat mutatja be.

A *másik rendező elv*, a korábban már említett térinformatikai egységek (adatgyűjtés, tárolás, elemzés és megjelenítés) szerinti sorrend követése, amely a disszertáció négy érdemi (2-3-4-5) fejezetének belső felépítésében érvényesül. Ezeken a fejezeteken belül a Szerző a vonatkozó szakirodalom elemzéséből, értékeléséből és a megoldandó feladatból kiindulva, az adatfeldolgozási folyamat jellemző szakaszainak sorrendjét követve, az ott alkalmazott térinformatikai eljárást/módszert/technikát bemutatva és alkalmasságát igazolva jut el az új tudományos eredmények tézisben történő megfogalmazásáig. Fejezetenként 1-1, összesen 4 komplex tézisbe rendezve ismerteti a választott alkalmazási területre vonatkozó új, fejlesztett megoldásait, az új tudományos eredményeket.

Az értekezést bevezető 4 oldalas *1. fejezet* a térinformatikát értelmezi és a kutatási célokat ismerteti.

A 33 oldal terjedelmű *2. fejezet* bevezetőjében először az utak képekből történő „kinyerésének” lehetőségeit tekinti át és rendszerezi az utak detektálásához használt osztályozás szempontjait. Szemléletesen érzékelteti, milyen sokféle lehet a kinyerni kívánt útojektum részletezettsége, pontossága, és ennek megfelelően, milyen sokféle lehet az ezeket az igényeket figyelembe venni képes, térképezésére alkalmas módszertani fejlesztés irányultsága, de természetesen eredményessége is és így alkalmazásának hatékonysága is. A különböző méretarányok kezelésével összefüggésben tárgyalja az útfelismerési megoldás-csoportokat, majd értékeli a mesterséges intelligencia bevonásával bővített képfeldolgozó eljárásokat. Az útszakaszok és az úthálózat értékelésével foglalkozó pontban egy, a pontillesztésekre genetikus algoritmusokat adó publikáció (Laky Sándor: Metaheurisztikus optimalizáció a geodéziában, 2012) nyomán új felismerésként

vizsgálja a neurális és genetikus eljárások kombinációjának a térinformatikai képelemzési feladatban történő alkalmazási lehetőségét.

A 25 oldal terjedelmű 3. fejezet először az útpálya jellemzőinek mérési és térképezési problémáival és az eddig alkalmazott megoldások korlátaival ismerteti meg az olvasót, majd olyan módszer kidolgozását mutatja be, ahol a terepi adatgyűjtés gyors, magas automatizáltságú, alacsony szakmai kompetencia igényű, de az adatfeldolgozás annál igényesebb szellemi munkával jár.

Az útpálya felületi jellemzőinek új meghatározási módozatait ismertető alpont olyan, a Szerző innovatív munkájával és tudományos irányításával létrehozott alkalmazás-fejlesztésről ad teljes körű leírást, melynek alapját egy, az útburkolati jellemzők sztereofotogrammetriai mérési módszereinek korszerűsítését célzó ipari megbízás képezte. A fotogrammetriai előmetszéses technika kidolgozását követően, mivel az egyre olcsóbbá váló szenzorok forradalmasították az egész iparágat, a különböző funkciójú műszereket gépjárművekre telepítve, használatukkal bel- és külterületeken egyaránt gazdag adattartalmú mérések váltak megvalósíthatókká. A műszerek méréseinek egyesítéséhez Kálmán-szűrőt fejlesztettek. A feldolgozásban kapott eredmények szerint az így kialakított és alkalmazott berendezések észlelései korreláltak az út magassági vonalvezetésével és a burkolat anyagával is. A mérések térképeken történő ábrázolásához, a nyers vonatkozási rendszerben kapott pozíciók vetületi koordináta-rendszerben történő átszámításához a Szerző - a geodéziai gyakorlatban szokásos közös pontokra támaszkodó megoldást használva - neurális számításon alapuló koordináta-transzformációt dolgozott ki. A tesztelés kimutatta, hogy a neurális hálózat elegendő pontosságra képes. Az implementált szoftver kényelmes használatához grafikus felhasználói felületet készített.

A vezérléssel, adatrögzítéssel és tápellátással kiegészített integrált járműves berendezés a PHORMS nevet kapta. A képfeldolgozás korszerűsítéséhez - irányításával - a leképződött képeken automatikus pontdetektálási eljárást fejlesztett. A több szoftver-komponensből álló fejlesztés eredményeként a gyűjtött adatok feldolgozása több irány mentén is lehetővé vált. Ezek közül *kiemelkedő jelentőségű az útszakasz egyenlőtlenségét mutató index (IRI), és további adatnyerési lehetőségek biztosítása vezetői információk gyűjtéséhez.* A kidolgozott integrált rendszer a fővárosi utak leromlási folyamatairól is hasznos információt szolgáltatott. A Szerző alkalmazás-centrikus kutatási magatartásáról tanúskodik, hogy az általa kidolgozott integrált rendszer gyakorlati felhasználási tapasztalatainak visszacsatolása alapján kifejlesztette és tesztelte a PHORMS2 nevű monokameras változatot is.

A földi és mobil lézerszkennelés útburkolat felületi jellemzőinek meghatározására - a felmérési technológiát továbbfejlesztve - sáv szintű térképet, azaz sávmodellt hozott létre, amely már a járműirányítás számára is hasznosítható és az útpálya állapotára jellemző mérőszámokat is képes szolgáltatni. Az itt demonstrált fejlesztés jelentősen hozzájárul az autonóm járművek és általában a járműipari fejlesztések támogatásához is.

A fejezetben ismertetett harmadik nagyobb alkalmazás-csoport keretében új eljárás kifejlesztésével a számítógépes tomográfián alapuló (CT) képfeldolgozási módszer alkalmazhatóságát mutatja be útpálya belső szerkezetének meghatározására. A Szerző felismeri és megfelelő adaptációval bizonyítja fejlesztésének alkalmazhatóságát. Fourier-transzformáción alapuló képjavító eljárás kidolgozásával nagyobb pontosságú értékelést valósít meg.

A fejezet utolsó része a nagyobb kiterjedésű és/vagy gyakran korlátozott hozzáférésű létesítmények (pl. a hidak) lézerszkenneléses technikájával foglalkozik. A Szerző módszertani kutatásokat végez az ilyen objektumok térképezési vagy állapot meghatározási célú, különleges feltételeknek megfelelő méréseihez. Ezek eredménye az egyesített adatállomány, a felvételi elrendezés optimalizálásához és a hatékony feldolgozási eljárás kidolgozásához elvárható pontosságú megoldás megvalósítása.

A 22 oldal terjedelmű 4. fejezet az úthálózat környezeti elemei térképezésének fejlesztésével foglalkozik. Nemzetközi alkalmazási tendenciák alapján első sorban a módszer-fejlesztési lehetőségekre, ezen belül az adatnyerési technológiákra fókuszál. Az un. borítotttság-térképezés három eljárás-csoportját vizsgálja (felügyelt osztályozás, nem-felügyelt osztályozás és szegmentálás). A fejezet bevezető részében a Szerző értékeli a vonatkozó hagyományos és legkorszerűbb eljárásokat, különös tekintettel a szóbanforgó alkalmazási területekre.

Részletesen ismerteti a két- majd a háromdimenziós környezeti modellek gyakorlati alkalmazásainak fejlesztésével összefüggő kérdéseket. Kutatása első sorban arra irányul, hogy feltárja, vajon fejleszhető-e, és ha igen, akkor hogyan, a jelenleg is tág alkalmazási területet bővítő/kiterjesztő további módszer. Az önszerveződő neurális módszerekhez tartozó SOM-technikát (*Self-Organizing Map*) találja a távérzékelte képek feldolgozásában továbbfejlesztésre alkalmasnak, ezért ezzel a technikával további részletes, fejlesztési célú vizsgálatokat végez. A légi, a földi és a mobil lézerszkennelés fejlesztésével összefüggő, illusztráló példákkal igazolt alkalmazásokat mutat be. Az úthálózat háromdimenziós környezetében kidolgozott fejlesztésként a Mathworks Matlab hatékony ritka-mátrixos adatmodelljét kiterjesztette háromdimenziósra. A kutató többféle adatforrás többféle feldolgozási módját vizsgálta. Sokoldalú elemzései alapján új eljárásokat és ezeket megvalósító összetett technológiai megoldásokat fejlesztett ki. Elméleti eredményei igazolására valós adatok feldolgozásával gyakorlati bizonyítékokat állított elő. Eredményei a közúti közlekedésbiztonság javításához is hozzájárulhatnak.

A 32 old. terjedelmű 5. fejezet a közlekedő objektumok távérzékelésének és térinformatikájának fejlesztési kérdéseivel foglalkozik. A bevezető pont a definíciók időbeli változását mutatja be. A Szerző a térinformatika adatszemléletének megfelelően definiálja a távérzékelést, különböző szempontok szerint osztályozva a különböző technológiákat. Az áttekintést követően a közúti jármű- és gyalogos-forgalom távérzékelésével kapcsolatos fejlesztési eredményeit, új tudományos módszereit mutatja be.

E kutatási eredményeinek a bázisát egy 2010-es EU projektben (Safespot) történő részvétel képezte. A kutató által fejlesztett járműdetektálási és modellezési módszerek tárgyalása itt is az alkalmazás-centrikus megközelítést tükrözi. Ismerteti és értékeli minden olyan információt (pl. EU INTAS projekt), amely hozzájárulhat a nagyvárosok közúti forgalmára jellemző adatok minél alaposabb és pontosabb feltárásához. E részletek elemzése kapcsán lépésről-lépésre haladva mutat rá az általa felismert újszerű adatnyerési lehetőségekre, illetve az azt megvalósító eljárásokra, újabb fejlesztésű eszközökre és ismerteti az általa kidolgozott módszereket. Ezek gyakorlati alkalmazhatóságát konkrét esetek illusztrálásával is alátámasztva, az előnyök és hátrányok összehasonlításával is értékeli.

A fejezet járműmozgásra irányuló módszertani fejlesztéseivel foglalkozó pontjában mutatja be és igazolja, hogy a járművek mozgását és az azokat vezető emberek viselkedését lehetséges térinformatikai eszközökkel tanulmányozni. Több példával is illusztrálja és bizonyítja az RFID (rádiófrekvenciás azonosítási technológia) azon előnyös tulajdonságát, mely szerint a megvilágítástól, az időjárási körülményektől függetlenül is képes működni, így funkcióinak teljesítése folyamatosan biztosított. A mozgó címkés RFID megoldás számos, a forgalombiztonságot jelentős mértékben növelő esetre (pl. jármű megállítása nélküli azonosítás, igazoltatás, stb.) használható. Állításait jól dokumentált mérési eredményekkel támasztja alá.

A Szerző bemutatja, hogy a járműforgalom tanulmányozására korábban ismertetett profilszkennerek egy lehetséges további alkalmazási területe a gyalogosok megfigyelése. Részletes leírással és szemléltető ábrák segítségével mutatja be, hogy a gyalogosok kül- és beltéri mozgásáról nyert adatok milyen sokféle hasznosítására van lehetőség a gyakorlatban (pl. folyosói úrszelvény kihasználtsága, vagy egymás mellett haladó közúti, villamos, kerékpár, gyalogos sávok terheltsége, biztonsága).

Az értekezés 2 oldal terjedelmű 6. fejezete tartalmazza a mű rövid összefoglalását és kitekintést ad a térinformatika és a közúti közlekedés még feltáratlan további lehetséges kooperatív kutatási irányaira.

Az új kutatási eredményeket 4 tézis-csoportba foglalva - az egyes téziseken belül 4-3-3-4 altézisbe rendezve és altézisenként megjelölve az abban megfogalmazott eredményt közlő publikációkat - a 4 oldal terjedelmű 7. fejezet ismerteti.

Az értekezést a 8 oldalas, összesen 152 tételből álló *Irodalomjegyzék* zárja, melyben 15 tétel a Szerző egyszerűs saját publikációja, további 16 tétel a Szerző társ-szerzőkkel írt, olyan saját publikációja, amelyben első helyen szerepel, 39 tétel pedig olyan társ-szerzőkkel írt saját publikáció, ahol a Szerző nem első helyen szerepel.

Hasznos kiegészítés az értekezés elején szereplő 2 oldal terjedelmű *Rövidítésjegyzék*, azonban *hiányzik* az áttekintést és ellenőrzést segítő ábra- és táblázat-jegyzék közlése (valószínűleg a már azok nélkül is a normatív 100 oldalt jelentősen meghaladó, 130 oldalas terjedelem miatt).

A szerkezeti felépítés értékelésével összefüggésben meg kell állapítani, hogy a Szerzőnek nem volt könnyű dolga, amikor a közlekedési térinformatika és a felszíni közúti közlekedés metszetében előforduló számtalan fejlesztési igény, illetve lehetőség „együttállása” alapján feltárható módszerek, eszközök, technológiák és alkalmazások általános fejlesztési szándékát jelölte meg kutatásai céljaként. Ennek a sajátosságnak tudható be, hogy a Szerző által választott struktúrába rendezett értekezésben a kutatott téma előzményeinek, jelenleg ismert legfrissebb eredményeinek, megoldandó problémáinak rendszerszemléletű bemutatása, majd a rész-célok megvalósításához vezető út (modellezés, módszer kidolgozása és validálása) az érdemi kérdésekkel foglalkozó második, harmadik, negyedik és ötödik fejezetben, nem minden tekintetben lett „egyenszilárdságú”. A következtetések nem azonos szintű kidolgozottsága nem vezetett minden esetben elegendő újdonság-tartalommal rendelkező tudományos eredmény deklarálásához.

Ezt a problémát részben oldja a Tézisfüzet, amely lényegében a Célkitűzések, Módszerek és Eredmények (Tézisek) szerinti felépítést követve, a módszereket a 4 információs egység szerinti csoportosításban bemutatva, jól kiegészíti az értekezésben alkalmazott struktúrát és elősegíti az abban kifejtettek jobb áttekintését és megértését. Néhol túlzottan részletezett, azonban csupán leíró jellegű ismertetés „vezet fel” szerényebb, vagy már régebben ismertté vált, itt újdonságnak minősített megoldást. Szerencsére kedvező egyensúlyt teremt a döntő többségében jól megválasztott, összetett vizsgálatokkal és elemzésekkel megalapozott, valamint gazdag ábra anyaggal alátámasztott, jelentős, saját fejlesztésű, új eredményt megfogalmazó megállapítás. Így összességében a disszertáció betölti feladatát, a Szerző tudományos kutatási eredményeinek, új megoldásainak és az ezeket megfogalmazó téziseinek/altéziseinek korrekt bemutatását és igazolását.

### **Nyelvi, alaki és formai értékelés**

Az értekezés szövegezése, stílusa és kivitelezettségének minősége kielégíti az akadémiai értekezéssel szemben támasztott követelményeket. Az értekezés *nyelve*, a *matematikai formulák*, az *abban használt* jelölések magyarázata, az egyenletek számozása, szövegközi hivatkozása megfelel az előírásoknak. Igényesen kivitelezett ábrák és jól összeállított táblázatok segítik a mondanivaló jobb megértését. Kifogásolható azonban, hogy az ábrák forrásának megjelölése néhol (ahol az nem egyértelmű) csak a szövegben szerepel, az ábra alatt sajnos nincs feltüntetve.

Az *általános értékelés* összegzéseként megállapítható, hogy a Szerző a felszíni közúti közlekedésben alkalmazható korszerű térinformatikai módszerek és eszközök új lehetőségeinek feltárásával, az összefüggések modellezésével és elemzésével, az új megoldások alkalmazhatóságára vonatkozó

megállapítások mérésekkel történő alátámasztásával, esetenként összehasonlító értékeléssel történő igazolásával *jól kidolgozott és arányos szerkezetű, igényesen kivitelezett értekezést készített.*

### **Az értekezésben alkalmazott kutatási módszerek és a felhasznált adatok**

A választott kutatási téma a bonyolult kapcsolatokkal rendelkező és fontos funkciókat ellátó közúti közlekedési rendszer összetett térinformatikai módszerekkel és eszközökkel történő vizsgálati lehetőségeivel, az új megoldások alkalmazhatóságának validálásával foglalkozik. A kutatásban alkalmazott módszerek széles eszköztára - a térinformatika, mint informatikai megközelítés funkcionális egységei (adatnyerés, tárolás, elemzés és megjelenítés) szerint csoportosítva - az alábbiakból tevődik össze.

- Az adatnyerési eszközök közül a kamera alapú (nagy mennyiségű és kiváló felbontású képek) és a pontfelhő alapú megoldások (légi, földi, mobil lézerekkel nyert adatok) mellett az egyéb kategóriába sorolt, pl. rádiófrekvenciás azonosító (RFID) eszközök új alkalmazási lehetőségeit is fejleszteni kívánó kutató főként modellezésre, statisztikai hipotézis vizsgálatokra, szimulációra, szegmentálásra támaszkodott.
- Az adattárolási és kezelési feladatokkal kapcsolatosan használt adat-modellek: a vektoros, raszteres modellek, az ezek ötvözetéből kialakított hibrid modellek, gráfelméleti algoritmusok, pixel, voxel, diszkrét tér-geometriai modell, ritka-mátrix-alapú voxel-reprezentáció.
- Az adatelemzés során használt metodikai eszközök az alábbi ötféle módszer-csoport szerint rendezve tekinthetők át:
  - a fotogrammetria és távérzékelés eljárásainál alkalmazott módszerek  
a fotogrammetriai alapösszefüggések, a centrális vetítés leírására szolgáló kollinearitási egyenletek, képfeldolgozási eljárások, a Structure from Motion elvet alkalmazó algoritmusok, vizuális odometria, Multi view Stereo eljárások, felszín-, domborzat-, épület- és környezetmodellezés, városmodell, képek szegmentálása és osztályozása, statisztikai klasztrozó eljárások, neurális módszerek;
  - digitális képfeldolgozási módszerek  
Radon-, valamint Hough-transzformációk, Gaussian Mixture Model;
  - a lézerekkel elemző eljárásai  
emberi beavatkozás, számítógépes kiértékelés, mikroszintű modell;
  - kommunikációs technológiákra épülő módszerek  
műholdas helymeghatározási eljárások, RFID technológiák;
  - mesterséges intelligencia módszerek  
különös tekintettel a következtető rendszerekre (szakértői rendszerek), az evolúciós eljárások (genetikus algoritmusok), és a gépi tanulás (ellenőrzött tanítás: mesterséges neurális hálózat módszere, hibavisszacsatolásos eljárás, numerikus minimalizáló eljárások, radiális bázisú neurális hálózattal végzett koordináta-transzformáció, Support Vector Machine eljárás; nem ellenőrzött: önszerveződő neurális leképezés, növekvő neurális gáz technika);
- Adatmegjelenítéshez használt módszerek között említendő a vektoros és raszteres ábrázolások, ezek hibrid változata, felület-modell és mesh-modell, pontfelhő adatok adatkockája; numerikus és szöveges információk közlésére informatív formázott jelentés készítése, egyedi, véges elemes adatmodellre épülő sávgeometriai leírás.

Az értekezésben a közlekedési rendszerek és folyamatok korszerű térinformatikai eljárásokkal történő támogatásában a fenti felsorolás *igényes modellezési koncepciók érvényesülését jelzi.* A kutató által kidolgozott disszertáció a tudományos kutatási módszerek gazdag választékát

alkalmazza. A felhasznált adatok hitelességét a források pontos megjelölése biztosítja. Az adatkezelés megfelel a követelményeknek.

Az értekezésben foglaltak megfelelően *bizonyítják, hogy a kutató a hazai és a nemzetközi szakirodalomról átfogó és részletes ismeretekkel rendelkezik. Elemző képessége, széleskörű metodikai felkészültsége, modellezésben való jártassága figyelemre méltó.*

### **A doktori mű új tudományos eredményeinek részletes értékelése**

A kutató fontos kiindulási alapnak tekintette a közlekedési térinformatika tartalmának pontos és szabatos értelmezését és az információs elemek szakszerű csoportokba rendezését. Szakmai igényességére utal, hogy kutatási-fejlesztési céljait alkalmazás-centrikus, integrált megoldások kialakításával valósítja meg. Ehhez mind a közlekedési térinformatikai módszerek, mind a közúti közlekedési létesítmények és folyamatok törvényszerűségeinek ismerete tekintetében magas szintű elméleti felkészültséggel és gazdag gyakorlati tapasztalatokkal rendelkezik, így kutatási feladatait célirányosan kijelölve, azokat eredményesen tudja végrehajtani. Fenti alapvetésből kiindulva a 2., 3., 4. és az 5. fejezetben vezeti le az alábbi 4 tézisben általánosan összefoglalt, illetve e tézisek altéziseiben konkrét teljesítésként megfogalmazott és pontosan kifejtett új tudományos eredményeit.

1. **tézis:** módszertant dolgozott ki közúthálózat elemeinek detektálására és térképezésére képfeldolgozási és mesterséges intelligencia eszközök használatával.  
Az ide tartozó altézisek a klasszikus képfeldolgozási és mesterséges intelligencia területére sorolt eljárások hatékony kombinációjával kapcsolatosak (melyek között szerepel *korábban már ismert és alkalmazott megoldás is*). A tézisben foglaltakat alátámasztó megállapításokat a 2. fejezet 2.2 és 2.3 pontjában ismertetett megoldások igazolják.
2. **tézis:** integrált mérőrendszert és megfelelő módszertant fejlesztett ki az útpálya felületi és szerkezeti jellemzőinek meghatározására.  
Az e tézist részleteiben kifejtő altézisek közé a sztereofotogrammetriás útburkolati felmérő rendszer kidolgozása és az annak továbbfejlesztéseként kialakított monokamerás robusztus felmérő rendszer tervének kidolgozása tartozik. Altézisben foglalta össze a földi és lézerszkennelés felhasználásával történt útpálya felületi jellemzők meghatározását is.  
A 3. fejezet 3.2, 3.3 és 3.4 pontjában bemutatott módszerek és vizsgálati eredmények támasztják alá a tézisben és az altézisekben megfogalmazott állításokat.
3. **tézis:** úthálózat környezetének nagyfelbontású és nagy pontosságú térképezésére optikai és lézerszkenneléses távérzékelési módokat dolgozott ki.  
Az altézisek a felszínborítottsági térképek új előállítási technikáját adják meg nagyfelbontású űrfelvétel és teljes hullámalakos légi lézerszkennelés adatainak kiértékelésével. A 4. fejezet 4.1, 4.2 és 4.3 pontjában bemutatott modellek validálják a tézisben és az altézisekben megfogalmazott megállapításokat.
4. **tézis:** távérzékelési módszereket alkalmazó modell-alapú érzékelési és felismerési módszereket és technológiákat dolgozott ki az úthálózaton közlekedő objektumok (járművek és gyalogosok) mérésére.  
Az altézisekbe sorolt új eredmények szerint járműérzékelésre és felismerésre szolgáló távérzékeléses modelleket dolgozott ki és a járművek viselkedésének leírásához fejlesztett modelleket, továbbá összefoglalta az RFID alkalmazásával megvalósított módszereket és alkalmazásokat, valamint távérzékelési megoldásokat alakított ki és azokat implementálta gyalogosok kül- és beltéri detektálására.

A tézisben és az altézisekben foglaltakat alátámasztó új megoldásokat az 5. fejezet 5.2, 5.3 és 5.4 pontja ismerteti, illetve validálja.

### Kisebb hiányosságok, elütések

Néhány apróbb pontatlanság, elütés maradt a disszertációban, de azok az értekezésben foglaltak megértését nem befolyásolják, ezért ezeket bírálatomban nem sorolom fel.

### Tézisfüzet értékelése

A tézisfüzet összeállítása megfelel a tartalmi és formai követelményeknek. „A tudományos kutatás célkitűzései” címmel ellátott II. pontban szereplő, csak a Tézisfüzetben közölt 1. ábra (A közlekedési térinformatika három vizsgált szintje: az infrastruktúra, a környezet és a közlekedő objektumok) hasznos kiegészítő információt ad az értekezéshez, melyet jó lett volna az értekezésben is szerepeltetni. Ugyancsak a Tézisfüzet „Módszerek” címmel ellátott III. pontja biztosít kedvezőbb áttekintési lehetőséget az értekezésben használt tudományos módszertani háttérrel és így segíti az összefüggések jobb megértését. Itt ugyanis összefüggő, egységes szerkezetben jelenik meg a disszertációban használt összes tudományos kutatási módszer (amely a disszertációs kötetben az alkalmazási területekhez igazodó tartalmak szerint tagolva, 4 fejezetre bontva szerepel).

### Összefoglaló megállapítások

A kutató doktori értekezésében olyan *új módszereket, eljárásokat és technológiát dolgozott ki és javasolt* a közúti közlekedésben történő alkalmazásra, amelyek lehetővé teszik

- a közúthálózati elemek azonosításának és térképezésének korszerűsítését;
- az úthálózat állapotának megfigyelését és folyamatos monitorizálását;
- a járművek és gyalogosok megfigyelését, továbbá viselkedési mintázatok megállapítását, közvetve pedig későbbi várostervezési, kül- és beltéri közlekedési létesítmények, infrastruktúra-elemek kialakításának felhasználó-barát tervezését.

A kutató által kidolgozott új módszerek gyakorlati alkalmazása összességében jelentősen növelheti a közúti közlekedés gazdasági, társadalmi és környezeti hatékonyságát, fenntarthatóságát.

### Tézisek értékelése

**1. Tézist:** Módszertant dolgozott ki közúthálózat elemeinek detektálására és térképezésére képfeldolgozási és mesterséges intelligencia eszközök használatával.

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

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

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

**Altézés 1.4:** SONG-típusú neurális hálózatot alkalmazott közlekedési csomópontok detektálására.

**Az 1. tézist és az 1.1 altézés kivételével annak további 3 altézisét elfogadom.**

**2. Tézis:** Az útpálya felületi és szerkezeti jellemzőinek meghatározására integrált mérőrendszert fejlesztett és megfelelő módszertant dolgozott ki.

**Altézis 2.1:** Sztereofotogrammetriai alapú mobil útburkolati felmérő rendszert tervezett és épített.

**Altézis 2.2:** Kidolgozta egy monokamerás és lézerprojektoros mobil felmérő rendszer koncepciótervét és igazolta alkalmazhatóságát útpálya felületi jellemzőinek mérésére.

**Altézis 2.3:** Az útburkolaton található sávhatárok és a pálya felületi jellemzőinek meghatározására földi és mobil lézerszkennelésen alapuló módszertant dolgozott ki.

**A 2. tézist és annak mind a 3 altézisét elfogadom.**

**3. Tézis:** Optikai és lézerszkenneléses távérzékelési módokat dolgozott ki úthálózat környezetének nagyfelbontású és nagy pontosságú térképezésére.

**Altézis 3.1:** Útkörnyezet felszínborítottsági térképezésére mesterséges neurális hálózati technológiát dolgozott ki.

**Altézis 3.2:** A járműirányításban használt statikus foglaltsági térkép előállítására lézerszkennelt pontfelhő-feldolgozó technológiát fejlesztett ki.

**Altézis 3.3:** Nagyfelbontású háromdimenziós útkörnyezeti modellt fejlesztett ki légifényképezésre, valamint földi és mobil lézerszkennelésre alapozottan.

**A 3. tézist és annak mind a 3 altézisét elfogadom.**

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

**Altézis 4.1:** Távérzékelésen alapuló modelleket készített és alkalmazott járműérzékelésre és felismerésre.

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

**Altézis 4.3:** Kidolgozta a rádiófrekvenciás azonosítás (RFID) közlekedésbiztonsági alkalmazására szolgáló technológiát és kísérletekkel igazolta a gyakorlati használhatóságot.

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

**A 4. tézist és annak mind a 4 altézisét elfogadom.**

**Javaslat**

**Fentiek alapján a doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez és javaslom a nyilvános védelem kitűzését.**

Budapest, 2020 május 11.



Tánczos Lászlóné  
az MTA doktora  
emerita professzor

Csatolmány: Kitöltött Hivatalos bírálói nyilatkozat