

Un modèle de contour actif pour le suivi rapide d'objets en mouvement. Application au suivi de joueurs de football.

Sébastien LEFÈVRE^{1,2}, Cyril FLUCK¹, Benjamin MAILLARD¹, Nicole VINCENT¹

¹Laboratoire d'Informatique
E3i, Université de Tours
64, Avenue Jean Portalis, 37200 Tours, France

²AtosOrigin
19, rue de la Vallée Maillard, BP1311, 41013 Blois Cedex, France
lefevre@univ-tours.fr, vincent@univ-tours.fr

Résumé – Nous présentons ici une nouvelle méthode de suivi d'objets en mouvement où les objets sont modélisés par des *snakes* ou contours actifs. Cette méthode est appliquée au suivi de joueurs de football dans le cadre de l'analyse de séquences vidéo de matchs de football acquises à l'aide d'une caméra en mouvement. L'algorithme de suivi ne nécessite pas de prétraitement particulier, contrairement à la plupart des méthodes utilisant des *snakes*. Le modèle de contour actif est déformé en minimisant des énergies classiquement utilisées dans la littérature ainsi qu'une énergie "ballon" afin de réduire le contour autour de l'objet suivi. L'étape de suivi n'inclut pas d'estimation de mouvement et elle est basée sur une initialisation puis une déformation du *snake*. L'implémentation proposée permet d'envisager une exécution en temps-réel. Elle a été validée sur des séquences d'images extraites de retransmissions télévisées de matchs de football.

Abstract – We present in this paper a new method to track moving objects. It is based on snakes or active contour models. We are concerned with football game analysis and so the tracked objects are representing football players. The camera is moving too. Our active contour algorithm does not need any preprocessing step contrary to most of the snake-based methods. It is based on classical energies used in active contour algorithms but also on a balloon energy in order to reduce the contour to fit the tracked object. The tracking step does not include any position prediction and is based on a snake initialisation followed by snake deformation. The method implemented is fast enough to consider a real-time framework and has been successfully tested on football game image sequences.

Introduction

Jusqu'à ces dernières décennies, le domaine d'utilisation de l'ordinateur se limitait à l'analyse d'objets statiques ; on note aujourd'hui une tendance à faire appel à l'informatique dans l'analyse du mouvement. Le suivi d'objet dans des séquences d'images est devenu un thème d'actualité. Notre méthode analyse des séquences d'images acquises à l'aide d'une caméra couleur en mouvement, certaines portions de la scène étant elles-mêmes en mouvement.

En l'absence d'une méthode générale, différentes approches ont été proposées, s'appuyant soit sur la notion de région, soit sur celle de contour. Cependant, le temps d'exécution, qui est l'une des principales difficultés de ce type d'application, n'est que rarement pris en compte.

Notre intention n'est pas d'ajouter une méthode nouvelle à celles qui existent déjà. Nous voulons seulement apporter une solution moins coûteuse en temps de calcul au problème du suivi d'objets non rigides. Ces objets sont difficiles à caractériser car leur texture est rarement uniforme et leur taille relativement faible par rapport à l'ensemble de l'image.

Faute de pouvoir envisager le problème dans sa généralité, nous devons le saisir au travers de ses applications. Dans cet objectif, et en prenant pour hypothèse que les

objets se détachent sur un fond qui admet une couleur dominante, nous choisirons comme application celle du suivi de joueurs de football au cours d'un match. Dans une telle scène, il ne s'agira pas, précisons-le, d'analyser les mouvements techniques du joueur, mais seulement de suivre sa position.

La méthode que nous avons développée utilise un modèle de contour actif mais ne procède à aucun filtrage ou segmentation précédant la déformation du contour, ce qui permet de diminuer le temps de calcul. Ce modèle nous a paru le mieux adapté à notre problème. L'hétérogénéité de la texture des zones de l'image correspondant aux joueurs, associée à la relative homogénéité de la pelouse, nous a conduit à faire le choix d'un modèle utilisant une énergie ballon de réduction. Tenant compte à la fois des propriétés simultanées des objets suivis (taille, texture complète) et du fond considéré comme de couleur uniforme, la méthode présentée se montre alors plus efficace.

Après avoir introduit le modèle de contour actif, nous décrirons les énergies utilisées dans l'étape de déformation du contour. Nous expliquerons ensuite la méthode de suivi. Finalement, nous présenterons et commenterons les résultats obtenus pour le suivi de joueurs de football.

1 Modèle de contour actif

Les joueurs de football peuvent être considérés comme des objets non rigides et doivent donc être suivis à l'aide d'une méthode adéquate telle qu'une méthode modélisant les objets par des contours actifs. Le modèle de contour actif, ou *snake*, a été introduit par Kass et al [1] et fait l'objet de nombreux travaux récents dans la littérature [2]. Le contour est représenté par une courbe paramétrique pouvant être fermée ou non et que l'on peut formuler suivant :

$$v(s) = [x(s), y(s)], s \in [0, 1] \quad (1)$$

Cette courbe est déformée de manière itérative afin de minimiser une fonctionnelle d'énergie. Pour cela, on utilise une implémentation locale et discrète du modèle de contour actif, l'algorithme *greedy*, afin de diminuer le temps de calcul. Il a été montré dans [3] que cette implémentation s'avérait plus rapide que celles utilisant la programmation dynamique ou le calcul variationnel.

Pour chaque point v_i du contour actif, cette fonctionnelle d'énergie $E(n_i)$ est calculée pour tous les points n_i appartenant au voisinage de v_i . Le point n_{i_0} caractérisé par l'énergie minimale $E(n_{i_0})$ est alors choisi pour remplacer v_i si $E(n_{i_0}) < E(v_i)$. Dans le cas contraire, le point de contour v_i n'est pas modifié. Ce mécanisme est répété jusqu'à convergence (lorsque le contour obtenu à l'itération t est identique à celui obtenu à l'itération $t - 1$). La déformation du contour dépend donc directement de la fonctionnelle d'énergie. Il convient de la définir, ainsi que ses éléments.

2 Définition des énergies

L'énergie à minimiser dans un modèle de contour actif est traditionnellement composée de l'énergie interne et de l'énergie externe :

$$E = \alpha \cdot E_{int} + \beta \cdot E_{ext} \quad (2)$$

L'énergie interne E_{int} représente les propriétés physiques du contour et l'énergie externe E_{ext} associe le contour aux données de l'image (comme l'intensité ou le gradient).

2.1 Energie interne

L'énergie interne est calculée à partir de trois forces appelées respectivement continuité, ballon, et courbure :

$$E_{int} = a \cdot E_{con} + b \cdot E_{bal} + c \cdot E_{cou} \quad (3)$$

E_{con} , E_{bal} , et E_{cou} sont les énergies associées respectivement aux forces de continuité, ballon, et courbure.

La force de continuité influe sur le rayon de courbure du contour en conduisant les points du contour à se positionner de manière à être équidistants. La forme du contour tend alors vers un cercle. L'énergie $E_{con}(n_i)$ est définie pour tout point n_i dans le voisinage de v_i comme la valeur absolue de la différence entre deux distances : la distance moyenne entre deux points successifs du contour (calculée à chaque itération) et la distance du point de contour précédent v_{i-1} au point n_i .

La force ballon a été introduite par Cohen [4] et permet au contour de grossir ou de se réduire selon le signe du coefficient associé à la force. Nous utilisons ici une force de réduction justifiée dans la partie suivante. L'énergie $E_{bal}(n_i)$ est définie comme le produit scalaire entre le vecteur normal au contour au point v_i et le vecteur $\bar{v}_i \bar{n}_i^t$.

La dernière force utilisée pour l'énergie interne est celle de courbure. Son but est d'éviter que le contour contienne des points isolés qui ne seraient pas cohérents avec la forme globale régulière du contour. L'énergie $E_{cou}(n_i)$ est donc proportionnelle à une expression discrète de la dérivée du second ordre.

2.2 Energie externe

L'énergie externe utilise deux forces qui sont liées aux gradients couleur et à l'intensité de la composante couleur verte :

$$E_{ext} = d \cdot E_{gra} + e \cdot E_{ver} \quad (4)$$

où E_{gra} et E_{ver} sont les énergies représentant respectivement les gradients couleur et l'intensité de la composante couleur verte.

La première force est basée sur une combinaison des gradients calculés sur les trois composantes couleur (rouge, vert, et bleu), fixant ainsi le contour sur les contours réels de l'image. L'estimation du gradient est calculée à l'aide de l'opérateur de Sobel puis seuillée, ce qui permet d'éliminer la plupart des contours non significatifs. Afin de réduire le temps de calcul, le gradient n'est calculé qu'une seule fois par image et sur une zone restreinte autour de la position initiale du contour.

La deuxième force plus contextuelle utilise l'intensité d'une composante de l'image. Dans notre cas, elle force le contour à être proche des pixels verts, qui correspondent à la pelouse dans un match de football. Elle permet ainsi de conserver le contour externe des joueurs. L'énergie E_{ver} est définie comme la différence entre l'intensité de la composante couleur verte et un seuil fixé T_V .

3 La méthode de suivi

Le but est de suivre des objets non rigides (tels que les joueurs de football) dans une scène en mouvement. Afin de réduire le temps de calcul, aucun prétraitement n'est nécessaire à la déformation du contour actif (contrairement à la plupart des méthodes présentées dans la littérature, comme [5]) et aucune estimation de mouvement n'est effectuée pour le suivi. La méthode se décompose en deux parties, exécutées successivement pour chaque image : l'initialisation sous forme de rectangle puis la déformation du contour actif.

3.1 Initialisation sous forme de rectangle

Pour une image donnée, l'initialisation par un rectangle est effectuée en deux étapes. Tout d'abord un rectangle parallèle aux contours de l'image est créé. Sa position et sa taille sont déterminées de telle sorte qu'il englobe le contour actif final obtenu à l'image précédente. La taille

de ce rectangle est ensuite augmentée afin d’englober le contour actif final supposé pour l’image courante. Le contour actif initial est obtenu en plaçant les points qui le composent de manière uniforme sur le contour du rectangle.

Un traitement spécifique est nécessaire pour la première image d’une séquence, où a priori aucune information sur le contour n’est disponible. Actuellement, l’initialisation sous forme de rectangle est remplacée par une initialisation manuelle du contour effectuée par l’utilisateur ou une initialisation automatique obtenue par une détection des objets en mouvement.

3.2 Déformation du contour actif

Le contour actif, dont le nombre de points dépend de la précision voulue, est ensuite déformé et se fixe autour de l’objet. Il est réduit jusqu’à convergence avec les forces décrites précédemment. Nous avons choisi de réduire le *snake* plutôt que de l’accroître car il est plus efficace de réduire le contour en traversant des zones homogènes (comme la pelouse) que de l’accroître en traversant des zones hétérogènes (comme les joueurs) riches en information de contour et de couleur.

4 Résultats

Nous présentons ici le contexte de l’application et les choix de paramètres que nous avons été amenés à faire. La robustesse de la méthode est prouvée par les premiers résultats. Néanmoins certains problèmes subsistent que nous précisons dans la dernière partie.

4.1 Experimentations

La méthode a été testée sur des séquences vidéo couleur issues de retransmissions télévisées de matchs de football. Ces séquences ont été acquises à une fréquence de 15 images par seconde. Les images couleur sont codées en 24 bits (RGB) et leur taille est de 384×288 pixels.

Le contour actif est initialement composé de 16 points. Le nombre de points peut varier au cours de la séquence selon la précision souhaitée. L’étape de déformation est limitée à un maximum de 30 itérations. Cependant, le contour actif converge la plupart du temps avant ce nombre d’itérations. La convergence n’a pas été obtenue pour 30 % des images. A chaque itération, l’énergie est calculée dans un voisinage de 5×5 pixels autour du point de contour obtenu lors de l’itération précédente. Le gradient est calculé à l’aide de l’opérateur de Sobel et la valeur utilisée pour le seuillage du gradient a été fixée à 500.

Les coefficients utilisés pour pondérer les différentes énergies composant le modèle de contour actif sont donnés dans la table 1. Ils ont été déterminés empiriquement mais conviennent pour toutes les séquences de football traitées.

La figure 1 montre le résultat de la déformation du contour actif sur les deux premières images d’une séquence. Le contour initial est initialisé manuellement sur la première image (un utilisateur place les points du contour sur l’image) tandis qu’il est initialisé automatiquement sur

la seconde image en se basant sur la position finale du contour actif obtenue dans la première image.

Les résultats présentés sur la figure 2 montrent le suivi d’un joueur de football en mouvement sur plusieurs images extraites d’une séquence de 100 images correspondant à une durée de 7 secondes. L’algorithme de suivi n’est perturbé ni par le mouvement du joueur, ni par le mouvement de la caméra.

TAB. 1 – Energies et coefficients utilisés dans le processus de déformation du modèle de contour actif.

| Energie | Description | Coefficient |
|-----------|-----------------|--------------|
| E_{int} | Interne | $\alpha = 1$ |
| E_{ext} | Externe | $\beta = 2$ |
| E_{con} | Continuité | $a = 0,1$ |
| E_{bal} | Ballon | $b = 0,2$ |
| E_{cou} | Courbure | $c = 5$ |
| E_{gra} | Gradient | $d = 1$ |
| E_{ver} | Intensité Verte | $e = 0,01$ |

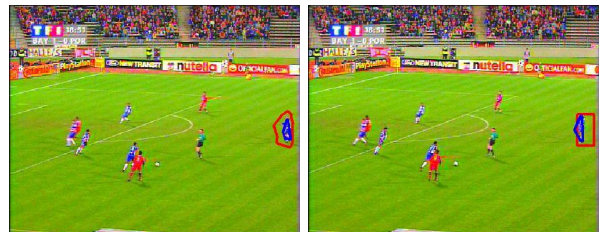


FIG. 1 – Contours initiaux et finals obtenus pour les deux premières images d’une séquence. Le contour initial a été initialisé manuellement sur la première image et de manière automatique pour les images suivantes.

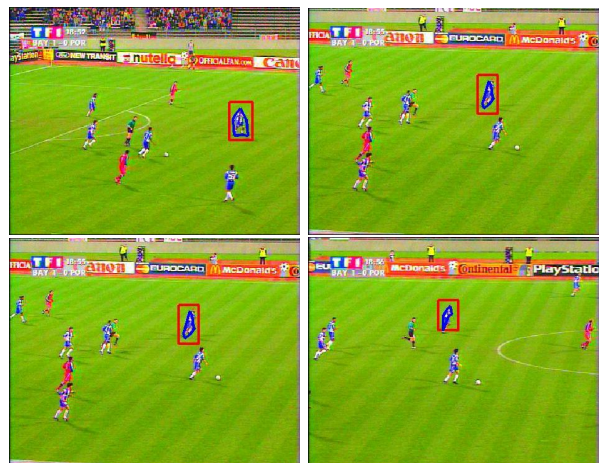


FIG. 2 – Contours initiaux et finals obtenus pour les 20^e, 40^e, 60^e, et 80^e images de la séquence. Les contours initiaux sont déterminés automatiquement à l’aide des contours finaux obtenus pour les images précédentes.

4.2 Les problèmes qui demeurent

La limite principale de la méthode proposée ici est liée à l'environnement de l'objet suivi, et plus particulièrement aux autres objets en mouvement présents dans la séquence ainsi qu'au fond de la scène. En fait, la méthode est capable de suivre un joueur tant qu'il n'est pas trop proche des autres joueurs présents dans la scène. Si l'objet suivi est proche d'un autre objet, le contour actif englobe les deux objets et la méthode n'est pas capable de séparer les deux objets lorsque ceux-ci s'éloignent l'un de l'autre. Le fond de la scène est lui aussi source de problèmes. Dans le cas d'images de match de football, le fond contient fréquemment des lignes blanches pour représenter les limites du terrain. Les pixels représentant ces lignes sont caractérisés par de fortes valeurs de gradient. Le contour actif se fixe alors sur ces lignes blanches. Ces deux problèmes sont illustrés par la figure 3.

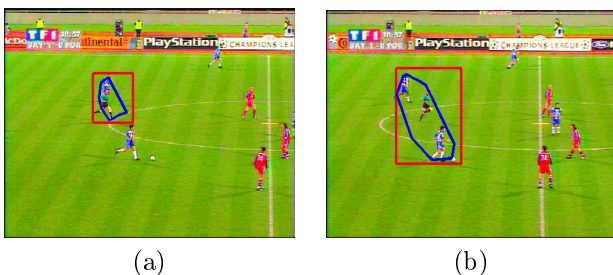


FIG. 3 – Contours initiaux et finals montrant : (a) la sensibilité au fond de la scène (et particulièrement les lignes blanches), et (b) l'impossibilité du contour actif à se séparer afin de suivre plusieurs objets.

Cette méthode a été testée sur une architecture PC à base de processeur Intel Celeron 600 et de 128 Mo de mémoire vive. Elle a été implémentée en Matlab. Le temps de traitement dans ce langage interprété est d'environ 2 secondes par image. Il est donc envisageable de considérer une exécution en temps-réel à l'aide d'une implémentation dans un langage compilé (comme le C).

Conclusion

La méthode présentée ici est capable de suivre des objets non rigides tels que les joueurs de football. Elle utilise une implémentation rapide du modèle de contour actif, sans filtrage global ni estimation de mouvement. Elle analyse des séquences d'images couleur et est robuste au mouvement de la caméra. Elle peut aisément être généralisée à d'autres applications telles que le suivi des déplacements de poissons dans un aquarium.

Les travaux à poursuivre concernent tout d'abord l'amélioration de la méthode afin de suivre des joueurs même s'ils sont proches d'autres objets en mouvement ou si le fond contient des zones de fort gradient comme des lignes blanches. Une étape de scission du contour va donc être ajoutée à l'algorithme afin de diviser le *snake* en deux contours actifs lorsque les deux objets vont s'éloigner l'un de l'autre. La robustesse aux zones de fort gradient présentes dans le fond de la scène va être obtenue en ajoutant

au modèle une nouvelle énergie liée à l'homogénéité du voisinage des points du contour. D'autre part, l'implémentation de l'algorithme sur une station multi-processeurs est envisagée pour suivre des objets en temps-réel (25 Hz). De plus il semble nécessaire de réaliser des tests sur d'autres types d'images pour vérifier que la méthode peut être facilement adaptée à d'autres contextes. Enfin, une étude concernant l'utilisation d'autres espaces de représentation couleur ainsi que d'autres énergies décrites dans la littérature [6] doit être menée.

Références

- [1] M. Kass, A. Witkin, et D. Terzopoulos, *Snakes : active contour models*, International Journal of Computer Vision, Vol. 1, No. 4, pp. 321–331, 1987.
- [2] A. Blake et M Isard, *Active Contours : the Application of Techniques from Graphics, Vision, Control Theory and Statistics to Visual Tracking of Shapes in Motion*, Springer-Verlag, 1999.
- [3] J. Denzler et H. Niemann, *Evaluating the performance of active contour models for real-time object tracking*, In Second Asian Conference On Computer Vision, Vol. 2, pp. 341–345, Singapour, 1995.
- [4] L.D. Cohen, *On active contour models and balloons*, Computer Vision Graphics, and Image Processing : Image Understanding, Vol. 53, No. 2, pp. 211–218, 1991.
- [5] N. Vandenbroucke, L. Macaire, C. Vieren, et J.G. Postaire, *Contribution of a color classification to soccer players tracking with snakes*, In IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics, Vol. 4, pp. 3660–3665, Orlando, 1997.
- [6] T. Gevers, S. Ghebreab, et A.W.M. Smeulders, *Color invariant snakes*, In 9th British Machine Vision Conference, pp. 578–588, 1998.