

PERCEPTIA SENZORIALA, MODELAREA SI REPREZENTAREA MODELULUI LUMII PENTRU SISTEME DE ASISTARE A CONDUCERII

Cod proiect ID_1522

Contract 693/2009

Director proiect Prof. Dr. Ing. Sergiu Nedevschi
Sinteza lucrării, an 2009 (faza intermediară și finală)

Introducere

În primul an de activitate s-a efectuat un studiu extins pentru identificarea problemelor modelării și percepției în domeniul asistenței conducerii auto, și pentru punerea bazelor teoretice și tehnice pentru contribuțiile originale ulterioare. În vederea descrierii mediului înconjurător relevant pentru aplicațiile auto, s-au identificat trei mari componente: geometria și configurația drumului, geometria și parametrii de mișcare ai obiectelor de pe drum, și natura (clasa, tipul) obiectelor. În acest sens, s-au studiat posibilele modele parametrice pentru drum și pentru obiecte, și clasele relevante, și s-au studiat și experimentat multiple metode existente în literatură pentru modelare, detecție, urmărire și clasificare.

Acest raport prezintă și contribuțiile colectivului de cercetare la modelarea, percepția și clasificarea obiectelor relevante din traficul auto. Tehnologia reprezentativă pentru acest colectiv este stereoviziunea, care a permis aducerea de contribuții relevante în detecția și urmărirea obiectelor și a benzilor de circulație, și în domeniul clasificării obiectelor.

Studiul extins efectuat, precum și contribuțiile realizate în trecut și cele realizate în cadrul acestui proiect, vor constitui baza pentru activitatea din anii următori. În următoarele faze ale contractului se vor experimenta multiple tehnici și modele existente, se vor elabora soluții originale de modelare, percepție, reprezentare și clasificare, și se va construi un sistem experimental pentru testarea metodelor elaborate.

1. Studiul configurațiilor posibile ale drumului

S-a făcut un studiu al literaturii de specialitate din domeniul detecției și urmăririi drumului, și s-au evidențiat cele mai populare modele. Cel mai folosit model este modelul clotoidal [Goldbeck1998], bazat pe o aproximare a curbei clotoida, curba cu variație liniară a curbării. Simplificări ale acestui model, precum arcul de cerc [Cramer2004], parabola [Aufre2000], sau chiar segmente de dreaptă [Macek2004], sunt soluții populare în literatură. De asemenea, se pot folosi extensii ale acestui model, precum o combinație de mai multe clotoide sau de mai multe arce de cerc, racordate în puncte de tranziție [Jung2004]. S-a observat de asemenea că unii cercetători preferă o modelare lipsită de constrângerile modelului, de tip polilinie [Bertozzi1998].

Pe lângă modelul drumului se modelează și poziția și orientarea vehiculului propriu față de acesta. De obicei lista parametrilor pentru modelarea poziției și a orientării include poziția mașinii față de axul drumului, și unghiurile vehiculului în jurul axelor de coordonate – aplecare, înclinare și orientare. Unghiul de înclinare poate să lipsească din unele modele [Aufre2000], iar unghiul de aplecare este uneori considerat constant [Bertozzi1998].

Un set de parametri pentru a descrie cu o suficientă generalitate geometria unei benzi de circulație este format din:

- Unghiul de aplecare α , de orientare ψ și de inclinare γ ale vehiculului față de drum
- X_{CW} , deplasarea laterală față de centrul benzii
- W , lățimea benzii
- Curbura orizontală $c_{h,0}$, și variația acesteia $c_{h,l}$
- Curbura verticală $c_{v,0}$, și variația acesteia $c_{v,l}$

Au fost studiate și soluțiile de modelare dinamică a evoluției parametrilor de descriere a benzilor de circulație. Modelarea parametrilor modelului clotoidal se potrivește în mod natural cu parametrii de mișcare ai vehiculului din care se efectuează percepția [Goldbeck1998]. Informațiile odometrice precum viteza de deplasare, unghiul volanului sau viteza angulară, disponibile pe magistrala de comunicație internă CAN a vehiculelor moderne, permite o predicție de o calitate ridicată pentru parametri în timp.

2. Studiul geometriei și mișcării obiectelor

Sistemele de asistare a conducerii se bazează pe procesul de percepție senzorială pentru capturarea informațiilor despre mediul înconjurător. Detecția, reprezentarea și clasificarea obstacolelor reprezintă unele din marile provocări ale viitoarelor sisteme de asistență la conducere bazate pe viziune artificială. Atingerea acestor obiective presupune calcularea precisă a informației de adâncime precum și detectarea rapidă a obiectelor statice sau aflate în mișcare. Potrivirea acestora cu niște modele probabilistice și extragerea trăsăturilor va permite mai apoi clasificarea obstacolelor și ulterior înțelegerea și raționarea situațiilor întâlnite în scenariile de trafic.

Soluțiile bazate pe stereoviziune propuse în literatura au un fir comun: informația 3D oferită de stereoviziune este acumulată într-o structură de evidență a punctelor cu forma de grid. Deoarece stereoviziunea nu oferă în mod direct nici un fel de informație legată de mișcare, harta de adâncime este segmentată iar obiectele detectate sunt urmărite în timp pentru a le estima mișcarea și pentru a rafina ipoteza formei lor. Studiul geometriei și mișcării obiectelor a facilitat cunoașterea celor mai potrivite modele de mișcare și reprezentare în spațiul 3D a obstacolelor detectate. De asemenea studiul evidențiază corectitudinea estimării și predicției mișcării pentru fiecare model în diferite scenarii. Pot fi deosebite două mari categorii de scenarii: scenarii tipice ACC (de exemplu pe autostradă), când direcția de mișcare a obstacolelor este aproape paralelă cu direcția de deplasare a vehiculului propriu sau, scenarii tipice intersecțiilor din așezările urbane aglomerate, unde direcția de deplasare a celorlalți participanți la trafic este aparent arbitrară. Folosind o reprezentare potrivită, sistemul de asistare a conducerii va fi capabil să modeleze traiectoria de deplasare a participanților la trafic urmăriti și, cunoscând direcția de deplasare a vehiculului propriu, să detecteze potențiale coliziuni sau situații periculoase.

În această direcție, în ceea ce privește geometria/forma obiectelor au fost studiate mai multe modele: atât cele întâlnite în lucrări din literatura de specialitate cât și alte posibile reprezentări, evidențiind avantajele și dezavantajele intrinseci fiecărei reprezentări. Pentru evaluarea fiecărei reprezentări s-a avut în vedere cât de fidelă este aproximarea față de forma reală a obstacolului dar și ușurința cu care modelul poate fi manipulat (din punct de vedere al reprezentării în memoria calculatorului, eficiența unor operații de bază precum calcularea centrului de greutate, calcularea intersecției a două obiecte, etc.). S-au studiat: modelul cuboidal, modelul rectangular, modelul octogonal, modelul poligonal, modelul articulat al corpului uman și modele bazate pe forma. Din punct de vedere al fidelității reprezentării modelul poligonal poate descrie cel mai corect forma reală a unui obstacol. Acest model poate avea un număr oricât de mare de laturi și poate degenera, la limită, într-o curbă, eroarea reprezentării putând fi redusă sub un prag arbitrar de mic însă sacrificând eficiența. Un dezavantaj evident este faptul un asemenea model este mai greu de manipulat: ocupă mai multă memorie, calcularea sa durează mai mult și este mai greu de determinat dacă două obstacole se intersectează sau sunt disjuncte. Un compromis între fidelitatea modelului, viteza calculului și eficiența reprezentării îl constituie modelul cuboidal. Obiectele de interes în medii urbane sunt: autovehicule, pietoni, bicicliști, semne de circulație, semafoare și obstacole fixe etc. Sistemele în timp real preferă detecția obiectelor generice și modelarea lor prin cuboide. Reprezentarea unui cuboid presupune stocarea

coordonatelor colturilor în cazul cuboidului orientat, sau a centrului de greutate și a distanței centrului fata de 3 dintre fete în cazul cuboidului neorientat. Alte operații precum calcularea intersecției a doua obiecte sunt de asemenea simple din punct de vedere conceptual și rapide din punct de vedere al numărului de operații. În ceea ce privește corpul uman multe din modelele existente se prezintă sub forma unor structuri arborescente care constă din segmente unite prin articulații. Fiecare articulație are un număr de grade de libertate (DOF – Degree of Freedom) care indică în câte direcții se poate mișca articulația. Toate articulațiile din model formează o reprezentare a posturii unei persoane [Kinzel1994]. În spațiul 2D modelele geometrice ale pietonilor sunt descrise de o combinație de forme dreptunghiulare sau trapezoidale. Când această descriere este greu de extras se folosesc modele bazate pe descriptorii vizuali cum ar fi contururi, siluete, muchii, culori sau textura. Aceste metode parametrizează obiectele prin tehnici de analiză a subspațiului reprezentărilor bazate pe forma (PDM – Point Distribution Models) sau textura [Philomin2000], [Gavrila2007a].

Pe lângă reprezentarea din punct de vedere al formei/geometriei s-a studiat și modelarea mișcării obstacolelor întâlnite în diferite scenarii de trafic. S-a făcut un amplu studiu al modelelor întâlnite în literatura de specialitate. Modelul cel mai folosit în aplicațiile automotiv clasice precum Adaptive Cruise Control (ACC) este cel al separării mișcării longitudinale de mișcarea angulară pentru obiectele urmărite. Aceasta soluție, prezentată în [Moebus2003] și Gern[2001], face o simplificare a modelului de mișcare ce presupune folosirea a două filtre Kalman: unul pentru urmărirea mișcării longitudinale și cel de-al doilea pentru urmărirea mișcării transversale. Parametrii de intrare a filtrelor pot fi determinați luând în calcul accelerația/decelerația medie și valoarea medie de schimbare direcției de deplasare pentru scenarii tipice de trafic. În [Buehren2007] se argumentează însă că aceasta aproximare este potrivită doar atunci când mișcarea obiectului (vehiculului) de interes este rectilinie uniformă având o direcție de deplasare aproximativ paralelă cu cea a observatorului. În aplicații de asistență la conducere avansate precum monitorizarea punctului mort sau asistență în intersecții aceste limitări impuse pentru deplasarea celorlalți participanți la trafic nu mai pot fi acceptate. În aceste situații se presupune că se vor întâlni inclusiv obstacole cu o direcție de deplasare perpendiculară pe cea a ego-vehiculului. În aceste cazuri, deplasarea transversală nu mai este doar rezultatul schimbării direcției de mers a observatorului sau a obiectului observat. Cele două moduri de influențare ale mișcării vehiculului (prin accelerație/franare și întoarcerea volanului) nu mai pot fi separate în același mod. În aceste cazuri se cer modele de mișcare mai generale, mai sofisticate precum: modelul de viteză constantă, modelul de accelerație constantă, modelul bicicleta cu viteză constantă, modelul bicicleta cu accelerație constantă, modelul de viteză unghiulară constantă, modelul de viteză unghiulară și viteză de deplasare constantă cu accelerație constantă. În ceea ce privește modelele de mișcare ale pietonilor s-a prezentat mișcarea reprezentată în sistemele care folosesc modelele de distribuție a punctelor [Giebel2004], modele generice de mișcare [Choo2001], [Sminchisescu2003] și reprezentarea mișcării prin analiză activității pietonilor [Sidenbladh2000], [Ormonet2001],[Troje2002].

3. Studiul tipurilor de clase de obiecte

S-au analizat obiectele care apar în scenele de trafic. Acestea pot fi împărțite în categorii pe baza mai multor criterii cum ar fi: nivelul de mișcare, distanța obiectului față de camera observatorului, dimensiunea obiectelor, categoria semantică la care aparține un obiect.

Clasele de obiecte au fost analizate din perspectiva nivelului de mișcare, fiind împărțite în două categorii: obiecte statice și obiecte dinamice.

Obiectele statice nu își modifică poziția într-un interval mare de timp și viteza lor este zero. În trafic se pot distinge următoarele tipuri de obiecte statice: marcaje, semne de circulație, borduri, drumul/șoseaua, alte obiecte. Marcajele de trafic sunt desenate pe șosea și indică restricții de viteză, direcția de mișcare sau trecerile de pietoni. Semnele de circulație indică anumite reguli pe care șoferii și pietonii trebuie să le urmeze cu strictețe pentru ca traficul să se desfășoare în condiții normale. Semnele de circulație sunt proiectate, produse și instalate conform unor reguli stricte. Forma și mărimea lor este bine definită. Ele pot fi triunghiuri, cercuri, octogoane sau dreptunghiuri. Culorile din semnele de trafic sunt alese astfel încât semnele să fie ușor de recunoscut de către șoferi. Semnele

de circulație pot conține o pictogramă, o mulțime de caractere sau ambele. Chiar dacă au o formă bine definită, recunoașterea lor poate fi dificilă datorită condițiilor de iluminare, ocluziilor sau datorită condițiilor meteorologice. Alte elemente statice sunt bordurile, șoseaua, semafoarele, stâlpii, panourile publicitare, arbori.

Obiectele dinamice au o poziție variabilă în timp. Mișcarea conferă acestei clase un grad de complexitate ridicat. Elementele dinamice din trafic pot fi pietoni, autovehicule sau alte obiecte precum bicicliști, motocicliști. Pietonii reprezintă cele mai complexe obiecte care apar în trafic. Înfățișarea lor depinde de elementele de vestimentație, statură, accesoriile pe care le poartă, de mișcarea efectuată, de condițiile de iluminare, de condițiile meteo. Autovehiculele sunt obiecte mai puțin complexe decât pietonii, având o formă regulată și mai puține grade de mișcare. În funcție de înfățișarea pe care o au mașinile se clasifică în mai multe categorii combi, sedan, coupe, mașini sport, autobuze, tramvaie, camioane, etc.

4. Achiziție platformă mobilă pentru teste, dotată cu senzori odometrici, tehnică de calcul

A fost achiziționată o platformă (vehicul de test), în vederea echipării cu senzori și echipament de calcul pentru realizarea aspectelor aplicative ale proiectului. S-a realizat instalația electrică și cablarea pentru montarea echipamentelor. Din cauza reducerii fondurilor pe acest an, planul de achiziții s-a limitat la platformă, senzorii și echipamentul de calcul urmând a fi achiziționați ulterior. Pentru testarea sistemelor, s-au utilizat echipamente sensoriale și de procesare mai vechi, existente în dotarea colectivului.

5. Studiul abordărilor de percepție senzorială

Sistemele de asistare a conducerii au drept scop asistarea operatorului uman în procesul de conducere pentru a mări siguranța în trafic, și pentru a degreva conducătorul de o serie de activități repetitive și plictisitoare prin avertizarea conducătorului sau chiar intervenția directă în controlul mașinii. În această direcție, se cercetează și experimentează sisteme pentru control longitudinal, control lateral, sisteme de urmărire a benzii de circulație, sisteme de avertizare la părăsirea benzii curente, sisteme automate de control a deplasării, sisteme de protecție a pietonilor, sisteme de gestionare a intersecțiilor, etc. Implementarea acestor sisteme este deosebit de complexă în primul rând datorită faptului că percepția se face asupra unui mediu în mișcare în vreme ce informația este preluată dintr-un vehicul aflat la rândul său în mișcare. Toate sistemele de asistare a conducerii se bazează pe procesul de percepție senzorială pentru capturarea informațiilor despre mediu.

Tradițional, se folosesc camere mono (senzor pasiv) pentru a obține informații 2D de intensitate sau culoare, sau senzori de viziune stereo (senzor pasiv), senzori radar și laser scanner (senzori activi) pentru a obține informații 3D. Folosirea senzorilor pasivi este mai avantajoasă, deoarece aceștia nu interferă între ei.

Din punct de vedere multi-senzorial se tinde spre folosirea unor combinații eterogene de senzori pentru obținerea unei descrieri complexe a mediului. În [Kolski2006] și [Manduchi2005] se folosește un sistem senzorial format dintr-o camera mono de intensitate și un laser scanner. O combinație de radar cu cameră mono de intensitate este folosită în [Broggi2005]. Lucrările publicate au un puternic caracter aplicativ, spre detecția și clasificarea componentelor scenei, în detrimentul modelării teoretice a percepției multi-senzoriale (fuziunea/reprezentarea unificată a informațiilor, calibrare inter-senzorială). Un prim pas spre modelarea teoretică s-a făcut în [Hong2000], prezentându-se un model de reprezentare unificată pentru un senzor de tip Lidar (bazat pe laser) și un senzor de viziune stereo.

Senzorii bazați pe viziune sunt folosiți frecvent pentru sistemele de asistență a conducerii deoarece sunt senzori pasivi și oferă o descriere bogată în informații despre mediu. Teoretic se pot formaliza trei tipuri de senzori de viziune, după tipul de informații oferite: de intensitate, de culoare, și de adâncime (informație 3D). Trebuie menționat că pe un sistem real nu este obligatoriu ca acești senzori să fie

implementati prin echipamente distincte (de exemplu un sistem stereo cu camere de intensitate oferă atât intensitatea cât și informația 3D).

După achiziția informației urmează un pas de preprocesare în scopul îmbunătățirii ei prin eliminarea zgomotelor sistematice și/sau aleatoare. Filtrarea zgomotelor trebuie făcută fără a afecta informația utilă. Următoarea etapă vizează aplicarea unor metode de detecție în vederea identificării obstacolelor și a participanților la trafic. În general aceste metode sunt bazate pe model. O categorie aparte, deosebit de importantă datorită imprevizibilității și a riscului ridicat, o constituie obiectele aflate în mișcare. Pentru a discrimina între mișcarea vehiculului propriu și mișcarea independentă a obstacolelor se folosesc tehnici de estimare a mișcării proprii împreună cu algoritmi de determinare a fluxului optic. Obstacolele detectate (statice, dinamice) sunt apoi urmărite și filtrate prin intermediul metodelor de tracking (urmărire).

Modelul obiectelor generice necesită atașarea informației despre clasa obiectelor. Problema clasificării obiectelor prezente în scenarii de trafic în mediul urban este extrem de dificilă, din cauza complexității acestui mediu și a prezentei unui număr mare și variat de obiecte. Pe plan internațional există un interes ridicat legat de problema clasificării obiectelor, mai ales legat de clasa „pietoni”. În Europa au fost dezvoltate diverse sisteme de detecție a pietonilor, în cadrul proiectelor europene PROTECTOR [Meinecke2005] și SAVE-U [Gavrila2004]. Există multiple abordări [Gandhi2006] pentru clasificarea pietonilor, folosind informația 2D de culoare și mișcare. Aceste abordări se bazează pe modelarea ierarhică [Gavrila2007a] și probabilistica [Cootes2001] a conturilor, a texturii [Yang2004], a culorii [Krotzki2007], a simetriei [Bertozzi2007] și a mișcării [Viola2005]. Folosirea exclusivă a informațiilor 2D are ca principal dezavantaj dificultatea contracarării efectului de perspectivă al camerelor. Din acest motiv, metodele de ultimă oră combină informațiile 2D de culoare și mișcare cu informații 3D [Nedevschi2007].

Deoarece în practică nu există trăsături care să permită separarea cu suficientă acuratețe a diverselor clase de obiecte generice, sistemele de clasificare folosesc de obicei informații provenite din surse diferite, trăsături diverse și clasificatori multipli și diverse modalități de fuziune între rezultatele furnizate de clasificatori [Gavrila2007b]. La ora actuală nu există o soluție definitivă pentru problema clasificării obiectelor din trafic în medii urbane. Majoritatea eforturilor s-au concentrat pe clasificarea obiectelor în pietoni și non-pietoni. Având în vedere multitudinea de trăsături, clase, clasificatori și metode de învățare, este de interes formularea unei baze teoretice care să trateze toate aceste aspecte într-un mod unitar.

6. Studiul abordărilor în detecția drumului

În urma studiului literaturii de specialitate, problema detecției drumului a fost separată în două sub-probleme – extragerea trăsăturilor relevante prin procesarea informațiilor senzoriale primare, și potrivirea modelelor geometrice la aceste trăsături pentru a estima geometria drumului.

Informațiile primare disponibile pentru detecția drumului sunt imagini alb-negru, imagini color, perechi de imagini stereo sau informații oferite de senzorii activi, laser sau radar, informații ce includ o componentă de poziționare 3D.

Imaginile de intensitate (alb-negru) sunt cele mai populare surse de informație, datorită volumului mic de date, a calității imaginilor, și a tehnicilor de procesare a imaginilor existente pentru acestea. Pe baza acestor imagini se pot extrage valori ale gradientului [Kluge1995], maxime locale ale gradientului [Aufreere2000], marcaje ca perechi de gradienti de semn opus și modul similar [Goldbeck1998], muchii binarizate [Yu1995], sau răspunsuri specifice la filtre configurabile [McCall2004].

Folosirea imaginilor color pentru detecția drumului este destul de limitată, din cauza cantității crescute a datelor de procesat, iar în situații de autostradă nu prea există culoare pe drum. Totuși,

culoarea este binevenită în situația drumurilor de țară, unde e posibil să nu existe trăsături tip muchie foarte pronunțate, iar intensitatea ierbii să fie similară cu intensitatea asfaltului. Problema detecției drumului de țară este de obicei o problemă de segmentare, iar informația color este foarte potrivită pentru această sarcină. Segmentarea imaginilor color este o problemă de identificare a regiunilor cu caracteristici similare, și pentru aceasta se folosesc diferite metrice de similaritate, în diferite spații de culoare [Crisman1991], [Chern2004], [Sotelo2004].

Tradițional, stereoviziunea nu a fost foarte folosită în detecția drumului, datorită problemelor tehnice ale realizării unui sistem performant, și a sarcinii computaționale semnificative a procesului de corelare. Stereoviziunea este capabilă de a produce informații 3D împreună cu datele de tip imagine. În detecția drumului, rolul principal al stereoviziunii este separarea trăsăturilor de tip obstacol de trăsăturile aflate pe suprafața drumului, trăsături care permit estimarea geometriei acestuia. Majoritatea tehnicilor găsite în literatură folosesc în calcul disparitatea stereo și poziția punctelor în imagine, în loc de spațiul cartezian 3D [Weber1996], [Labayrade2004].

Senzorii activi, care sunt capabili de a produce informații 3D precise, nu sunt alegerea cea mai populară pentru detecția benzilor de circulație, deoarece capabilitatea lor principală este identificarea obstacolelor, nu a trăsăturilor din planul drumului. Utilizarea lor principală este de a identifica zonele unde se termină suprafața drumului [Kirchner1998][Ma1999], identificarea acestor zone permițând o aproximare primară a geometriei, în absența marcajelor. Senzori de tip scanner laser mai recenti permit ca împreună cu distanța să se măsoare și gradul de reflectivitate a suprafețelor scanate [Fardi2003], ceea ce permite formarea de imagini de reflectivitate, care se pot procesa pentru identificarea trăsăturilor delimitatoare.

Singurul mod în care detecția drumului poate fi implementată într-un mod robust este prin folosirea metodelor bazate pe model, deoarece modelul va încorpora unele presupuneri care vor permite algoritmilor să reziste în fața zgomotului și a informațiilor false din setul de măsurători. Au fost studiate mai multe tehnici de potrivire a modelului, și au fost detaliate cele care folosesc metode probabilistice, care pot încorpora în mod robust mai multe tipuri de măsurători, modele de incertitudine a senzorilor, și modele dinamice pentru detecția și urmărirea în mai multe cadre. Cele mai populare tehnici de estimare probabilistică sunt filtrul Kalman [Dickmanns1992], [Aufreere2000], [Kirchner1998] și filtrul bazat pe particule [Southall2001], [Franke2007], cu multiple variații. Fiecare din această tehnică de estimare poate fi adaptată la problema detecției drumului în mai multe moduri.

7. Studiul abordărilor în detecția obiectelor

Obiectivul major al acestei cercetări este studierea, dezvoltarea și propunerea unor noi modele și metode de percepție senzorială, modelare, și reprezentare a modelului lumii pentru realizarea unor sisteme de asistare a conducerii. Una din cele mai importante componente ale unui astfel de sistem de asistare a conducerii este detecția obiectelor. În literatură au fost prezentate mai multe metode pentru detecția obstacolelor folosind stereo viziunea. Cele mai reprezentative metode au fost studiate și evaluate. Au fost considerate ca făcând parte din clasa tehnicilor de detecție a obiectelor atât algoritmi de separare a punctelor de pe drum de puncte obstacol cât și algoritmi care efectiv detectează obstacole.

Cercetarea în această direcție a fost puternic influențată de munca de pionierat a echipelor de cercetare de la Carnegie Mellon University (CMU), Daimler Chrysler A.G., Parma University din Italia și Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

Franke et al. a prezentat în lucrarea [Franke1996] o metodă clasică de stereo viziune bazată pe corelație, metodă ce a fost reiterată și rafinată în [Franke1998]. Înainte de aplicare a algoritmului propriu-zis, se efectuează o operație de pre-procesare: fiecare pixel din ambele imagini este clasificat în funcție de relația cu vecinii săi, fapt ce rezultă într-o filtrare a punctelor care sunt slab texturate (și astfel considerate irelevante din punct de vedere al aportului de informație) și a punctelor de pe

muchii orizontale care conduc la potriviri eronate în procesul de stereo corelare. Metoda Daimler presupune lucrul cu imagini rectificatice, de aceea potrivirea pixelilor se face de-a lungul aceleiași linii din imaginea pereche (liniile epipolare sunt orizontale în ambele imagini). La fel ca și în cazul altor metode cum ar fi V-disparity [Labayrade2002] detecția obstacolelor se face pornind de la prelucrări pe harta disparităților. În [Soto2000] este prezentat un senzor de stereo viziune pentru navigarea roboților mobili. Scopul metodei este de a construi o harta de distanțe și de a extrage obstacole din acele regiuni ale hărții care „ies în evidență”. Asemănător altor lucrări, și aceasta face presupunerea că suprafața drumului este plană. Printr-un algoritm de tip extinderea-regiunii aplicat în spațiul disparităților, obiectele aflate la distanță foarte mare sau de înălțime foarte mică sunt eliminate. Astfel se obțin doar obstacolele considerate relevante din scenă. În [Williamson1999] se descrie o metodă de detecție a obstacolelor bazată pe o configurație care folosește un sistem de trei camere. Algoritmul de stereo corelare este foarte asemănător cu cel clasic exceptând câteva detalii. Unul dintre aceste detalii este tehnica numită „Ground Plane Stereo”. De asemenea, lucrarea subliniază avantajele folosirii unui sistem cu 3 camere. Discriminarea între obstacole și planul drumului se face prin metoda „Ground Plane Stereo” care aplică o corecție ambelor imagini pentru a compensa diferența de disparitate în cadrul procesului de rectificare a imaginilor. În acest fel, suprafața drumului va avea o valoare constantă pentru disparitate în vreme ce obiectele vor avea o disparitate diferită de aceasta.

8. Studiul abordărilor în clasificare

S-a efectuat un studiu teoretic și experimental al algoritmilor de clasificare implicați în recunoașterea obiectelor din scenele de trafic. Studiul teoretic surprinde abordările existente în clasificarea pietonilor și autovehiculelor. S-a prezentat modul în care se încadrează algoritmi de clasificare într-un sistem automat de șofat. Studiul nostru realizează următoarele:

- detalierea modelului matematic al algoritmilor de clasificare
- prezentarea schemelor de clasificare folosite la recunoașterea obiectelor prin analiza informației din spectrul infraroșu și de la senzorii activi
- prezentarea arhitecturilor de clasificare utilizate la recunoașterea obiectelor pe baza informației oferite de senzori ai spectrului vizual.
- studiu experimental al câtorva abordări în recunoașterea pietonilor și realizări practice ale colectivului nostru de cercetare.

Studiul efectuat prezintă modelele matematice ale celor mai importanți algoritmi de clasificare întâlniți în recunoașterea obiectelor, și anume reguli de decizie de tip Bayes, funcții liniar discriminante și Support Vector Machines (SVM), rețele neuronale, arbori de decizie, algoritmi de boosting. Am arătat cum se folosesc practic aceste modele matematice la recunoașterea obiectelor (1) pe baza fuziunii informației din domeniul infraroșu și de la senzorii activi și (2) folosind informația oferită de senzorii din spectrul vizibil.

Fuziunea mai multor senzori poate duce la îmbunătățirea detecției și recunoașterii obiectelor din scenele de trafic în toate condițiile de mediu. Am prezentat succint metode care tratează detecția și clasificarea obiectelor prin combinarea informației de la mai mulți senzori precum: un scanner laser cu formele extrase din infraroșul îndepărtat [Fardi2005], un scanner laser cu o cameră [Premebida2007], senzori radar de viteză și direcție cu senzori din spectrul vizibil și din spectrul infraroșu [Milch2001], radarul combinat cu senzori termoelectrice, unghiul de deplasare și senzori de temperatură ambientală [Linzmeier2005], senzori din spectrul vizibil și infraroșu [Bertozzi2006].

Datele oferite de senzorii din spectrul vizual sunt cele mai utilizate deoarece trăsăturile vizuale au un potențial ridicat datorită rezoluției spațiale mari, de informația bogată în culoare și textură. Modelele de clasificare existente în literatură, pentru acest tip de senzori, se împart în două categorii: modele generative și modele discriminative [Gavrila2009].

Abordările generative modelează înfățișarea obiectelor printr-o funcție de densitate condiționată de clasă. Probabilitatea posterioară este inferată conform regulii de decizie Bayes folosind probabilitățile a-priori. În funcție de reprezentarea vizuală folosită metodele generative cuprind modele bazate pe

formă (discretă sau continuă) [Gavrila2007a], [Heap1998], [Gavrila2008] și modele care combină forma cu trăsăturile texturale [Cootes2004], [Jones1998]. Clasificarea este realizată prin transformate de distanță combinate cu potrivirea unui șablon pe structuri ierarhice de forme.

Abordările discriminative consideră o mulțime de antrenare cu exemple pozitive și negative din care sunt extrase trăsături pe baza cărora sunt învățați parametrii unei funcții discriminante. Modelele de clasificare existente folosesc trăsături bazate pe diferențe de intensitate (filtre Haar) cu algoritmi de boosting [Papageorgiou2000], [Freund1995], trăsături LRF (Local Receptive Fields) cu rețele neuronale [Gavrila2007b], atribute care surprind discontinuități în intensitatea imaginii date de analiza structurilor locale de muchii (HOG – histograma orientării gradientului sau descriptori invariante) cu algoritmi de învățare care folosesc vectori suport (SVM – Support Vector Machines) [Dalal2005]. Un alt curent în recunoaștere folosește o divizare a înfățișării obiectelor în mai multe părți componente pe care sunt antrenati în paralel clasificatori [Wu2007], [Leibe2005]. Metodele bazate pe analiza părților obiectelor sunt eficiente în condițiile în care obiectele sunt parțial acoperite dar metodele nu sunt aplicabile pe imagini de rezoluție mică deoarece fiecare detector antrenat pe o componentă are nevoie de trăsături de o anumită dimensiune pentru a asigura o detecție robustă.

O îmbunătățire a rezultatelor clasificării poate fi adusă prin includerea unei noi dimensiuni în analiza trăsăturilor, și anume dimensiunea temporală. Studiul nostru sintetizează abordările existente în urmărirea obiectelor [Heap1998], [Isard1998], [Alonso2007], [Gavrila2007b], [Leibe2007], [Philomin2000], [Wu2007] și clasificarea pietonilor folosind informația de mișcare.

9. Contribuții ale colectivului de cercetare

9.1. Contribuții în domeniul modelării, detecției și urmării drumului

Colectivul de cercetare în domeniul prelucrării imaginilor, din cadrul catedrei Calculatoare a Universității tehnice din Cluj-Napoca are rezultate consistente în domeniul modelării, detecției și urmării drumului începând cu anul 2004 [Nedevschi2004b]. Modelul cel mai general existent în literatură a fost extins treptat, prima dată prin adăugarea benzilor adiacente [Danescu2006], apoi prin considerarea unei distanțe variabile de observație [Danescu2007], și în final prin introducerea de noi parametri pentru banda de circulație curentă, parametrii precum deplasamentul vertical, lățimea marcajelor delimitatoare și variația lățimii benzilor [Danescu2009].

În domeniul extragerii trăsăturilor primare, elementul central al activității noastre este utilizarea stereoviziunii pentru separarea trăsăturilor șoselei de trăsăturile obstacolelor [Nedevschi2004b], dar au fost aduse contribuții și la extragerea marcajelor din prelucrarea combinată a imaginilor de intensitate și a informației stereo [Danescu2007]. Prin folosirea stereoviziunii dense, echipa noastră a reușit detecția în premieră detecția bordurilor [Oniga2007], un element delimitator esențial al drumului, dar greu de discriminat în imagini monoculare. De asemenea, prin folosirea stereoviziunii dense a fost posibilă extragerea unei reprezentări dense, nestructurate a scenei, care poate fi folosită în situații în care modelele parametrice nu sunt adecvate [Oniga2009].

Pentru potrivirea modelului drumului la datele extrase prin prelucrarea informațiilor senzoriale, echipa noastră a preferat metodele bazate pe estimatori probabilistici. Acești estimatori au permis integrarea multiplelor surse de informație și modelarea incertitudinilor acestor surse, precum și includerea modelului dinamic de evoluție în timp a parametrilor drumului în procesul de estimare. Au fost dezvoltate soluții originale și robuste, bazate pe filtrul Kalman, pentru scenarii de autostradă [Nedevschi2004b], [Danescu2006] și pentru scenarii urbane [Danescu2007], dar și o soluție bazată pe filtrul de particule, cu aplicație în multiple scenarii eterogene [Danescu2009].

9.2. Contribuții în domeniul detecției obiectelor

Primele contribuții în detecția obiectelor și reprezentarea mediului din puncte 3D reconstruite prin stereoviziune bazată pe muchii au fost comunicate în 2004 [Nedevschi2004a]. În 2007 echipa de la

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca [Nedevschi2007] introduce o nouă metodă de detecție a obiectelor bazată pe punctele 3D reconstruite din stereo-viziune densă. Separarea drum/obstacol se obține din profilul vertical al drumului. Presupunând că obstacolele nu se suprapun și nici nu „plutesc” deasupra suprafeței drumului se pornește de la o proiecție a tuturor punctelor de obstacol asupra planului drumului (tuturor punctelor obstacol li se considera înălțimea $Y=0$) generând ceea ce se numește o vedere de sus (bird-eye view). Pentru a atenua problema scăderii densității punctelor 3d reconstruite odată cu creșterea distanței față de observator, s-a efectuat o împărțire a spațiului cartezian în suprafețe trapezoidale de diferite dimensiuni (metric) astfel încât numărul de puncte 3d trapezoid să fie aproximativ constant. Acest spațiu comprimat este folosit pentru a raționa dacă o anumită zonă (celulă din acest spațiu) este ocupată sau nu. Celulele fără puncte sunt considerate libere. De asemenea celulele cu doar câteva puncte vor fi considerate libere, punctele puține fiind mai degrabă un semn al erorilor de reconstrucție. Restul celulelor sunt considerate ca aparținând obstacolelor. În urma aplicării unui algoritm de etichetare peste spațiul comprimat se obțin grupuri de celule – ipoteze de obstacole. După filtrarea grupurilor foarte mici (zgomote) urmează o procedură de raționare asupra formei obstacolelor care va face o serie de fragmentări sau unificări în funcție de concavități și/sau alte criterii. Ultimul pas al metodei propuse este determinarea orientării obstacolului prin determinarea înfășurătorii în jurul punctelor care intră în alcătuirea obstacolului și calcularea direcției dominante.

9.3. Contribuții în domeniul clasificării

Colectivul de cercetare în domeniul prelucrării imaginilor din cadrul Catedrei de Calculatoare a Universității Tehnice din Cluj-Napoca a realizat mai multe studii experimentale în ceea ce privește clasificarea obiectelor, în special recunoașterea pietonilor. S-a experimentat și s-a implementat un algoritm original de extragere a conturilor pentru dezvoltarea unei scheme de potrivire bazată pe ierarhie de contururi [Giosan2008]. Ierarhia de contururi a fost folosită cu succes într-un sistem de stereoviziune pentru potrivirea în timp real a formelor de pietoni.

Totodată s-au adus contribuții în domeniul algoritmilor de clasificare discriminativi. În [Borca2008b] s-a implementat un sistem de recunoaștere a pietonilor pe baza unei scheme de meta-clasificare formată prin combinarea clasificatorilor de tip rețea Bayes. Spațiul înfățișărilor pietonilor a fost divizat în mai multe clase de atitudini (de exemplu mers, alergare, stat pe loc) și pentru fiecare clasă de atitudini s-au extras trăsături de tip histogramă a orientării gradientului și magnitudine a derivatei parțiale de ordinul 1, calculată pe patru direcții. În [Borca2008a] spațiul trăsăturilor a fost extins cu Gauss-ieni anisotropi și la metodele de învățare folosite în schema de meta-clasificare s-au adăugat algoritmi de boosting. Modulul de meta-clasificare primește informația 2D obținută prin proiecția ipotezelor 3D de obiecte generate de analiza stereo. Folosind informația de mișcare și de direcție se poate face o primă asumție asupra atitudinii obiectelor (viteză și direcție de deplasare). Pe baza asumției, meta-clasificatorul aplică schema de clasificare corespunzătoare atitudinii și returnează o probabilitate ca obiectul 3D proiectat să fie pieton [Nedevschi2009].

Bibliografie

[Alonso2007] – I. P. Alonso et al. Combinațion of feature extraction methods for SVM pedestrian detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(2):292–307, 2007.

[Aufreere2000] – R. Aufreere, R. Chapuis, F. Chausse, “A fast and robust vision-based road following algorithm”, in proc of *IEEE-Intelligent Vehicles Symposium 2000 (IEEE-IV 2000)*, pp. 192-197.

[Bertozzi1998] – M. Bertozzi, A. Broggi, “GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection”, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 7, Issue 1, January, 1998, pp. 62-81.

[Bertozzi2006] – M. Bertozzi, A. Broggi, M. Felisa, G. Vezzoni, and M. Del Rose, “Low-level pedestrian detection by means of visible and far infra-red tetra-vision,” in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Tokyo, Japan, 2006, pp. 231–236

[Bertozzi2007] – M. Bertozzi, A. Broggi, M. Del Rose, M. Felisa, “A Symmetry-based Validator and Refinement System for Pedestrian Detection in Far Infrared Images” Intelligent Transportation Systems Conference, 2007. ITSC 2007. IEEE Volume , Issue , Sept. 30 2007-Oct. 3 2007 pp. 155 – 160

[Broggi2005] – Alberto Broggi, Pietro Cerri, Fabio Oleari and Marco Paterlini, “Guard rail detection using radar and vision data fusion for vehicle detection algorithm improvement and speed-up”, *Proc. of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Vienna, Austria, September 13-16, 2005, p. 857-861.

[Buehren2007] – M. Buehren, B. Yang, ”On Motion Models for Target Tracking in Automotive Applications”, in *Proc. of WIT 2007: 4th International Workshop on Intelligent Transportations*, 2007

[Chern2004] – M. Y. Chern, “Knowledge-based Region Classification for Locating Rural Road Area in the Color Scene Image”, in *proc of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC) 2004*, pp. 891-896.

[Choo2001] – K. Choo, D.J. Fleet, People tracking using hybrid monte carlo filtering International Conference on Computer Vision, vol. 2, Vancouver, Canada, 2001, pp. 321-328.

[Cootes2001] - T. F. Cootes, G. J. Edwards, and C. J. Taylor, “Active appearance models,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 6, pp. 681–685, 2001.

[Cootes2004] – T. F. Cootes, S. Marsland, C. J. Twining, K. Smith, and C. J. Taylor. Groupwise diffeomorphic non-rigid registration for automatic model building. In *Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pages 316–327, 2004

[Cramer2004] – H. Cramer, U. Scheunert, G. Wanielik, “A New Approach for Tracking Lanes by Fusing Image Measurements with Map Data”, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2004*

[Crisman1991] – J.D. Crisman, C. E. Thorpe, “UNSCARF, A Color Vision System for the Detection of Unstructured Roads”, in *proc of IEEE International Conference on Robotics and Automation 1991 (ICRA 1991)*, pp. 2496-2501, vol.3.

[Dalal2005] – N. Dalal and B. Triggs. Histograms of oriented gradients for human detection. In *Proc. of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 886–893, 2005

[Dickmanns1992] – E.D. Dickmanns, B.D. Mysliwetz, “Recursive 3-d road and relative ego-state recognition”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no.2, pp. 199-213, 1992.

[Fardi2003] – B. Fardi, U. Scheunert, H. Cramer, G. Wanielik, “Multi-Modal Detection and Parameter-based Tracking of Road Borders with a Laser Scanner”, in *proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2003 (IEEE-IV 2003)*, pp. 95- 99.

[Fardi2005] – B. Fardi, U. Schuenert, and G. Wanielik, “Shape and motionbased pedestrian detection in infrared images: a multi sensor approach,” in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Las Vegas, NV, USA, 2005, pp. 18–23.

- [Franke1996] – U. Franke, I. Kutzbach, "Fast stereo based object detection for stop&go traffic", in *Proc. of Intelligent Vehicles Symposium*, 1996, pp. 339-344
- [Franke1998] – U. Franke, D. Gavrilă, S. Goezig, F. Lindner, F. Paetzold, C. Wohler, "Autonomous Driving Goes Downtown", in *IEEE Intelligent Systems*, 1998, pp. 40-48
- [Franke2007] – U. Franke, H. Loose, C. Knoepfel, „Lane Recognition on Country Roads“, in proc of *IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007 (IEEE-IV 07)*, pp. 99-104.
- [Freund1995] – Y. Freund and R. E. Schapire. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. In *Proc. of the European Conference on Computational Learning Theory*, pages 23–37, 1995
- [Gavrilă2004] – D. M. Gavrilă, J. Giebel and S. Munder. Vision-based Pedestrian Detection: the PROTECTOR System, *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, Italy, 2004.
- [Gavrilă2007a] – D. M. Gavrilă, "A bayesian exemplar-based approach to hierarchical shape matching," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 8, August 2007.
- [Gavrilă2007b] – D. M. Gavrilă and S. Munder. Multi-Cue Pedestrian Detection and Tracking from a Moving Vehicle. *International Journal of Computer Vision*, Springer Verlag, vol.73, no.1 (June), pp.41-59, 2007.
- [Gavrilă2008] – M. Enzweiler, D. M. Gavrilă "A mixed generative-discriminative framework for pedestrian classification." In *Proc. Of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2008
- [Gavrilă2009] – M. Enzweiler, D. M. Gavrilă. "Monocular Pedestrian Detection: Survey and Experiments" *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.31, no.12, pp.2179-2195, 2009
- [Gandhi2006] – T. Gandhi and M. Trivedi, "Pedestrian collision avoidance systems: A survey of computer vision based recent studies," in *Proceedings of the IEEE ITSC*, 2006.
- [Gern2001] – A. Gern, U. Franke, P. Levi, "Robust vehicle tracking fusing radar and vision", in *Proc. of Intern. Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 2001, pp. 323-328
- [Giebel2004] – J. Giebel, D. M. Gavrilă and C. Schnörr. A Bayesian Framework for Multi-Cue 3D Object Tracking, *Proc. of the European Conference on Computer Vision*, Prague, Czech Republic, 2004
- [Goldbeck1998] – J. Goldbeck, G. Draeger, B. Huertgen, S. Ernst, F. Wilms, "Lane Following Combining Vision and DGPS", in proc of *IEEE Intelligent Vehicles Symposium 1998 (IEEE-IV 1998)*, pp. 425-433.
- [Heap1998] – T. Heap and D. Hogg. Wormholes in shape space: Tracking through discontinuous changes in shape. In *Proc. of the International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pages 344–349, 1998
- [Hong2000] – T. Hong, M. Abrams, T. Chang, and M.O. Shneier, "An intelligent world model for autonomous off-road driving", *Computer Vision and Image Understanding*, 2000.

- [Isard1998] – M. Isard and A. Blake. CONDENSATION - conditional density propagation for visual tracking. *International Journal of Computer Vision*, 29(1):5–28, 1998.
- [Jones1998] – M. J. Jones and T. Poggio. Multidimensional morphable models. In *Proc. of the International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pages 683–688, 1998
- [Kinzel1994] – Kinzel W. Pedestrian Recognition by Modelling their Shapes and Movements, IAP-III1994, pp. 547-554
- [Kirchner1998] – A. Kirchner, T. Heinrich, “Model based detection of road boundaries with a laser scanner”, in *proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 1998 (IEEE-IV 1998)*, pp. 93-98.
- [Kolski2006] – S. Kolski, D. Ferguson, M. Bellino, and R. Siegwart, *Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Tokio, Japan, June 2006, p. 558- 563.
- [Krotski2007] – Krotosky, Stephen J.; Trivedi, Mohan M. “A Comparison of Color and Infrared Stereo Approaches to Pedestrian Detection” *Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE Volume* , Issue , 13-15 June 2007 pp. 81 – 86
- [Jung2004] – C.R. Jung, C.R. Kelber, “A Lane Departure Warning System based on a Linear-Parabolic Lane Model”, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2004*
- [Kluge1995] – K. Kluge, S. Lankshmanan, “A Deformable-Template Approach to Lane Detection”, in *proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 1995 (IEEE-IV 1995)*, pp. 54-59.
- [Labayrade2003] – R. Labayrade, D. Aubert, “A single framework for Vehicle Roll, Pitch, Yaw Estimation and Obstacles Detection by Stereovision”, in *proc of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2003 (IEEE-IV 2003)*, pp. 31-36.
- [Labayrade2002] – R. Labayrade, D.Aubert, J.-P. Tarel “Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through „v-disparity” representation”, in *Proc. IEEE-Intelligent Vehicles Symposium*, June 2002, pp. 646-651
- [Leibe2005] – B. Leibe, E. Seemann, and B. Schiele. Pedestrian detection in crowded scenes. In *Proc. of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 878–885, 2005
- [Leibe2007] – B. Leibe, N. Cornelis, K. Cornelis, and L. V. Gool. Dynamic 3d scene analysis from a moving vehicle. In *Proc. of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2007.
- [Linzmeier2005] – D. Linzmeier, M. Skuttek, M. Mekhaieel, and K. Dietmayer, “A pedestrian detection system based on thermopile and radar sensor data fusion,” in *Int. Conf. on Information Fusion*, vol. 2, 2005.
- [Ma1999] – B. Ma, S. Lankshmanan, A. Hero, “Road and Lane Edge Detection with Multisensor Fusion Methods”, in *proc of International Conference on Image Processing 1999 (ICIP 1999)*, pp. 686-690.
- [Macek2004] – K. Macek, B. Williams, S. Kolski, R. Siegwart, “A Lane Detection Vision Module for Driver Assistance”, in *proc of IEEE/APS Conference on Mechatronics and Robotics*, 2004, pp. 77-82.
- [Manduchi2005] – R. Manduchi, A. Castano, A. Talukder, and L. Matthies, “Detection and terrain classification for autonomous off-road navigation,” *Autonomous Robots*, vol. 18, pp. 81–102, 2005.

- [McCall2004] – J. C. McCall, M. M. Trivedi, “An Integrated, Robust Approach to Lane Marking Detection and Lane Tracking”, in proc of *IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2004 (IEEE-IV 2004)*, pp. 533- 537.
- [Meinecke2005] – M. M. Meinecke M. A. Obojski “Enhancing Pedestrian Safety by using the SAVE-U Pre-Crash System” 12th World Congress on Intelligent Transportation Systems (ITSWC), San Fransisco/ CA, November 6-10, 2005
- [Milch2001] – S. Milch and M. Behrens, “Pedestrian detection with radar and computer vision,” in *Proc. Conf. on Progress in Automobile Lighting*, Darmstadt, Germany, 2001.
- [Moebus2003] – R. Moebus, A. Joos, U. Kolbe “Multi-target multi-object radartracking”, in *Proc. IEEE-Intelligent Vehicles Symposium*, June 2003, pp. 489-494
- [Ormoneit2001] – D. Ormoneit, H. Sidenbladh, M. Black, T. Hastie, Learning and tracking cyclic human motion, in: *Advances in Neural Information Processing Systems 13*, 2001, pp. 894.900
- [Papageorgiou2000] – C. Papageorgiou and T. Poggio. “A trainable system for object detection.” *International Journal of Computer Vision*, 38:15–33, 2000
- [Philomin2000] – V. Philomin, R. Duraiswami, and L. S. Davis. Quasi-random sampling for condensation. In *Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pages 134–149, 2000.
- [Premebida2007] – C. Premebida, G. Monteiro, U. Nunes, and P. Peixoto, “A lidar and vision-based approach for pedestrian and vehicle detection and tracking,” in *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems*, 2007, pp. 1044–1049.
- [Sidenbladh2000] – H. Sidenbladh, M. J. Black, D. J. Fleet, Stochastic Tracking of 3D human Figures using 2D Image Motion, in: *European Conference on Computer Vision*, Vol. 2, 2000, pp. 702.718
- [Sotelo2004] – M. A. Sotelo, F. J. Rodriguez, L. Magdalena, L. M. Bergasa, L. Buquete, “A Color Vision-Based Lane Tracking System for Autonomous Driving on Unmarked Roads”, *Autonomous Robots, Kluwer Academic Publishers*, Vol. 16, No. 1, 2004, pp. 95-116.
- [Soto2000] – A. Soto, M. Saptaharishi, A. Trebi, J. Dolan, P. Khosla “Cyber-ATVs: Dynamic and Distributed Reconnaissance and Surveillance Using All Terrain UGVs”, in *Proc. International Conference on Field and Service Robotics*, 1999, pp. 329-334
- [Southall2001] – J.B. Southall, C.J. Taylor "Stochastic road shape estimation", in proc of *International Conference on Computer Vision*, 2001, pp. 205-212.
- [Troje2002] – N. Troje, Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns, *Journal of Vision* 2 (5) (2002) 371.387
- [Viola2005] – P. A. Viola, M. J. Jones, and D. Snow, “Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 63, no. 2, pp. 153–161, 2005.
- [Weber1996] – J. Weber, M. Atkin, “Further Results on the Use of Binocular Vision for Highway Driving”, in proc of *SPIE 1996, Vol. 2902: Transportation Sensors and Controls: Collision Avoidance, Traffic Management, and ITS*, pp. 52-61.
- [Williamson1999] – T. Williamson, C.Thorpe “A trinocular stereo system for highway obstacle detection”, in *Proc. IEEE-Robotics and Automation*, 2003, pp. 2267-2273

- [Wu2007] – B. Wu and R. Nevatia. Detection and tracking of multiple, partially occluded humans by Bayesian combination of edgelet based part detectors. *International Journal of Computer Vision*, 75(2):247 – 266, 2007
- [Yang2004] – Hee-Deok Yang; Seong-Whan Lee “Multiple Pedestrian Detection and Tracking based on Weighted Temporal Texture Features” *International Conference on Pattern Recognition*, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th Volume 4, Issue , 23-26 Aug. 2004 pp. 248 - 251 Vol.4
- [Yu1995] – B. Yu, A. K. Jain, “Lane Boundary Detection Using A Multiresolution Hough Transform”, in proc of *IEEE International Conference on Image Processing 1997 (ICIP 1997)*, vol. 2, pp. 748-751.
- [Borca2008a] – Raluca Borca-Muresan, Sergiu Nedevschi, Florin Maguran: Mixtures of classifiers for recognizing standing and running pedestrians, *International Conference on Computer Vision and Graphics (ICCVG 2008)*, 10-12 November, Warsaw, Poland
- [Borca2008b] – Raluca Borca-Muresan, Sergiu Nedevschi: Meta-classifier for Pedestrian Attitude Recognition, *IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP 2008)* , Cluj-Napoca, August 2008
- [Danescu2006] – R. Danescu, S. Sobol, S. Nedevschi, T. Graf, “Stereovision-Based Side Lane and Guardrail Detection”, in proc of *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference 2006 (ITSC 2006)*, pp. 1156-1161.
- [Danescu2007] – R. Danescu, S. Nedevschi, M.M. Meinecke, T. Graf, “Stereovision Based Vehicle Tracking in Urban Traffic Environments”, in proc of *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference 2007 (ITSC 2007)*, pp. 400-404.
- [Danescu2008] – R. Danescu, S. Nedevschi, M. M. Meinecke, T. B. To, “A Stereovision-Based Probabilistic Lane Tracker for Difficult Road Scenarios”, in proc of *IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2008 (IV2008)*, pp. 536-541.
- [Danescu2009] – R. Danescu, S. Nedevschi, “Probabilistic Lane Tracking in Difficult Road Scenarios Using Stereovision”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 10, No. 2, June 2009, ISSN 1524-9050, pp. 272-282.
- [Giosan2008] – Ion Giosan, Sergiu Nedevschi: Building Pedestrian Contour Hierarchies for Improving Detection in Traffic Scenes, *Computer Vision and Graphics*, Springer Berlin / Heidelberg, ICCVG 2008
- [Nedevschi2004a] – S. Nedevschi, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol, R. Schmidt, T. Graf, "High Accuracy Stereo Vision System for Far Distance Obstacle Detection", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2004 (IV2004)*, Parma, Italy, pp. 292-297.
- [Nedevschi2004b] – S. Nedevschi, R. Schmidt, T. Graf, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol, “3D Lane Detection System Based on Stereovision”, in proc of *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference 2004 (IEEE-ITSC 2004)*, pp. 161-166.
- [Nedevschi2007] – S. Nedevschi, R. Danescu, T. Marita, F. Oniga, C. Pocol, S. Sobol, C. Tomiuc, C. Vancea, M.M. Meinecke, T. Graf, Thanh Binh To, M. A. Obojski “A Sensor for Urban Driving Assistance Systems Based on Dense Stereovision”, in *IEEE-Intelligent Vehicles Symposium*, June 2007, pp. 276-283

[Nedevschi2009] – S. Nedevschi, S. Bota, C. Tomiuc, “Stereo-Based Pedestrian Detection for Collision-Avoidance Applications”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, September 2009, Volume 10, Number 3 pp 380-391 ISSN 1524-9050.

[Oniga2007] – F. Oniga, S. Nedevschi, M.M. Meinecke, T.B. To, “Road Surface and Obstacle Detection Based on Elevation Maps from Dense Stereo”, in proc of *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference 2007 (ITSC 2007)*, pp. 859-865.

[Oniga2009] – F. Oniga, S. Nedevschi, “Processing Dense Stereo Data Using Elevation Maps: Road Surface, Traffic Isle and Obstacle Detection”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, acceptat in 2009 pentru publicare.