

Filtrage et compression de données issues d'une table à digitaliser

Rémy MULLOT - Yves LECOURTIER

Lacis - Itepea
Université de Rouen
BP 118, 76134 Mont Saint Aignan

RÉSUMÉ

Nous proposons un prétraitement de l'information issue d'une table à digitaliser qui permet à la fois d'éliminer les bruits d'acquisition et de polygonaliser le tracé. Le principe général de l'approximation du tracé est basé sur la définition d'un ensemble de segments de droites définies par double moindres carrés.

La mise en place de tests sur des figures géométriques et sur le tracé de l'écriture cursive confirme la cohérence de la démarche.

ABSTRACT

We propose information preprocessing of an on-line acquisition system. The curve is approximated by a group of straight line segments calculated by double least squares. This curve polygonalisation allows to eliminate acquisition noises.

The implementation of tests on geometrical features and on on-line handwriting validates the effectiveness of this preprocessing.

1) Introduction

L'utilisation de table à digitaliser pour la saisie puis la reconnaissance de l'écriture cursive nécessite la mise en place de traitements spécifiques d'une part pour le filtrage des points acquis afin d'éliminer les bruits dus à la numérisation du tracé et aux tremblements de la main, d'autre part pour la compression des données afin de ne conserver qu'un ensemble limité de points tout en gardant une bonne représentation du tracé.

A titre d'exemple, pour une résolution à 1/40 de mm et un pas courant de 5 lignes soit 0,125mm, un segment de droite de 2,5 cm correspondra à 200 couples de coordonnées transmises par la table. Or, 2 couples suffisent pour définir entièrement le segment soit un facteur de compression possible de 100 sur cet exemple simple si on est en mesure de ne retenir que ces deux couples. Outre la place gagnée pour le stockage des données, une telle polygonalisation du tracé a pour avantage de préparer les phases ultérieures de reconnaissance du type d'objets symbolisés par le tracé.

Nous proposons une méthode de polygonalisation permettant de conserver beaucoup de points si la courbure du tracé est importante, et peu de points dans le cas contraire. Le but de l'algorithme de polygonalisation est donc d'engendrer la représentation d'un tracé optimal au sens de certains critères, à partir d'une acquisition présentant une suite de défauts qu'il faut

éliminer au mieux. On doit donc trouver les propriétés se résumant ainsi:

- Les couples de coordonnées retenues doivent être en nombre suffisant sur une portion de tracé, en particulier lorsqu'il s'agit de courbes.
- Deux couples de coordonnées sont suffisants pour définir un trait même s'il existe de légères variations entre le tracé réel et la droite estimée.

Les principales approches de prétraitement sont celles abordées par Berthod [1], Belaid [2], Ballard et Brown [3], Ito [4] et Hanaki [5]. L'article de Tappert et Suen [6] permet de faire une synthèse sur l'ensemble des techniques de prétraitement, en particulier sur les problèmes de réduction du bruit.

2) Compression de données

La méthode de polygonalisation que nous proposons est basée sur une double estimation par moindres carrés des segments retenus.

La table à digitaliser fournit une suite de points $P_i(x_{pi}, y_{pi})$ correspondant à l'échantillonnage d'une courbe (C). Pour ne pas stocker l'ensemble des points échantillonnés, on va approximer la courbe (C) par une suite de segments S_n de droites dont on ne retiendra que les extrémités $E_n(x_{en}, y_{en})$.

Le point E_n sera généralement le point d'intersection de



la droite D_{n-1} support du segment S_{n-1} et de la droite D_n support du segment S_n , sauf dans quelques situations particulières. L'algorithme de détermination de la droite support (D) est un algorithme de moindres carrés classique portant sur l'ensemble des points P_i acquis depuis la dernière décision de changement de droite.

Le critère de décision de changement de droite est le suivant: on détermine la droite des moindres carrés (D') associée aux k derniers points acquis (où k est un paramètre choisi en fonction du pas d'échantillonnage; sa valeur est inversement proportionnelle au pas). On compare les coefficients directeurs des deux droites (D) et (D'). Il y a décision de changement de modèle si la différence entre ces deux directions est jugée significative.

Ce critère est complété par un test de détection de point de rebroussement ou de point anguleux proche d'un point de rebroussement, et un test de fin de tracé (stylet levé).

3) Les Moindres Carrés

Nous raisonnerons sur un modèle de droite du type $y_m = a.x_m + b$, les résultats se transposant immédiatement au cas du modèle $x_m = \alpha.y_m + \beta$.

Rappelons que tout l'intérêt de la méthode des moindres carrés réside dans le fait que, le modèle étant linéaire par rapport aux paramètres et le critère J :

$$J = \sum_{i=1}^n (y_{pi} - y_{mi})^2 = \sum_{i=1}^n (y_{pi} - a.x_{pi} - b)^2$$

étant quadratique par rapport à ces mêmes paramètres, la détermination des valeurs a_j et b_j de a et b qui minimisent J se calculent analytiquement en écrivant que ces valeurs a_j et b_j annulent $\frac{dJ}{da}$ et $\frac{dJ}{db}$.

$$\frac{dJ}{db} = 0 \Leftrightarrow a_{jn} \sum_{i=1}^n x_{pi} + b_{jn}.n = \sum_{i=1}^n y_{pi}$$

$$\frac{dJ}{da} = 0 \Leftrightarrow a_{jn} \sum_{i=1}^n x_{pi}^2 + b_{jn} \sum_{i=1}^n x_{pi} = \sum_{i=1}^n x_{pi} y_{pi}$$

Soit en posant

$$S_{x_n} = \sum_{i=1}^n x_{pi}, \quad S_{y_n} = \sum_{i=1}^n y_{pi},$$

$$S_{xx_n} = \sum_{i=1}^n x_{pi}^2, \quad S_{xy_n} = \sum_{i=1}^n x_{pi} \cdot y_{pi}$$

on obtient:

$$a_{jn} = \frac{n.S_{xy_n} - S_{x_n}.S_{y_n}}{n.S_{xx_n} - S_{x_n}^2}$$

$$b_{jn} = \frac{S_{xx_n}.S_{y_n} - S_{x_n}.S_{xy_n}}{n.S_{xx_n} - S_{x_n}^2}$$

***Remarque:** l'indice n pour a_j et b_j , indique que l'estimée est calculée à partir des n derniers points P_i mesurés.

Lorsqu'on acquiert un nouveau point P_{n+1} , il est très simple de mettre à jour les quatre sommes:

$$S_{x_{n+1}} = S_{x_n} + x_{n+1} \quad S_{y_{n+1}} = S_{y_n} + y_{n+1}$$

$$S_{xx_{n+1}} = S_{xx_n} + x_{n+1}^2 \quad S_{xy_{n+1}} = S_{xy_n} + (x_{n+1} \cdot y_{n+1})$$

puis de calculer les nouvelles estimées a_{n+1} et b_{n+1} . La droite (D') n'est déterminée qu'à partir des k derniers points acquis. De ce fait lorsqu'on ajoute l'influence du point P_n pour calculer l'estimation des paramètres de (D'), il faut également retrancher l'influence de P_{n-k} .

La détermination de a_{jn}' et b_{jn}' minimisant le critère J' défini par

$$J' = \sum_{i=n-k+1}^n (y_{pi} - a'.x_{pi} - b')^2$$

s'effectue de façon analogue, et on obtient

$$a_{jn}' = \frac{k.T_{xy_n} - T_{x_n}.T_{y_n}}{k.T_{xx_n} - T_{x_n}^2}, \quad \text{avec}$$

$$T_{x_{n+1}} = T_{x_n} + x_{n+1} - x_{n-k+1},$$

$$T_{y_{n+1}} = T_{y_n} + y_{n+1} - y_{n-k+1},$$

$$T_{xx_{n+1}} = T_{xx_n} + x_{n+1}^2 - x_{n-k+1}^2,$$

$$T_{xy_{n+1}} = T_{xy_n} + (x_{n+1} \cdot y_{n+1}) - (x_{n-k+1} \cdot y_{n-k+1})$$

Remarquons que le critère de changement de droite portant uniquement sur les coefficients directeurs, il est inutile de calculer b_{jn}' . De même, le calcul de b_{jn} ne sera nécessaire que lorsqu'on décidera d'un changement de droite, pour la détermination du point E_n . Pour compléter la présentation de cette méthode, il est nécessaire de détailler d'une part le problème des points de rebroussement et des points anguleux proches d'un point de rebroussement, et d'autre part, l'initialisation des deux droites des moindres carrés.

4) Points de rebroussements et points anguleux proches d'un point de rebroussement

La procédure des moindres carrés est une procédure que l'on peut qualifier de "statique" dans le sens où elle ne prend pas en compte l'ordre dans lequel les points P_i ont été acquis, mais uniquement la valeur des coordonnées (x_i, y_i) de ces points. L'algorithme vérifie pour chaque point P_i que le vecteur $P_{i-1}P_i$ forme un angle aigu avec le vecteur $V = \text{sgn}(x_1 - x_0) \begin{bmatrix} 1 \\ a_j \end{bmatrix}$ en calculant le produit scalaire :

$V \cdot P_{i-1}P_i = \text{sgn}(x_1 - x_0) ((x_i - x_{i-1}) + a_j(y_i - y_{i-1}))$. Un produit scalaire négatif signifie donc un "retour arrière" dans le tracé et implique donc un arrêt du segment en cours. La caractérisation du produit scalaire négatif aura pour conséquence d'arrêter le segment courant en P_{i-1} afin de conserver l'information "Point de Rebroussement".

5) Initialisation des droites des moindres carrés.

Une opération importante du processus de

polygonalisation concerne l'initialisation des 2 droites des moindres carrés (D) et (D'). Cette initialisation est effectuée d'une part lors du début de la polygonalisation, soit lorsque le scripteur pose le stylet sur la table soit lors de la détection de point anguleux ou de rebroussement, et d'autre part, lors de la rupture du modèle courant après un arrêt du segment sur critère d'écart entre a_j et a'_j .

5.1) Rupture de modèle sur critère d'écart entre a_j et a'_j

Lors de la détection d'écart entre les deux coefficients directeurs des droites (D) et (D'), il faut réinitialiser la droite (D) à partir des points ayant contribué à la détermination de (D'). Il suffit donc d'affecter :

$$\begin{array}{ll} a_{jn} = a'_{jn} & ; \quad b_{jn} = a'_{jn} \\ S_{x_n} = T_{x_n} & ; \quad S_{y_n} = T_{y_n} \\ S_{xx_n} = T_{xx_n} & ; \quad S_{xy_n} = T_{xy_n} \end{array}$$

Le paramètre k , nombre de points considérés pour le calcul de la droite des moindres carrés (D') permet de déterminer le type de polygonalisation que l'on souhaite réaliser.

5.2) Initialisation de la polygonalisation lors de l'acquisition des premiers points:

Il est nécessaire de déterminer l'initialisation de la première droite d'appui issue de l'échantillonnage des tous premiers points. Pour la détermination cette première droite, il faut d'acquérir au moins k points, afin de pouvoir commencer une comparaison entre (D) et (D'). (D) et (D') sont alors confondues. Au $k+1$ ème point, la comparaison devient systématique. Le point extrémité du segment (D1) est défini à partir de la projection orthogonale de (P1) sur (D1). Le point (E1) est alors défini comme extrémité de la droite (D1) et est introduit dans la liste des points retenus par la polygonalisation.

5.3) Initialisation lors de la détection de points anguleux:

La seconde initialisation concerne les points de rebroussement ou les points anguleux pour lequel l'angle formé par les deux droites d'appui (Dn) et (Dn+1) est proche de 180° (les angles sont définis à partir des deux directions des segments).

-> Détermination des points anguleux :

La détermination d'un point anguleux est relativement aisée. Les deux droites (Dn) et (Dn+1) étant disponibles, on calcule alors l'intersection de (Dn) et (Dn+1) afin de déterminer le point d'extrémité E_n .

-> Détermination des points de "rebroussement" :

La détermination d'un point de "rebroussement" est une opération plus délicate. En effet, déterminer un point d'intersection de deux droites formant un angle proche de 180° peut engendrer parfois des erreurs d'estimation.

Le point d'intersection entre 2 droites (D1) et (D2) peut être éloigné du point échantillonné caractérisant le point de "rebroussement". En extrapolant, on peut chercher à déterminer un point d'intersection E_n à l'infini, si les deux droites sont parallèles.

Nous avons choisi de définir les points (En) et (En+1) correspondant à la projection orthogonale du point de "rebroussement" échantillonné Pr sur les deux droites (Dn) et (Dn+1).

On conserve ainsi l'information point de "rebroussement" à partir de la définition des deux points extrémités E1 et E2, chacune d'elles caractérisant le "rebroussement" sur chaque droite estimée. On garde ainsi l'influence du point de "rebroussement" échantillonné tout en conservant la cohérence du traitement.

6) Tests et Résultats

Nous avons testé les algorithmes de polygonalisation sur différents types de tracé. Pour chacune des formes obtenues, nous avons défini des paramètres d'expérimentation et un taux de compression. Les taux de compression sont compris entre 88 et 97%, suivant le type de tracé et les paramètres choisis.

En ce qui concerne les cercles, on obtient globalement une suppression de 3 points sur 4, ce qui est loin d'être négligeable. D'autre part, on distingue une diminution du taux de compression lorsque le diamètre diminue. Donc, plus la courbure est importante, plus le nombre de points issus de la polygonalisation est important. C'est bien l'objectif que nous souhaitons atteindre. Dans nos essais, cette différence est de l'ordre de 10% lorsque l'on passe d'un diamètre de 6 à 2cm.

Les chiffres que nous avons présentés, ne permettent pas d'apprécier la qualité de la restitution du tracé polygonalisé. Dans le cas de l'écriture manuscrite, il est important de conserver une information suffisamment riche afin de rendre possible la reconnaissance de l'écrit. Aussi, nous avons effectué un certain nombre d'essais associant à la fois l'aspect compression et l'aspect qualité du tracé restitué.

Pour cela, nous avons mis en place des critères d'évaluation permettant d'apprécier la qualité du tracé polygonalisé, ceci afin d'échapper au mieux à toute subjectivité dans cette analyse.

* Un tracé est bien restitué si:

- Les droites sont effectivement caractérisées par un nombre minimum de points.
- Les courbes sont caractérisées par un ensemble de points suffisant, permettant de conserver l'information de courbure sans pour cela comporter une surabondance de points.



Les essais ont été effectués par un scripteur, sur une ligne manuscrite dont la hauteur de l'interligne est comprise entre 2 et 5 millimètres. Nous avons souhaité vérifier la validité de ce module de polygonalisation et la qualité du tracé polygonalisé en développant un module de reconnaissance des chiffres compris entre 0 et 9.

Les résultats de la classification envisagée sont tout à fait intéressants :

- Nombre de chiffres testés	:	1067
- Nombre de chiffres prototypes	:	100
- Taux de reconnaissance	:	96,2%
- Taux de chiffres non reconnus	:	2,7%
- Taux d'ambiguïtés	:	0,5%
- Taux d'erreurs	:	0,6%

Nous ne développerons pas la classification utilisée pour parvenir à ces résultats, le but de cette étude n'étant pas orienté sur les aspects classification. Toutefois, le traitement de la reconnaissance est basé sur la démarche suivante :

- Extraction des primitives de classification :
 - * Localisation des extrémités des traits.
 - * Recherche des extrema locaux (gauche, droite, haut, bas).
- Définition de la suite ordonnée des primitives extraites.
- Comparaison directe entre les suites de primitives des modèles de chiffres et de la forme à reconnaître.

L'ensemble des traitements sont définis en détails dans [7]. Toutefois, ces chiffres montrent très clairement que l'information en amont de la classification est suffisamment précise pour permettre une reconnaissance correcte des chiffres, sachant que l'on peut s'attendre à de meilleurs résultats pour une classification moins élémentaire. La compression de données est donc un traitement efficace. Elle permet de supprimer dans un contexte donné, près de 4 points échantillonnés sur 5, tout en conservant une qualité suffisante de l'information permettant une bonne classification.

7) Conclusion

Les essais préliminaires prouvent le bon comportement des algorithmes de compression de données et de filtrage. Suivant le type de matériel, les paramètres choisis, et l'application envisagée, il reste à définir un compromis optimal entre les contraintes antagonistes de filtrage du bruit d'acquisition et la conservation des détails significatifs du tracé.

L'approche envisagée se distingue sur plusieurs points:

- les opérations de filtrage et de compression se font simultanément au lieu d'être effectuées séquentiellement;
- le filtrage par moindres carrés programmés de façon récursive permet de minimiser les calculs à chaque nouvelle

acquisition;

- une généralisation de la technique pour décrire le tracé par d'autres types de courbes s'effectue sans difficulté.

Il s'agit donc d'un outil efficace qui peut évoluer suivant le type de l'application envisagée.

Bibliographie

- [1] M. Berthod. On-line Analysis of Cursive Writing. In C.Y. Suen and R. De Mori Ed. "Computer Analysis and Perception", Vol.1: Visual Signals, 55-81, Boca Raton CRC Press, 1982.
- [2] A. Belaïd, G. Masini, Segmentation de tracés sur tablette graphique en vue de leur reconnaissance, Revue Technique et Science Informatiques, vol 1, n°2, 155-168, 1982.
- [3] D.H. Ballard, C.M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall, 1982.
- [4] M.R.Ito, T.L. Chin, On-line computer recognition of proposed standart ANSI (USASI) handprinted characters, Pattern Recognition, Vol 10, N° 5/6, 341-349, 1978.
- [5] S. Hanaki, T. Temma, Y. Yoshida, An on-line character recognition aimed at a substitution for a billing machine keyboard, Pattern Recognition, Vol 8, 63-71, 1976.
- [6] C.C. Tappert, C.Y. Suen, T. Wakahara. On-Line Handwriting Recognition - A Survey. Proc. of the 9th Int. Conf. on Pattern Recogn. 2, 1123-1132, Rome, Nov 1988.
- [7] J.M. Ogier, Reconnaissance écriture cursive, Rapport interne LACIS, Novembre 90.