

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

**PERCEPȚIA MULTI-SCALARĂ ȘI MULTI-MODALĂ A MEDIILOR 3D
DINAMICE PRIN FUZIUNEA DATELOR DE STEREOVIZINE DENSĂ, FLUX
OPTIC DENS ȘI ODOMETRIE VIZUALĂ
(MULTI-SCALE MULTI-MODAL PERCEPTION OF DYNAMIC 3D
ENVIRONMENTS BASED ON THE FUSION OF DENSE STEREO, DENSE
OPTICAL FLOW AND VISUAL ODOMETRY INFORMATION)**

Cod proiect: PN-II-ID-PCE-2011-3-1086
Contract 344 din 01/01/2012

Raport intermediar
an 2

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

Doctorand ing. Andrei Vatavu

Doctorand ing. Marius Drulea

Doctorand ing. Voichita Popescu

Iunie, 2013

Cluj-Napoca

Raport științific

privind implementarea proiectului în perioada ianuarie – iunie 2013

Titlul proiectului: Percepția multi-scalară și multi-modală a mediilor 3D dinamice prin fuziunea datelor de stereoviziune densă, flux optic dens și odometrie vizuală.

Obiectivele etapei 2013 sunt:

- Implementarea unor soluții de înaltă acuratețe și timp real pentru stereoviziune densă, flux optic dens și detectia mișcării proprii (A.1.3)
- Dezvoltarea modelelor probabilistice sensoriale directe și inverse. (A.1.4)
- Dezvoltarea modelului probabilistic al lumii și a mediului probabilistic de percepție. (A.2.2)
- Diseminarea rezultatelor. (A.3.1)

În perioada ianuarie-iunie 2013 au fost finalizate următoarele aspecte:

1. Îndeplinirea activităților prevăzute în proiect

A.1.3 Implementarea unor soluții de înaltă acuratețe și timp real pentru stereoviziune densă, flux optic dens

A1.3.1 Implementarea unei metode de stereo reconstrucție densă de timp real folosind o metodă de potrivire semiglobală și optimizare la nivel de subpixel (SO1.1 Stereoviziune densă de înaltă acuratețe în timp real)

Reconstrucția stereo s-a realizat folosind algoritmul original propus SORT-SGM (Subpixel Optimised Real Time Semi-Global Matching) [9], care se remarcă prin densitatea reconstrucției, acuratețea marită obținută și prin optimizarea la nivel de subpixel, precum implementarea de timp real. Abordarea implementării a fost una originală și s-a bazat pe o arhitectură multicore oferite de modulul GPU NVIDIA și de platforma de programare paralelă CUDA (Compute Unified Device Architecture). Rularea algoritmului în timp real s-a obținut prin maparea lui eficientă pe arhitectura plăcii grafice.

Algoritmul constă în aplicarea unei succesiuni de pași de procesare. Primul pas este reprezentat de achiziția sincronă a imaginilor stereo de la o pereche de camere calibrate. Transformarea Census este calculată pentru ambele imagini, această abordare fiind aleasă deoarece este potrivită pentru calcularea costului de potrivire (matching) în condițiile în care există diferențe de iluminare, zgomot, etc. Costurile de potrivire sunt apoi calculate folosind distanța Hamming. În continuare, optimizarea SGM este aplicată pe imaginea de disparitate folosind o funcție de energie. Disparitățile astfel obținute sunt validate prin aplicarea unui criteriu de unicitate, pentru a elimina potrivirile eronate și ocluziile. În final, se aplică o interpolare la nivel de sub-pixel pentru a îmbunătăți acuratețea disparităților de la acest nivel după o metodă proprie prezentată în [8].

Din punctul de vedere al implementării paralele folosind CUDA, fiecare pas al algoritmului a fost executat de către un kernel separat: rectificarea imaginilor, transformarea Census, calcularea și agregarea costurilor de potrivire, semi-global matching, verificarea consistenței stânga-dreapta/dreapta-stânga, interpolarea la nivel de sub-pixel. Această implementare crește numărul de accesări ale memoriei globale, dar permite optimizarea fiecărui pas în parte prin folosirea unor șabloane diferite de paralelizare. Paralelismul este utilizat la nivel de bloc (grup de threaduri – paralelism de nivel înalt) și la

nivel de thread (paralelism de nivel jos) în funcție de necesități. De exemplu, pentru a realiza paralelismul de nivel jos, fiecare thread procesează o coloană din matricea imagine, deoarece în acest fel citirile din memoria globală sunt fuzionate. Accesând elemente aflate pe coloane alăturate, pentru orice linie din matricea imagine, este garantat faptul că citirile sunt grupate și astfel se maximizează lățimea de bandă a memoriei globale. Paralelismul de nivel înalt care rezultă din aceste optimizări la nivelul thread-urilor este important deoarece permite atingerea capacității maxime de procesare a plăcilor grafice curente și scalarea eficiența odată ce apar modele noi.

Bibliografie:

- [1] D. Scharstein, R. Szeliski, "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms," Int. J. of Computer Vision, vol. 47, pp. 7-42, 2002.
- [2] M. Z. Brown, D. Burschka, G. D. Hager, "Advances in Computational Stereo," Trans. PAMI, vol. 25, pp. 993-1008, 2003.
- [3] I. J. Woodfill, G. Gordon, R. Buck, "Tyzx DeepSea High Speed Stereo Vision System," CVPRW 2004, pp. 41-45.
- [4] S. K. Gehrig, F. Eberli, T. Meyer, "A Real-Time Low-Power Stereo Vision Engine Using Semi-Global Matching," ICVS 2009, pp. 134-143.
- [5] S. K. Gehrig, C. Rabe, "Real-time Semi-Global Matching on the CPU," CVPRW, 2010, pp. 85-92.
- [6] I. Ernst, H. Hirschmuller, "Mutual Information Based Semi-Global Stereo Matching on the GPU," Advances in Visual Computing, vol. 5358, pp. 228-239, 2008.
- [7] S. Hermann, R. Klette, E. Destefanis, "Inclusion of a Second-Order Prior into Semi-Global Matching," Advances in Image and Video Technology, vol. 5414, pp. 633-644, 2009.
- [8] I. Haller, S. Nedevschi, "Design of Interpolation Functions for Subpixel-Accuracy Stereo-Vision Systems," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 21, pp. 889-898, 2012.
- [9] C. D. Pantilie, S. Nedevschi, "SORT-SGM: Subpixel Optimized Real-Time Semiglobal Matching for Intelligent Vehicles," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 61, pp. 1032-1042, 2012.

A1.3.2 Implementarea unei metode calcul a fluxului optic dens de inalta acuratete in timp real (SO1.2 Flux optic dens de înalta acuratețe in timp real)

Solutia propusa se bazeaza pe o egalitate matematica intre ZNCC, SSD si transformata inter-corelatie:

$$\frac{1}{|N|} \sum_{s \in N} \left(\frac{f_s - \mu_f}{\sigma_f} - \frac{T_s - \mu_T}{\sigma_T} \right)^2 = 2(1 - ZNCC(f, T))$$

Aceasta proprietate este utila in definirea unui vector special de caracterizare a regiunii. Pentru fiecare punct i al unei imagini, el este compus din valorile transformatei corelatie a regiunii ce inconjoara locatia considerata: $C(i) := \left(\frac{I(s) - \mu(i)}{\sigma(i)} \right)_{s \in N_i}$

Energia de minimizat devine: $E(w) = \lambda \cdot E_d(w) + E_s(w)$, unde $E_d = \sum_{i \in \Omega} \left\{ \frac{1}{|N_i|} \sum_k (\tilde{C}_2(i + dw_i, k) - C_1(i, k))^2 \right\}$ si

$$E_{smooth}(i) = \sum_{s \in N_i} bf_{i,s} \cdot \|w_s - w_i\|_1 = \sum_{s \in N_i} \{ bf_{i,s} \cdot |u_s - u_i| + bf_{i,s} \cdot |v_s - v_i| \}.$$

Energia de minimizat este in continuare o functie nediferentiabila, dar a devenit convexa prin utilizarea inter-corelatiei. Pentru aceasta energie se foloseste algoritmul de minimizare **PPA (proximal point algorithm)**.

La fel ca toate abordarile variationale, si modelul propus utilizeaza aproximarea in serie Taylor de ordinul 1. Pentru a putea detecta deplasamente mari, se foloseste o schema numerica de tip multi-grid. In fiecare nivel (grid) se efectueaza o serie de translatii successive a imaginii I_2 in asa fel incat sa se potriveasca cu prima imagine. Cat de mult este translata a doua imagine la un moment dat se calculeaza folosind algoritmul PPA pentru energia $E(w)$ prezentata mai sus.

Urmatoarea secventa prezinta pasii algoritmului:

- 1) Construiești piramidele celor doua imagini I_1, I_2 .
- 2) Pentru fiecare nivel incepand cu ultimul
 - a) Daca suntem pe ultimul nivel atunci initializeaza fluxul w la zero.
 - b) Daca nu, redimensioneaza w din nivelul precedent, la nivelul current.
 - c) Calculeaza coeficientii de textura a imaginii I_1
 - d) Calculeaza transformata inter-corelatie a imaginii I_1
 - e) for $i = 1$ to warps (translatie graduala)
 - i) aplica un filtru median fluxului w , pentru a evita zgomotele puternice
 - ii) **Translateaza** a doua imagine I_2 si calculeaza transformata inter-corelatie a imaginii translatare
 - iii) For $k=1$ to eq_iterations (Solutia numerica PPA)
 - A. Rafineaza fluxul w conform PPA

Bibliografie:

- [10] B. Horn, B. Schunck, "Determining optical flow," Artificial Intelligence, vol. 17, pp. 185-203, 1981.
- [11] T. Brox, A. Bruhn, N. Papenber, J. Weickert, "High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping," European Conference and Computer Vision, 2004, pp. 25-36.
- [12] A. Bruhn, J. Weickert, "Towards Ultimate Motion Estimation: Combining Highest Accuracy with Real-Time Performance," ICCV 2005, pp. 749 - 755.
- [13] A. Bruhn, J. Weickert, C. Schnörr, "Lucas/Kanade Meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods," Int. J. of Computer Vision, vol. 61, pp. 211-231, 2005.
- [14] J. Weickert, A. Bruhn, N. Papenber, T. Brox, "Variational Optic Flow Computation: From Continuous Models to Algorithms," IWCVIA 2003, pp. 1-6.
- [15] C. Zach, T. Pock, H. Bischof, "A duality based approach for realtime TV-L1 optical flow," DAGM Conference on Pattern Recognition, 2007, pp. 214-223.
- [16] M. Werlberger, T. Pock, H. Bischof, "Motion estimation with non-local total variation regularization," CVPR, 2010, pp. 2464-2471.
- [17] M. Werlberger, W. Trobin, T. Pock, A. Wedel, D. Cremers, H. Bischof, "Anisotropic Huber-L1 Optical Flow," BMVC, 2009.
- [18] M. Drulea, S. Nedevschi, "Total variation regularization of local-global optical flow," IEEE Int. Transp. Sys. Conf., 2011, pp. 318-323.
- [19] M. Drulea, I. R. Peter, S. Nedevschi, "Optical flow. A combined local-global approach using L1 norm," ICCV, 2010, pp. 217-222.
- [20] L. Xu, J. Chen, J. Jia, "A Segmentation Based Variational Model for Accurate Optical Flow Estimation," European Conf. on Computer Vision, 2008, pp. 671-684.
- [21] L. Xu, J. Jia, Y. Matsushita, "Motion detail preserving optical flow estimation," CVPR, 2010, pp. 1293-1300.
- [22] D. Sun, S. Roth, M. Black, "Secrets of optical flow estimation and their principles," CVPR, 2010, pp. 2432-2439.

- [23] T. Brox, J. Malik, "Large Displacement Optical Flow: Descriptor Matching in Variational Motion Estimation," Trans. PAMI, vol. 33, pp. 500-513, 2011.
- [24] T. Brox, C. Begler, J. Malik, "Large displacement optical flow," CVPR, 2009, pp. 41-48.
- [25] A. Chambolle, "An Algorithm for Total Variation Minimization and Applications," J. of Mathematical Imaging and Vision, vol. 20, pp. 89-97, 2004.
- [26] A. Wedel, T. Pock, C. Zach, H. Bischof, and D. Cremers, "An Improved Algorithm for TV-L1 Optical Flow," SGAVMA, 2009, pp. 23-45.

Articole elaborate in vederea publicarii:

- [27] M. Drulea, S. Nedeveschi, Motion estimation using the correlation transform, accepted in "IEEE Transactions on Image Processing", April 2013

A1.3.3 Implementarea unor metode de inalta acuratete pentru estimarea miscarii proprii si extragerea vectorilor 3D de miscare (SO1.3 Estimarea de înalta acuratețe a mișcării proprii si extragerea vectorilor 3D de mișcare)

Articole elaborate in vederea publicarii:

- [28] C. Golban, S. Nedeveschi, Speed estimation for scene objects using stereo visual odometry, submitted at IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 5-7 September, Cluj-Napoca, Romania, 2013.
- [29] C. Golban, S. Nedeveschi, An experiment on relative rotation estimation from distant points with monocular vision, submitted at IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 5-7 September, Cluj-Napoca, Romania, 2013.

A2.2. Proiectarea modelului probabilistic al lumii și a mecanismului de percepție.

Modelul lumii

Modelul propus pentru lumea 3D este o extensie a combinațiilor hartă de ocupare/hartă de înălțimi, ce va modela și va urmări în mod direct hărți de înălțimi complet dinamice. Dacă în [30] sau [31] putem găsi tehnici sofisticate pentru descrierea mediilor 3D statice, iar în [32] și [33] harta de înălțime este folosită împreună cu harta de ocupare, soluția noastră prezintă o abordare unificată pentru estimarea caracteristicilor statice și dinamice ale mediului. Fiecare celulă din harta dinamică de înălțimi are o distribuție de probabilitate pentru înălțime și viteză, iar aceste distribuții vor fi actualizate pe baza datelor de măsură, disponibile prin procesarea informației stereo dense. Mai mult, deoarece stereoviziunea furnizează nu doar informație 3D, dar și nivele de gri ale imaginii, vom modela, pentru fiecare celulă, o distribuție de probabilitate a nivelelor de gri, ce va fi utilă în procesul de actualizare a stărilor, și ne va permite să folosim informația suplimentară a nivelului de gri, crescând astfel fidelitatea modelului.

Considerând un sistem de coordonate cu originea în planul drumului, cu axa X în direcția de mișcare, axa Y spre dreapta și axa Z în sus, planul orizontal XOY este împărțit în celule de dimensiune 20×20 cm, fiecărei celulă i corespunzându-i o coordonată rând r_i și o coordonată coloană c_i . Fiecare celulă are asociată o valoare pentru înălțime, h_i , și o valoare a nivelului de gri, g_i . Deoarece scena este dinamică, fiecare celulă are un vector viteză, cu două componente, pe axele X și Y , sau, în coordonate rând și

coloană, $v_{r,i}(r_b, c_i)$ și $v_{c,i}(r_b, c_i)$ – viteza pe rând și pe coloană. (figura 1).

Fiecare celulă poate fi deci descrisă de patru valori, h_i , g_i , $v_{r,i}$ și $v_{c,i}$. Deoarece percepția perfectă a mediului nu este posibilă, nu vom ști exact aceste valori, și vom putea doar să le modelăm ca densități de probabilitate. Astfel, unei celule i i se va asocia o variabilă aleatoare cu patru dimensiuni, $\mathbf{X}_i = (h_i, g_i, v_{r,i}, v_{c,i})^T$. Obiectivul algoritmului de urmărire este calcularea densității de probabilitate a lui \mathbf{X}_i , pe baza unei secvențe de măsurători $\mathbf{Z}(0) \dots \mathbf{Z}(t)$, t fiind timpul ultimei măsurători disponibile.

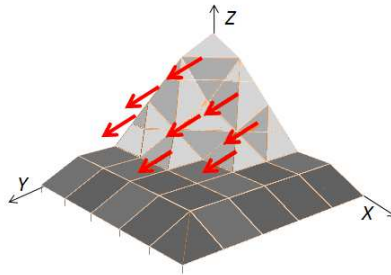


Fig. 1. Harta de înălțimi dinamică, cu nivele de gri.

Harta de înălțimi va fi descrisă, la timpul t , de o mulțime de particule $S(t) = \{\mathbf{x}_k(t) \mid \mathbf{x}_k(t) = (c_k(t), r_k(t), h_k(t), g_k(t), v_{c,k}(t), v_{r,k}(t))^T, k=1 \dots N_S(t)\}$, fiecare particulă k fiind localizată în rastru, în celula cu rândul r_k și coloana c_k . Rastrul are 250 rânduri și 120 coloane. Fiecare particulă este o ipoteză a stării celulei: o posibilă înălțime $h_k(t)$, un posibil nivel de gri $g_k(t)$, o posibilă viteză longitudinală $v_{r,k}(t)$ și o posibilă viteză laterală $v_{c,k}(t)$, după cum se poate vedea în figura 2. Rândul, coloana și viteza sunt exprimate ca multiplii ai dimensiunii celulei D_X și D_Y (20 cm), iar înălțimea este multiplu al unui element de înălțime D_H ($D_H=1$ cm). Densitatea de probabilitate a stării unei celule i se aproximează prin valorile particulelor k localizate în celula i :

$$P(\mathbf{X}_i(t) \mid \mathbf{Z}(0), \mathbf{Z}(1), \dots, \mathbf{Z}(t)) \approx \{\mathbf{x}_k(t) \in S(t) \mid r_k(t) = r_i, c_k(t) = c_i\} \quad (1)$$

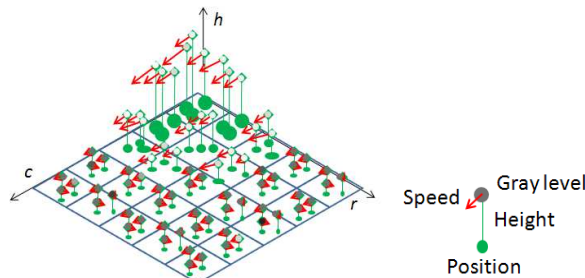


Fig. 2. Aproximarea prin particule a stării incerte a lumii.

Pașii clasici predicție-măsură-actualizare ai unui mecanism de urmărire pot fi adaptați natural modelului propus de noi.

a) Predicția – deplasare și difuzie

Probabilitatea tranziției stărilor este implementată prin deplasare și difuziune. Deplasarea schimbă starea particulei luând în considerare doi factori: mișcarea vehiculului gazdă, ce cauzează o mișcare relativă a întregii scene în sistemul de coordonate legat de vehicul, și mișcarea particulelor mobile pe baza vitezei lor proprii. Mișcarea vehiculului propriu poate fi calculată din viteza de deplasare și din viteza angulară, care sunt citite de pe magistrala CAN. O descriere detaliată a procesului este dată în [34]. După deplasare, particulele sunt supuse difuziei. Starea fiecărei particule este modificată prin

adăugarea unor cantități aleatoare $\delta c(t)$, $\delta r(t)$, $\delta h(t)$, $\delta g(t)$, $\delta v_c(t)$ și $\delta v_r(t)$, extrase din distribuții Gausiene de medie zero și covarianță ajustată experimental $\mathbf{Q}_i(t)$.

b) Datele de măsură

Datele 3D obținute prin stereoviziune sunt transformate într-o hartă de înălțimi instantanee, cu erorile ei inevitabile. Această hartă este descrisă de două tablouri:

- Înălțimea măsurată a fiecărei celule, notată cu $z_i(r_i, c_i)$;
- Nivelul de gri măsurat pentru fiecare celulă, notat cu $b_i(r_i, c_i)$. Nivelul de gri al celulei se obține prin transformarea coordonatelor rând și coloană, împreună cu valoarea înălțimii, în coordonate XYZ, proiectate apoi în planul imaginii stângi.
- Disponibilitatea datelor pentru fiecare celulă, notată cu $d_i(r_i, c_i)$. $d_i(r_i, c_i)=1$ înseamnă că celula i are o înălțime măsurată, iar $d_i(r_i, c_i)=0$ înseamnă că celula nu are informație de măsură.

c) Ponderarea particulelor și re-eșantionarea

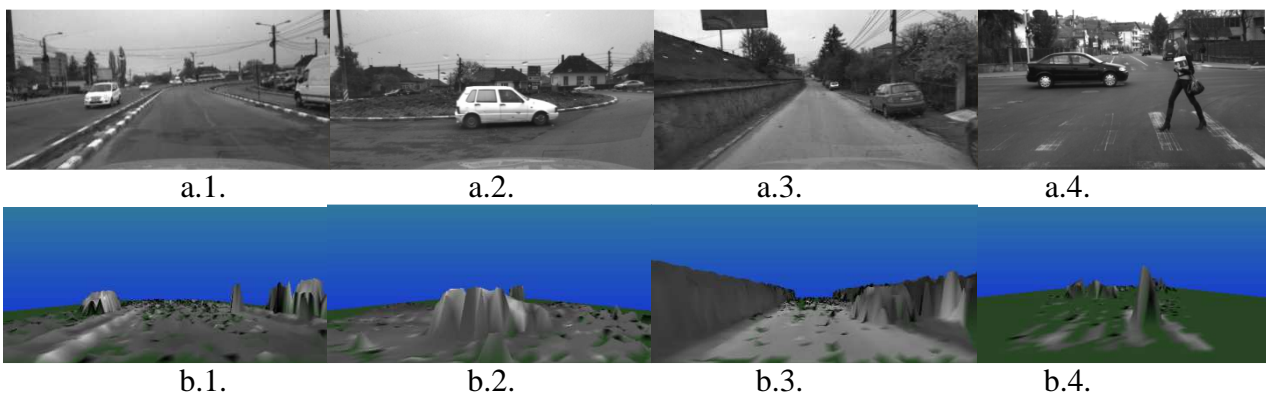
Procesul de ponderare a particulelor este implementarea în variantă filtru de particule a modelului de măsură $P(\mathbf{Z}(t) | \mathbf{X}_i(t)) = \mathbf{x}_k(t)$. Acest model descrie probabilitatea condiționată a măsurătorii $\mathbf{Z}(t)$ dându-se o posibilă valoare a stării celulei $\mathbf{X}_i(t) = \mathbf{x}_k(t)$. O particulă este o ipoteză asupra stării, iar probabilitatea măsurătorii dându-se această ipoteză este codificată ca ponderea particulei, care va descrie cât de bine se potrivește ipoteza cu datele de măsură.

e) Re-eșantionarea și crearea de noi particule

Pentru a actualiza starea mediului perceput, pentru a fi în concordanță cu datele măsurate, se aplică re-eșantionarea pentru fiecare celulă i , după ce particulele sunt ponderate.

Rezultate

Pentru a evalua capabilitățile de modelare și urmărire a mediului ale soluției propuse, au fost utilizate mai multe secvențe de imagini achiziționate în Cluj-Napoca. În absența unor date etalon pentru geometria mediului 3D observat, am evaluat în mod subiectiv calitatea reprezentării 3D virtuale extrase în procesul de urmărire, comparativ cu harta nefiltrată folosită ca măsurătoare. Câteva rezultate reprezentative sunt vizibile în figura 3. Sistemul de urmărire este capabil să mărească în mod considerabil densitatea hărții inițiale, și să filtreze erorile de reconstrucție, mai ales în cazul suprafeței drumului, dar și să identifice în mod corect obiectele în mișcare și direcția mișcării acestora.



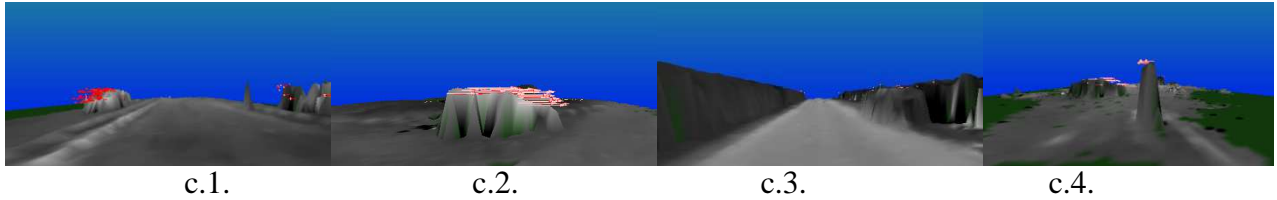


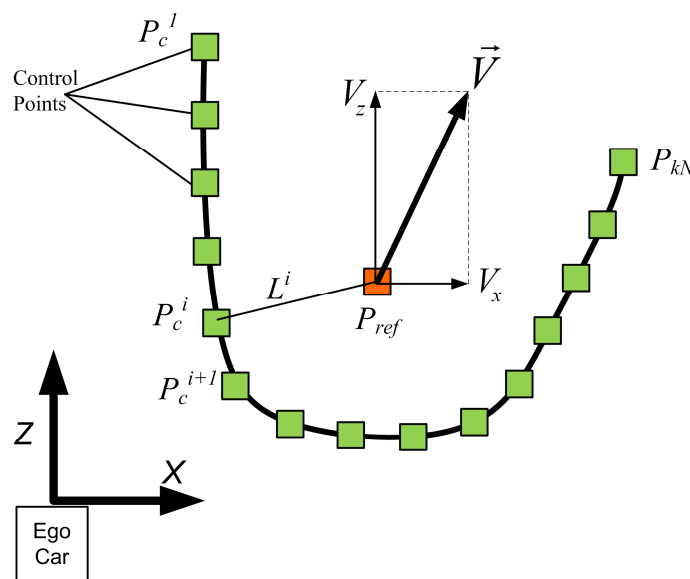
Fig. 3. Rezultate calitative în scenarii de trafic urban: a.1.-a.4, imagini de intensitate originale; b.1.-b.4, harta de înălțimi nefiltrată, cu informație de nivele de gri; c.1.-c.4, harta dinamică estimată.

Nivel superior de reprezentare a obiectelor

În funcție de volumul de date și cerințele de procesare poate fi necesară implementarea unui nivel de reprezentare superior suplimentar. Trecerea de la nivel de celulă la nivel de obiect poate fi efectuată prin extragerea unor modele poligonale neregulate care să aproximeze cât mai bine obstacolele utilizând un număr de puncte de reprezentare cât mai mic. Spre deosebire de alte metode existente în care obstacolele sunt approximate cu sabloane fixe, propunem o abordare în care se consideră că geometria obiectului se poate schimba gradual de-a lungul timpului. Astfel modelul unui obstacol din scenă poate fi descris de următoarele proprietăți:

- Un punct de referință local P_{ref} ce determină poziția unui obiect în sistemul de coordonate al camerei.
- Un vector de viteză $\vec{V}(v_x, v_z)$
- Un set de puncte de control $K = \{P_c^i(x_c^i, z_c^i) | i = [1..N_c]\}$ specificând forma obiectului. Inițial, punctele de control pot fi determinate prin selectarea unui număr N de puncte echidistante de-a lungul conturului obiectului. De asemenea, pentru fiecare punct de control $P_c^i(x_c^i, z_c^i)$ se calculează poziția sa relativă $L^i(l_x^i, l_z^i)$ față de punctul de referință $P_{ref}(x_{ref}, z_{ref})$:

$$\begin{bmatrix} l_x^i \\ l_z^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_c^i - x_{ref} \\ z_c^i - z_{ref} \end{bmatrix}$$



Considerând notațiile de mai sus, se propune aplicarea unei soluții bayesiene de estimare a stării obiectului, stare descrisă de următorul vector:

$$S_t = [x_{ref}, z_{ref}, v_x, v_z, l_x^1, l_z^1, l_x^2, l_z^2, \dots, l_x^N, l_z^N]^T$$

Metoda propusă este prezentată pe larg în următoarele articole publicate sau în curs de publicare în 2013: [38, 39, 40].

BIBLIOGRAFIE

- [30] R. Triebel, et al., "Multi-Level Surface Maps for Outdoor Terrain Mapping and Loop Closing," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006)*, 2006, pp. 2276-2282.
- [31] I. Dryanovski, et al., "Multi-volume occupancy grids: An efficient probabilistic 3D mapping model for micro aerial vehicles," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010)*, 2010, pp. 1553-1559.
- [32] M. Kumar and D. P. Garg, "Three-Dimensional Occupancy Grids With the Use of Vision and Proximity Sensors in a Robotic Workcell," *ASME Conference Proceedings*, vol. 2004, pp. 1029-1036, 2004.
- [33] H. Lategahn, et al., "Occupancy grid computation from dense stereo and sparse structure and motion points for automotive applications," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2010)*, 2010, pp. 819-824.
- [34] R. Danescu, F. Oniga, S. Nedeveschi., "Modeling and Tracking the Driving Environment With a Particle-Based Occupancy Grid," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, pp. 1331-1342, 2011.

Articole elaborate în vederea publicării

- [36] R. Danescu, S. Nedeveschi, "A Particle Based Solution for Modeling and Tracking Dynamic Digital Elevation Maps", in review la *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (ISI)*.
- [37] R. Danescu, S. Nedeveschi, „A Flexible Solution for Modeling and Tracking Generic Dynamic 3D Environments”, *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) 2013*, **acceptat**.
- [38] A. Vatavu, S. Nedeveschi, Modeling Unstructured Environments with Dynamic Persistence Grids and Object Delimiters in Urban Traffic Scenarios, at *IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2013 (IV 2013)*, Gold Coast, Australia, 23-26 June, 2013, pp. 505-510.
- [39] A. Vatavu, R. Danescu, S. Nedeveschi, Tracking Multiple Objects in Traffic Scenarios using Free-Form Obstacle Delimiters and Particle Filters, accepted at *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 6-9 October, Hague, Netherlands, 2013.
- [40] A. Vatavu, S. Nedeveschi, Vision-based Tracking of Multiple Objects in Dynamic Unstructured Environments using Free-Form Obstacle Delimiters, accepted at *European Conference on Mobile Robotics, ECMR2013*, Barcelona, 2013.
- [41] S. Nedeveschi, V. Popescu, D. Radu, M. Tiberiu, F. Oniga, "Accurate Ego-Vehicle Global Localization at Intersections through Alignment of Visual Data with Digital Map", in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol.14, Issue 2, 2013, pp. 673-687.

[42] A. Costea, S. Nedevschi, Image Context Classification based on Visual Codebook Feature Boosting, submitted at IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 5-7 September, Cluj-Napoca, Romania, 2013

2. Diseminarea rezultatelor

Lucrari elaborate si publicate sau inaintate spre publicare de colectivul proiectului in perioada ianuarie – iunie 2013

S. Nedevschi, V. Popescu, D. Radu, M. Tiberiu, F. Oniga, "Accurate Ego-Vehicle Global Localization at Intersections through Alignment of Visual Data with Digital Map", in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.14, Issue 2, 2013, pp. 673-687.

M. Drulea, S. Nedevschi, Motion estimation using the correlation transform, accepted in "IEEE Transactions on Image Processing", April 2013

A. Vatavu, S. Nedevschi, Modeling Unstructured Environments with Dynamic Persistence Grids and Object Delimiters in Urban Traffic Scenarios, at IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2013 (IV 2013), Gold Coast, Australia, 23-26 June, 2013, pp. 505-510.

R. Danescu, S. Nedevschi A Flexible Solution for Modeling and Tracking Generic Dynamic 3D Environments, accepted at IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 6-9 October, Hague, Netherlands, 2013.

R. Danescu, S. Nedevschi, "A Particle Based Solution for Modeling and Tracking Dynamic Digital Elevation Maps", in review at *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (ISI)*.

A. Vatavu, R. Danescu, S. Nedevschi, Tracking Multiple Objects in Traffic Scenarios using Free-Form Obstacle Delimiters and Particle Filters, accepted at IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 6-9 October, Hague, Netherlands, 2013.

A. Vatavu, S. Nedevschi, Vision-based Tracking of Multiple Objects in Dynamic Unstructured Environments using Free-Form Obstacle Delimiters, accepted at European Conference on Mobile Robotics, ECMR2013, Barcelona, 2013.

C. Golban, S. Nedevschi, Speed estimation for scene objects using stereo visual odometry, submitted at IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 5-7 September, Cluj-Napoca, Romania, 2013.

C. Golban, S. Nedevschi, An experiment on relative rotation estimation from distant points with monocular vision, submitted at IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 5-7 September, Cluj-Napoca, Romania, 2013.

A. Costea, S. Nedevschi, Image Context Classification based on Visual Codebook Feature Boosting, submitted at IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 5-7 September, Cluj-Napoca, Romania, 2013.

Director proiect,
Sergiu Nedevschi