



NICE du 20 au 24 MAI 1985

FILTRAGE ADAPTATIF DE SEQUENCE D'IMAGES

Roger SAMY - Philippe LE LOUARN

CSEE-CETIA - 150, Rue Marcelin Berthelot - Z.I. Toulon Est - 83 088 TOULON

RESUME

Nous présentons un algorithme de filtrage adaptatif pour l'amélioration de séquences d'images télévision. Ce filtrage, basé sur l'estimation des statistiques locales, réduit le flou introduit par les filtres linéaires sur les contours en mouvement.

MOTS CLES :

Estimation du mouvement, Filtrage adaptatif, Estimation des statistiques.

SUMMARY

In this paper, we present an algorithm for image sequence filtering. This adaptative filter is based on local statistics estimation in order to reduce blur introduced by linear filters on moving edges.

KEYWORDS :

Motion estimation, Adaptative filtering, Statistics estimation.



I - INTRODUCTION

De nombreuses techniques de filtrage d'images ont été proposées pour améliorer leur qualité.

Parmi ces techniques, on peut citer le filtrage passe-bas, le filtrage médian et le filtrage adaptatif.

En ce qui concerne les séquences d'images, on peut se référer aux travaux de T.S. HUANG [1] où l'on peut trouver des techniques de filtrage temporel.

Cependant, dans de nombreuses applications, comme la télévision numérique, la détection et la poursuite de cibles, on a constaté que les filtres spatio-temporels amélioreraient la qualité visuelle de l'image, la probabilité de détection de cibles.

De façon très générale, le traitement de séquences d'images a deux buts différents :

- l'amélioration de la qualité visuelle : c'est le cas de la télévision numérique où un observateur humain apprécie la qualité de l'image,
- le prétraitement : l'image traitée sert à l'analyse et à l'interprétation automatiques de la scène.

Dans le cas de l'amélioration des séquences, il faudra tenir compte des contraintes suivantes :

- la contrainte de causalité : l'estimation devra utiliser uniquement les informations disponibles à l'instant de l'acquisition de l'image courante.
- le traitement temps réel impose que l'algorithme soit simple pour traiter un flot de données de 140 Mbits pour une séquence télévision.

Il est par ailleurs souhaitable d'avoir un algorithme qui se prête aisément à une réalisation matérielle non coûteuse, voir une intégration en composant VLSI dans le futur.

On présente une étude comparative des filtres linéaires, des filtres médians et des filtres adaptatifs appliqués dans un pavé spatio-temporel d'une séquence d'images.

II - FILTRAGE SPATIAL

Il existe plusieurs techniques de filtrage spatial pour le traitement numérique des images.

Parmi ces techniques, on peut citer :

- le filtrage linéaire, qui repose sur la convolution biindicielle :

$$Y(i,j) = \sum_{i_0} \sum_{j_0} X(i_0, j_0) h(i-i_0, j-j_0) \quad (1)$$

$X(i,j)$: image originale (entrée)

$Y(i,j)$: image filtrée (sortie)

$h(i_0, j_0)$: noyau de convolution (R.I.F.),

- le filtrage médian, qui repose sur le calcul du rang d'un ensemble de pixels. Il est souvent utilisé comme prétraitement en raison de son efficacité à éliminer des pixels incohérents.

- le filtrage adaptatif, qui est basé sur un filtre passe-bas dont le gain est contrôlé par une estimation de la variance locale.

$$\hat{X}(i,j) = \bar{X}(i,j) + \frac{\sigma_X^2}{\sigma_X^2 + \sigma_n^2} [Z(i,j) - \bar{X}(i,j)] \quad (2)$$

Il existe plusieurs améliorations possibles de cet algorithme par un choix judicieux de la fenêtre utilisée dans l'estimation des statistiques locales (\bar{X}, σ_X^2) .

Pour un bruit de variance σ_n^2 donnée, l'estimée \hat{X} est proche de la moyenne locale \bar{X} pour les régions uniformes en intensité et proche de la mesure Z pour les régions non homogènes (contours), ce qui a pour conséquence une image nette sur les contours.

III - FILTRAGE TEMPOREL

Il s'agit de filtrage à partir d'un ensemble de pixels ayant les mêmes coordonnées spatiales mais qui appartiennent à des images différentes d'une même séquence.

Parmi les techniques de filtrage temporel on peut citer :

- le filtrage linéaire (convolution)

$$Y(k) = \sum_{k_0=1}^K X(k) h(k-k_0) \quad (3)$$

- le filtrage médian (non-linéaire)

$$Y(k) = \text{Med} \{ X(k), X(k-1), X(k-K) \} \quad (4)$$

- le filtrage linéaire avec compensation du mouvement.
- le filtrage médian avec compensation du mouvement.

Ces deux dernières techniques apportent une correction aux deux premières. Cette correction est très simple, elle consiste dans une recherche de la direction du mouvement par un calcul de variance minimale.

Ces techniques sont exposées dans la référence [1].

IV - FILTRAGE SPATIO-TEMPOREL

Il s'agit d'exploiter les corrélations spatiale et temporelle existant entre les pixels d'une séquence d'images.

Il est donc naturel d'appliquer des filtres tridimensionnels aux séquences pour les améliorer.

On présente quelques techniques de filtrage spatio-temporel qui remplissent les conditions qu'on a énumérées précédemment.

Dans ce qui suit, on a adopté la notation suivante pour désigner les coordonnées (i,j) spatiales et (k) temporelle :

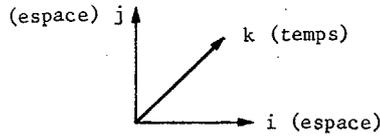


Fig 1 - Coordonnées spatio-temporelles

a) Filtrage linéaire spatio-temporel

Le filtrage linéaire spatio-temporel est défini par la convolution triindicielle :

$$y(i,j,k) = h(i_0,j_0,k_0) * x(i,j,k) \quad (5)$$



Fig 2 - Filtre linéaire 3D

$$y(i,j,k) = \sum_{i_0} \sum_{j_0} \sum_{k_0} h(i_0,j_0,k_0) x(i-i_0,j-j_0,k-k_0) \quad (6)$$

avec : x(i,j,k) : image originale (entrée)
 y(i,j,k) : image filtrée (sortie)
 h(i_0,j_0,k_0) : noyau de convolution (R.I.F.)

Un exemple classique de filtre linéaire utilisé pour nettoyer l'image est le filtre moyennneur opérant dans un voisinage 3 x 3 x 3 spatio-temporel.

Dans ce cas particulier où le noyau de convolution est séparable, il est préférable d'effectuer le filtrage temporel avant le filtrage spatial, qui lui-même se décompose en deux filtres monodimensionnels.

Ce filtre fournit une image lissée à partir d'une séquence d'images, cependant de par sa nature passe-bas, il introduit du flou sur les contours des objets en mouvement.

b) Filtrage médian spatio-temporel

S'agissant de séquences d'images, la valeur médiane est calculée sur un pavé généralement cubique.

Ce filtre non linéaire est efficace pour nettoyer l'image des lignes (ou colonnes) erronées qui se manifestent par une traînée plus ou moins visible.

Ce filtre n'introduit pas de flou sur les bords des objets en mouvement mais il a tendance à fournir des bords non lisses.

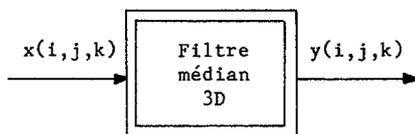


Fig 3 - Filtre médian 3D

$$y(i,j,k) = \text{Med} [x(i-i_0, j-j_0, k-k_0)] \quad (7)$$

(i_0, j_0, k_0)

Pour minimiser les calculs dans la mise en oeuvre logiciel d'un tel filtre, il est préférable d'utiliser une approximation séparable composée de trois filtres médians monodimensionnels.



Fig 4 - Filtrage médian 3D séparable

c) Filtrage adaptatif spatio-temporel

On présente l'algorithme de filtrage adaptatif appliqué aux séquences d'images.

Il consiste dans une extension de la méthode proposée par J.S. LEE.

Cette méthode de filtrage adaptatif repose sur le contrôle du gain d'un filtre passe-bas par une estimation de la variance locale.

En effet, on sait que la variance spatiale locale d'une image permet de mesurer l'inhomogénéité de l'intensité dans une région.

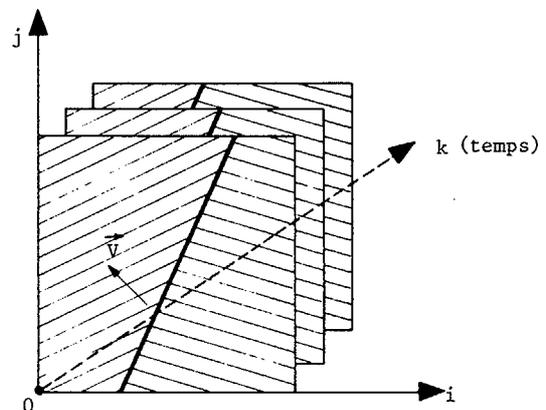


Fig 5 - Contour d'un objet en déplacement

La figure précédente illustre un contour d'un objet se déplaçant entre 3 trames consécutives.

Une vision tridimensionnelle de ce phénomène permet de l'assimiler à un contour 3D.

Il en résulte que la variance calculée sur un pavé spatio-temporel (3x3x3) permet de mesurer ce phénomène dynamique.

On peut donc utiliser l'extension du filtrage adaptatif spatial pour résoudre les problèmes de flou posés par le filtrage passe-bas classique.

Ces justifications physiques étant faites, on peut alors donner les grandes étapes qui permettent d'aboutir à l'équation de l'estimateur.



Il existe plusieurs approches (MAP,...) pour démontrer cette équation. On présente une méthode basée sur la minimisation d'un critère quadratique.

En effet, si on fait l'hypothèse que l'image dégradée Z s'obtient par l'addition d'un bruit blanc gaussien N à l'image originale X, on peut écrire :

$$Z(i,j,k) = X(i,j,k) + N(i,j,k) \quad (8)$$

et si l'on pose :

$$\begin{cases} E[N(i,j,k)] = 0 \\ E[N(i,j,k)N(l,m,n)] = \sigma_N^2 \delta_{i,l} \delta_{j,m} \delta_{k,n} \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{et } Q(i,j,k) = E[(X(i,j,k) - \bar{X})^2] \quad (10)$$

où E désigne le symbole de l'opérateur de l'espérance mathématique et σ_N^2 la variance du bruit N.

On considère alors le critère quadratique suivant :

$$J = \frac{1}{2} \left\{ [X(i,j,k) - \bar{X}(i,j,k)]^2 / Q(i,j,k) + [Z(i,j,k) - X(i,j,k)]^2 / \sigma_N^2 \right\} \quad (11)$$

En minimisant le critère J (calcul différentiel), on obtient l'équation de l'estimateur :

$$\hat{X}(i,j,k) = \bar{X}(i,j,k) + \frac{Q(i,j,k)}{Q(i,j,k) + \sigma_N^2} [Z(i,j,k) - \bar{X}(i,j,k)] \quad (12)$$

Moyennant les hypothèses faites sur les images, dans la pratique on peut utiliser l'équation suivante :

$$\hat{X}(i,j,k) = \bar{Z}(i,j,k) + \frac{\sigma_Z^2(i,j,k) - \sigma_N^2}{\sigma_Z^2(i,j,k)} [Z(i,j,k) - \bar{Z}(i,j,k)] \quad (13)$$

La sensibilité de ce filtre est liée essentiellement à deux facteurs qui sont la dimension de la fenêtre où l'on estime la variance locale de l'image et la variance locale du bruit.

La variance locale du bruit est estimée sur des régions homogènes a priori.

Tandis que pour la variance locale de l'image, il existe plusieurs méthodes d'estimation qui consistent à affiner le résultat par un choix de fenêtres par une procédure de fusion et fractionnement [4].

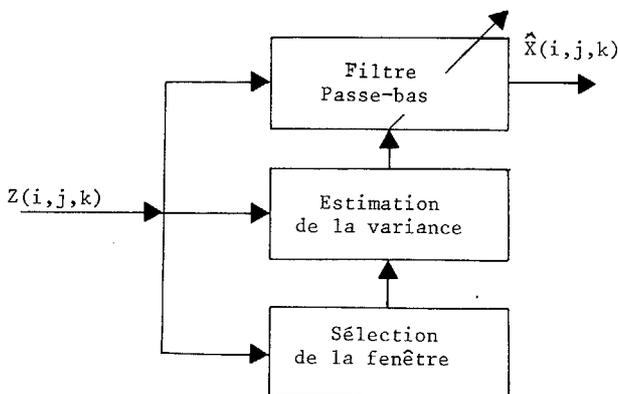


Fig 6 - Principe du filtrage adaptatif à support variable



Image 1 - Image originale n° 1

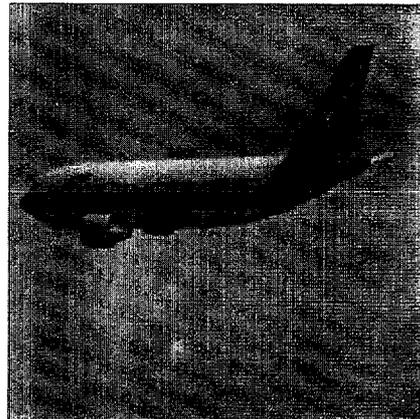


Image 2 - Image originale n° 2



Image 3 - Image originale n° 3

FILTRAGE ADAPTATIF DE SEQUENCE D'IMAGES



Image 4 - Filtrage spatio-temporel passe-bas (3x3x3)



Image 7 - Différence : Dilatation - Erosion



Image 5 - Filtrage spatio-temporel passe-bas (5x5x3)



Image 8 - Filtrage spatio-temporel adaptatif (3x3x3)



Image 6 - Filtrage spatio-temporel médian (3x3x3)



Image 9 - Filtrage adaptatif séparable (3x3x3)

CONCLUSION ET REMARQUES :

Cette étude comparative des différents filtres nous a permis d'apprécier la qualité visuelle apportée par le filtrage adaptatif et ceci par une non dégradation des contours en mouvement.

Par ailleurs, on a pu évaluer la complexité de l'algorithme et on a vu qu'il était bien adapté pour des applications telles que la télévision numérique.

Une étude orientée sur l'implémentation de cet algorithme en temps réel est présentée dans la référence [5].

Par ailleurs, on peut remarquer que les architectures pour le traitement temps réel d'images tridimensionnelles sont en plein développement dans de nombreux pays [6].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] T.S. HUANG
"Image Sequence Analysis"
Springer Verlag - 1981
- [2] J.S. LEE
"Digital Image Enhancement and Noise filtering
by use of local statistics"
Proc. of IEEE, Trans. on PAMI n° 2 - 1980
- [3] P.M. NARENDRA
"A Separable Median filter for Image Noise
Smoothing".
Proc. of IEEE, Trans. on PAMI n° 1 - 1981
- [4] J.S. LEE
"Refined Filtering of Image Noise using local
statistics
Technical Report ; Naval Research Lab.
Washington D.C. - 1980
- [5] R. SAMY
"An adaptative filter for image sequence
processing"
4th Scandinavian Conference on Image Analysis
Trondheim, Norway - June 1985
- [6] A. KLINGER, K. PRESTON
"Image processing computer using three
dimensional cellular logic architecture"
SPIE - Vol 341 - Real time Signal Proc - 1982