

Identification par analyse en paquets d'ondelettes de l'iris et tests de robustesse

F. ROSSANT, T. EA, F. AMIEL, M. TORRES ESLAVA, A. AMARA

ISEP, 28 rue Notre-Dame des Champs, 75006 Paris

Florence.Rossant@isep.fr, Thomas.Ea@isep.fr, Frederic.Amiel@isep.fr, mtorrese@isep.fr, Amara.Amara@isep.fr

Résumé – Cet article présente un système de reconnaissance par l'iris, fondé sur l'analyse en paquets d'ondelettes orthogonales. Une mesure d'énergie permet de choisir les paquets qui extraient l'information discriminante sur la texture de l'iris. Les tests, conduits sur une base de 149 images de très bonne qualité, provenant de 69 yeux différents, montrent une bonne robustesse aux conditions de prises de vues, notamment aux variations d'éclairage, au flou, à une déviation de l'axe optique, et à des défauts locaux dans l'image.

Abstract – This paper presents an iris recognition system, based on a wavelet packet analysis using orthogonal wavelets. The identification of the different packets that carry discriminating information about the iris texture is carried out through an energy measure. Tests, conducted on a database of 149 high quality iris images, from 69 different eyes, show good robustness in relation to changes in illumination, blurring, optical axis deviation or local defects in the images.

1. Introduction

Les techniques d'identification des individus par analyse biométrique (iris, empreintes digitales, etc.) remplacent progressivement les méthodes traditionnelles d'identification (mot de passe, clés, etc.) dans les zones de haute sécurité. La reconnaissance par l'iris a été un sujet d'étude depuis 15 ans. Le premier système a été breveté par Daugman en 1994 [1]. Ce système est fondé sur l'analyse par ondelettes de Gabor [2]. Depuis lors, plusieurs groupes de recherche ont travaillé sur ce sujet, comme Tan et al. [3,4], Tisse et al. [5], Wildes [6], Sanchez et al. [7]. Lim et al. [8] utilisent comme signature de l'iris les coefficients diagonaux de la transformée en ondelettes orthogonales (Haar). La décomposition en paquets d'ondelettes est néanmoins une bonne alternative à la transformée en ondelettes. En effet, elle permet une analyse plus fine car elle réalise une partition récursive en basses et hautes fréquences. Cette méthode a été déjà testée avec succès dans le cas d'images prises dans le visible [9,10].

Dans cet article, nous présentons une méthode fondée sur la décomposition en paquets d'ondelettes en mettant l'accent sur certaines améliorations réalisées depuis [9]. Nous montrons également que l'algorithme est robuste par rapport aux conditions d'acquisition des images, en simulant des variations d'éclairage, du flou, des déviations de l'axe optique et en ajoutant des défauts locaux. Cette démarche nous permet d'évaluer précisément dans quelle mesure la qualité des images peut être dégradée, sans nuire au taux d'identification, et de calibrer le système d'acquisition d'images.

2. Extraction de l'iris

Les images de notre base ont été prises par Miles Research [11], grâce à un équipement spécialisé qui permet d'obtenir une excellente qualité : très bonne définition, pas de reflet, peu d'occlusion par les paupières ou les cils (Fig. 1a). Ces

images ont été redimensionnées à 600x400 pixels. L'algorithme de segmentation extrait les contours interne et externe de l'iris, qui est ensuite déroulé et égalisé (Fig. 1b).

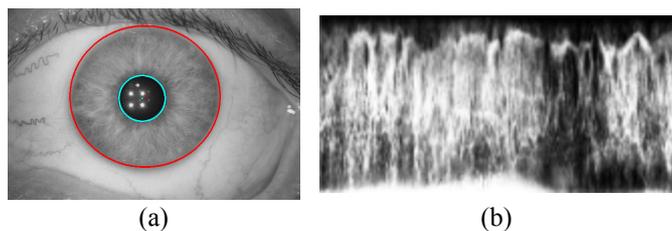


FIG. 1: (a) localisation de l'iris, (b) iris déroulé et égalisé

2.1 Localisation et égalisation

L'algorithme d'extraction de l'iris a été amélioré par rapport à [9]. Il est maintenant fondé sur la modélisation des contours interne et externe de l'iris, par un cercle et une ellipse respectivement, et sur le contraste plus ou moins marqué qui existe entre l'iris et la pupille ou l'iris et la sclérotique. Plus précisément, la méthode d'extraction comporte quatre phases (Fig. 2). Tout d'abord, un prétraitement inhérent au système d'acquisition élimine les quatre spots lumineux situés dans ou près de la pupille (Fig. 2a, 2b). Dans la seconde phase, une analyse d'histogramme permet de détecter la zone la plus sombre au centre de l'image, et ainsi de localiser approximativement la pupille (Fig. 2c). Ceci nous permet de définir une grille des centres possibles du cercle délimitant celle-ci. Dans la troisième étape, on recherche le centre et le rayon du cercle qui maximise le gradient moyen orthogonal à la courbe (Fig. 2d). Le même procédé est appliqué durant la quatrième phase pour trouver l'ellipse. La différence réside dans la limitation de la zone angulaire sur laquelle est estimé le gradient (Fig. 2e), afin de pallier aux perturbations éventuelles dues à la présence de paupière ou de cils. On a alors obtenu une localisation précise de l'iris (Fig. 2f).

Cet algorithme donne de très bons résultats, même en cas de faibles contrastes, grâce à l'effet moyennage, et parce qu'il ne nécessite pas d'ajustement de paramètres puisqu'il est basé sur une maximisation.

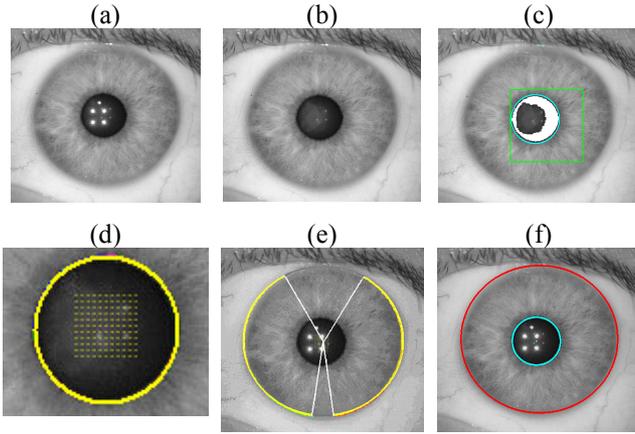


FIG. 2: Principe de l'algorithme de localisation de l'iris

2.2 Déroulement

L'iris localisé est déroulé suivant la transformation polaire proposée par Daugman [2] :

$$\begin{aligned} x(r, \theta) &= rx_i(\theta) + (I-r)x_p(\theta) \\ y(r, \theta) &= ry_i(\theta) + (I-r)y_p(\theta) \end{aligned} \quad (1)$$

avec (x_p, y_p) et (x_i, y_i) les coordonnées sur les bords interne et externe de l'iris, l'angle θ et le rayon r définis comme indiqué sur la figure à gauche de l'équation.

Les dimensions de l'image déroulées sont fixées à 256*128 pixels. Cette image est ensuite égalisée, pour augmenter le contraste de la texture (Fig. 1b).

3. Algorithme d'identification

Cet algorithme comporte deux phases : l'extraction d'une signature basée sur la décomposition en paquets d'ondelettes, et une mesure de distance qui permet de décider si deux signatures proviennent d'un même iris ou de deux iris différents. Pour identifier une personne, il suffit donc de comparer la signature extraite de son iris avec les signatures stockées dans une base de référence.

3.1 Extraction de la signature

On utilise une décomposition en paquets d'ondelettes (ondelette orthogonale bior 1.3, [9]) sur 3 niveaux de résolution, aboutissant à 64 imagettes (paquets d'ondelettes), numérotées 0 à 63, chacune extrayant des informations fréquentielles et spatiales sur la texture de l'iris. Nous avons calculé, sur toute notre base (149 images sources, 69 iris différents), l'énergie moyenne E_i de chaque paquet w_i , afin de déterminer lesquels sont les plus informatifs, et donc a priori les plus discriminants :

$$E_i = \sum_{j,k} w_i(j,k)^2, \quad i=0, \dots, 63 \quad (2)$$

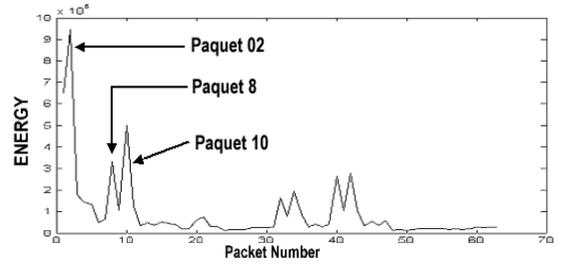


FIG. 3 : Distribution de l'énergie moyenne des paquets

La distribution d'énergie obtenue (Fig.3) indique que les paquets 2, 10, et éventuellement 8, sont les plus appropriés pour créer la signature. Le paquet 0 n'est pas utilisé car il ne contient pas d'information autre que l'énergie moyenne.

Les paquets 2, 8, et 10, notés w_i pour $i=2, 8$ et 10 , sont alors encodés, non plus juste sur leur signe [9], mais par :

$$\begin{aligned} s_i(j,k) &= \text{sign}(w_i(j,k)) \quad \text{si} \quad |w_i(j,k)| > S \\ s_i(j,k) &= 0 \quad \text{sinon} \end{aligned} \quad (3)$$

En débruitage d'une image par transformée en ondelettes, on met à zéro les coefficients de faible amplitude, avant d'appliquer la transformée inverse [12]. Ici nous suivons un raisonnement analogue : nous considérons que les coefficients de faible amplitude représentent davantage du bruit que de l'information sur la texture de l'iris, et nous les mettons à zéros, afin qu'ils impactent moins la décision que les coefficients de forte amplitude. Le seuil S a été défini expérimentalement. Finalement, on obtient pour chaque paquet une signature compacte s_i de $N=16*32$ coefficients égaux à $-1, 0$, ou 1 .

3.2 Mesure de distance et résultats

La mesure de la distance entre deux signatures permet de décider si deux signatures proviennent du même iris ou de deux iris différents. Elle est calculée selon l'expression suivante, $s_i^{(1)}$ et $s_i^{(2)}$ étant deux signatures obtenues du paquet i :

$$HD_i = \frac{1}{2N} \sum_{j,k} |s_i^{(1)}(j,k) - s_i^{(2)}(j,k)| \quad (4)$$

Afin d'évaluer notre méthode, nous calculons la distance entre chaque signature et toutes les autres. Nous définissons la séparation comme la différence entre la plus petite distance entre deux signatures provenant d'iris différents (imposteurs) et la plus grande distance obtenue pour deux signatures provenant d'un même iris (authentiques). Cette séparation doit nécessairement être positive pour pouvoir obtenir 100% d'identification correcte, et la discrimination sera d'autant mieux réalisée que la séparation est importante. Les tests ont été réalisés sur toute notre base de données. La figure 4 montre les résultats pour le paquet 2. La séparation est positive (0.082) et a été améliorée de 8% par rapport aux résultats présentés dans [9]. Cette méthode nous permettra de déterminer le seuil de décision qui sera appliqué dans le système final : il suffira de le choisir au milieu de la zone de séparation obtenue sur une base d'apprentissage. L'estimation du taux d'identification sera calculée sur une base de généralisation.

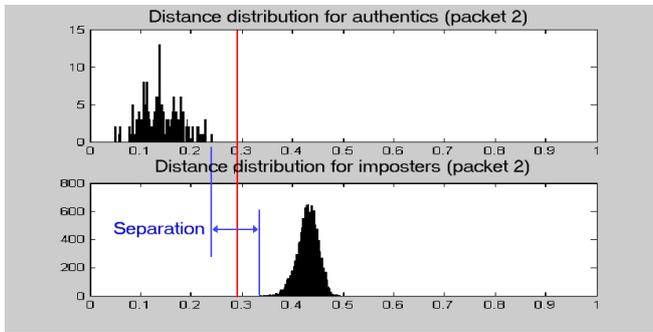


FIG. 4 : Séparation pour le paquet 2 (0.082)

3.3 Combinaison de paquets

Les paquets 2, 8 et 10 permettent chacun d'obtenir une séparation positive. Comme ils extraient des détails différents, on peut supposer qu'ils sont indépendants, et que l'on aboutira à une meilleure séparation, donc discrimination, en les combinant. Pour combiner les paquets 2 et 10, nous avons défini une nouvelle distance :

$$HD_C = \frac{1}{N} \sum_{j,k} |s_2^{(1)}(j,k) - s_2^{(2)}(j,k)| |s_{10}^{(1)}(j,k) - s_{10}^{(2)}(j,k)| \quad (5)$$

Comme nous supposons l'indépendance des signatures extraites des paquets 2 et 10, la distance combinée, qui peut être interprétée comme la probabilité que les coefficients diffèrent à la fois dans les deux signatures, est en fait le produit des distances obtenues pour chaque paquet séparément. On multiplie par 2 pour des questions de normalisation. Ainsi on obtient par exemple $0.46 \cdot 0.45 \cdot 2 = 0.41$ (imposteurs) et $0.20 \cdot 0.18 \cdot 2 = 0.07$ (authentiques), donc une séparation qui passe de 0.26, ou 0.27 à 0.34. La figure 5 confirme que la séparation a bien été augmentée (de 0.082 à 0.160). L'introduction du paquet 8 n'a pas vraiment amélioré les résultats.

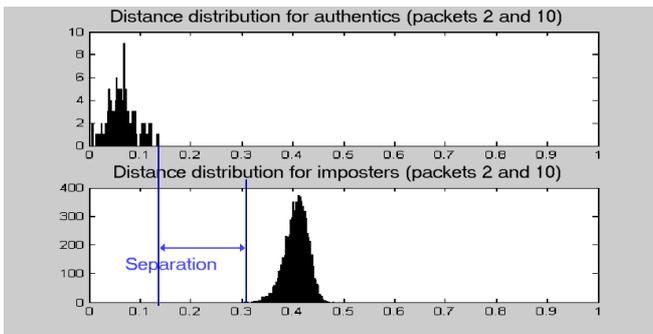


FIG. 5 : Séparation, paquets 2 et 10 combinés (0.160)

4. Robustesse de l'algorithme

Pour tester la robustesse de notre méthode, nous avons simulé des variations d'éclairage, du flou, des déviations de l'axe optique, ajouté des défauts locaux. La figure 6 montre quelques exemples de dégradations, à comparer avec l'image originale (a) : en (b), l'éclairage a été diminué de 20%, en (c), l'image a été rendue floue par un filtre moyenneur de taille 15, et en (d), un petit spot noir de diamètre 15 pixels a été ajouté. L'objectif est de vérifier que la séparation reste positive malgré ces dégradations, et ceci

pour chaque paquet indépendamment des autres. En effet, si la séparation est positive pour les signatures extraites des paquets 2, 8, et 10, elle le sera aussi pour toute combinaison. Les paramètres de la segmentation trouvés sur l'image originale sont réappliqués sur les images dégradées.

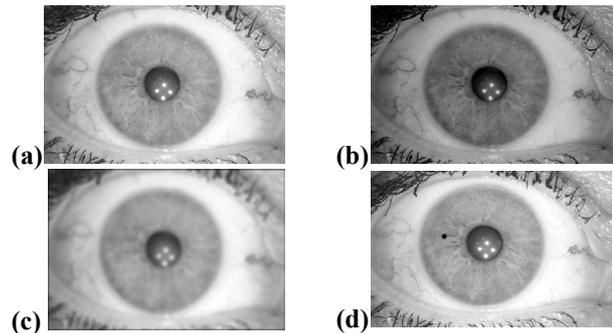


FIG. 6 : Image originale (a) et images dégradées (b)(c)(d)

4.1 Flou

Le flou a été simulé avec un filtre moyenneur dont on a augmenté la taille du masque. La figure 7 montre que les résultats sont satisfaisants jusqu'à un masque de 17x17. La méthode est donc très robuste au flou.

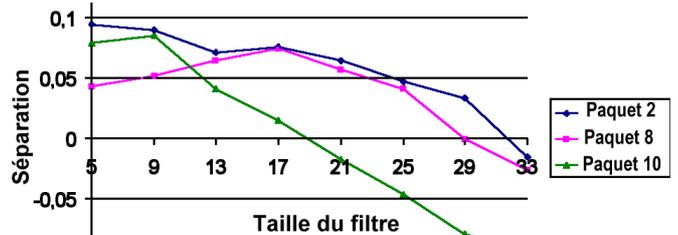


FIG. 7 : Séparation en fonction du flou

4.2 Eclairage

L'éclairage a été modifié de façon linéaire, comme l'indique la figure 8 :

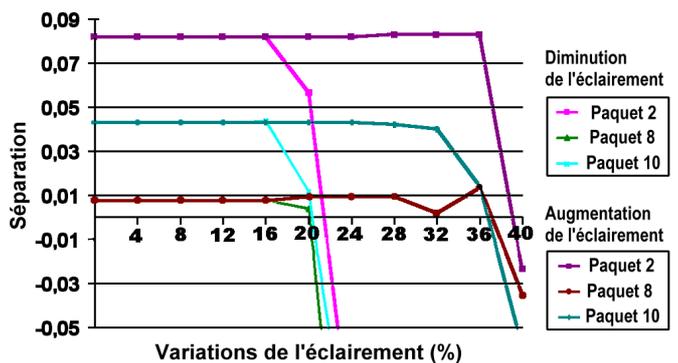


FIG. 8 : Séparation en fonction de l'éclairage

La figure 8 montre une bonne robustesse aux variations d'éclairage, la séparation restant positive jusqu'à une diminution de l'éclairage de 20% et une augmentation de l'éclairage de 36%. Ces résultats ne sont pas surprenants car la signature résulte du codage du signe des coefficients des paquets d'ondelettes. La chute des performances est due à un effet de saturation des niveaux de gris dans l'image initiale.

4.3 Déviation de l'axe optique

Lors de la prise de vue, il est possible que l'axe optique ne soit pas parfaitement orthogonal à l'œil. Le tableau 1 présente les résultats obtenus pour différentes variations de l'angle de prise de vue, dans les deux directions.

On obtient une bonne robustesse, jusqu'à 10° de déviation dans les directions horizontale et verticale.

TAB. 1 : Séparation en fonction de la déviation de l'axe optique

Déviation de l'axe optique (degrees)		Séparation		
Axe X	Axe Y	Paquet 2	Paquet 8	Paquet 10
0	0	0,08	0,01	0,04
2,5	10	0,11	0,01	0,01
5	5	0,07	0,01	0,08
7,5	7,5	0,09	0,01	0,05
7,5	10	0,11	0,00	0,04
10	7,5	0,09	0,00	0,04
10	10	0,08	0,01	0,03
12,5	12,5	0,06	-0,02	0,01
15	15	0,04	0,00	-0,04
17,5	17,5	0,00	-0,05	-0,07

4.4 Défaut local

Les tests ont été effectués sur 18 images. Un spot, blanc ou noir, a été placé aléatoirement dans l'image, pour simuler un défaut local, par exemple un reflet de lumière. La figure 9 montre que la séparation reste positive pour un spot noir de diamètre inférieur ou égal à 15 pixels.

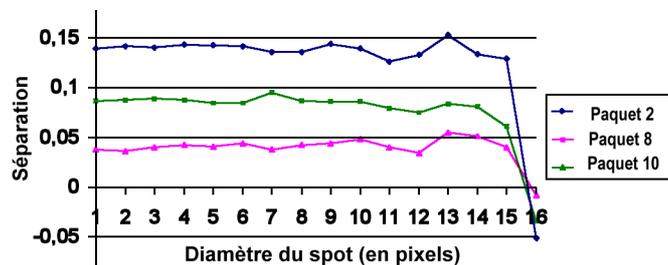


FIG. 9 : Séparation en fonction de la taille du spot noir

La méthode semble être plus sensible aux spots blancs, car le diamètre maximal toléré est dans ce cas de 9 pixels.

On constate donc que la robustesse aux défauts locaux n'est pas très bonne, et ces résultats nous amènent à reconsidérer le calcul de la distance entre deux signatures. En effet, on peut envisager de combiner des distances locales, plutôt que de calculer une distance globale, ce qui nous permettrait de détecter la présence d'un défaut local (distance localement grande), et de ne pas prendre en compte la partie de la signature correspondante dans la mesure finale.

5. Conclusion et perspectives

Nous avons présenté une méthode d'identification par l'iris, fondée sur une décomposition en paquets d'ondelettes de l'iris déroulé, un encodage des coefficients des paquets les plus informatifs, et une mesure de distance. Les trois paquets qui contiennent le plus d'information discriminante sur la texture de l'iris ont été identifiés grâce à une mesure

d'énergie. Sur notre base de 149 images, contenant 69 iris différents, nous obtenons une séparation positive entre la distribution des distances obtenues pour les authentiques et celle obtenue pour les imposteurs, et cela pour chacun des trois paquets retenus. La discrimination a été améliorée par rapport à [9], grâce au nouvel algorithme de segmentation qui offre une meilleure précision sur les contours de l'iris, et à l'encodage des coefficients sur 3 niveaux. De plus, une combinaison simple de deux signatures permet d'augmenter nettement la discrimination et donc la fiabilité du système. Nous avons de plus montré que la méthode est robuste par rapport aux conditions d'acquisition, en particulier au flou, aux variations d'éclairage, à une variation modérée de l'angle de prise de vue, et, dans une moindre mesure, à de petits défauts locaux. Notre objectif est maintenant de constituer une large base de données, comprenant un grand nombre d'individus et davantage d'images par individu: cette base nous permettra, d'une part d'améliorer la distance utilisée et les méthodes de combinaisons de paquets, d'autre part, de réaliser et d'évaluer un système d'identification complet, dont le seuil de décision aura été calculé par apprentissage sur une partie de la base.

Références

- [1] Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis., U.S. Patent No. 5,291,560 issued March 1, 1994 (J. Daugman)
- [2] J. Daugman, High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence, *IEEE Trans. PAMI*, vol. PAMI-15, pp. 1148-1161, 1993
- [3] Y. Zhu, T. Tan and Y. Wang, Biometric personal identification based on iris patterns, *Proc. 15th Int. Conf. on Pattern Recognition*, Barcelona, Spain, 2000.
- [4] Z. Sun, Y. Wang, T. Tan, J. Cui, Cascading Statistical and Structural Classifiers for Iris Recognition, *IEEE International Conference on Image Processing*, 2004.
- [5] Tisse et al., "Person Identification technique using human iris recognition", *Proc. 15th Int. Conf. on Vision Interface*, Calgary, Canada, 2002
- [6] R. P. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology", *Proc. IEEE* 85, Vol 9, pp. 1348-1363, 1997
- [7] C. Sanchez-Avila, R. Sanchez-Reillo, "Two different approaches for iris recognition using Gabor filters and multiscale zero-crossing representation", *Pattern Recognition Letters* Vol 3, pp. 231-241, 2005
- [8] S. Lim et al., "Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier", *ETRI J.*, Vol 23, pp. 61-70, 2001
- [9] E. Rydgren, T. Ea, F. Amiel, F. Rossant and A. Amara, Iris Features extraction using wavelet packets, *IEEE International Conference on Image Processing*, Singapore, 2004
- [10] E. Krichen et al., Iris Identification Using Wavelet Packet for Images in Visible Light Illumination, *Conference, ICBA*, Hong Kong, China, July 15-17, 2004
- [11] Miles Research, www.milesresearch.com
- [12] M. Misiti et al., Les ondelettes et leurs applications Ed. Hermès, 2003