



Institut National des Sciences Appliquées de Rouen

Laboratoire d'Informatique de Traitement de l'Information et des Systèmes

Universitatea "Babeş-Bolyai"

Facultatea de Matematică și Informatică, Departamentul de Informatică

Rezumatul Extins al TEZEI DE DOCTORAT

Domeniul : Informatică

Susținută de

Miron Alina Dana

Detecria și clasificarea multi-domeniu, multi-modală a
pietonilor: Propuneri și explorări în Vizibil folosind Stereo
Viziune, Infraroșu Îndepătat și Infraroșu Apropiat

Îndrumători:

Horia F. POP - *Profesor* - "Babeş-Bolyai" University

Abdelaziz Bensrhair - *Profesor* - INSA de Rouen

Conținutul tezi

Introducere	15
1 Preliminarii	21
1.1 Motivația	21
1.2 Tipuri de senzori	23
1.3 O scurtă trecere în revistă a clasificării și de detecției de pietoni	24
1.3.1 Preprocesare	27
1.3.2 Generare de ipoteze	27
1.3.3 Clasificarea obiectelor/Rafinamentul ipotezelor	29
1.4 Caracteristici	30
1.4.1 Histograma Orientării Gradienților (en: Histogram of Oriented Gradients (HOG))	31
1.4.2 Modele binare locale (en: Local Binary Patterns (LBP))	31
1.4.3 Modele locale a gradientiilor (en: Local Gradient Patterns (LGP))	34
1.4.4 Color Self Similarity (CSS)	35
1.4.5 Haar wavelets	35
1.4.6 Statistici ale caracteristicilor de disparitate (en: Disparity feature statistics (Mean Scaled Value Disparity))	35
1.5 Concluzie	36
2 Detecția și clasificarea pieteniilor în domeniul Infraroșu Îndepărtat	37
2.1 Referințe Bibliografice	38
2.2 Seturi de date	40
2.2.1 Baza de imagini ParmaTetravision	41

2.2.2	Baza de imagini RIFIR	44
2.3	O nouă caracteristică pentru clasificarea pietenilor în imagini infraroșii: Intensity Self Similarity	47
2.4	Un studiu în Vizibil și Infraroșu Îndepărtat	50
2.4.1	Preliminarii	51
2.4.2	Comparare de caracteristici pe imagini în domeniul Infraroșu Îndepărtat	51
2.4.3	Comparare de caracteristici pe imagini în domeniul Vizibil	53
2.4.4	Vizibil vs Infraroșu Îndepărtat	53
2.4.5	Fuziune a domeniilor Vizibil și Infraroșu Îndepărtat	54
2.5	Concluzii	54
3	Detecția și clasificarea pieteniilor în domeniul Infraroșu Apropiat (SWIR)	57
3.1	Referințe Bibliografice	58
3.2	Analiză de imagini din domeniul SWIR	58
3.3	Evaluarea preliminară a detecției de pietoni în imagini SWIR	60
3.3.1	Echipamentul hardware	60
3.3.2	Prezentare generală a setului de date	62
3.3.3	Experimente	63
3.4	SWIR versus Vizibile	67
3.4.1	Echipamentul hardware	68
3.4.2	Prezentare generală a setului de date (RIFIR)	69
3.4.3	Experimente	72
3.4.4	Discuție	73
3.5	Concluzii	77
4	Stereo Viziune pentru imagini rutiere	79
4.1	Principiile Stereo Viziunii	81
4.1.1	Camera obscură	81
4.1.2	Fundamentele Stereo Viziunii	82
4.1.3	Algoritmi	85
4.2	Seturi de date	97
4.3	Funcții de cost	99
4.3.1	Context	99
4.3.2	Funcții de cost de referință	100
4.3.3	Motivația: Distorsiuni radiometrice	104

4.3.4	Contribuții	105
4.3.5	Algoritmi	108
4.3.6	Experimente	109
4.3.7	Discuție	113
4.4	Alegerea spațiului de culoare convenabil	114
4.4.1	Context	114
4.4.2	Experimente	116
4.4.3	Discuție	118
4.5	Concluzie	118
5	Clasificare de pietoni multi-modală în domeniul Vizibil și Infraroșu Îndepărtat	121
5.1	Context	122
5.2	Prezentare generală și contribuții	123
5.3	Seturi de date	123
5.4	Preliminarii	125
5.5	Clasificare de pietoni multi-modală în domeniul Vizibil	126
5.5.1	Clasificare bazată pe caracteristici individuale	126
5.5.2	Fuziune la nivel de caracteristici	128
5.6	Comparare ale algoritmilor de stereo viziune pentru clasificare de pietoni	134
5.7	Clasificare de pietoni multi-modală în domeniul Vizibil și Infraroșu Îndepărtat	136
5.7.1	Clasificare bazată pe caracteristici individuale	137
5.7.2	Fuziune la nivel de caracteristici	140
5.8	Concluzii	140
6	Concluzie generală	141
A	Comparare a spațiilor de culoare	143
B	Parametrii ale algoritmilor de stereo viziune	147
C	Exemple de imagini ale hărții de disparite	149
D	Tehnici de agregare ale funcțiilor de cost	151
E	Strategii pentru rafinarea hărții de disparite bazatet	153
F	Clasificare de pietoni multi-modală	155
F.1	Experimente pe setul de date Daimler - Ocluziuni	155

Cuvinte cheie: Vehicule Inteligente, Detecția pietonilor , Infraroșu, FIR, SWIR, Stereo-Viziune

Vehiculele autonome inteligente au depășit de mult stadiul de idee S.F., și au devenit o realitate [1],[3]. Principala motivație din spatele acestei tehnologii este de a crește siguranța atât a șoferului cât și a altor participanți la trafic. În acest context, sistemele de protecție pentru pietoni au devenit o necesitate. Sistemele de componente pasive, cum ar fi airbagurile, nu sunt suficiente: siguranță activă, tehnologia de asistență în prevenirea unui accident, este vitală. Pentru aceasta, un sistem de detectare și clasificare a pietonilor joacă un rol fundamental.

Provocări

Detectarea și clasificarea pietonilor în contextul automobilelor inteligente, într-un mediu urban, prezintă o mulțime de provocări:

Aspectul pietenilor. Prin natură, oamenii au diferite înălțimi și forme ale corpului. Dar această variabilitate în aparență este accentuată de diferite tipuri de haine. Mai mult decât atât, forma umană se poate schimba foarte mult într-o perioadă scurtă de timp (de exemplu, o persoană care se apleacă pentru a-și lega încălțăminte). De asemenea, aspectul exterior depinde de punctul de vedere al camerei, precum și distanța dintre cameră și pieton. Pietonii aflați la o distanță foarte mică de cameră au un aspect foarte diferit față de cei aflați la o distanță considerabilă.

Ocluziuni. Ocluziunile reprezintă o provocare importantă pentru detectarea oricărui tip de obiect, iar în cazul pietonilor acestea pot fi împărțite în: auto-ocluziuni și ocluziuni externe. Primele sunt cauzate de diferite poziții ale obiectului, în cazul unui pieton care are o poziție laterală în raport cu punctul de vedere al camerei, unele zone ale corpului vor fi ascunse. Mai mult decât, atât diferite obiecte transportate de către pietoni ar putea avea același efect (de exemplu, pălării, genți, umbrele). În categoria ocluziunilor externe putem include alți pietoni (mai ales

într-un mediu urban), stâlpi, mașini, precum și situația în care pietonul este prea aproape de cameră făcând ca unele părți ale corpului să iasă din câmpul de vedere.

Condiții de mediu. Deși unele circumstanțe meteorologice nu au un impact direct asupra calității imaginilor (de exemplu, ploaie ușoară), ele pot influența aspectul pietonilor în imagini (de exemplu, un trecător poate deschide o umbrelă care ar putea duce la ocluziunea regiunii capului). Alte condiții meteorologice au un efect semnificativ asupra calității imaginilor achiziționate (de exemplu situații de ceață, zăpadă, ploaie torențială etc). Un alt factor care trebuie luat în considerare este momentul din zi, care are un impact direct asupra cantității de lumină ambientală disponibilă - de obicei, în timpul zilei problema detectării și clasificării pietonilor pune mai puține probleme decât pe timp de noapte.

Alegerea senzorului. Fiecare senzor existent are anumite dezavantaje și avantaje, în funcție de situație. De exemplu, senzorii pasivi cum ar fi camerele în domeniul vizibil pot fi afectate de condiții de iluminare slabă, oferind imagini de slabă calitate cu o variație scăzută de intensitate între obiecte și fundal, în timp ce camere termice ar putea avea aceleași probleme atunci când mediul are o temperatură similară cu pietonii. Senzori activi, cum ar fi LIDAR, au avantajul de a oferi direct distanța pentru toate obiectele dintr-o scenă, dar au ca ieșire o set de date extins care poate fi dificil de interpretat.

Alte obiecte. Distincția între non-pietoni și pietoni nu este întotdeauna simplă, fiind dificil de a construi un model care face diferența între aceștia și oricare alt tip de obiect existent.

Principalele Contribuții

Motivat de importanța detecției pietonilor, o cantitate vastă de muncă a fost efectuată în acest domeniu. *Obiectivul nostru este de a studia această problemă în diverse spectre de lumină și modalități, cu un accent pe hartă de disparitate generată cu ajutorul stereo viziunii.*

Principalele contribuții noastre pot fi rezumate după cum urmează:

- Crearea și adnotare a două baze de date pentru clasificarea pietonilor, una pentru domeniul Infraroșu Îndepărtat (termic), iar celălalt în scurt Infraroșu Apropiat, cu unde de lungime scurtă (en: Short Wave Infrared - SWIR).
- În contextul imaginilor termice, am propus o nouă caracteristică, numită Intensity Self Similarity (ISS). Performanța acestei caracteristici a fost comparată pe trei seturi de date diferite, luând în calcul și alte caracteristici propuse în literatură.

-
- Ca o noutate, am studiat spectrul SWIR pentru clasificarea pietonilor, și am realizat o comparație cu domeniul vizibil.
 - Ca o alternativă mai ieftină pentru camerele infraroșii, credem că Stereo Viziunea este o soluție promițătoare. În acest context, ne-am concentrat de asemenea pe îmbunătățirea algoritmului de potrivire stereo prin propunerea de noi funcții de cost.
 - Am studiat performanța unor diverse caracteristici calculate în domenii diferite (Vizibil și Infraroșu Îndepărtat) și în folosind multe modalități (Intensitate, Miscarea dată de fluxul optic, Profunzimea prin calcularea hărții de disparitate)

Structura tezei

Această teză este organizată după cum urmează (figura 1):

Capitolul 1 prezintă o analiză a motivației din spatele unui sistem de detectare a pietonilor, împreună cu o privire de ansamblu asupra tipurilor existente de senzori. Senzorul ales pentru experimente efectuate în aceasta teză este un senzor pasiv, reprezent de camerele sensibile la diferite spectre de lumină: Vizibil, Infraroșu Îndepărtat și Infraroșu Apropiat cu undă de lungime scurtă. Vom prezenta, de asemenea, o scurtă trecere în revistă a etapelor utilizate în sarcina de clasificare și detectare a pietonilor, cu un accent pe etapa de calcul a caracteristicilor.

În **Capitolul 2** vom studia problematica de clasificare a pietonilor în imagini termice (domeniul Infraroșu Îndepărtat). După trecerea în vedere a seturilor de date existente de imagini termice, am ajuns la concluzia că toate au dezavantaje importante: fie o calitate scăzută a imaginilor termice și nu dau posibilitatea de comparație directă cu spectrul vizibil; sau seturile de date nu sunt disponibile public. În acest context, am achiziționat și adnotat un nou set de date. Mai mult decât atât, am propus o caracteristică adaptată pentru clasificarea pietonilor în imagini termice și a comparat-o cu alte caracteristici existente, în diferite condiții.

Un nou spectru care poate fi interesant pentru sarcina de detectare și clasificare a pietonilor este domeniul Infraroșu Apropiat cu unde de lungime scurtă (SWIR). O analiză a acestui spectru de lumină este făcută în **Capitolul 3**. După ce am efectuat câteva experimente preliminare pe un set de date restrânse, am achiziționat și adnotat un set de date de imagini SWIR, împreună cu corespondentul vizibil. Pe acest set de date am comparat cele două domenii din perspectiva unor diferite caracteristici.

Camerele video în infraroșu reprezintă o alternativă interesantă pentru camerele vizibile și, în general, cu rezultate mai bune, dar cu toate acestea rămân costisitoare. În acest context, Stereo Viziunea ar putea îmbunătăți rezultatele obținute doar prin folosirea de camere vizibile.

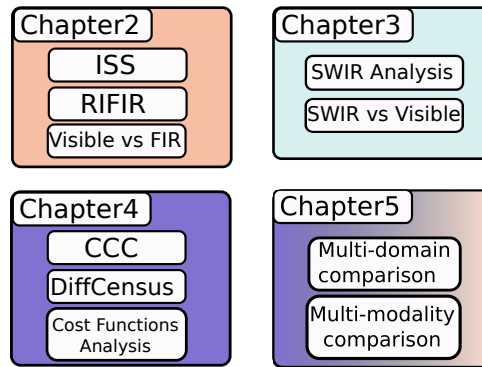


Figure 1: Thesis structure

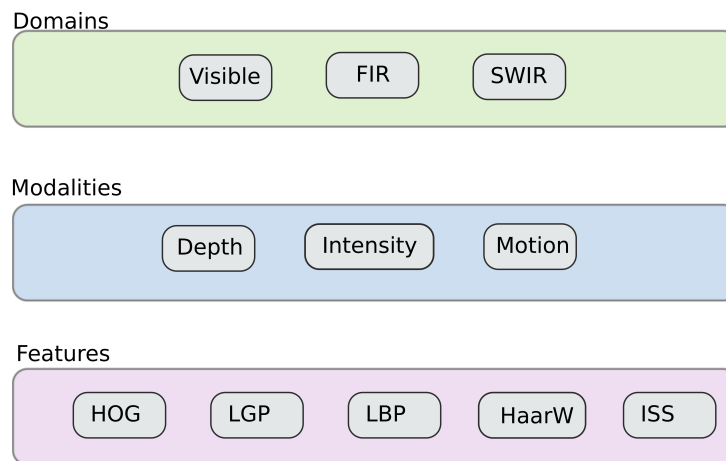


Figure 2: Domain-modality-feature relationship

Capitolul 4 tratăm algoritmi de potrivire stereo și propunem o serie de îmbunătățiri pentru acești algoritmi, concentrându-ne în special pe funcțiile de cost.

Capitolul 5 tratează problema de clasificare multi-modală a pietonilor (intensitate, profunzime și fluxul optic), atât în spectru Vizibil cât și Infraroșu Îndepărtat. În figura 2 este prezentată diferența dintre domeniile și modalitățile utilizate. În plus, am realizat o analiză preliminară asupra impactului calității hărții de disparitate asupra rezultatelor obținute în clasificare. În cele din urmă, concluziile și noi propuneri sunt prezentate în **Capitolul 6**.

Lista articolelor publicate

Articole jurnal

- **Alina Miron**, Samia Ainouz, Alexandrina Rogozan, Abdelaziz Bensrhair, "*A robust cost function for stereo matching of road scenes*", Pattern Recognition Letters, No. 38, (2014): 70-77.
- **Alina Miron**, "*Post Processing Voting Techniques for Local Stereo Matching*", Studia Univ.

Babes-Bolyai, Informatica, Volume LIX, Number 1, (2014): 106-115

- **Alina Miron**, Samia Ainouz, Alexandrina Rogozan, Abdelaziz Bensrhair, "*Cross-comparison census for colour stereo matching applied to intelligent vehicle.*", Electronics Letters 48.24 (2012): 1530-1532.
- **Alina Miron**, Samia Ainouz, Alexandrina Rogozan, Abdelaziz Bensrhair, Horia F. Pop, "*Stereo Matching Using radiometric Invariant measures*", Studia Univ. Babes-Bolyai, Informatica, Volume LVI, No.3, (2011): 91-96.

Conferințe

- Fan Wang, **Alina Miron**, Samia Ainouz, Abdelaziz Bensrhair, *Post-Aggregation Stereo Matching Method using Dempster-Shafer Theory*, IEEE International Conference on Image Processing 2014 (accepted)
- **Alina Miron**, Rean Isabella Fedriga, Abdelaziz Bensrhair, and Alberto Broggi, *SWIR Images Evaluation for Pedestrian Detection in Clear Visibility Conditions*, Proceedings of IEEE ITSC (2013): 354-359
- Massimo Bertozzi, Rean Isabella Fedriga, **Alina Miron**, and Jean-Luc Reverchon, *Pedestrian Detection in Poor Visibility Conditions: Would SWIR Help?*, IEEE ICIAP (2013): 229-238
- **Alina Miron**, Bassem Besbes, Alexandrina Rogozan, Samia Ainouz, Abdelaziz Bensrhair, *Intensity Self Similarity Features for Pedestrian Detection in Far-Infrared Images*, IEEE Intelligent Vehicle Symposium (2012): 1120-1125
- **Alina Miron**, Samia Ainouz, Alexandrina Rogozan, Abdelaziz Bensrhair, *Towards a robust and fast color stereo matching for intelligent vehicle application*, IEEE International Conference on Image Processing (2012): 465-468

Prezentări

- One Day BMVA Symposium at the British Computer Society: "*Stereo Matching using invariant radiometric features*", London, May 18th 2011
- Journee GdR ISIS, Analyse de scenes urbaines en image et vision, "*Stereo-vision for urban scenes.*", Nov. 8th 2012, Paris

Scopul principal al construcției vehiculelor inteligente este de a crește nivelul de siguranță pentru toți participanții la trafic. Detecția pietonilor, fiind una dintre categoriile cele mai vulnerabile în trafic, este de o importanță majoră pentru orice Sistem de Asistență Avansată la Conducere (en: *Advance Driver Assistance System - ADAS*). Deși acest domeniu a fost studiat de aproape cincizeci de ani, nu există încă o soluție perfectă. Această lucrare se concentrează pe diverse aspecte legate de detecția și clasificarea pietonilor, și are ca obiectiv explorarea și compararea diverselor domenii (Vizibil, Infraroșu de Lungime Scurtă, Infraroșu de Lungime Lungă) și modalități (Intensitate, Disparitate, Flux Optic).

Din diversele tipuri de senzori, spectrul Infraroșu de lungime de unde lungă (en: *FIR*), capabil de a detecta temperatura diverselor obiecte, este deosebit de interesant pentru detectarea pietonilor. Aceștia din urmă, vor avea de regulă o temperatură mai ridicată decât mediul înconjurător. Din lipsa unor baze de date adecvate cu imagini rutiere FIR, am achiziționat și adnotat o bază de date cu imagini din acest spectru de lumină, pe care o vom numi RIFIR, conținând imagini atât în spectrul Vizibil cât și FIR. Aceste imagini ne-au permis să comparăm performanța diverselor caracteristici calculate pe imagini în cele două domenii. În contextul imaginilor termice, am propus o nouă caracteristică adaptată pentru imaginile FIR, numită *Intensity Self Similarity (ISS)*. Reprezentarea ISS este bazată pe calculul unor similarități de intensitate între sub-blocuri din interiorul unei regiuni de interes. Experimentele realizate pe diverse baze de imagini au arătat că în general, spectrul FIR are o performanță mai bună decât domeniul Vizibil. Cu toate acestea, fuziunea celor două spectre de lumină a dat performanțele cele mai bune.

După analiza domeniului FIR, am studiat un alt spectru Infraroșu, care nu a fost folosit până acum pentru detecția și clasificarea pietonilor, Infraroșu de Lungime Scurtă (*Short Wave Infrared - SWIR*). Spre deosebire de camerele FIR, cele SWIR au abilitatea de a vedea prin parbriz, prin urmare pot fi montate în interiorul vehiculului. În plus, camerele SWIR au posibilitatea de a

vedea clar pe distanțe lungi, ceea ce le face convenabile pentru aplicații ADAS. Am achiziționat și adnotat o nouă bază de imagini, pe care o vom numi RISWIR, conținând imagini atât din Vizibil cât și din SWIR. Testele realizate au arătat rezultate promițătoare pentru spectrul SWIR folosit în aplicații de tip ADAS, având rezultate mai bune decât spectrul Visibil pe imaginile considerate.

Chiar dacă FIR și SWIR au dat rezultate favorabile, spectrul Visibil este încă domeniul cel larg utilizat, în special din cauza costului scăzut al echipamentelor. Clasicele imagini monoculare folosite pentru detecția și clasificarea de obiecte pot să dea un timp de procesare foarte lung. Stereo-Viziunea oferă o modalitate de a reduce spațiul de căutare al ipotezelor prin folosirea informației privind distanța până la obiecte, dată de harta de disparitate. Prin urmare, o hartă de disparitate robustă este esențială pentru a avea ipoteze relevante cu privire la locația pietonilor. În acest context, pentru calculul hărții de disparitate am propus câteva funcții de cost robuste la distorsiuni radiometrice. În plus, am arătat că tehnici simple de post-procesare pot avea un impact semnificativ asupra calității hărții de disparitate.

Folosirea hărții de disparitate nu este strict limitată la generarea de ipoteze, ci poate să fie utilizată și pentru calcularea unor caracteristici, funizând informații complementare imaginilor color. În acest context, am studiat și comparat performanța caracteristicilor calculate pe diverse modalități (Intensitate, Disparitate și Fluxul Optic) în diverse domenii (Visibil și FIR). Rezultatele au arătat că cele mai robuste sisteme sunt cele care iau în considerare toate cele trei modalități, în special pentru rezolvarea ocluziunilor.

Concluzii

În această teză ne-am concentrat pe problema detecției și clasificării pietonilor utilizând diferite domenii (Infraroșu Îndepărtat, Infraroșu Apropiat, Vizibil) și modalități (Intensitate, Flux optic, Harta de Disparitate), cu un accent deosebit pus pe calculul profunzimii (hartă disparității) dată de Stereo Viziune.

Infraroșu Îndepărtat. Am pornit prin a analiza domeniul Infraroșu Îndepărtat. Pentru aceasta, am adnotat un set de date de mare, ParmaTetravision. Deoarece acest set de date nu este disponibil public, am achiziționat, un nou set de imagini pe care l-am numit RIFIR. Acest lucru ne-a permis de a construi un punct de referință pentru a analiza performanța diverselor caracteristici, și în același timp de a compara spectrele Infraroșu Îndepărtat și Vizibil. Mai mult decât atât, am propus o caracteristică adaptată pentru imagini termice, numită ISS. Deși ISS are o performanță similară cu cea a HOG în spectrul Infraroșu Îndepărtat, caracteristicile locale binare, cum ar fi LBP sau LGP s-au dovedit a fi mult mai robuste. De asemenea, în testele noastre, domeniul Infraroșu Îndepărtat s-a dovedit în mod constant superior celui Vizibil. Cu toate acestea, fuziunea între Vizibil și Infraroșu Îndepărtat a dat cele mai bune rezultate generale, scădând rata de detecții false cu un factor de zece în comparație cu folosirea doar a domeniului Infraroșu Îndepărtat.

Deoarece unul dintre principalele avantaje ale imaginilor termice este faptul că spațiul de căutare pentru eventualii pietoni poate fi redus la regiunile calde din imagine, în viitor ne propunem să includem o comparație între diverși algoritmi de extracție de regiuni de interes. Mai mult decât atât, se poate extinde comparația caracteristicilor prin testarea diferitelor tehnici de fuziune în scopul de a găsi configurația cea mai potrivită.

Infraroșu Apropiat cu unde de lungime scurtă. Odată cu apariția de noi senzori pentru camerele video, un domeniu nou și promițător este reprezentat de Infraroșu Apropiat cu unde de lungime scurtă (SWIR). În acest context, am testat două tipuri de camere. Experimentele

preliminare au fost efectuate pe un set de date, ParmaSWIR. Acesta conține imagini realizate folosind diferite filtre cu scopul de a izola diferite lungimi de unde. Deoarece rezultatele au fost promițătoare, am achiziționat un alt set de date, RISWIR, de data aceasta folosind atât o cameră SWIR cât și una pentru domeniul Vizibil. Pe imaginile din RISWIR, Infraroșu de undă scurtă a oferit rezultate mai bune decât cel Vizibil. În opinia noastră, acest lucru se datorează faptului că imaginile achiziționate în spectru SWIR au dat un contrast mai bun cu margini bine definite.

Teste suplimentare în domeniul SWIR ar trebui să includă diferite condiții meteorologice, împreună cu o evaluare în condiții de noapte. De asemenea, pentru ca rezultatele să fie general acceptate, camera SWIR ar trebui să fie comparată cu diverse camere din domeniul Vizibil.

Stereo Viziune Din moment ce domeniul vizibil reprezintă o alternativă low-cost la alte spectre de lumină, vom da o atenție deosebită acestei modalități. Profunzimea este obținută prin construirea unei hărți de disparitate folosind diferiți algoritmi de potrivire stereo. În acest context, am lucrat pentru a îmbunătăți algoritmi de potrivire stereo existenți, prin propunerea de noi funcții de cost robuste la distorsiuni radiometrice. Pe viitor dorim să realizăm o analiză mai detaliată asupra impactului pe care algoritmi de post-procesare o au asupra calității hărții de disparitate. În plus, cu scopul de a încorpora concluziile capitolului 5, dorim să îmbunătățim harta de disparitate în condițiile în care există ocluziuni.

Multi-domeniu, multi-modalitate. Într-un mod similar cu modul în care percepția umană utilizează indicii date de profunzime și mișcare, o nouă direcție de cercetare este o combinație de diferite modalități și caracteristici. Mai multe articole au atacat această problemă din perspectiva calculării diferitor caracteristici pentru domeniul vizibil. Setul de date Daimler Multi-cue oferă o modalitate de a centraliza această analiză. În acest context, am extins numărul de caracteristici luate în considerare, împreună cu mai multe scenarii de fuziune. Cele mai bune rezultate au fost întotdeauna obținute prin fuziunea diferitelor modalități. Mai mult decât atât, am extins analiza multi-modală pe o abordare multi-domeniu, comparând Vizibil și Infraroșu Îndepărtat pe setul de date ParmaTetravision. Chiar dacă spectrul Infraroșu Îndepărtat continuă să ofere cele mai bune rezultate, fuziunea între Vizibil și informația dată de Profunzime reușește să obțină rezultate apropiate de cele obținute cu Infraroșu Îndepărtat. În plus, fuziunea dintre Vizibil, Profunzime și Infraroșu Îndepărtat scade rata de fals pozitive cu un factor de *treizeci*, în comparație cu utilizarea doar a informației din Infraroșu Îndepărtat.

Pe viitor, dorim să extindem analiza pentru a include mai multe seturi de date (cum ar fi ETH [2]), împreună cu o comparație a unor caracteristici noi. Mai mult decât atât, în experimentele pe multi-modalitate am tratat doar problema de clasificare a pietonilor, dar ne-am propus de a extinde analiza într-un cadru de detecție.

Există diferite abordări folosite pentru sarcina de detectare și clasificare a pietonilor. În această teză, am arătat că o abordare multi-domeniu, multi-modalitate și în plus, folosind diverse caracteristici, este esențială pentru un sistem robust de clasificare a pietonilor.

Bibliography

- [1] The vislab intercontinental autonomous challenge. <http://viac.vislab.it/>, 2010.
- [2] Andreas Ess, Bastian Leibe, and Luc Van Gool. Depth and appearance for mobile scene analysis. In *IEEE 11th International Conference on Computer Vision*, pages 1–8. IEEE, 2007.
- [3] Erico Guizzo. How Google’s Self-Driving Car Works. <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>, Retrieved 18 October 1011.