



HAL
open science

Une Nouvelle Stratégie pour L'Extraction des Caractéristiques de L'Écriture Manuscrite en Ligne

Houcine Boubaker, Monji Kherallah, Adel Alimi

► **To cite this version:**

Houcine Boubaker, Monji Kherallah, Adel Alimi. Une Nouvelle Stratégie pour L'Extraction des
Caractéristiques de L'Écriture Manuscrite en Ligne. Sep 2006, pp.132-138. hal-00115727

HAL Id: hal-00115727

<https://hal.science/hal-00115727>

Submitted on 22 Nov 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une Nouvelle Stratégie pour L'Extraction des Caractéristiques de L'Écriture Manuscrite en Ligne

Houcine Boubaker – Monji Kherallah – Adel M Alimi

Groupe de Recherche sur les Machines Intelligentes, Ecole Nationale des Ingénieurs de Sfax, BPW3038 Sfax, Tunisie

boubaker_houcine@yahoo.fr; Monji.kherallah@enis.rnu.tn; Adel.alimi@ieee.org

Résumé : Dans cet article, nous introduisons une nouvelle stratégie permettant l'amélioration des caractéristiques dynamiques et géométriques modélisant une écriture manuscrite. Ce travail s'intègre dans un grand projet qui s'articule autour de la reconnaissance en ligne de l'écriture manuscrite. Nous avons montré que la vitesse curviligne d'une écriture manuscrite peut être reconstruite grâce à la superposition de deux composantes de base, à savoir le modèle « Beta » et la composante d'entraînement « Porteuse ». Nous avons ensuite intégré les caractéristiques géométriques tels que les arcs d'ellipses pour la régénération de l'écriture manuscrite. La validation de notre approche de modélisation a été assurée par la détermination de l'erreur de reconstruction du tracé de l'écriture manuscrite.

Mots-clés : Modélisation de l'écriture manuscrite, vitesse curviligne, modèle « Beta », composante d'entraînement, modélisation beta-elliptique. Erreur de reconstruction.

1 Introduction

La modélisation de la trajectoire d'écriture est une étape fondamentale dans le processus de reconnaissance de l'écriture manuscrite en ligne. Dans ce domaine l'approche Bêta - elliptique se distingue par une analyse combinée des deux aspects de l'action d'écriture à savoir la vitesse et la trajectoire. La correspondance entre ses deux aspects a permis une meilleure caractérisation du signal en ligne par rapport à d'autres approches existantes (oscillatoires, géométriques, ...). On présente dans cette communication une nouvelle stratégie basée sur l'approche bêta - elliptique permettant de modéliser l'effet des actions neuromusculaires au niveau de la vitesse qui se présente sous la forme d'un entraînement continu à caractère impulsif. Au niveau de la trajectoire nous présentons des solutions pour adapter la reconstruction elliptique à des formes de rayon et d'axe de courbure variables.

Dans la deuxième section de cet article nous étudions la dynamique de la génération d'une écriture manuscrite. La troisième section présente l'approche Bêta elliptique pour la modélisation de l'écriture en ligne. Nous introduisons en suite la stratégie de modélisation de la vitesse par fonction Bêta et composante d'entraînement « porteuse », puis des solutions pour l'adaptation de la

modélisation elliptique aux trajectoires d'écriture. Dans cette section une simulation de la modélisation est présentée en se basant sur une combinaison des modèles dynamique et statique. Afin de valider notre modèle, nous avons déterminé l'erreur de reconstruction du tracé de l'écriture manuscrite. A la fin, nous concluons par étude comparative et des perspectives.

2 Dynamique de la génération d'une écriture manuscrite

2.1 Mobilisation multiple des articulations

Les formes d'une écriture manuscrite se caractérisent par des lignes de rayons et de sens de courbure variables [HOL 82, FLA 85, ALI 94, SUN 01]. Cette variabilité est due au fait que dans l'action de l'écriture plusieurs articulations sont mobilisées, allons de ceux des doigts jusqu'au coude (voir l'articulation gléno-humérale pour les écritures de grande échelle) passant par le poignet. La synchronisation des mouvements de toutes ces articulations s'obtient par apprentissage. Leur contrôle correctif qui implique le sens visuel reste toute fois indispensable en cours d'exécution. L'exploitation des articulations lors de l'écriture diffère d'un scripteur à un autre [DEN 65]. Elle dépend également de la taille et du style d'écriture ainsi que de facteurs d'ordre psychologique [SAL 87, VIV 91, PLA 97]. En effet pour une même taille d'écriture cursive, certains scripteurs exploitent les articulations inférieures des doigts dans la mise en mouvement du stylo, alors que d'autres ne les utilisent que pour maintenir l'outil et comptent essentiellement sur le poignet dans l'entraînement du stylo.

2.2 Correspondance trajectoire - vitesse

L'allure de la vitesse d'une trajectoire manuscrite faite sans levée de stylo montre un profil partant d'une vitesse nulle et alternant successivement des minimums et des maximums de vitesse. Cette variation rappelle celle des impulsions neuromusculaires (voir figure 1).

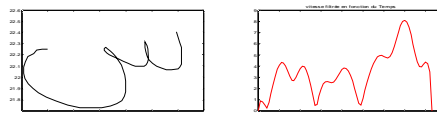


FIG. 1 – tracé et profil vitesse correspondant

En effet l'écriture manuscrite est un mouvement qui est produit suite à des excitations neuro-musculaires exercées sur la main, le bras et les doigts.

Le passage de la vitesse résultante d'un tracé par des minimums locaux est dû au changement de sens de rotation d'une articulation. Ce changement de sens de rotation est précédé par un freinage causé par les muscles antagoniques et est suivi par une accélération. Il entraîne l'annulation de la vitesse de rotation instantanée de cette articulation sans provoquer l'arrêt du stylo. A cet instant le stylo est entraîné par d'autres articulations à axes orthogonaux. La vitesse résultante passe ce pendant par un minimum local non nul. Les minimums locaux de vitesse correspondent sur le tracé à des maximums locaux de variation de l'angle d'inclinaison de la tangente au tracé (des courbes plus au moins aiguës). Inversement, les maximums locaux de la vitesse correspondent à des minimums locaux de la variation de l'angle d'inclinaison de la tangente au tracé (des parcours plus au moins droits).

3 Modélisation bêta-elliptique d'une écriture manuscrite en ligne

3.1 Segmentation et modélisation d'un profil de vitesse par superposition de fonctions bêta

Un mouvement d'écriture généré par des excitations neuro-musculaires est caractérisé par la vitesse et l'accélération de l'outil. Se basant sur la géométrie et les études de la cinématique des mouvements d'écriture, le modèle Bêta-Elliptique [ALI 02, KHE 02, KHE 04, BEZ 03A, BEZ 03B, SAL 87] se propose comme un moyen de modélisation des données dynamiques et statiques relatives à une écriture manuscrite en ligne.

3.1.1 Segmentation du signal d'écriture

Le mouvement de l'écriture, comme tout autre processus du moteur actionné est considéré comme programmé partiellement en avance. Les mouvements sont représentés et organisés dans le domaine de la vitesse [BIN 93, PLA 91, PLA 93, PLA 97]. Dans ce contexte, la modélisation d'une trajectoire est le résultat de l'activation de n sous-systèmes neuromusculaires qui sont caractérisés par une réponse impulsionnelle normalisée, et positive. D'après les travaux de [ALI 02, ALI 03], la réponse de l'impulsion globale converge à une courbe Bêta.

La vitesse curviligne $V(t)$, calculée par l'équation (1), représente une réponse à des impulsions finies. Elle est lissée par un filtre dérivatif d'ordre 2 [BEZ 03, KHE 04].

$$V_{\sigma}(t) = \sqrt{\left(\frac{dx(t)}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy(t)}{dt}\right)^2} \quad (1)$$

La trajectoire de l'écriture manuscrite est segmentée alors en des mouvements simples appelés traits. Le nombre des traits d'un script est déterminé par une inspection des extremums [KHE 02, KHE 04, BEZ 03A] à savoir, les extremas locaux de la direction horizontale

ou verticale [WAD 01], les extremas locaux du signal de la vitesse curviligne de l'écriture manuscrite, et ses points d'inflexion [KHE 04] (voir figure 2).

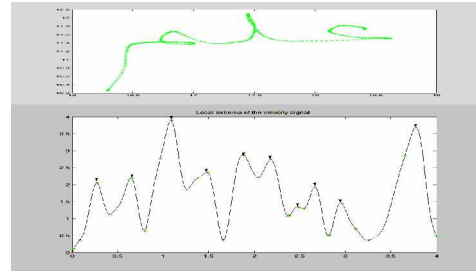


Fig. 2 - Détection des points extrêmes

les points d'inflexions donnés par l'accélération du mouvement du stylo sont considérés et sont attribués à des formes de fonctions Bêta chevauchées dans le profil de la vitesse.

3.1.2 Modélisation du profil vitesse

La vitesse curviligne de chaque trait obéit à l'approche "Bêta". La génération d'un modèle de la trajectoire est donc le résultat d'une addition algébrique des profils de vitesse des traits successifs (voir équation 2).

$$V(t) = \sum_{i=1}^n V_i(t - t_{0i}) \quad (2)$$

Par conséquent, le profil complet de la vitesse générée par le système neuromusculaire est décrit par le modèle Bêta suivant:

$$V(t) = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \beta(t, q, p, t_0, t_1)$$

avec

$$\beta(t, q, p, t_0, t_1) = \begin{cases} \left(\frac{t-t_0}{t_c-t_0}\right)^p \left(\frac{t_1-t}{t_1-t_c}\right)^q & \text{if } t \in [t_0, t_1] \\ 0 & \text{if not} \end{cases} \quad (3)$$

- p, q sont des paramètres intermédiaires,
- t_0 est l'instant de début de la fonction Beta,
- t_c est l'instant qui correspond à l'amplitude maximale de la fonction.
- t_1 est l'instant qui correspond à la fin d'un signal Beta.
- $t_0 < t_1 \in \mathbb{R}$ et

$$t_c = \frac{p \times t_1 + q \times t_0}{p + q} \quad (4)$$

La forme d'un signal Bêta symétrique est donnée par figure 3a. Le paramètre K est l'amplitude du signal beta ($k=1$ dans la figure 3a).

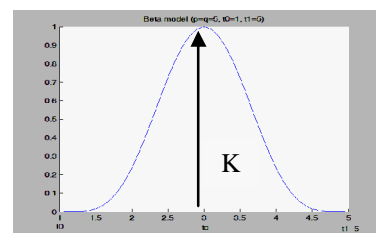


FIG.3a - Signal d'une Bêta symétrique

Les différentes autres formes des fonctions Bêta dépendent des valeurs des paramètres p et q comme le montre la figure 3b.

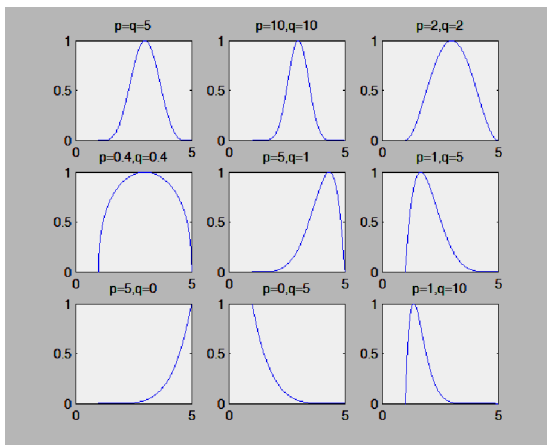


FIG.3b - Différentes formes de la fonction Bêta monodimensionnel

La vitesse curviligne $V_{\sigma}(t)$ résulte d'une superposition d'actions neuromusculaires finies à caractères impulsifs modélisés par des Bêta chevauchés au cours du temps (voir figures 4a et 4b).

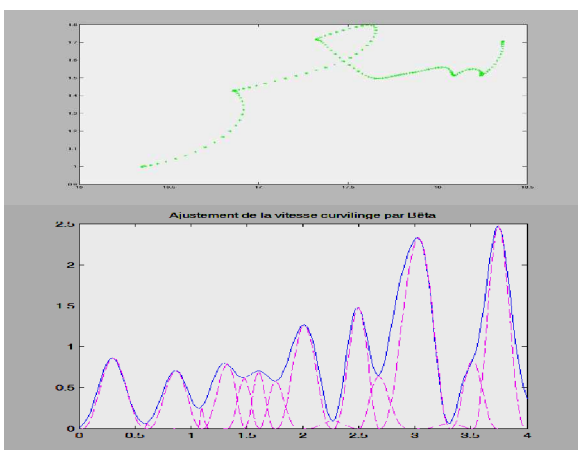


FIG. 4a - Modélisation du signal de la vitesse par superposition des fonctions Bêta

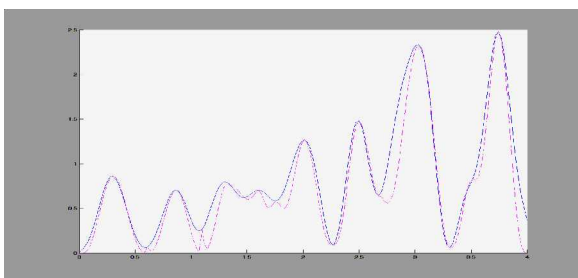


FIG. 4b – vitesse curviligne originale et vitesse résultante de la modélisation par fonctions Bêta

3.2 Compositio dynamique et géométrique de la trajectoire d'un trait

Dans ce paragraphe on s'intéresse à la dimension géométrique de l'approche bêta elliptique.

3.2.1 Modélisation de la vitesse par composantes Bêta orthogonales

Le modèle Bêta de reconstruction de la vitesse curviligne d'une trajectoire d'écriture se présente comme un générateur d'impulsions Bêta chevauchées où à chaque instant t de l'intervalle d'exécution d'un script (excepté les moments de début et de fin), la vitesse curviligne $V_{\sigma}(t)$ est le résultat de la somme de deux composantes de vitesse appartenants à deux fonctions Bêta chevauchées. En effet si on adopte une composition mécanique simplifiée du système (bras main) comportant deux articulations d'axes de rotation orthogonaux, la vitesse curviligne du tracé $V_{\sigma}(t)$ s'obtient par la somme vectorielle des deux composantes de vitesse orthogonales $V_1(t)$ et $V_2(t)$ qui représente les projetées sur le plan d'écriture (papier ou tablette) des vitesses successives des deux articulations considérées (figure 5).

$$\ddot{V}_{\sigma}(t) = \ddot{V}_1(t) + \ddot{V}_2(t) \quad (5)$$

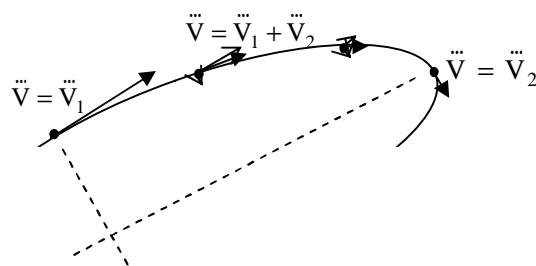


FIG. 5 – Décomposition de la vitesse curviligne en deux composantes orthogonales

Une des deux composantes de vitesse orthogonales est parallèle à la direction du grand axe de courbure, l'autre a la direction du petit axe de courbure. Cette décomposition conduit à la relation arithmétique suivante.

$$V(t) = \left(V_1^2(t) + V_2^2(t) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\text{Avec: } V_1(t) = V(t) \cdot \cos(\alpha)$$

$$V_2(t) = V(t) \cdot \sin(\alpha)$$

Où α est l'angle d'inclinaison de la tangente au tracé à l'instant t par rapport au grand axe de courbure. Dans cette modélisation on suppose que le maximum de vitesse curviligne correspond à un angle $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

Premier cas (maximum de $V_{\sigma}(t)$): $V=V_1$ et $V_2=0$

Deuxième cas (minimum de $V_{\sigma}(t)$): $V=V_2$ et $V_1=0$

Les composantes de vitesse $V_1(t)$ et $V_2(t)$ produites par deux sous-systèmes neuromusculaires suivent des lois dont on peut approximer par des fonctions bêta (Voir figure 6).

L'inversion de l'ordre des vitesses maximums et minimums entre les deux articulations passe par une inflexion de la vitesse curviligne résultante :

Maximum de vitesse : $V = V_2$ et $V_1 = 0$

Minimum de vitesse : $V = V_1$ et $V_2 = 0$

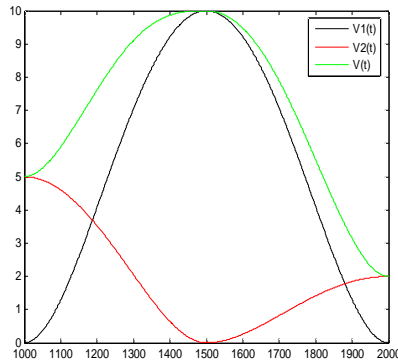


FIG. 6 – Modélisation de la vitesse curviligne $V(t)$ par les composantes Bêta orthogonales $V_1(t)$ et $V_2(t)$

3.2.2 Modélisation de la trajectoire

L'idée de cette modélisation est d'approximer un tronçon de la trajectoire compris entre un minimum et un maximum de vitesse successifs par un quart d'ellipse. Le minimum de vitesse curviligne correspond au sommet du grand axe M_1 et le maximum de vitesse correspond au sommet du petit axe M_2 :



FIG. 7 – Un quart d'ellipse pour la modélisation de la trajectoire d'un trait

3.2.3 Constatations pratiques

Quoique basée sur une analyse mécanique et géométrique très justifiée, cette méthode de modélisation ne répond pas à quelques constatations pratiques telles que :

- Une écriture mettant en œuvre uniquement deux articulations à axes de rotation orthogonaux n'est pas une action pratique et produit généralement un tracé distordu. En effet pour des raisons pratiques (limitation, continuité), le système nerveux mobilise en écriture plus que deux articulations [PLA 95, SAL 87, VAN 98, VIY 91].
- En cas de faible vitesse d'entraînement, les minimums de vitesse peuvent ne pas correspondre exactement aux maximums de variation de la tangente au tracé.
- Les minimums de la vitesse curviligne ne correspondent pas à des maximums d'une composante de vitesse s'il y a une variation significative de l'axe de courbure.
- Les segments de la trajectoire à modéliser peuvent ne pas être approximables par des quarts d'ellipse limités par des sommets.

4 Modélisation du profil vitesse par fonction bêta et composante d'entraînement « Porteuse »

Dans cette section on présente une nouvelle stratégie pour la modélisation Bêta elliptique intégrant une composante d'entraînement minimal pour la vitesse et utilisant des arcs d'ellipse qui ne se limitent pas par des sommets pour la reconstruction de la trajectoire

4.1 Principe

On observant l'évolution de l'écriture d'un scripteur débutant, on remarque qu'il entraîne son crayon d'une façon impulsive et discontinue. Son script présente des formes aiguës, des discontinuités et des distorsions. Sa vitesse s'annule plusieurs fois au cours d'un tracé continu. Plus tard expert, son script devient de plus en plus cursif et régulier. Sa maîtrise des actions d'accélération et de freinage devient précise ce qui lui permet d'éviter d'annuler la vitesse de traçage au cours d'un script continu en maintenant une composante d'entraînement minimale non nulle [DEN 65]. Ainsi l'écriture du sujet devient non seulement plus belle mais aussi plus rapide.

Cependant la variation de la vitesse d'une trajectoire d'écriture garde toujours un caractère impulsif qui se superpose avec le caractère de l'entraînement contenu.

Ces constatations nous ont amené à considérer comme entité globale l'action neuromusculaire permettant de conduire un tracé d'un minimum local de vitesse au minimum local suivant (une seule impulsion). L'énergie mise en œuvre au cours de cette période de temps T peut être décomposée fictivement en trois composantes :

- La principale baptisée énergie impulsive de traçage est une composante à énergie finie au cours de l'intervalle T et qui représente la partie de l'énergie modelée par le segment tracé. Les deux autres composantes sont à énergie non finie au cours de l'intervalle de temps considérée.
- La deuxième composante représente en effet une énergie initiale exprimée par la vitesse V_i au début de l'intervalle T et qui se dissipe au cours du temps.
- La troisième composante représente une énergie qui se développe et qui permet de porter le système à une énergie finale exprimée par la vitesse V_f en fin de la période T .

La somme de ces deux dernières composantes représente l'énergie d'entraînement minimal.

Alors toutes les articulations en action sont impliquées dans le développement de l'énergie d'entraînement minimal, uniquement celles dont les axes de rotation sont orthogonaux au grand axe de courbure qui interviennent dans le développement l'énergie impulsive de traçage

4.2 Modélisation du profil vitesse

Sans se charger de la projection de la vitesse curviligne suivant les articulations impliquées (ou suivant les axes de courbure), on décompose l'axe du temps du profil vitesse en intervalles ('périodes') qui représentent des cycles d'accélération, décélération et freinage.

Chaque intervalle de temps commence d'un minimum local de vitesse et prend fin au minimum local suivant passant par un maximum local ou au premier extremum local de l'accélération sans passage par zéro. Au cours de chaque période de temps $T = [t_0, t_1]$, le système bras - main développe une énergie décomposable fictivement en deux composantes :

1. Une composante impulsive

C'est une énergie qui se crée et prend fin au cours de l'intervalle T et permet de produire le tracé par un cycle de variation de vitesse (accélération, décélération et freinage). Elle part et en finit par une force d'entraînement nulle. La variation de vitesse $V_{IP}(t)$ engendrée par cette composante est modélisable par une fonction bêta décrite dans la formule (3).

2. Une composante d'entraînement « Porteuse »

C'est une énergie permettant le passage continu (à vitesse non nulle) d'un segment du tracé à l'autre. Sa variation doit être la plus souple possible car d'une part elle représente la somme d'énergies complémentaires créées avant la période T et qui se propagent après, et d'autre part la définition des deux composantes impose la réservation du caractère impulsif de la vitesse (exprimant les actions d'accélération et de freinage) à la composante impulsive de traçage $V_{IP}(t)$.

La variation de la vitesse d'entraînement $V_E(t)$ engendrée par cette composante est modélisée par une fonction monotone de type polynomiale :

$$V_E(t) = a \cdot (t-t_0)^3 - \frac{t-t_0}{2} \cdot (t-t_0)^2 + V_i \quad (7)$$

$$\text{Avec } a = -3 \cdot \frac{V_f}{(t_1 - t_0)^3}$$

La vitesse curviligne reconstituée est obtenue par la somme de la composante impulsive de traçage avec celle d'entraînement (voir figure 8):

$$V_R(t) = V_{IP}(t) + V_E(t) \quad (8)$$

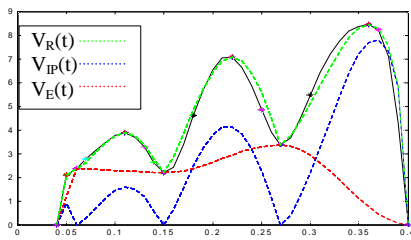


FIG. 8 – Modélisation de la vitesse par fonction Bêta et fonction Figure centrée sur une colonne

Les paramètres K, p et q de $V_{IP}(t)$ sont déterminés à partir du profil vitesse original. Pour des raisons de simplification mathématique l'instant t_c est choisi comme étant l'instant correspondant au maximum de vitesse. Ainsi il est directement détecté à partir du profil original. A cet instant on a : $\frac{dV_R(t)}{dt} = 0$, ce qui

$$\text{conduit à la relation suivante entre p et q.}$$

$$\frac{p}{t_c - t_0} - \frac{K \cdot q}{t_1 - t_c} = \left[\frac{a}{2} \cdot (t_1 - t_c) \cdot (t_c - t_0) \right] \quad (9)$$

4.3 Intégration des arcs d'ellipses pour la génération de l'écriture manuscrite en ligne

Les données dynamiques contiennent l'information sur les formes de la trajectoire telles que les courbures, les points d'inflexions, etc... Les données statiques transportent le résultat du processus de l'écriture juste après le fait d'écrire. Dans ce paragraphe nous nous concentrons sur la description du modèle statique.

Au cours d'un tracé manuscrit la direction de l'axe de courbure varie essentiellement au moment des passages par des minimums locaux de vitesse alors qu'elle peut être raisonnablement considérée invariable entre deux minimums successifs de vitesse. Sous cette hypothèse, la tangente au tracé en un point M correspondant à un minimum de vitesse ne peut être orthogonale aux axes de courbure des deux tronçons séparés par le point M que si ces axes sont confondus, ce qui représente un cas particulier des tracés réels (voir figure 9). D'autre part la correspondance des minimums de vitesse à des maximums de variation de l'angle de la tangente au tracé dépend de la vitesse d'entraînement minimale du tracé.

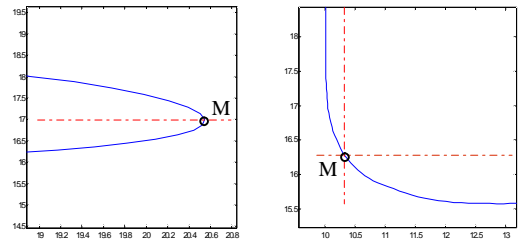


FIG. 9 – Variation de la direction de l'axe de courbure d'un tracé

On tenant compte de ces considérations, nous avons choisi de modéliser les segments d'un tracé manuscrit par des arcs d'ellipses libres qui peuvent partir et finir à n'importe quels points de l'ellipse sans imposer qu'ils soient des sommets.

La méthode que nous avons utilisée pour définir les équations de ces arcs d'ellipses est celle des cinq points. Soit l'équation générale (non exclusive) d'une ellipse sur un plan de repère (o,x,y).

$$x^2 + \alpha y^2 + \beta xy + \gamma x + \delta y + \varepsilon = 0 \quad (10)$$

Afin d'éviter l'obtention de rapports d'axes infinis ou nuls (hyperboles), on impose que $\beta^2 - 4\alpha < 0$.

Le calcul des cinq paramètres $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon)$ revient à résoudre un système linéaire de cinq équations vérifiant l'appartenance à l'ellipse de cinq points répartis sur le segment du tracé. Les problèmes relatifs à l'instabilité du système d'équation sont surmontés par l'ajustement de la position d'un ou deux points parmi les cinq. L'algorithme contrôle les erreurs d'approximation du tracé réel par l'arc d'ellipse retrouvé. Il rejette les solutions dont l'erreur d'approximation dépasse un seuil calculé en fonction de la longueur de la corde de l'arc, et oriente la translation du point ajusté dans la direction qui minimise l'erreur (voir figures 11, 12, 13, 14).

L'erreur de reconstruction est calculée pour chaque pas d'ajustement (admettant une solution). Les erreurs de reconstruction moyenne et maximale sont données par :

$$Err_{moy} = \frac{1}{n} \sum \text{rayons de déviation entre arc et trajectoire}$$

Err_{Max} = rayon de déviation maximal

Les directions des rayons de déviation divergent tous du centre de l'ellipse et rejoignent les points de la trajectoire (voir figure 10).

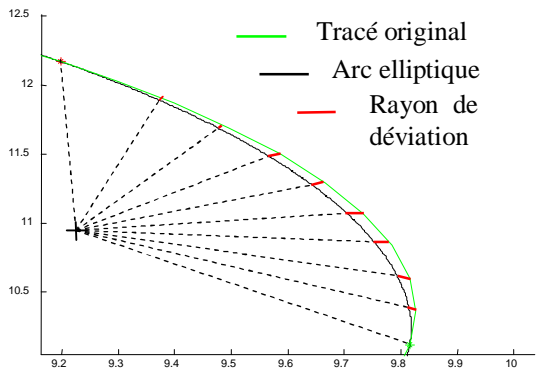


FIG. 10 – Mesure des rayons de déviation entre arc elliptique et trajectoire

L'allure de l'erreur de reconstruction maximale en fonction des pas de l'avancée d'un points M_5 dans un croissant défini par 4 points M_1, M_2, M_3, M_4 dépend de la position du point M_5 . Si le point M_5 se trouve en concavité par rapport au croissant elliptique (le cas le plus fréquent), la variation de l'erreur maximale en fonction de l'avancée suit la forme spécifique suivante (figure 11).

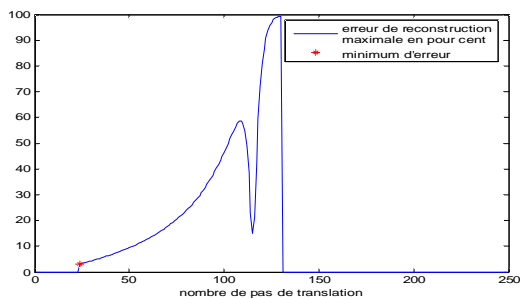


FIG. 11 – Variation de Err_{Max} en fonction des pas d'ajustement

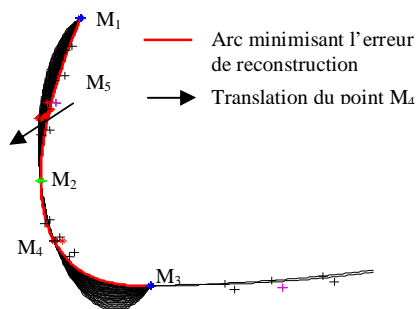


FIG. 12 – ajustement de la position du point M_5

Le minimum de l'erreur de reconstruction est donné par la première solution retrouvée.

Si par contre le point M_5 se trouve en convexité par rapport au croissant elliptique (le cas le moins fréquent), la variation de l'erreur maximale en fonction de l'avancée suit la forme spécifique suivante (figure 12).

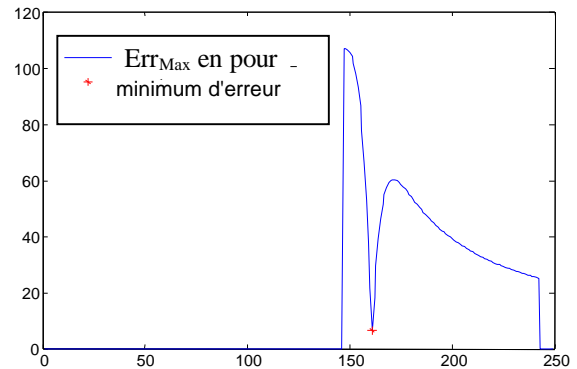


FIG. 13 – Variation de Err_{Max} en fonction des pas d'ajustement

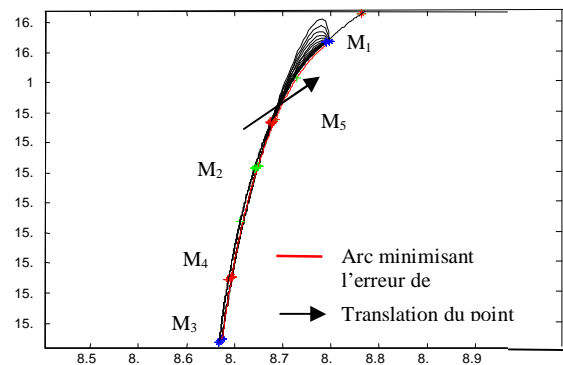


FIG. 14 – ajustement de la position du point M_5

5 Conclusion

Dans cet article nous avons présenté une nouvelle approche pour la modélisation de l'écriture manuscrite en ligne basée sur le modèle bêta elliptique. Cette stratégie décompose la vitesse d'exécution du tracé en deux composantes fictives : une composante d'entraînement continue à laquelle contribuent toutes les articulations impliquées et représente une vitesse minimale possible pour conduire le tracé, et une composante impulsive discontinue qui représente les courtes accélérations possibles dans des segments du tracé séparés par des courbes aigues. D'autre part le tracé est modélisé par des arcs d'ellipses qui ne se limitent pas à des sommets. Ce choix est justifié entre autre par la variation de la direction de l'axe de courbure en passant d'un segment du tracé à l'autre. Les applications pratiques de cette méthode de modélisation montre que notre système de modélisation est plus performant que les systèmes développés dans la littérature. En effet le système [GUE 94] est basé sur une modélisation de la vitesse par une approche « Log normal » et ne considère pas les chevauchements entre les différents. D'autre part le système [KHE 04] ne considère que des arcs d'ellipses limités par de sommets. Dans notre cas, les arcs

d'ellipses ne se limitent pas à des sommets, ce qui donne une meilleure reconstruction de la trajectoire. Dans le système [BEZ 03], la composante d'entraînement de la vitesse n'est pas considérée et elle est remplacée par des fonctions Bêta, ce qui donne une légère déviation du signal reconstruit.

Dans le futur nous allons utiliser notre modèle développé pour la reconnaissance en ligne des caractères manuscrits (Arabes ou latin).

Références

[ALI 94] Alimi M. A. and Plamondon R.: "Analysis of the Parameter Dependence Handwriting Generation Models on Movement Characteristics", in C. Faure, P. Keuss, G. Lorette, and A. Vinter (eds.) *Advances in Handwriting and Drawing*, Europia, Paris, 1994, pp. 363-378.

[ALI 02] Alimi M. A.: "The Beta System: Toward a Change in Our Use of Neuro-Fuzzy Systems", *International Journal of Management*, Invited Paper, no. June, 2002, pp. 15-19.

[ALI 03] Alimi M. A.: "Beta Neuro-Fuzzy Systems", *TASK Quarterly Journal*, Special Issue on "Neural Networks" edited by W. Duch and D. Rutkowska, vol. 7, no. 1, 2003, pp. 23-41.

[BEZ 03A] Bezine H., Alimi M.A., and Derbel N.: "An Explanation for the feature of a Handwriting Trajectory Movement Controlled by a Beta Elliptic Model", *Proc. 7th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition ICDAR'03*, Edinburgh, Scotland, UK, Aug. , 2003, pp. 1228-1232.

[BEZ 03B] Bezine H., Alimi M.A., and Derbel N.: "A Developmental Theory of The Relation Between Geometry and Kinematics in Handwriting", *Proc. IEEE Int. Conf. on Smart Systems and Devices SSD'03*, Tunisia, March, 2003, pp. 13-18.

[BIN 93] Binet A. and Courtier J.: "Sur La Vitesse des Mouvements Graphiques", *Revue Philosophique*, vol. 35, 1893, pp. 664-671.

[DEN 65] Denier Van Der Gon J. J. and Thuring, J. P.: "The Guiding of Human Writing Movements," *Cybernetic*, Vol. 4, no. 2, 1965, pp. 145-148.

[FLA 85] Flash T., and Hogan N.: "The Coordination of Arm Movements an Experimentally Confirmed Mathematical Model," *the J. of Neuroscience*, vol. 5, 1985, pp. 1688-1703.

[GUE 94] Guerfali W., and Plamondon R.: "The Delta Log-Normal Theory for the Generation and Modelling of Cursive Characters," *Proc. ICDAR'95*; Montréal, Québec, 1995, pp 495-498.

[HOL 82] Hollerbach J. M. and Flash T.: "Dynamic Interactions between Limb Segments during lunar Arm Movements", *Biological Cybernetics*, vol. 44, 1982, pp. 67-77.

[KHE 02] Kherallah M., Njah S., Alimi M.A., and Derbel N.: "Recognition of on-line handwritten digits by neural networks using circular and beta approaches," in *Proc. IEEE Int. Conf SMC'02*. Hammamet, 2002, Tunisia.

[KHE 04] Kherallah M., Alimi M.A., and Derbel N.: "On-Line Recognition of Handwritten digits by Self

Organisation Maps Using Elliptic and Beta Representations," in *Proc. IEEE Int. Conf SCS'04*. Mounastir, 2004, Tunisia.

[PLA 95] Plamondon R.: "A Kinematics Theory of Rapid Human Movements. Part I: Movement Representation and Generation," *Biological Cybernetics*, vol. 72, 1995, pp. 295-307.

[PLA 91] Plamondon R.: "On the Origin of Asymmetric Bell-Velocity Profiles in Rapid-Aimed Movements," in Stelmach G.E. and Requin J. (Eds.), "Tutorials in Motor Neuroscience", Kluwer Academic Publishers, 1991, pp. 283-295.

[PLA 93] Plamondon R., Alimi M. A., Yergeau P., and Leclerc F.: "Modelling Velocity Profiles of Rapid Movements: A Comparative Study," *Biological Cybernetics*, vol. 69, 1993, pp. 119-128.

[PLA 97] Plamondon R., and Alimi M. A.: "Speed/accuracy trade-offs in target directed movements. Behavioral and Brain Sciences", 1997, pp 20, 279-339.

[SUN 01] Sung J. A. and Wolfgang R.: "Least-squares orthogonal distances fitting of circle, sphere, ellipse, hyperbola, and parabola," *Pattern Recognition*, vol.33, 2001, pp 2283-2303.

[SAL 87] Saltzman E. and Kelso J. A.: "Skilled Actions: a Task-Dynamic Approach," *Psychological Review*, 94, 1987, pp. 84-106.

[VAN 98] Van Galen G. P. and Weber J.: "On-line size control in handwriting demonstrates the continuous nature of motor programs", *Acta Psychologica*, 100, 1998, pp 195-216.

[VIV 91] Viviani P., and Schneider R, "A Developmental Study of the Relationship between Geometry and Kinematics in Drawing Movements", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 17, 1991, pp. 198-218.

[WAD 01] Wada Y., Kaneko Y., Nakano E., and Kawato M.: "Quantitative Examinations for Multi Joint Arm Trajectory Planning-Using a Robust Calculation Algorithm of the Minimum Commanded Torque Change trajectory," *Neural Networks J.*, vol. 14, 2001, pp. 381-393.