



Conceptions nouvelles du détecteur de contours de Deriche

D.Demigny, F.G.Lorca,
L.Kessal, J.P.Cocquerez

ETIS / ENSEA 6 av. du Ponceau, 95014 Cergy-Pontoise Cedex, France
demigny@ensea.fr

RÉSUMÉ

Le pluriel du titre indique les deux aspects différents : conceptuel et réalisation sur lesquels portent les quatre innovations présentées dans ce papier. Si celles ci sont illustrées par une application au détecteur de contours de Deriche, elles sont facilement généralisables à d'autres détecteurs qu'ils soient basés sur le calcul de maxima locaux de la dérivée première ou le calcul des passages par zéro du Laplacien. (1) Les filtres à réponse impulsionnelle infinie symétrique ou anti-symétrique peuvent être réalisés sous forme cascade. (2) Le filtre de lissage peut être défini par intégration numérique du filtre dérivateur optimal. (3) Tout filtre détecteur de contours à noyau large peut être considéré comme un filtre de lissage bidimensionnel à noyau large suivi d'un simple filtre de Sobel. (4) L'utilisation d'opérateurs blocs série offre le meilleur compromis surface rapidité pour l'intégration en ASICs ou FPGA.

1. INTRODUCTION

Une étude d'adéquation algorithme architecture liée à l'implantation matérielle temps réel du détecteur de contours de Deriche [1] amène à changer la vision que la communauté image-segmentation a généralement de ce détecteur. Nous montrons ici que ce filtre bidimensionnel (2D) est la combinaison d'un filtre de lissage récursif 2D combiné au dérivateur de Sobel. Ainsi, ce filtre mais aussi tous ceux bâtis sur le même principe comme le filtre de Shen [2] ne doivent plus être vus comme des dérivateurs mais comme des prétraitements avant dérivation. Il se déduit de cette approche une architecture matérielle optimale en surface d'opérateurs et mémoires, sa rapidité de traitement correspond à 25 images 512×512 par seconde et peut être améliorée aisément par pipeline. D'autre part, il apparaît que cette nouvelle conception du filtre se traduit aussi par une implantation logicielle plus rapide et plus compacte.

Certaines des méthodes utilisées pour obtenir cette architecture peuvent servir d'objectifs à l'élaboration d'outils de synthèse automatique comme ceux issus des langages synchrones. Compte tenu de la compacité de ce papier, nous ne décrivons que les innovations et renvoyons le lecteur à la référence [1] pour une connaissance des bases préalables.

¹Ce travail fait l'objet d'un contrat avec la société Aérospatiale service ETEN.

ABSTRACT

We present four improvements for implementation and conceptual aspects of linear edge detectors. Even if these improvements are explained by their use with the Deriche filter, they are useful for all large kernel detector based on maxima of the first order derivative or zero crossing of the Laplacian. (1) Filters with an unlimited symmetrical or anti symmetrical impulse response can be elaborated in a cascade form. (2) The smoothing filter can be defined by a numerical integration of the first derivative filter equation, which leads to simpler operators. (3) Large kernel edge detectors can be view as a large kernel bidimensional smoothing filter combined with a simple Sobel filter. (4) The use of serial blocks operators offers best compromise between area and speed for ASICs and FPGA.

La seconde section présente les équations de base du filtre de Deriche et la structure matérielle qui en découle. La troisième section présente et montre les intérêts de la forme cascade des filtres mono-dimensionnels par rapport à la forme parallèle. La quatrième section définit une nouvelle expression du lisseur de Deriche qui conduit à des coefficients et des structures de réalisation plus simples. La cinquième section présente l'innovation majeure : la réalisation du détecteur comme un filtre de lissage suivi d'un simple Sobel. Les implications de cette approche sont aussi décrites. La dernière section montre l'intérêt des structures bloc-série rarement utilisées qui pourtant permettent d'obtenir un optimal en vitesse et surface d'intégration dans les opérateurs flot de données.

Pour l'aspect matériel, on supposera que l'image arrive en flot de données (balayage vidéo); pour le logiciel on déduira aisément l'organisation des calculs à partir des transformées en z .

2. FILTRE DE DERICHE

Le gradient de Deriche est obtenu par les calcul des gradients horizontaux GH et verticaux GV élaborés tous deux sur le même principe illustré figure 1. Par exemple le gradient vertical est calculé par la combinaison d'un filtre dérivateur vertical DV et d'un filtre de lissage horizontal LH . L'entrée



E est une image d'intensité et la sortie S l'image de la norme du gradient. Le calcul en colonne demande la disponibilité de la dernière ligne de l'image d'où la nécessité de stockage d'images complètes des résultats horizontaux. Pendant le stockage horizontal des résultats de LH et DH dans I1 et I3, les images précédentes (flot d'images) sont lues dans les sens des colonnes dans I2 et I4.

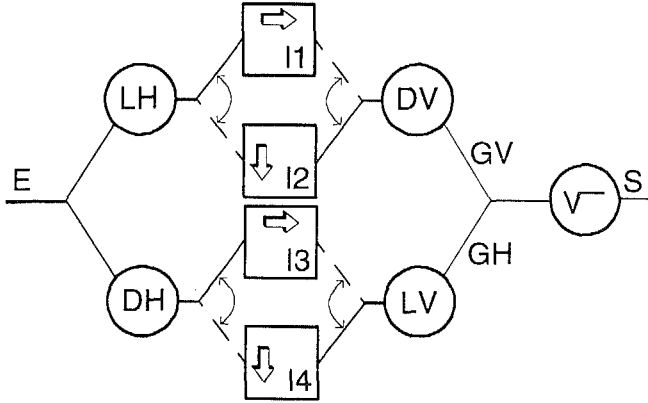


Figure 1 : Organisation matérielle globale classique du filtre de Deriche.

Chaque opérateur LH, LV, DH, DV est un filtre du deuxième ordre à réponse impulsionnelle infinie à droite et à gauche (en haut et en bas). Pour simplifier nous n'exprimons que le cas du dérivateur horizontal, la structure est la même pour les autres opérateurs. La réalisation matérielle ou logicielle sous forme récursive n'est possible qu'en décomposant le filtre horizontal en deux sous filtres figure 2, l'un infini à droite \underline{D} et l'autre à gauche \overline{D} . L'application du théorème de superposition conduit naturellement à une forme parallèle. Puisque les pixels de l'image arrivent dans le sens gauche droite, le traitement \underline{D} ne peut démarrer qu'après l'arrivée du dernier pixel de la ligne. Les mêmes considérations que sur les images pour la structure globale conduisent ici à utiliser 4 mémoires de lignes (ou colonnes) I1 à I4.

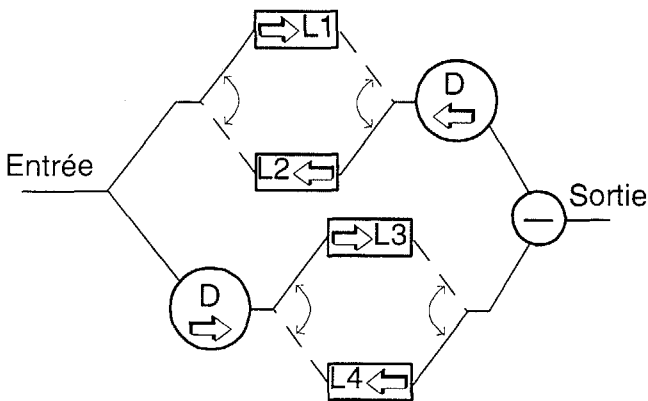


Figure 2 : Forme parallèle de l'opérateur récursif DH.

3. FORME CASCADE DES OPERATEURS

Pour le calcul des opérateurs à une dimension précédents, il existe une forme stable où la partie causale du filtre est en cascade avec sa partie anticausale, ce qui demande exactement le même nombre de calculs que la forme classique

parallèle de la figure 2 mais ne nécessite plus qu'une seule mémoire de stockage ligne. La figure 3 montre le cas de l'opérateur DH.

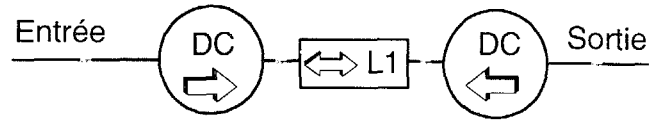


Figure 3 : Forme cascade de l'opérateur récursif DH.

Un facteur 2 sur les mémoires a été gagné en passant de la forme parallèle à la forme cascade et un autre facteur 2 en remarquant que lorsqu'un pixel de la ligne précédente est lu dans L1, on peut écrire à sa place un pixel de la ligne courante. Les lignes sont alors stockées alternativement dans L1 dans le sens croissant et décroissant des adresses.

L'équation 1 donne l'expression de la transformée en z du dérivateur de Deriche. On écrit $\gamma = e^{-\alpha}$ le paramètre réglant la largeur du filtre.

$$D(z) = \underline{DC}(z) \cdot \overline{DC}(z) \tag{1}$$

$$\underline{DC}(z) = \frac{(1-\gamma)^2 z^{-1}}{(1-\gamma z^{-1})^2} \text{ et } \overline{DC}(z) = \frac{(1-\gamma^2)(z^2-1)}{(1-\gamma z)^2}$$

4. LISSEUR DE DERICHE

Plutôt que de calculer le lisseur comme l'intégrale continue de la réponse impulsionnelle du dérivateur, ainsi que l'a proposé Deriche, on peut l'obtenir par intégration numérique (trapèzes) de l'équation (1). Dans ce même congrès [4], nous avons détaillé la construction de ce lisseur et montré par les critères de Canny, que notre approche de donnait aucune différence en qualité par rapport au lisseur initial. Il s'en dégage cependant une expression du filtre et des coefficients plus simples. L'équation en z pour la forme cascade du lisseur est :

$$L(z) = \underline{L}(z) \cdot \overline{L}(z) \tag{2}$$

$$\underline{L}(z) = \frac{(1-\gamma)^2(1+z^{-1})}{2(1-\gamma z^{-1})^2} \text{ et } \overline{L}(z) = \underline{L}(z^{-1})$$

5. NOUVELLE VISION DES DETECTEURS DE CONTOURS

De façon à formaliser le traitement bi-dimensionnel (2D), on peut noter que la distance entre deux pixels d'une même colonne de deux lignes consécutives est de N pixels si N est le nombre de pixels par ligne. Ainsi pour les traitements verticaux, il suffit de changer l'opérateur retard z^{-1} en opérateur z^{-N} . On note $G_h(z)$ le filtre de gradient horizontal et $G_v(z)$ celui de gradient vertical.

$$G_h(z) = L(z^N) \cdot D(z) \text{ et } G_v(z) = L(z) \cdot D(z^N)$$

La similitude des équations (1) et (2), obtenues grâce aux innovations précédentes conduit naturellement à un filtre de lissage 2D $L_2(z)$ qui est bien sûr séparable :

$$L_2(z) = \frac{(1-\gamma)^7(1+\gamma)}{4(1-\gamma z^{-1})^2(1-\gamma z)^2(1-\gamma z^{-N})^2(1-\gamma z^N)^2}$$

Avec les filtres de Sobel horizontal S_h et vertical S_v :

$$S_h(z) = (z - z^{-1}) \cdot (z^N + 2 + z^{-N})$$

$$S_v(z) = (z^N - z^{-N}) \cdot (z + 2 + z^{-1})$$

on obtient alors :

$$G_h(z) = L_2(z) \cdot S_h(z)$$

$$G_v(z) = L_2(z) \cdot S_v(z)$$

Ceci montre que le filtre de Deriche n'est autre qu'un filtre de lissage optimal 2D symétrique couplé à l'opérateur de Sobel. Il s'en suit la structure de réalisation décrite figure 4.

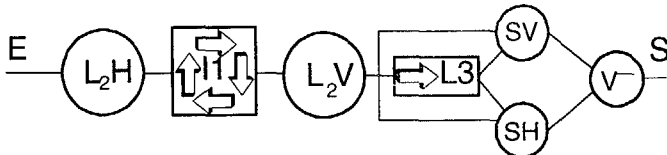


Figure 4 : Nouvelle organisation globale du filtre de Deriche.

Les deux blocs parallèles de la figure 1 n'existent plus. Une seule mémoire d'image est nécessaire contre 4 initialement. Un facteur 2 a été gagné par le fait que le lissage est maintenant commun aux deux dérivations horizontale et verticale, un autre facteur 2 par allocation dynamique d'image dans le même esprit que pour les stockages de ligne de la figure 3. La complexité en terme d'opérateurs a aussi été divisée par 2. Ce schéma est utilisable pour tous les filtres détecteurs RII ou RIF, le lisseur peut être par exemple un filtre gaussien et dans le cas des filtres Laplacien à noyau large, le filtre de Sobel est simplement remplacé par un Laplacien 3x3. Les détecteurs de contours à noyau large n'ont plus leur place en segmentation et les lisseurs qui s'en déduisaient appartiennent à la famille des prétraitements.

6. ARCHITECTURE D'UNE CELLULE RII DU DEUXIEME ORDRE.

En matériel, les opérateurs à concevoir sont à une constante près des cascades de filtres du 2^{ème} ordre de transformée :

$$\frac{(1 - \gamma)^2}{(1 - \gamma z^{-1})^2}$$

qui peuvent être réalisés par la mise en cascade de deux filtres du premier ordre. Nous avons prouvé [3] que 3 bits étaient suffisants pour coder γ . Le calcul en ASIC ou FPGA est alors si rapide qu'en 100ns (cadence d'arrivée des pixels pour une image 512x512) deux traitements peuvent être effectués.

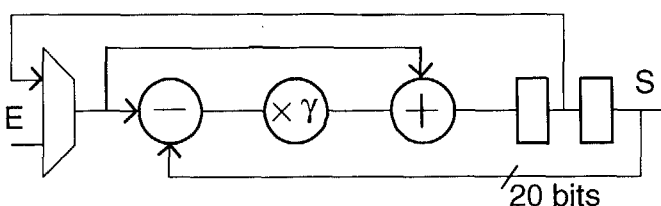


Figure 5 : Multiplexage temporel d'une structure du premier ordre.

La précision des calculs devant être de 20 bits, une première solution exposée figure 5 consiste à effectuer les deux calculs de filtres du premier ordre en 50 ns chacun avec une structure matérielle correspondant à un seul premier ordre. Une autre solution consiste à sérialiser les données sur 20 bits en deux blocs de 10 bits. La structure de la figure 6 traite un premier ordre sur 10 bits de donnée en 50ns et effectue le calcul d'un premier ordre complet en 100ns. La mise en cascade de deux structures de ce type réalise le deuxième ordre complet.

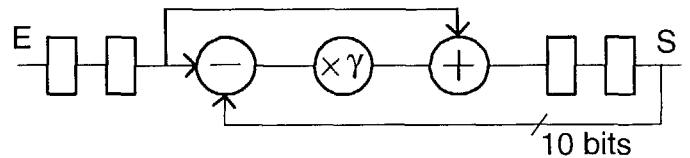


Figure 6 : structure bloc série d'un premier ordre.

Ces deux solutions conduisent à un gain identique d'un facteur 2 par rapport à une solution classique. La solution de la figure 6 est cependant moins contraignante temporellement pour les opérateurs qui ne travaillent que sur 10 bits au lieu de 20.

7. CONCLUSION

En logiciel, la version originale de Deriche requiert 24 multiplications contre 9 pour notre version. La meilleure implantation précédent notre étude utilisait 84 additionneurs 20 bits, 2 mémoires d'images et 8 mémoires de ligne. La version que nous proposons : 46 additionneurs 10 bits, une seule mémoire d'image et 3 mémoires de ligne. Mais le principal résultat est que la recherche d'un détecteur de contours à filtre linéaire optimal se ramène à la recherche d'un lisseur optimal. Une chaîne de segmentation par l'approche contours consiste en un prétraitement à noyau large suivi d'un banal dérivateur 3x3 ou 2x2 pour la détection par les maxima locaux ou d'un Laplacien 3x3 pour la détection par les passages par zéro.

References

- [1] R.Deriche, "Fast Algorithms for Low-Level Vision," IEEE Transactions on Pattern Anal. and Machine Intell., vol.PAMI-12, no.1, pp. 78-87, Jan.90
- [2] J.Shen and S.Castan, "An Optimal Linear Operator for Step Edge Detection", Comput. Vision Graphics Image Process., vol.54, no.2, pp. 112-133, March 92
- [3] D.Demigny, L. Kessal, T.Kamlé, J.P.Cocquerez, "Filtre de Deriche, architectures temps réel pour la multi-résolution", GRETSI Juan les Pins France, Sept. 1993
- [4] D.Demigny, F.G.Lorca, T.Kamlé, L.Kessal, "Critères de Canny discrets pour la comparaison de filtres détecteurs de contours", GRETSI Symposium on Signal and Image Processing, Juan les Pins France, Sept. 1995.