

**Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca,
Facultatea de Automatica si Calculatoare
Catedra de Calculatoare**

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

**Cod proiect ID_1522
Contract 693/2009**

**Sinteza lucrarii,
an 3 faza unica**

Director proiect:

Prof. dr. ing. Sergiu Nedevschi

Colectiv:

Sef lucr. dr. ing. Tiberiu Marita,

Sef. lucr. dr. ing. Radu Danescu,

Asist. dr. ing. Florin Oniga

Prep. dr. ing. Siviu Bota

Doctorand ing. Andrei Vatavu

Doctorand ing. Cosmin Pantilie

Doctorand ing. Voichita Popescu

**Decembrie, 2011
Cluj-Napoca**

Elaborarea algoritmilor de estimare si clasificare.....	3
1. Elaborare algoritmi de estimare a drumului.....	3
1.1. Estimarea drumului pe baza de model, in medii structurate	3
1.2. Estimarea drumului fără constrângerile unui model, pentru medii nestructurate	3
2. Elaborare algoritmi de estimare a parametrilor obiectelor.....	4
2.1 Introducere.....	4
2.2 Tipuri de obiecte.....	4
2.3 Detectia și estimarea parametrilor obstacolelor.....	4
2.3.1 Detectia obstacolelor in mediu structurat.....	5
2.3.2 Detectia obstacolelor in mediul nestructurat.....	6
3. Elaborare algoritmi de clasificare	7
Definirea modelelor de performanță a algoritmilor și a reprezentării lumii.....	7
1. Efectuarea de teste în medii controlate	7
2. Elaborarea de modele matematice de performanță a algoritmilor de măsurare	8
3. Elaborarea de modele matematice de performanță a reprezentării lumii	9
4. Estimarea parametrilor de performanță ai algoritmilor și a reprezentării.....	10
Elaborarea unui prototip demonstrativ functional de evaluare a utilitatii sistemului senzorial si de reprezentare din punctul de vedere al cerintelor sistemelor de asistare a conducerii auto	10
1. Realizarea unui sistem hardware-software de procesare senzoriala in timp real.....	10
2. Dezvoltarea unei aplicatii de asistenta a conducerii auto	10
3. Evaluarea performantei sistemului din punctul de vedere al asistentei conducerii auto.....	11
Diseminare rezultate.....	11
Bibliografie – lucrari publicate de colectivul proiectului	12

Elaborarea algoritmilor de estimare si clasificare

Platforma unificată tratează problematica percepției senzoriale, a modelării și estimării drumului, a modelării și estimării obstacolelor generice și a clasificării acestor obstacole, precum și a creării unei reprezentări a modelului lumii răspunzând cerințelor aplicațiilor de asistență a conducerii.

1. Elaborare algoritmi de estimare a drumului

1.1. Estimarea drumului pe baza de model, in medii structurate

Noua soluție pentru urmărirea bazată pe model a drumului [9] se bazează pe extinderea modelului clasic, prin adăugarea mai multor parametri. Parametrii clasici sunt W_0 – Lățimea benzii, C_H – Curbura orizontală, C_V – Curbura verticală, D – Distanța pentru detecție, X_{CW} – Deplasamentul lateral, α – Unghiul de aplecare, γ – Unghiul de înclinare laterală, ψ – Unghiul de orientare, iar noii parametri introduși sunt W_L – variația lățimii cu distanța, Y_0 – deplasamentul vertical, W_L – lățimea marcajului delimitator stâng, W_R – lățimea marcajului delimitator drept.

Algoritm de estimare a drumului evaluează continuu starea prin intermediul unei mulțimi de particule. Nu există o fază de inițializare, deoarece fiecare ciclu este rulat exact în același fel. Ciclul începe cu re-eșantionarea particulelor, care sunt extrase în parte dintr-o distribuție anterioară, și în parte dintr-o distribuție generică ce acoperă o plajă largă de geometrii ale drumului, pentru a putea trata discontinuitățile ce pot apărea (aceste particule se numesc particule de inițializare).

După procesul de re-eșantionare, se aplică deplasamentul deterministic pentru toate particulele, luându-se în considerare parametrii de mișcare precum viteza, viteza angulară, și timpii de achiziție a cadrelor. După deplasamentul deterministic, se aplică difuzia stohastică, ce va afecta fiecare particulă în mod aleator. Unghiul de aplecare preliminar se calculează în mod independent de sistemul de particule, folosind o metodă probabilistică. Valoarea acestui unghi este folosită pentru a selecta trăsăturile de pe drum, ce vor fi apoi folosite pentru a pondera particulele în procesul de măsură.

După măsură, se produce validarea, ce va stabili dacă particulele sunt centrate pe o bandă validă. Dacă validarea este satisfăcută, se face estimarea parametrilor finali.

Folosind noul set de parametri, și mai multe indicii suplimentare calculate prin procesarea în spațiul 2D și 3D, se obține o mai bună potrivire a suprafeței calculate a drumului la realitatea din trafic.

1.2. Estimarea drumului fără constrângerile unui model, pentru medii nestructurate

Bordurile sunt un delimitator important frecvent întâlnit al drumului, respectiv al zonei navigabile. Metodele existente în literatură pentru detecția bordurilor folosesc în special date tridimensionale și sunt bazate pe modele relativ simple. Cel mai frecvent model folosit este modelul liniar, bordurile fiind modelate prin segmente de dreaptă. Principalul motiv pentru folosirea unui model simplu în metodele existente este timpul crescut de procesare, datorat volumului mare de date tridimensionale.

În cadrul acestui proiect au fost dezvoltate două metode originale de detectare a bordurilor [12][20], care sunt capabile de a detecta bordurile în timp real pe baza reprezentării datelor tridimensionale de la stereoviziune ca o hartă digitală de elevații. Punctele potențiale de bordură sunt detectate ca variații persistente ale elevației folosind detecție de muchii și o hartă de persistență actualizată periodic. Ambele metode sunt bazate pe modele avansate pentru reprezentarea bordurilor, primul fiind un model polinomial cubic, iar al doilea, mai avansat, o curbă spline cubică.

Prima abordare se bazează pe un model original pentru borduri cu curbura bazat pe o curbă polinomială cubică, care permite inclusiv variație de curbura pentru borduri. Acest model este un semnificativ pas înainte față de modelele liniare existente pentru detecția bordurilor. Pentru potrivirea modelului se folosește o abordare bazată pe eșantioane aleatoare cu două modificări importante (RANDOM SAMPLE CONSENSUS – RANSAC). Astfel, față de tehnica RANSAC standard, eșantioanele neviabile sunt respinse înainte de potrivire, iar scorul de potrivire este calculat într-un mod original. Pentru profilul vertical se folosește o curbă pătratică calculată din profilul de elevație al bordurii tot cu abordarea RANSAC. Astfel se descriu complet tridimensional bordurile prezente în scenă. Metoda furnizează rezultate robuste dacă datele tridimensionale sunt dense, însă apar probleme de stabilitate a parametrilor atunci când reconstrucția stereo este slabă.

A doua abordare rezolvă problemele de stabilitate pentru date tridimensionale insuficiente prin integrare temporală a punctelor de bordură. Pentru a oferi un bun suport pentru calculul parametrilor modelului bordurii s-au integrat temporal punctele de bordură de-a lungul mai multor cadre consecutive. Metoda se bazează pe un model original, extins, constând fie dintr-o curbă spline cubică, fie dintr-o aproximare prin polinoame cubice pe porțiuni. Acest model general este necesar pentru a modela borduri pe distanțe mai mari, distanțe care rezultă implicit din integrarea temporală. S-a propus o metodă originală de potrivire iterativă a modelului aproximat pe porțiuni constând în minimizare cu cele mai mici pătrate pe fiecare interval plus constrângeri de continuitate (curba să fie derivabilă de ordin întâi în noduri). Pentru alinierea verticală între cadre succesive s-a propus o variantă modificată, bazată pe o singură iterație, a metodei ICP (Iterative Closest Point) folosind elevația punctelor de bordură pentru calculul rotației relative verticale.

2. Elaborare algoritmi de estimare a parametrilor obiectelor

2.1 Introducere

Primul pas în înțelegerea scenei este detecția entităților relevante. Implementarea funcțiilor de detecție depinde de tipul obiectelor de interes. Elementele de natură 2D pregnantă precum semnele pictate pe suprafața drumului sau stâlpilor se detectează mai ușor în imaginile 2D urmând ca localizarea lor să se facă prin legătura cu spațiul 3D. Elementele de natură 3D pregnantă ca și vehiculele sau pietonii sunt mai ușor de detectat în spațiul 3D. La Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca a fost propusă și dezvoltată în premiera metoda de detecție direct în spațiul 3D. Spre deosebire de spațiul 2D, spațiul 3D conserva relațiile geometrice de paralelism și permite aplicarea raționamentelor geometrice.

2.2 Tipuri de obiecte

În cadrul acestui proiect a fost abordată modelarea, percepția, urmărirea și clasificarea pentru mai multe tipuri de obiecte, care se pot clasifica în obiecte de pe suprafața drumului și obiecte de tip obstacol, iar obiectele de tip obstacol le putem percepe în mod structurat, sub forma unor cuboide având poziție, orientare, viteza și dimensiune, sau în mod nestructurat, ca mulțimi de celule ocupate și având viteza similară, care pot fi înfășurate de linii poligonale.

2.3 Detecția și estimarea parametrilor obstacolelor

Detecția și evitarea obstacolelor este una din marile provocări pentru sistemele de asistență la conducere bazate pe viziune artificială care vor fi integrate în următoarele generații de autovehicule. Îndeplinirea acestui obiectiv presupune calcularea informației de adâncime precum și a informației de mișcare cu o acuratețe înaltă și integrarea lor folosind un model suficient de robust și de general ca folosirea sa să fie fezabilă în toate scenariile de trafic. Pentru a putea fi utilizate de către diferitele sisteme sau module funcționale de siguranță a conducerii în raționamente specifice, obstacolele sunt în general caracterizate de informațiile de localizare, dimensiune și viteză. În cadrul proiectului s-au propus

și dezvoltat algoritmi originali pentru detecția obstacolelor și a parametrilor relevanți. Metodele propuse folosesc, în premieră, detecția direct în spațiul 3D spre deosebire de metodele existente în literatura de specialitate care se bazează pe detecția în spațiul 2D. Spre deosebire de spațiul 2D, spațiul 3D conserva relațiile geometrice de paralelism și permite aplicarea raționamentelor geometrice. Cu toate acestea, există situații în care folosind doar informația 3D și euristici geometrice detecția nu este satisfăcătoare. Aceasta se datorează faptul că sensorul stereo nu măsoară în mod direct mișcarea așa cum o face de exemplu RADAR-ul folosind efectul Doppler. Lipsa informației de mișcare creează ambiguități atunci când un obstacol în mișcare este văzut în proximitatea unui alt obstacol staționar sau chiar având o mișcare de direcție diferită/opusă. Astfel de situații pot duce la interpretări potențial periculoase atunci când vorbim de un pieton sau un biciclist care trece pe lângă o mașină care staționează și nu poate fi detectat ca o entitate separată ci ambele obstacole sunt grupate ca unul singur. Având doar informația 3D, sub forma unui nor de puncte, este imposibil să se găsească un criteriu cu care ambiguitățile să fie rezolvate dar, cu care în același timp să fie afectate în mod negativ detecțiile în alte situații. Din acest motiv, în algoritmi dezvoltati s-a înglobat atât informația de poziție 3D, oferită de sensorul stereo cât și informația 3D de mișcare estimată din fluxul optic și odometria vizuală. Informațiile sunt fuzionate într-o hartă de ocupare polară, special concepută pentru a modela incertitudinile reconstrucției stereo și dispersia punctelor 3D în funcție de distanță. Cunoscând parametrii sistemului stereo se calculează dimensiunile optime, în funcție de distanța față de cameră, pentru fiecare celulă cu formă trapezoidală din care este formată harta de ocupare polară. Algoritmul de grupare face posibilă agregarea celulelor învecinate pe harta de ocupare, dacă acestea prezintă mișcare compatibilă din punct de vedere al direcției și al vitezei de deplasare. Pentru obstacolele detectate în acest mod se folosesc raționamente geometrice pentru determinarea dimensiunilor. Viteza instantanee a obstacolelor este determinată folosind vectorii de viteză a căror proiecții se găsesc în cadrul obstacolului.

2.3.1 *Detectia obstacolelor in mediu structurat*

S-a dezvoltat un algoritm care să răspundă următoarelor cerințe, întâlnite în scenarii reale: Datele de intrare sunt un nor de puncte 3D clasificate ca aparținând suprafeței drumului sau ca fiind poziționate deasupra sa, datele de ieșire sunt obstacole reprezentate de cuboide orientate care în funcție de natură - statice sau dinamice - sunt caracterizate de: *obstacole statice* - localizarea 3D și estimarea dimensiunilor obstacolelor statice: vehicule parcate, stâlpi, copaci, delimitatori pentru demarcarea porțiunilor de drum aflate în construcție sau în reparație; *obstacole dinamice* - localizarea 3D, estimarea dimensiunilor și a vitezei obstacolelor dinamice: pietoni, autovehicule

Pornind de la aceste cerințe, s-a dezvoltat un algoritm original de detecție a obstacolelor care înglobează informația 3D oferită de sensorul stereo și informația de mișcare derivată din flux optic și odometrie într-o manieră robustă [4]. Un avantaj major al metodei propuse este folosirea spațiului 3D, spre deosebire de metodele prezente în literatură metode, permițând efectuarea unor raționamente geometrice într-un mod direct și eficient.

Modulul de detecție a obstacolelor fuzionează informația de poziție 3D și informația de mișcare 3D într-o hartă de ocupare polară, special concepută pentru a modela incertitudinile reconstrucției stereo și dispersia punctelor 3D în funcție de distanță. Cunoscând parametrii sistemului stereo se calculează dimensiunile optime, în funcție de distanța față de cameră, pentru fiecare celulă cu formă trapezoidală din care este formată harta de ocupare polară. Calcularea dimensiunii și poziției corespunzătoare fiecărei celule se face o singură dată, la inițializarea modulului. Apoi, pentru fiecare pereche de imagini stereo procesată pentru care s-au reconstruit punctele 3D se calculează o proiecție a punctelor 3D și a vectorilor de mișcare pe harta de ocupare. În continuare, un algoritm de grupare face posibilă

agregarea celulelor învecinate pe harta de ocupare, dacă acestea prezintă mișcare compatibilă din punct de vedere al direcției și al vitezei de deplasare

Obstacolele detectate sunt apoi supuse unui proces de urmărire probabilistică [5][15][21]. Abordarea propusă utilizează fluxul optic pentru calculul vitezelor. O combinație de filtre mediane și de medie este folosită pentru agregarea vectorilor de flux optic, eliminând erorile majore. Obiectele sunt reprezentate printr-un model probabilistic original avansat. Modelul probabilistic ia în considerare caracteristicile algoritmilor de detecție a obiectelor bazați pe stereoviziune și conduce la o densitate de probabilitate a obiectului în spațiul 3D. Această densitate este aproximată prin două metode, prima folosind un set de cuboide imbricate, iar a doua printr-o metodă de tip Monte-Carlo, folosind un set de poligoane generate aleatoriu. Faza de asociere este implementată folosind un algoritm original, care este capabil să trateze obiecte reprezentate ierarhic, precum și cazul obiectelor divizate sau unite în mod eronat. Partea de filtrare Kalman efectivă agregă 3 estimări pentru viteze, viteza calculată din flux optic, viteza prezisă precum și o viteză calculată implicit din faza de asociere a obiectelor.

2.3.2 Detecția obstacolelor în mediul nestructurat

Urmărirea obstacolelor reprezentate prin cuboide nu este cea mai bună soluție atunci când mediul ce urmează a fi urmărit reprezintă o intersecție, un sector urban aglomerat, sau un scenariu off-road. Chiar dacă anumite părți ale acestui mediu pot fi urmărite prin estimarea parametrilor modelului cuboidal, anumite părți esențiale ale mediului nu vor respecta constrângerile modelului. Principala problemă a reprezentării mediului dinamic bazate pe cuboide apare atunci când sistemul senzorial nu este capabil să furnizeze direct informația dinamică (cazul scannerelor laser sau a stereoviziunii, capabili să furnizeze informație 3D, nu și informație de viteză). În aceste condiții estimarea vitezei trebuie să se bazeze pe asocierea datelor și a cuboidelor de-a lungul timpului în cadre succesive de imagine. Un obiect care este parțial vizibil, sau nu este potrivit pentru reprezentarea cuboidală sau un obiect care își schimbă dimensiunile sau forma, va conduce către o asociere greșită a modelelor în timp și o urmărire eronată a obiectelor, astfel încât va fi imposibil de calculat viteza corectă a entităților dinamice. Din acest motiv, orice sistem senzorial poate fi îmbunătățit considerabil dacă proprietățile dinamice ale mediului ar putea fi estimate independent de tipul de reprezentare utilizat.

Hărțile de ocupare dinamică reprezintă o alegere potrivită pentru mediile dinamice utilizate în contextul aplicațiilor de asistare la conducere, deoarece sunt capabile să descrie cât mai concis aspecte relevante ale mediului asigurând în același timp un nivel de complexitate decent.

Soluția noastră este o metodă de reprezentare, percepție și urmărire a mediului bazată pe o hartă de ocupare bazată pe particule [2][4]. Această soluție este definită de o abordare originală pentru reprezentarea probabilității de ocupare și a distribuției vitezelor pentru fiecare celulă a hărții, și de un algoritm original pentru actualizarea acestor valori. Probabilitatea de ocupare a fiecărei celule va fi descrisă de numărul de particule din fiecare celulă, iar aceste particule vor avea o natură duală – ele vor reprezenta ipoteza ocupării, ca în algoritmii tipici bazați pe filtrul cu particule precum CONDENSATION, dar aceste particule pot fi considerate și elementele fizice care construiesc lumea pe care o modelăm. Algoritmii de urmărire dezvoltat este orientat pe particule, nu pe celule. Particulele au poziție și viteză, și pot migra dintr-o celulă în alta în funcție de modelul lor de mișcare și de parametrii acestuia, dar particulele pot fi și create sau distruse folosind aceeași logica de ponderare-reeșantionare specifică filtrelor de particule.

În timp ce hărțile de ocupare pot constitui o metodă valoroasă de estimare a vitezelor și gradelor de ocupare la nivel de celulă a unei hărți, acestea nu furnizează un mijloc de identificare a obiectelor individuale. Din acest motiv este necesar un mod de identificare a obiectelor prin combinarea

avantajelor hărților de ocupare cu avantajele unui model cuboidal, fără impune alte probleme în metoda de urmărire și reprezentare a mediului. O abordare remarcabilă în acest sens poate fi extragerea poligoanelor [14]. Extragerea delimitatorilor de obiecte a fost realizată prin aplicarea algoritmului de scanare radială Border Scanner. Ideea principală a soluției propuse constă în procesarea doar a informației relevante din scenă. Aceasta se asigură prin extragerea delimitatorilor și a zonelor ocupate din vecinătatea lor care sunt direct vizibile din punctul de observare (ego-vehicul). Eliminarea zonelor aflate în ocluzie și procesarea celulelor vizibile direct, permit o estimare cu o acuratețe mărită a vectorilor de viteză corespunzători obiectelor din trafic.

3. Elaborare algoritmi de clasificare

Sistemele de percepție a mediului urban și de asistare a conducerii se confruntă cu problema dificilă de înțelegere a scenariilor extrem de complexe. În astfel de scenarii clasele comune de obiecte care trebuie recunoscute sunt: pietonii, bicicliștii, stâlpii și autovehiculele. Recunoașterea obiectelor din trafic este esențială atât în dezvoltarea sistemelor de asistență a conducerii rutiere cât și în cele de percepție a mediilor de trafic urbane.

Detecția obiectelor se face fie utilizând un algoritm de grupare a punctelor (pentru obiectele de dimensiuni mari) fie analizând harta densităților de puncte (pentru obiectele de dimensiuni mici). Clasificarea obiectelor constă în două faze. În prima fază se realizează o clasificare grosieră bazată pe dimensiunile obiectelor și urmărirea obiectelor în concordanță cu modelul de mișcare specific fiecărei clase. În a doua fază în care se realizează o clasificare rafinată considerând atât informațiile 3D, 2D, cât și informațiile mișcare obținute prin prisma calculului fluxului optic. Astfel sunt filtrate clasificările incorecte obținute din prima fază obținându-se rezultate mult îmbunătățite.

În scopul antrenării și validării rezultatelor clasificării a fost construită o bază de date cu modele din fiecare clasă: cca. 27000 de autovehicule, 26000 de pietoni, 34000 de stâlpi și 100000 de alte obiecte. Au fost considerate o serie de secvențe de imagini din scene de trafic iar obiectele detectate au fost manual etichetate ca aparținând uneia din cele patru clase menționate.

Pentru fiecare obiect se extrage un set de trăsături relevante utilizate în procesul generic de clasificare. Acestea constau în atribute spațiale 3D (lățimea, lungimea, înălțimea), atribute de mișcare (viteza laterală/longitudinală, semnătura de mișcare) și atribute extrase din informațiile 2D de intensitate (histograma orientării gradientilor, scorul de potrivire a modelelor de pietoni, măsura de disimilaritate texturală).

S-a construit un meta-clasificator [18] utilizând modelele existente în baza de date urmărindu-se o strategie de antrenare pe două niveluri: nivelul 1 pentru antrenarea de clasificatori specifici pentru stâlpi și pietoni și nivelul 2 pentru antrenarea propriu-zisă a meta-clasificatorului care combină ieșirile obținute ale clasificatorilor de la nivelul 1 cu celelalte trăsături (mișcare, scor de potrivire a formelor, dimensiuni, textură) extrase pentru toate clasele. S-au experimentat două tipuri de antrenare multi-clasă: „randomforest” și „AdaBoost”, prima având rezultate superioare.

Definirea modelelor de performanță a algoritmilor și a reprezentării lumii

1. Efectuarea de teste în medii controlate

Au fost efectuate teste pentru estimarea acurateței reconstrucției stereo, folosind obiecte la distanțe precis măsurate prin distometre laser, și imagini benchmark standard din baza de date Middlebury.

Teste bazate pe imagini de benchmark cunoscute au fost făcute și pentru estimarea acurateții algoritmului de flux optic. Pentru poziționarea obiectelor, și estimarea preciziei determinării parametrilor, au fost folosite secvențe cu obiecte la distanțe, orientări și viteze cunoscute, achiziționate în poligoane de testare profesionale.

2. Elaborarea de modele matematice de performanță a algoritmilor de măsurare

Algoritmii care oferă informația de măsură primară sunt stereoviziunea și estimarea fluxului optic.

Reconstrucția stereo a prezentat și continuă să prezinte un interes deosebit pentru comunitatea științifică. Atenția acordată acestui subiect este confirmată de platforma de testare și evaluare Middlebury care cataloghează și măsoară performanța a peste o sută de algoritmi de stereo reconstrucție din care peste jumătate au fost propuși în ultimii doi ani. Deoarece sistemele de asistare a conducerii se bazează pe procesul de percepție senzorială pentru capturarea informațiilor despre mediu se impun niște cerințe suplimentare algoritmilor de reconstrucție folosiți: robustețe față de zgomotele de măsurare/eșantionare prezente în imaginile reale, viteză de procesare mare, care să lase loc dezvoltării unor aplicații de timp real bazate pe rezultatele reconstrucției și înaltă acuratețe și densitate de puncte reconstruite, dat fiind faptul că siguranța pasagerilor și a participanților la trafic depind de rezultatele furnizate. În cadrul proiectului s-a dezvoltat un algoritm de reconstrucție stereo original care răspunde cu succes tuturor acestor cerințe [1][7]. Algoritmul poate fi încadrat în clasa algoritmilor semi-globali care sunt cunoscuți pentru raportul efort de calcul/calitate a reconstrucției oferit. S-au adus contribuții în vederea creșterii densității punctelor reconstruite folosind metrici de reconstrucție robuste la tipurile de zgomot prezente în imaginile reale achiziționate din platforma mobilă. În urma modelării zgomotelor de achiziție/eșantionare s-a concluzionat și confirmat și experimental că transformata Census oferă cele mai bune rezultate. Viteza de execuție a algoritmului a fost crescută folosind un model matematic ce presupune efectuarea unei optimizări similare programării dinamice de-a lungul a patru direcții paralele cu axele de coordonate ale imaginii. Renunțarea la cele patru direcții diagonale a redus necesarul de lățime de bandă cu 50% și a permis crearea unor șabloane de acces la memorie optime. Întreg algoritmul a fost implementat pe o platformă multi-core Nvidia și este capabil să furnizeze reconstrucția a 91 de cadre pe secundă pentru imagini de rezoluție 512x383 și o disparitate maximă de 56 de pixeli. Astfel, algoritmul are un debit de aproximativ 1 miliard de disparități pe secundă fiind cel mai rapid algoritm semi-global prezentat în literatura de specialitate. O altă contribuție majoră a vizat mărirea acurateții reconstrucției la un nivel care să facă senzorul stereo fezabil pentru aplicații automotive. În acest sens s-au dezvoltat două metode statistice de interpolare sub-pixel. Metodele propuse modelează algoritmul folosit pentru determinarea disparităților la nivel de pixel și calculează o funcție de interpolare sub-pixel care din punct de vedere statistică prezintă eroarea cea mai mică pentru algoritmul dat. În cazul algoritmului propus, folosirea acestor funcții a condus la o scădere a erorilor sub-pixel cu peste 20% față de metodele de interpolare sub-pixel de tip parabolă sau interpolare liniară. Rezultatele au fost confirmate folosind seturile de teste Middlebury, standard-ul *de facto* din literatura de specialitate, imagini sintetice de înaltă acuratețe și imagini în scenarii controlate cu distanțe reale cunoscute. Mai mult, metodologia propusă este una generală și poate fi aplicată pentru a îmbunătăți performanțele oricărui algoritm de reconstrucție stereo.

Pentru *estimarea fluxului optic*, în literatura se disting două clase de tehnici: metodele locale (incluzând tehnicile block-matching și metoda Lucas-Kanade) și metodele globale (variaționale). Metodele locale au performanțe bune numai pentru trăsăturile imaginilor (colturi, laturi), iar cele globale duc la un flux optic dens. Pentru a obține avantajele ambelor clase, ele pot fi combinate, rezultând abordările local-globale (CLG = combined local-global), printre care și modelul propus în cadrul acestui proiect (CLG-TV).

Pentru evaluarea rezultatelor produse de metodele globale (dense) se poate folosi o metrica de interpolare. Aceasta metrica este un evaluator indirect, măsoară calitatea interpolării și nu a mișcării calculate, dar oferă o impresie despre calitatea estimării. Dacă interpolarea este buna, atunci este probabil ca fluxul optic calculat este apropiat de cel real. În zonele netexturate calitatea interpolării poate să fie foarte buna, chiar dacă fluxul optic este greșit. Imagini (sintetice, semi-sintetice) pentru care se cunoaște fluxul optic (ground-truth) sunt folosite pentru o evaluare precisă. Complexitatea acestor imagini sintetice sau semi-sintetice este mai redusă decât a celor întâlnite în lumea reală, oferind mai puține informații legate de robustețea în prezența deplasamentelor mari. Aceste situații sunt întâlnite foarte des în scenele de trafic unde mașinile pot să aibă viteze mari. Pe de altă parte, camera (-ele) sistemului se poate (pot) mișca în direcția opusă astfel ca deplasamentele din imagini devin chiar și mai mari. Chiar dacă imaginile sintetice cu ground-truth nu evaluează robustețea la deplasamente mari, ele oferă informații foarte precise despre acuratețea detectorilor de mișcare.

În cadrul proiectului a fost dezvoltat un estimator de mișcare bazat pe o metrica de potrivire de tip bloc și o propagare robustă [8]. Evaluările arată performanțe foarte bune atât pe imaginile sintetice cât și pe imaginile reale. Principalul avantaj al metodei propuse este robustețea în cazul vitezelor ridicate, o trasatură absolut necesară în aplicațiile de asistare a conducătorilor auto.

3. Elaborarea de modele matematice de performanță a reprezentării lumii

Partea statică a modelului obiectelor este descrisă prin următoarele valori [5]: Patru coordonate 2D descriind poziția, în planul xOz a celor patru colțuri ale bazei fiecărui cuboid, patru matrice de covarianță de dimensiune 2 descriind incertitudinile fiecărui colț al bazei, două coordonate y pentru fețele superioare și inferioare ale obiectelor, două varianțe reprezentând incertitudinile legate de coordonatele y , un set de obiecte fiu precum și un obiect părinte.

Covarianțele pozițiilor colțurilor au proprietatea că erorile lor sunt mai mari de-a lungul razelor optice, din cauza modului în care se face reconstrucția stereo. O problemă suplimentară apare la obiectele care sunt apropiate de marginea câmpului vizual. Deoarece algoritmul de detecție a obiectelor nu poate vedea dincolo de câmpul vizual, obiectele care trec de marginea acestuia pot fi tăiate. Pentru a trata acest caz, creștem covarianțele colțurilor care sunt apropiate de marginea câmpului vizual, modelând astfel această situație.

Obiectele nu sunt doar o mulțime de colțuri. Ele trebuie tratate ca niște obiecte solide în spațiu, mai ales în faza de asociere. Am ales să modelăm aspectul de solid ca o funcție de distribuție de probabilitate cumulată. Punctele aflate mai aproape de centrul cuboidului au o probabilitate mai mare de a aparține obiectului decât cele de la margine. Punctele aflate în afara cuboidului au și ele la rândul lor o mică probabilitate de a aparține de fapt obiectului.

Pe direcția y ne confruntăm cu problema de a modela un interval probabilistic, având ca și capete două variabile aleatoare distribuite normal. În planul xOz situația este mai complicată. Am dori să reprezentăm probabilitatea ca un punct 2D dat să se afle în interiorul unui poligon convex, ale cărui vârfuri sunt puncte 2D aleatoare distribuite normal în jurul unei medii și având o matrice de covarianță cunoscută. Scrierea unei ecuații pentru acest caz este extrem de dificilă. Dreptunghiul din mijloc reprezintă perimetrul obiectului, patrulateralele din interior și exterior sunt situate la distanța de o deviație standard (pe direcția centru de masă – colț) de fiecare vârf. Din nou, dacă covarianțele colțurilor nu sunt prea mari, aria medie a poligonului probabilistic se apropie de aria sa non-probabilistică.

Partea dinamică a modelului obiectelor este dată de presupunerea că obiectele se mișcă rectiliniu și uniform. Evident, această presupunere este doar o simplificare, deoarece atât vehiculele cât și pietonii

își pot schimba cu ușurință direcția. Pentru a modela aceste erori, introducem o componentă de zgomot la predicția acestora. Un obiect are asociat deci un vector de viteză în planul xOz și matricea de covarianță de rang 2 atașată. Practic, matricea de covarianță a vitezei este calculată ca o medie armonică a matricelor de covarianță asociate vectorilor de flux optic tridimensionali din a căror medie rezultă calculul vectorului de viteză. Utilizarea acestei medii rezultă din considerații legate de asocierea datelor zgomotoase (similar ecuației Riccati a filtrului Kalman standard).

4. Estimarea parametrilor de performanță ai algoritmilor și a reprezentării

Pe baza testelor în medii controlate, s-a efectuat determinarea erorilor la estimarea poziției și a vitezei obiectelor urmărite pe baza modelelor probabilistice propuse (modelul probabilistic cuboidal, și modelul hartilor probabilistice de ocupare). S-a constatat că erorile depind în principal de distanța obiectului urmărit față de camera, ceea ce indică ca principala cauză a erorilor incertitudinea măsurătorilor stereo, și pierderea de detaliu a trasaturilor datorită numărului mic de pixeli din imagine corespunzatori obiectului aflat la distanță. Erorile la determinarea vitezei nu depind de magnitudinea vitezei, ci de incertitudinea permisă modelului pentru a compensa accelerațiile obiectelor urmărite, un compromis fiind totuși necesar pentru a putea ține pasul cu manevrele bruste.

Majoritatea algoritmilor au complexitate liniară. Complexitatea algoritmilor bazati pe particule depinde liniar de numărul de particule ales pentru modelarea distribuțiilor de probabilitate – un număr mai mare de particule duce la o calitate sporită a estimării, dar și la algoritmi mai lenti.

Elaborarea unui prototip demonstrativ funcțional de evaluare a utilității sistemului senzorial și de reprezentare din punctul de vedere al cerințelor sistemelor de asistare a conducerii auto

1. Realizarea unui sistem hardware-software de procesare senzorială în timp real

A fost realizat un sistem de dezvoltare și testare complet, compus din platforma mobilă auto, ce oferă prin magistrala CAN informații despre viteza proprie și viteza angulară, echipată cu două camere sincronizate pentru stereoviziune, și cu un calculator conținând pachetele software pentru procesare. Sistemul este capabil de a prelua și procesa imagini în timp real.

2. Dezvoltarea unei aplicații de asistență a conducerii auto

Intersecțiile reprezintă zona de drum urbană cea mai predispusă accidentelor, din cauza complexității mediului înconjurător static, cât și dinamic. Astfel soluții se caută la nivel global pentru creșterea siguranței în intersecții. Folosind sistemul senzorial de percepție a mediului înconjurător propunem o aplicație de localizare globală precisă dedicată cazului intersecțiilor. Această aplicație reprezintă un prototip demonstrativ al utilității sistemului senzorial de percepție și reprezentarea a lumii.

Subiectul ales, de localizare globală precisă (de ordinul sub-metrilor) reprezintă un subiect de interes actual și se încadrează în contextul general al cercetărilor în domeniul asistării conducerii auto. Metoda propusă se bazează pe sistemul senzorial de percepție, prin detectare și localizarea 3D a reperelor drumului (marcările laterale, săgeți indicatoare, borduri, linia de stop etc.). Aceste elemente discriminatorii percepute de sistemul senzorial sunt folosite ca elemente indicatoare ale poziției vehiculului-propriu.

Al doilea sistem care este folosit în această abordare este o hartă digitală extinsă pe care o construim pentru a deservi obiectivului nostru, de a obține o poziționare precisă. Hartă propusă conține informație detaliată despre topologia, geometria și geografia segmentelor de drum premergătoare intrărilor în intersecții. Modelare acestor segmente de drum s-a realizat folosind imagini satelitare, precum și sisteme de poziționare de înaltă precizie (sistem Leica seria 1200). Măsurătorile precise sunt necesare pentru corespondența între informația detectată senzorial și cea din hartă. Procesul de localizare globală constă în rafinarea poziției GPS a vehiculului-propriu prin alinierea reperelor senzoriale detectate cu reperele corespondente, poziționate precis în harta digitală extinsă propusă. Reperele senzoriale sunt poziționate relativ la vehiculul-propriu; prin alinierea acestora cu elementele corespondente, poziționate global cu mare acuratețe, se obține poziția globală a vehiculului-propriu cu înaltă precizie.

Metoda propusă de localizare globală [13] constă în doi pași: primul, identificare benzii de circulație pe care circulă vehiculul propriu, și al doilea de alinierea a reperelor vizuale cu cele din hartă.

Identificare benzii de circulație se face prin compararea informației senzoriale cu informația din hartă despre segmentul de drum pe care se află vehiculul. Pentru aceasta s-a ales o abordare probabilistă, folosind ca mecanism de raționare o rețea Bayesiană. Informația din hartă este folosită pentru învățarea automată a parametrilor rețelei, iar informația senzorială este folosită, în primul rând ca evidență în rețeaua construită. Alegerea acestor este motivată de natura informației senzoriale, care suferă de incertitudini, erori sau care chiar lipsește câteodată. Astfel metoda probabilistă propusă reușește cu succes să filtreze informația percepută și să infereze rezultatul așteptat.

Al doilea pas în procesul de localizare globală este alinierea reperelor corespondente din cele două sisteme de intrare: sistemul senzorial și harta digitală extinsă. Aducerea acestora în același sistem reprezintă primul pas, foarte important de altfel. Informația din sistemul senzorial se află într-un sistem de coordonate local (al vehiculului), iar informația din harta digitală se află într-un sistem global (al lumii). Sistemul de coordonate comun ales este ENS (Est Nord Sus). ENS este un sistem de coordonate local (în cazul nostru originea sistemului va fi poziția GPS a vehiculului-propriu), ales pentru că este un sistem de coordonate cartezian, mult mai intuitiv și practic. Pașii următori pentru alinierea reperelor sunt o succesiune de transformări geometrice. Aplicând aceleași transformări și poziției GPS a vehiculului obținem poziția îmbunătățită a vehiculului, în coordonate ENS, care sunt apoi transformate în coordonate în coordonate geografice globale LLI (Latitudine Longitudine înălțime).

3. Evaluarea performanței sistemului din punctul de vedere al asistentei conducerii auto

Rezultatele poziționării autovehiculului pe baza informației senzoriale produse de sistemul bazat pe algoritmi dezvoltati în acest proiect au fost comparate cu rezultatele obținute prin folosirea sistemelor de navigație standard.

Noua poziție îmbunătățită a vehiculului permite o fuziune a informației de la sistemul senzorial cu informația de la harta digitală extinsă, crescând acuratețea informației percepute, umplerea golurilor din percepția senzorială cu informație din harta digitală și îmbunătățind reprezentarea mediului.

Diseminare rezultate

Au fost publicate două articole ISI, unul fiind publicat deja în print, al doilea fiind acceptat și publicat online. A fost acceptat spre publicare un al treilea articol ISI. A fost acceptat un articol BDI, și au fost publicate 15 articole la conferințe cu proceedings indexate ISI și în alte baze de date internaționale. Au fost elaborate două teze de doctorat. A fost depusă o cerere de patent internațional.

Bibliografie – lucrari publicate de colectivul proiectului

1. I. Haller, S. Nedevschi, "Design of Interpolation Functions for Sub-Pixel Accuracy Stereo-Vision Systems", IEEE Transactions on Image Processing, Volume: PP, Issue 99, DOI: [10.1109/TIP.2011.2163163](https://doi.org/10.1109/TIP.2011.2163163), 2011, pp.1. [ISI]
2. R. Danescu, F. Oniga, S. Nedevschi, "Modeling and Tracking the Driving Environment with a Particle Based Occupancy Grid", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.12, Issue 4, DOI: [10.1109/TITS.2011.2158097](https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2158097), 2011, pp. 1331 – 1342.[ISI]
3. A. Ciurte, S. Nedevschi, I. Rasa, "An algorithm for solving some nonlinear systems with applications to extremum problems", acceptat in Taiwanese Journal of Mathematics, 2012 [ISI]
4. R. Danescu, C. Pantilie, F. Oniga, S. Nedevschi, "Particle Grid Tracking System for Stereovision Based Obstacle Perception in Driving Environments", IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, *acceptat*. [BDI-Scopus]
5. S. Bota, S. Nedevschi, "Tracking multiple objects in urban traffic environments using dense stereo and optical flow", IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington, DC, USA, October 5-7, 2011, pp. 791 – 796.
6. I. Szakats, C. Golban, S. Nedevschi, "Fast vision based ego-motion estimation from stereo sequences — A GPU approach", IEEE Intelligent Transportation Systems, Washington, DC, USA, October 5-7, 2011, pp. 538-543.
7. C. D. Pantilie, S. Nedevschi, "Real-time semi-global matching using segmentation and plane fitting for improved accuracy on the GPU", IEEE Intelligent Transportation Systems, Washington, DC, USA, October 5-7, 2011, pp. 784-790.
8. M. Drulea, S. Nedevschi, "Total variation regularization of local-global optical flow", IEEE, Intelligent Transportation Systems, Washington, DC, USA, October 5-7, 2011, pp. 318-323.
9. R. Danescu, S. Nedevschi, "New results in stereovision based lane tracking", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011, pp. 230-235.
10. C. Golban, S. Nedevschi, "Linear vs. non linear minimization in stereo visual odometry", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, Germany, June 5-9,2011, pp. 888-894.
11. O. Aycard, Q. Baig, S. Bota, F. Nashashibi, S. Nedevschi, C. Pantilie, M. Parent, P. Resende, Trung-Dung Vu, "Intersection safety using lidar and stereo vision sensors", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011, pp. 863-869.
12. F. Oniga, S. Nedevschi, "Curb detection for driving assistance systems: A cubic spline-based approach", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011, pp. 945-950.

13. V. Popescu, M. Bace, S. Nedevschi, "Lane identification and ego-vehicle accurate global positioning in intersections", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011, pp. 870-875.
14. A. Vatavu, R. Danescu, S. Nedevschi, "Environment perception using dynamic polylines and particle based occupancy grids", Proceedings of IEEE Intelligent Computer Communication and Processing, Cluj-Napoca, August 25-27, 2011, pp. 239 – 244.
15. S. Bota, S. Nedevschi, "Vision based obstacle tracking in urban traffic environments", Proceedings of IEEE Intelligent Computer Communication and Processing, Cluj-Napoca, August 25-27, 2011, pp. 231-238.
16. T. Marita, M. Negru, R. Danescu, S. Nedevschi, "Stop-line detection and localization method for intersection scenarios", Proceedings of IEEE Intelligent Computer Communication and Processing, Cluj-Napoca, August 25-27, 2011, pp. 293-298.
17. M. Negru, S. Nedevschi, "Improving image quality by camera signal adaptation to Lighting conditions", Proceedings of IEEE Intelligent Computer Communication and Processing, Cluj-Napoca, August 25-27, 2011, pp. 273-280.
18. R. Brehar, S. Nedevschi, "A comparative study of pedestrian detection methods using classical Haar and HoG features versus bag of words model computed from Haar and HoG features", Proceedings of IEEE Intelligent Computer Communication and Processing, Cluj-Napoca, August 25-27, 2011, pp. 299-306.
19. F. Oniga, M. Miron, R. Danescu, S. Nedevschi, "Automatic recognition of Low earth orbit objects from image sequences", Proceedings of IEEE Intelligent Computer Communication and Processing, Cluj-Napoca, August 25-27, 2011, pp. 335-338.
20. F. Oniga, "Driving Environment Perception from Stereovision", teza de doctorat, UTCN, 22.07.2011.
21. S. Bota, "Motion Detection and Tracking In 3d Images", teza de doctorat, UTCN, 21.10.2011.

Director proiect,

Prof. Dr. Ing. Sergiu Nedevschi