



Développement de contours actifs robustes et adaptatifs et application à la poursuite d'objets dans une séquence d'images infrarouges.

Jean-François BONNET(1-2) et Roger SAMY(1)

(1) Société Anonyme de Télécommunications

Division Optronique et Défense

41, Rue Cantagrel - BP 389

75626 PARIS CEDEX 13 (France)

(2) Laboratoire des systèmes intelligents de perception (SIP)

Université René Descartes

45 rue des Saint Pères

75006 PARIS (France)

email: bonjf@math-info.univ-paris5.fr

Résumé:

Les contours actifs appelés "snakes" ont montré leur efficacité à segmenter et suivre des objets déformables à partir d'images 2D et 3D relativement complexes et faiblement contrastées. Les nombreuses publications sur les contours actifs révèlent l'intérêt que leur porte la communauté de traitement d'images. Dans ce cadre nous proposons ici une généralisation des contours actifs basée sur la théorie des estimateurs robustes ainsi qu'un algorithme parallèle de calcul des contours. Diverses énergies robustes dont certaines effectuent une estimation incrémentale de contour seront présentées. Cet article décrit dans la première partie le développement théorique de cette généralisation, tandis que la deuxième partie présente la mise en oeuvre calculatoire et des résultats expérimentaux sur des images IR réelles.

Mots clés

Poursuite de cible; séquence d'images infrarouges; contours actifs; snakes; estimateurs robustes; processus temporels.

I - Introduction

Dans le traitement de séquence d'images, le problème de la poursuite d'objets reste un domaine où des solutions nouvelles sont apportées sans cesse en raison de la diversité des caractéristiques: que ce soit pour la nature des images (TV, IR, acoustique...) ou des objets (rigides/déformables, artificiels/naturels ..).

Une solution largement exploitée dans le traitement d'images médicales d'origine diverses (IRM, Échographie...) est basée sur les snakes ou contours actifs. L'utilisation de cet algorithme dans le cadre de la poursuite d'objet dans une scène aérienne, dans le but de la reconstruction 3D, pose plusieurs problèmes comme le non respect des points anguleux et le manque de robustesse dans une séquence temporelle.

Cet article présente une extension des contours actifs basée sur la théorie des estimateurs robustes ainsi qu'un algorithme parallèle de calcul de snakes. L'estimation incrémentale d'un contour sera aussi abordée.

Après des rappels sur les estimateurs robustes, sur les snakes et une courte revue bibliographique, les contours actifs robustes ou ρ -snakes seront introduit. Suivra la présentation d'un algorithme parallèle de calcul de contour et les énergies utilisées dans notre application. Enfin, on analysera les résultats expérimentaux de ces nouveaux contours actifs sur des bâtiments dans des séquences d'images IR acquises à bord d'un aéronef.

II - Etat de l'art - Rappels

1 - La théorie des estimateurs robustes.

Les méthodes d'estimation robustes sont devenues populaires en vision artificielle en raison de leur résistance aux éléments qui perturbent les traitements d'images bas niveau (les points aberrants ou différents types de bruits) [MMRK91].

Abstract:

Snakes active contours have already shown their ability in tracking objects in complex and low contrasted 2D and 3D images. The numerous publications on this subject reveal the interest of image processing community. We propose in the snake framework a generalisation based on robust estimation theory. We also present some robust energies including temporal ones and a parallel algorithm to compute snakes. This article first review snakes and robust estimation theory before introducing robust snakes. It then presents the parallel algorithm and some robust energies we use in real IR sequences.

Keywords

Object tracking; Infrared images sequence; active contours; snakes; robust estimators; temporal processus.

D'après Hampel [Hampel86], les objectifs principaux des statistiques robustes sont de décrire la structure qui s'adapte le mieux à un bloc de données et d'identifier les points erronés (outliers) ou les sous structures déviantes pour, éventuellement, leur appliquer un traitement. Il s'agit donc de trouver un modèle décrivant un ensemble de données qui prennent en compte l'existence des erreurs que contiennent ces données.

Cette théorie propose des normes ρ appelées *M-estimateurs* parce qu'elles correspondent à une estimation dite de Maximum de vraisemblance. Un estimateur est dit *robuste* si la solution de l'estimateur est relativement insensible aux déviations des points erronés de la réalité vis à vis des hypothèses d'un modèle statistique donné. Nous utiliserons cette propriété pour permettre à nos snakes robustes d'être assez souples pour s'adapter aux caractéristiques de l'objet poursuivi même si elles sont assez éloignées du modèle de départ.

2- Le modèle snake de contour actif.

Le snake, tel qu'il a été introduit par Kass, Witkin et Terzopoulos [KWT88] est une courbe plane soumise à deux types de forces: les forces internes et les forces externes. Les forces internes concernent la morphologie de la courbe tandis que les forces externes sont liées à l'image elle même. Ces forces, qui correspondent à des énergies, font évoluer le snake de manière itérative, celui-ci se stabilisant lorsque les énergies sont minimales (quand les forces s'équilibrent). Ce type de processus nécessite une initialisation, fournie par l'opérateur ou un autre traitement, avant d'affiner tout seul le résultat.

Les domaines d'application des snakes sont entre autres le suivi de mouvement, la mise en correspondance stéréovisuelle, les modèles déformables.



Les deux types de forces du snakes sont complémentaires: les unes isolent le contour tandis que les autres assurent une stabilité de l'ensemble. Nous allons brièvement les détailler.

Si $V(s)=(x(s),y(s))$, avec $s \in [0;1]$, représente la position du snake dans l'image en fonction du paramètre s , alors on obtient une énergie totale E_{snake} qui est, le long du contour, la somme des énergies internes et externes, énergies associées aux deux types de forces:

$$E_{snake} = \int_0^1 [E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s))] ds \quad (1)$$

C'est donc la minimisation de E_{snake} qui est cherchée.

Les forces internes régularisent les variations morphologiques de la courbe. Elles sont directement liées aux *contraintes géométriques* de tension élastique et de rigidité de la courbe que l'on veut imposer au snake. Elles se présentent en

prenant $v_s = \frac{dv}{ds}$ et $v_{ss} = \frac{d^2v}{ds^2}$ comme notation sous la forme:

$$E_{int} = \frac{1}{2} [\alpha(s) |v_s(s)|^2 + \beta(s) |v_{ss}(s)|^2] \quad (2)$$

Le premier terme est lié à la tension du snake. α étant le coefficient d'élasticité, il représente donc l'énergie élastique. Le second terme concerne la raideur du snake, β étant le coefficient de rigidité. Ces deux termes sont très souvent utilisés, mais nous proposerons d'autres énergies internes, en particulier incrémentales.

Les forces externes sont guidées par les *contraintes photométriques* de l'image: E_{ext} caractérise donc les objets à extraire. Il s'agit le plus souvent d'extracteurs locaux de primitives 2D (contours, lignes de niveaux etc...) qui guident le snake dans l'image en fonction de l'objet recherché.

L'énergie la plus courante est liée à la détection des contours par le gradient: $E_{ext} = -|\nabla I(x, y)|^2$. (3)

Dans le cas présent, l'énergie totale est:

$$E_{snake} = \frac{1}{2} [\alpha(s) \|v_s(s)\|^2 + \beta(s) \|v_{ss}(s)\|^2] - \|\nabla I(x, y)\|^2 \quad (4)$$

La résolution de la minimisation s'effectue en discrétisant les équations d'énergies et en résolvant un système matriciel assez important (proportionnel à la taille du contour désiré) à chaque itérations ce qui peut conduire à des temps de calculs assez long si l'on segmente plusieurs contours de taille importantes.

$$\begin{cases} Ax + f_x(x, y) = 0 \\ Ay + f_y(x, y) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Dans le système précédant de calcul des snakes, f est lié à l'énergie externe du snake tandis que la matrice A ($n*n$) dépends des différents paramètres internes, n étant la longueur du snake.

4- Revue bibliographique contours actifs

Depuis les travaux fondateurs de Kass & al. [KWT88], plusieurs variantes des snakes ou des modèles actifs ont été réalisés.

En ce qui concerne les applications au traitement d'images 2D et 3D il y a, entre autres, l'extraction de contours et la segmentation ([KWT88] [CC90] [FH89] [FH89b] [FL88] [RP94]), la poursuite de caractéristiques déformables (Kass étudie le mouvement des lèvres pendant l'élocution, Cohen utilise les snakes sur des images d'échographie, Fujimura [FYY93] analyse les contorsions d'une limace), la mise en correspondance stéréo ([KWT88][FH89]) ou même des outils d'aide pour logiciels de dessin [FSPL94]. Plus généralement, les snakes permettent d'associer un modèle déformable à une image sous réserve de définir une énergie à minimiser.

Mais comme l'implémentation de Kass possède quelques inconvénients, des améliorations ont été apportées aux snakes.

Cohen et Cohen [CC90] proposent un calcul de minimisation plus stable, basé sur les éléments finis au lieu des différences finies. Ils introduisent aussi une nouvelle énergie permettant au

snake de se gonfler comme un ballon. Menet, Saint-Marc et Medioni [MSmM90] décrivent les snakes par des b-splines, ce qui accélère les temps de calcul. Ces contours actifs sont appelés b-snakes. Fua [FH89b] a réalisé une étude sur l'optimisation des paramètres. Des snakes 3D ont été étudiés [MRN94]: ils agissent comme des snakes classiques sur un volume découpé couche par couche. Rougon et Prêteux [RP94] ont proposés des snakes adaptatifs dans un cadre théorique centré sur le concept de représentation locale d'image. Fujimura [FYY93] a proposé des potentiels de contours adapté à la poursuite en définissant un gradient d'intensité spatio-temporel ou d'intensité de conservation dans le temps. Enfin, mais dans un contexte différent du nôtre, Weeler [W195] propose un travail de reconnaissance basé entre autres sur les estimateurs robustes et les snakes.

Les cadres de ces travaux n'étant pas similaires à notre problème, nous avons été amené à développer une extension des snakes via les estimateurs robustes.

III - Le modèle de contour actif robuste: ρ -snakes

Dans le cadre de l'estimation robuste présentée plus haut, nous introduisons une fonction de coût ρ dans la définition de l'énergie interne et externe du snake.

$$E_{int} = \frac{1}{2} [\alpha(s) \rho(v_s(s)) + \beta(s) \rho(v_{ss}(s))] \quad (6)$$

$$E_{ext} = -\rho(\nabla I(x, y)) \quad (7)$$

Si la fonction ρ est la norme L_2 , on retrouve l'énergie classique des snakes (4).

Les apports des estimateurs robustes sur les snakes classiques grâce à leur tolérance aux écarts concernent trois points.

Le premier est une plus grande résistance aux variations des caractéristiques de l'image. C'est à dire que les paramètres fixés à l'initialisation resteront constants et valables pour tous les points du snake et pour toutes les images d'une séquence.

Le second est la conservation des discontinuités géométriques sans paramétrage spécifique en des points particuliers. Il est bien sûr possible dans les snakes classiques de respecter les coins d'un objet, mais ceci implique de positionner un paramètre à zéro au point voulu. Pour les snakes robustes, une petite discontinuité géométrique se corrige d'elle même, tandis qu'une forte discontinuité, qui correspond donc à un coin, si elle est entretenue par un gradient, n'est pas annulée. Ce problème est important, car, dans les images que nous utilisons, les objets à segmenter qui sont artificiels comportent souvent des irrégularités géométriques utiles pour la suite du traitement (reconstruction, reconnaissance: voir GRETSI 95 [SDE95]).

Le troisième est une "zone d'attraction" des contours plus grande, due à une énergie externe plus "répartie" sur l'image au voisinage des gradients. A cause de la façon avec laquelle l'énergie du gradient est calculée, les faibles valeurs de gradient sont presque autant attractives que les fortes valeurs, à l'opposé des snakes classiques qui sont beaucoup plus attirés par les fortes valeurs (qui peuvent être dues au bruit).

Ceci crée dans les faits une zone d'attraction du snake beaucoup plus large (et utile quand le snake se trouve assez éloigné de la position à atteindre).

IV- Application et mise en oeuvre.

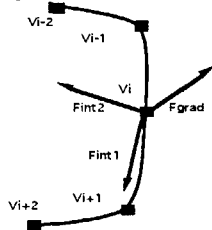
1- Algorithme parallèle de calcul des snakes

Un avantage du cadre des snakes est que l'ajout de nouvelles énergies permet d'obtenir un contour actif avec les nouvelles caractéristiques désirées. Mais une des difficultés est d'ajuster les paramètres dans l'équation générale du snake. En effet, les énergies dépendent directement des entrées (gradient, termes de continuité, disparité...) et, du fait de leur dissemblance, leur comparaison peut conduire à des non sens.

Nous proposons un nouvel algorithme basé sur le traitement parallèle et qui autorise les modifications dans chaque définition d'énergie sans avoir à réajuster l'ensemble des paramètres.

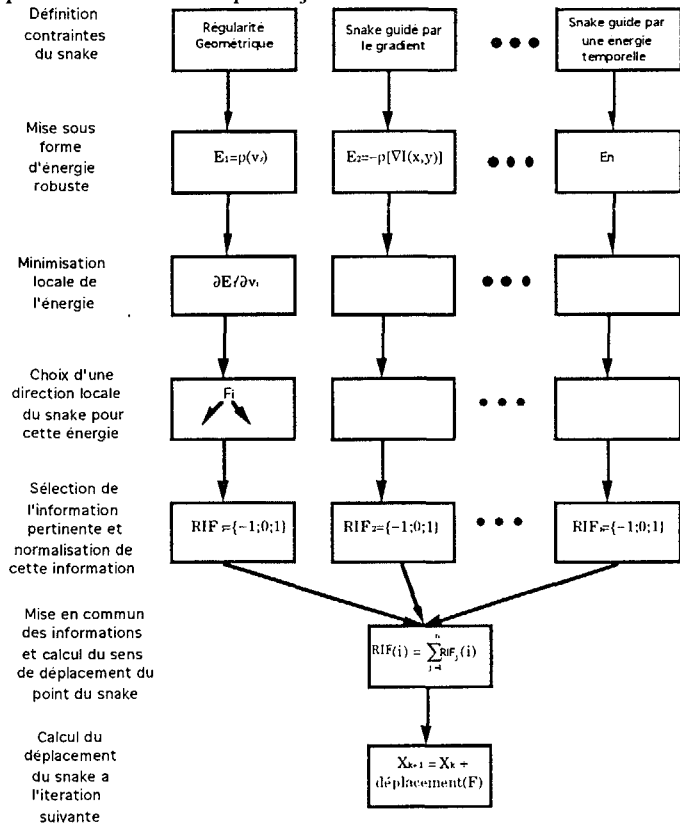


Celui-ci est basé sur la comparaison des informations de déplacement du snake apportées par les énergies de préférence à la comparaison des énergies elles-mêmes.



Plutôt que de voir le processus de convergence comme une minimisation globale, nous proposons une analyse locale. Considérons localement sur la courbe un point $V_i=(X_i;Y_i)$ et ses points voisins notés V_{i-1} et V_{i+1} . Chacune des énergies E_k du snake est le potentiel associé à la force F_k . La force locale $F_k(i)$ s'applique sur le point V_i en fonction des caractéristiques locales de l'image et de la position des points voisins.

Dans les snakes classiques, c'est la combinaison linéaire de ces forces en chaque points, projetée sur les axes X et Y qui décide du mouvement du point du snake. Mais comme en fait la croissance et la décroissance des énergies associées peuvent être non linéaires, il est quelquefois vain de vouloir trouver des paramètres constants pour ajuster les valeurs les unes aux autres.



L'information utile est extraite quand, pour une force donnée F_k , sont comparées les différentes valeurs $F_k(j)$ ($i \neq j$) prises en divers points V_j du snake pour cette même force. Ainsi, le long du snake un étalonnage des valeurs de F_k est effectué entre -1 et 1, en conservant le zéro (force nulle). Cette nouvelle valeur, appelée force d'importance relative (RIF) indique donc l'importance de l'information de mouvement appliqué au point V_i par la force $F_k(i)$ comparée aux informations de mouvement appliqués sur les autres points V_j ($j \neq i$) par la même force F_k .

Et parce que la seule information valable pour chaque force en chaque point est la décision de mouvement ou non du point, la RIF est normalisée en utilisant un seuil entre -1, 0 et 1. 0 indique une absence de mouvement, -1 et 1 un déplacement du point à droite ou à gauche.

Si nous appliquons le même traitement pour chaque énergies, en chaque point, la comparaison des différentes énergies sera évidente et significative. La force finale de déplacement du snake est la combinaison linéaire des forces relatives. C'est la force finale qui est utilisée pour calculer le déplacement final du snake en utilisant la discrétisation temporelle introduite par Cohen et Cohen [CC90].

Le parallélisme de cet algorithme permet de changer et d'ajouter toute sorte d'énergies au snake sans avoir d'interaction avec les autres énergies. Chaque énergie envoie au processus global et final les informations qui la concernent, mais seule l'énergie globale procède à la décision de mouvement du snake.

2- Quelques énergies robustes

Les avantages d'ajout et de réglage de l'algorithme précédant nous ont permis d'utiliser diverses énergies.

a - Les énergies intra-image.

Nous avons convertie en énergies robustes certaines énergies des snakes classiques.

$E_{int1} = \rho(v_s)$ (8) et $E_{int2} = \rho(v_{ss})$ (9) sont les énergies de continuité au premier et au second ordre ($V_s=V_i-V_{i-1}$ et $V_{ss}=V_{i-1} - 2*V_i+V_{i+1}$ [KWT88]). Comme pour un snake classique, elles concernent la tension et la raideur du snake. Le fait d'utiliser un estimateur robuste autorise certains écarts, par exemple par rapport à la loi de raideur, à propos des coins.

Quand le déplacement de la courbe sur une image est trop important, nous avons besoin de rééquilibrer la densité de point du snake sinon les points s'accumulent derrière le snake. L'énergie $E_{dist} = \rho(d^2 - (v_s)^2)$ (10) où d est la distance moyenne entre 2 points du snake est alors employée.

2 -énergies inter-images

Notre intérêt est la poursuite d'objets en mouvement: en plus des énergies intra-images présentées plus haut, nous avons introduit des énergies prenant en compte l'information temps. Plusieurs autres énergies incrémentales ont déjà été proposées [FYY93][MSmM90], mais les énergies robustes suivantes s'adaptent davantage à notre problème.

La première énergie concerne la continuité d'un point du snake, que ce soit à travers les images de la séquence ou bien vis à vis de ces voisins. Il s'agit d'une énergie découlant de l'élasticité de la courbe déjà présenté plus haut.

$$E_{contintemp} = \rho(X_s) + \rho(Y_s) \quad (11)$$

$$= \rho(X_s(s,t) - X_s(s,t-1)) + \rho(Y_s(s,t) - Y_s(s,t-1))$$

avec $X_s(t) = x(s,t) - x(s-1,t)$ ainsi la déformation du snake est-elle continue le long de la séquence.

La seconde énergie concerne la conservation ou la continuité de la déformation le long du temps de la forme globale du snake.

$$E = \rho[V_{ss,t}] = \rho[V_{ss}(t) - V_{ss}(t-1)] \quad (12)$$

Avec cette énergie, une forte discontinuité géométrique, par exemple, aura tendance à se conserver le long de la séquence sans prétraitement particulier.

3- Résultats - Images

Les images suivantes illustrent quelque unes des propriétés des snakes robustes. Elles sont toutes extraites de séquences IR. Le snake est initialisé grossièrement sur la première image de la séquence, puis, sans changer les paramètres, et sans intervention de l'opérateur, il piste l'objet ciblé d'une image à l'autre. Suivant la distance de l'objet, le déplacement dans l'image peut aller jusqu'à 10 pixels.

Les difficultés changent avec la position de la cible dans l'image: soit l'objet est proche, contrasté mais avec un fort déplacement, soit il est lointain, très peu contrasté, problèmes d'éblouissement mais déplacement plus faible.



La figure 1 montre le respect naturel des coins par les p -snakes sur un bâtiment proche.



fig.1

Les figures 2 (énergie gradient L2) et 3 (énergie gradient estimateur robuste Tukey) sur un bâtiment très faiblement contrasté montre comment les estimateurs robustes font ressortir une zone d'attraction des snakes plus large que la norme L2.



fig.2

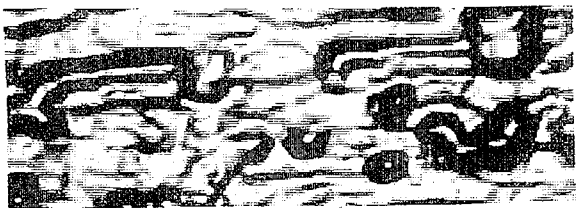


fig.3

Les figures 4 (image d'origine), 5 (initialisation grossière) et 6 (résultat en fin de séquence) illustrent une segmentation correcte quand la morphologie de l'initialisation est différente de la morphologie réelle du bâtiment.



fig. 4

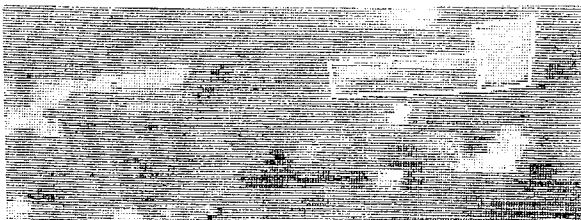


fig. 5



fig. 6

V - Conclusion

Dans cet article, nous avons introduit les p -snakes, qui sont des contours actifs de type snake basés sur la théorie des

estimateurs robustes. Nous avons aussi présenté un algorithme parallèle de résolution de snakes. Des exemples sur des énergies temporelles et spatiale robustes ont été présentés.

Comparativement aux snakes classiques, les snakes robustes sont capables de gérer des discontinuités géométriques sans ajustement de paramètres particuliers et possèdent une zone d'attraction du snake plus forte. Ils s'adaptent aux images très bruitées et de faiblement contrastées. L'algorithme présenté permet des modifications ou l'addition de termes supplémentaires dans la définition des énergies sans une reconfiguration de tous les paramètres. Nous avons expérimenté sur nos images la poursuite par les snakes robustes d'objets lointains dans une séquence d'images infrarouges bruitées et faiblement contrastées avec un unique paramétrage initial.

Remerciements

Nous remercions l'ONERA qui nous a fourni les images dans le cadre du contrat DRET 93/327 dans lequel à été réalisée cette étude.

Références

- [BoSa94] Bonnet Samy - Robust and incremental active contour models for objects tracking. SPIE's 1994 Boston Computer Vision.
- [BoSa95] Bonnet Samy - Target tracking in IR image sequence using robust adaptative snakes. SPIE's 1995 Orlando International Symposium on OE Aerospace Sensing.
- [CC90] Cohen, Cohen, A finite element method applied to new active contour models and 3D reconstruction from cross sections. Technical Report 1245, INRIA, 1990.
- [FH89] P.Fua, A.J.Hanson, An optimisation framework of feature extraction: Applications to semiautomated and automated feature extraction. Proceedings of the DARPA Image Understanding Workshop, May 1989.
- [FH89b] P.Fua, A.J.Hanson, Objective function for feature discrimination theory. Proceedings of the DARPA Image Understanding Workshop, May 1989.
- [FL88] Fua, Leclerc, Model driven edge detection Proceedings of the DARPA Image Understanding Workshop, 88, Cambridge.
- [FYY93] Fujimura, Yokoya, Yamamoto, Motion Tracking of deformable Objects by Active Contour Models Using Multiscale Dynamic Programming, Journal of visual communication and image representation, Vol 4, n°4, December 1993.
- [FSPL94] Flickner, Sawhney, Pryor, Lotspiech, Intelligent Interactive Image Outlining using Spline Snakes, 28th Asilomar Conference on Signals, Systems and computer, 1994.
- [Hampel86] Hampel, Robust Statistics: The Approach Based on Influence Functions; J.Wiley & Sons, New York, N.Y. 1986.
- [KWT88] Kass, Witkin, Terzopoulos: Snakes: Active Contour Models International Journal of Computer Vision (1988).
- [MMRK91] Meer, Mintz, Rosenfeld, Kim, Robust Regression Methods for Computer Vision: A review. International Journal of Computer Vision, 1991.
- [MRN94] Moshfeghi, Ranganath, Nawyn, Three-Dimensional Elastic Matching of Volumes. IEEE Transactions on image Processing, Vol 3, n°2, March 1994.
- [MSmM90] Menet, Saint-Marc, Medioni, B-snakes: implementation and application to stereo. DARPA Image Understanding Workshop, Pittsburgh, PE, sept 90.
- [RP94] Rougon, Preteux, Régularisation directionnelle optimale et modèles déformables adaptatifs, RFIA PARIS 94.
- [SaDu93] SAMY and DUCLOS, Motion Estimation in FLIR Séquence using features tracking, IEEE WORKSHOP ON IMDSP, Cannes/FR SEPT 1993.
- [SaDu94] SAMY and DUCLOS, Pyramidal M.R.F. models for Optical Flow estimation applied to target detection SPIE's Aerospace on Sensor Fusion, Orlando FL, USA, 1994.
- [SDE95] Samy, Duclos, Ermandez, Stéréovision monoculaire latérale, GRETSI 95.
- [WI95] Wheeler, Ikeuchi, Sensor Modeling, Probabilistic Hypothesis generation, and Robust localization for object Recognition, IEEE transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, march 1995.