

**Képi szenzorokkal érzékelt dinamikus nézetek  
geometriai paramétereinek meghatározása mozgási és  
mozgás-statisztikai jellemzők alapján**

*Ph.D.* disszertáció tézisei

**Havasi László**

Tudományos vezető:

Dr. Szirányi Tamás

Pázmány Péter Katolikus Egyetem

Információs Technológiai Kar

Budapest, 2006



## **Bevezetés, célkitűzések**

Szenzortömbök, esetemben 2 dimenziós képérzékelő szenzorok térbeni tulajdonságainak meghatározása lényeges alapfeladata a mérések környezethez viszonyított geometriai jellemzőinek számításának. Valamennyi hasonló motivációjú paraméterbecslési feladat a geometriai modell, és annak tulajdonságainak meghatározásával, majd a modellparaméterek számításához szükséges információ, kép vagy videó feldolgozási módszerekkel történő kinyerésével kezdődik. Gyakran felmerülő kérdések, hogy milyen jellemzők észlelésével oldható meg a feladat, vagy hogy a modell paraméterek meghatározására melyik optimalizálási módszer a megfelelő, végül az eredmény kvantitatív minősítéséhez milyen hibafüggvény definiálható?

Jelen munka tárgya az egy és kétkamerás esetekben számolható geometriai modellek paraméterbecslési feladatainak vizsgálata. A kidolgozott módszer során fontos szerepet kap a videó által nyújtott többletinformáció statisztikai keretrendszerben történő feldolgozása és használhatósági analízise. Több eset és számos minta videó vizsgálatával igazolom, hogy a kidolgozott módszerek alkalmasak a kitűzött célok eléréséhez.

Az egykamerás esetet vizsgálva a leképzett 2D-s kép a 3D-s világról egyrészt tartalmazza a kamera környezethez vett viszonyát, amit a horizont jellemez, másrészt a nézet geometriájának, témájának függvényében tartalmazhat tükröződő felületet, vagy a földfelszínen létrejövő árnyékot. A kétkamerás esetre áttérve alapfeladatként a képek közötti geometriai, nem-lineáris transzformáción keresztül megvalósuló kapcsolatot említjük, ami pont-pont megfeleltetést jelent a kameraképeken látható földfelszín közeli pontok között. Ezek a modellbecslési feladatok a nézetek geometriai analíziséhez kapcsolódnak és jelenleg is aktív kutatási területet képviselnek.

Célkitűzéseimnek és munkámnak erős motivációt jelentett az IEEE Transactions on Pattern Analysis 2000 (22) különszáma, ami a kép és videó feldolgozási módszerek valós körülmények közötti alkalmazását tárgyalta. A kezdeményezést azóta is folyamatosan életben tartja és fokozza az évente megrendezésre kerülő azonos témájú, tematikus rendezvények sorozata (PETS, AVSS). Az életszerű esetek vizsgálatát

nagymértékben sietette a biztonsági kamerák számának ugrásszerű növekedése és a biztonságérzet iránti fokozott társadalmi igény. A képfeldolgozás hőskorában publikált számos, mély elméleti háttérrel rendelkező értekezés többségében bemutatott módszer nem volt alkalmas a kültéri, alacsony minőségű kameraképek feldolgozására. Ennek következménye, hogy a témában kutatásokat és projecteket vezető csoportok több heurisztikus elemmel gazdagították a diszciplína módszertanát.

Az életszerű eseteket vizsgálva különösen fontosnak mutatkozik a nézetek geometriai jellemzőinek meghatározása. Ezek a karakterisztikus tulajdonságok felhasználhatóak a kameraképek közötti objektumkövetésre, tartalom megfeleltetésre, esemény analízisre. Az elmúlt időszak eredményei közé tartozik továbbá a geometriai modellek integrációja különféle döntési eljárásokba. Ezek közül talán legfontosabbnak említhető az úgynevezett előtér maszk meghatározása, ami a képi aktivitást adó objektumok elhelyezkedését hivatott megadni. Ez a videó feldolgozási alaplépés sok esetben triviálisnak tűnhet, azonban a valóságban számos nehezen áthidalható problémát vet fel. Ezek közé tartozik az árnyék és a tükröződések törlése a maszkról, amik lehetetlenné teszik az alakzatok pontos kinyerését és számos hibásan észlelt objektumot eredményeznek.

Hasonló paraméterbecslési feladatok lényegét a következő pontokban lehet összefoglalni:

- i. *A geometriai modell meghatározása* lehetővé teszi a paraméterbecslési feladat megoldásához szükséges mérések jellegének és minimális mennyiségének megadását. A mért jellemző függ a modell sajátosságaitól, azonban általánosan fogalmazva; térben és időben összetartozó, eltérő mérések megfeleltetésére van szükség.
- ii. Az előző pontban definiált *2D-s mérések elvégzése* a kép és videó feldolgozási eszköztár felhasználásával. A feldolgozási lépések robusztusságát nagyban befolyásolja a kutató találékonysága, további szempont a gyors feldolgozási sebesség.

- iii. A hatékony és pontos paraméterbecslés a bemeneti adathalmaz szűrését az úgynevezett *outlier rejection*-t igényli. A feldolgozás során a modellhez – hibafüggvénnyel minősített – kevésbé illeszkedő pontokat töröljük az adathalmazból. A megmaradó mérések között továbbra is maradnak hibásak, azonban ezek súlya jelentősen csökken.
- iv. A paraméterek meghatározása szinte minden esetben több lépéses *optimalizálási eljárás*sal történik. Ehhez egy alkalmasan megválasztott célfüggvény, általában lineáris becslésen alapuló inicializálási érték és nem-lineáris optimalizálási eljárás szükséges. A célfüggvény globális optimumát jelentő megoldás a legtöbbször iteratív eljárással kereshető.

A paraméterbecslés pontosságát nagyban befolyásolják a i-iv pontokban alkalmazott módszerek jellemzői. Jelen dolgozatomban valamennyi alpontot érintem és tárgyalom. Bemutatom, hogy a tükröződés és az árnyék is jellemezhető a ferdén szimmetrikus, az úgynevezett auto-epipole fundamentális mátrixszal. Módszert adok a ii. pontban szükséges mérések robusztus és nagy pontosságú elvégzésére, illetve bemutatom hogy a mérések bizonytalansága hogyan használható fel az optimalizálás során. Valamennyi esetben megadom a iii. pont szűrés feltételét, ami más és más a különféle problémáknál. Hatékony célfüggvényt definiálok a modell illeszkedés jóságának megadásával, ami felhasználja a mérések során jelentkező pontatlanságot is.

## ***A vizsgálatok módszerei***

Kutatásaim során több diszciplínához tartozó eszköztárat alkalmaztam. Az előfeldolgozási algoritmusokban a statisztikai paraméterbecslés valós idejű változatait használtam fel. Felhasználtam a nem-lineáris paraméterbecslés, globális optimumkeresés esetére kidolgozott módszereit és megvizsgáltam a paraméterbecslés robusztusságát a környezeti paraméterek függvényében.

A megvalósítás során a párhuzamosítható műveletekre optimalizált Intel függvénykönyvtárakat használtam. Ezek használata elősegítette a valós idejű végrehajtást, ami szintén célkitűzéseim egyike volt. A kísérleteket két – részben –

általam kidolgozott keretrendszerben végeztem el: MDICam, PPKeyes. Az utóbbi lehetőséget biztosít az eljárások kül- és beltéri teszteléséhez egyaránt.

Eredményeimet valós körülmények között készített felvételeken igazoltam. Több nemzetközileg elfogadott teszt sorozatot is felhasználtam és valamennyi esetben az eredmények manuális ellenőrzésével győződtem meg azok pontosságáról.

## **Új tudományos eredmények**

### **1. téziscsoport: A mozgó objektumok magas szintű struktúrális változásainak időbeni leírója alkalmas az emberi aktivitás (járás) észlelésére és testtartásra vonatkozó információ kinyerésére.**

*Eljárást adtam az emberi aktivitás és annak egy specifikus jellemzőjének a meghatározására. Bevezettem a sajátjárás terét, ami jól használható az emberi járás észleléséhez. Új eljárást adtam a vezető láb meghatározására ami a járás közbeni testtartás jellemzésére szolgál.*

Az emberi mozgás (járás) észlelése lehetséges a mozgásinformációk, illetve objektumleíró jellemzők időbeni követésével és osztályozásával. A járókelők általános tulajdonsága, hogy a lábmozgás minden esetben meghatározó, ezért ennek felismerésével a lépés, két lépés alapján pedig a vezető láb határozható meg.

A kinyert jellemzők nem csupán a képsorozat eseményszintű analizálására alkalmasak, hanem a 2D-s kamerákon vett pontosságuk miatt sikeresen alkalmaztam a nehezen megoldható beltéri, nagy bázistávolságú kamerák képeinek regisztrálására.

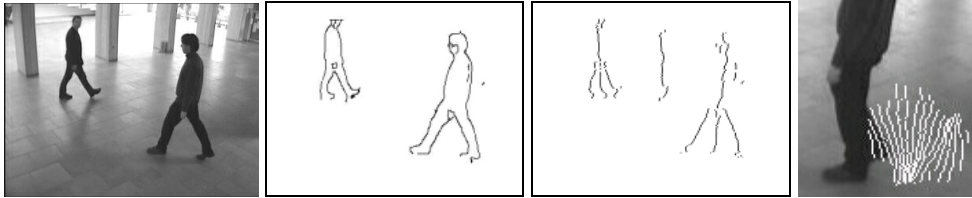
*Kapcsolódó publikációk: [1][3][6][13][15][17][18][20]*

#### **1.1. tézis: Járás észlelése a horizontális szimmetriákból felépülő tér-időbeni mintázatok alapján.**

*Eljárást adtam, mellyel hatékonyan számítható a horizontális szimmetria. Bevezettem a szimmetria szinteket, amik közül a harmadik jól jellemzi a két pár, közel párhuzamos él (lábak) jelenlétét. Ebből adódik, hogy az eljárás bemenete nem az*

intenzitáskép, vagy az objektum sziluett, hanem az élkép lokális maximumát reprezentáló bináris élkép. *Módszert dolgoztam ki* a szimmetria szegmensek időbeni követésére és feldolgozására (interpoláció és dimenziócsökkentés), amik alapján lehetővé vált a járókelők szimmetria-lenyomatok alapján történő észlelése.

A felismerés alapja a minták kétosztályos szeparálása. A két osztályt (járás és a nem-járás) nem-lineáris hipersíkkal választottam szét Support Vector Machine tanításával a járáslenyomatok sajátterében. Az adatrepresentáció sajátterbe transzformálásával jelentős dimenziócsökkenést értem el.

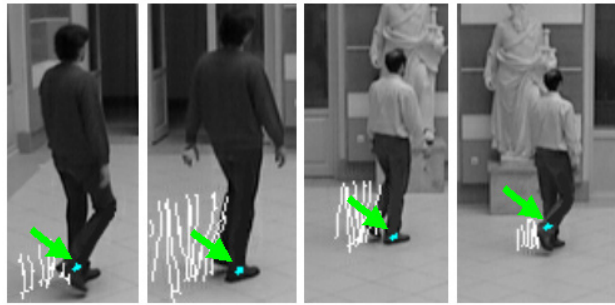


1. ábra: Szimmetria lenyomatok számolásának összegzése: bemeneti kép, maszkolt élkép, elsőrendű szimmetriák, a szimmetriák tér-időbeni követésével kinyert lenyomat.

## 1.2. tézis: A testtartásra vonatkozó vezető láb meghatározása.

*Módszert adtam* a vezető láb meghatározására két egymás utáni lépés alapján. A vezető láb azonosítása a lábak kölcsönös takarásának vizsgálatán alapszik, *kísérletileg igazoltam* az eljárás megbízhatóságát és *megadtam* a helyes működés feltételeit.

A két egymás utáni lépés során a lábak sorrendje felcserélődik, ami az észlelt szimmetria-lenyomatok területének változásában mutatkozik meg. A két terület hányadosa és az objektum 2D-s irányvektora együttesen meghatározza a vezető lábat. Az összefüggéseket táblázatos formában adtam meg, melyben feltüntettem a módszer korlátait is. A vezető láb újszerű jellemzője a járókelők adott időpontban vett állapotának, ezért diszkriminációs képességekkel rendelkezik.



2. ábra: Vezető láb meghatározása két egymás utáni lenyomat területhányadosának felhasználásával.

### **1.3. tézis: Átfedő és nem átfedő kameranézetek regisztrációja járókelők mozgása alapján.**

*Kísérletileg igazoltam*, hogy mind az észlelt lépések, mind pedig a vezető láb azonosítása olyan információt jelentenek melyek alapján az átfedő, vagy nem átfedő kamerák képei regisztrálhatóak.

Az eljárás során ismert optimalizálási módszereket alkalmaztam, illetve összehasonlítottam az elterjedt megoldások hibáit. A nem átfedő kamerák egy speciális esetére adtam megoldást, mely során a hagyományos pont-pont összerendelés helyett egyenes-egyenes összerendelést alkalmaztam.





3. ábra: Nem-átfedő nézetek illesztése egyenes-homography számolásával az észlelt járókelők halmazán.

## **2. téziscsoport: A környezet érzékelt megváltozásának modell alapú, statisztikai leírása alapján a síktükör, az árnyék és a horizont geometriai modellje meghatározható.**

*Megmutattam, hogy a változás - mint információ - összegzése statisztikai értelemben jól modellezhető eloszlást eredményez, ami robusztus és felhasználható geometriai modellezési feladatokban. Eljárást adtam a statisztikák parametrikus feldolgozására és felhasználására a kameranézetek különféle geometriai jellemzőinek meghatározásához.*

A környezet változásainak észlelése a kamera síkjában jellemzi a kamera környezethez viszonyított helyzetét és a környezet geometriai sajátosságait. Kültéri és beltéri kameraképek esetében egyaránt előforduló szituációk az árnyék, horizont és speciális esetben a tükröződő felületek meghatározása. Mindhárom eset definiálható geometriai modell optimalizációs feladatként melyek megoldásához szükséges mérési adathalmazt a mozgásstatisztikák parametrikus leíróiból nyertem. Összegezve, a vizsgált (együtt)mozgási statisztikák úgynevezett lokális értelemben számolva alkalmasak a kamera nézet analízisére, zajos, ismeretlen környezeti feltételek mellett.

*Kapcsolódó publikációk:* [2][9][11][5][8]

### **2.1. tézis: Mozgásstatisztikák modell alapú feldolgozása robusztus és subpixel pontosságú jellemzőkinyerést tesz lehetővé.**

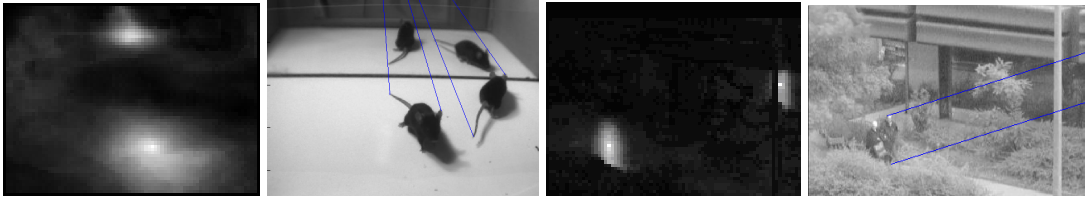
*Megmutattam és kísérleti úton is igazoltam*, hogy a mozgásstatisztikák modell alapú leírása alkalmas a geometriai modellek meghatározásához szükséges pozíció-információ subpixel pontosságú és robusztus kinyerésére.

A 2D-s (együtt)mozgási statisztikák az együttes események bekövetkezési gyakoriságát leíró feltételes valószínűségek közelítő becslései. Ezek modell alapú leírásának feltételét definiáltam és a feltétel teljesülését különböző környezetekben megvizsgáltam. Az elméleti eredmények alátámasztják a kísérleti tapasztalatokat, miszerint a módszer széles tartományban jól használható és a megkívánt pontosság eléréséhez szükséges bemeneti adatmennyiség jól becsülhető a környezeti (mozgásintenzitás) és algoritmikus (detekciós hiba) paraméterek alapján.

### **2.2. tézis: A sík, tükröződő felület és az árnyék geometriai modelljének meghatározása globális optimumkeresési módszerrel.**

*Megmutattam*, hogy a sík tükröződő felület és az árnyék geometriája megadható ferdén szimmetrikus fundamentális mátrixszal, ami egy pont-egyenes összerendelést jelent és két paraméterrel – a tükröközéppont pozíciójával – egyértelműen megadható.

Jósági függvényt definiáltam a statisztikai információk felhasználásával. A függvény maximumának argumentuma adja a keresett modell paramétert, ami globális optimumkeresési feladathoz vezet. A módszer hatékonyságát és pontosságát kísérleti úton, kültéri és beltéri környezetben egyaránt igazoltam. A bemeneti adatok térbeni felbontásának csökkentésével az eljárás futási sebessége jelentősen javítható, miközben az optimalizálás során meghatározott modell paraméterek számottevően nem változnak. A modell alapú feldolgozás ezen subpixeles pontosságot biztosító tulajdonságát kísérleti úton igazoltam.

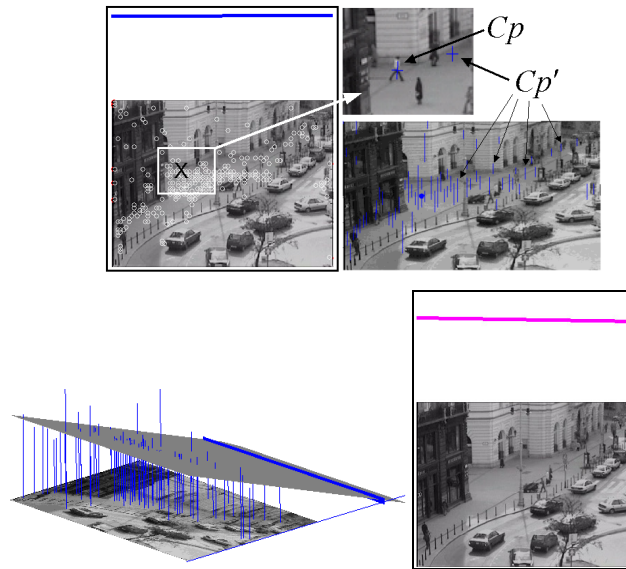


4. ábra: Lokális együttmozgási statisztikák és az optimalizálással nyert model-paraméter (tükröközéppont) demonstrálása bel- és kültéri környezetben.

### **2.3. tézis: A kamera orientációját leíró horizont meghatározása a mozgásstatisztikákból számolt objektum-magasság alapján.**

*Módszert vezettem be, ami a mérési hiba statisztikai terjesztésén és a mérési adatok modell-paraméterterbe történő transzformációján alapul. Megmutattam, hogy ezzel a megközelítéssel a horizont meghatározása az előző ponthoz hasonló optimumkeresési feladathoz vezet az egyenes paraméterterében (Hough-térben). Ennek alapfeltétele, hogy a Hough térben nem a szokásos, diszkrétizált akkumulátor tömböt alkalmazzam, hanem a paraméterbecslés hibáját folytonos, gaussi függvénnyel definiáljam.*

*Kísérleti úton igazoltam, hogy a statisztikákból kinyerhető objektum-magasságra vonatkozó információ jól használható a horizont meghatározásához. Eredményekkel alátámasztottam, hogy a kidolgozott módszer közel azonos pontosságot ad a horizont manuális meghatározásával.*



5. ábra: Horizont meghatározása az objektumok átlagos magasságának kinyerésével.

### 3. téziscsoport: A geometriai modell felhasználása az előtér-maszk kinyerése során tükröződés és árnyék esetében.

*Eljárást adtam a geometriai információ felhasználására videószegmentációs utófeldolgozási feladatokhoz. Kísérletileg igazoltam, hogy az eddigieknél pontosabb előtérmaszk állítható elő a geometriai modell figyelembevételével.*

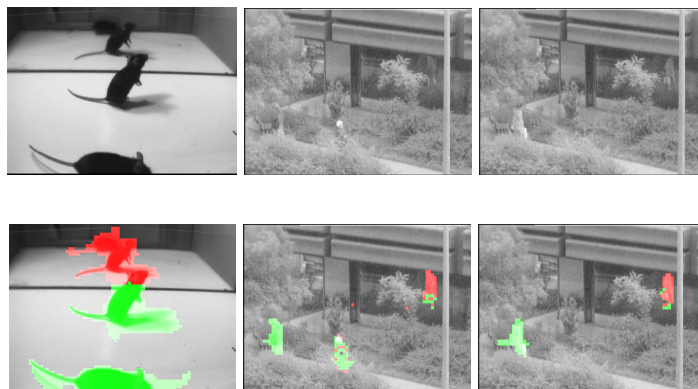
Képsorozatok feldolgozása során az alapvető lényeg-kiemelési lépés a változások és a történést meghatározó objektumok meghatározása. Az ehhez kapcsolódó nagy múltú módszertan számos megoldást ad az úgynevezett előtérmaszk kinyerésére, ami alapján a képen látható előtérben megjelenő objektumok kigyűjthetőek. Nehezen kiszűrhető hibákat jelent az árnyék és a tükröződés megjelenése az előtér maszkon. Az ilyen jellegű hibák nehezítik, gyakran lehetetlenné teszik a bemenet további feldolgozását. Mindkét esetre más-más megoldást dolgoztam ki a geometriai információ felhasználásával, annak érdekében hogy a zavaró, hamis észlelések törölhetőek legyenek a maszkról.

*Kapcsolódó publikációk: [10][9][2]*

### 3.1. tézis: Objektumok tükörképének törlése az előtérmaszkról Bayes-i döntés alapján.

*Módszert adtam*, mely a geometriai modell információ és a mozgásstatisztikák együttes felhasználásával alkalmas az előtér maszkon megjelenő objektum tükröződések törlésére. Mivel a geometriai modell mindössze pont-egyenes kapcsolatot ír le, ezért szükséges és nélkülözhetetlen a statisztikák bevonása a döntési logikába, aminek alapját a Bayes döntés adja.

*Számos igazoltam* – beltéri és kültéri környezetben egyaránt –, hogy az előtér osztályba sorolás hibája jelentősen csökken a tükröződő felület észlelése és a bemutatott utófeldolgozási lépések alkalmazásával.



6. ábra: Előtér maszk osztályozása, tükröződéshez kapcsolható pontok törlése a geometriai információ és a mozgásstatisztikák segítségével.

### 3.2. tézis: Mozgó objektum árnyékának törlése az előtérmaszkról

*Módszert adtam* az objektumhoz tartozó árnyék geometriai úton történő azonosítására. Az alkalmazott iterációs Bayesi séma alkalmas az objektum-árnyék elrendezéséről szerzett, előzetes *a priori* ismeretek felhasználására. A módszer alkalmazásával a nehezen kezelhető, úgynevezett erős/sötét árnyék is jó hatásfokkal törölhető az előtér maszkról.

Árnyék esetén a mozgásstatisztikai információ csak a geometriai modell meghatározásához használható fel, azaz a 3.1. tézisben bevezetett döntési módszerben történő alkalmazása nem ad kellő pontosságot. Ennek oka, hogy a teljes képen

előforduló objektum-árnyék részletek egymáshoz közel jelennek meg az előtér maszkon ami nagyméretű, elmosott statisztikákat eredményez így az árnyék nem különíthető el az objektumtól. A hiányzó információ pótlására bevezettem a Bayesi iterációs formula alkalmazását az objektumhoz tartozó árnyék- valószínűség számítási értelemben vett – meghatározásához. A kidolgozott módszer a valószínűségi térképek inicializálásához felhasználja az árnyékre vonatkozó színinformációt, majd a geometriai modell ismeretében a legvalószínűbb osztályba sorolja a képi régiókat.



7. ábra: Erős árnyék törlése az előtérmaszkról.

### ***Az eredmények alkalmazási területei***

A munkám során elkészült valamennyi algoritmus valós problémákra ad jól használható megoldást.

Legfőbb alkalmazási területként a kamerás biztonságtechnikai rendszerek említhetőek. Ezek terjedése ugrásszerű, azonban a valós körülmények nehézségei miatt rendkívül kevés használható tudományos eredmény született. Tovább nehezíti az új eredmények éles tesztelését, hogy a legtöbb módszer számításigénye nem teszi lehetővé a valós-idejű futtatást.

Az első téziscsoportban bemutatott eljárások beépítésre kerültek a PPKEyes fantázianévre keresztelt digitális videó megfigyelő rendszerbe, mely az egyetem területén üzemel. Ezáltal lehetőség nyílik esemény/aktivitás észlelésére és a kamera nézetek analízisére.

A második téziscsoport által adott megoldás a geometriai modellezési problémára szintén valós életből vett esetekre épül: több teszt videón zavaró hatással van jelen valamilyen tükröződő felület. Ezek észlelése és nem kívánt hatásuk

csökkentése fontos lépések a kameraképek magasabb szintű feldolgozási lépéseit megelőzően.

A harmadik téziscsoportban adott újszerű megközelítések az előtérmaszk klasszifikálását pontosítják, miközben felhasználják az előző téziscsoport geometriai információját. Mindkét esetben a cél az volt, hogy *a priori* feltevések nélkül, mindössze a képsorozat feldolgozásával nyert – elsősorban – statisztikai információ segítségével alakítsam ki a klasszifikációs eljárást.

### **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani:

Dr. Szirányi Tamásnak, aki munkámat mindenben segítette és minden téren támogatott.

Dr. Roska Tamásnak, aki tanulmányaimat és munkámat egyaránt támogatta.

A Szüleimnek.

Dr. Michael Rudzskynak és Dr. Rásonyi Miklósnak, a hasznos beszélgetésekért és ötletekért.

Kollégáimnak, akikkel együtt dolgoztam: Szlávik Zoltán, Kóbor István, Benedek Csaba, Kovács Levente.

Szeretném továbbá megköszönni a befogadó intézmények és K+F projektek támogatását: PPKE-ITK, SzTAKI, GVOP, illetve a Telesense, Alfa és Monling.

### **A szerző publikációi**

#### ***Folyóirat publikációk***

- [1] **László Havasi**, Zoltán Szlávik and Tamás Szirányi: “Detection of gait characteristics for scene registration in video surveillance system”, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, in print
- [2] **László Havasi** and Tamás Szirányi: “Estimation of vanishing point in camera-mirror scenes using video”, *Optics Letters*, vol. 31, No. 10, pp. 1411-1413, 2006

- [3] **László Havasi**, Zoltán Szilávik and Tamás Szirányi: “Higher order symmetry for non-linear classification of human walk detection” , *Pattern Recognition Letters*, vol. 27(7), pp. 822-829, 2006
- [4] Zoltán Szilávik, Tamás Szirányi and **László Havasi**: “Stochastic view registration of overlapping cameras based on arbitrary motion”, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, accepted
- [5] Zoltán Szilávik, **László Havasi** and Tamás Szirányi: “Video camera registration using accumulated co-motion maps”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, accepted

#### ***Nemzetközi konferencia publikációk***

- [6] **László Havasi**, Zoltán Szilávik, Tamás Szirányi: “Use of human motion biometrics for multiple-view registration” , ACIVS, LNCS, vol. 3708, pp. 35-44, 2005
- [7] Zoltán Szilávik, **László Havasi**, Tamás Szirányi, „Estimation of common groundplane based on co-motion statistics” , ICIAR’04, LNCS, vol. 3211, pp. 347-353, 2004
- [8] **László Havasi** and Tamás Szirányi: „Extraction of horizontal vanishing line using shapes and statistical error propagation”, PCV 2006, accepted
- [9] **László Havasi** and Tamás Szirányi: „Use of motion statistics for vanishing point estimation in camera-mirror scenes”, ICIP 2006, accepted
- [10] **László Havasi**, Tamás Szirányi and Michael Rudzsky: „Adding geometrical terms to shadow detection process”, EUSIPCO 2006, accepted
- [11] Zoltán Szilávik, **László Havasi** and Tamás Szirányi: „Analysis of dynamic scenes by using co-motion statistics”, IEEE International Workshop on Visual Surveillance, 2006



- [12] **László Havasi**, Zoltán Szlávik, Csaba Benedek, Tamás Szirányi, “Learning human motion patterns from symmetries”, ICML Workshop on Machine Learning for Multimedia, Bonn, 2005, (on CD-ROM)
- [13] Csaba Benedek, **László Havasi**, Tamás Szirányi, Zoltán Szlávik, “Motion-based Flexible Camera Registration”, IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, pp.439-444 Como, 2005
- [14] Zoltán Szlávik, **László Havasi**, Tamás Szirányi, Csaba Benedek, “Random motion for camera calibration”, European Signal Processing Conference, EUSIPCO, Antalya, 2005
- [15] **László Havasi**, Zoltán Szlávik, Tamás Szirányi: „Eigenwalks: walk detection and biometrics from symmetry patterns”, ICIP, pp. 289-292, Genova, 2005
- [16] Zoltán Szlávik, Tamás Szirányi, **László Havasi**, Csaba Benedek, “Optimizing of searching co-motion point-pairs for statistical camera calibration”, ICIP, pp. 1178-1181, Genova, 2005
- [17] **László Havasi**, Zoltán Szlávik, Csaba Benedek, Tamás Szirányi, “Learning human motion patterns from symmetries”, International Conference on Machine Learning Workshop on Machine Learning for Multimedia, Bonn, 2005, (on CD-ROM)
- [18] **László Havasi**, Zoltán Szlávik, Tamás Szirányi: „Pedestrian detection using derived third-order symmetry of legs”, ICCVG 2004, Warsaw, Poland, Kluwer, Computational imaging and vision
- [19] **László Havasi**, Csaba Benedek, Zoltán Szlávik, Tamás Szirányi: „Extracting structural fragments of overlapping pedestrians” , Proc. Of the 4th IASTED Int. Conference VIIP’04, pp. 943-948, Marbella, 2004
- [20] **László Havasi**, Zoltán Szlávik, „Symmetry feature extraction and understanding” , Proc. of CNNA’04, pp. 255-261, Budapest, 2004

- [21] Zoltán Szlávik, **László Havasi**, Tamás Szirányi, „Image matching based on co-motion statistics” Proc. of 2nd Int. Symposium on 3DPVT, Thessaloniki, 2004, (on CD-ROM)
- [22] **László Havasi**, Tamás Szirányi: „Motion Tracking Through Grouped Feature Points”, ACIVS, 2003