

AMINCISSEMENT 3D DE SURFACES GAUCHES : APPLICATION A LA DETECTION DES SILLONS DU CORTEX CEREBRAL HUMAIN

H. Fawal, M. Desvignes, M. Revenu

GREYC URA1526 & pôle Image

6 Bd maréchal Juin. 14050 Caen.

Tel : 31 45 27 00

Email : (H.Fawal,M.Desvignes,M.Revenu)@greyc.ismra.fr

RESUME

Le problème soulevé dans cet article est celui de l'amincissement de surfaces gauches, dans l'espace discret 3D, c'est-à-dire celui de la transformation de cette surface en une courbe. Le calcul de l'axe médian, qui se rapproche de ce problème, se réalise en 3D, par des amincissements successifs des points de contour.

Les approches antérieures testées ne donnent pas satisfaction dans le cas d'images bruitées. Nous proposons une approche dérivée de l'amincissement classique 2D, pour lequel nous considérons que la surface 3D est une déformation limitée du plan 2D.

L'application de cet amincissement à des images IRM du cerveau humain nous permet de détecter les sillons corticaux avec une bonne précision.

Position du problème

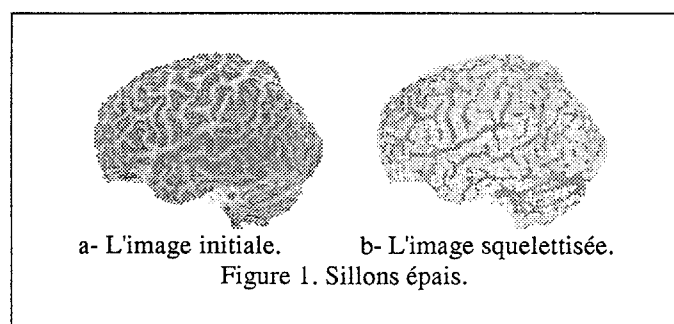
Les travaux présentés ici se situent dans le cadre de notre projet de reconnaissance automatique des sillons du cortex cérébral humain, à partir d'images IRM 3D [DES 93]. Ces sillons sont répertoriés dans des atlas anatomiques [ONO 90], où ils sont généralement symbolisés sous forme iconique, par des courbes sur la surface externe du cerveau [DES 94]. Afin d'utiliser cette information, le cerveau est extrait de l'image IRM 3D [VER 95], et nous déterminons l'enveloppe externe de celui-ci par un lissage surfacique. A l'intérieur de cette enveloppe, le Liquide Céphalo-Rachidien (LCR) est représentatif du volume occupé par chaque sillon. Un seuillage permet d'obtenir un objet binaire 3D de l'ensemble des sillons. Un squelette surfacique 3D [TSA 81], préservant la surface externe, donne une bonne représentation de cet ensemble.

ABSTRACT

In this paper, we deal with thinning methodology of 3D discrete surface. It is a process which reduces a digitized 3D surface to a 3D digitized curve. It is nearly the same technique that the Median Axis Thinning, which is realised with a successive deletions of edge voxels.

Previous works do not produce desirable results when applied to noisy boundaries images. The proposed approach is based on classical 2D thinning, in which 2D surface is deformed toward 3D surface.

Experimental results are given with 3D MRI of the brain. Cortical Sulci are then detected as curves at the surface of the brain.



Cependant, pour demeurer en surface, le squelette réalisé (figure 1b) interdit l'amincissement orthogonalement à cette enveloppe externe. Dans le domaine discret, sur les images obtenues, les sillons sont représentés par des *rubans* larges de plusieurs voxels sur la surface externe du cerveau. Le problème à résoudre est d'amincir ces *rubans*, inscrits sur une surface 3D gauche, pour obtenir des courbes dont la largeur est d'un voxel.

Ce problème se rapproche de celui du calcul du squelette filaire et de l'axe médian [CHA 91]. La squelettisation est une opération de traitement d'image binaire qui propose un moyen de codage et de manipulation d'objets 3D. Elle conserve les informations de forme, de taille, de structure, de connectivité, et d'orientation de l'image d'origine. Trois types d'approches ont été proposés pour trouver les squelettes géométriquement et topologiquement corrects :

- les approches semi-continues, basées sur le diagramme de Voronoï [ATT 94] du contour des objets,
- les approches utilisant les transformations en distance [THI 94] et la recherche de ligne de crêtes,
- les squelettes à base d'amincissement successifs [COST 89], qui éliminent les points de contours selon des contraintes topologiques et géométriques dans un voisinage de taille réduite.

Dans l'espace discret 3D, les 2 premières approches ont été utilisées pour obtenir des squelettes surfaciques. Seul le troisième type propose de nombreux travaux sur le squelette filaire. Ces méthodes consistent en général [KON 89] à transformer un volume en courbes par des amincissements successifs, soit directement [ROL 91] [LEE 94], soit par l'intermédiaire d'un squelette surfacique [TSA 81]. La caractérisation des points simples (ceux qui sont amincis) est le critère qui différencie les différents algorithmes proposés. D'un point de vue expérimental, les amincissements réalisés par les méthodes de [TSA 81] et [ROL 91] sont satisfaisants lorsque les surfaces des objets à amincir sont situées dans les plans formés par les axes de l'image, bien qu'ils nécessitent souvent une phase d'ébarbulage délicate [THI 94]. Par contre, ces algorithmes sont peu adaptés à des images où les objets ont des surfaces d'orientation quelconque (figures 5b,5c,6b,6c) ou à des images bruitées [LEE 94]. Ils tendent en effet à préserver les surfaces plutôt que les arcs et les courbes.

Méthode proposée

Nous proposons donc un nouvel algorithme robuste au bruit et aux petites déformations afin d'obtenir des courbes d'un voxel d'épaisseur. Le principe de base de la méthode consiste à adapter l'amincissement 2D classique réalisé à partir de

l'alphabet de GOLAY, en déformant l'élément structuré bidimensionnel (élément L) pour qu'il prenne en compte les différentes surfaces possibles internes à un cube $3 \times 3 \times 3$. Les relations entre les voxels voisins de cette surface doivent être conservées par cette déformation.

L'algorithme 2D est formulé de la manière suivante :

On effectue plusieurs itérations en supprimant à chaque fois les points qui répondent à un critère particulier. Ces itérations sont réalisées tant que des points sont supprimés. Chaque itération comporte 4 passages, correspondant aux 4 demi-axes définis dans le plan (x^-, x^+, y^-, y^+) .

Pour une direction de base donnée, un point de l'objet à examiner est supprimé si :

(C1) il est non terminal dans la direction examinée, terminal dans la direction opposée,

(C2) sa suppression conserve la connectivité (8-connectivité) entre les pixels voisins situés dans la direction opposée,

(C3) le nombre des points en 8-connectivité appartenant à l'objet est supérieur à 2.

On note (figure 2):

- y^+ la direction de l'amincissement.
- $d_0(i, j)$ le pixel que l'on désire supprimer.
- $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ les pixels voisins de d_0 déterminés par la direction de l'amincissement. Dans notre cas (y^+), ce sont:

$$\begin{aligned} d_1 &= (i-1, j) & d_2 &= (i, j-1) \\ d_3 &= (i+1, j) & d_4 &= (i-1, j+1) \\ d_5 &= (i, j+1) & d_6 &= (i+1, j+1) \end{aligned}$$

Pour supprimer d_0 , les conditions C1 et C2 se traduisent par :

- $d_0 = 1$: le pixel d_0 appartient à un objet.
- $d_2 = 0$: le pixel d_2 n'appartient pas à un objet.
- $d_5 = 1$: le pixel d_5 appartient à un objet.
- $d_1 = 0$ ou $d_4 = 1$: pour ne pas perdre la connectivité entre d_1 et d_5 au cours de plusieurs passages.
- $d_3 = 0$ ou $d_6 = 1$: pour ne pas perdre la connectivité entre d_3 et d_5 au cours de plusieurs passages.
- $d_4 = 1$ ou $d_6 = 1$ (dans le cas contraire, d_0 est un point terminal dans trois directions).

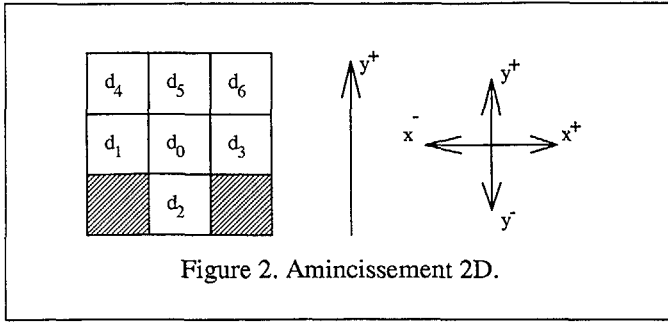


Figure 2. Amincissement 2D.

L'algorithme 3D que nous proposons est le suivant. 6 passages sont effectués dans l'ordre (nord, est, haut, sud, ouest, bas). Les conditions (C1, C2, C3) pour lesquelles le point d_0 est supprimé sont identiques. 6 voxels voisins sont examinés (en 26-connextité). La difficulté est de déterminer quels sont les voxels qui sont voisins du voxel xyz et qui doivent être examinés. Ces voxels doivent respecter les contraintes suivantes :

- chaque voisin peut être situé en $z-1$, z , ou $z+1$ (respectivement $x-1$, x , $x+1$ ou $y-1$, y , $y+1$ selon la direction).
- les relations de 4-connextité existantes entre les points voisins de l'élément structurant en 2D doivent se retrouver en 3D : deux points voisins en 2D sont voisins en 3D et sont situés sur la surface à amincir.

Les déformations autorisées contraignent donc les voxels $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ à se trouver dans le plan orthogonal à l'axe de l'amincissement et qui passe par la position qu'ils occupent en 2D.

En 3D, les relations que doivent respecter les points recherchés sont définies de la manière suivante:

- d_0, d_1, d_3 se situent dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'amincissement.
- d_0, d_2, d_5 se situent dans un plan parallèle à l'axe de l'amincissement.
- d_4, d_5, d_6 se situent dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'amincissement.
- d_2 est connexe avec (d_1, d_3) , d_5 est connexe avec (d_4, d_6) .
- (d_1, d_4) sont connexes, idem (d_3, d_6) .
- (d_2, d_5) ne sont pas connexes.
- (d_1, d_3) ne sont pas connexes, idem (d_4, d_6) .
- d_0 est connexe avec tous les points.

La figure 3 illustre l'exemple du passage selon la direction y^+ en estimant que les points sont déformés à partir du plan XY. Cet exemple présente les changements possibles de la position de ces points et l'ordre dans lequel ils sont recherchés.

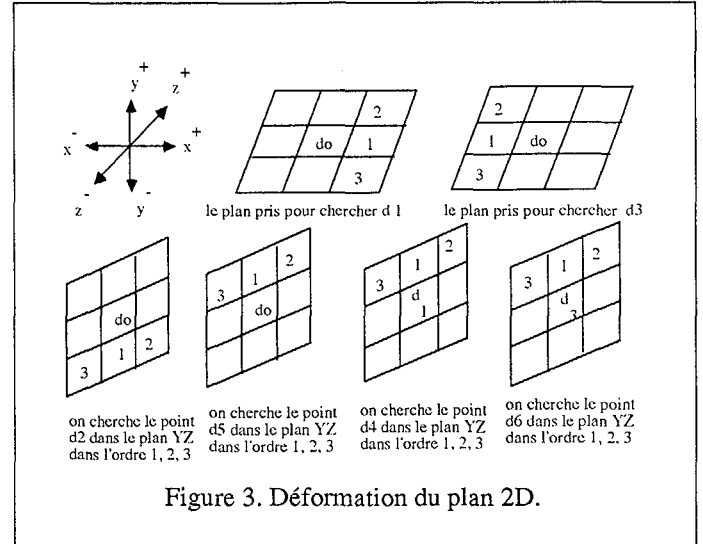


Figure 3. Déformation du plan 2D.

Cependant, cet amincissement ne peut pas répondre à tous les cas existants sur des surfaces 3D. La figure 4 présente le cas où les points forment un angle 90° : la condition de non connexité entre d_1 et d_3 et la condition de non connexité entre d_4 et d_6 ne sont pas satisfaites. Dans cette configuration, nous ne pouvons pas trouver 6 points respectant les conditions imposées. Lorsqu'il est impossible de trouver 6 points voisins, nous supprimons la relation de non connexité entre (d_1, d_3) et entre (d_4, d_6) .

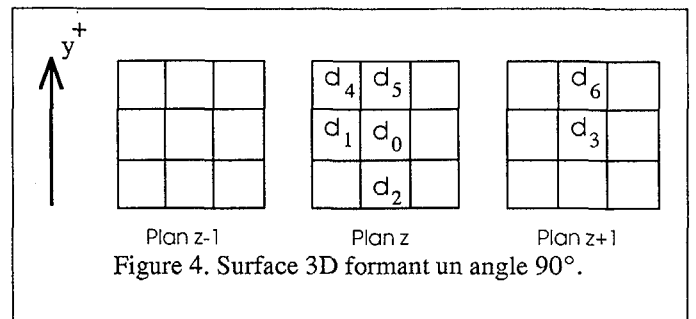


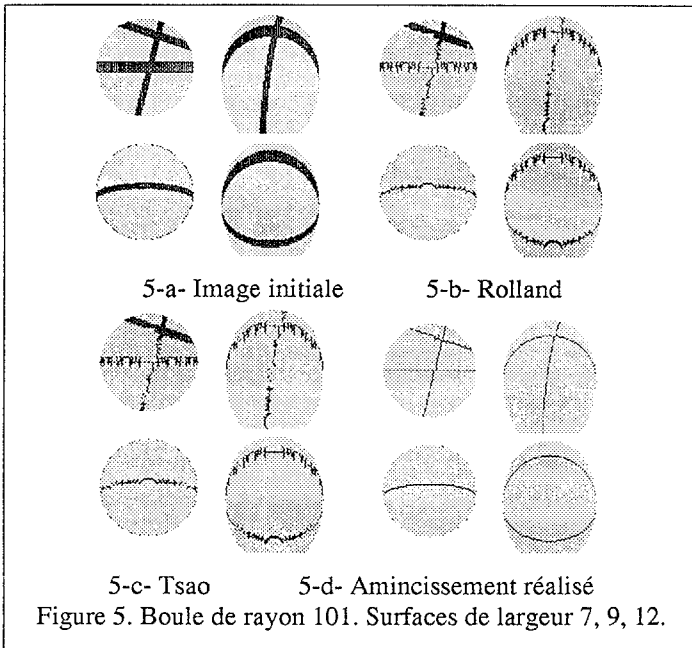
Figure 4. Surface 3D formant un angle 90° .

Résultats et conclusion

Comparé aux méthodes existantes, l'amincissement ainsi réalisé permet d'obtenir des courbes minces à partir de *rubans*



3D (figures 5d & 6d). L'absence de barbules parasites illustre la robustesse de cette méthode au bruit. L'application à des images présentant des surfaces courbes donne les résultats escomptés, ainsi que sur les images IRM 3D du cerveau. Nous pouvons alors facilement réaliser une poursuite de courbe pour représenter les sillons par un graphe permettant de réaliser l'identification automatique de 6 sillons du cortex cérébral humain.



Références

- [ATT 94] : D. Attali, A. Montanvert : "Semicontinuous skeletons of 2D and 3D shapes", In *C. Arcelli et al., editors, Aspects of Visual Form Processing, World Scientific, Singapoure, 1994*, pp 32-41.
- [CHA 91] : J. M. Chassery, A. Montanvert : "Géométrie discrète en analyses d'images". *Hermès* 1991.
- [COS 89] : M. Coster, J. L. Chermant : "Précis d'analyse d'images" : *Presses du CNRS*, 1989.
- [DES 93] : M. Desvignes, H. Fawal, M. Revenu, D. Bloyet, P. Allain, J. M. Travère, J. Baron : "Calcul de la profondeur en un point des sillons du cortex sur des images RMN 3D", *Quatorzième colloque GRETSI, Juan-les-Pins, 1993*, pp 1267-1271.
- [DES 94] : M. Desvignes, H. Fawal, M. Revenu, D. Bloyet, P. Allain, J. M. Travère, J. Baron : "Reconnaissance du sillon latéral sur des images RMN", *RFIA, Paris, conference proceeding, 1994*, pp 685-690.
- [KON 89] : T. Y. Kong, A. Rosenfeld : "Digital Topology : Introduction and Survey", *CVGIP* 48, 1989, pp 357-393.
- [LEE 94] : T. C. Lee, R. L. Kashyap, C. N. Chu : "Building Skeleton Models via 3-D Medial Surface/Axis Thinning Algorithms", *CVGIP* 56, n° 6, November 1994, pp 462-478.
- [ONO 90] : M. Ono et al. : "Atlas of the cerebral sulci". *George Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1990*
- [ROL 91] : F. Rolland : "Représentation tridimensionnelle et reconstruction 3D à partir de coupes 2D". *Thèse de l'Université Grenoble I, 1991*.
- [THI 94] : E. Thiel : "Unification de la squelettisation menée en distance", *9ème congrès RFIA, AFCET-INRIA, Paris, 1994*, pp 349-358.
- [TSA 81] : Y. F. Tsao, K. S. Fu : "A parallel thinning Algorithm for 3D pictures", *CVGIP* 17, 1981, pages 315-331.
- [VER 95] : L. Verard, P. Allain, J. M. Travère, S. Ruan, D. Bloyet : "3D Brain Structures Extraction using fully automated MRI Segmentation", in *Press IPMI, 1995*.

