

FILTRES OPTIMAUX À APPRENTISSAGE POUR LA RECONNAISSANCE DES FORMES

Philippe RÉFRÉGIER et Jean FIGUE

Thomson-CSF, Laboratoire Central de Recherches,
Domaine de Corbeville
91404 ORSAY (cedex) France

Résumé

Les filtres à compromis optimaux pour la reconnaissance des formes par corrélation sont présentés. Leur robustesse à différents modèles de bruit ou de perturbation est analysée. La détermination d'attitude d'avion dans le plan utilisant ces filtres permet ensuite d'illustrer ces propriétés.

Abstract

Optimal tradeoff filters for pattern recognition with correlation techniques are described. Their robustness to different kinds of noise or perturbations is analyzed. These properties are then illustrated on the application of angle determination of airplane models.

1. Introduction

Depuis plusieurs années l'étude des techniques de corrélation pour la reconnaissance des formes sur des images est un sujet de recherche actif. La motivation principale de ces travaux a longtemps été la possibilité de réaliser par des moyens optiques l'opération de corrélation. Cependant, les grandes capacités des processeurs spécialisés permettent maintenant d'envisager des implantations numériques et des questions de nature algorithmique ont été étudiées précisément. En effet, les techniques classiques utilisant le filtrage adapté sont inappropriées pour les tâches de reconnaissance des formes. Un problème important consiste donc à déterminer les filtres avec lesquels l'image à analyser sera corrélée. Nous présentons les progrès récents dans ce domaine ainsi que nos derniers résultats.

2. Filtres à apprentissage

La reconnaissance doit souvent être invariante ou tolérante par rapport à un certain nombre de déformations possibles (angle de vue, échelle...) les filtres doivent donc permettre de satisfaire ces contraintes. En effet, la technique qui consiste à corréler l'image avec toutes les attitudes et les situations possibles est trop coûteuse en terme de capacité mémoire et de rapidité de calcul.

Notons $c_{h,x}$ la corrélation entre l'image x et le filtre h : $c_{h,x} = h \star x$, où \star représente l'opération bidimensionnelle de corrélation (pour simplifier, on considérera l'image x échantillonnée). Les propriétés de tolérance par rapport aux déformations possibles sont recherchées en imposant des valeurs spécifiées pour les valeurs centrales des corrélations $c_{h,x}$ sur un ensemble d'images d'exemples représentatifs. Si les déformations possibles sont simples à modéliser mathématiquement (rotation dans le plan, variation d'échelle) des techniques



spécifiques permettent de réaliser des filtres invariants [1]. Dans le cas plus général, la détermination du filtre devra être obtenue par apprentissage supervisé sur des exemples. La première technique employée a consisté à utiliser la solution pseudo-inverse [2] du système d'équations lié au problème précédent. Néanmoins, le nombre d'exemples étant très généralement inférieur aux nombre de pixels du filtre, le problème ne possède pas une solution unique et l'utilisation de la solution pseudo-inverse est un choix *a priori* arbitraire. Ce degré de liberté permet d'optimiser des critères pertinents pour le problème analysé. Le premier critère considéré a été la résistance au bruit additif sur l'image d'entrée [3]. Il est quantifié par le MSE (*Mean Square Error*) qui représente la variance du pic de corrélation ($\mathbf{c}_{\mathbf{h},\mathbf{x}}(0)$) quand les images d'entrée sont bruitées. Cependant, il a été montré que les filtres ainsi obtenus ne sont pas suffisamment discriminants [4]. L'optimisation de la finesse des fonctions de corrélation permet d'accroître fortement les capacités de discrimination [5]. Ce critère est caractérisé par le volume sous le module carré des fonctions de corrélation que l'on dénommera ACE (*Average Correlation Energy*). Cette solution généralise la notion de filtre inverse en présence d'apprentissage et présente donc les mêmes limitations (trop grande sensibilité aux déformations et faible résistance au bruit).

D'une manière générale il existe souvent plusieurs critères pertinents pour le problème analysé. Nous avons montré que la recherche des solutions correspondant à des compromis optimaux entre ces différents critères (ou optima de Pareto) [6, 4] permet d'atteindre des solutions très performantes. D'un point de vue pratique, cette approche revient à minimiser une combinaison linéaire des critères à optimiser.

Notons \hat{X} la matrice dont les colonnes sont les transformées de Fourier des exemples d'apprentissage ($\hat{X} = [\hat{\mathbf{x}}^1, \hat{\mathbf{x}}^2, \dots, \hat{\mathbf{x}}^P]$) et \hat{S} une matrice diagonale dont les éléments diagonaux représentent la densité spectrale du bruit considéré. Dans le cas où uniquement la résistance au bruit et la finesse des fonctions de corrélation sont optimisés, la solution s'écrit :

$$\hat{\mathbf{h}} = \hat{B}^{-1} \hat{X} [\hat{X}^\dagger \hat{B}^{-1} \hat{X}]^{-1} \mathbf{d}$$

où :

$$\hat{B}_k = (1 - \mu) \hat{S}_k + \mu \left[\sum_{\ell=1}^P |\hat{x}_k^\ell|^2 \right]; \mu \in [0; 1]$$

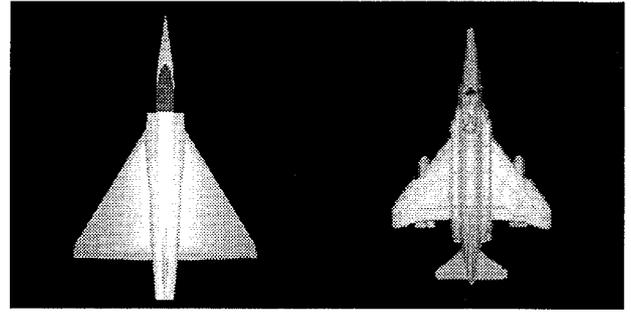


Figure 1: (a) à gauche, image utilisée pour le tracé des courbes OCC. (b) à droite, image du modèle ayant servi à générer les filtres pour la détermination d'attitude.

et où la $\ell^{\text{ième}}$ composante du vecteur \mathbf{d} représente la valeur centrale imposée de la fonction de corrélation pour le $\ell^{\text{ième}}$ exemple de la base d'apprentissage. Ces filtres sont appelés OTSDF (*Optimal Trade-off Synthetic Discriminant Functions*).

3. Caractérisation

Le paramètre μ qui intervient dans l'expression du filtre OTSDF permet d'équilibrer de façon optimale les valeurs prises par les deux critères MSE et ACE. Les différentes solutions ainsi obtenues définissent une courbe dans le plan généré par ces critères. En effet, pour chaque valeur de $\mu \in [0, 1]$, il suffit de déterminer les valeurs de MSE et ACE pour le filtre OTSDF correspondant. Cette méthode permet donc de tracer une courbe caractéristique opérationnelle (OCC) pour la base d'apprentissage considérée.

Analysons tout d'abord un exemple simple où le filtre est déterminé à l'aide d'un seul objet. Nous représentons sur la figure 1.a l'objet considéré. Nous représentons sur la figure 2 les courbes OCC obtenues quand le filtre est optimisé pour différentes couleurs de bruit. Nous ne rentrerons pas dans le détail de ces résultats qui sont analysés dans [7]. Notons simplement que la situation où le filtre est optimisé pour un bruit blanc est la plus "conflictuelle" entre les deux critères. La recherche de compromis est alors très efficace et pertinente.

Il est également intéressant d'analyser le comportement quand le bruit présent sur l'image est différent de celui considéré lors de la synthèse

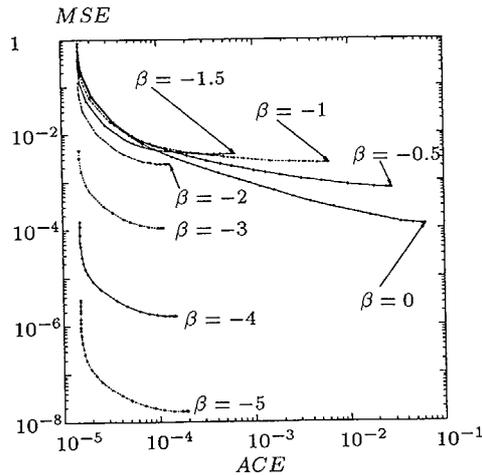


Figure 2: Courbe OCC du filtre calculé à partir de l'image de la fig. 1.a, pour différents types de bruit.

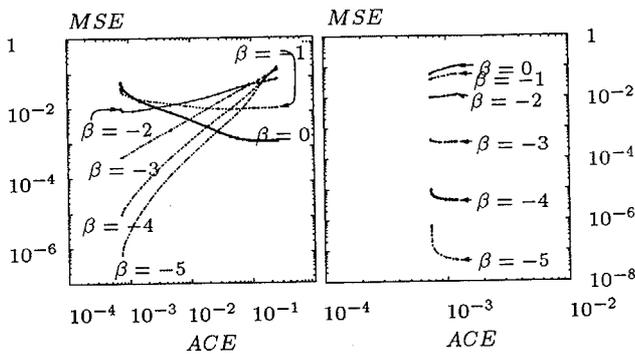


Figure 3: (a) à gauche, cas du filtre OTSDF optimisé pour du bruit blanc. (b) à droite, cas du filtre OTSDF optimisé pour du bruit en $1/[f_x^2 + f_y^2]^2$. L'exposant du modèle de bruit ayant servi à réaliser le test est indiqué sur chacune des courbes.

du filtre. Nous avons donc représenté sur la figure 3.a les résultats obtenus quand le filtre est optimisé pour un bruit blanc. Sur la figure 3.b sont représentés les résultats quand le filtre est optimisé pour un bruit de densité spectrale en $1/[f_x^2 + f_y^2]^2$ (f_x et f_y étant les composantes de la fréquence spatiale). La comparaison de ces deux figures montre clairement que l'optimisation pour un bruit coloré peut être très efficace quand le bruit présent est très peu différent du modèle. Par contre, les caractéristiques sont très sensibles à la couleur du bruit ce qui peut conduire à une faible robustesse pour, par exemple, un bruit blanc. Un autre problème important qui peut apparaître avec l'utilisation d'un filtre optimisé pour un bruit en

$1/[f_x^2 + f_y^2]^2$, est sa faible tolérance aux déformations. On peut montrer [8] que ces problèmes sont liés au caractère instable de ces filtres et qu'il est nécessaire de mettre en œuvre une technique de régularisation. L'utilisation de fonctions stabilisantes [9] est très aisée [8] avec les filtres OTSDF. L'optimisation de la robustesse à un bruit blanc est équivalente à la minimisation de la norme du filtre (fonction stabilisante classique).

4. Exemple d'application

Nous présentons ici les performances pouvant être obtenues sur un problème d'estimation d'attitudes d'avions. Plus précisément, on cherche à déterminer l'angle que présente un avion par rapport à un axe de référence. Un système hiérarchique à base de corrélations a été réalisé. Un seul type d'avion (voir figure 1.b) a été utilisé lors de l'apprentissage alors que le système est testé avec différents modèles.

L'approche choisie consiste tout d'abord à déterminer le secteur de 10 degrés dans lequel se situe l'avion, puis à mesurer précisément l'angle à l'aide d'une méthode de zéro. Pour la première étape un filtre OTSDF a été utilisé afin d'obtenir une réponse angulaire (mesurée sur le maximum du module carré de la fonction de corrélation) qui soit suffisamment proche d'une fonction indicatrice d'intervalle (1 à l'intérieur du secteur de 10 degrés et 0 à l'extérieur). Une rotation numérique permet alors de ramener l'avion dans le secteur 0 - 10 degrés. La seconde étape est obtenue en réalisant deux filtres OT sans apprentissage. L'un pour une attitude de 0 degrés, l'autre pour une attitude de 10 degrés. En soustrayant le module carré des valeurs maximales des fonctions de corrélation, on obtient une valeur dont la recherche du zéro permet de déterminer précisément l'angle. En réalité, seule la première itération d'une méthode de la sécante a été mise en œuvre car elle permet déjà d'atteindre avec des images de 64 par 64 pixels, en l'absence de bruit, une précision meilleure que 0.1 degré.

Une des caractéristiques intéressantes des filtres OTSDF est qu'ils présentent une grande robustesse aux parties cachées de l'objet. En effet, si on supprime de façon totalement décorrélée des parties de l'avion, la reconnaissance du secteur de 10 degrés continue à être faite sans erreur alors que 80 % des pixels de l'avion sont mis arbitrairement à 0. Si on supprime de façon corrélée (par



exemple en binarisant un bruit en $1/[f_x^2 + f_y^2]^2$, de l'ordre de 40 % des pixels peuvent être supprimés. De plus, une grande résistance aux bruits, aux fonds, aux parties cachées, aux flous, aux bougés et aux changements de modèle est atteinte comme l'illustrent quelques exemples typiques dont l'attitude à été correctement déterminée par le système (figure 4).

5. Conclusion

Les résultats obtenus montrent que la technique des corrélations multiples avec des filtres OTSDF est efficace pour la détermination de l'attitude d'un avion dans le plan. Elle présente des propriétés intéressantes de robustesse au bruit, à la présence de fond structuré et de parties cachées. Bien que des études de validation supplémentaires soient nécessaires pour confirmer l'intérêt de cette approche dans d'autres contextes, nous pensons qu'elle peut, dans certain cas, représenter une alternative intéressante à d'autres techniques quand une segmentation est difficile à effectuer.

Remerciements : Les auteurs remercient la DRET pour son support lors du contrat N° 90 34 462 ainsi que V. Laude et J.-P. Huignard.

Références :

- [1] Y.N. Hsu, H.H. Arsenault, and G. April. Rotation-invariant digital pattern recognition using circular harmonic expansion. *Appl. Opt.*, 21(22):p. 4012-4015, 1982.
- [2] H.J. Caulfield and W.T. Maloney. Improved discrimination in optical character recognition. *Applied Optics*, 8(11):p. 2354-2355, 1969.
- [3] B.V.K. Vijaya Kumar. Minimum variance synthetic discriminant functions. *J. Opt. Soc. Am. A*, 3(10):p. 1579-1584, 1986.
- [4] Ph. Réfrégier and J. Figue. Optimal trade-off filters for pattern recognition and comparison with Wiener approach. *Optical Computing and Processing*, 1(3), p. 245 -266, 1991.
- [5] A. Mahalanobis, B.V.K. Vijaya Kumar, and D. Casasent. Minimum average correlation energy filters. *Appl. Opt.*, 26(17):p. 3633-3640, 1987.
- [6] Ph. Réfrégier. Filter design for optical pattern recognition: Multi-criteria optimization approach. *Opt. Lett.*, 15(15):p. 854- 856, 1990.
- [7] J. Figue and Ph. Réfrégier. Influence of the

noise model on correlation filters: peaks sharpness and noise robustness. *Opt. Lett.*, 17(20):p. 1476- 1478, 1992.

[8] Ph. Réfrégier. Application of the stabilizing functional approach to pattern recognition filters. *Submitted to J. Opt. Soc. Am. A*, 1993.

[9] V Badeva, V. Morozov. *Problèmes incorrectement posés, théorie et applications*. Masson, Paris, 1991.

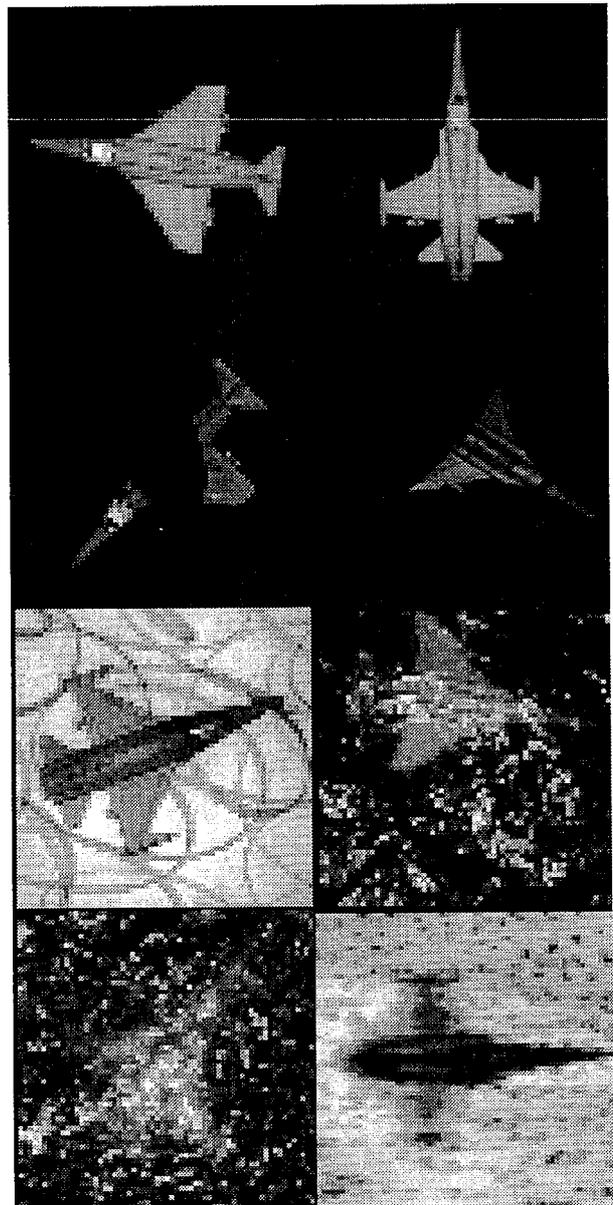


Figure 4: Exemples correctement classées par les filtres de secteur.