

Reconnaissance de modèles génériques à l'aide d'un réseau spatial de «lignes actives» Application au traitement d'images médicales

Gérard Subsol, Jean-Philippe Thirion, Nicholas Ayache
projet Epidaure, INRIA Sophia-Antipolis
2004 route des Lucioles - B.P. 93 - 06 902 Sophia Antipolis Cedex
E-mail: subsol@epidaure.inria.fr, thirion@epidaure.inria.fr, na@epidaure.inria.fr

Thème 2: surfaces et données 3D

Mots clés: reconnaissance de modèles génériques, réseau de contours actifs, mise en correspondance non-rigide, imagerie médicale

1 Introduction

Pour établir leur diagnostic, les médecins ont souvent besoin de comparer plusieurs images médicales (scanner, résonance magnétique, médecine nucléaire...). Ces comparaisons peuvent porter soit sur le même patient à des instants différents, soit sur plusieurs patients, soit sur un patient et un atlas médical. Dans ce résumé, nous nous intéresserons à ce dernier problème : comment construire un atlas et comment l'utiliser sur des données réelles afin d'étiqueter automatiquement certaines zones. Des atlas médicaux numériques ont déjà été réalisés mais seulement pour être consultés [SHP⁺93].

Afin de réduire l'énorme quantité de données brutes (18 Mo pour un crâne), nous n'allons utiliser qu'un ensemble réduit de lignes anatomiquement stables caractérisant l'organe étudié. [BC88], [Cut91] ont proposé les «medial axis» et les «lignes de crête». Nous extrayons ces dernières grâce à l'algorithme décrit dans [TG93]. L'atlas sera donc, lui aussi, formé d'un ensemble de lignes. Des méthodes de hachage géométriques [GA92] permettent de recalculer rigide deux ensembles de lignes mais elles ne peuvent être généralisées au cas déformable de la mise en correspondance avec un atlas.

Aussi, nous nous sommes orientés vers des méthodes de contours actifs. Les modèles déformables (par exemple, [YHC92]) permettent de reconnaître des motifs prédéfinis mais ils ne se déplacent qu'en 2 dimensions et leur algorithme de convergence est fondé sur les niveaux de gris. Pour notre part, nous allons définir un réseau de «lignes actives» évoluant en 3 dimensions qui intégrera une mémorisation locale de la forme de chaque ligne ainsi que des contraintes de rigidité entre lignes. Ceci permettra de faire converger le réseau définissant l'atlas vers l'ensemble des lignes extraites des données tout en tendant à garder la structure d'origine. Une fois le processus terminé, il ne restera plus qu'à étiqueter les lignes de données. Celles-ci pourront alors servir de repères pour réaliser un étiquetage volumique [BG92].

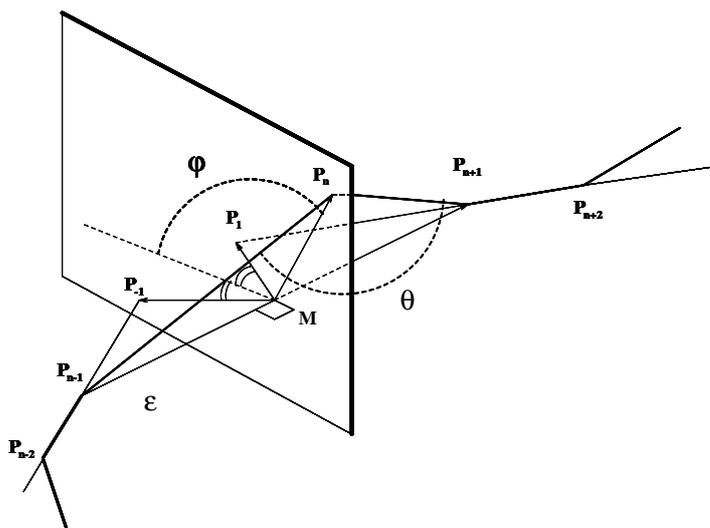
2 Le réseau de lignes actives

2.1 Présentation générale

Chaque point P_n du réseau va subir l'action de plusieurs forces : les *forces internes intralignes* f_n^{intra} vont conserver localement la forme originale de la ligne, les *forces internes interlignes* f_n^{inter} vont contraindre les déplacements des lignes au sein du réseau alors que les *forces externes* f_n^{ext} vont favoriser la déformation vers les lignes des données. Nous obtenons ainsi pour tout point P_n une équation de mouvement qui est résolue en utilisant la méthode classique des différences finies.

2.2 Les forces internes intralignes et interlignes

Nous nous sommes inspiré des travaux de Delingette sur les contours dans les maillages simplexés [DWS93]. Au départ, nous mémorisons en tout point P_n d'une ligne active sa forme locale en calculant 3 paramètres à partir des 4 points voisins P_{n-2} , P_{n-1} , P_{n+1} , P_{n+2} :



- $\varepsilon = \overline{P_{n-1}M} / \overline{MP_{n+1}}$ où M est le projeté orthogonal de P_n sur $(P_{n-1}P_{n+1})$.
- $\theta = P_{n-1}\widehat{P_n}P_{n+1}$ assimilable à la courbure.
- φ , assimilable à la torsion, fait intervenir P_{n-2} , P_{n-1} , P_{n+1} , P_{n+2} afin d'avoir une origine angulaire.

Pendant la convergence, les forces internes intralignes, invariantes par déplacement rigide et par changement d'échelle, tendent à ramener tout point P_n vers sa position idéale P_n^i calculée à partir des 3 paramètres et de ses voisins. Pour leur part, les forces internes interlignes assurent le maintien de la structure générale des lignes en simulant par exemple l'action de ressorts reliant les lignes.

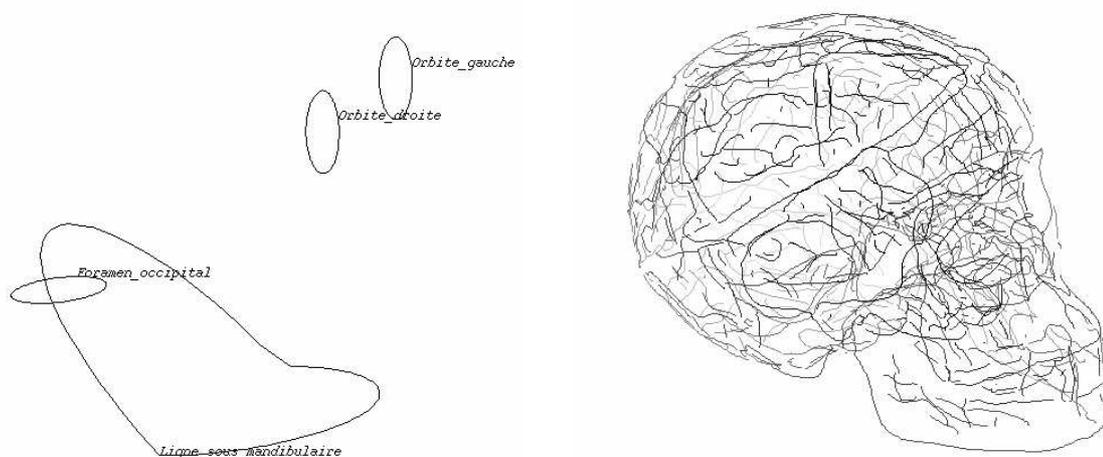
2.3 Les forces externes

Le point P_n est attiré par le point des données le plus similaire P_n^s . La similarité est pour l'instant définie par la distance euclidienne et l'angle entre $(P_n P_n^s)$ et la normale en P_n à la ligne active.

Comme nous avons des interactions ligne-ligne, un point ne peut pas converger totalement indépendamment de ses voisins. Nous affinons la force externe afin d'éviter qu'une ligne active ne s'effondre sur elle-même si beaucoup de ses points sont attirés par la même portion d'une ligne de données.

3 Premiers résultats et axes de recherche

Pour nos essais, nous avons construit manuellement un atlas sommaire d'un crâne qui comporte quatre lignes anatomiques importantes : les deux orbites, la ligne sous-mandibulaire et le foramen occipital. Les premiers résultats sont très encourageants et malgré les imprécisions de l'atlas initial et l'absence de recalage préliminaire, la convergence s'effectue correctement et permet d'étiqueter certaines lignes de crête du crâne.

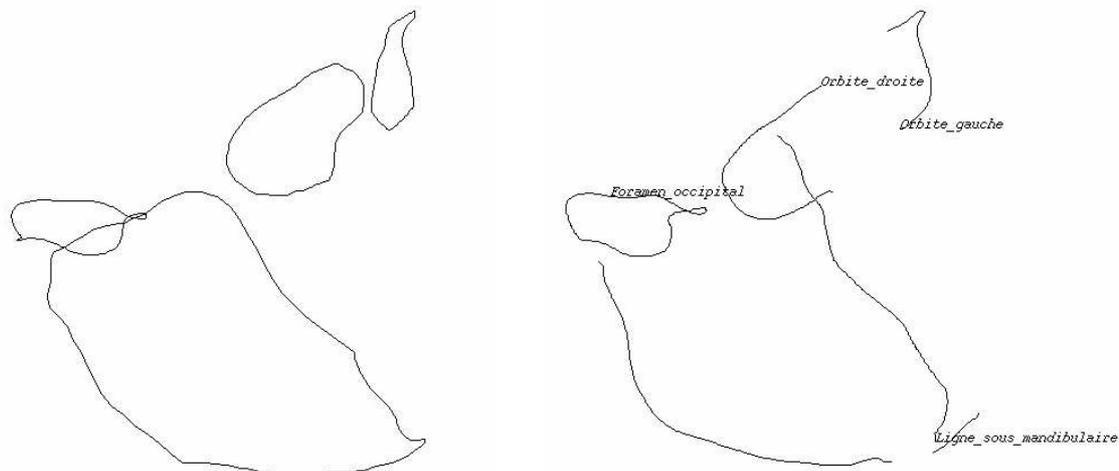


Avant la convergence : l'atlas simplifié et l'ensemble des lignes de crêtes d'un crâne. Le crâne est représenté par 543 lignes formées de 18 498 points et l'atlas comporte 4 lignes de 100 points.

Les travaux actuels portent sur :

- l'amélioration de la convergence en contraignant davantage le réseau.
- la création automatique d'un atlas par convergence de lignes d'un crâne vers les lignes extraites d'un autre. Une analyse statistique des déformations possibles fournirait alors des contraintes très fortes sur la convergence du réseau [CHTH93].

- la visualisation et l'interactivité tridimensionnelle afin de pouvoir mieux appréhender les résultats.



Après la convergence : l'atlas s'est déformé et des lignes de crêtes du crâne ont été correctement étiquetées au bout de 60 itérations (quelques minutes de calcul sur une station de travail DEC-5000). Notons qu'une ligne de l'atlas peut converger vers plusieurs lignes de données (par exemple, 3 lignes de crête forment la ligne sous-mandibulaire).

Nous tenons à remercier Hervé Delingette, Jacques Feldmar et Alexis Gourdon pour les nombreuses discussions que nous avons eues. Cette étude est partiellement financée par le PRC-Orasis et par Digital Equipement Corporation.

Bibliographie

- [BC88] Fred L. Bookstein and Court B. Cutting. A proposal for the apprehension of curving cranofacial form in three dimensions. In K. Vig and A. Burdi, editors, *Cranofacial Morphogenesis and Dysmorphogenesis*, pages 127–140. 1988.
- [BG92] Fred L. Bookstein and William D.K. Green. Edge information at landmarks in medical images. In *Visualization in Biomedical Computing 1992*, pages 242–258. SPIE, 1992.
- [CHTH93] T.F. Cootes, A. Hill, C.J. Taylor, and J. Haslam. The use of active shape models for locating structures in medical images. In H.H. Barrett and A.F. Gmitro, editors, *Information Processing in Medical Imaging*, pages 33–47, Flagstaff, Arizona (USA), Juin 1993. IPMF'93, Springer-Verlag.
- [Cut91] Court B. Cutting. Applications of computer graphics to the evaluation and treatment of major craniofacial malformations. In Jayaram K. Udupa and Herman Gabor T., editors, *3D Imaging in Medicine*, chapter 6, pages 163–189. CRC Press, 1991.
- [DWS93] H. Delingette, Y. Watanabe, and Y. Suenaga. Simplex based animation. In N. Magnenat Thalmann and Thalmann D., editors, *Models and Techniques in Computer Animation*, pages 13–28, Geneva (Switzerland), June 1993. Computer Animation, Springer Verlag.
- [GA92] A. Guézic and N. Ayache. Smoothing and matching of 3-d space curves. In *ECCV'92. ECCV*, 1992.
- [SHP⁺93] R. Schubert, K. H. Höhne, A. Pommert, M. Riemer, Th. Schiemann, and U. Tiede. Spatial knowledge representation for visualization of human anatomy and function. In H.H. Barrett and A.F. Gmitro, editors, *Information Processing in Medical Imaging*, pages 168–181, Flagstaff, Arizona (USA), Juin 1993. IPMF'93, Springer-Verlag.
- [TG93] J.P. Thirion and A. Gourdon. The marching lines algorithm : new results and proofs. Technical Report 1881, INRIA, March 1993.
- [YHC92] Alan L. Yuille, Peter W. Hallinan, and David S. Cohen. Feature extraction from faces using deformable templates. *International Journal of Computer Vision*, 8(2):99–111, 1992.