

SEGMENTATION AUTOMATIQUE D'ANGIOGRAPHIE
CARDIAQUE

NEYRAN B. - CHARRY M.C

BARBIER B. - ODET C.

Laboratoire de Traitement du Signal et Ultrasons URA CNRS n° 1216 - INSA Lyon
Bat 502 - 20 avenue Albert Einstein 69621 Villeurbanne

RÉSUMÉ

La segmentation consiste en un prétraitement qui se compose d'un filtrage, d'un seuillage et d'une squelettisation, et d'autre part d'une recherche de contours. Le suivi hiérarchique du squelette en s'aidant de l'image de contours permet d'obtenir une méthode robuste donnant un résultat facilement interprétable sur le plan anatomique.

1 - INTRODUCTION

Pour détecter les lésions vasculaires ou guider les gestes interventionnels, le médecin ne dispose actuellement que d'une radioscopie 2D obtenue après injection d'un produit de contraste, encore appelée angiographie. En ce qui concerne les gestes interventionnels, la prise de vue et l'affichage en temps réel de deux images obtenues dans des conditions stéréoscopiques offrent au praticien une vision tridimensionnelle. Pour la détection des rétrécissements des vaisseaux (sténoses), le diagnostic ne se fait pas en temps réel mais sur des radiographies prises sous des angles différents. Un nombre important de travaux portent sur leur détection et leur calibration.

La détection consiste à inspecter l'ensemble des vaisseaux. Ce travail est perturbé par la complexité du réseau vasculaire qui, une fois projeté sur une image, présente de nombreux croisements et bifurcations. Le profil densitométrique des vaisseaux est alors perturbé à ce niveau, ce qui fausse une détection des sténoses uniquement basée sur des critères locaux. Il s'avère nécessaire de reconnaître la structure tridimensionnelle de l'arbre vasculaire. Cette connaissance devrait permettre de lever un grand nombre d'ambiguïtés et problèmes que l'on rencontre lors de la détection des sténoses en utilisant des méthodes locales.

Cette reconstruction tridimensionnelle peut se faire soit à partir de deux vues orthogonales (biplan) soit avec deux images prises sous un angle stéréoscopique. Dans les deux cas, une mise en correspondance automatique en travaillant directement sur les images en niveau de gris est un problème long et

ABSTRACT

The image is first segmented on one hand with a filter, an adaptive threshold and a skeletonisation, and on the other hand with an edge detection algorithm. Then the skeleton is hierarchically tracked with the help of the edge image. That yields to a robust method because the biggest vessels are always treated first which decrease the number of ambiguities. Moreover the result is anatomically easy to understand.

difficile. Afin de simplifier cette étape on cherche à réaliser une segmentation rapide et automatique du réseau vasculaire.

Certains travaux cherchent directement le squelette des vaisseaux sur l'image initiale. Smet et al. [SME-88] ne retiennent que les points présentant un maximum d'intensité. Le résultat est un ensemble de points non connexes rassemblés en segments. De façon indépendante la recherche des contours fournit l'information sur le diamètre des vaisseaux. La ligne centrale et les contours forment un barreau dont l'assemblage au niveau des bifurcations et croisements se fait en utilisant une base de connaissances. Nguyen et Sklansky [NGU-86] cherchent dans une fenêtre 5x5 les maximums locaux de même direction pour trouver les points du squelette. La réduction des points est obtenue en vérifiant l'existence de contours dans cette fenêtre. L'estimation du diamètre se fait en cherchant le maximum du gradient dans une direction perpendiculaire au squelette. La fusion d'une recherche effectuée de haut en bas et d'une autre effectuée de droite à gauche améliore le résultat. Collorec et al. [COL-88] font un suivi de crête optimisé par programmation dynamique qui offre l'avantage de donner un arbre continu. Camillerap et al. [CAM-87] combinent les résultats de deux études monodimensionnelles, une horizontale, l'autre verticale et introduisent des règles de réécriture pour améliorer le résultat. Anakök et al. [ANA-89] font un seuillage adaptatif avec un calcul de distances sur l'image seuillée pour déterminer le diamètre des vaisseaux. Les segments sont ensuite assemblés en utilisant un modèle de l'arbre vasculaire. Les travaux concernant le suivi des vaisseaux [SUN-89] fonction-



nent de façon automatique seulement sur un segment ne présentant ni croisement ni chevauchement.

Dans le but d'augmenter la rapidité du suivi, on a choisit de l'effectuer non pas sur l'image de départ mais sur une image déjà traitée et simplifiée par une série de traitements globaux parallélisables. Pour cela, nous effectuons d'une part un seuillage, une squelettisation et un calcul du diamètre, et d'autre part un calcul de gradient. Le suivi qui est par nature séquentiel se fait sur les points du squelette en s'aidant de l'image des contours. Dans le but d'augmenter la robustesse de cette opération, le suivi s'effectue de façon hiérarchique, ce qui permet de faire une première interprétation du réseau vasculaire.

1 - PRETRAITEMENT

1-1-FILTRAGE

Il est possible d'effectuer un filtrage médian sélectif sur les parties de l'image ne contenant a priori pas de vaisseau. Comme les vaisseaux apparaissent avec un niveau de gris plus élevé, le choix de ces zones est effectué en regardant si sur une fenêtre 5x5 on a un écart assez faible entre les niveaux minimum et maximum et une valeur médiane peu élevée par rapport au niveau moyen de l'image. L'amélioration apportée par ce filtrage n'est pas très importante.

1-2-SEUILLAGE ADAPTATIF

On effectue un seuillage adaptatif en travaillant sur une fenêtre de taille variable adaptée à la taille des vaisseaux présents dans cette zone. Elle ne doit pas être trop petite, pour éviter que sa taille ne soit inférieure à celle d'un vaisseau, auquel cas le seuillage n'a plus de signification. On choisit une taille de 32x32 lorsque la valeur moyenne est supérieure à une valeur d et une taille de 16x16 dans le cas contraire. Le calcul du seuil se fait suivant les caractéristiques statistiques de la fenêtre soit de façon automatique si l'histogramme présente une allure bimodale, soit si ce n'est pas le cas, en fonction de l'écart type, suivant la formule :

$S = m + \alpha (255-m)/\sigma$ où m est la valeur moyenne, σ l'écart type et α un coefficient de réglage. Si σ est grand un petit vaisseau peut se trouver dans la fenêtre, le seuil est alors peu élevé. Si m est faible on a peu de chance d'avoir un vaisseau, le seuil est plus grand. Le choix entre les deux cas se fait sur le critère de séparabilité s (variance maximum interclasse) de la méthode automatique.

La figure 1 illustre la variation des différents paramètres : (1a) image de départ, (1b) image seuillée avec $d=127$ $\alpha=2$ $s=2500$, (1c) image seuillée avec $d=127$ $\alpha=1$ $s=1500$. On observe une différence au niveau des fins de vaisseaux qui sont plus ou moins mélangées avec le bruit, mais pas de changement sur les gros vaisseaux, ce qui ne change que très peu le suivi du squelette.

1-3-SQUELETTISATION, CALCUL DU DIAMETRE

On emploie la méthode classique de Hilditch [PAV-82] pour obtenir le squelette de l'image seuillée. La méthode de squelettisation rapide CGT [XU-87] permet un gain de temps d'un facteur 3 mais le manque de précision du squelette nous a fait préférer la première méthode. On calcule le diamètre des vaisseaux en employant la méthode de transformation des distances [MIL-86] qui approxime la longueur de la diagonale entre deux pixels par la valeur 1.5 pixel. Le résultat est donné par la figure 2.

1-4-CONTOUR

De façon indépendante on calcule le gradient de l'image de départ avec l'algorithme de Deriche [DER-87]. Le module du gradient est ensuite seuillé de façon automatique sur toute l'image, en faisant l'hypothèse de bimodalité de l'histogramme. Le résultat est donné par la figure 3.

1 - SUIVI

A chaque bifurcation, on fait l'hypothèse que le vaisseau se sépare en une branche principale et une branche secondaire. Afin de lever les ambiguïtés posées par le chevauchement des vaisseaux sur l'image, on fait un suivi hiérarchique de l'arbre vasculaire en commençant par les branches les plus importantes du réseau avant d'étudier les vaisseaux secondaires. A chaque bifurcation, le choix du vaisseau principal et du vaisseau secondaire se fait à partir des critères de continuité de direction et de diamètre.

Les points de départ sont choisis de façon automatique dans une zone réduite de taille 32x32 en considérant les points qui présentent un diamètre et une intensité maximum. Le suivi du squelette se poursuit en considérant les voisins du point actuel dans la direction courante du vaisseau et ses directions perpendiculaires. Suivant le nombre de voisins différents cas sont possibles :

- 0 : le bras courant est terminé
- 1 : cas normal
- 2 : bifurcation simple
- 3 : croisement

La première sélection ne prend en compte que l'information contenue dans l'image squelettisée et sur un horizon de un pixel. Il faut ensuite vérifier et interpréter cette première sélection et avoir contrôler la consistance des branches qui démarrent.

Il est possible que par un défaut de segmentation et/ou de squelettisation, de fausses branches se trouvent sur le squelette. A ces parties ne correspond aucun vaisseau, donc aucun bord de vaisseau. Afin d'éliminer ces imperfections on utilise l'image des contours en suivant chaque branche sur un horizon d'une longueur égale à deux fois le rayon, et en se reportant à l'image des contours pour vérifier leur existence de chaque côté du squelette à une distance égale à la valeur du rayon. Suivant la première sélection différents cas sont possibles :

0 : il faut vérifier si on est réellement sur la fin d'une branche ou sur une coupure causée par un défaut de la segmentation. On augmente l'horizon de

recherche de 1 à 5 pixels pour chercher un peu plus loin un morceau de branche semblable.

1 : si le point trouvé a été traité auparavant, on est en présence d'une boucle qu'il faut interpréter (Ce qui correspond au quatrième cas).

2 : pour savoir si on a affaire à un noeud ou un croisement, on remonte la branche courante sur 5 pixels en cherchant une autre bifurcation interprétable avec celle que l'on étudie, comme un croisement légèrement décalé. On vérifie la concordance des directions et des diamètres et si elle existe, les deux bifurcations sont traitées comme un croisement.

3 : il y a un croisement de deux vaisseaux.

Le numéro du cas est mis à jour en accord avec le résultat de la vérification. La procédure correspondante est ensuite appliquée :

0 : la branche suivante dans la file d'attente de même niveau hiérarchique, ou s'il n'en reste plus celle de niveau inférieur, est traitée.

1 : le suivi se poursuit en mettant à jour la direction de la branche actuelle.

2-3 : on sélectionne la branche principale en laissant les branches secondaires dans une file d'attente ou en marquant le croisement afin de ne pas avoir de problème lors du suivi du vaisseau croisé

4 : la boucle est interprétée en s'aidant du niveau hiérarchique des branches. On met à jour l'arbre coronaire en accord avec l'interprétation choisie.

1 - RESULTATS

La figure 4 donne le résultat du suivi : image (4a) suivie de l'image seuillée (1a). On a appliqué la méthode sur une image du même réseau prise avec une différence angulaire de 6° , ce qui donne l'image résultat (4b). La structure principale du réseau est encore conservée. On constate la cohérence de la structure hiérarchique du réseau. La durée du prétraitement est assez longue (quelques minutes) puisque elle est réalisée pour l'instant de façon séquentielle. Cette partie devrait être fortement parallélisable. Le suivi quant à lui s'effectue en 5s sur un ordinateur Digital microvax 3600.

1 - CONCLUSION

Le suivi du squelette en utilisant l'image des contours évite la création des ponts entre vaisseaux qui sont obtenus par les méthodes de suivi de crêtes. On arrive aussi à interpréter certains défauts de seuillage qui aboutissent à un squelette parfois assez éloigné de l'arête des vaisseaux (cas de deux vaisseaux temporairement côte à côte et non séparés par le seuillage). Sous certains angles de vue où tous les vaisseaux sont particulièrement imbriqués, la méthode montre ses limites comme toutes les méthodes ne travaillant que sur une image. A part ces cas particuliers la méthode a fait preuve d'une bonne robustesse car elle fait intervenir des informations obtenues par deux méthodes quasi indépendantes : une image seuillée et une image de contours. Le résultat obtenu présente une structure hiérarchique du réseau vasculaire qui est facilement interprétable

sur le plan anatomique. Dans l'avenir le suivi hiérarchique et simultané de deux images devrait permettre de résoudre les cas les plus difficiles.

BIBLIOGRAPHIE

- [ANA-89] M. Anakök, A. Aurengo, G. Hejblum, "Nouvelles Approches pour la Segmentation et l'identification Automatique des Angiographies Numérisées". Douzième Colloque Grets, pp.649-652, 1989.
- [CAM-87] J. Camillerap, P. Lebellegard, I. Leplumey, "Squeletisation et détection de contour par des règles de réécriture", onzième Colloque Grets, pp. 531-535, 1987.
- [COL-88] R. Collorec, J.L. Coatrieux, "Vectorial Tracking and Directed Contour Finder for Vascular Network in Digital Substraction Angiography". Pattern Recognition Letters 8. pp. 353-358, 1988.
- [DER-87] R. Derich, "using Canny's criteria to derive a recursively implemented optimal edge detector", Int. Jour. of Compu. Vision, pp. 167-187, 1987.
- [MIL-86] M. MILGRAM, J.P. COCQUEREZ, "Fermeture des Contours par un Operateur Local". Traitement du Signal. Vol 8, N° 6, pp. 303-311, 1986.
- [NGU-86] T.Nguyen, J.Sklansky, " A Fast Skeleton Finder for Coronary Arteries" Proceedings 8th IEEE International Conference on Pattern Recognition, pp. 481-483, 1986.
- [PAV-82] T. Pavlidis, " Algorithms for Graphics and Image Processing". Computer Science Press. pp. 195-214, 1982.
- [SME-88] C.Smet et al., "A knowledge based system for the delineation of blood vessels in substraction angiograms", Pattern Recognition Letters 8, pp. 113-121, 1988.
- [SUN-89] Y. Sun, " Automated Identification of Vessel Contours in Coronary Arteriograms by an Adaptive Tracking Algorithm". IEEE Transactions on Medical Imaging. Vol 8, N° 1, pp 78-88, 1989.
- [XU-87] W. Xu, CH. Wang, " CGT: A Fast Thinning Algorithm Implemented on a Sequential Computer". IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. Vol SMC-17, N° 5, pp. 847-851, 1987.

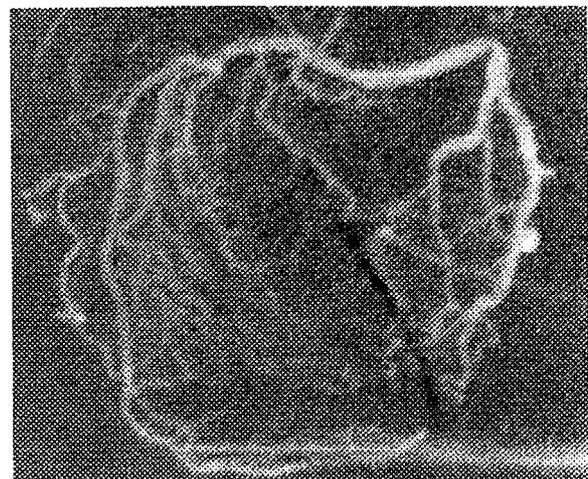


Figure 1a : image de départ



Figure 1b : image seuillée avec $d=127$ $\alpha=2$ $s=2500$

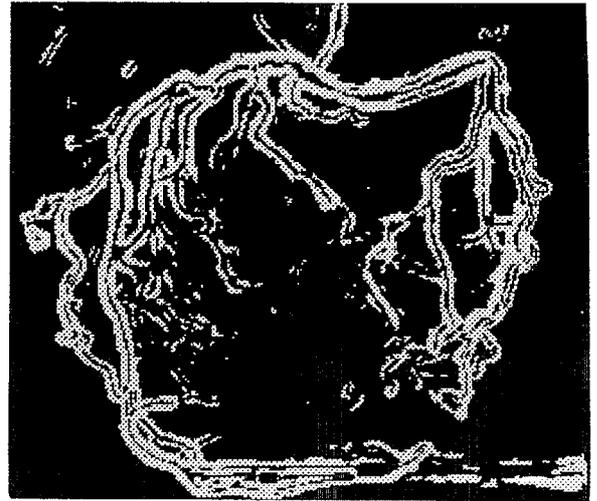


Figure 3 : contours

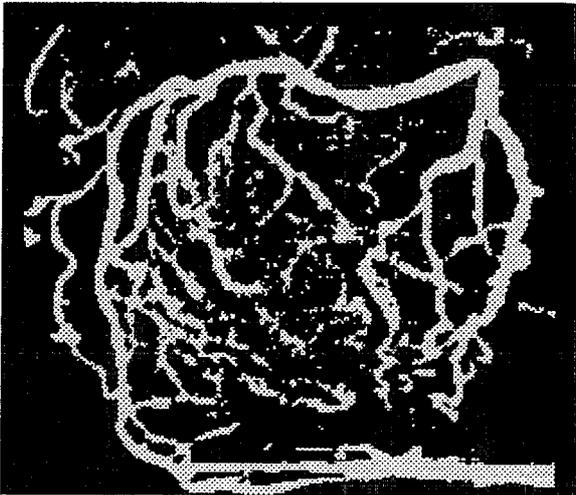


Figure 1c : image seuillée avec $d=127$ $\alpha=1$ $s=1500$

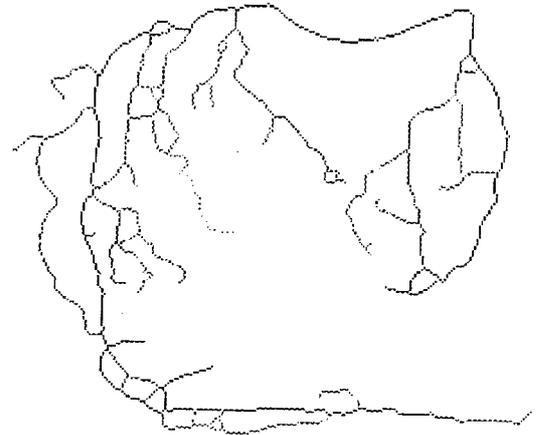


Figure 4a: résultat du suivi de 1b (intensité fonction du niveau)

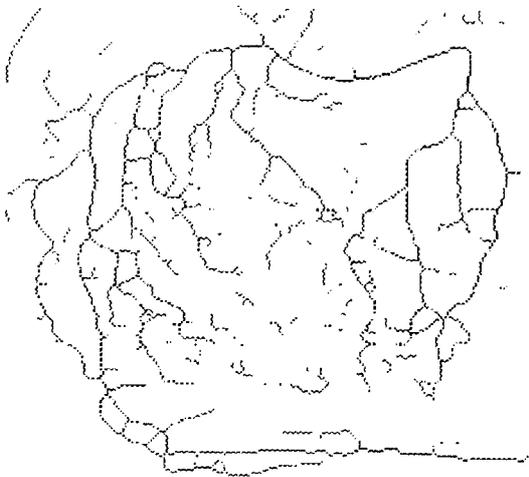


Figure 2 : squelette (intensité fonction du diamètre)

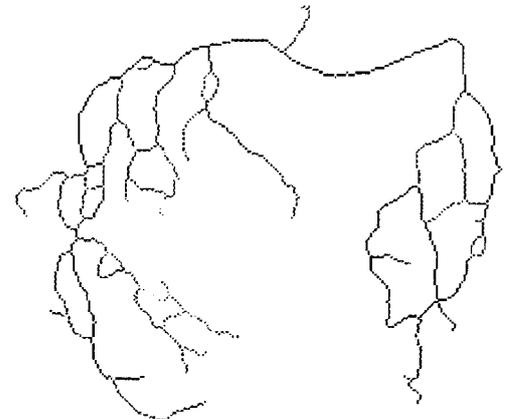


Figure 4b : résultat du suivi (intensité fonction du niveau) avec image décalée de 6° .