

Réseau de contours actif et systèmes particuliers : application au redressement de textes incurvés

Olivier LAVIALLE^{1,2}, Xavier Molines¹, Franck Angella¹, Pierre Baylou¹

¹Equipe Signal/Image ENSEIRB - Université de Bordeaux I

BP 99, 33402 Talence Cedex France

²ENITA de Bordeaux, BP 201, 33175 Gradignan cedex - France

lavialle@tsi.u-bordeaux.fr, baylou@tsi.u-bordeaux.fr

Résumé - Cet article présente une démarche originale permettant de redresser des lignes de textes présentant des courbures lors de la numérisation. Notre approche est fondée sur la définition d'un réseau de B-splines déformables. Pour éviter une initialisation trop contraignante, nous proposons de considérer l'ensemble des courbes comme un ensemble de contours actifs inspirés des systèmes particuliers déformables et de définir des forces internes conduisant les courbes à se caler sur les lignes de texte.

Abstract - In this paper we introduce a new method to straighten text lines. The general approach consists in using an active contour network based on an analytical model. First, we propose a method based on Bezier curves; then we present a model that requires cubic B-splines which leads to more accurate results. Finally we propose to automate the initialization by using an approach based on a particle system. The methods proposed in this paper are illustrated on real images of curved text.

1. Introduction

L'introduction des contours actifs en 1988 par Kass, Witkin et Terzopoulos [4] marque l'avènement d'une nouvelle classe de méthodes en analyse d'images : les modèles déformables. Le principe de ces approches est de faire évoluer un objet mathématique en utilisant un formalisme énergétique alliant attache aux données et régularisation des solutions. Les domaines d'application concernent la fermeture de contours virtuels, la localisation de frontières, la segmentation de régions, ou encore le suivi d'objets sur des séquences d'images [3].

Dans cet article, l'objectif est de caler un réseau de contours actifs sur un ensemble de lignes de texte incurvées, telles que celles présentées à la figure 1a, dans le but de redresser ce texte. Chaque contour est défini comme un arc B-spline [5] constitué de segments de degré 3. Dans la section suivante, nous définissons les énergies externes (attache aux données) et internes (régularisation) du modèle de base ainsi que le processus de minimisation de l'énergie globale. Le principal inconvénient des contours actifs réside dans la nécessité d'utiliser une initialisation très proche de la solution. En particulier, le modèle défini ici réclame une initialisation sur chacune des lignes du texte. Pour éviter à ce problème nous proposons en section 3 de définir notre réseau de B-spline comme un réseau de particules en étendant la méthode définie dans [1] dans le cadre du recouvrement de structures arborescentes. Chaque courbe est alors initialisée automatiquement au centre de la page et muni d'une vitesse verticale. Nous définissons une force d'interaction permettant de caler la distance inter-particules sur l'interligne du texte. Une fois retrouvé le profil de chacune des lignes, la phase de redressement, présentée en section 4 est une simple transformation affine réalisée sur chaque colonne de l'image.

2. Modèle de courbes et énergie

2.1 Modèle de courbes

Nous associons une courbe B-spline S_i à chaque ligne de texte. Chaque B-spline est construite à partir d'arcs de Bezier de degré 3. Soit $a_i^{k,s}$ le $k^{\text{ème}}$ point de contrôle du $s^{\text{ème}}$ arc C_i^s de S_i . Par définition :

$$C_i^s(x) = \sum_{k=0}^3 a_i^{k,s} B_3^k(x) \quad \forall x \in [0;1] \quad (1)$$

où $B_3^k(x)$ correspond au polynôme de Bernstein de degré 3 :

$$B_3^k(x) = C_3^k \cdot x^k \cdot (1-x)^{3-k}, \quad \forall k \in [0;3] \quad (2)$$

Dans le but de retrouver uniquement la déformation verticale des lignes, nous choisissons une répartition horizontale uniforme des points de contrôle des courbes.

L'intérêt bien connu des B-splines est de travailler avec des segments d'ordre relativement faible, ce qui induit un faible temps de calcul tout en limitant l'influence spatiale des points de contrôle. En contrepartie et pour lisser l'ensemble de la courbe, nous forçons la continuité d'ordre 1 du modèle pour obtenir des courbes dérivables à dérivées continues. Cette continuité est obtenue en assurant l'égalité des tangentes aux points de jonctions :

$$a_i^{1,s+1} - a_i^{0,s+1} = a_i^{3,s} - a_i^{2,s} \quad (3)$$

Par suite, notre objectif est de déterminer une fonction d'énergie externe qui permet d'attirer chacune des courbes du

réseau vers une ligne de texte et une énergie interne au réseau dont le but est la régularisation du système en se fondant sur un interligne constant. Ces énergies seront définies comme des fonctions des paramètres $a_i^{k,s}$.

2.2 Energie externe

La minimisation de l'énergie externe doit permettre d'attirer les courbes vers les lignes de texte. Nous avons choisi de caler le réseau de courbes déformables sur la base des lignes. Bien que certaines consonnes décalent cette base vers le bas, les parasites introduits vers le haut par les consonnes, les caractères accentués et les majuscules perturbent davantage la partie supérieure des lignes.

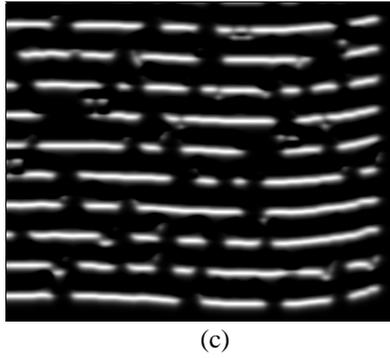
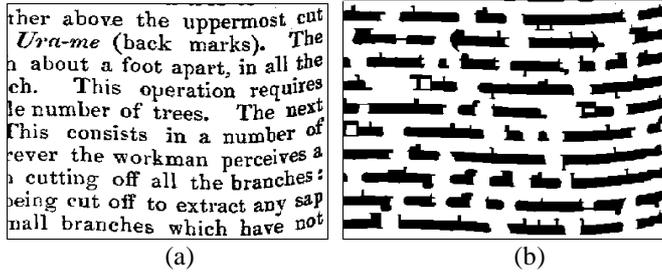


FIG. 1 : (a) exemple de texte à redresser, (b) ouverture morphologique, (c) image d'énergie externe

Le calcul de l'énergie externe s'effectue en deux étapes. Dans un premier temps, une ouverture morphologique destinée à combler les lacunes entre les lettres est réalisée. La figure 1b montre le résultat obtenu avec un élément structurant de 11 par 5 pixels. Ensuite, l'image obtenue est dérivée verticalement et seuls les gradients positifs sont conservés (transitions du noir vers le blanc pour les textes en noir sur blanc). Pour que les zones pertinentes de l'image attirent les courbes déformables à moyenne distance, il est nécessaire d'utiliser un opérateur de gradient lissé tel que le gradient de Deriche (figure 1c).

2.3 Energie interne

Comme énoncé dans la définition du modèle, chaque paramètre $a_i^{k,s}$ est un point de contrôle des B-splines. Sa coordonnée horizontale est fixée. Sa position verticale règle la position de la B-Spline S_i .

L'échelle des déformations subies par les images à redresser est grande par rapport à l'écart entre les lignes de textes. Par conséquent, nous forçons deux courbes

consécutives du réseau à être très semblables à une translation verticale près. En supposant par ailleurs l'interligne localement constant, nous pouvons imposer une contrainte de centrage de chaque ligne entre ses deux voisines par minimisation de l'énergie :

$$E_{\text{int}} = \sum_{i=2}^{p-1} \sum_{k,s} \left(a_i^{k,s} - \frac{1}{2} \cdot (a_{i-1}^{k,s} + a_{i+1}^{k,s}) \right)^2 \quad (4)$$

où p est le nombre de courbes.

La dérivation de cette énergie par rapport à chacun des paramètres de contrôle conduit à des expressions très simples utilisées lors de la descente du gradient :

$$\frac{\partial E_{\text{int}}}{\partial a_i^{k,s}} = \begin{cases} 3 \cdot a_i^{k,s} - 2 \cdot (a_{i-1}^{k,s} + a_{i+1}^{k,s}) + \frac{1}{2} \cdot (a_{i-2}^{k,s} + a_{i+2}^{k,s}) & \text{pour } i \in [2; p-3] \\ \frac{5}{2} \cdot a_i^{k,s} - 2 \cdot a_{i+1}^{k,s} - a_{i-1}^{k,s} + \frac{1}{2} a_{i+2}^{k,s} & \text{pour } i = 2 \\ \frac{5}{2} \cdot a_i^{k,s} - 2 \cdot a_{i-1}^{k,s} - a_{i+1}^{k,s} + \frac{1}{2} a_{i-2}^{k,s} & \text{pour } i = p-1 \\ \frac{1}{2} \cdot (a_i^{k,s} + a_{i+2}^{k,s}) - a_{i+1}^{k,s} & \text{pour } i = 1 \\ \frac{1}{2} \cdot (a_i^{k,s} + a_{i-2}^{k,s}) - a_{i-1}^{k,s} & \text{pour } i = p \end{cases} \quad (5)$$

L'objectif de cette énergie interne est classiquement une régularisation interne du modèle déformable. Son intérêt apparaît naturellement lorsqu'il existe des lignes de texte incomplètes, comme l'illustre la figure 2.

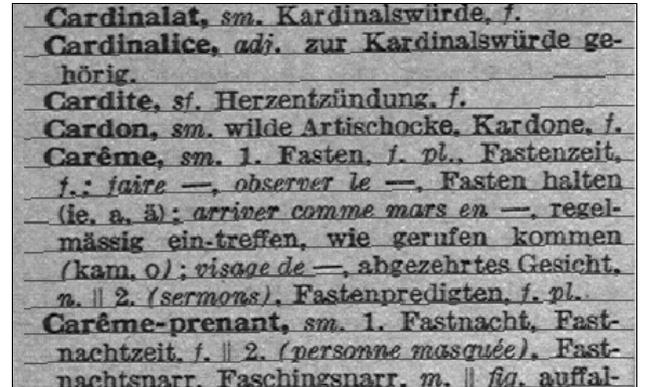


FIG. 2 : Etat final du réseau déformable mettant en œuvre une énergie interne de coopération entre courbes

3. Systèmes de particules

Comme dans le cas d'un modèle déformable classique, notre réseau demande une initialisation très voisine de la solution recherchée. En pratique, l'utilisateur doit pointer chaque début de ligne, l'initialisation de chaque ligne étant ensuite obtenue en suivant le maximum de l'énergie externe le long de la ligne.

Pour répondre au problème de l'initialisation, nous proposons de définir le réseau de courbes comme un système de particules [1][6].

Initialement, la notion de système de particules consiste à simuler l'évolution d'un système de particules ponctuelles (ou

nœuds) M_i . Chaque particule se déplace dans le plan de l'image en étant soumise à des forces externes (liées à l'image) et internes (interactions entre particules). L'ensemble du système peut être, là encore, assimilé à un modèle déformable classique [2].

Nous proposons ici une extension du système au travers de laquelle chaque courbe joue le rôle d'une particule. La formulation de l'énergie externe est celle décrite à la section 2.2 à partir du gradient vertical de Deriche calculé après ouverture morphologique.

En supplément du terme d'énergie interne défini à la section précédente, nous introduisons une force d'interaction entre les courbes voisines pour les forcer à se positionner à une distance d'équilibre correspondant à l'interligne. Cette force est construite à partir d'un potentiel de Lennard-Jones qui permet d'introduire un terme de répulsion sur des courtes distances et d'attraction sur des longues distances :

$$\rho(d) = \frac{B}{d^m} - \frac{A}{d^n} \quad (6)$$

où d est la distance entre deux courbes (mesurée à chaque point de contrôle). A, B, m et n sont des entiers positifs. Dans notre application, nous avons choisi $m=2, n=1$. Par suite la distance d'équilibre est égale à $2B/A$.

L'ajout de ce terme d'attraction-répulsion rend donc inutile une initialisation très pointue des courbes. Le réseau peut alors être initialisé à un endroit quelconque, par exemple au centre de l'image. Les résultats présentés dans cet article ont été obtenus en fixant a priori le nombre de lignes du réseau. Cependant, nous pouvons imaginer de générer et éliminer les courbes dynamiquement au fil des itérations en fonction de la qualité de l'ajustement et sans supervision sur le nombre de lignes de texte contenues dans l'image.

Le système évolue le long de l'axe vertical à partir de la position initiale à l'ordonnée y_0 (au centre de la page) et munie d'une vitesse initiale V_0 . L'évolution du système est obtenue en utilisant la relation fondamentale de la dynamique. En utilisant la méthode d'intégration d'Euler, on a :

$$\begin{cases} v_i^t = v_i^{t-1} + \partial t \cdot (F_i - \alpha_f v_i^{t-1}) \\ y_i^t = y_i^{t-1} + \partial t \cdot v_i^t \end{cases} \quad (7)$$

où F_i est la somme des forces s'exerçant sur la B-spline i . α_f est un coefficient de friction assurant la stabilité du système.

4. Résultats

Nous présentons dans cette section des résultats obtenus sur différents types de texte avec le réseau de B-splines initialisé en système particulaire.

La figure 3 montre une image légèrement déformée et l'évolution du système après respectivement 1, 10 et 50 itérations. Une fois l'ajustement réalisé, nous disposons d'une formulation analytique de chaque courbe C_i . Nous déterminons alors les droites horizontales « destinations » Di équidistantes. Le redressement effectué est par suite une

simple transformation affine effectuée sur chaque colonne. La figure 3e représente l'image redressée.

people are lesse Philofophers and more foolish, then *Platoes* Phylodoxes, or lovers of their owne opinions. We must knowe whether fire be hot, whether snowe be white, whether in our knowledge there be any thing hard or soft. And touching the answers, wherefore they tell old tales, as to him who made a doubt of heate, to whom one replied, that to try he should cast himselfe into the fire; to him that denied the yfe to be cold, that he should put some in his bosome; they are most vnworthie the profession of a Philosopher. If they had leaft vs in our owne naturall estate, admitting of strange apparances, as they present themselves vnto vs by our senses, and had suffred vs to follow our naturall appetites, directed by the condition of our birth, they should then have reason to speake so. But from them it is, that we have learn't to become judges of the world; it is from them we hold this conceit, that mans reason is the generall controuler of all that is, both without and within heavens-vault; which embraceth al, and can do all, by meanes whereof all things are knowne and discerned. This answer were good among the Camiballs, who without any of *Aristotles* precepts, or so much as knowing the name of Phisike, enjoy most happily, a long, a quiet, and a peaceable life. This answer might happily avale more, and be of more force, then all those they can
E e borrow

(a)

people are lesse Philofophers and more foolish, then *Platoes* Phylodoxes, or lovers of their owne opinions. We must knowe whether fire be hot, whether snowe be white, whether in our knowledge there be any thing hard or soft. And touching the answers, wherefore they tell old tales, as to him who made a doubt of heate, to whom one replied, that to try he should cast himselfe into the fire; to him that denied the yfe to be cold, that he should put some in his bosome; they are most vnworthie the profession of a Philosopher. If they had leaft vs in our owne naturall estate, admitting of strange apparances, as they present themselves vnto vs by our senses, and had suffred vs to follow our naturall appetites, directed by the condition of our birth, they should then have reason to speake so. But from them it is, that we have learn't to become judges of the world; it is from them we hold this conceit, that mans reason is the generall controuler of all that is, both without and within heavens-vault; which embraceth al, and can do all, by meanes whereof all things are knowne and discerned. This answer were good among the Camiballs, who without any of *Aristotles* precepts, or so much as knowing the name of Phisike, enjoy most happily, a long, a quiet, and a peaceable life. This answer might happily avale more, and be of more force, then all those they can
E e borrow

(b)

people are lesse Philofophers and more foolish, then *Platoes* Phylodoxes, or lovers of their owne opinions. We must knowe whether fire be hot, whether snowe be white, whether in our knowledge there be any thing hard or soft. And touching the answers, wherefore they tell old tales, as to him who made a doubt of heate, to whom one replied, that to try he should cast himselfe into the fire; to him that denied the yfe to be cold, that he should put some in his bosome; they are most vnworthie the profession of a Philosopher. If they had leaft vs in our owne naturall estate, admitting of strange apparances, as they present themselves vnto vs by our senses, and had suffred vs to follow our naturall appetites, directed by the condition of our birth, they should then have reason to speake so. But from them it is, that we have learn't to become judges of the world; it is from them we hold this conceit, that mans reason is the generall controuler of all that is, both without and within heavens-vault; which embraceth al, and can do all, by meanes whereof all things are knowne and discerned. This answer were good among the Camiballs, who without any of *Aristotles* precepts, or so much as knowing the name of Phisike, enjoy most happily, a long, a quiet, and a peaceable life. This answer might happily avale more, and be of more force, then all those they can
E e borrow

(c)

people are lesse Philofophers and more foolish, then *Platoes* Phylodoxes, or lovers of their owne opinions. We must knowe whether fire be hot, whether snowe be white, whether in our knowledge there be any thing hard or soft. And touching the answers, wherefore they tell old tales, as to him who made a doubt of heate, to whom one replied, that to try he should cast himselfe into the fire; to him that denied the yfe to be cold, that he should put some in his bosome; they are most vnworthie the profession of a Philosopher. If they had leaft vs in our owne naturall estate, admitting of strange apparances, as they present themselves vnto vs by our senses, and had suffred vs to follow our naturall appetites, directed by the condition of our birth, they should then have reason to speake so. But from them it is, that we have learn't to become judges of the world; it is from them we hold this conceit, that mans reason is the generall controuler of all that is, both without and within heavens-vault; which embraceth al, and can do all, by meanes whereof all things are knowne and discerned. This answer were good among the Camiballs, who without any of *Aristotles* precepts, or so much as knowing the name of Phisike, enjoy most happily, a long, a quiet, and a peaceable life. This answer might happily avale more, and be of more force, then all those they can
E e borrow

(d)

people are lesse Philofophers and more foolish, then *Platoes* Phylodoxes, or lovers of their owne opinions. We must knowe whether fire be hot, whether snowe be white, whether in our knowledge there be any thing hard or soft. And touching the answers, wherefore they tell old tales, as to him who made a doubt of heate, to whom one replied, that to try he should cast himselfe into the fire; to him that denied the yfe to be cold, that he should put some in his bosome; they are most vnworthie the profession of a Philosopher. If they had leaft vs in our owne naturall estate, admitting of strange apparances, as they present themselves vnto vs by our senses, and had suffred vs to follow our naturall appetites, directed by the condition of our birth, they should then have reason to speake so. But from them it is, that we have learn't to become judges of the world; it is from them we hold this conceit, that mans reason is the generall controuler of all that is, both without and within heavens-vault; which embraceth al, and can do all, by meanes whereof all things are knowne and discerned. This answer were good among the Camiballs, who without any of *Aristotles* precepts, or so much as knowing the name of Phisike, enjoy most happily, a long, a quiet, and a peaceable life. This answer might happily avale more, and be of more force, then all those they can
E e borrow

(e)

FIG. 3 : (a) image originale, (b) à (d) évolution du système particulaire après 1, 10 et 50 itérations, (e) image redressée

La figure 4 illustre une des difficultés du système. L'interligne n'est pas de valeur constante alors que la distance d'équilibre dans le terme d'énergie de Lennard-Jones est fixe. L'évolution conduit donc à un résultat satisfaisant dans la partie haute mais pas dans la partie basse. Nous pouvons supposer que ce cas de figure est rare et qu'il peut être levé en dissociant les modèles dans les différentes parties de l'image.

La figure 5 montre les résultats de l'ajustement et du redressement obtenu sur une image manuscrite.

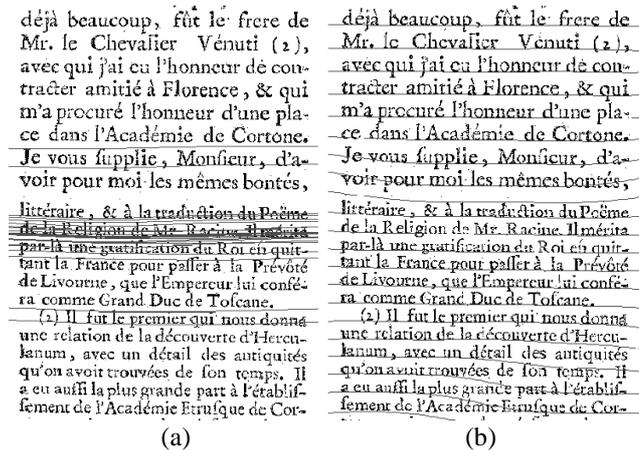


FIG. 4 : Evolution du système particulaire dans le cas d'un interligne non constant (a) après 3 itérations, (b) après 150 itérations.

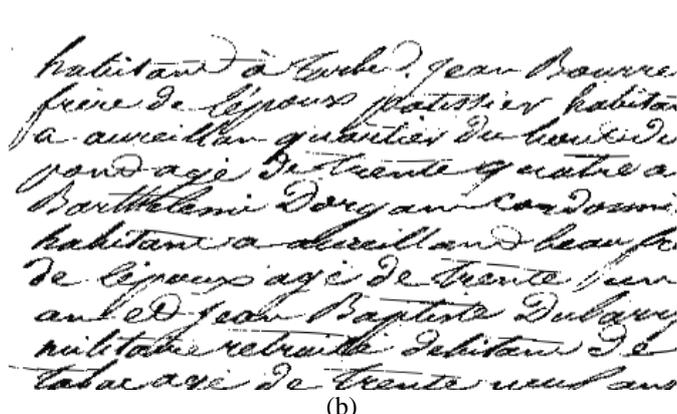
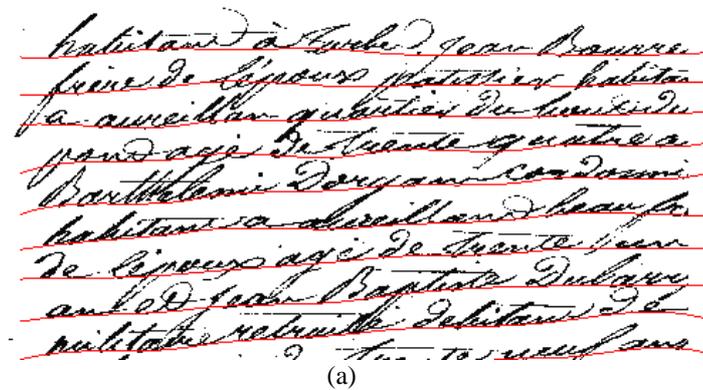


FIG. 5 : Evolution du système particulaire dans le cas d'un texte manuscrit (a) ajustement après 50 itérations, (b) image redressée.

5. Conclusion

Nous présentons dans cet article un modèle de courbes B-splines s'ajustant sur des lignes de textes incurvées. Une fois l'ajustement réalisé, le redressement est effectué par une simple transformation affine effectuée sur chaque colonne.

Nous proposons une approche permettant de supprimer la phase d'initialisation du réseau en assimilant le système de courbes à un système de particules et en introduisant une force d'interaction permettant de caler les courbes une distance d'équilibre donnée a priori. Nous montrons que l'ajustement obtenu est satisfaisant dès lors que l'interligne se révèle constant sur l'ensemble du texte.

Références

- [1] F. Angella, O. Lavielle, P. Baylou "A Deformable and Expandable Tree for Structure Recovery" Proc. IEEE-ICIP 98, Chicago, Vol 1, pp 241-245, 1998
- [2] F. Angella, O. Lavielle, P. Baylou "Hierarchical skeleton extraction based on a deformable particle system" Proceedings EUSIPCO98 (European Signal Processing Conference), Ile de Rhodes (Grèce), Vol II, pp 181-185
- [3] L.D. Cohen "On Active Contour Models and Ballons" CVGIP: Image understanding, Vol 53, n°2, pp 211-218, 1991
- [4] M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos "Snakes: Active Contour Models" Inter. Journal of Computer Vision, n°1, pp 321-331, 1988
- [5] T.M. Lehmann, C. Gönner, K. Spitzer "Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing" IEEE Trans. Med. Imag., vol 18, n°11, pp 1049-1075, 1999
- [6] R. Szeliski, D. Tonnesen "Surface Modeling with Oriented Particle System" Proc. SIGGRAPH, vol 26, n°2, pp 185-194, 1992