

SEGMENTATION DES SIGNATURES MANUSCRITES

Jean-Jules Brault et Réjean Plamondon, Laboratoire SCRIBENS

Département de Génie Electrique, Ecole Polytechnique de Montréal
C.P. 6079, Succ. "A", Montréal QC, H3C 3A7, CANADA

The conference will be presented in English.

Abstract

This paper describes a new algorithm for segmenting handwritten signatures sampled by a digitizer. The segmentation points are found with the help of a two steps procedure. The first step weights the perceptual importance of every signature coordinate "i". The resulting function (called $FI(i)$) indicates the necessity to segment the signature at coordinate "i". The second step identifies the local maxima of the function $FI(i)$. A pseudocode description of the algorithm is given, and the method is illustrated on different signatures.

Résumé

Un nouvel algorithme de segmentation de signatures manuscrites est proposé dans cette communication. Les données utilisées sont les coordonnées échantillonnées par une tablette numérique lors de l'exécution des signatures. La segmentation est réalisée en deux étapes. La première consiste à estimer l'importance perceptuelle relative de chacune des coordonnées de la signature afin d'obtenir une fonction (nommée $FI(i)$) qui indiquera la nécessité de segmenter à la coordonnée "i". La deuxième partie consiste à identifier les maxima locaux de la fonction $FI(i)$. Le pseudocode de l'algorithme permettant de calculer cette fonction est fourni et la méthode est illustrée sur différentes signatures.

Mots clés: segmentation, signatures manuscrites, perception visuelle.

I. Introduction

La vérification dynamique des signatures consiste à confirmer ou infirmer l'identité prétendue d'un signataire à partir d'informations obtenues durant son exécution à l'aide d'une tablette à numériser ou d'un crayon spécial muni de transducteurs. Les techniques proposées dans la littérature [Plamondon et Lorette (1988)] pour réaliser des systèmes informatiques de vérification de signatures peuvent être regroupées en deux grandes classes: les approches basées sur des fonctions dérivées des signaux captés, et celles basées sur des paramètres globaux spécifiques. La première approche a donné à ce jour des résultats supérieurs (mesurés en taux de faux rejets et de fausses acceptations), car elle

conserve un maximum de l'information initiale. Cependant, plusieurs améliorations doivent encore y être apportées si l'on veut abaisser les taux d'erreur à des niveaux commercialement acceptables.

Les techniques de comparaison de signatures nécessitent généralement que les signatures aient préalablement été segmentées, et une des améliorations possibles pourrait provenir d'une meilleure technique de segmentation de façon à obtenir des segments qui soient plus près de la réalité psycho-motrice et perceptuelle d'une signature.

Plusieurs techniques intéressantes ont déjà été proposées pour segmenter des images de lignes quelconques. Pour ne citer que quelques exemples:

- * L'algorithme proposé par Pavlidis et Horowitz (1974) est basé sur l'approximation itérative ("split and merge") d'une courbe quelconque par des segments de droite. Cette méthode est adéquate dans le cas où l'on veut approximer une courbe par une ligne polygonale. Cependant, le nombre de points de segmentation a quelquefois tendance à être trop élevé, et ces points peuvent ne pas être bien centrés sur les sommets, ce qui est un inconvénient si l'on veut que la segmentation d'une signature soit le reflet d'une réalité psycho-motrice ou perceptuelle.
- * Une autre technique proposée par Kruse et Rao (1978) est basée sur le calcul de la corrélation entre un modèle mathématique d'un sommet, que ces auteurs nomme "corner model", et la portion de courbe reliant "s" points ("s" fixe). La lacune principale de cette méthode est de définir arbitrairement le modèle d'un sommet, et de fixer l'environnement d'un sommet quelconque à "s" points, ce qui ne permettrait pas, par exemple, de bien quantifier l'importance d'un sommet composé d'un grand nombre de points.
- * Un autre type de technique, proposée par Freeman et Davis (1977), consiste également à analyser la courbe à segmenter, par portion de "s" points, mais, à chaque déplacement, on

calcule trois indices: l'un est relié à la courbure cumulée de ces "s" points, les deux autres sont reliés à la longueur des côtés de part et d'autre du point de courbure maximale. A l'aide de ces trois indices, l'importance d'un sommet quelconque situé en dedans de "s" données est calculée. La "probabilité" qu'un point de la courbe soit singulier (et potentiellement un point de segmentation) est donc liée à l'ampleur du changement de direction du tracé de la courbe au point considéré, et de "l'importance" (la longueur) des côtés avant et après ce changement de direction. Cette méthode intéressante présente néanmoins la même lacune que celle de Kruse et Rao (1978), soit de fixer arbitrairement le nombre "s" de points qui déterminent l'environnement d'un sommet potentiel.

Le but de cet article est de proposer une nouvelle méthode de segmentation des signatures basées sur des considérations liées à la perception. L'algorithme proposé détermine lui-même l'environnement des sommets potentiels et fournit une fonction donnant l'importance perceptuelle de chacun des points de la signature analysée. La segmentation a évidemment lieu aux endroits où la fonction atteint des maxima locaux.

II. Algorithme de segmentation

L'algorithme de segmentation que nous proposons, dont une première version est parue dans Brault et Plamondon (1987) et modifiée dans Brault (1988), s'apparente quelque peu à celui de Freeman et Davis (1977). Nous croyons cependant que pour être sûr qu'un point de la courbe soit effectivement un point singulier de son environnement (ou domaine), on doit connaître, non pas les points d'un environnement prédéterminé, mais plutôt tous ceux qui créent cet environnement.

Mentionnons tout d'abord que la courbe à segmenter (la signature) est constituée de points séquentiellement équidistants. Puis, pour chacun des points "i" de cette courbe, on tente de construire un sommet centré sur ce point "i" à l'aide de ses points voisins, jusqu'à ce que certaines conditions soient rencontrées. Par exemple à la figure 1, on remarque qu'il existe des conditions géométriques (que l'on va spécifier plus loin) pour lesquelles certains points (par exemple: i+6, i-6) ne pourront faire partie du domaine du sommet centré en "i". De plus, on note que les points faisant partie du domaine de "i" ne contribuent pas tous de la même façon à rendre ce sommet important.

Pour qu'un algorithme puisse déterminer automatiquement le domaine d'un sommet et aussi, estimer la contribution de chacun des points du sommet à le rendre important, on calcule pour chaque paire de voisins "i-n" et "i+n" (où n=1,2,...), certains paramètres géométriques montrés à la figure 2. Ainsi, plus un des deux angles $\theta_{AX}(i,n)$ ou $\theta_{RX}(i,n)$ s'approche de $\pi/2$, moins la paire de segments de droite associés à ces angles contribue à rendre le point "i" important ou singulier. Donc, en analysant les

angles $\theta_{AX}(i,n)$ et $\theta_{RX}(i,n)$, nous pouvons déterminer d'une part, si la paire de points ("i-n", "i+n") fait partie du domaine de "i", et d'autre part, estimer l'importance de leur contribution.

Les conditions d'appartenance sont tout simplement les suivantes:

$$\text{Si } \begin{cases} |\theta_{AX}(i,n)| < \theta_{AX.MAX} \\ |\theta_{RX}(i,n)| < \theta_{RX.MAX} = \theta_{AX.MAX} = \theta_{ARX.MAX} \end{cases} \quad (1)$$

où $\theta_{ARX.MAX}$ est un seuil compris entre 0 et $\pi/2$

alors: les points "i-n" et "i+n" font partie du domaine de "i".

• L'importance de leur contribution est calculée par la formule empirique:

$$\text{IMP}(i,n) = \cos(\theta_{RX}(i,n)) * \cos(\theta_{AX}(i,n)) \quad (2)$$

L'utilisation de cette fonction trigonométrique est justifiée par son comportement adéquat en fonction des angles concernés, alors que l'opération multiplication tient compte de l'observation que les deux angles calculés doivent être favorables pour qu'une paire de segments contribue à rendre le sommet "i" important.

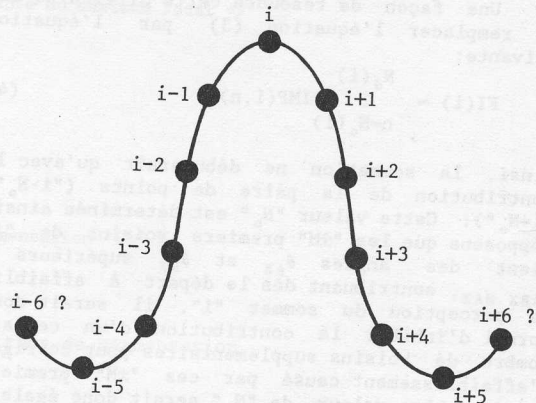


Figure 1 - Courbe illustrant les points faisant partie du domaine du sommet "i".

• La contribution totale des points faisant partie du domaine de "i" est finalement calculée par:

$$\text{FI}(i) = \frac{N_d(i)}{\sum_{n=1} \text{IMP}(i,n)} \quad (3)$$

où $N_d(i)$: nombre de points faisant partie du domaine de "i".

Avec certains types de courbes, la décision concernant l'appartenance ou non des points à un sommet n'est pas aussi évidente qu'avec ceux des figures 1 et 2. En effet, que penser des trois courbes présentées aux figures 3a à 3c? Sur la figure 3a, le point I est sans contredit le sommet de la courbe. Par contre, à mesure que le sommet s'aplanie, deux sommets secondaires (I'

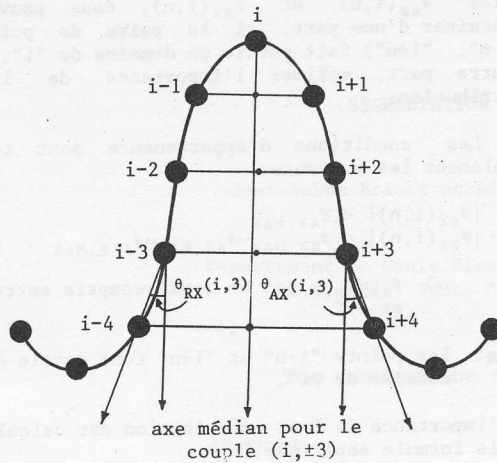


Figure 2 - Courbe illustrant les différents paramètres géométriques utilisés pour estimer l'importance perceptuelle d'un point.

et I'') apparaissent et prennent de l'importance aux dépens du sommet I.

Une façon de résoudre cette difficulté est de remplacer l'équation (3) par l'équation suivante:

$$FI(i) = \frac{N_d(i)}{\sum_{n=N_0(i)} IMP(i,n)} \quad (4)$$

Ainsi, la sommation ne débiterait qu'avec la contribution de la paire de points ("i-N₀", "i+N₀"). Cette valeur "N₀" est déterminée ainsi. Supposons que les "±M" premiers voisins de "i" aient des angles θ_{AX} et θ_{RX} supérieurs à $\theta_{ARX,MAX}$, contribuant dès le départ à affaiblir la perception du sommet "i", il serait donc normal d'inhiber la contribution d'un certain nombre de voisins supplémentaires pour corriger l'affaiblissement causé par ces "±M" premiers voisins. La valeur de "N₀" serait donc égale à K*M, avec K préférablement supérieur à 2.

D'autre part, on peut interrompre la contribution des voisins "i-n" et "i+n" lorsque $\theta_{AX}(i,n)$ et $\theta_{RX}(i,n)$ sont trop différents l'un de l'autre (c'est-à-dire lorsque le sommet est trop dissymétrique). On a donc ajouté la condition suivante à celles spécifiées en (1):

$$|\theta_{RX}(i,n) - \theta_{AX}(i,n)| < \theta_{DISS,MAX} \quad (5)$$

Il y a finalement trois paramètres à déterminer, soit $\theta_{ARX,MAX}$, $\theta_{DISS,MAX}$ et K. Le pseudocode de l'algorithme permettant d'évaluer l'importance perceptuelle FI(i) de chacun des points de la signature en fonction de son environnement est donné aux lignes 1 à 27 de la figure 4.

La segmentation aura évidemment lieu aux endroits où la fonction FI(i) atteint des maxima locaux. Le pseudocode de l'algorithme utilisé est donné aux lignes 28 à 41 de la figure 4.

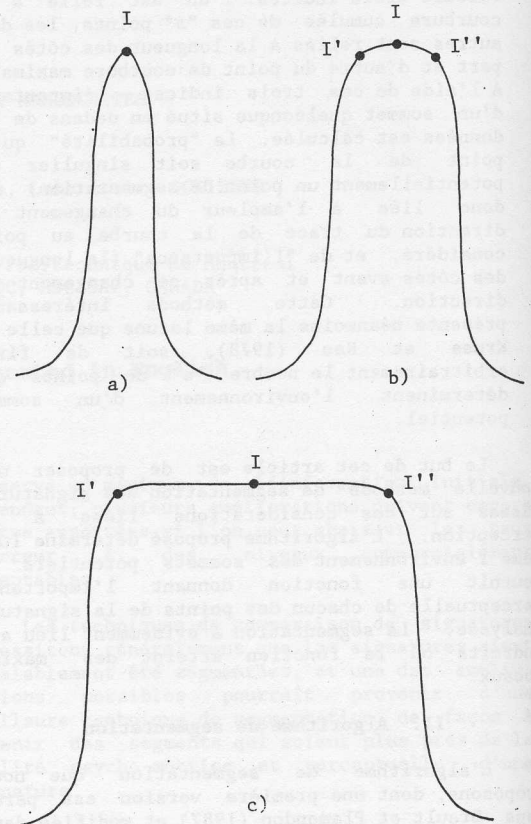


Figure 3 - Effet de l'aplatissement du sommet d'une courbe sur sa perception.

III. Résultats préliminaires

Les figures 5 à 8 présentent des résultats typiques obtenus en appliquant l'algorithme de la figure 4. La figure 5a montre une signature à segmenter. Bien qu'il faille actuellement déterminer à priori les trois paramètres de l'algorithme, la figure 5c montre la fonction FI(i) obtenue avec un choix adéquat de paramètres, soit $\theta_{ARX,MAX} = 3\pi/8$, $\theta_{DISS,MAX} = \pi/4$, K = 3. Les points de segmentation numérotés sur la signature correspondent à ceux montrés sur la fonction FI(i) de la figure 5b. Notez que l'amplitude de FI(i) à chacun des points "i" est une indication de la nécessité de les choisir comme points de segmentation. Etant donné que l'amplitude de FI au point #2 est plus grande que celle au point #3, qui est elle-même supérieure à celle du point #4, etc., ces résultats semblent donc en accord avec la perception relative que nous avons de chacun de ces sommets. La largeur des pics de la fonction FI(i) est une indication de l'incertitude que l'on aurait s'il fallait choisir manuellement un seul point de segmentation pour un sommet donné. Par exemple, pour le sommet #B il aurait été possible de choisir un des points adjacents, à gauche ou à droite, de celui qui a été choisi automatiquement par l'algorithme, alors que celui du sommet #2 ne présente aucune ambiguïté car il est très aigu.

```

/* Estimation de l'importance perceptuelle des coordonnées d'une signature */
1- /* boucle principale */
2- i=0
3- WHILE i < NTOTAL DO
4-   i=i+1
5-   n=0
6-   M=0
7-   premier=1
8-   arrêt=0
/* NTOTAL = nombre d'échantillons de la signature */
/* nième voisin
/* nombre de points à inhiber
/* indicateur de début de sommation n'a pas débutée
/* indicateur de fin de sommation
9- /* boucle #1 */
10- WHILE (arrêt==0) DO
11-   n=n+1
12-   calculer  $\theta_{RX}(i,n)$  et  $\theta_{AX}(i,n)$ 
13-   IF (( $|\theta_{RX}(i,n)| < \theta_{ARX.MAX}$ ) AND
14-       ( $|\theta_{AX}(i,n)| < \theta_{ARX.MAX}$ ) AND
15-       ( $|\theta_{RX}(i,n)| - |\theta_{AX}(i,n)| < \theta_{DISS.MAX}$ ))
16-   THEN
17-     IF (n>K*M)
18-     THEN
19-       FI(i) = FI(i) + COS( $\theta_{RX}(i,n)$ ) * COS( $\theta_{AX}(i,n)$ )
20-       premier=0
21-       IF (( $|\theta_{RX}(i,n)| > \theta_{ARX.MAX}$ ) OU ( $|\theta_{AX}(i,n)| > \theta_{ARX.MAX}$ )) ET (premier=1)
22-       THEN
23-         M = M+1
24-       ELSE
25-         arrêt=1
26-   /* fin de boucle #1 */
27- /* fin de boucle principale */

/* Segmentation automatique */
28- is=0
29- fi.max.local=0
/* numéro de point de segmentation */
/* valeur courante du maximum local */
30- /* boucle #2 */
31- WHILE i < NTOTAL DO
32-   i=i+1
33-   IF (FI(i) > fi.max.local)
34-   THEN
35-     fi.max.local = FI(i)
36-     IF ((FI(i)==0) ET (fi.max.local > 0))
37-     THEN
38-       is=is+1
39-       segm(is) = i
40-       fi.max.local=0
/* point de segmentation "is" */
41- /* fin de boucle #2 */

```

Figure 4 - Pseudocode de l'algorithme de segmentation

Nous avons remarqué (les analyses seront présentées lors de la conférence) que la sensibilité de FI(i) par rapport à " $\theta_{ARX.MAX}$ " et "K" est plus grande que celle par rapport à " $\theta_{DISS.MAX}$ ". Les figures 6a à 6g montrent les changements de la fonction FI(i) en fonction du paramètre $\theta_{ARX.MAX}$ (les deux autres ayant été fixés; $\theta_{DISS.MAX} = \pi/2$ (aucune contrainte), K = 2). On voit que plus $\theta_{ARX.MAX}$ diminue, plus la fonction devient sélective. En effet, lorsque $\theta_{ARX.MAX}$ est fixé à $\pi/2$, le point central compris entre les sommets #A et #B de la figure 5a (pointé par une flèche sur la figure 6a) est considéré comme un sommet (comme nous l'avions déjà mentionné pour la figure 3c), alors que lorsque $\theta_{ARX.MAX}$ diminue, l'importance de ce point tend vers zéro. Cependant, si $\theta_{ARX.MAX}$ devient trop petit, la valeur de FI(i) au sommet #B deviendra trop petite.

La généralité des valeurs des seuils, une fois fixés est peut-être discutable étant donné

que des seuils jugés adéquats pour une signature donnée puissent ne pas l'être pour une autre signature. Néanmoins, les variations de FI(i) sont minimales à l'intérieur d'une plage relativement étendue de valeurs de ces paramètres.

En effet, nous avons segmenté plusieurs autres signatures avec les mêmes paramètres que ceux utilisés pour la signature 5a. Les figures 7b et 8b montrent d'ailleurs les fonctions FI(i) pour deux de ces signatures de même que leurs points de segmentation. (Le point de segmentation #5 sur les figures 8a et 8b (noté par une flèche) a été ajouté manuellement car FI(i) présentait deux maxima locaux sans que la fonction ne passe par zéro).

Nous croyons qu'il sera possible dans un avenir rapproché de déterminer automatiquement des seuils qui pourront satisfaire la majorité des cas.

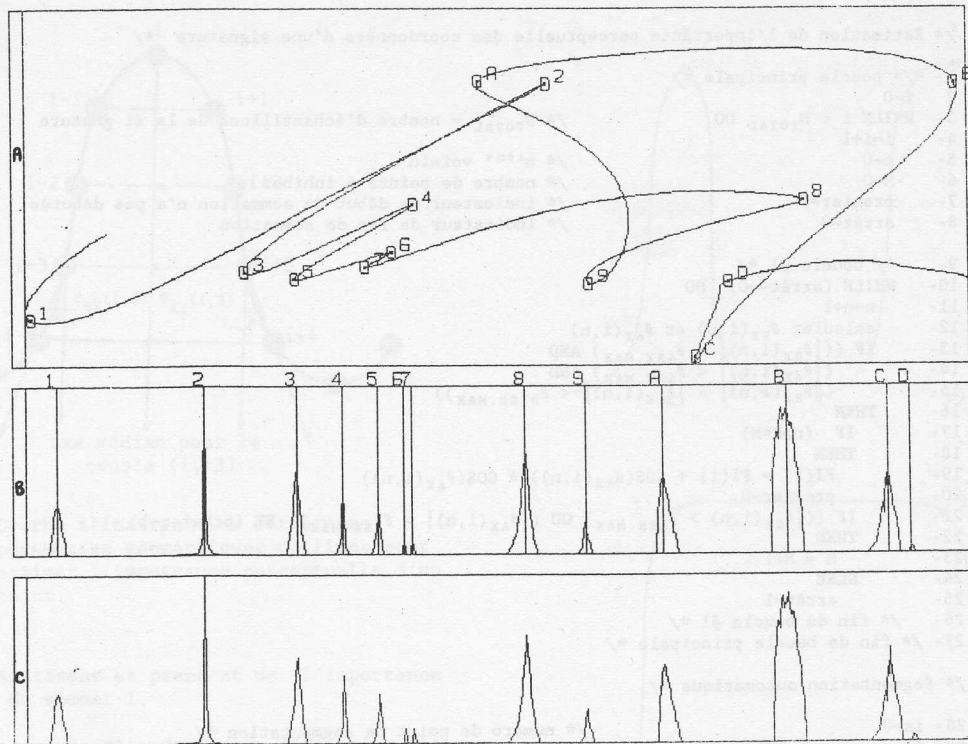
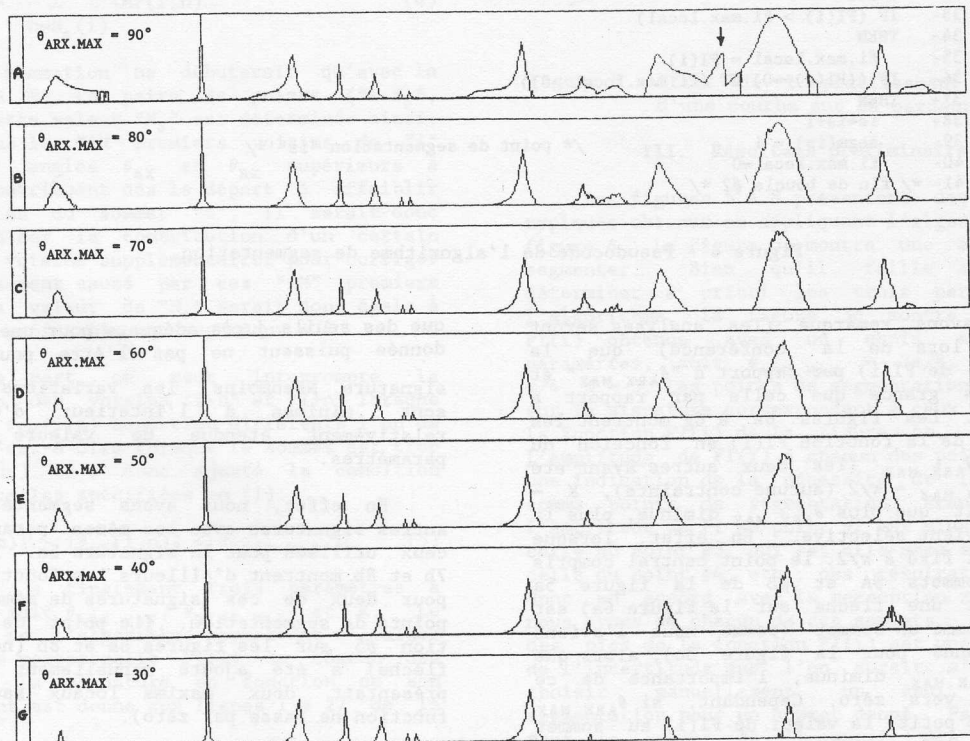


Figure 5 - Signature segmentée avec fonction FI(i).

Figure 6 - Evolution de la fonction FI(i) en fonction du seuil $\theta_{ARX.MAX}$.

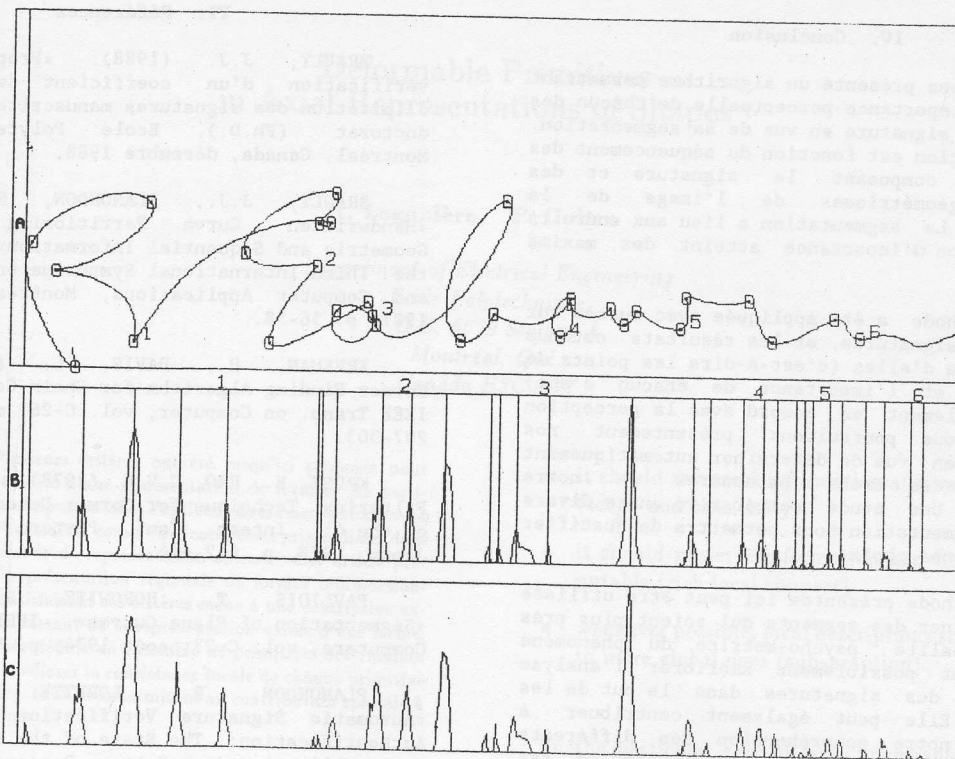


Figure 7 - Signature segmentée avec fonction $FI(i)$.



Figure 8 - Signature segmentée avec fonction $FI(i)$.

IV. Conclusion

Nous avons présenté un algorithme permettant d'estimer l'importance perceptuelle de chacun des points d'une signature en vue de sa segmentation. Cette estimation est fonction du séquençement des coordonnées composant la signature et des propriétés géométriques de l'image de la signature. La segmentation a lieu aux endroits où la fonction d'importance atteint des maxima locaux.

La méthode a été appliquée avec succès sur différentes signatures, et les résultats obtenus pour chacune d'elles (c'est-à-dire les points de segmentation et l'importance de chacun d'eux) sont généralement en accord avec la perception humaine. Nous poursuivons présentement nos recherches en vue de déterminer automatiquement les seuils des trois paramètres de notre algorithme. Une étude comparative entre divers types de segmentation nous permettra de justifier certains de nos choix.

La méthode présentée ici peut être utilisée pour déterminer des segments qui soient plus près de la réalité psycho-motrice du phénomène manuscrit et possiblement améliorer l'analyse comparative des signatures dans le but de les vérifier. Elle peut également contribuer à améliorer notre compréhension des différents aspects de la signature en la décomposant en ses éléments fondamentaux [Brault (1988)].

V. Remerciements

Ce travail a été partiellement financé dans le cadre de la subvention CRSNG-A0915 et FCAR-AS-2665 de Réjean Plamondon. M. Jean-Jules Brault a bénéficié de bourses du fonds FCAR et de l'Ecole Polytechnique de Montréal.

VI. Références

- BRAULT, J.J. (1988). «Proposition et vérification d'un coefficient de difficulté d'imitation des signatures manuscrites», Thèse de doctorat (Ph.D.), Ecole Polytechnique de Montréal, Canada, décembre 1988.
- BRAULT, J.J., PLAMONDON, R. (1987). «Handwritten Curve Partitioning Based on Geometric and Sequential Information», Proc. of the Third International Symposium on Handwriting and Computer Applications, Montréal, juillet 1987, p. 56-58.
- FREEMAN, H., DAVIS, L. (1977). «A Corner-Finding Algorithm for Chain-Coded Curves», IEEE Trans. on Computer, vol. C-26, mars 1977, p. 297-303.
- KRUSE, B., RAO, C.V.K. (1978). «A Matched Filtering Technique for Corner Detection», Proc. of the 4th Intern. Conf. Pattern Recognition, Japon, 1978, p. 642-644.
- PAVLIDIS, T., HOROWITZ, S.T. (1974). «Segmentation of Plane Curves», IEEE Trans. on Computers, vol. C-23, août 1974, p. 860-870.
- PLAMONDON, R., LORETTE, G. (1988). «Automatic Signature Verification and Writer Authentication: The State of the Art», accepté pour publication dans Pattern Recognition, 1988.