



Hajder Levente

Geometriai alapú háromdimenziós számítógépes látás digitális kamerák és LiDAR érzékelők segítségével

című MTA doktori értekezésének bírálata

1. Általános értékelés

Hajder Levente doktori műve a geometriai alapú háromdimenziós számítógépes látás több, egymással szorosan kapcsolódó problémakörét tárgyalja koherens tudományos keretben. A doktori mű stílusa összességében igényes, szakmailag precíz, a matematikai formalizmus és a szöveges magyarázat aránya alapvetően megfelelő. A szerkesztés logikus, a fejezetek jól felépítettek és követhetők, a szöveg egységes terminológiát használ.

A dolgozat középpontjában a lokális affin transzformációk (affine correspondence) kihasználása áll, amely a hagyományos pontmegfeleltetéseknél gazdagabb geometriai információt hordoz. A szerző ennek elméleti jelentését több aspektusból feltárja, majd erre építve különböző klasszikus feladatokban (homográfia, epipoláris geometria, kamera- és mozgásparemeterek becslése) új összefüggéseket, minimálmegoldókat és gyakorlati algoritmusokat mutat be. A dolgozat másik hangsúlyos pillére a kamera–LiDAR extrinzik kalibráció módszertani tárgyalása, amely a robotika és autonóm rendszerek szempontjából alapvető, és jól illeszkedik a mű geometriai szemléletéhez.

A mű értéke abban áll, hogy egyszerre jelenik meg benne elméleti megalapozottság, algoritmikus innováció és gyakorlati validáció. A dolgozat több helyen rendszerszerű gondolkodásmódot tükröz: az affin megfeleltetések szerepe nem egy izolált részmegoldás, hanem olyan módszertani irány, amely több alapeladatra is kiterjeszthető. A publikációs teljesítmény és a dolgozat tudományos koherenciája alapján a munka megfelel az MTA doktori fokozat követelményeinek.

2. Elméleti alapok

A 2. fejezet (Elméleti alapok) megfelelő részletességgel tárgyalja a geometriai számítógépes látás alapfogalmait: a kameramodell, projekciót, visszavetítést, felületmetszést és a többnézetű geometria keretrendszerét. A fejezet világos alapot nyújt ahhoz, hogy az affin transzformációk későbbi geometriai kezelése természetes módon kapcsolódjon a klasszikus fogalomrendszerhez.

Kérdések a 2. fejezethez:

- A geometriai és a tanulás-alapú módszerek együttélésében melyek azok a problémák, ahol a klasszikus geometriai formalizmus ma is nélkülözhetetlen előnyt ad (pontosság, robusztusság, interpretálhatóság)?
- A későbbi fejezetekben központi szerepet kap az affin transzformáció megbízható becslése. Mely tényezőt tartja kritikusabbnak: az affin információt előállító lokális detektorok pontosságát, vagy a geometriai solver-ek numerikus stabilitását?



3. I. téziscsoport: új tudományos eredmények affin megfeleltetések felhasználásával

A 3. fejezet (I. téziscsoport: új tudományos eredmények affin megfeleltetések felhasználásával) a dolgozat elméleti magját adja. A szerző több alapvető összefüggést vezet le az affin transzformációk és a geometriai objektumok (felületi normálvektorok, homográfia, esszenciális/alapvető mátrix) között. A fejezet tudományos értékét az adja, hogy a lokális affinitást olyan többletinformációként kezeli, amely a geometriai becslési feladatok minimális feltételeit is átalakítja, és ebből következően új solver-családok felépítését teszi lehetővé.

Kérdések a 3. fejezethez:

- A szerző a lokális affinitást differenciális (elsőrendű) geometriai információként használja. Mennyiben tekinthető ez a felületi lokális struktúra közvetett „mérésének”, és a gyakorlatban mennyire stabil ez az információ zajos képi környezetben?
- A levezetett összefüggések mennyiben általánosíthatók nem perspektív kameramodellekre (pl. halszem/omnidirekcionális), illetve milyen fő nehézségek jelentkeznek ebben?

4. II. Téziscsoport: algoritmusok lokális affin tanszformáció felhasználásához

A 4. fejezet (II. Téziscsoport: algoritmusok lokális affin tanszformáció felhasználásához) az értekezés algoritmikus gerince. A szerző itt mutatja be, hogy az elméleti összefüggések miként alakíthatók át implementálható minimal solver-ekké és robusztus becslő eljárásokká. A fejezet egyik fő üzenete, hogy az affin megfeleltetések képesek érdemben csökkenteni a szükséges mintaszámot, így robusztus becslési keretben (RANSAC-alapú eljárásokban) gyakorlati futásidő- és hatékonyságnyerést adnak.

Kérdések a 4. fejezethez:

- A minimal solver-eknél a degeneráció és numerikus instabilitás kulcskérdés. Melyek a szerző által legfontosabbnak tartott degenerált konfigurációk az affin-alapú solver-ek esetén?
- A bemutatott gyorsulás milyen arányban köszönhető a kisebb mintaszámnak, és milyen arányban annak, hogy az affin információ miatt kevesebb „téves” hipotézis jut át a robusztus kiértékelésen?

5. III. téziscsoport: Kötegelt behangolás újszerű alkalmazása nem hagyományos problémaosztályokra

Az 5. fejezet (III. téziscsoport: Kötegelt behangolás újszerű alkalmazása nem hagyományos problémaosztályokra) tematikailag tágítja az értekezést. A szerző itt a kötegelt behangolás (bundle adjustment) szemléletét alkalmazza fotometrikus sztereó és irányított pontfelhők rekonstrukciójának feladataira. A fejezet jól mutatja, hogy a szerző geometriai optimalizációs problémaként gondolkodik, és a klasszikus iteratív becslési módszereket nem standard feladatokra is értelmezhető módon terjeszti ki.



Kérdések az 5. fejezethez:

1. Fotometrikus sztereó esetén a reflektancia és megvilágítás modellezése kritikus. Mennyire érzékeny a bemutatott optimalizációs keret a Lambert-modell sérülésére (specularitás, változó albedo)?
2. Az irányított pontfelhő rekonstrukció esetében mekkora szerepe van a kezdeti becslésnek: mennyire nagy a konvergenciatartomány, illetve milyen tipikus rossz lokális optimumok jelenhetnek meg?

6. IV. téziscsoport: Új módszerek LiDAR mérőeszközök és perspektív kamerák kalibrációjára

A 6. fejezet (IV. téziscsoport: Új módszerek LiDAR mérőeszközök és perspektív kamerák kalibrációjára) az értekezés alkalmazásorientált pillére. A LiDAR-kamera extrinzik kalibráció robotikai és autonóm rendszerekben alapvető, ugyanakkor valós környezetben számos bizonytalansági tényező terheli. A szerző a kalibrációt következetesen geometriai becslési problémaként kezeli, a célobjektum-alapú megközelítést részletesen tárgyalja, és robusztus algoritmikus elemeket épít be a pipeline-ba.

Kérdések a 6. fejezethez:

- A szerző tapasztalata szerint mi dominálja leginkább a végső kalibrációs hibát: a célobjektum detektálása (képen/pontfelhőben), a szenzorok időszinkronizációja, vagy a célobjektum geometriai modellhibája?
- A célobjektum-alapú kalibrációk kontrollált mérést igényelnek. A szerző lát-e reális átmenetet target nélküli („targetless”) LiDAR-kamera kalibráció felé a saját módszerei szellemiségében?

7. Publikációs teljesítmény értékelése

A szerző publikációs teljesítménye mennyiségében és minőségében az idézettséget is beleértve bőségesen megfelel az MTA doktori eljárás követelményeinek. A tézisekhez kapcsolódóan a szerző 9 folyóiratcikket és 21 nemzetközi konferenciapublikációt jelöl meg, ami összességében 30, nemzetközi szinten is jegyzett közleményt jelent a doktori mű témakörében.

A folyóiratcikkek között több kifejezetten magas presztízsű szaklapban megjelent közlemény található, például IEEE Transactions on Image Processing és International Journal of Computer Vision, továbbá további rangos, a számítógépes látás és képfeldolgozás közösségében elfogadott folyóiratok (pl. Pattern Recognition Letters, Sensors). Ez a folyóirat-portfólió egyértelműen azt mutatja, hogy a szerző eredményei a tématerület nemzetközi élvonalához kapcsolódó fórumokon is megmérettettek.



A konferenciacikkek között szintén több magas szintű nemzetközi fórum szerepel, így például IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), illetve British Machine Vision Conference (BMVC), valamint ICCV workshop közlemények. Ezek a fórumok a geometriai számítógépes látás és robotika területén kifejezetten erős, széles nemzetközi közösséggel rendelkező, szelektív publikációs helyeknek tekinthetők, így az itt való folyamatos megjelenés komoly szakmai elismertséget jelez.

Kiemelendő továbbá, hogy a publikációk nem elszórt témákat fednek le, hanem egy koherens kutatási programot tükröznek: a lokális affin információ geometriai hasznosításától indulva jutnak el minimálmegoldók és robusztus becslők fejlesztéséhez, majd ennek alkalmazott kiterjesztéséhez (LiDAR–kamera kalibráció). A közlemények mennyisége, a fórumok színvonala és a tematikai koherencia alapján a szerző publikációs teljesítménye magas szintűnek értékelhető, és a doktori mű tudományos megalapozottságát egyértelműen alátámasztja.

8. Tézisek

A téziszűzet szerkezete jól követhető és megfelelően szerkesztett. A szöveg stílusa szakmai, a tézisállítások a dolgozat fő eredményeit jól sűrítik, a publikációs lista áttekinthető és a tézispontokhoz illeszkedik. A tézisek struktúrája a dokumentum alapján a következőképpen épül fel:

- 3. fejezet: I. tézis: Elméleti affin eredmények, ezen belül 2 altézés: I.1 és I.2.
- 4. fejezet: II. téziscsoport: Affin megoldók, ezen belül 9 tézis: II.1–II.9.
- 5. fejezet: III. téziscsoport: Kötegelt behangolás újszerű alkalmazása nem hagyományos problémaosztályokra, ezen belül 2 tézis: III.1 és III.2.
- 6. fejezet: IV. téziscsoport: Új módszerek LiDAR mérőeszközök és perspektív kamerák kalibrációjára, ezen belül 3 tézis: IV.1–IV.3.

Összesen tehát 4 téziscsoport szerepel, bennük 16 darab számozott tézis/altézés. A tézispontok tudományos tartalma, konkretizáltsága és a doktori műben bemutatott eredményekkel való összhangja alapján minden téziscsoport minden tézispontját elfogadom.

9. Összefoglaló vélemény

Hajder Levente doktori műve magas szintű, koherens és jelentős tudományos teljesítményt mutat be a geometriai alapú háromdimenziós számítógépes látás területén. A szerző az affin megfeleltetések információtartalmára építve több alapvető geometriai becslési problémában ad új összefüggéseket és gyakorlati algoritmusokat, továbbá eredményeit a szenzorfüzűs alkalmazások irányába is kiterjeszti, különösen a LiDAR–kamera extrinzik kalibráció területén.



DEBRECENI EGYETEM, INFORMATIKAI KAR

4028 Debrecen, Kassai út 26., 4002 Debrecen, Pf. 400.
☎ 52/512-700, ✉ hivatal@inf.unideb.hu



A dolgozat elméleti megalapozottsága, algoritmikus hozzájárulásai, gyakorlati relevanciája, valamint a szerző publikációs teljesítménye alapján az értekezést az MTA doktori fokozat odaítélésére alkalmasnak tartom, és a nyilvános védésre bocsátását támogatom.

Debrecen, 2026. január 09.

.....
Dr. Hajdu András
tszv. egyetemi tanár
Adattudomány és Vizualizáció Tanszék
Debreceni Egyetem, Informatikai Kar