

Implantation sur DSP de filtres passe-bas directionnels IIR dédiés à un algorithme de vision biologique

F. DEVILLARD¹, B. HEIT² et G. BRUNELOT

¹Centre de Recherche en Automatique de Nancy - CNRS UMR 7039

Université HENRI POINCARÉ, NANCY I

11, rue de l'université - 88100 SAINT-DIE, France

²Centre de Recherche en Automatique de Nancy - CNRS UMR 7039

Université HENRI POINCARÉ, NANCY I

ESSTIN – Rue Jean Lamour - 54519 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex

francois.devillard@cran.iutsd.uhp-nancy.fr

Résumé - La segmentation d'images en temps réel pose beaucoup de problèmes d'implantations et de performances. Les méthodes s'inspirant d'une modélisation du système visuel biologique donnent de bons résultats mais sont pénalisées par les coûts en calculs et mémoires. La zone corticale V1, siège de la perception des formes, constitue un problème important. Cette région du cerveau traite les images issues de la rétine et du CGL par direction. Le choix adapté de filtres directifs créant les différents canaux de directions est donc prépondérant pour la qualité des résultats finaux et la rapidité d'exécution d'un algorithme simulant l'aire V1. Pour nos besoins d'implantation temps réel nous avons donc développé une famille de filtres directifs pour un algorithme d'inspiration biologique destiné à détecter les contours et point anguleux statiques. La solution algorithmique de filtrage IIR proposée sur DSP est performante et satisfait aux contraintes imposées par les applications de vision lorsqu'elles sont embarquées et temps réel.

Abstract - Image segmentation induces many problems for hardware implementations and performances. Human visual system gives us new field of methods that provides us good results but real time realizations are often costly as well in memories as in computing operations. V1 cortical area is useful to recognize shapes but their characteristics are difficult to simulate. This brain region performs images provided by the retina and the LGB according to directions. To simulate some V1 characteristics, a well suit choice of filters is important to obtain good results and a real time implementation. So we have designed a bank of directive IIR filters useful for our algorithm that detects edges and angular points in images. This paper demonstrates their efficiencies for our processings and their abilities to be implement in real time and aboard embedded systems. Some times are given for an implementation using DSP processors.

1. Introduction

De nombreuses méthodes sont proposées pour la segmentation d'image. La détection de contours est encore à l'heure actuelle une source de problèmes en reconnaissance de formes. Les solutions généralement proposées répondent à des cahiers des charges spécifiques et révèlent leurs limites dès que l'on change les conditions d'utilisation.

Notre objectif est de construire un opérateur de segmentation 'universel', évolutif et implantable en temps réel.

Pour réaliser ces contraintes, nous avons donc été naturellement amenés à nous intéresser au système de vision biologique. Nos travaux se situent dans cette approche qui offre une alternative aux techniques classiques de traitements pour lesquels différentes approches existent :

- Le connexionnisme, par les réseaux de neurones dont la référence à la biologie n'est que très lointaine,
- Une autre approche, consiste à étudier le système biologique dans ses détails et à le formaliser pour en caractériser les propriétés.

- Une troisième approche que nous développons, consiste à étudier un système biologique jusqu'à un certain niveau de détail mais d'un point de vue architectural et fonctionnel. Elle permet ainsi d'innover sur le plan architecture de traitement

en utilisant des opérateurs connus et/ou en les modifiant selon les propriétés du modèle biologique.

1.1 Rappels sur le système de vision biologique

Le modèle repris est l'architecture du système visuel biologique simplifiée de Thorpe [1], représenté sur la figure 1. Ce schéma décrit sommairement le cheminement des informations visuelles dans les différentes aires cérébrales humaines. Les 3 principaux canaux d'informations partent de la rétine par le nerf optique et le corps genouillé latéral (CGL) pour gagner les zones corticales. Ces informations sont la couleur C, la luminance L et le mouvement M. La liaison entre l'aire V1 et V2 est également multiple, les informations transitant sont maintenant plus abstraites et elles concernent la couleur C, les formes S et le mouvement M. A partir de l'aire V2, ces mêmes informations modifiées et complétées par la notion de profondeur s'orientent vers 2 régions :

- la région IT (Inférotemporale) dédiée à la reconnaissance de formes en passant par l'aire V4 (couleur).
- la région pariétale est le centre d'analyse des mouvements et de la situation spatiale en passant au préalable par l'aire MT (mouvement et stéréovision).

Notre algorithme décrit par des opérateurs de traitement du signal le fonctionnement de la rétine, du corps genouillé

latéral (LGB) et d'une partie des caractéristiques des aires V1 et V2. En utilisant des opérateurs connus et en les modifiant selon les propriétés du modèle biologique, Girod [2] a proposé une chaîne continue, dépourvue de réglage et peu sensible aux caractéristiques des images à traiter. Le modèle visuel biologique présenté peut être considéré comme un ensemble complet et cohérent de traitements permettant d'obtenir, entre autres, les contours et les points anguleux dans une scène statique de luminance.

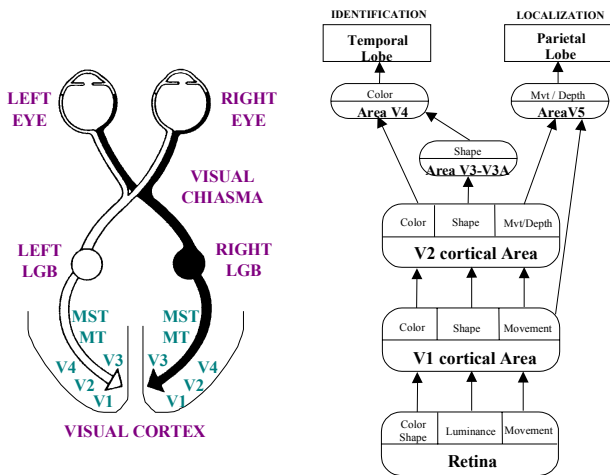


FIG. 1 : Le schéma de gauche ci-dessus représente le cheminement de l'information dans système visuel biologique. La représentation de droite montre l'architecture de Thorpes donnant les principales étapes de transformations des informations visuelles.

1.2 La complexité algorithmique

La complexité de cet algorithme réside dans le calcul des traitements à partir de l'aire V1. Cette aire est organisée en colonnes privilégiant les variations spatiales (pour les formes) et temporelle (pour le mouvement) de la scène analysée. L'œil est sensible à environ 16 directions que chaque colonne corticale traite parallèlement. La séparation des voies de direction par filtrages passe-bas anisotropes puis la reproduction d'un traitement sur chacune d'elles avec des opérateurs de traitement du signal coûte très cher en mémoires et en temps de calcul.

L'algorithme d'origine a fait l'objet de nombreuses modifications [3][4] afin de pouvoir l'implanter plus facilement et dans l'objectif d'atteindre un temps final d'exécution temps réel. Ces modifications ont consisté dans certains cas à simplifier l'architecture ou à adapter les traitements pour permettre une intégration du traitement sur un système de un ou plusieurs processeurs de type DSP.

Ainsi les calculs sont menés sur des images de 256 par 256 pixels en luminance et sur 8 canaux de direction à partir de l'aire V1 (échelonnées au pas de 22°5). Il en résulte tout de même un nombre important de traitements et d'images. Le tableau 1 résume pour chaque grande étape le nombre d'images calculées (NI) et le nombre de traitements appliqués (NT). Les opérations sont généralement des opérateurs de voisinage tels que par exemple des filtres passe-bas, des détecteurs de maxima, de passages par 0 ou de contrastes...

TAB. 1 : Tableau récapitulatif – Donnant la complexité en calculs et mémoires de notre algorithme de segmentation - Filtres passe-bas directifs (*)

	Rétine	Aire V1	Extraction primitives
NI	4	56	36
NT	5	24*+16	16*+16

Ces opérateurs prennent un temps très variable en fonction de leur rôle [3]. Le plus coûteux est un filtre FIR passe-bas directif dans l'aire V1 qui dure environ 100 ms sur un DSP à 33 Mips (25 coefficients). Vu que ce traitement se répète 24 fois dans l'aire V1 et sous une forme un peu différente en aval, il est donc important de se doter d'une structure de filtre moins pénalisante. Il existe différentes alternatives pour obtenir un filtre de lissage directif mais aucune ne nous permettait d'implanter l'ensemble complet en temps réel [5].

2. Solution de filtre utilisée

Nous avons envisagé une solution de filtre passe-bas directif IIR. La structure IIR, simple en calcul, possède néanmoins quelques inconvénients [6] :

- problèmes de stabilité (liés aux bruits de calcul),
- et une phase non linéaire.

Ce filtre doit impérativement avoir un coût de calcul minimale et doit fournir une réponse bien localisée du contour.

2.1 Le noyau de base

Nous sommes donc partis du simple filtre récursif du premier ordre monodimensionnel ci-dessous. Nous avons ainsi évité en partie les défauts du IIR et nous bénéficions maintenant d'un filtre beaucoup plus simple à calculer.

$$\begin{aligned} I'(k) &= (1-a)I_s(k) + aI'(k-1) \text{ pour } k \uparrow \\ I_s(k) &= (1-a)I'(k) + aI_s(k+1) \text{ pour } k \downarrow \end{aligned} \quad (1)$$

Cette équation appliquée sur un signal I_e donne en sortie I_s filtrée passe-bas à la condition où $a \in [0,1[$. Le filtrage se fait en 2 balayages successifs ; le premier dans le sens des k croissant et le second dans la direction opposée ainsi on obtient une réponse impulsionnelle symétrique. La bande passante est facilement réglable avec le paramètre a et ceci dans une large gamme. Par ailleurs, ce filtre répond correctement au critère des filtres optimaux [7].

Sans modification, ce filtre est applicable horizontalement et verticalement dans l'image dans l'objectif d'obtenir les canaux de directions respectivement de 0° et 90°, révélant les zones de contours d'orientations locales proches de l'horizontale et de la verticale. La sélectivité en direction du filtre ne sera pas abordée dans cet article.

2.2 Extension aux directions 22°5 et 45°

Pour les directions sortant du maillage des pixels de l'image le problème se complique. Nous avons établi une équation de récurrence utilisant une variante du noyau (1) mais avec un balayage adapté à la direction souhaitée. C'est ce point qui est abordé dans les 2 paragraphes suivants.

2.2.1 Direction 45°

Le filtrage directif 45° est obtenu simplement par 2 balayages dans cette orientation comme l'illustre la figure ci-dessous.

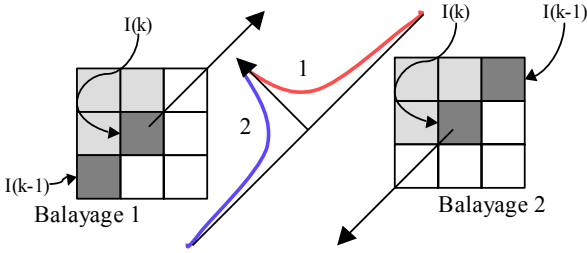


FIG. 2 : Le filtrage à 45° est réalisé par 2 balayages. Les pixels gris représentent le passé et les blancs le futur dans le contexte du balayage. Les pixels sombres matérialisent le trajet du filtrage.

Ce filtre possède une réponse impulsionnelle similaire à la direction 0° à la différence près du pas d'échantillonnage qui est égale à $\sqrt{2}$ au lieu de 1. Il en résulte un repliement de spectre qui limite l'usage du filtre comme passe-bas à une fréquence limite maximale de $1/2\sqrt{2}$ pixel⁻¹. Cette restriction est sans conséquence car la rétine située en amont coupe les hautes fréquences. Le réglage de la bande passante avec le paramètre a doit compenser cet effet.

2.2.2 Direction 22°5

Le filtrage directif 22°5 n'est pas aussi simple à concevoir. Comme le montre la figure 3, il est simple de parcourir l'image avec l'orientation requise mais il y a 2 chemins possibles. Le résultat obtenu pour ces 2 cas de figure est forcément différent. On constate par ailleurs dans la figure 3 que le trajet emprunté par le filtre est constitué de 2 motifs élémentaires définissant le 22°5.

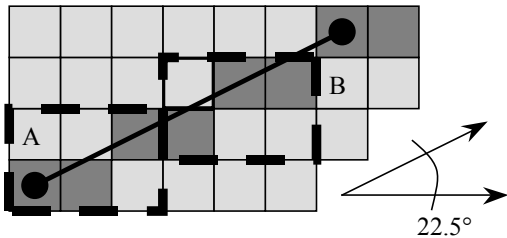


FIG. 3 : Le balayage selon 22°5 entre 2 points A et B alignés dans cette direction peut prendre 2 chemins différents. En effet le balayage utilise 2 motifs élémentaires dans un ordre qui peut être inversé.

En déplaçant une fenêtre de 2 par 3 le long du parcours, on constate que les 2 motifs s'enchaînent en alternance tout au long du filtrage comme le montre les figures 3 et 4. Comme précédemment, cette progression de calcul est appliquée dans ce sens puis dans le sens opposé pour obtenir un filtrage symétrique orienté à 22°5.

En fait le filtrage obtenu n'est pas exactement symétrique car l'utilisation arbitraire d'un unique chemin entre A et B présente un problème de réponse (réponse impulsionnelle non

symétrique). On observe sur les contours abrupts des délocalisations générant des artefacts.

Ce problème est résolu en filtrant entre les 2 points A et B de la figure 3 par les 2 chemins possibles. Si l'on calcule le spectre de ces 2 filtres, ils se compensent en phase lorsque l'on les moyenne et ainsi ils ne délocalisent plus les contours raides.

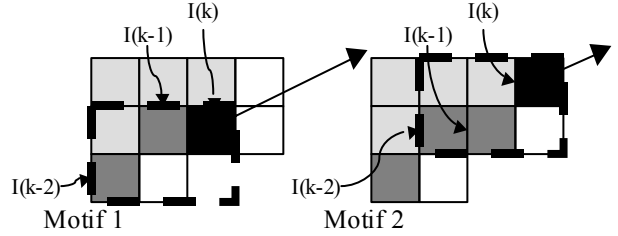


Fig. 4 : Le filtrage par un seul chemin à 22°5 est réalisé par 2 balayages. Les pixels gris clairs représentent le passé et les blancs le futur dans le contexte du balayage. Les pixels sombres matérialisent le trajet du filtrage.

2.3 Algorithmes

Les formules de (2) et (4) donnent respectivement les systèmes d'équations de récurrence appliqués respectivement pour le 0°, 22°5 et 45° (codes direction respectifs 0, 1 et 2).

En résumé les filtres 0 et 2 se traitent sans trop de difficultés en 2 balayages sur l'image d'entrée I . Le filtre 2 est plus complexe car on doit pratiquer 2 balayages pour les 2 chemins possibles soit en tout 4 balayages plus un calcul de moyenne d'images en final.

Filtre 0 :

$$\begin{aligned} I'(x, y) &= (1-a)I(x, y) + a I'(x-1, y) \quad \text{pour } x \text{ et } y \uparrow \\ I_0(x, y) &= (1-a)I'(x, y) + a I_0(x+1, y) \quad \text{pour } x \text{ et } y \downarrow \end{aligned} \quad (2)$$

Filtre 1 (chemin motif1/motif2) :

pour x et $y \uparrow$ en alternance :

$$\begin{aligned} \text{Motif 1} \quad & \begin{cases} I'(x-1, y) = (1-a)I(x-1, y) + a I'(x-2, y-1) \\ I'(x, y) = (1-a)I(x, y) + a I'(x-1, y) \end{cases} \\ \text{Motif 2} \quad & \begin{cases} I'(x-1, y-1) = (1-a)I(x-1, y-1) + a I'(x-2, y-1) \\ I'(x, y) = (1-a)I(x, y) + a I'(x-1, y-1) \end{cases} \end{aligned}$$

pour x et $y \downarrow$ en alternance :

$$\begin{aligned} \text{Motif 2} \quad & \begin{cases} I''(x+1, y) = (1-a)I(x+1, y) + a I''(x+2, y+1) \\ I''(x, y) = (1-a)I(x, y) + a I''(x+1, y) \end{cases} \\ \text{Motif 1} \quad & \begin{cases} I''(x+1, y+1) = (1-a)I(x+1, y+1) + a I''(x+2, y+1) \\ I''(x, y) = (1-a)I(x, y) + a I''(x+1, y+1) \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

$$I_1(x, y) = \frac{1}{2} (I'(x, y) + I''(x, y))$$

Filtre 2 :

$$\begin{aligned} I'(x, y) &= (1-a)I(x, y) + a I'(x-1, y-1) \quad \text{pour } x \text{ et } y \uparrow \\ I_2(x, y) &= (1-a)I'(x, y) + a I_2(x+1, y+1) \quad \text{pour } x \text{ et } y \downarrow \end{aligned} \quad (4)$$

3. Implantation

Le système d'équations (2) est programmé sur processeurs DSP tel qu'il est défini ci-dessus en un temps optimisé et ceci sans trop de difficultés.

Les systèmes d'équations (3) et (4) ne sont pas implantés sous cette forme. Le paragraphe suivant décrit les modifications apportées sur la direction $22^\circ 5'$ qui est la plus complexe à traiter. Cette démarche est obligatoire pour améliorer de façon conséquente son temps de traitement.

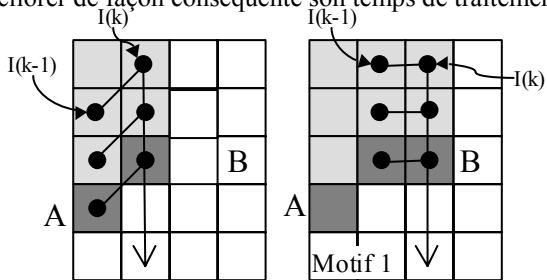


FIG. 5 : La programmation du filtre à $22^\circ 5'$ est obtenue en entrelaçant 2 récurrences verticales. Une première opère à 0° et une seconde à 45° .

En appliquant verticalement et en alternance le calcul une récurrence à 0° puis sur la colonne voisine une récurrence à 45° , on obtient un résultat identique au système d'équations (3). La simplicité d'adressage obtenue par cette dernière méthode est décrite schématiquement figure 5. En effet vouloir à tout prix suivre le balayage compliqué du filtre $22^\circ 5'$ est une erreur que l'on paye en temps d'adressage. L'algorithme gagne aussi en lisibilité car la difficulté consistait à respecter pour chaque pixel $I_2(x,y)$ un traitement identique et égal au système d'équations (3).

L'implantation de toutes les directions a été testée sur DSP Analog Devices. Nous avons obtenu des résultats largement améliorés en comparaison avec ceux de l'approche FIR [3].

TAB. 2 : Tableau comparatif – Entre les temps de traitement des filtres passe-bas directifs FIR (1x25 coefficients) et ceux de nos IIR dans une image 256 par 256 avec un processeur ADSP21020-33 MHz.

	FIR	IIR	Gain
0°	100.5 ms	8.73 ms	91 %
$22^\circ 5'$	100.5 ms	23.94 ms	76 %
45°	100.5 ms	8.73 ms	91 %

4. Conclusions et perspectives

Le remplacement dans notre algorithme de nos filtres FIR initiaux par des IIR nous donne deux avantages :

- Le filtre IIR est plus souple à utiliser grâce à un réglage simple de sa bande passante (paramètre a).
- Et le temps gagné est considérable ce qui nous permet de réduire le traitement d'un algorithme segmentation d'un facteur 2 sur une architecture monoprocesseur.

Les temps peuvent être extrapolés dans une architecture similaire utilisant un processeur de traitement du signal plus moderne. Pour les obtenir, il suffit simplement de multiplier au pro rata des fréquences de l'horloge. Il faut néanmoins rappeler que la programmation de ces filtres a été faite en

assembleur optimisé pour réduire au maximum la taille et donc le temps d'exécution des boucles les plus fréquemment sollicitées (instruction RISC : 1 instruction = 1 cycle).

5. Annexes

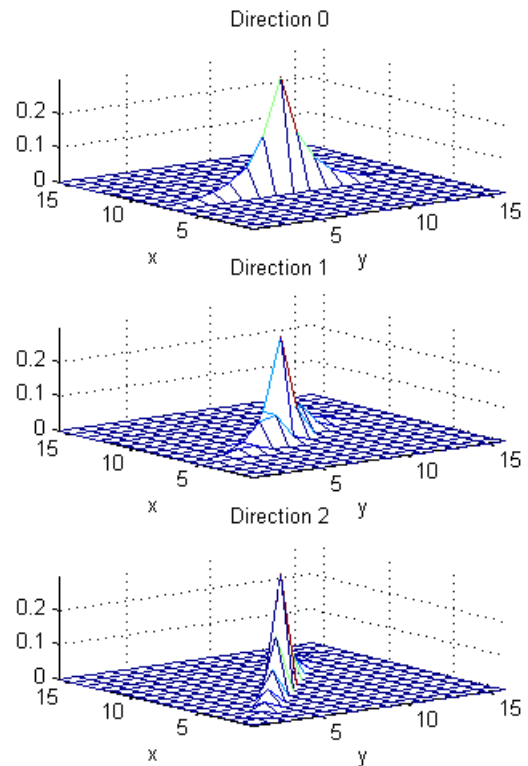


FIG. 6 : Réponses impulsionnelles des filtres orientés 0, 1 et 2 (soit 0° , $22^\circ 5'$ et 45°) données pour $a=0.5$.

Références

- [1] S.J. Thorpe. Traitement d'images chez l'homme. Techniques et Sciences Informatiques, vol. 7, n°6, p. 517 à 525, 1988.
- [2] J.P. Girod. Extraction de primitives en traitement d'images par modélisation des systèmes visuels biologiques. Thèse de doctorat de l'Université H. Poincaré, Nancy I. 13 octobre 1994.
- [3] F. Devillard, B. Heit et T. Cecchin. Implantation temps réel d'un algorithme de segmentation par modélisation de l'architecture du système visuel biologique. GRETSI'99, 13-17 septembre, Vannes 1999, France.
- [4] F. Devillard, B. Heit and G. Brunelot. Implementation of an Architectural Modelisation of the Biological Visual System. PSIP2001, January 23 rd-25th Marseille 2001, France.
- [5] S-C. Pei and S-B. Jaw. Two-dimensional general fan-type FIR digital filter design. Signal Processing n°37 pp265-274, 1994.
- [6] Handbook for digital processing, S.K. Mitra and J.F. Kaiser. Wiley Interscience Edition.
- [7] J. Shen. et S. Castan. Un nouvel algorithme de détection de contours". AFCET INRIA, 5ème congrès, 1985.