HAL
open science

Contours Actifs Paramétriques Multi-Cibles pour le Support de la Représentation de Domaines Ontologiques

Joanna Isabelle Olszewska

To cite this version:

Joanna Isabelle Olszewska. Contours Actifs Paramétriques Multi-Cibles pour le Support de la Représentation de Domaines Ontologiques. RFIA 2012 (Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle), Jan 2012, Lyon, France. pp.978-2-9539515-2-3. hal-00660970

HAL Id: hal-00660970

https://hal.science/hal-00660970v1

Submitted on 19 Jan 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contours Actifs Paramétriques Multi-Cibles pour le Support de la Représentation de Domaines Ontologiques

Multi-Target Parametric Active Contours to Support Ontological Domain Representation

Joanna Isabelle Olszewska
School of Computing and Engineering
University of Huddersfield, Queensgate, Huddersfield, HD1 3DH, UK.
{j.olszewska@hud.ac.uk}

Résumé

Dans cet article, nous présentons une approche de contours actifs multi-cibles (CAMC) utile pour le support de représentations de domaines ontologiques. Ainsi, les contours actifs développés fournissent aussi bien la segmentation que le suivi d'objets multiples non-rigides évoluant dans des scènes vidéo capturées par des caméras mobiles possédant des propriétés de calibration inconnues. La technique proposée des contours actifs paramétriques multi-cibles extrait des informations telles que la forme, la position, mais aussi l'intensité ou la couleur des objets détectés et de leurs parties. Ces données visuelles et numériques sont nécessaires pour alimenter la représentation de domaines ontologiques comme ceux de l'ontologie visio-spatio-temporelle qui implique des concepts sémantiques des objets et sous-objets de la scène aussi bien qu'un ensemble de relations spatio-temporelles, géométriques et photométriques entre eux. Notre approche appliquée à des scènes réelles encombrées montre d'excellents résultats de détection des objets d'intérêt reliés sémantiquement.

Mots Clef

Contours Actifs, Forme, Segmentation, Suivi d'Objets Multiples, Ontologie, Représentation des Connaissances, Relations Spatiales Horlogiques.

Abstract

In this paper, we present an efficient multi-target active contour approach useful for the support of ontological domain representations. The developed active contours provide both segmentation and tracking of multiple non-rigid objects evolving over video scenes captured by mobile cameras with unknown calibration properties. The proposed multi-target parametric active contour technique extracts information such as shape, position, but also intensity or color of the detected objects and parts of them. These visual and numeric data are necessary to feed the representation of ontological domains such as this of the spatio-temporal visual ontology which involves semantic concepts of scene objects and sub-objects well as a set of spatio-temporal, geometric and photometric relations between them. Our approach applied on real-world crowded scenes has shown excellent results in detection of semantically related objects of interest.

Keywords

Active Contours, Shape, Segmentation, Multi-Target Tracking, Ontology, Knowledge Representation, O'clock Spatial Relations.

1 Introduction

La compréhension automatique de scènes visuelles est une tâche complexe car elle requière à la fois des systèmes performants et robustes de vision par ordinateur ainsi que des représentations appropriées en termes de concepts et de relations sémantiques.

Dans ce travail, nous avons développé un système de vision permettant de détecter de multiples objets non-rigides potentiellement interagissant entre eux et évoluant rapidement sur un fond bruité et changeant.

De nombreuses méthodes de suivi conjoint de plusieurs objets vidéo imposent des contraintes au niveau de la caméra (stationnarité et/ou calibration connue, etc.) [26]. D'autre part, les systèmes de vision usuels représentent les objets détectés par des centroides elliptiques [7] ou rectangulaires [4]. Contrairement à tout cela, nous nous sommes concentré sur la méthode des contours actifs [11] qui sont des courbes bidimensionnelles évoluant dans le plan de l'image à partir d'une position initiale vers les frontières de l'objet d'intérêt. Cette approche permet à la fois la détection, l'extraction précise et le suivi d'objets dans des séquences dynamiques capturées par des caméras aussi bien statiques que mobiles [17], sans nécessité de la connaissance a priori de leur calibration ni de leur résolution.

La modélisation des contours actifs au moyen des courbes de niveau [22] permet la gestion directe des changements de leur topologie. En effet, la courbe peut naturellement se diviser ou fusionner à chaque temps t, puisque sa forme au temps t dépends seulement de l'intersection de la fonction de surface tridimensionnelle avec le plan défini par la courbe de niveau zéro. Cependant, les contours actifs géodésiques résultants nécessitent soient de grands temps de calcul, soient leur stabilité dans des situations encombrées est limitée, ce qui réduit leurs champs applicatifs [22].

Les changements de topologies des contours actifs implémentés par les contours actifs paramétriques requièrent l'utilisation de mécanismes complémentaires. Ainsi, le concept de contours grandissants [25] consiste en de très petits contours actifs qui commencent à la position où la valeur du gradient de l'intensité de l'image est la plus grande et continuent leur expansion vers les zones de grands gradients d'intensité. Quand deux de ces contours entrent en collision, ils sont fusionnés en un seul. Il est à noter que cette technique est très sensible à de petites variations de la position du contour qui peuvent alors altérer toute la topologie.

D'autre part, les contours actifs paramétriques peuvent être projetés sur une structure bidimensionnelle auxiliaire de type matrice et dont les éléments sont associés à une grille discrète comportant des cellules couvrant tout le domaine de l'image. Cette grille surimposée peut être triangulairement divisée comme dans le cas des T-contours [14]. Toutefois, cela introduit un biais directionnel. Ainsi, des améliorations ont été proposées comme le développement de divisions carrés dans le cas des contours boucles [16], mais cela entraîne la complication de la gestion des changements topologiques tels que la fusion ou la division des contours actifs paramétriques.

La contribution principale de ce présent article est l'extension de la méthode robuste des contours actifs paramétriques multi-caractéristiques pour assurer le suivi de plusieurs cibles à la fois, afin de fournir en temps réel les informations sur le domaine visuel qui sont nécessaires à la représentation des domaines de connaissance de type ontologique [8] comportant des concepts et des relations visuels, spatiaux et temporels [19].

Cet article est structuré comme suit. Dans la Section 2, nous décrivons notre approche de contours actifs paramétriques multi-cibles (CAMC). Leur application pour le support de la représentation de domaines ontologiques est présentée et validée dans les Sections 3-5. Les conclusions sont rapportées dans la Section 6.

2 Contours Actif Paramétriques Multi-Cibles (CAMC)

De manière à collecter automatiquement les informations visuelles telles que la forme des objets d'intérêt ou de leurs parties ainsi que des données numériques comme la position ou l'aire des objets cibles, nous proposons une approche par contours actifs paramétriques [17].

Un des avantages de cette technique est sa robustesse intrinsèque face aux changements d'apparence de la cible qui peuvent se produire dans des scènes dynamiques à cause des déformations des objets non-rigides et/ou des mouvements de la caméra. D'autre part, lorsque les contours actifs sont efficacement implémentés, ils permettent à la fois la segmentation et le suivi en temps réel d'objets d'intérêt fortement déformables. Dans ce but, nous avons adopté la méthode proposée par [17] qui fournit la forme et la position de l'objet cible d'une manière efficace d'un point de vue calculatoire. Cette approche permet aussi l'extraction d'informations telles que les valeurs de l'intensité et de la couleur, par exemple, dans l'espace (R,V,B).

En particulier, le contour actif est modélisé par une courbe plane paramétrique $\boldsymbol{\mathcal{C}}(s) : [0,1] \rightarrow \mathbb{R}^2$ [11] représentée par un formalisme B-Spline.

L'évolution du contour actif de sa position initiale vers sa position finale, qui est dictée par les caractéristiques désirées de l'image, est déterminée par l'équation dynamique 1 qui est dépendante de la force interne décrite par les propriétés mécaniques du contour (α : élasticité, β : rigidité) et de la force externe $\boldsymbol{\Xi}$ résultante des caractéristiques multiples de l'image [17].

$$\boldsymbol{\mathcal{C}}_t(s,t) = \alpha\, \boldsymbol{\mathcal{C}}_{ss}(s,t) - \beta\, \boldsymbol{\mathcal{C}}_{ssss}(s,t) + \boldsymbol{\Xi} \qquad (1)$$

La force externe $\boldsymbol{\Xi}$ (MFVF) [17] possède la capacité d'une large plage de capture et d'une convergence bidirectionnelle. En plus, elle allie les avantages propres aux propriétés des différentes caractéristiques extraites [17].

Basée sur cette approche de contours actifs paramétriques multi-caractéristiques, la détection et l'extraction d'un objet vidéo et des informations visuelles et géométriques associées se déroulent de la manière suivante. Etant donné un contour initial, l'algorithme pour le calcul du contour actif est appliqué à une image vidéo. Une fois qu'il atteint son état final, le contour actif délimite précisément l'objet d'intérêt. De plus, puisque les informations telles que l'intensité et/ou la couleur sont extraites lors du processus du calcul du contour actif, elles restent aussi disponibles après son calcul.

Dans ce travail, nous avons étendu cette approche à l'extraction de multiples objets d'intérêt. Dans ce cas, l'initialisation est faite séparément pour chaque objet cible. L'algorithme est alors calculé pour chaque objet de manière parallèle. Les contours actifs résultants sont alors générés rapidement et leur précision est celle des contours mono-cibles [17]. Nous observons que les contours actifs ainsi calculés (CAMC) sont grandement robustes et stables (Figs. 1-2) car ils ne présentent pas de problèmes de division et de fusion comme les méthodes de l'état de l'art [14], [16], [25]. Pour toutes ces raisons et à cause de la gestion séparée de chacun des contours, les objets cibles correspondants peuvent être précisément extraits (voir Section 5) et les parties de ces objets peuvent être identifiées. Ainsi, les objets et leurs sous-parties sont efficacement caractérisés en termes de formes et d'apparence. Ces informations peuvent être mises en correspondance avec les concepts relatifs d'ontologies telles que l'ontologie spatio-visio-temporelle [18], ce qui permet le raisonnement automatique, par exemple, sur les relations spatiales [19] entre ces objets et/ou leur parties comme décrit dans les Sections 3-4.

3 Applications des CAMC pour le Support de la Représentation de Domaines Ontologiques

Vue l'efficacité et la robustesse des contours actifs paramétriques multi-cibles (Section 2) et grâce au mécanisme présenté dans [18], les CAMC peuvent servir de support à la représentation de domaines ontologiques visio-spatio-temporels, plus générale et complète que des domaines ne contenant que des concepts visuels bas-niveau [5], ou uniquement des concepts relatifs aux objets [13] ou qui sont purement spécifiques à un type d'événements [3] ou d'applications particulières [1].

Dans la représentation adoptée [19], une scène visuelle peut être considérée comme un agrégat d'objets d'intérêt tous liés entre eux par des relations spatio-temporelles, géométriques et/ou photométriques. De plus, l'objet d'intérêt est conceptualisé en termes de forme, position et d'autres attributs relatifs aux propriétés du domaine d'observation visuelle.

Afin d'assurer la généralité de cette représentation, nous supposons que les caméras capturant les scènes peuvent être aussi bien fixes que mobiles et que leurs propriétés de calibration et de résolution sont inconnues [18].

Dans cet article, nous nous concentrons sur l'application de nos contours actifs multi-cibles (CAMC) comme sources d'information visuelles pour le domaine ontologique spatiale. Celui-ci comporte essentiellement trois types de relations spatiales : les relations topologiques [21], les relations de positions directionnelles relatives [18] et des relations de distance, taille et aire [19].

Afin d'illustrer au mieux le bénéfice de notre approche, nous présentons nos résultats dans le cas de relations spatiales "horlogiques" inter et intra objets dans la Section 4.

4 Expériences

Dans le but d'illustrer l'avantage majeur d'employer notre méthode de contours actifs multi-cibles présentée plutôt que d'autres méthodes de détection et de suivi d'objets, nous avons choisi le cas d'une fanfare en marche (voir Figs. 1-2) qui est un exemple présentant de grandes difficultés aussi bien pour les méthodes automatiques de segmentation et de suivi d'objets que pour les systèmes de connaissances utilisant des relations spatiales traditionnelles.

En effet, dans ce cas complexe, tous les objets d'intérêt sont en mouvement et se déplacent par définition à une même vitesse. Ainsi, toute méthode de détection d'objets s'appuyant sur le mouvement, comme par exemple [6], ne permet pas de distinguer les objets entre eux. Par ailleurs, dans une fanfare, les personnes, c'est-à-dire les objets d'intérêt, ont la même apparence car elles sont vêtues de la même manière. Par conséquence, toute technique de suivi de ces objets ou leur segmentation ne peuvent reposer sur des caractéristiques couleurs [12] ou sur l'apparence [10]. D'autre part, due à la grande densité de personnes dans ce genre de situation, la plupart des objets d'intérêt sont fortement occlus les uns par les autres, ce qui entraine que bon nombre de techniques automatiques de détection d'objets [23], [2] ne sont pas applicables car ne fournissent pas de résultats suffisamment discriminants.

Par ailleurs, notre méthode ne nécessite pas de connaissances a priori sur la forme ni la position des objets d'intérêt [24], [20] et permet ainsi son usage dans un plus grand nombre de séquences vidéo réelles.

Ainsi, notre approche CAMC appliquée au support de représentation de domaine ontologique de type spatial a été testé pour le cas de relations spatiales entre les objets d'intérêt (Section 4.1) et pour le cas de relations spatiales entre parties d'un objet (Section 4.2), détectés dans des scènes encombrées représentant une fanfare en marche et évalué comme rapporté dans la Section 5.

4.1 Relations Spatiales Inter Objets

Afin de procéder au raisonnement automatique sur les objets et leurs relations spatiales directionnelles relatives au sein d'une même scène encombrée et complexe, nous détectons au moyen de notre méthode CAMC un objet que nous considérons comme objet de référence O_{REF} (Fig. 1 (a)) et d'autres objets de la scène appelés par la suite objets relatifs O_{REL} (Fig. 1 (b)). Les caractéristiques visuelles (forme, etc.) et numériques (position, etc.) de ces objets sont mises en correspondance avec les concepts relatifs du domaine de l'ontologie visio-spatio-temporelle [19] au moyen du mécanisme décrit dans [18].

C'est ainsi que nous pouvons interagir avec notre ontologie comme expliqué dans [18] pour savoir, entre autre, quelles sont les relations spatiales directionnelles horlogiques qui relient l'objet de référence aux objets relatifs.

Ainsi, nous nous intéressons dans cet exemple aux trois objets de la scène illustrée à la Fig. 1 (b)). En interrogeant l'ontologie [18], il apparaît que les objets relatifs sont "à 7 heures" de l'objet de référence, en considérant que le concept sémantique "à 7 heures" (*7 o'clock*) est défini en logique descriptive [15] comme suit.

Soit $Angle$, l'angle relatif entre la droite O_{REF}–O_{REL} et l'axe X du plan de l'image, alors :

$$\begin{aligned} isAt7clockOf \sqsubseteq\ & Spatial_Relation \\ & \sqcap Relative_Distance_Relation \\ & \sqcap \exists O_{REF} \\ & \sqcap \exists O_{REL} \\ & \sqcap \exists Angle7clock \\ & \sqcap \exists inverse.isAt1clockOf \end{aligned} \tag{2}$$

avec

$$\begin{aligned} Angle7clock \equiv\ & Angle \\ & \sqcap \exists angle.value_{\leq \frac{8\pi}{6}} \\ & \sqcap \exists angle.value_{> \frac{7\pi}{6}} \end{aligned} \tag{3}$$

L'équation (3) dénote l'ensemble des angles qui ont des valeurs inférieures ou égales à $8\pi/6$ et strictement supé-

(a) calcul du contour actif de l'objet de référence

(b) calcul des contours actifs multi-cibles des objets relatifs externes

FIG. 1 – Détection automatique d'objets externes en relation spatiales relatives "à 7 heures" (b) par rapport à l'objet de référence (a), au moyen des contours actifs multi-cibles.

rieures à $7\pi/6$. Dans cet exemple, $\leq \frac{8\pi}{6}$ est le prédicat sur le domaine des nombres réels $\mathbb{R}$.

Le concept *7 o'clock* possède la propriété inverse est "à 1 heures" (*1 o'clock*). En effet, si un objet relatif (O_{REL}) est "à 7 heures" (*7 o'clock*) de l'objet de référence (O_{REF}), alors l'objet de référence est "à 1 heures" (*1 o'clock*) de l'objet relatif (O_{REL}).

En plus d'être sémantiquement interprétable, ce concept est plus précis que les relations traditionnelles du type "à gauche de" ou "en bas de" comme validé dans [18], et conduit ainsi une moindre ambiguité dans l'interprétation automatique de scènes encombrées telles que celle de la Figure 1. C'est ainsi que notre méthode CAMC permet de soutenir ce genre de concept car la détection des objets d'intérêt distincts est suffisamment robuste, précise et rapide comme discuté dans la Section 5.

4.2 Relations Spatiales Intra Objet

Afin de procéder au raisonnement automatique pour trouver au sein d'un objet complexe les parties de celui-ci caractérisées par des relations spatiales directionnelles relatives vis-à-vis de l'objet tout entier, nous détectons au moyen de notre méthode CAMC un objet que nous considérons comme objet de référence O_{REF} (Fig. 2 (a)) et une de ces parties appelée par la suite objet relatif O_{REL} (Fig. 2 (b)). Les caractéristiques visuelles (forme, etc.) et numériques (position, etc.) de cet objet et de son sous-objet sont mises en correspondance avec les concepts relatifs du domaine de l'ontologie visio-spatio-temporelle [19] au moyen du mécanisme décrit dans [18].

C'est ainsi que nous pouvons interagir avec notre ontologie comme expliqué dans [18] pour savoir, entre autres, quelle est la relation spatiale directionnelle horlogique qui relie l'objet détecté à son sous-objet.

Nous nous intéressons dans cet exemple aux deux objets de la scène illustrée à la Fig. 2 (b)). En interrogeant l'ontologie [18], il apparaît que le sous-objet ou objet relatif constitué par l'instrument du clarinettiste est à" 12 heures" de l'objet de référence, en considérant que le concept sémantique "à 12 heures" (*12 o'clock*) est définie en logique descriptive comme suit.

Soit $Angle$, l'angle relatif entre la droite O_{REF}–O_{REL} et l'axe X du plan de l'image, alors :

$$\begin{aligned} isAt12clockOf \sqsubseteq\ & Spatial_Relation \\ & \sqcap Relative_Distance_Relation \\ & \sqcap \exists O_{REF} \\ & \sqcap \exists O_{REL} \\ & \sqcap \exists Angle12clock \\ & \sqcap \exists inverse.isAt6clockOf \end{aligned} \tag{4}$$

avec

$$\begin{aligned} Angle12clock \equiv\ & Angle \\ & \sqcap \exists angle.value_{\leq \frac{\pi}{2}} \\ & \sqcap \exists angle.value_{> \frac{\pi}{3}} \end{aligned} \tag{5}$$

L'équation (5) dénote l'ensemble des angles qui ont des valeurs inférieures ou égales à $\pi/2$ et strictement supérieures à $\pi/3$. Dans cet exemple, $\leq \frac{\pi}{2}$ est le prédicat sur le domaine des nombres réels $\mathbb{R}$.

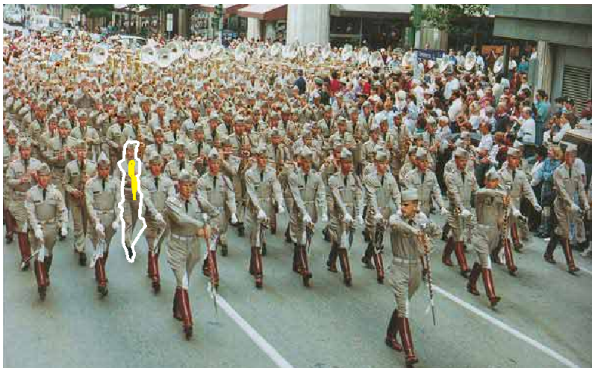
Le concept *12 o'clock* possède la propriété inverse est "à 6 heures" (*6 o'clock*). En effet, si un objet relatif (O_{REL}) est "à 12 heures" (*12 o'clock*) de l'objet de référence (O_{REF}), alors l'objet de référence est "à 6 heures" (*6 o'clock*) de l'objet relatif (O_{REL}).

Tout en étant équivalent à la relation traditionnelle du type "en haut de" et sémantiquement interprétable, ce concept donne la possibilité d'interpréter automatiquement des relations au sein d'un même objet complexe et vis-à-vis de celui-ci tel que présent dans la Figure 2. C'est ainsi que notre méthode CAMC permet de soutenir ce genre de concept car la détection à la fois d'objets d'intérêt et de leurs parties est suffisamment robuste, précise et rapide comme discuté dans la Section 5.

5 Evaluation

Dans les expériences précédentes, la détection des objets d'intérêt et de leurs parties a été obtenue en appliquant notre méthode CAMC. Afin d'évaluer quantitativement

(a) calcul du contour actif de l'objet de référence



(b) calcul du contour actif multi-cible de l'objet et de son sous-objet

FIG. 2 – Détection automatique d'un objet relatif interne en relation spatiale relative "à 12 heures" (b) par rapport à l'objet de référence (a), au moyen des contours actifs multi-cibles.

notre système de détection, nous mesurons sa précision définie telle que

$$precision\ de\ detection = \frac{\#\,contours\,corrects}{\#\,cibles}. \quad (6)$$

Pour les expériences décrites dans la Section 4, les valeurs de la précision de la détection des objets par différentes techniques sont présentées dans la Table 1.

	[11]	[22]	CAMC
précision de détection	0 [%]	50 [%]	100 [%]

TAB. 1 – Précision de la détection des objets d'intérêt

La précision de l'extraction des objets eux-mêmes par notre méthode CAMC est celle obtenue individuellement par chacun d'eux et à été étudiée en détail dans [17] tandis que l'ontologie a été évaluée dans [18].
Concernant notre méthode de contours actifs paramétriques multi-cibles (CAMC), le processus de détection d'objets multiples par calcul en parallèle de notre algorithme [17] est en fait une solution originale non proposée au préalable dans la littérature car elle est seulement possible (voir Table 1) si elle est basée sur les contours actifs multi-caractéristiques proposés dans [17]. En effet, lorsque l'on considère les scènes encombrées comme celles des Figs. 1-2, les méthodes traditionnelles ne sont pas suffisamment robustes que pour fournir les informations visuelles nécessaires dans ce genre de situations. En particulier, les techniques basées sur les courbes de niveaux [22] ont tendance à englober plusieurs objets d'intérêt c'est-à-dire à fusionner en un seul contour, tandis que les contours actifs paramétriques classiques [11] s'effondrent à cause de trop fort gradient d'intensité présents dans les scènes réelles complexes.
D'autre part, notre approche CAMC donne de meilleures résultats que les méthodes de segmentation de l'état de l'art qui souffrent en général de sur-segmentation ne permettant pas ainsi de clairement séparer les objets d'intérêt ou leurs parties du fond de l'image, ce qui est absolument nécessaire dans le genre d'application étudiée dans le présent article.
De plus, la méthode CAMC offre un suivi performant des objets [18] comparés aux méthodes traditionnelles qui se limitent au cas de caméras statiques comme dans [9], [13] ou caractérisant les objets cibles par des centroides [7] qui incluent aussi des parties du fond de l'image et n'offrent pas ainsi une représentation suffisante de l'objet en termes de forme et/ou d'apparence.
Ainsi, grâce à la double précision de détection et d'extraction de CAMC et aussi grâce à la disponibilité des informations fournies par CAMC à la fois sur l'objet tout entier et sur ses parties, notre méthode CAMC permet une meilleure description des objets par rapport aux méthodes uniquement centrées sur le suivi de objets par partie [4]. De ce fait, notre approche CAMC supporte la représentation de domaines ontologiques comprenant aussi bien des relations spatiales entre objets que celles à l'intérieur d'un même objet et faisant référence à celui-ci [19].

6 Conclusions

Dans cet article, nous avons présenté l'extension de la méthode des contours actifs paramétriques multi-caractéristiques pour permettre la détection et le suivi robuste, précis, et rapide de multiple objets et de leurs parties dans des scènes encombrées.
Notre approche est capable de supporter la représentation des domaines ontologiques de type visio-spatio-temporels. En particulier, elle permet d'aider le raisonnement automatique sur des concepts et relations sémantiques inter et intra objets détectés, comme par exemple les relations spatiales directionnelles relatives de type horlogique, représentées au moyen de la logique descriptive.

Références

[1] J. Atif, C. Hudelot, O. Nempont, N. Richard, B. Batrancourt, E. Angelini, and I. Bloch, "GRAFIP : A framework for the representation of healthy and

pathological cerebral information", in *ISBI'07*, Apr. 2007, pp. 205-208.

[2] S. Avidan, "Support vector tracking", *PAMI*, vol. 26, no. 8, pp. 1064-1072, Aug. 2004.

[3] M. Bertini, A. Del Bimbo, G. Serra, C. Torniai, R. Cucchiara, C. Grana, and R. Vezzani, "Dynamic pictorially enriched ontologies for digital video libraries", *IEEE Multimedia*, vol. 16, no. 2, pp. 42-51, Apr. 2009.

[4] E. Corvée and F. Brémond, "Body parts detection for people tracking using trees of histogram of oriented gradient descriptors", in *AVSS'10*, Aug. 2010, pp. 469-475.

[5] S. Dasiopoulou, V. Mezaris, I. Kompatsiaris, V. K. Papastathis, and M. G. Strintzis, "Knowledge-assisted semantic video object detection", *CSVT*, vol. 15, no. 10, pp. 1210-1224, Oct. 2005.

[6] P. Figueroa, N. Leite, and R. M. L. Barros, "Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis", *CVIU*, vol. 101, no. 2, pp. 122-135, Feb. 2006.

[7] J. Gomez-Romero, M. A. Patricio, J. Garcia, and J. M. Molina, "Context-based reasoning using ontologies to adapt visual tracking in surveillance", in *AVSS'09*, Sep. 2009, pp. 226-231.

[8] T. R. Gruber, "Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", *IJHCS*, vol. 43, no. 5-6, pp. 907-928, Nov. 1995.

[9] C. Hudelot, J. Atif, and I. Bloch, "Fuzzy spatial relation ontology for image interpretation", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 159, no. 15, pp. 1929-1951, Aug. 2008.

[10] J. Kang, I. Cohen, and G. Medioni, "Object reacquisition using invariant appearance model", in *ICPR'04*, Aug. 2004, pp. IV.759-IV.762.

[11] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes : Active contour models", *IJCV*, vol. 1, no. 4, pp. 321-331, Jan. 1988.

[12] A. Koschan, S. Kang, J. Paik, B. Abidi, and M. Abidi, "Color active shape models for tracking non-rigid objects", *PRL*, vol. 24, no. 11, pp. 1751-1765, July 2003.

[13] N. Maillot and M. Thonnat, "Ontology based complex object recognition", *IVC*, vol. 26, no. 1, pp. 102-113, July 2008.

[14] T. McInerney and D. Terzopoulos, "Topologically adaptable snakes", in *ICCV'95*, June 1995, pp. 840-845.

[15] B. Neumann and R. Moeller, "On scene interpretation with description logics", *IVC*, vol. 26, no. 1, pp. 114-126, Jan. 2008.

[16] A. Oliveira, S. Ribeiro, C. Esperança, and G. Giraldi, "Loop snakes : the generalized model", in *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Inf. Vis.*, July 2005, pp. 975-980.

[17] J. I. Olszewska, *Unified Framework for Multi-Feature Active Contours*, PhD Thesis, UCL, 2009.

[18] J. I. Olszewska and T. L. McCluskey, "Ontology-coupled active contours for dynamic video scene understanding", in *INES'11*, June 2011, pp. 369-374.

[19] J. I. Olszewska, "Spatio-Temporal Visual Ontology", in *VL'11*, Sep. 2011.

[20] N. Peterfreund, "Robust tracking of position and velocity with Kalman snakes", *PAMI*, vol. 21, no. 6, pp. 564-569, June 1999.

[21] D. A. Randell, Z. Cui, and A. G. Cohn, "A spatial logic based on regions and connection", in *Proceedings of the Int. Conf. on Know. Repr. and Reas.*, Oct. 1992, pp. 165-176.

[22] J. A. Sethian, *Level Set Methods and Fast Marching Methods*, Cambridge Press University, Cambridge, 2nd Ed., 1999.

[23] C. Stauffer and W. E. L. Grimson, "Adaptive background mixture models for real-time tracking", in *CVPR'99*, June 1999, pp. II.246-II.252.

[24] G. Tsechpenakis, N. Tsapatsoulis and S. Kollias, "Probabilistic boundary-based contour tracking with snakes in natural cluttered video sequences", *IJIG*, vol. 4, no. 3, pp. 469-498, July 2004.

[25] F. A. Velasco and J. L. Marroquin, "Growing snakes : Active contours for complex topologies", *PR*, vol. 36, no. 2, pp. 475-482, Feb. 2003.

[26] T. Zhao, R. Nevatia, and B. Wu, "Segmentation and tracking of multiple humans in crowded environments", *PAMI*, vol. 30, no. 7, pp. 1198-1211, July 2008.