

Opponensi vélemény

Barsi Árpád (2019) *Térinformatikai módszerek és technológiák a felszíni közúti közlekedésben*

A benyújtott disszertáció témája a közúti közlekedés területén alkalmazott térinformatika területén belül a 2D és 3D vizuális szenzorok adataiból történő információ kinyerése, elsősorban a felszíni közlekedés, forgalom-elemzés szempontjából releváns problémakörökre fókuszálva. A dolgozatban tárgyalt fontosabb kutatási témák

- az úthálózat elemeinek térképezése és az útpálya jellemzőinek mérése
- a környezeti elemek térképezése, illetve
- a közlekedő járművek és gyalogosok érzékelése, mozgási pályájuk kinyerése és elemzése.

A kutatásban alkalmazott módszerek tágabb értelemben a térinformatika eszközeit használják. A tárgyalt módszerek döntő többsége azonban kifejezetten a képfeldolgozás, számítógépes látás és a mesterséges intelligencia módszereit alkalmazza. A disszertációban alapvetően a vizuális adatok előállítása és elemzése áll a középpontban.

Elmondható tehát, hogy mind a kutatási témák mind pedig az alkalmazott módszerek tekintetében a dolgozat fontos és releváns, korszerű technológiai kihívásokra keresi a választ.

Az értekezés felépítése, stílusa, kidolgozottsága

A 130 oldalas ábrákkal illusztrált magyar nyelvű értekezés struktúrája jó. A dolgozat 7 számozott fejezetből áll, a 2-5 fejezetek egy-egy tézishez kapcsolódó tudományos eredményt ismertetnek. Az 1. fejezetben foglalja össze a szerző a kutatási téma hátterét illetve fogalmazza meg a célkitűzéseket. A 6. fejezet a disszertáció rövid összefoglalása illetve néhány lehetséges további kutatási irányt mutat be. Az eredmények tézisszerű összefoglalására az utolsó, 7. fejezetben kerül sor, ahol a téziseket alátámasztó publikációk is tételesen említésre kerülnek. A 4 tézis mindegyike informatikai (azon belül főképp képfeldolgozás illetve mesterséges intelligencia) tudományos eredményt fogalmaz meg. Az informatika tudományterületén elfogadott normáktól sajnos elmarad a dolgozat felépítése.

Minden módszernél szükséges lenne bemutatni a kutatás alapproblémáját, a célkitűzéseket, az alapgondolatot és a kapcsolódó szakirodalmat, valamint a javasolt módszer gyakorlati tesztelésének számszerű eredményeit, beleértve a szakirodalmi módszerekkel való összevetést. A dolgozatban azonban hiányoznak a javasolt algoritmusok egzakt megfogalmazásai, az algoritmus lépéseinek formalizált leírása illetve a szükséges egyenletek, képletek és levezetések is csak néhol szerepelnek, de akkor sem a teljesség igényével. A kapcsolódó szakirodalmi módszerek áttekintése hiányos, az olvasó számára nem igazán követhetőek. A javasolt módszerek kvantitatív összehasonlítása szakirodalmi módszerekkel pedig sok esetben teljesen hiányzik. Sajnos a dolgozat több részében is hiányoznak a hivatkozások fontosabb felhasznált algoritmusokra, összefüggésekre (legyen az szakirodalmi hivatkozás vagy a disszertáció egy releváns része). Ez megnehezíti a gondolatmenetek követését.

Tudományos eredmények

A szerző tudományos eredményeit 4 tézisben foglalja össze. A tézisekben bemutatott eredmények több nemzetközi folyóirat- illetve konferenciákban lettek publikálva, az egyes tézispontok megfelelő számú publikációval vannak lefedve. A továbbiakban az egyes tézispontok eredményeit értékelem.

1. Úthálózati elemek térképezése

Az 1. tézisben, melynek bemutatására a 2. fejezetben kerül sor, a szerző a közúthálózat elemeinek detektálására és térképezésére képfeldolgozási és mesterséges intelligencia eszközöket javasol. Hozzájárulásait 4 altézisben fogalmazza meg, melyek rendre az úttest illetve útkereszteződés detektálására szolgáló képfeldolgozási eljárások, továbbá egy önszerveződő neurongráfot (SONG) mutat be, melyet útkereszteződések detektálására alkalmaz. A tézist alátámasztó T1-T10 publikációk döntő részben az *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* konferenciakiadványában jelentek meg, amely az SJR Computer Science / Information Systems rangsorban a konferenciakiadványok között is csak a középmezőnyben szerepel.

A 2.2.1 fejezetben tárgyalt útszakasz-detekciós eljárás klasszikus, tankönyvi módszereket alkalmaz (SVM, Genetikus algoritmus). A 2.2.2. fejezet Radon transzformáción alapuló egyeneskinyerése szintén ismert módszer, ráadásul az sem derül ki, hogy miért nem az

elterjedtebb Hough transzformációt alkalmazza a szerző. Az 1995-ben publikált GNG algoritmus alkalmazása érdekes lehetne, de sajnos a 19. oldalon szereplő algoritmus leírása túlságosan általános (talán a Fritzke által publikált általános módszer leírása ez?), holott itt a konkrét problémára alkalmazott (és esetleg módosított?) algoritmust kellene leírni. Kvantitatív eredményeket csak az SVM alapú módszerhez közöl a szerző (2.2. táblázat), de ezen eredmények sincsenek megfelelően elemezve az alkalmazott metrikák tükrében. A további algoritmusok számszerűsített kiértékelése hiányzik, továbbá egyetlen más útdetekálásra szolgáló új szakirodalmi módszerrel sincs sem elméleti sem gyakorlati összehasonlítás. A kapcsolódó szakirodalmi módszerek bemutatása is erősen hiányos (pl. Zerubia variációs illetve valószínűségi modelljei). A 2.3 fejezetben tárgyalt közlekedési csomópontok detekciójára szolgáló algoritmusok bemutatása hasonló problémákat vet fel: a kapcsolódó szakirodalom bemutatása erősen hiányos, a kidolgozott módszerek elméleti vagy gyakorlati (kvantitatív méréseken alapuló) összehasonlítása hiányzik. A javasolt módszerek jórészt ismert tankönyvi módszereket alkalmaznak, pl. Hough transzformáció alkalmazása ugyan elfogadható, de nem világos, hogy az előző fejezetben alkalmazott Radon transzformáció helyett itt most miért Hough? A neurális háló (melynek architektúráját formálisan is be kellett volna mutatni) betanítása 60 pozitív és 120 negatív mintát tartamazó adathalmazon nem tűnik meggyőzőnek, de a kvantitatív eredmények hiányában nem is lehet megállapítani, hogy ez megfelelő volt-e. Sajnos a fő hozzájárulásnak tűnő „önszervező neurongráf” formális bemutatása sem kielégítő, jó lett volna egy, az algoritmus lépéseit formálisan is tárgyaló leírást beiktatni, és a program GUI (2.22 ábra) helyett talán hasznosabb lett volna a háló gráfszerkezetét szemléltető ábra.

Az eredményeket korlátozott mértékben ugyan gyakorlati tesztekben értékelte a szerző, de valamennyi tesztesettel az a fő probléma, hogy a szerző nem hasonlítja össze az általa javasolt detektáló módszereket más, a szakirodalomban közölt új algoritmusokkal. Ezért a tesztek (ahol készült ilyen) csak annyit igazolnak, hogy a javasolt módszerek a gyakorlatban is működnek. Azonban a tesztek alapján nem jelenthető ki, hogy a módszer az úthálózat detekció területén valójában mennyire jelentős. Az alkalmazott módszerek elméletét tekintve szintén nem lehet kijelenteni, hogy azok újszerűek lennének, hiszen valamilyen mások által publikált, avagy jól ismert tankönyvi módszert alkalmaznak. Ezért a tézis eredményeit jelen formájában nem tudom elfogadni.

2. Az útpálya jellemzőinek mérése és térképezése

A 2. tételben, melynek bemutatására a 3. fejezetben kerül sor, a szerző egy mérőrendszert mutat be, mely az útpálya felületi és szerkezeti jellemzőinek meghatározására szolgál. Hozzájárulásait 3 altételben fogalmazza meg, melyek rendre a sztereo kamerákon alapuló mérőberendezés, a mérőberendezés monokamerás és lézerszkenneres továbbfejlesztése, illetve a sávhatárok és az útpálya felületi jellemzőinek meghatározására szolgáló módszer. A tézist alátámasztó T11-T21 publikációk jelentős része itt is az *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* konferenciakiadványában jelentek meg, de vannak magyar kiadványokban megjelent cikkek is, illetve a T20 publikáció megjelenési helye nem beazonosítható.

A 3.2.1 fejezetben bemutatott sztereo kamera alapú 3D rekonstrukciós módszer klasszikus, tankönyvi anyag, melyet talán felesleges ennyire részletesen leírni. Ezzel szemben az úttest rekonstrukciójával kapcsolatos fontos részletek teljesen hiányoznak, pl. a sztereo kamerapár közötti megfeleltetések előállítása, az esetleges takarások kezelése. Ez az algoritmus egyik kritikus pontja, hiszen az útburkolat egy vizuálisan meglehetősen homogén felület, amelyen a megbízható megfeleltetések előállítása (amely magának a 3D rekonstrukciónak a pontosságát alapvetően befolyásolja) igen nagy kihívást jelent. Sajnos erre nézve a dolgozatban nem található kellő mélységű leírás, sőt maga a probléma fontossága sincs kellőképpen hangsúlyozva (a 42. oldal közepén egyetlen mondat utal erre). A 39. oldal tetején említett GPS / IMU által szolgáltatott pozíció és orientáció adatok nem kellően pontosak a megbízható rekonstrukció illetve kamera helyzet meghatározásához, azok inkább csak mint kezdeti értékek használhatók egy kép alapú kamera helyzetmeghatározó algoritmushoz (melyekről szintén alig történik említés, pedig ez is kritikus a helyes 3D úttest modell előállításához). A 42. oldalon javasolt lézeres pontok kivetítése is több problémát felvet, melyekre a szerző nem tér ki kellő mélységben: kültéri fényviszonyok hogyan befolyásolják a kivetített pontok érzékelését? Hogyan történik ezen pontok detektálása és megfeleltetése? Ezek csak ritka megfeleltetéseket adnak; hogyan kapunk ebből sűrű megfeleltetést az úttest minden pixelére? A 3.12. ábra véleményem szerint szükségtelen (mit tud meg ebből az olvasó?). Viszont szükséges lett volna a mérési eredmények validálásához használt „Ground Truth” képek bemutatása, illetve magának a mérési eredményeknek a validálása. A 46. oldal tetején említett kalibrációs vizsgálatok önmagában

nem jellemzik jól az úttest felületének rekonstrukciós pontosságát, hiszen az a kalibráción túl a megfeleltetések pontosságától illetve a kamera aktuális helyzetének pontos kiszámításától is függenek. A 3.2.2 fejezetben tárgyalt monokamerás rendszer egy klasszikus, struktúrált fény alapú 3D rekonstrukciós módszer (jó lett volna ezt így bevezetni és áttekintést adni a téma meglehetősen nagy szakirodalmából). Az előzőekben már felvetett kérdések itt is relevánsak. A kivetített minta megválasztása nincs kellőképpen motiválva, nem világos, hogy a szakirodalomban megtalálható igen változatos megoldások közül miért ezt választotta a szerző. Végezetül a 3.2.3. fejezetben bemutatott lézerszkennerek alapú megoldások esetében a szerző ismét csak a jól ismert technikák (mint pl. a Lidar működési elve vagy a CRG szabvány) bemutatására fókuszál, de az előállt pontfelhők feldolgozási lépéseit csak nagyon vázlatosan tárgyalja (pl. 3.4. fejezet). A pontfelhő előállítása és azok különböző formájú reprezentációjának előállítása jellemzően a Lidar szkenner felhasználói programjaiban is rendelkezésre állnak. A 3.3. fejezetben tárgyalt CT alapú belső szerkezet meghatározáshoz ugyan vannak kvantitatív mérési eredmények, de az alkalmazott módszer szakirodalma nincs kellően feldolgozva és így nem világos, hogy a szerző által javasolt módszer miben jobb (akár elméleti megfontolás akár gyakorlati mérések alapján), mint más szakirodalmi módszerek.

Itt is meg kell jegyezni, hogy a szakirodalomban javasolt releváns módszerekkel sincs kellő alaposságú összehasonlítás sem elméleti sem pedig gyakorlati validációk, mérések által. A javasolt módszerek jól ismert, klasszikus algoritmusokat használnak. A megépített kamerarendszerhez hasonló rendszerek készen is megvásárolhatóak több gyártótól (pl. PointGray sztereó kamera), így a mérőberendezés maga sem tekinthető újnak. Az útburkolat mérésének specifikus problémái sajnos nincsenek kellő mélységgel bemutatva, pedig itt ez lett volna az érdekes és hozhatott volna potenciálisan újszerű megoldásokat. Azonban a bemutatott teszteredmények alapján nem jelenthető ki, hogy a módszer az útpálya jellemzőinek meghatározásában valójában mennyire tartalmaz újszerű és hatékony megoldásokat. Ezért a tézis eredményeit jelen formájában nem tudom elfogadni.

3. Az úthálózat környezeti elemeinek térképezése

A 3. tételben, melynek bemutatására a 4. fejezetben kerül sor, a szerző úthálózat környezetének nagyfelbontású és nagy pontosságú térképezésére javasol módszereket. Hozzájárulásait 3 altételben fogalmazza meg, melyek rendre az útkörnyezet felszínborítottsági térképezése, statikus foglaltsági térkép előállítás Lidar pontfelhő alapján, illetve nagyfelbontású háromdimenziós útkörnyezeti modell előállítása. A tétist alátámasztó T22-T31 publikációk jelentős része magyar kiadványokban megjelent cikk, illetve a T30 publikáció megjelenési helye nem beazonosítható.

A vizsgált problémák mind aktuálisak és relevánsak, de sajnos itt is hiányzik a meglehetősen nagy szakirodalom feldolgozása, áttekintése és abban a javasolt módszerek elhelyezése. Műholdképek szegmentálása, illetve útkörnyezeti objektumok kinyerése (maga az úthálózat, épületek, zöldterület, stb.) régóta kutatott problémák, melyekre számos megoldás létezik. A szerző által javasolt eljárások bemutatása sajnos túlságosan elnagyolt és azok formalizált leírása teljesen hiányzik (egyetlen képlet sem található a fejezetben!). Itt is bemutatásra kerülnek olyan jól ismert módszerek (pl. SfM), melyek tankönyvekben is megtalálhatóak, és ezáltal feleslegesek, ugyanakkor a javasolt módszerek leírása nélkülözi a megértéshez szükséges részleteket. Sajnos ugyanaz mondható el a javasolt módszerek gyakorlati validációjáról, kvantitatív kiértékeléséről is, mint az előző tételhez: hiányoznak a szisztematikus összehasonlító elemzések, a módszerek pontosságának, megbízhatóságának jellemzése. A fejezetben bemutatott nagy számú terjedelmes ábraanyag döntő része nem mutat többet, mint 3D rekonstrukciós eredményeket, pontfelhőket melyek klasszikus módon előállíthatóak. De az ezekből kinyert magasabb rendű objektum modellek, információk jellemzése, kiértékelése alig jelenik meg. A tézisek közül ezt tartom a legkevésbé kidolgozottnak. Ezért a tétel eredményeit jelen formájában nem tudom elfogadni.

4. Közlekedő objektumok távérzékelése és térinformatikája

A 4. tételben, melynek bemutatására a 5. fejezetben kerül sor, a szerző járművek és gyalogosok mérésére távérzékelési módszereket alkalmazó modell-alapú érzékelési és felismerési rendszereket és technológiákat mutat be. Hozzájárulásait 4 altételben fogalmazza meg, melyek rendre a járművek detektálása, járművek mozgásának elemzése, RFID közlekedésbiztonsági alkalmazása, illetve gyalogosok bel- és kültéri detekciója. A tétist alátámasztó T32-T44 publikációk jelentős része az *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* konferenciakiadványában vagy magyar kiadványokban jelentek meg, illetve a T36 publikáció megjelenési helye nem beazonosítható.

Az 5.2 fejezetben tárgyalt módszer leírása túlságosan vázlatos, az újdonságtartalma nem világos, hiszen ismert klasszikus módszereket alkalmaz. A (22) egyenlet egy egyszerű küszöbölés, kétséges a stabil működés. Hogyan van levezetve a viszonyítási állapot? Ezt szükséges adaptálni, ami nem egyszerű. Sajnos további formális leírás, képletek nincsenek a fejezetben. Az 5.1 táblázatban bemutatott kvantitatív eredmények magyarázatra szorulnak. A <10% osztályozási pontosság mennyire használható? Hogyan viszonyul ez más szakirodalmi módszerekhez? Az 5.3 fejezetben számos jól ismert módszer említésre kerül, de ezek rendszerezett bemutatása hiányzik. Az 5.12 ábra a KITTI adathalmazt bemutató cikkből származik, de ez nincs meghivatkozva! A Pix4D program alkalmazása erősen eltúlzottnak tűnik a konkrét probléma megoldására, hiszen a cél a kamera (és így a jármű) lokalizálása. Ehhez nem szükséges egy teljes SfM pipeline alkalmazása! A Pix4D egy kész szoftver, nem világos, hogy mi itt az újdonság. A 104. oldalon leírt algoritmus nincs megfelelően részletezve, hiányzik annak formalizálása, nem áttekinthetőek az egyes lépések és azok konkrét tartalma. Az 5.4 fejezetben tárgyalt módszer a több helyen megemlített GMM modellt használja ennek a problémának a megoldására is. Azon túl, hogy ez is egy jól ismert technika, az is kérdéses, hogy a GMM valóban mennyire univerzálisan használható (és a legjobb eredményt adó) eljárás lenne. Ugyan az altézisben kül- és beltéri gyalogos detekcióról van szó, a bemutatott teszteredmények jórészt beltéri tesztek voltak. Mi ennek az oka és hogyan validálható így a megbízható kültéri mérés? Sajnos, ahogyan az előző téziseknél is, úgy itt is hiányzik a releváns szakirodalmi módszerek bemutatása, a validáció és az összehasonlítás (elméleti vagy gyakorlati szinten) a szakirodalomban javasolt modern módszerekkel. Ezért a tézis eredményeit jelen formájában nem tudom elfogadni.

Összegzés

A Jelölt fontos és aktuális problémákat vizsgált kutatásai során. A tézisekben megfogalmazott eredmények informatikai tudományterülethez tartoznak, de az eredmények bemutatása az informatika tudományterületén elfogadott normáktól sajnos elmarad. Különösen hiányoznak a kapcsolódó (konkurens) szakirodalmi módszerek bemutatása és a szerző által javasolt módszerek ezekkel történő összevetése mind elméleti mind pedig gyakorlati oldalról. Ennek hiányában nem lehet megítélni a javasolt módszerek jelentőségét, újszerűségét. Továbbá a dolgozatban bemutatott módszerek döntő részben már ismert eredményeket (sok esetben klasszikusnak számító módszereket) használnak,

ezért az újszerűség kétséges. Ezért a megfogalmazott téziseket jelen disszertáció alapján nem tudom elfogadni új tudományos eredményként.

A téziseket alátámasztó publikációk jelentős része magyar kiadványokban vagy az *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* konferenciakiadványában jelentek meg, amely az SJR Computer Science / Information Systems rangsorban a konferenciakiadványok között is csak a középmezőnyben szerepel.

A fentiek alapján nem javaslom a munka nyilvános védésre bocsátását.

Szeged, 2020 november 5.

Kató Zoltán