

Classification des diatomées par les descripteurs de Fourier du contour

Abdelkader SIDDOUR, Département de Mathématique et Informatique, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500 Trois-Rivières, G9A 5H7, Québec, Canada, abdelkader.siddour@uqtr.ca.

Fathallah NOUBOUD, Département de Mathématique et Informatique, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500 Trois-Rivières, G9A 5H7, Québec, Canada, fathallah.nouboud@uqtr.ca.

Driss MAMMASS, Département de Mathématiques et Informatique, Faculté des Sciences, Université IbnZohr Agadir, Maroc, mammass@univ-ibnzohr.ac.ma.

Alain CHALIFOUR, Département de Mathématique et Informatique, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500 Trois-Rivières, G9A 5H7, Québec, Canada, alain.chalifour@uqtr.ca.

Stéphane CAMPEAU, Département de sciences humaines, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500 Trois-Rivières, G9A 5H7, Québec, Canada, Stephane.Campeau@uqtr.ca.

Date de publication : 20 juillet 2007

Résumé

Nous présentons dans cet article un système automatique de classification des diatomées fondée sur une extraction des angles normaux d'un contour 8-connecté antihoraire. Pour cela, nous avons utilisé un modèle paramétrique qui consiste à caractériser le contour des diatomées suivant un vecteur des descripteurs de Fourier. Sur une base de données d'images de diatomées de 450 images, nous avons obtenu un taux de bonne classification de 97%.

Abstract

We present in this paper an automatic system for the classification of diatoms based on the extraction of the normal angles of an anticlockwise 8-connected contour. For that, we used a parametric model that consists in characterizing the contour of the diatoms according to a vector of the Fourier descriptors. The correct classification rate is around 97% of the 450 diatom images examined.

Table des matières

1. INTRODUCTION
2. APPROXIMATION POLYGONALE DU CONTOUR
3. CONTOUR 8-CONNECTÉ ANTIHORAIRE ET ANGLES AU CONTOUR NORMAUX
 - 3.1 Extraction du contour 8-connecté antihoraire
 - 3.2. Angles normaux au contour
4. DESCRIPTEURS DE FOURIER
5. ANALYSE DISCRIMINANTE ET CLASSIFICATION BAYÉSIENNE
 - 5.1. Analyse discriminante
 - 5.2. Classification Bayésienne
6. RÉSULTATS
7. CONCLUSION

Texte intégral

1. INTRODUCTION

Les diatomées sont des algues unicellulaires constituées d'un squelette siliceux composé de deux valves caractérisées par la présence d'ornementations. Il est possible d'apprécier l'incidence de perturbations sur un écosystème aquatique à partir de l'étude des diatomées qui renseignent, par leur présence (ou leur absence) et/ou leur abondance, sur la qualité de l'eau. La classification des diatomées est basée sur la structure et la morphologie de la valve; elle est très difficile, du fait du grand nombre d'espèces connues. Pour ces raisons, le traitement automatique par analyse d'images peut apporter une contribution inestimable. Dans de récents travaux, le contour, la taille, la forme, l'ornementation et la symétrie de la valve ont été parmi les caractères morphologiques utilisés pour la classification et l'identification automatiques des diatomées (Du Buf, Mann et al.), (Guo, Chalifour et al., 2004).

Nous présentons dans cet article une méthode pour la classification automatique des diatomées qui est basée sur l'extraction des angles normaux d'un contour 8-connecté antihoraire (Chalifour, Beauchemin et al. 1998). Nous utilisons des images à niveau de gris avec un fond net (blanc ou noir).

À la section 2, nous présentons une méthode d'approximation polygonale du contour afin de pallier les difficultés dues à l'extraction des images. La section 3 est consacrée à l'extraction du contour 8-connecté antihoraire des diatomées et au calcul des angles normaux au contour. L'extraction des paramètres caractéristiques (Descripteurs de Fourier) et la méthode de classification choisie, sont présentées dans les sections 4 et 5. La section 6 est consacrée aux résultats des tests expérimentaux.

2. APPROXIMATION POLYGONALE DU CONTOUR

L'extraction et le nettoyage des images de diatomées fait apparaître des successions de pixels alignés sur de courtes distances suivis de changement brusques de direction. De plus, du fait que le nombre d'angles admissibles est réduit, que ces angles sont exprimés en radians, entre et $\frac{1}{2} \pi$, et que l'écart entre deux angles successifs est inférieur à $\arctan(0.5)$, il s'ensuit que la courbe de variations des angles est impropre au lissage si le contour est bruité. Afin de pallier à cette difficulté, une approximation polygonale du contour est réalisée.

Généralement, l'objectif d'une méthode d'approximation polygonale est de fournir un découpage d'une chaîne de points en segments de façon à minimiser un critère d'erreur global ou à ne pas dépasser localement une erreur. L'intérêt est de donner une description qui soit plus compacte et plus adaptée pour des traitements ultérieurs d'interprétation ou de reconnaissance de formes (Renneson-Debled, Tabbone et al., 2004), (Perez et Vidal, 1994).

De nombreuses méthodes concernant l'approximation polygonale ont été proposées ces dernières années. En général, on examine successivement les points pour déterminer le plus long segment qui vérifie un seuil de tolérance prédéfini.

Dans notre cas, nous avons utilisé un algorithme qui consiste à trouver le segment reliant les deux points les plus éloignés sur le contour (Bergevin, 2003). Ceci consiste à considérer la distance maximum du barycentre de l'objet au contour donnant un point de départ P_0 et à répéter de façon itérative l'algorithme qui converge rapidement vers le segment maximum. La figure 1 donne le résultat de cet algorithme sur une image de diatomée.

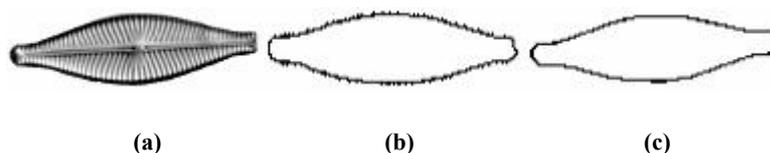


Figure1: (a) Image originale, (b) et (c) contour avant et après l'approximation polygonale

3. CONTOUR 8-CONNECTÉ ANTIHORAIRE ET ANGLES AU CONTOUR NORMAUX

3.1 Extraction du contour 8-connecté antihoraire

Considérons, après l'approximation polygonale, une image binaire où chaque pixel noir est indicé par la valeur 0 et chaque pixel blanc par la valeur 255 (voir Figure 2). Notre objectif est de construire, un contour fermé de pixels. À partir de ce contour, nous calculerons les angles normaux.



Figure2. Images binaires

Le contour d'une diatomée, est un chemin simple ou faiblement simple, fermé et orienté positivement (antihoraire) et d'épaisseur égale à un pixel (Chalifour, Beauchemin et al. 1998). De plus, le contour d'une diatomée est une chaîne de longueur minimale au sens de la 8-connectivité.

Pour une diatomée D , domaine connexe, on définit le contour C à l'aide d'une chaîne de pixels noirs $[P_1, P_2, \dots, P_i, P_{i+1}, \dots, P_L, P_{L+1} = P_1]$ où L est la longueur de la chaîne et P_i est le $i^{\text{ème}}$ pixel de coordonnées entières (x_i, y_i) . Le pixel P_1 est appelé pixel de départ du contour C .

Un contour est dit simple (Chalifour, Beauchemin et al. 1998) si tous les pixels de la chaîne sont différents à l'exception des deux extrémités. Un contour est dit faiblement simple s'il possède une ou plusieurs adhérences simples ou composées.

Une adhérence simple est définie comme étant un chemin non simple de largeur d'un pixel, c'est-à-dire qu'il n'entoure aucun domaine connexe constitué de pixels blancs. De plus, chacun des pixels d'une adhérence simple est parcouru deux fois dans la chaîne, sauf l'extrémité terminale. La largeur d'une adhérence est nécessairement de longueur impaire (Chalifour, Beauchemin et al. 1998).

On a la représentation suivante d'une adhérence simple : $[P_k, P_{k+1}, \dots, P_t, \dots, P_{m-1}, P_m]$ où $P_{t-1} = P_{t+1}$ pour tout $1 \leq i \leq m - t$ avec $t - k = m - t$ et P_t est le pixel terminal de l'adhérence simple.

On définit comme extrémités potentielles de départ des contours de la diatomée, les pixels noirs de coordonnées (i, j) tels que le pixel de coordonnées $(i+1, j-1)$ soit un pixel noir et le pixel $(i+1, j)$ soit un pixel blanc.

Le déplacement de (i, j) à $(i+1, j)$ est d'indice de Freeman égale à 5.

Soit D une diatomée et notons $P_1 = (x_1, y_1)$ les coordonnées du premier pixel de départ potentiel du contour C , alors, par construction, le second pixel du contour orienté est le pixel noir de coordonnées $P_2 = (x_2, y_2)$. On peut associer au premier arc du contour, que l'on note $a_1 = [P_1 P_2]$, l'indice de Freeman $\alpha_1 = 5$.

À partir de ce premier déplacement, il est possible de construire successivement et de façon univoque les arcs du contour de longueur minimale d'une diatomée puisque chaque arc $a_k = [P_k P_{k+1}]$ pour $k \geq 2$ construit à partir de l'arc a_{k-1} doit respecter les deux hypothèses (Chalifour, Beauchemin et al. 1998) :

- **H1** : Il minimise la longueur du contour dans le sens de la 8-connectivité.
- **H2** : La chaîne construite est antihoraire; autrement dit, les extrémités de chaque arc sont des pixels noirs et les pixels à gauche de l'arc, par rapport au déplacement orienté, sont blancs.

Avec ces hypothèses, étant donné un arc a_{k-1} , il existe un et un seul arc orienté réalisant simultanément les hypothèses H1 et H2. Le choix du pixel P_{k+2} s'effectue en fonction du pixel $P_{k+1} = (x_{k+1}, y_{k+1})$. Si on utilise les indices de Freeman pour indiquer les directions de chaque arc, les seules paires (i, j) de déplacement successifs et admissibles sont présentées dans le tableau ci-dessous où le premier indice i (ligne) indique la direction d'un arc a_k et l'indice j (colonne) indique la direction admissible de l'arc suivant a_{k+1} minimisant la longueur de la chaîne de contour.

Tableau1. Paires des directions successives admissibles

i	0	1	2	3	4	5	6	7
j								
0	X	X			X	X	X	X
1	X	X	X	X		X	X	X
2	X	X	X	X			X	X

3	X	X	X	X	X	X		X
4	X	X	X	X	X	X		
5		X	X	X	X	X	X	X
6			X	X	X	X	X	X
7	X	X		X	X	X	X	X

De plus, certaines configurations représentent deux directions successives opposées. La prise en compte de ces configurations permettra la construction de chemins faiblement simples.

Comme conséquence de cette construction, nous obtenons pour chaque diatomée D un contour C de longueur L défini par une suite de pixels $[P_1, P_2, \dots, P_i, P_{i+1}, \dots, P_L, P_{L+1}=P_1]$, où l'arc $[P_1, P_2]$ est obligatoirement d'indice de Freeman égal à 5 et P_1 est le pixel de départ. De plus, chaque paire de pixels successifs définit un arc ayant une direction au sens de Freeman.

On associe au contour C une suite de directions : $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha_L$, où α_k est la direction de l'arc $[P_k, P_{k+1}]$ pour $k=1, \dots, L$. Cette suite de pixels et de directions nous permettra de calculer les angles normaux au contour.

3.2. Angles normaux au contour

Soit $[P_1, P_2, \dots, P_i, P_{i+1}, \dots, P_L, P_{L+1}=P_1]$ un contour d'une diatomée orienté positivement. À chaque pixel P_i d'une paire de déplacements successifs admissibles $[P_{i-1}, P_i, P_{i+1}]$, on associe la valeur moyenne θ_i des angles en radians que font les normales extérieures des deux déplacements adjacents au pixel. Pour les déplacements admissibles présentés au tableau 1, les angles possibles sont : $\theta = 0, \arctg(0.5), \frac{1}{4}*\pi$ et $\arctg(2)$ et leurs rotations $(\theta + \frac{1}{2} * k * \pi)$, k appartient à l'ensemble $\{1,2,3\}$.

Si on note la suite de directions normales associées aux pixels du contour par $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{i-1}, \theta_i, \theta_{i+1}, \dots, \theta_L, \theta_{L+1} = \theta_1$, on obtient une fonction des angles normaux, discrète et périodique, en fonction de la position des pixels dans la chaîne du contour (cf. figure 3).

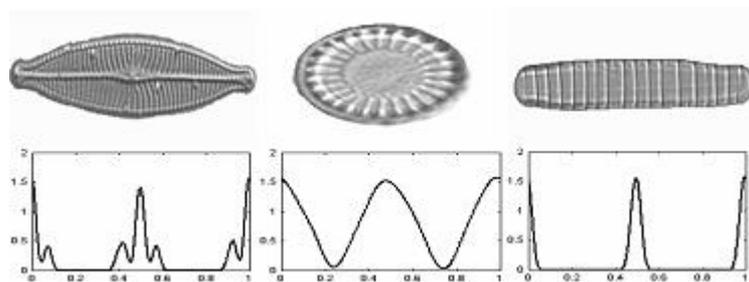


Figure 3. Exemples de diatomées et de fonctions d'angles associées

4. DESCRIPTEURS DE FOURIER

Soit $C = [P_1, P_2, \dots, P_i, P_{i+1}, \dots, P_L, P_{L+1}=P_1]$ un contour de longueur L orienté positivement, et soit la suite $[\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{i-1}, \theta_i, \theta_{i+1}, \dots, \theta_L, \theta_{L+1} = \theta_1]$ de directions normales associées aux pixels du contour C .

A partir de cette description, nous pouvons générer une fonction temporelle périodique, sur laquelle peut être calculée une transformée de Fourier (Kindratenko et Van Espen, 1996) :

$$f(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n e^{\frac{2\pi i n \theta}{L}}$$

Où $|c_n|$ décrit, ci-dessous, sont les descripteurs de Fourier.

$$|c_n| = \frac{1}{L} \int_0^L f(\theta) e^{-\frac{2\pi n \theta}{L}} d\theta$$

5. ANALYSE DISCRIMINANTE ET CLASSIFICATION BAYÉSIENNE

5.1. Analyse discriminante

L'analyse discriminante fait partie de la famille des méthodes indirectes de classification dites paramétriques (Hervé, 1997). Le but est de prédire l'appartenance d'un individu x , décrit par p variables, à une classe parmi n classes $C_1 \dots C_n$ définies à priori (Bouveyron, Girard et al., 2005), (Kindratenko et Van Espen, 1996). On utilise des fonctions de décision permettant de classer les individus dans une des classes existantes.

On trouve différents types de discrimination. L'analyse discriminante linéaire (LDA) consiste à séparer les classes par des frontières afin de regrouper les points à classer autour du centre de gravité de la classe et à créer aussi des frontières linéaires entre les classes.

L'analyse discriminante quadratique (QDA) a le même principe que LDA, excepté qu'au lieu de séparer les classes par des hyperplans, on les sépare par des surfaces ellipsoïdes.

5.2. Classification Bayésienne

L'approche bayésienne a pour but de minimiser la probabilité d'erreur de classification. Elle consiste à calculer les probabilités à posteriori d'appartenance aux groupes et à affecter au groupe le plus probable.

Ces probabilités sont estimées à partir de la formule de Bayes (Bouveyron, Girard et al., 2005):

$$P(C_i / \mathbf{x}) = \frac{P(\mathbf{x} / C_i)P(C_i)}{\sum_{j=1}^n P(\mathbf{x} / C_j)P(C_j)} \quad [1]$$

Pour construire un classifieur, il reste à compléter la formule de Bayes par une règle de décision (Kindratenko et Van Espen, 1996).

La règle de décision de Bayes conduit au classifieur optimal et s'exprime de la manière suivante :

$$\mathbf{x} \in C_i$$

tel que

$$\text{Max}_{1 \leq j \leq n} [P(C_j / \mathbf{x})]$$

Le choix final de la classe s'effectue donc en comparant les probabilités a posteriori d'appartenance à toutes les classes et en choisissant la plus grande. En remarquant que le dénominateur de la formule [1] est le même pour toutes les probabilités conditionnelles quelle que soit la classe, la règle de Bayes peut également se formuler de la manière suivante :

$$\mathbf{x} \in C_i$$

tel que

$$\text{Max}_{1 \leq j \leq n} [P(\mathbf{x} / C_j)P(C_j)]$$

6. RÉSULTATS

Nous disposons d'une base de données de 450 images de diatomées classées par genre et par espèce. Les diatomées de la base subissent une série de traitements permettant d'extraire la diatomée du fond, d'éliminer les points isolés (filtrage) et de faire une rotation suivant le plus grand axe de la diatomée (l'axe qui relie les deux points les plus éloignés du contour).

Les résultats obtenus sont encourageants mais des difficultés restent à surmonter pour certaines classes de diatomées représentant des formes assez proches (Figure 4). Nous introduirons des mesures qui prennent en compte les structures internes et les ornements des diatomées.

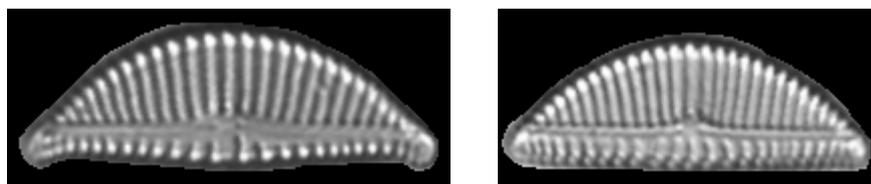


Figure 4. Exemple des diatomées dont le contour est semblable mais appartenant à des classes différentes

7. CONCLUSION

Nous avons présenté une méthode pour la classification automatique des diatomées basée sur une approximation polygonale du contour et l'extraction des angles normaux d'un contour 8-connecté antihoraire. Notre approche est le premier pas vers la mise en place d'un système automatique de classification de diatomées. Sur une base de données d'images de diatomées de 450 images, nous avons obtenu des résultats de l'ordre de 97% de bonne classification.

En outre, notre système présente les avantages de rapidité, d'efficacité et d'invariance à la translation. Des améliorations seront apportées à ce système en prenant en compte les structures internes et les ornements des diatomées.

Bibliographie

- Bergevin, R. (2003). *Projet de vision numérique aspects cognitifs : reconnaissance 2D*. Université Laval.
- Bouveyron, C., Girard, S., Schmid, C. (2005). Une nouvelle méthode de classification pour la reconnaissance de formes. *20^{ème} colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images*, Louvain-la-Neuve, septembre, pp. 711-714.
- Chalifour, A., Beauchemin, S., Bose, P., Nouboud, F. (1998). Analyse morphologique des filets de tricoptères : un problème d'écotoxicologie et de géométrie discrète. *Vision Interface'98*, Vancouver, juin, pp. 479-486.
- Du Buf, J. M. H., Mann, D., Bunke, H. Automatic diatom identification and classification. Project homepage: <http://www.ualg.pt/adiac>.
- Guo, Q., Chalifour, A., Nouboud, F., Campeau, S., Lavoie, I., Mammass, D., El Yassa, M. (2004). Diatom classification by image analysis. *International Conférence : Science of Electronic, Technologie of Information and Télécommunications*, Setit : 15-20 mars.
- Hervé, S. (1997) *Méthodes statistiques de sélection de modèles neuronaux: applications financières et bancaires*. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Kindratenko, V., Van Espen, P. (1996). Classification of irregularly shaped micro-objects using complex Fourier descriptors. *Proceedings of 13th ICPR*, vol. II, pp. 285-289
- Perez, J., Vidal, E. (1994). Optimum polygonal approximation of digitized curves. *PRL*, vol. 15, pp. 743-750, 1994.
- Renneson-Debled, I., Tabbone, S., Wendling, L. (2004). Approximation polygonale à partir d'une analyse

multi-ordres des points de contour. 4^{ème} Colloque International Francophone sur l'Écrit et le Document.

Pour citer cet article

Abdelkader SIDDOUR, Fathallah NOUBOUD, Driss MAMMASS, Alain CHALIFOUR et Stéphane CAMPEAU. «Classification des diatomées par les descripteurs de Fourier du contour». e-TI - la revue électronique des technologies d'information, Numéro 4, 20 juillet 2007, <http://www.revue-eti.netdocument.php?id=1374>.