

Un Système multi-agents auto-adaptatif pour la segmentation et la reconstruction de scènes 3D

S. Mazouzi ^{*}, M.C. Batouche ^{*} et Z. Guessoum ^{**}

^{*} *Laboratoire LIRE, Université de Constantine, ALGERIE*

smazouzi@wissal.dz

batouche@wissal.dz

^{**} *Laboratoire LIP6, Université de Pierre et Marie Curie, Paris, France*

Zahia.Guessoum@lip6.fr

Résumé: L'extraction des primitives géométriques contenues dans une image brute, représente une tâche critique à laquelle doit prêter une attention particulière tout système de vision artificielle. L'incertitude de l'information, issue de la segmentation des images, engendre dans le cas général, des représentations symboliques insatisfaisantes et souvent non utilisables. Dans ce travail, nous proposons une méthode basée sur l'utilisation d'un système multi-agents auto-adaptatif permettant une segmentation fiable d'une image 3D dense. La solution consiste à guider continuellement le processus de segmentation par une reconstruction partielles des primitives géométriques, qui sont obtenus à leur tour à partir des résultats courants de la segmentation. Les agents détecteurs de contour, qui représentent les agents de segmentation, adaptent, chacun, ses seuils de lissages et de détection en fonctions des agents qui lui sont interdépendants. De ce fait, un point de l'image n'est plus analysé uniquement en se basant sur sa valeur et sur celles de ses points voisins, mais en se basant aussi sur sa position par rapport aux agents détecteurs qui opèrent dans son voisinage. Cette position traduit la situation du point en question par rapport aux primitives géométriques reconstruites dans son voisinage. L'organisation spatiale des agents influence ces agents mêmes pour adapter leur manière de détection qui, elle même changera l'organisation des agents.

Mots clés: SMA auto-adaptatif, coopération, Segmentation, Image de profondeurs, reconstruction 3D.

1 Introduction

Conventionnellement, la segmentation d'image permet de mettre à la disposition du processus d'interprétation, l'information élémentaire qui lui est nécessaire pour appréhender le contenu de l'image [3]. Cependant, la communauté des chercheurs en vision artificielle et reconnaissance des formes, commencent à admettre que la segmentation ne devrait pas être vue comme un traitement de bas niveau, et de ce fait, ne doit pas être dissociée du processus d'interprétation. Ceci dit, une méthode de segmentation n'est jugée efficace que vis-à-vis des traitements qui lui sont successeurs. La source principale de problèmes en traitement de l'information visuelle, consiste en l'incapacité d'un système de prévoir, avec précision, l'environnement dans lequel s'exécutent les programmes d'interprétation [7]. Face à un environnement non ou mal modélisé, telle qu'une image brute, l'auto-adaptation s'avère une solution efficace pour la mise en oeuvre de méthodes robustes, dont les programmes peuvent continuer à fonctionner correctement devant des situations où ils devraient s'arrêter ou produire de faux résultats.

Afin d'introduire l'auto-adaptation dans les systèmes informatiques, deux grandes approches ont été suivies. La première est basée sur l'auto-adaptation du code [7], tandis que la deuxième est basée sur l'utilisation des agents et des systèmes multi-agents [5]. Dans ce travail, nous faisons recours à la seconde approche, pour proposer une architecture d'un système multi-agents auto-adaptatif pour la segmentation d'image et la reconstruction de scènes à partir d'image 3D denses. Pour notre système, l'auto-adaptation, permettra l'entrelacement des deux processus : le processus de lissage et la segmentation de l'image, d'une part, et le processus de reconstruction des primitives géométriques l'autre part. Cet entrelacement permet de fiabiliser les résultats de chacun des deux processus et offrira un système robuste qui surmonte la complexité et la variabilité de l'environnement dans lequel opère, à savoir une image 3D dense. Le principe d'entrelacement consiste à utiliser les résultats courants obtenus de la segmentation d'une région de l'image pour inférer une représentation symbolique partielle des primitives géométriques figurant dans la cette région, puis remettre ces primitives au processus de segmentation pour s'en servir afin d'améliorer la détection des points de contour.

La section suivante de l'article est consacrée aux principales approches d'utilisation des systèmes multi-agents en vision artificielle. Le long de la section 3 sont passés en revue les systèmes multi-agents auto-adaptatifs. Le framework utilisé est également présenté. L'architecture proposée est présentée dans la section 4, le long de laquelle nous axons sur les techniques de coopération et d'adaptation qui ont été adoptées, en montrant également le gain en robustesse et en fiabilité de la segmentation et de la reconstruction. Quelques résultats expérimentaux sont exposés et commentés dans la section 5. La section 6 est réservée à la conclusion du travail et à ses perspectives.

2 Etat de l'art et travaux précédents

2.1 Premier sous titre

Depuis plusieurs années, un intérêt particulier a été accordé à l'utilisation des systèmes multi-agents pour la résolution de problèmes en vision artificielle. Selon la dichotomie établie entre l'approche cognitive et l'approche réactive au sein de la communauté de l'agent, les systèmes de vision basée sur l'agent se sont scindés en deux grandes catégories distinctes. La première est celle des systèmes multi-agents cognitifs, où les agents utilisés, dit dans ce cas cognitifs, sont en nombre restreint et ayant une forte granularité. Ces systèmes se basent sur la coordination des différentes tâches du processus de vision, où chacune de ces tâches est prise en charge par un agent qui lui est dédié. L'affectation d'un agent à chacun des objets d'une image était également utilisée pour proposer des architectures de systèmes multi-agents cognitifs. La seconde catégorie, dite réactive, dont les travaux en vision sont rares et dont les systèmes proposés sont en stade de test et d'expérimentation, est basée sur l'utilisation d'une population dense d'agents réactifs avec une faible granularité. Ces systèmes utilisent l'image comme environnement dans lequel se déplacent les agents. Ces derniers utilisent et agissent sur l'image afin d'accomplir une tâche, souvent de bas niveau, du processus de vision.

Depuis plusieurs années, un intérêt particulier a été accordé à l'utilisation des systèmes multi-agents pour la résolution de problèmes en vision artificielle. Selon la dichotomie établie entre l'approche cognitive et l'approche réactive au sein de la communauté de l'agent, les systèmes de vision basée sur l'agent se sont scindés en deux grandes catégories distinctes. La première est celle des systèmes multi-agents cognitifs, où les agents utilisés, dit dans ce cas cognitifs, sont en nombre restreint et ayant une forte granularité. Ces systèmes se basent sur la coordination des différentes tâches du processus de vision, où chacune de ces tâches est prise en charge par un agent qui lui est dédié. L'affectation d'un agent à chacun des objets d'une image était également utilisée pour proposer des architectures de systèmes multi-agents cognitifs. La seconde catégorie, dite réactive, dont les travaux en vision sont rares et dont les systèmes proposés sont en

stade de test et d'expérimentation, est basée sur l'utilisation d'une population dense d'agents réactifs avec une faible granularité. Ces systèmes utilisent l'image comme environnement dans lequel se déplacent les agents. Ces derniers utilisent et agissent sur l'image afin d'accomplir une tâche, souvent de bas niveau, du processus de vision.

P. Remagnino et al. ont utilisé un système multi-agents, que nous qualifions de cognitif pour la surveillance de scènes dynamiques [6]. Les auteurs associent à chaque objet de la scène analysée, un agent. Le système utilise un réseau bayésien pour inférer une sémantique des mouvements des différents objets. Pour chaque objet de la scène, un agent de comportement « behaviour agent » est créé pour opérer au niveau objet. Le raisonnement de cet agent se fait sur la localisation, la vitesse, l'accélération et la trajectoire de l'objet. Pour une paire d'objets, un agent dit de situation « situation agent » est créé afin d'établir une hypothèse d'interaction, en terme de rapprochement ou d'éloignement, entre les deux objets.

Le système multi-agent proposé par Ramos et Almeida [8], est le système type basé sur l'approche réactive. Basé sur les colonies de fourmis artificielles, développées initialement par Chialvo et Millonous [1], le système procède à la segmentation d'une image à niveaux de gris, en la considérant comme environnement dans lequel se déplacent les fourmis. Les auteurs ont montré que certaines capacités perceptives (collectives) émergent des interactions locales ; entre les différents agents d'une part, et entre les agents et l'environnement d'une autre part.

3 Les systèmes multi-agents auto-adaptatifs

Les systèmes complexes sont caractérisés par leur interaction continue avec leur environnement. Pour ce genre de systèmes, les actions de certains agents modifient l'environnement dans lequel opèrent, et par conséquent changent, en retour, le comportement des autres agents. Au sein de ces systèmes, une organisation s'établit entre les agents et évolue en fonction des actions de ces derniers. Cette organisation est représentée par les liens qui s'établissent et évoluent au sein de ces agents.

Un système multi-agents auto-adaptatif est un système ouvert qui modifie continuellement sa structure en fonctionnant. Il possède une représentation de son environnement et une représentation de sa propre organisation [2]. Le système adapte, d'une façon continue, son organisation pour réagir aux variations de son environnement. Les changements sont perçus par les agents qui adaptent leurs actions (s'adaptent) en fonction du nouvel état de l'organisation. Un système multi-agents auto-adaptatif pourra être vu comme la superposition de trois composantes (Fig. 1) :

Composante d'agents du domaine : formée d'agents du même type et qui ont la capacité de traiter une certaine classe de problèmes. Opèrent continuellement et d'une façon autonome en fonction de leur objectif et en fonction de l'évolution de leur environnement. Les agents sont connectés entre eux via un réseau d'accointances, servant de support de communication explicite entre ces agents.

Composante adaptative : Représente l'organisation établie au sein des agents du domaine. Modélisée par un réseau d'interdépendances, où les nœuds correspondent aux agents du domaine, tandis que les liens entre ces nœuds correspondent aux interdépendances entre les agents.

Composante de couplage : formée d'un ensemble d'agents moniteurs dont le rôle est d'observer continuellement la première composante (agents du domaine), établie un état de cette composante et mettre à jour l'état de la composante adaptative (organisation).

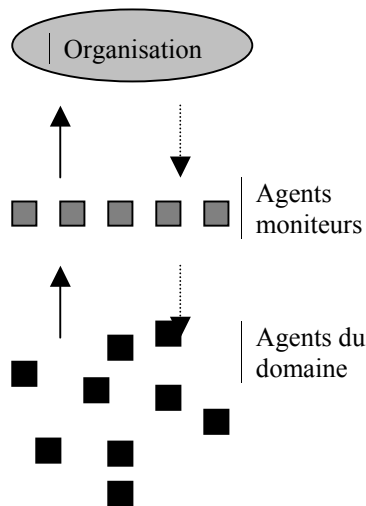


Figure 1. Framework d'un système multi-agents auto-adaptatif.

4. Architecture du système proposé

Un système multi-agents auto-adaptatif, selon le framework cité précédemment, nous a permis la mise en œuvre d'une méthode de segmentation-reconstruction basée sur la coopération de deux processus : Le processus de détection des points de contours et le processus de reconstruction des primitives géométriques. Les agents de domaine correspondent aux agents détecteurs des points de contours. Ces derniers utilisent un opérateur de lissage par la moyenne et un opérateur de détection par le calcul de variation du vecteur normal à la surface [4]. Les seuils de ses opérateurs sont propres à chaque agent et sont ajustés en fonction de l'organisation établie au sein de la population d'agents. Les agents moniteurs sont chargés d'estimer les primitives géométriques en utilisant les chaînes de points de contours extraits et communiquées par les agents détecteurs (Fig. 2). Ces primitives sont, ensuite, utilisées pour mettre à jour le réseau d'interdépendances qui

représente la nouvelle organisation établie au sein des agents détecteurs. En retour, les agents moniteurs estiment les nouveaux seuils de lissage et de détection pour tous les agents détecteurs et leur communiquent les nouvelles valeurs. Les valeurs de ces seuils, pour un agent détecteur donné, dépendent des degrés d'interdépendance aux autres agents opérant dans son voisinage.

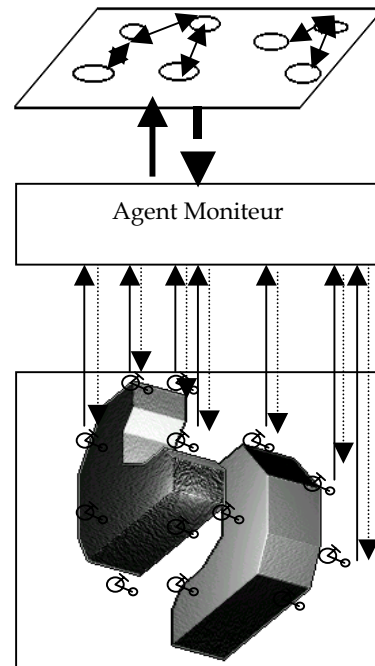


Figure 2. Architecture d'un SMA pour la reconstruction de scènes 3D.

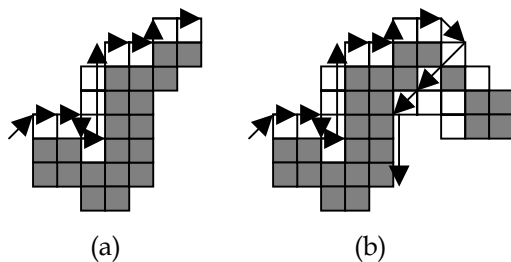
4.1 L'agent détecteur

Représente l'agent du domaine, opérant au sein de l'image. Il possède une autonomie vis-à-vis de ses paires et un objectif qui consiste à l'exploration de l'image à la recherche d'un point de contour et ensuite, de suivre le contour détecté en se maintenant toujours à son bord. Ces agents sont lancés au départ en nombre important dans l'image et commencent à se déplacer aléatoirement à la recherche d'un premier point de contour en lissant l'image sur leur parcours. Une fois, un point de contour détecté par un agent donné, se dernier continue à suivre le segment de contour correspondant.

Un agent détecteur est caractérisé par un ensemble d'attributs dont ; l'état courant (en exploration, en suivi), la position courante (x,y) dans l'image, la dernière direction (dx,dy) et les deux seuils ; de lissage et de détection (SL, SD), ainsi que la reconstruction du dernier segment de droite parcouru par l'agent. Loin des contours, un agent détecteur se déplace aléatoirement (change aléatoirement sa direction) en effectuant un lissage de son parcours. A la rencontre du premier point de contour, l'agent essaye de se maintenir au bord du contour détecté. Afin que l'agent puisse rester au voisinage du

contour et ne se détache pas de ce dernier, le point suivant sur lequel se déplacera est celui adjacent au contour et entouré par le maximum de points de contours (Fig. 3.a).

La dernière heuristique, qui permet à l'agent détecteur de se maintenir sur son chemin le long d'un contour, engendre un problème particulier qui consiste en la possibilité qu'un agent se bascule sur l'autre côté du contour et prend le sens inverse sur le même segment (Fig. 3.b). Ceci n'affecte en rien la robustesse du système, peut être même la consolide. Par contre il affecte son performance, par le fait qu'un agent re-parcours le même segment sur l'autre côté et peut tomber dans une boucle autour d'un même segment, et qui peut être court et donc, non pertinent pour le processus de reconstruction.



- (a) L'agent se déplace sur les points les plus entourés par les points de contour.
 (b) L'agent bascule d'un côté à l'autre d'un même contour et peut tomber dans une boucle infinie autour d'un même segment.

Figure 3. Suivi des points de contours

4.2 L'agent moniteur

Dans la version actuelle du système, un seul agent moniteur est utilisé. Ce choix est justifié par le fait que la périodicité par laquelle un même agent détecteur sollicite l'agent moniteur est un multiple élevé de la périodicité de l'agent détecteur dans son déplacement dans l'image, ainsi que par le mode asynchrone de communication entre les agents. Le rôle de l'agent moniteur est de tenir et mettre à jour la structure de l'organisation qui s'établit au sein de la population des agents détecteurs. L'agent moniteur reçoit, d'une manière asynchrone, les explorations récentes des différents agents détecteurs, accompagnées des derniers segments de droite reconstruits. Pour chaque agent détecteur, suivant un contour, son segment de droite est ajusté en fonction de sa nouvelle position. L'organisation est mise à jour par le changement des liens entre l'agent en question et les différents agents opérant dans son voisinage. Les seuils de lissage et de détection sont calculés en considérant la nouvelle organisation au sein des agents détecteurs. Ces seuils, ainsi que le segment de droite ajusté, sont ensuite communiqués à l'agent détecteur afin de lui permettre d'adapter son degré de lissage et celui de détection. Le segment reconstruit par l'agent moniteur est mémorisé au

niveau de l'agent détecteur et représente l'état interne de ce dernier.

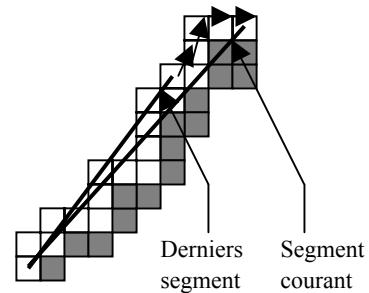


Figure 4. Reconstruction de segments

4.3 Interdépendance et coopération au sein des agents détecteurs

L'organisation établie au sein de la population des agents détecteurs représente les degrés d'interdépendances entre les différents agents du domaine. Deux agents sont en interdépendance spatiale s'ils sont entraînés à parcourir deux segments de la même droite (ayant approximativement la même direction) et leur degré d'interdépendance est fonction de la distance entre eux, et du degré d'alignement de leurs directions. L'agent moniteur, en prenant en compte l'organisation établie au sein des agents détecteurs, communique à chacun de ces derniers, le segment de droite sur lequel se trouve actuellement, ainsi que les seuils de lissage et de détection les plus appropriés pour poursuivre le contour. Un agent détecteur en suivant le bord du contour peut éventuellement quitter un segment pour se retrouver sur un autre. Ceci se manifestera par la disparition de certains liens et l'apparition de certains autres au niveau de l'organisation des agents détecteurs.

Deux agents détecteurs sont en interdépendance pour le suivi du même segment, et par conséquent liés dans l'organisation établie par l'agent moniteur, si les chaînes de points les plus récentes, parcourues par chacun d'eux, forment deux segments suffisamment colinéaires. Le lien d'interdépendance est renforcé si les deux agents sont proches l'un de l'autre. Ce postulat, renforcé par l'observation des résultats expérimentaux nous a conduit à proposer l'expression d'interdépendance entre deux agents détecteurs. Soit D_i et D_j les deux segments de droites parcourus récemment, respectivement par les deux agents A_i et A_j . La fonction $W(i,j)$ quantifie l'interdépendance entre les deux agents :

$$W(i, j) = \begin{cases} k \cdot \frac{|\cos(D_i, D_j)|}{\sqrt{d(A_i, A_j)}}, & \text{si } d(A_i, A_j) < \text{Seuil}_{dist} \\ 0, & \text{sin on} \end{cases}$$

où $d(A_i, A_j)$ dénote la distance euclidienne entre les deux agents A_i et A_j , k , un facteur de normalisation, utilisé pour faire borner les valeurs d'interdépendance et

Seuil_dist, le rayon d'influence d'un agent détecteur sur ses paires figurant dans son voisinage.

Pour un agent détecteur AI, son seuil de lissage SL est obtenu à partir de toutes ses interdépendances, soit $W(l,*)$.

$$SL = SL_0 - EL \left(\frac{1}{|W(l,*)|} \sum_{j=1}^{|W(l,*)|} W(l,j) \right)$$

avec, SL_0 le seuil de lissage initial et EL l'écart maximale par rapport au seuil initial de lissage. Le seuil de lissage ainsi défini, donne aux agents isolés, une forte puissance de lissage afin de prévenir le détecteur de tombé dans une boucle de faux points de contour. Par contre les agents qui sont sous influences de d'autres vont se retrouvés avec un facteur de lissage plus faible car ils sont plus probablement sur des segments de contour, et dans ce cas, un lissage fort risque d'effacer le contour. Le lissage est affaibli au maximum en cas de parfaite colinéarité des segments parcourus par des agents en interdépendance. Ceci correspond à la situation où tous les agents liées entre eux sont entrain de parcourir le même segment.

Le seuil de détection SD est ajusté en utilisant toutes les interdépendances $W(l,*)$ d'un agent détecteur, soit AI.

$$SD = SD_0 + ED \left(\frac{1}{|W(l,*)|} \sum_{j=1}^{|W(l,*)|} W(l,j) \right)$$

où, SD_0 et ED dénotent respectivement le seuil minimal, et l'écart maximal de détection. Un point de l'image est considéré comme points de surface, loin d'un contour, si la variation du vecteur normal à la surface en ce point, est inférieure au seuil de détection SD . Le seuil minimal est utilisé lorsque l'agent est en exploration de l'image à la recherche d'un point de contour. Dans cette situation, l'agent est stricte dans la détection et ne considère le point parcouru comme point de contour que s'il y a une forte variation autour de ce point. Cependant, lorsque l'agent est en interdépendance avec d'autres agents, et par conséquent les points parcourus sont, fort probablement, des points de contours, l'agent devient moins stricte et accepte un point comme point de contour, avec une variation moindre autour de son voisinage.

5. Expérimentation et évaluation

Afin de montrer l'intérêt de la coopération au sein du système proposé, les résultats de segmentation et de reconstruction sont exposés et comparés dans deux situations différentes. La première correspond au cas où les agents détecteurs sont en totale autonomie sans aucun mécanisme de coopération. L'agent moniteur était désactivé, et dans ces conditions les agents détecteurs vont évolués indépendamment de toute organisation. Chaque agent continue le traitement avec les seuils initiaux de lissage et de détection (Figure 5). La seconde

situation correspond au cas où les agents détecteurs adaptent leurs comportements en fonction de leurs interdépendances.

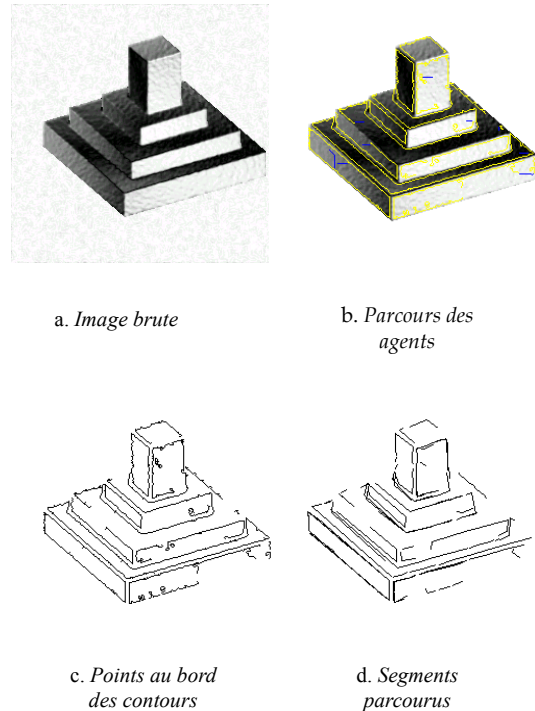


Figure 5. Segmentation avec désactivation de la coopération

Dans ce cas le mécanisme de coopération est fonctionnel via la structure organisationnelle qui s'établie au sein de la population des agents détecteurs et se maintient et se met à jour par l'agent moniteur (Fig. 6).

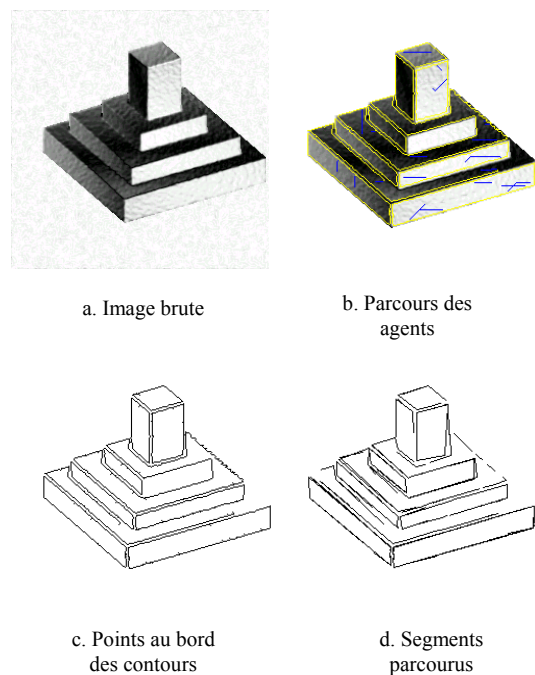


Figure 6. Segmentation avec activation de la coopération

Les résultats obtenus montrent un net intérêt de l'utilisation du mécanisme de coopération. Dans les deux situations, 40 agents détecteurs ont été lancés dans l'image après lui avoir retiré le fond afin de concentrer les agents sur les objets de la scène.

Le degré de coopération peut être mis en évidence par la quantification du nombre d'agents ayant coopéré pour adapter leur comportement. Pour une population de 40 agents, il est ressorti sur le diagramme suivant (Fig. 7), pour chaque agent détecteur, le nombre total de segments détectés par cet agent, et le nombre de segments détectés uniquement par ce dernier. L'écart entre ces deux derniers nombres représente donc, le nombre de segments qui ont été détectés par d'autres agents, donc les agents ayant fort probablement coopéré avec l'agent en question. La surface située entre les deux courbes est un bon estimateur du degré de coopération entre les 40 agents utilisés.

En terme de robustesse, les résultats précédents montrent une nette amélioration de la qualité de segmentation et de celle de reconstruction, comparé aux résultats obtenus sans coopération et sans auto-adaptation, ainsi qu'aux résultats d'un système classique. En effet, la redondance des agents détecteurs ainsi que le mécanisme de coopération et d'auto-adaptation favorisent la robustesse du système. Cependant, la performance d'un tel système demeure discutable, du fait que la redondance ainsi que l'autonomie relative des agents vient au contraire à la performance et l'optimisation d'utilisation des ressources. Ce problème pourra être montré par le calcul du nombre de segments reparcourus par le même agent (Fig. 8). Ce nombre représente le degré de redondance de reconstruction de segments et reflète, en partie, l'aspect non optimal du système.

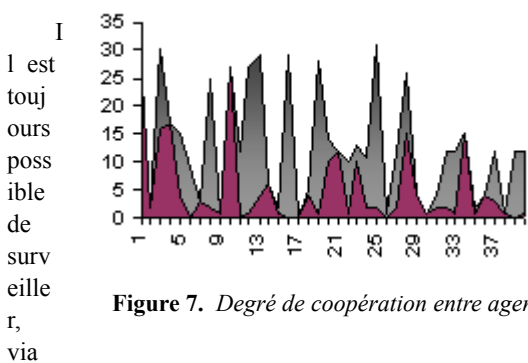


Figure 7. Degré de coopération entre agents

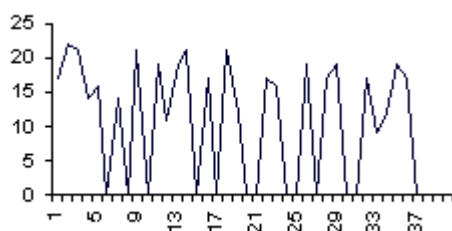


Figure 8. Nombre de segments redondants

l'agent moniteur ou par l'agent détecteur lui-même, les situations dans lesquelles l'agent détecteur boucle sur le même ensemble de segments et de changer, en conséquence son comportement, en le lançant par exemple, pour effectuer une nouvelle exploration. Cependant, ceci peut affecter le mécanisme de coopération, car certains agents peuvent être ou peuvent devenir en interdépendance avec ce dernier agent. Autrement dit, l'agent est laissé en boucle sur le même ensemble de segments pour aider d'autres agents dans leurs tâches.

6. Conclusion et perspectives

Dans ce travail, une nouvelle méthode de segmentation-reconstruction a été proposée. Contrairement aux articles publiés dans la littérature, et qui mettent l'accent sur les opérateurs de détection de contours ou de segmentation en régions, nous avons abordé le problème de segmentation en terme de coopération et d'auto-adaptation des traitements. L'entrelacement du processus de la segmentation et celui de la reconstruction des primitives géométriques, nous a permis de mettre en place un mécanisme de coopération et d'adaptation au sein d'une population d'agents réactifs chargée de segmenter une image 3D dense.

En perspective, nous projetons de regrouper les segments en facettes ensuite procéder à un raffinement de la segmentation et de la reconstruction, qui seront, dans ce cas, guidée par des structures géométrique d'un niveau sémantique supérieur. L'utilisation de plusieurs agents moniteurs est également envisagée avec la mise en place d'une politique d'affectation des agents détecteurs aux différents agents moniteurs et la mise en oeuvre d'une architecture de communication entre ses derniers.

Références

- [1] D. Chialvo, and M. Millonas, How Swarms Build Cognitive Maps, in: L. Steels (editor), *The Biology and Technology of Intelligent Autonomous Agents*, pp 439-450, NATO ASI Series, 1995.
- [2] Z. Guessoum et al., A fault-tolerant multi-agents framework. In *ACM editor, First international workshop on challenges in Open Agent systems*, Bologna 2002.
- [3] R. Horaud et O. Monga, *Vision par ordinateur, outils fondamentaux*, Edition Hermes, Paris, 1995.
- [4] S. Mazouzi, M. Chaouki et M. Redjimi, Segmentation d'images par réseaux de neurones avancés, *ISPS 2003*, Alger, 2003.
- [5] J-P. Muller, Modélisation organisationnelle en systèmes multi-agents. In *7eme Ecole d'été de l'ARCo*, Bonas, 2000.
- [6] P. Remagnino, T. Tan and K. Baker, Multi-agent visual surveillance of dynamic scenes, *Image and vision computing, Elsevier Ed.*, vol. 16, pp 529-532, 1998.
- [7] P. Robertson, An architecture for self-adaptation and its application to aerial image understanding, Internal report, Oxford, 2000.
- [8] V. Ramos and F. Almeida, Artificial Ant Colonies in Digital Image Habitats, in: *Dorigo, M. et al (editors)*,

*Proceedings of ANTS'2000 - 2nd International
Workshop on Ant Algorithms* pp 113-116, Brussels,
Belgium, 2000.