

Új objektum detekciós jellemzők a képfeldolgozásban

Ph.D. disszertáció tézisei

Manno -Kovács Andrea
mérnök-informatikus

Tudományos vezetők:

Dr. Szirányi Tamás
az MTA doktora

Dr. Vidnyánszky Zoltán
az MTA doktora



Információs Technológiai Kar
Pázmány Péter Katolikus
Egyetem



MTA
Számítástechnikai és
Automatizálási Kutatóintézet

Budapest, 2013

1. Bevezetés, kitűzött feladatok

Az automatikus detekciós módszerek számos gépi látással és képi elemzéssel kapcsolatos alkalmazásban fontos szerepet játszanak. Manapság, az elérhető árú digitális képkészítő berendezések és a nagy teljesítményű személyi számítógépek megjelenésével, a digitális képfeldolgozás jelentősége folyamatosan növekszik. Mivel az óriási digitális adatmennyiségek manuális kezelése nehézkes, az automatikus képfeldolgozó eljárások folyamatos fejlesztése szükséges az egyre bonyolultabb feladatok megoldására a különböző felhasználási területeken, úgymint videós távfelügyelet, változás detekció, orvosi képfeldolgozás, katonai és védelmi célok, beépített területek és épületek keresése légi felvételeken.

Ahogy az alkalmazások széles köre is mutatja, a megoldandó feladatok száma igen magas: a különböző felhasználási területeknek külön fogalmi és módszertanai vannak, így alkalmazásfüggő megoldások fejlesztése szükséges, hogy az adott feladat speciális feltételei teljesüljenek, ily módon áthidalva az esetleges nehézségeket és elérve a kitűzött célokat. Jelen disszertáció célja, hogy három választott automatikus detekciós témához adjon újszerű megközelítést. Annak ellenére, hogy ezek a feladatok összefüggenek egymással és a bemutatott megoldások jól kombinálhatóak összetettebb esetek megoldására, mégis különállóan kezelendők. A kidolgozott eredmények mindegyike az objektum jellemzés témakörbe sorolható, de a különböző célú alkalmazások (mint a felismerés, követés és változás detekció) különböző fejlesztést és eszközöket igényel. A három kifejtett objektum jellemzési feladat a következő:

Az *első* feladat egy alacsony dimenziójú objektum leíró meg-

alkotása, mely a jellemzőpontok körüli strukturális információ kifejtése. Ebben a feladatban elsőként a pont körüli alaki jellemzők állandóságát és alkalmazhatóságát kell megvizsgálni egy fix pozíciójú, álló vagy forgó kamerával készített képsorozat vagy videó szomszédos képkockáira. A lokális tulajdonságokat a pont egy kis környezetében generált aktív kontúr görbe írja le, amit a dimenzió csökkentése érdekében Fourier leírók jellemeznek. A cél a leírók összehasonlításával illeszteni a jellemzőpontokat az egymást követő képkockákon, további, komplexebb feladatokat (pl. követés, klasszifikáció, változás detekció) megoldására.

A *második* feladat parametrikus aktív kontúr módszerek felismerési pontosságának javítása, nagy görbületű, zajos körvonalak keresésére és az iteratív eljárás kezdőkontúrjának automatikus kijelölése. Ennek részeként először meg kell vizsgálni a meglévő parametrikus aktív kontúr módszerek tulajdonságait, és egy olyan új jellemzőtérkép fejleszteni, ami képes kiemelni az összetettebb körvonalakat és egyben jellemző pontok kijelölésével segíti az inicializálást. A javasolt jellemzőtérkép és pontthalmaz sikeresen alkalmazható más feladatokra, úgymint változás detekció vagy több objektum egyidejű detekciója légi vagy orvosi felvételeken.

A *harmadik* feladat légi felvételek elemzése, beépített területek illetve épületek körvonalának keresése, a jellemzőpontok körüli orientáció, mint újonnan bevezetett jellemző felhasználásával. A feladat első része a különböző jellemzőpont halmazok alkalmazhatóságának összehasonlítása, majd a pontok körüli orientáció jellemző statisztikai elemzése és a lakott terület fő irányainak meghatározása. Végül a kinyert jellemző alapján épületek körvonalának minél pontosabb detekciója, megkötések (pl. alaki

sablonok) nélkül.

2. A vizsgálatok módszerei

A disszertációban foglalt munka legnagyobb része az aktív kontúr módszeren alapuló alak felismeréshez kapcsolódik. Ez az eljárás egy energia minimalizálás, melyet különböző, az alakítható görbét és a képet jellemző erők irányítanak együttesen:

$$E = \int_0^1 \frac{1}{2} (\alpha |\mathbf{x}'(s)|^2 + \beta |\mathbf{x}''(s)|^2) + E_{\text{ext}}(\mathbf{x}(s)) ds, \quad (1)$$

ahol az első két belső energiatagban az α a görbe elasztikusságát, β a görbe merevségét súlyozó paraméter; $\mathbf{x}'(s)$ és $\mathbf{x}''(s)$ az s szerinti első- és másodrendű deriváltak. Munkám során a képből eredő E_{ext} külső energiatag továbbfejlesztését céloztam.

A disszertáció új eredményei az alacsony szintű, Fourier alapú alakleírás, hatékony jellemzőpont detekció és tulajdonság ki-nyerés, illetve shearlet (wavelet) alapú élkeresés tématerületekhez köthetőek, melyek apavető matematikai apparátusokkal (pl. osztályozás, gráfelmélet) párosulnak.

A kiértékelések során használt képek részben nyilvánosan elérhető képi adatbázisokból (Brodatz, Weizmann) származnak. Az *első* témában ugyanakkor egy budapesti kerületi rendőrkapitányság közterület-figyelő kamerájának képsorozata is kiértékelésre került. A *második* feladatban használt mágneses rezonancia vizsgálat (MR) felvételeket Barsi Péter, a Semmelweis Egyetem MR Kutató Központjának (SE MRKK) munkatársa bocsátotta rendelkezésemre. A több feladatban is használt légi

felvételeket a Földmérési és Távérzékelési Intézetől (FÖMI) szereztük be.

Az algoritmusok implementációja Matlab környezetben készült. A disszertáció és a kapcsolódó publikációk \LaTeX -ben íródtak.

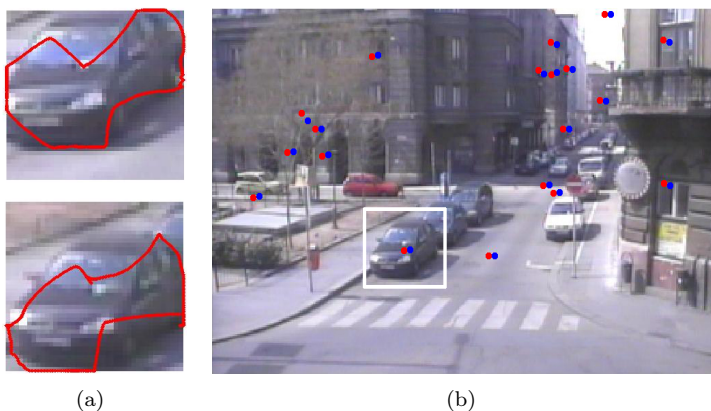
3. Új tudományos eredmények

1. Tézis: *Új, aktív kontúr alapú leíró adtam skála-invariáns kulcsponatok környezetének jellemzésére. Vizsgálatokkal bebizonyítottam, hogy a pont körüli lokális kontúr hatékonyan reprezentálja a pont környezetének főbb jellemzőit. Így alacsony dimenziójú interpretációja, a lokális kontúr leíró, alkalmassá teszi hatékonyabb kulcsponat leírók definiálására, majd ezek segítségével különböző, gépi látásban fontos alkalmazások (pl. pont követés, klasszifikálás és változás keresés) hatékonyabb megvalósítására.*

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [4], [6], [7], [12], [14].

A helyi tulajdonság leírók felhasználása kulcsponatok regisztrálására, számos, a gépi látásban felhasznált eljárásban fontos probléma. Amikor egy hatékony leíró keresünk, a cél kettős: a helyi karakterisztikus jellemzők minél pontosabb leírása mellett fontos a dimenziószám alacsonyan tartása.

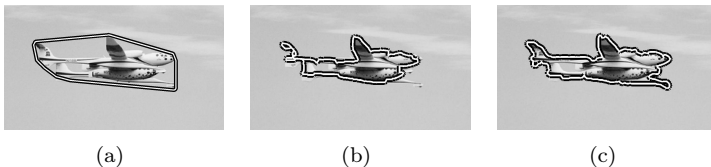
Miután több lehetséges módszert megvizsgáltam, melyek formálisan írják le a helyi tulajdonságokat alacsony dimenzióban, azt találtam, hogy a kulcsponatok körül generált aktív kontúr (lokális kontúr) sikeresen alkalmazható hatékony leíró készítésére a képrészletek összehasonlítására. Mivel a lokális kontúr dimenziószáma magas, a dimenziócsökkentést Fourier leírókkal valósítottam meg, melyek fő együtthatói jól reprezentálják az alakzatot. Megmutattam, hogy ez az új, immár alacsony dimenziós leírókészlet hatékonyan alkalmazható különböző képfeldolgozási feladatokban. Pont illesztés során egy definiált távolságmértékkel hasonlíthatók össze a leírók. Textúra klasszifikációs



1. ábra. Különböző képkockákon levő, összefüggő pontokhoz tartozó lokális kontúrok: A kontúr jól reprezentálja a helyi tulajdonságokat és megőrzi a főbb jellegzetességeket, ami alkalmazható a pont illesztés során [1. Tézis].

feladatra egy dinamikus sugarat definiáltam a Fourier együtthatók szórása alapján, mellyel a pontok körüli terület (melyen a lokális kontúr számíttódik) optimális mérete meghatározható. Változás detekcióra egy eljárást adtam, mely megtalálja a strukturális különbségeket két, regisztrált légi felvétel között a lokális kontúr leírók összehasonlításával.

Az elvégzett tesztek megerősítették, hogy a lokális kontúr leírók összemérhető eredményeket mutatnak más tömörített le-



2. ábra. Továbbfejlesztett jellemző térkép a parametrikus VFC módszerre. Automatikusan kijelölt kezdeti kontúr és az eredeti és a javított módszerek által detektált körvonal [2. Tézis].

írókkal, míg az általuk képviselt értelmezés hatékonyabb kulcspontra leírók készítését teszi lehetővé.

2. Tézis: *Új típusú tulajdonságtérképet dolgoztam ki, és bebizonyítottam, hogy a bevezetett tulajdonságtérképet parametrikus aktív kontúr eljárások energiafüggvényében alkalmazva nagyobb pontossággal detektálható zajos és nagy görbületű kontúrokkal határolt objektumok körvonala. Az új eljárás a Harris féle klasszikus sarokpont kereső módszer karakterisztikus függvényének egy általam javasolt módosítására épül.*

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [1], [2], [3], [5], [8], [9], [10], [12].

A jól alakítható aktív kontúr modellek hatékony eszközkészletet jelentenek objektumok körvonalának detektálására. A parametrikus modellek létező alternatívái kevésbé érzékenyek a zajra, paraméter beállításokra és kezdeti elhelyezkedésre, de a nagy görbületű, zajos, gyenge kontrasztú kontúrok még mindig

nehézséget okoznak számukra.

Az inicializálás és görbületi érzékenység korlátait megcélözva, megvizsgáltam az aktív kontúr elmélet energia minimalizáló folyamatát és egy új jellemzőtérképet vezettem be a külső energia tagban (lásd 1. képlet) két parametrikus módszer, a Gradient Vector Flow (GVF) és Vector Field Convolution (VFC) módszer teljesítményének javítására. A javasolt továbbfejlesztés a Harris sarokdetektor karakterisztikus függvényének módosítására épül és lehetővé teszi az alacsony és magas görbületű kontúrszakaszok egyidejű, egyenletes kiemelését.

Kísérleti eredményekkel támasztottam alá, hogy az általam javasolt módszerek teljesítménye felülmúlja a korábbi aktív kontúr modellek teljesítményét és képes pontosabban detektálni a nagy görbületű kontúrrészeket.

2.1. Megmutattam, hogy a bevezetett tulajdonságtérkép jellemzőpontjai hatékonyan felhasználhatók az objektum lokalizálására és az iteratív kontúr kereső eljárás inicializálására. A tézisben adott eljárás továbbfejlesztésével, a modellt alkalmassá tettem több objektum egyidejű kezelésére, szétválasztva a különböző objektumokhoz tartozó jellemzőpontokat, alkalmassá téve az eljárást „multi-target tracking” feladatok megoldására.

A kezdeti kontúr kijelölése összetett probléma, a létező megoldások vagy az alaki információt, vagy a fókuszált terület veszik alapul a célrégiók meghatározásához. Ha azonban a keresett objektum alakja tetszőleges lehet, akkor a kezdeti görbét általában manuálisan jelölik ki.

A jelen altézisben adott megoldásban a javasolt jellemző-térkép lokális maximumhelyeit adó kulcspontok konvex burkát használtam az objektumot körülvevő kezdeti görbe kijelölésére. Kiterjesztettem a tézisben bemutatott objektum detekciós módszert úgy, hogy képes legyen több objektumot egyidejűleg kezelni, a jellemzőpontok objektumonkénti, gráf alapú szétválasztásával.

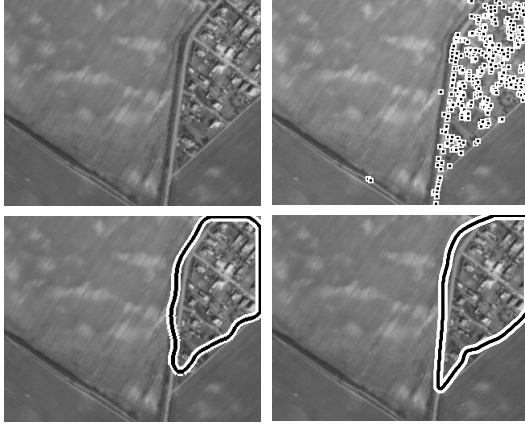
A tesztek, melyek zajos háttér előtt több kicsi objektum lokalizációját célozták, azt mutatták, hogy a javasolt eljárás képes sikeresen megvalósítani a szükséges célokat.

2.2. A jellemzőtérkép és az 1. Tézisben javasolt lokális kontúr leírók együttes alkalmazásával egy strukturális változásokat detektáló modellt adtam nagy időkülönbséggel készített képpárokra. A módszert egycsatornás agyi MR képpárokon teszteltem, betegségre utaló léziók megkeresésére.

A változás detekció meghatározó lépés a megfigyelő alkalmazások esetén, ahol a változások fontos történésekre utalhatnak. A feladat nehézségét a változó képi tulajdonságok jelentik, amik a regisztrációt és detekciót bonyolultabbá teszik.

Egy automatikus, strukturális változásokat detektáló módszert adtam, nagy időkülönbséggel készített képpárokra, mely a javasolt jellemzőtérképet használja fel a különbségkép kiszámítására. A kapott különbségkép lokális maximumai jelölik a lehetséges változási helyeket, melyek körül lokális kontúr leíró generálva mértem a megváltozás mértéket, ez alapján választva szét az esetleges regisztrációs hibákat és valódi változásokat.

A módszert egycsatornás agyi MR képeken teszteltem, ahol



3. ábra. Irányérzékeny lakott terület kinyerés a javasolt jellemzőpont halmaz alapján. Bal felső: Eredeti kép; Jobb felső: A kinyert jellemzőpont halmaz; Bal alsó: Az eredeti, irány nélküli módszer [28] által adott eredmény; Jobb alsó: A javasolt, irányérzékeny módszer által adott eredmény [2.3, 3.1 Tézis].

a cél a radiológus figyelmének felhívása az újonnan megjelent, betegségre utaló léziókra. A bemutatott módszer összehasonlítása korábbi lézió detekciós módszerekkel, mesterséges és valódi képeken, alátámasztotta az eljárás előnyeit.

2.3. Nagyszámú légi felvétel kiértékelésével bebizonyítottam, hogy a bevezetett jellemzőpont halmaz

hatékonyabban képes reprezentálni a lakott területeket más jellemző- illetve sarokpont kinyerő eljárások által eredményül adott ponthalmaznál.

A lakott területek automatikus felismerése a légi kép elemzés egyik fontos feladata, mely nagy segítséget jelent számos alkalmazásban, úgymint a városfejlődés megfigyelése, térkép frissítések, katasztrófavédelem. A bemutatott kulcspont halmazt felhasználtam a lakott területek jellemzésére, mely alapján egy valószínűségi térképet létrehozva egy döntéshozó lépéssel azonosítottam a lakott területeket.

A kiértékelés során megmutattam, hogy a bemutatott ponthalmaz más kulcspont detektoroknál pontosabban képes detektálni a lakott területeket.

3. Tézis: *Megmutattam, hogy légi felvételeken a lakott területek hatékonyabb jellemzésére jól használható az orientáció. Új, irány alapú eljárásokat dolgoztam ki, melyek a kép jellemzőpontjait körülvevő terület legfőbb irányát alapul véve pontosabb becslést adnak a légi képeken levő beépített területek elhelyezkedésére illetve precízebben közelítik a képen látható objektumok körvonalaát alaki sablonok használata nélkül.*

A tézishez kapcsolódó publikációk: [3], [11], [13].

3.1. Új, irányérzékeny modellt adtam beépített területek detektálására, a 2.3. altézisben kiértékelésre használt módszer továbbfejlesztéseként, a jellemző pontok környezetének orientációját beépítve. Az irányérzékeny tét modellt több, jellemzőpont kinyerő eljárásra alkalmazva megmutattam, hogy az

orientáció, mint tulajdonság alkalmazásával pontosabb eredmények érhetőek el légi felvételeken beépített területek szegmentálásában. Tesztekkel alátámasztva bizonyítottam, hogy az új tulajdonság felhasználásával az általam bevezetett jellemzőpont halmazra épített modell lényegi javulást képes elérni a korábban alkalmazott módszerekhez képest.

Az iránynak fontos szerepe van a lakott területek detekciójánál. A kulcspontok környezetében levő éleket elemezve a pontokat jellemző irány információ nyerhető ki. Megmutattam, hogy ezt az információt a korábban felhasznált valószínűségi modellbe illesztve és egy új típusú, irányérzékeny döntési térképet („voting map”-et) adva, a lakott települések pontosabban becsülhetőek.

Az elvégzett tesztek azt mutatták, hogy az irányérzékenység egy jól alkalmazható tulajdonság és több kulcspont detektor esetén javította az elért eredményeket. A tesztek továbbá azt is alátámasztották, hogy a 2.1. altézisben bemutatott kulcspont halmaz és irány jellemző kombinációja, mind az irányjellemzőt alkalmazó, mind a nélküli egyéb kulcspont detektorokra épülő technikákat felülmúlja.

3.2. Új, alaki sablonoktól mentes, irány alapú eljárást adtam, mely objektumok körvonalát detektálja légi felvételeken. Megmutattam, hogy a kép jellemző pontjainak környezetéből kinyert irány információból statisztikai modellel meghatározható a kép objektumait reprezentáló fő irányok, melyek alapján specifikusabb lokális jellemzők nyerhetőek. Kísérletekkel támasztottam alá a javasolt megköze-

lítés előnyeit a korábban használt, csupán elhelyezkedést detektáló illetve alaki feltevéseket használó modellekkel szemben.

Egy kis kiterjedésű lakott terület épületeinek fő irányai összefüggnek, így ez a jellemző jól használható épületek detekciójára is. A legtöbb esetben a házak irányzéka valamely nagyobb struktúra (pl. az úthálózat) függvénye, így az ilyen struktúrák irányának vizsgálata fontos a komplexebb feladatok megoldása során.

Irányérzékeny épület detekciós algoritmust fejlesztettem ki, mely a kulcspontok környezetének irány információját veszi alapul. Majd a kapott irányeloszláshoz bimodális Gauss-függvényeket illesztve meghatároztam a lakott települést jellemző fő irányokat. A kiemelt irányokban levő éleket shearlet alapú élkereső módszerrel emeltem ki. Végül, az él és pont információk fúziójával, egy kezdeti becslésből kiindulva aktív kontúr módszerrel határoztam meg az épületek körvonalát.

A javasolt modellt összehasonlítottam korábbi algoritmusokkal, melyek vagy csak az épület helyét v. valamilyen alaki sablonnal (pl. téglalapokkal) a körvonalát is közelítették. A kiértékelések azt mutatták, hogy a technikai előnyök mellett (a sablonok nélkül pontosabb körvonal közelítés), a javasolt módszer jobban teljesít, mint a korábbi eljárások.

4. Eredmények alkalmazási területei

A bemutatott algoritmusok és modellek egy komplex rendszerbe ágyazhatóak, különböző gépi látások feladatok megoldására, úgy mint megfigyelés és változás követés, orvosi és légi felvételek elemzése, katonai és védelmi célú alkalmazások.

A feldolgozott témák szorosan kapcsolódnak vagy folyamatban levő kutatási projektekhez vagy más intézetekkel közös együttműködésekhez.

Az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) 76159-es számú pályázatának alapvető célja a strukturális információ elemzése az érzékelők mérési terében, azaz hogy egy helyszínt különböző érzékelőkkel mérve, valójában mi az az érdemi információs mennyiség, ami önmagában is jól használható különböző problémák megoldására, pl. lényegi változások keresésére és mérésére egy folyamatosan változó területen.

Az OTKA 80352-es számú pályázatának témája, a koherens tulajdonságrendszerek vizsgálata a mesterséges és az emberi látásban, azt az alapvető kérdést célozza, hogy hogyan történik a vizuális információ automatikus kinyerése a nyers megfigyelési adatokból. A projekt a vizuális világ megfigyelési feldolgozását közelíti koherens modellek megalkotásával, beépítve az emberi látás specifikus környezetben megvalósuló megfigyelési stratégiáit (pl. orvosi és légi képek elemzése esetén).

Az SE MRKK-val történő együttműködés célja automatikus gépi támogatás nyújtása Sclerosis Multiplex léziók keresésére, a radiológus figyelmének felhívása a lehetséges problémás esetek kiemelésével, melyek gyaníthatóan degeneratív elváltozások.

A repülő célpontok felismerése és követés nagyon fontos a vé-

delmi alkalmazásokban. Az Európai Védelmi Ügynökség Multi Sensor Data Fusion Grid for Urban Situational Awareness (MEDUSA) projektjének célja hogy egy több szenzoros adatfúziós hálózat létrehozása, mely javítja a védelmi célú helyzetértékelést, ellenőrzést és vezérlést lakott környezetben. Emellett olyan algoritmusok kifejlesztése, amik megkönnyítik a különböző típusú szenzorjelek és a belőlük kinyert információ fúzióját.

5. Köszönetnyilvánítás

A villamosmérnök családi háttérnek köszönhetően mindig is rajongtam a matematikáért és számítógépes kutatásért. Ezt a lelkesedést tovább táplálta Dobos Sándor középiskolai osztályfőnököm, a Budapesti Fazekas Mihály Gimnázium matematika tagozatán. Mindezekkel együtt, az elmúlt évek folyamatos igyekezetet és elhivatottságot követeltek meg. Ezért mindenekelőtt hálaival és köszönettel tartozom elsődleges témavezetőmnek, Szirányi Tamás professzor úrnak, hogy elvállalta témavezetésemet, és végig töretlenül támogatott tanulmányaim alatt. Az ő útmutatásai és tanácsai nagy segítséget jelentettek a munkámban való előrehaladáshoz, és nagy megtiszteltetés hogy a kutatólaboratóriumában dolgozhatok. Köszönöm továbbá konzulensemnek, Vidnyánszky Zoltán professzor úrnak folyamatos biztatását és a lehetőséget, hogy kutatásom során a Semmelweis Egyetemmel dolgozhattam együtt.

Kiemelt köszönet illeti Roska Tamás és Szolgay Péter professzor urakat, hogy lehetővé tették, hogy a Pázmány Péter Katolikus Egyetem (PPKE) Interdiszciplináris Műszaki Tudo-

mányok Doktori Iskolájában folytathattam tanulmányaimat és hogy az évek során látókörömet számos területen tágították.

A Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetének (MTA SZTAKI) támogatásáért és az MTA Fiatal Kutatói Ösztöndíj odaítéléséért külön köszönetet mondok. Köszönöm jelenlegi és volt munkatársaimnak az MTA SZTAKI-ban, külön kiemelve Méder Istvánnak és az Elosztott Események Elemzése Kutatócsoport tagjainak a szakmai, szellemi és minden egyéb területre kiterjedő segítségét és tanácsait: Barti Mónika, Benedek Csaba, Havasi László, Keszler Anita, Kiss Ákos, Kovács Levente, Szlávik Zoltán és Utasi Ákos. Köszönöm Nagy Eszternek, Stossek Virágnak és Breyer Jenőnek különböző tudományos utazásaim megszervezését a Föld minden tájára.

Hálásan köszönöm Vágó Zsuzsa segítségét a PPKE-s oktatási munkában, a Tanulmányi Osztály, Gazdasági Osztály és Sifter Viktória könyvtáros segítségét az adminisztratív ügyek intézésében.

Köszönetemet fejezem ki minden jelenlegi és volt, idősebb és fiatalabb doktorandusztársamnak és kollégámnak, különösen: Rónai Judit, Hermann Petra, Balogh Ádám, Fekete Ádám, Füredi László, Gelencsér András, Kárász Zoltán, Kozák László, Szabó Vilmos, Tornai Kálmán, Varga Balázs, Kiss András és Szolgay Dániel.

Köszönöm a bírálók alapos munkáját és értékes kritikáit.

Munkámhoz anyagi támogatást nyújtottak a következő magyarországi K+F projektek: OTKA #76159 és #80352. A munkám során használt speciális képanyag rendelkezésre bocsátását köszönöm a Földmérési és Távérzékelési Intézetnek illetve Barsi

Péternek és a Semmelweis Egyetem MR Kutató Központjának.

Hálával tartozom a családomnak és barátaimnak: a nagyszüleimnek, az öcsémnek, édesapámnak és különösen édesanyámnak a gondoskodásért és szeretetért, hogy embert neveltek belőlem és támogattak minden lehetséges módon. Köszönöm a sorsnak, hogy ilyen anyóssal és apóssal ajándékozott meg tanulmányaim alatt. Köszönettel tartozom apósomnak mindig bölcs és nyugodt iránymutatásáért.

Hálásan köszönöm szeretett férjemnek, Balázsnak a türelmet, biztatást és azt, hogy hitt bennem.

6. Publikációs lista

6.1. A szerző folyóiratbeli publikációi

- [1] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Harris function based active contour external force for image segmentation,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, no. 9, pp. 1180–1187, 2012.
- [2] L. Kovacs, **A. Kovacs**, A. Utasi, and T. Sziranyi, „Flying target detection and recognition by feature fusion,” *Optical Engineering*, vol. 51, no. 11, pp. 117002–1–13, 2012.
- [3] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Improved Harris feature point set for orientation sensitive urban area detection in aerial images,” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 796–800, 2013.

6.2. A szerző nemzetközi konferencia publikációi

- [4] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Local contour descriptors around scale-invariant keypoints,” in *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, (Cairo, Egypt), pp. 1105–1108, 2009.
- [5] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „High definition feature map for GVF snake by using Harris function,” in *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, Lecture Notes in Computer Science 6474*, (Sydney, Australia), pp. 163–172, 2010.
- [6] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „New saliency point detection and evaluation methods for finding structural differences in remote sensing images of long time-span samples,” in *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, Lecture Notes in Computer Science 6475*, (Sydney, Australia), pp. 272–283, 2010.
- [7] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Shape detection of structural changes in long time-span aerial image samples by new saliency methods,” in *ISPRS Workshop on Modeling of Optical Airborne and Space Borne Sensors*, vol. XXXVIII-1/W17, (Istanbul, Turkey), 2010.
- [8] **A. Kovacs**, C. Benedek, and T. Sziranyi, „A joint approach of building localization and outline extraction,” in *IASTED*

International Conference on Signal Processing and Pattern Recognition, (Innsbruck, Austria), pp. 721–113, 2011.

- [9] **A. Kovacs**, A. Utasi, L. Kovacs, and T. Sziranyi, „Shape and texture fused recognition of flying targets,” in *Proceedings of Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XX, at SPIE Defense, Security and Sensing*, vol. 8050, (Orlando, Florida, USA), pp. 80501E–1–12, 2011.
- [10] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Improved force field for vector field convolution method,” in *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, (Brussels, Belgium), pp. 2853–2856, 2011.
- [11] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Orientation based building outline extraction in aerial images,” in *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences (Proc. ISPRS Congress)*, vol. I-7, (Melbourne, Australia), pp. 141–146, 2012.
- [12] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Automatic detection of structural changes in single channel long time-span brain MRI images using saliency map and active contour methods,” in *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, (Orlando, Florida, USA), pp. 1265–1268, 2012.
- [13] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Multidirectional building detection in aerial images without shape templates,” in *ISPRS Workshop on High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, (Hannover, Germany), 2013. accepted.

6.3. A szerző egyéb publikációi

- [14] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Detecting boundaries of structural differences in long time-span image samples for remote sensing images and medical applications,” in *8th Conference of the Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition*, (Szeged, Hungary), 2011.
- [15] **A. Kovacs** and T. Sziranyi, „Új típusú, Harris függvény alapú tulajdonságtérkép és pontthalmaz objektumok körvonalának megkeresésére,” in *9th Conference of the Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition*, (Bakonybél, Hungary), 2013.
- [16] A. Utasi and **A. Kovacs**, „Recognizing human actions by using spatio-temporal motion descriptors,” in *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, Lecture Notes in Computer Science 6475*, (Sydney, Australia), pp. 366–375, 2010.

6.4. A disszertáció témaköréhez kapcsolódó publikációk jegyzéke

- [17] M. Kass, A. P. Witkin, and D. Terzopoulos, „Snakes: Active contour models,” *International Journal of Computer*

- Vision*, vol. 1, no. 4, pp. 321–331, 1988.
- [18] D. G. Lowe, „Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, 2004.
- [19] C. Xu and J. L. Prince, „Gradient vector flow: A new external force for snakes,” in *Proceedings of Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*, (San Juan, Puerto Rico), pp. 66–71, 1997.
- [20] B. Li and T. Acton, „Active contour external force using vector field convolution for image segmentation,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 16, no. 8, pp. 2096–2106, 2007.
- [21] C. Harris and M. Stephens, „A combined corner and edge detector,” in *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*, (Manchester, UK), pp. 147–151, 1988.
- [22] K. Mikolajczyk and C. Schmid, „A performance evaluation of local descriptors,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 10, pp. 1615–1630, 2005.
- [23] B. Jähne, *Digital image processing (5th revised and extended edition)*. Springer-Verlag, 2002.
- [24] T. F. Chan and L. A. Vese, „Active contours without edges,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 10, no. 2, pp. 266–277, 2001.

- [25] B. Sirmacek and C. Ünsalan, „Urban-area and building detection using SIFT keypoints and graph theory,” *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, no. 4, pp. 1156–1167, 2009.
- [26] C. Benedek, X. Descombes, and J. Zerubia, „Building development monitoring in multitemporal remotely sensed image pairs with stochastic birth-death dynamics,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 34, no. 1, pp. 33–50, 2012.
- [27] H. J. Seo and P. Milanfar, „A non-parametric approach to automatic change detection in MRI images of the brain,” in *IEEE Int. Symp. on Biomedical Imaging (ISBI)*, (Boston, MA, USA), pp. 245–248, 2009.
- [28] B. Sirmaçek and C. Ünsalan, „Urban area detection using local feature points and spatial voting,” *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 146–150, 2010.
- [29] S. Yi, D. Labate, G. R. Easley, and H. Krim, „A shearlet approach to edge analysis and detection,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 18, no. 5, pp. 929–941, 2009.