3D Multi-scale Line Filter for segmentation and visualization of curvilinear structures in medical images

Sato - 1997

Jonas Lamy

28 novembre 2019

1 Filtre de ligne 3D utilisant la hessienne

Le filtre est basé sur l'étude des valeurs propres de la hessienne définie par :

$$\begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yz} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{xy} & I_{zz} \end{pmatrix}$$

Où chaque élément est la dérivée partielle seconde de l'image. La matrice hessienne H décrit la structure au second ordre des changements d'intensités locaux autour de chaque points de l'image 3D.

Soit les valeurs propres $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 (\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3)$ de H et leurs vecteurs propres associés e_1, e_2, e_3. Le vecteur e_1 représente la direction pour laquelle la dérivée seconde est maximum et λ_1 en donne la valeur.

Si on considère la une ligne 3D idéale définie par :

$$I(x, y, z) = exp(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}$$

Dans ce cas, la direction de la dérivée est la même que celle de l'axe Z, c'est-à-dire la direction de la ligne. Sa valeur est zéro et toutes dérivées orthogonales à cet axe ont une valeur négative sur la tranche de la ligne $(x^2 + y^2 < w^2$, avec w une constante dépendante de $\sigma)$. Dans le cas idéal, une ligne claire sur fond noire est identifiée par $\lambda_1 \approx 0, \lambda_2 \approx \lambda_3 << 0$.

Sato propose la fonction de tubularité suivante :

$$f(\lambda_1; \lambda_2) = \begin{cases} exp(-\frac{\lambda_1}{2(\alpha_1 \lambda_c}), \ \lambda_1 \leqslant 0, \lambda_c \neq 0 \\ exp(-\frac{\lambda_1}{2(\alpha_2 \lambda_c}), \ \lambda_1 \geqslant 0, \lambda_c \neq 0 \\ 0, \quad \lambda_c = 0 \end{cases}$$

Avec $\lambda_c = min(-\lambda_2, -\lambda_3) = -\lambda_2$ et $\alpha_1 \leqslant \alpha_2$. Sato fixe $\alpha_1 = 0.5$ et $\alpha_2 = 2.0$ de manière expérimentale.

2 Espace multi-échelle basé sur l'égalisation des niveaux de bruit

Le calcul de la hessienne est combiné avec la convolution par un noyau gaussien afin de détecter les lignes à différentes échelles.

$$I_{xx} = (\sigma_2 \times \frac{\partial^2}{\partial x^2} G(x, y, z; \sigma)) * I(x, y, z)$$

La méthode habituelle pour combiner la réponse du filtre pour plusieurs échelles est de normaliser celle-ci à chaque échelle, puis de sélectionner la réponse maximale d'un pixel pour toutes les échelles.

Cependant, pour les petites échelles, la réponse du filtre est souvent forte pour les lignes et le bruit. Pour trouver un équilibre entre supression du bruit et réhaussement des lignes, sato propose la normalisation suivante :

$$max_i \frac{1}{n_i} L_i(x, y, z)$$

avec n_i l'écart-type de l'amplitude bruit à l'échelle i et L_i la réponse du filtre à l'échelle i.