

FILTRE DE DERICHE ARCHITECTURES TEMPS REEL POUR LA SEGMENTATION MULTI-RESOLUTION

Didier DEMIGNY, Lounis KESSAL
Tawfik.KAMLE, Jean Pierre COCQUEREZ

Equipe de Traitement des Images et du Signal, ENSEA
Allée des chênes pourpre, 95014 Cergy Pontoise Cedex

RESUME

Si le filtre de Deriche est couramment utilisé sous sa forme logicielle, son implantation matérielle temps réel reste un challenge. Dans cet article, nous proposons de résoudre les effets de bords d'image liés à l'implantation récursive, de montrer que des coefficients sur 3 bits sont suffisants en récursif et qu'un filtre RIF à noyau large conduit à des résultats de qualité comparable à l'approche RII pour une complexité moindre, rendant possible la multi-résolution temps réel.

1.INTRODUCTION

Deux raisons au moins conduisent à utiliser le filtre de Deriche en détection de contours : d'une part, la qualité de détection en présence de bruit et d'autre part la possibilité de traitement multi-résolutions par variation d'un unique paramètre α . Rappelons que R.Deriche [1], a déterminé un filtre dérivateur optimal vis à vis des trois critères définis par Canny (détection, localisation, non multiplicité des réponses) étendus au cas des filtres à réponse impulsionnelle infinie. La forme récursive est largement utilisée pour les implantations logicielles [2], par contre, pour les implantations matérielles, elle est difficile à mettre en oeuvre et la comparaison avec la forme non récursive mérite d'être étudiée. Dans cet article, nous nous attachons dans un premier temps à simplifier l'implantation récursive puis nous proposons une implantation non récursive. Dans la section 2, nous évoquons les effets créés par les bords d'images et donnons une solution visant à les supprimer, ceci doit aussi améliorer les implantations logicielles récursives existantes. Dans la section 3, nous exposons les difficultés d'une implantation matérielle récursive et montrons que la taille des coefficients peut être réduite à trois bits sans perte de qualité du filtre. Nous proposons alors une organisation des calculs visant à diminuer la complexité de cette approche. Dans la section 4,

ABSTRACT

The soft implementation of the Deriche filter is commonly used in picture segmentation. But the real time hardware implementation is still a challenge. In this paper, we propose to solve the side picture effects of the IIR implementation, we prove that only 3 bits coefficients are necessary in IIR and we show a FIR filter which exhibits results as good as IIR filter. With the simplicity of FIR approach, the multi-scaling start to be feasible.

nous décrivons l'approche non récursive. Nous étudions l'effet de la troncature de la réponse impulsionnelle sur la qualité du filtre et proposons une organisation des calculs. La fin de cette introduction sert à préciser les équations de base utilisées dans les sections suivantes.

Le filtre continu de Deriche est constitué d'un dérivateur de réponse impulsionnelle $D(x)$ et d'un lisseur défini comme l'intégrale du dérivateur $L(x)$.

$$D(x) = xe^{-\alpha|x|} \text{ et } L(x) = (1 + \alpha|x|)e^{-\alpha|x|} \quad (1)$$

Le filtre bidimensionnel est obtenu par combinaison de ces deux filtres :

Les gradients horizontaux et verticaux G_h et G_v sont obtenues par :

$$G_h(x, y) = L(y) * D(x), G_v(x, y) = L(x) * D(y) \quad (2)$$

On en déduit aisément la norme du gradient.

Dans la suite, nous ne développons que l'étude du dérivateur.

Les résultats se transposent facilement au cas du lisseur.

Du filtre continu, on déduit la transformée en z du dérivateur discret obtenu par invariance impulsionnelle :

$$D_+(z) = \frac{k_d e^{-\alpha} z}{1 - 2e^{-\alpha} z + e^{-2\alpha} z^2} \quad (3)$$

$$D_-(z) = D_+(z^{-1}) \quad D(z) = D_-(z) - D_+(z) \quad (4)$$



La constante k_d est une constante de normalisation. Elle est choisie afin que pour un échelon unitaire, le maximum de la réponse soit d'amplitude 1 quelle que soit la valeur de α . Ceci assure une invariance de la valeur du seuil de détection de contour vis à vis de α . Pour une image d'intensité uniforme, la réponse du dérivateur est nulle indépendamment de la constante de normalisation.

$$\sum_0^{+\infty} k_d n e^{-\alpha n} = 1 \Rightarrow k_d = \frac{(1 - e^{-\alpha})^2}{e^{-\alpha}} \quad (5)$$

La réponse $d(n)$ du filtre à une entrée $x(n)$ peut être calculée par les équations aux différences suivantes :

$$d_+(n) = 2e^{-\alpha} d_+(n+1) - e^{-2\alpha} d_+(n+2) + (1 - e^{-\alpha})^2 x(n+1) \quad (6)$$

$$d_-(n) = 2e^{-\alpha} d_-(n-1) - e^{-2\alpha} d_-(n-2) + (1 - e^{-\alpha})^2 x(n-1) \quad (7)$$

$$d(n) = d_-(n) - d_+(n) \quad (8)$$

Ces équations récursives montrent que le calcul de la réponse dans le cas monodimensionnel nécessite deux balayages, l'un vers les n croissants, l'autre vers les n décroissants.

D'autre part pour une série d'entrée bornée, par exemple une image d'une largeur de N pixels, il est nécessaire de définir l'initialisation de ces équations, c'est à dire :

en $N-1$: $d_+(N), d_+(N+1), x(N)$
 en 0 : $d_-(-1), d_-(-2), x(-1)$

2. EFFETS DE BORDS

Traditionnellement, [DER.90] ces valeurs sont initialisées à 0. Il en résulte des effets de bord tels que ceux de la figure 1 obtenus pour $\alpha=0.1$ et une suite $x(n)$ constituée d'un fond uniforme de valeur 10 auquel on superpose un échelon de hauteur 10 situé à 25 échantillons du bord gauche. Cet échelon est faiblement détecté et délocalisé de 5 échantillons. Un bruit perturbe plus facilement la détection de l'échelon près des bords qu'au centre de l'image. Ce phénomène existe quel que soit α mais la largeur de la zone influencée par le bord diminue lorsque α augmente.

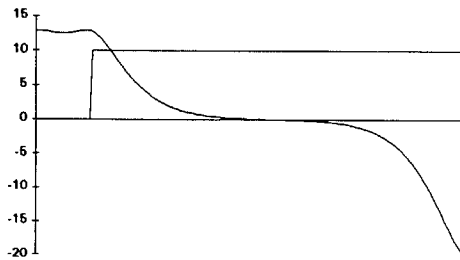


Figure 1 : initialisation à 0, réponse à un échelon

Dans le cas d'une suite $x(n)$ de valeur constante 10,

l'initialisation à 0 revient à créer un échelon centré sur les bords d'amplitude 10. La réponse du dérivateur à cet échelon est la réponse impulsionnelle du lisseur multipliée par la hauteur de l'échelon. On observe donc de chaque côté de l'image une demi réponse impulsionnelle de lisseur.

Nous proposons d'initialiser le dérivateur de telle manière que $d(0)=d(N-1)=0$, ce qui correspond à un gradient nul sur les bords. Sur le bord gauche à partir des équations (7) et (8), on en déduit l'unique solution indépendante de α :

$$x(-1) = d_-(-2) = d_-(-1) = d_+(0) \quad (9)$$

Les valeurs en $d_-(0), d_-(-1), d_-(-2)$ sont identiques, ce qui correspond à un régime établi du filtre pour une image uniforme. L'initialisation de $x(-1)$ correspond à une estimation à partir de $d_+(0)$ de la valeur moyenne des $x(i)$ près du bord (estimation de l'uniformité).

De même sur le bord droit, on obtient :

$$x(N) = d_+(N+1) = d_+(N) = d_-(N-1) \quad (10)$$

On remarque que d_+ ne peut être initialisé qu'après exécution de d_- et réciproquement, ce qui n'est pas physiquement réalisable. Les bords étant suffisamment éloignés l'un de l'autre, l'initialisation de d_+ n'influe pratiquement pas sur $d_+(0)$, de même l'initialisation de d_- n'influe pratiquement pas sur $d_-(N-1)$. Dans les cas mono et bidimensionnels la solution suivante est envisageable :

1ère passe : on initialise à 0 et on effectue le calcul de $d_-(i)$ pour tous les échantillons, on en déduit $d_-(N-1)$

2ème passe : on initialise d_+ avec $d_-(N-1)$ et on calcule $d_+(i)$ pour tous les échantillons, on en déduit $d_+(0)$

3ème passe : on initialise d_- avec $d_+(0)$ et on calcule $d_-(i)$ pour tous les échantillons.

L'effet de cette initialisation est visible figure 2 pour une entrée du même type qu'à la figure 1, il n'y a alors plus de délocalisation.

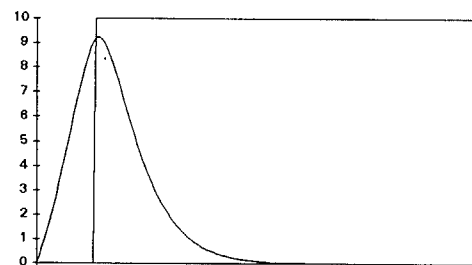


Figure 2 : Initialisation de d_- par $d_+(0)$ et de d_+ par $d_-(N-1)$, réponse à un échelon

En bi-dimensionnel, une solution plus simple est réalisable. Pour le calcul de la dérivée horizontale, en supposant que l'image soit balayée de haut en bas, si on applique d_- en

premier, alors d_- est initialisé par la valeur de $d_+(0)$ de la ligne précédente. La connaissance de $d_-(N-1)$ de la ligne courante permet alors d'initialiser d_+ . Pour la première ligne, on effectue les trois passes. Si le lissage vertical est effectué avant la dérivation horizontale, alors pour une même verticale, $d_+(0)$ varie peu d'une ligne à la suivante, ce qui justifie cette méthode. Les valeurs précises d'initialisation, dépendent de la manière dont on implante le filtre cependant le critère définissant l'initialisation reste le même.

3. IMPLANTATION RECURSIVE

Trois points définissent la complexité et la surface silicium de la réalisation matérielle sous forme récursive :

le nombre de multiplications, la rapidité du multiplieur et la taille des mémoires. Chaque équation du type (6) ou (7) nécessite 3 multiplications. Un filtre de Deriche bidimensionnel est donc constitué de 24 multiplications. La dépendance entre $d_+(n)$ et $d_+(n+1)$ impose que le résultat du calcul précédent soit disponible à l'arrivée du pixel suivant, ce qui définit une durée maximale d'un calcul -multiplication, addition- de 100ns pour des images 512x512 à 25 images par seconde. Les multiplieurs rapides sont des multiplieurs pipelinés qui ne délivrent leurs résultats qu'après plusieurs cycles, ce qui est ici inacceptable. Il est bien sûr possible d'exprimer $d_+(n)$ en fonction de $d_+(n+2)$ et $d_+(n+3)$, ce qui laisse 2 cycles pour le calcul mais augmente encore le nombre de multiplieurs. Une manière simple de résoudre ce problème est de réduire la taille des coefficients. Dans [1], une approche statistique classique du bruit de calcul conduit à des coefficients sur 16 bits. Nous allons montrer que des coefficients sur 3 bits conduisent à un résultat exact. Une multiplication par un tel coefficient revient à effectuer 2 additions, ce qui se fait aisément en 100ns.

L'équation (3) peut s'écrire :

$$D_+(z) = \frac{(1-e^{-\alpha})z}{1-e^{-\alpha}z} \cdot \frac{(1-e^{-\alpha})}{1-e^{-\alpha}z} \quad (11)$$

L'équation (11) suggère une réalisation sous la forme de deux filtres du premier ordre (forme cascade).

En posant : $\gamma = (1 - e^{-\alpha})$ il vient alors :

$$\begin{aligned} y_+(n) &= (1-\gamma)y(n+1) + \gamma x(n+1) \\ d_+(n) &= (1-\gamma)d_+(n+1) + \gamma y_+(n) \end{aligned} \quad (12)$$

On peut alors par exemple choisir de représenter γ sur 3 bits et calculer les valeurs de α qui correspondent à chaque valeur possible de γ .

$$\gamma = \gamma_{-1}2^{-1} + \gamma_{-2}2^{-2} + \gamma_{-3}2^{-3} \quad (13)$$

γ	0.875	0.75	0.625	0.5	0.375	0.25	0.125
α	2.08	1.39	0.98	0.69	0.47	0.29	0.13

Pour ces valeurs particulières de α un calcul exact, sans erreur peut être réalisé puisque γ et $1-\gamma$ sont représentables exactement sur 3 bits. Remarquons aussi que dans la forme directe, le codage de $e^{-2\alpha}$ nécessite 6 bits pour obtenir exactement le filtre théorique avec les mêmes valeurs de α que dans la forme cascade. Pour ces deux formes, augmenter la précision des coefficients revient à augmenter le nombre de valeurs de α réalisables.

La structure du filtre complet est donné figure 3.

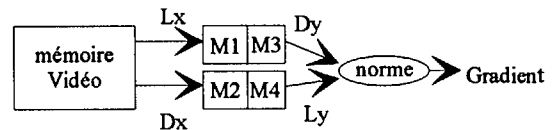


Figure 3 : Filtre de Deriche récursif

Le calcul nécessite au minimum 5 mémoires d'images de 256Koets. En effet, à chaque cycle de 100ns, on lit un pixel de la mémoire vidéo (balayage ligne), on stocke les résultats de lissage et dérivation horizontaux dans M1 et M2. Les images précédentes (retard d'une trame) ayant subi le traitement horizontal sont disponibles pour une lecture verticale dans M3 et M4. On peut alors terminer le traitement pour obtenir le gradient. Si on souhaite un ensemble de K filtres ayant des α différents pour un traitement multi-résolution, le nombre de mémoires augmente en 4K, ce qui devient vite prohibitif. Une solution pour supprimer ces mémoires consiste à supprimer le lissage. On réalise alors directement les dérivations à partir du contenu de la mémoire d'entrée qui doit maintenant à chaque cycle fournir 2 pixels issus de balayages horizontal et vertical. Ces données sont communes à tous les filtres quel que soit la résolution. Renoncer au lissage diminue de 64% la qualité de détection au sens du critère défini par Canny.

4. IMPLANTATION NON RECURSIVE

On tronque la réponse impulsionnelle du filtre de Deriche par une fenêtre rectangulaire de largeur $2F+1$.

Le critère de bonne détection Σ devient :

$$\Sigma = \Sigma_{\infty} \frac{1 - (1 + \alpha F)e^{-\alpha F}}{\sqrt{1 - (1 + 2\alpha F + 2\alpha^2 F^2)e^{-2\alpha F}}} \quad (14)$$

où Σ_{∞} est la valeur obtenue par le filtre à réponse impulsionnelle infinie [1]. Si on choisit $F=8$, ce qui correspond à une convolution par un masque de taille [17,17], Σ est supérieur à $0,8\Sigma_{\infty}$ pour α supérieur à 0,3. L'effet de la troncature se fait naturellement de plus en plus



sentir lorsque α diminue. Le filtre de Deriche correspond à un filtre du deuxième ordre avec un coefficient d'amortissement de 1. Sa réponse impulsionnelle est donc peu sensible à la précision des coefficients. Nous avons choisi de coder les coefficients sur 8 bits et de les approximer de façon que chaque multiplication se ramène au plus à une seule addition. L'écart observé entre les figures 4 et 5 provient de la troncature de la réponse et non pas de l'approximation des coefficients. Les conditions de seuillage et d'extraction des non maxima locaux sont les mêmes.



Figure 4 : Image buro récursif $\alpha=0,1$

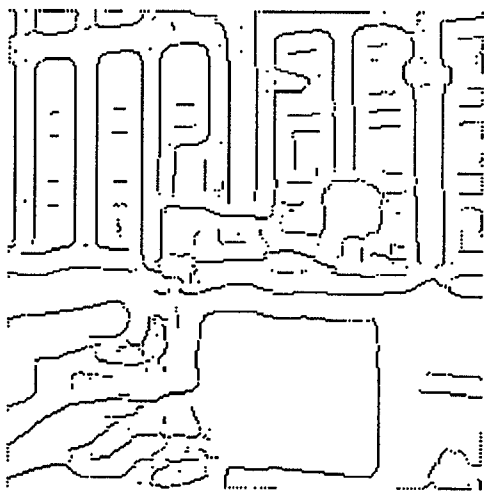


Figure 5 : Image buro non récursif $\alpha=0,1$

Il est inutile en 4 pages de montrer le cas $\alpha=1$, les images étant identiques en RII et RIF. La figure 6 montre une structure de calcul. Comme en récursif, 4 structures de ce type réalisent le filtre complet, cependant, seulement 16 mémoires de ligne en entrée sont nécessaires.

Pour le traitement colonne, les entrées x_0 à x_{16} sont issues des fifos de lignes, pour un traitement ligne, les entrées x_0 à

x_{16} correspondent aux 17 derniers résultats de calcul colonne. La première rangée d'additionneur pour le lisseur, de soustracteur pour le dérivateur exploite la symétrie des coefficients par rapport au centre du masque pour réduire le nombre de multiplications. L0 à L8 représentent les multiplications qui, rappelons le, nécessitent au plus une addition, enfin une série d'additionneurs combine les résultats partiels de convolution.

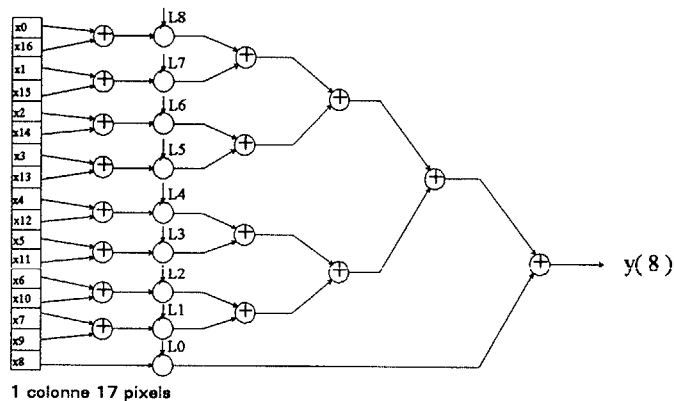


Figure 6 : Traitement colonne du lisseur

5. CONCLUSION

Les deux approches présentées, en tenant compte de coefficients sur 3 bits pour l'approche récursive conduisent à une centaine d'additionneurs pour la réalisation d'un filtre de Deriche pour une qualité équivalente lorsque α est supérieur à 0,3. Cependant l'approche récursive est plus coûteuse en mémoire et plus complexe en organisation des accès à ces mémoires. L'approche non récursive semble plus appropriée si on envisage d'implanter 5 filtres fonctionnant à des résolutions différentes.

[1]R.Deriche, Optimal edge detection using recursive filtering, ICCV juin 87

[2] R.Deriche, Fast algorithm for low level vision, PAMI janv 90