

Amélioration de l'appariement des empreintes digitales par une description du voisinage des minuties

LAMYAE HALOUI¹, MOHAMMED OUMSIS², NISRINE DAD¹, NOUREDDINE EN-NAHNAHI¹, SAID EL ALAOUI OUARTIK¹

¹ Laboratoire Informatique et Modélisation,

¹ Faculté des Sciences Dhar Mahraz,

¹ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

² Laboratoire LRIT unité associée à CNRST (URAC 29)

² Ecole Supérieure de Technologie de Salé

² Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc

¹ lamyae.haloui@gmail.com, nistrine.dad@usmba.ac.ma, noureddine.en-nahnahi@usmba.ac.ma, s_ouatik@yahoo.com
² ousmis@yahoo.com

Résumé- Dans ce papier, nous proposons une évaluation de deux descripteurs caractérisant le voisinage des minuties. Ces descripteurs sont basés sur le quaternion des moments orthogonaux: le Quaternion des Moments Disques Harmoniques QDHMs et le Quaternion des Moments de Zernike QZMs. Ces moments sont mis en œuvre et évalués au sein d'un algorithme d'appariement qui se base sur les triplets de minuties (M3gl). Plusieurs expérimentations ont été menées sur la base de données FVC2004 afin d'évaluer les performances du processus de correspondance. Les résultats obtenus montrent que les deux descripteurs proposés apportent une amélioration des résultats du processus de correspondance des empreintes digitales.

Abstract – In this paper, we propose an evaluation of two descriptors characterizing minutiae neighborhood. These descriptors are based on quaternion orthogonal moments: Quaternion Disc-Harmonics Moments QDHMs and Quaternion Zernike Moment QZMs. These moments are applied on matching method based on minutiae triplets (M3gl). We carried several experiments using the FVC2004 database in order to evaluate the performance of matching process. The results show that the proposed descriptors improve matching performance.

Mots clés: Empreinte digitale, appariement, triplet de minuties, information du voisinage, descripteur de forme, quaternion, moment Disque Harmoniques, moments de Zernike.

1 Introduction

Les systèmes de reconnaissance à base d'empreintes digitales sont de plus en plus utilisés dans plusieurs applications civiles et gouvernementales. Par conséquent, cela pose de nouveaux défis aux technologies de reconnaissance d'empreintes digitales, comme le besoin à des systèmes entièrement automatiques et performants, avec une réponse en temps réel. Afin de répondre à ces exigences, de nombreux systèmes de correspondances d'empreintes digitales ont été proposés [1]. Cependant les méthodes basées sur les minuties sont les plus adoptées grâce au pouvoir discriminant des minuties [2]. D'autre part, d'autres informations peuvent être facilement incorporées dans les algorithmes d'appariement fondés sur les minuties afin d'améliorer leur performance.

La plupart des algorithmes basés sur les minuties, caractérisent une minutie avec trois attributs: les coordonnées x , y et l'orientation. Par conséquent, la mise en correspondance entre les minuties est très ambiguë [3]. En effet, un point caractéristique de l'empreinte requête peut être adapté à plusieurs minuties dans l'empreinte modèle. Pour réduire cette ambiguïté de correspondance et distinguer les minuties, d'autres informations doivent être ajoutées comme descripteur de minuties. Un descripteur de minuties doit être distinctif et en même temps robuste dans des situations difficiles, comme dans le cas des images bruitées.

Dans ce papier, nous proposons une évaluation de deux descripteurs caractérisant le voisinage des minuties. Ces descripteurs sont basés sur le quaternion des moments orthogonaux : Quaternion des Moments Disques Harmoniques QDHMs, et Quaternion des Moments de Zernike QZMs. Ces moments sont mis en œuvre et évalués au sein d'un algorithme d'appariement qui se base sur les triplets de minuties (M3gl) [4]. Notre méthode permet d'améliorer les performances du processus de correspondance des empreintes digitales.

Ce papier est organisé comme suit. La section II décrit les deux descripteurs d'extraction du voisinage : le descripteur QDHM et le descripteur QZM et leur intégration dans l'algorithme M3gl. La section III présente les résultats expérimentaux de la comparaison des performances des deux descripteurs. Enfin, la section IV conclut notre travail.

2 Méthode proposée

Plusieurs études ont été menées sur le quaternion pour décrire les images couleurs. Elles combinent l'algèbre des quaternions avec les moments conventionnels. Nous mentionnons, par exemple, le quaternion des moments de Zernike (QZMs) [5] et le quaternion des moments Bessel-Fourier [6], qui sont respectivement les extensions des moments de Zernike [7], [8] et les moments de Bessel-Fourier [9].

Dans ce papier, nous choisissons l'algorithme M3gl basé sur les triplets de minuties et nous le combinons

avec le quaternion afin de valider ces triplets. En effet, nous considérons les trois voisinages des triplets de minuties comme étant les trois couches RGB. Cette représentation permet d'intégrer ces trois voisinages en un seul descripteur.

Dans cette section, nous extrayons d'abord les paires de triplets par l'algorithme M3gl. Puis nous représentons l'information du voisinage de ces triplets par un quaternion. Ensuite, nous décrivons deux descripteurs basés sur le quaternion afin de valider ces triplets : le descripteur QDHMs et le descripteur QZMs. Enfin, nous calculons la correspondance entre les empreintes à base des triplets validés. Notre contribution peut être vue comme une étape de validation des paires de triplets issus de l'algorithme M3gl.

2.1 Extraction des triplets par l'algorithme M3gl

L'algorithme M3gl [4] se base sur des structures locales représentées par trois minuties, appelées les triplets de minuties. Cet algorithme comporte trois volets: une représentation des triplets de minuties dans le sens horaire sans avoir besoin d'une minutie centrale, une mesure de similarité qui effectue trois rotations possibles des triplets afin de trouver la meilleure correspondance de minuties assurant l'invariance de l'ordre de minutie et la sensibilité à la réflexion des triplets de minuties, et une procédure de mise en correspondance globale qui sélectionne l'alignement qui maximise la nombre de minuties mises en correspondances.

Dans ce travail, nous contribuons dans la deuxième étape de l'algorithme M3gl. Ainsi, nous réalisons d'abord les critères de similarité à base des relations entre les triplets de minuties. Ensuite, au lieu de calculer directement le score de correspondance, nous générons les listes des paires de triplets appariées par l'algorithme M3gl que nous considérons des paires de triplets candidates.

2.2 Représentation des triplets par le quaternion

Dans cette section, nous opérons sur les paires de triplets candidates obtenues par la mesure de similarité de l'algorithme M3gl. En effet, nous caractérisons les voisinages de chaque triplet candidat par un quaternion.

Soit $T(A,B,C)$ un triplet candidat dans l'empreinte digitale, avec A , B et C représentent trois minuties. Nous extrayons d'abord l'information du voisinage des trois sommets du triplet (A , B , C) en découpant trois disques de rayon fixe N , centrés sur les sommets du triplet. Ensuite, nous calculons un seul vecteur caractéristique rassemblant les trois disques en utilisant le quaternion.

Soit \bar{f} représente le codage des trois disques comme un seul quaternion pur comme suit:

$$\bar{f} = N_A i + N_B j + N_C k \quad (1)$$

avec N_A , N_B et N_C représentent l'information du voisinage des minuties A , B , C respectivement.

Les trois voisinages ont le même rôle, ce qui permet d'avoir l'invariance dans l'ordre des minuties dans le triplet.

2.3 Calcul du quaternion

Le quaternion est une généralisation des nombres complexes ayant une partie réelle et trois parties imaginaires. Un quaternion est défini par: [10]

$$q = a + bi + cj + dk \quad (2)$$

où a , b , c et d sont quatre coefficients indépendants à valeur réelle et i , j et k sont des unités imaginaires.

Le module et la phase d'un quaternion sont définis, respectivement, par :

$$|q| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} ; \phi = \arctan \left(\frac{|ib+jc+kd|}{a} \right); \quad (3)$$

Dans le cas où $a=0$, alors q est dit pur.

Dans cette sous section, nous proposons deux descripteurs qui caractérisent le voisinage des triplets de minuties afin de valider ces triplets candidats. Ces descripteurs sont basés sur le quaternion des moments orthogonaux : quaternion des Moments Disques Harmoniques QDHMs, quaternion des Moments de Zernike QZMs.

2.3.1 Le descripteur QDHM

Nous rappelons que le descripteur Moments Disques Harmoniques (DHMD) a été proposé par En-nahnahi et al. [12]-[15] afin de décrire les formes 2D binaire et niveaux de gris. Ce descripteur repose sur la reformulation des harmoniques sphériques pour qu'elles acceptent le disque unitaire comme domaine de définition. Ces moments possèdent des fonctions de base complètes et orthogonales.

Dans ce travail, nous proposons le Quaternion des Moments Disque Harmoniques comme extension des Moments Disque Harmoniques pour décrire le voisinage des triplets des minuties [16]. Nous nous sommes inspirés par les méthodes qui utilisent le quaternion des moments pour décrire les formes colorées.

Soit \bar{f} un triplet de minuties définie en coordonnées polaires. Les QDHMs dits côté droit d'ordre n et de répétition m sont définis en plaçant le noyau $e^{-\mu m \theta}$ du côté droit de \bar{f} .

$$QDHM_{n,m}^R(\bar{f}) = \int_0^1 \int_0^{2\pi} N_{n,m} P_{n,m} \bar{f} e^{-\mu m \theta} r dr d\theta; \quad |m| \leq n ; n \geq 0 \quad (4)$$

où μ est une unité quaternion pur, dans ce papier elle est choisie égale à $\mu = \frac{i + j + k}{\sqrt{3}}$. $N_{n,m}$ est le coefficient

de normalisation et $P_{n,m}$ représente les polynômes de Legendre associés.

En substituant (1) dans (4), et en utilisant la démonstration donnée dans [5] et [6]. Ainsi, on obtient

$$QDHM_{n,m} = \int_0^1 \int_0^{2\pi} N_{n,m} P_{n,m}(r) \left[N_A i + N_B j + N_C k \right] e^{-\mu m \theta} r dr d\theta \\ = A_{n,m}^R + i B_{n,m}^R + j C_{n,m}^R + k D_{n,m}^R, \quad (5)$$

où

$$A_{n,m}^R = -\frac{1}{\sqrt{3}} \left[\text{Im}(DHM_{n,m}(N_A)) + \text{Im}(DHM_{n,m}(N_B)) + \text{Im}(DHM_{n,m}(N_C)) \right]$$

$$B_{n,m}^R = \text{Re}(DHM_{n,m}(N_A)) + \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\text{Im}(DHM_{n,m}(N_B)) - \text{Im}(DHM_{n,m}(N_C)) \right]$$

$$C_{n,m}^R = \text{Re}(DHM_{n,m}(N_B)) + \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{Im}(DHM_{n,m}(N_C)) - \text{Im}(DHM_{n,m}(N_A))] \\ D_{n,m}^R = \text{Re}(DHM_{n,m}(N_C)) + \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{Im}(DHM_{n,m}(N_A)) - \text{Im}(DHM_{n,m}(N_B))] \quad (6)$$

Ici $DHM_{n,m}(N_A)$, $DHM_{n,m}(N_B)$ et $DHM_{n,m}(N_C)$ sont respectivement, les moments disques harmoniques des trois voisinages N_A , N_B , N_C .

Nous calculons deux variantes du descripteur en utilisant le module et la phase du quaternion des moments disques harmoniques (3).

2.3.2 Le descripteur QZM

Au cours des dernières années, le quaternion des moments de Zernike a prouvé sa performance dans le traitement des formes colorées [5]. Cela est expliqué par le fait que les polynômes de Zernike utilisent des fonctions de base orthogonales qui éliminent efficacement la redondance de l'information [7],[8].

Dans ce papier, nous allons étendre le quaternion des moments de Zernike sur le domaine de reconnaissance des empreintes digitales. À cette fin, nous utilisons le descripteur QZMs pour caractériser l'information du voisinage des triplets de minuties.

Soit \bar{f} un triplet de minuties définie en coordonnées polaires. Les QZMs dits côté droit d'ordre n et de répétition m sont donnés par

$$QZM_{n,m}^R(\bar{f}) = \frac{n+1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^r R_{n,m}(r) \bar{f} e^{-\mu m \theta} r dr d\theta; |m| \leq n; n \geq 0 \quad (10)$$

où μ est une unité quaternion pur, dans ce papier elle est choisie égale à $\mu = \frac{i+j+k}{\sqrt{3}}$. Et $R_{n,m}(r)$ est la

partie réelle du polynôme radiale définie par :

$$R_{n,m}(r) = \sum_{k=0}^{(n-|m|)/2} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! \left(\frac{n+|m|}{2} - k\right)! \left(\frac{n-|m|}{2} - k\right)!} r^{n-2k} \quad (11)$$

En déplaçant la partie exponentielle $e^{-\mu m \theta}$ dans (10) au côté gauche de \bar{f} , on peut également définir les QZMs dits côté gauche. En substituant (1) dans (10), on obtient

$$QZM_{n,m}^R(\bar{f}) = \frac{n+1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^r R_{n,m}(r) [N_A^i + N_B^j + N_C^k] e^{-\mu m \theta} r dr d\theta \\ = i[\text{Re}(QZM_{n,m}(N_A)) + \mu \text{Im}(QZM_{n,m}(N_A))] \\ + j[\text{Re}(QZM_{n,m}(N_B)) + \mu \text{Im}(QZM_{n,m}(N_B))] \\ + k[\text{Re}(QZM_{n,m}(N_C)) + \mu \text{Im}(QZM_{n,m}(N_C))] \\ = E_{n,m}^R + iF_{n,m}^R + jJ_{n,m}^R + kH_{n,m}^R, \quad (12)$$

Où

$$E_{n,m}^R = -\frac{1}{\sqrt{3}} [\text{Im}(ZM_{n,m}(N_A)) + \text{Im}(ZM_{n,m}(N_B)) + \text{Im}(ZM_{n,m}(N_C))], \\ F_{n,m}^R = \text{Re}(ZM_{n,m}(N_A)) + \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{Im}(ZM_{n,m}(N_B)) - \text{Im}(ZM_{n,m}(N_C))], \\ J_{n,m}^R = \text{Re}(ZM_{n,m}(N_B)) + \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{Im}(ZM_{n,m}(N_C)) - \text{Im}(ZM_{n,m}(N_A))], \\ H_{n,m}^R = \text{Re}(ZM_{n,m}(N_C)) + \frac{1}{\sqrt{3}} [\text{Im}(ZM_{n,m}(N_A)) - \text{Im}(ZM_{n,m}(N_B))]. \quad (13)$$

Ici $ZM_{n,m}(N_A)$, $ZM_{n,m}(N_B)$ et $ZM_{n,m}(N_C)$ sont respectivement les moments de Zernike classiques des trois voisinages

N_A, N_B, N_C , et $\text{Re}(x)$ représente la partie réelle du nombre complexe x , et $\text{Im}(x)$ sa partie imaginaire.

Dans ce papier, nous calculons le module et la phase du Quaternion des Moments de Zernike.

2.4 Validation des triplets de minuties

Dans cette section, nous calculons la similarité entre les vecteurs caractéristiques. La similarité est effectuée par la distance euclidienne L2 entre les deux vecteurs caractéristiques de la paire de triplets en cours de traitement. Dans les deux cas (le descripteur QDHMs et le descripteur QZMs), si la distance entre les descripteurs de la paire de triplets est inférieure à un seuil donné, alors la paire est validée. A la fin, nous effectuons la mise en correspondance globale de l'algorithme M3gl en utilisant les paires des triplets préalablement validées afin de sélectionner l'alignement qui maximise le nombre de minuties appariées, puis nous calculons le score de correspondance.

3 Résultats expérimentaux

Afin d'évaluer la performance des deux descripteurs, nous menons plusieurs expérimentations en utilisant la base de données FVC2004-DB4 capturée à l'aide du capteur optique "TouchView II" par Identix [17]. Elle contient 110 empreintes de doigts différents et 8 impressions pour chaque doigt. La base de données est divisée en une partie de test contenant 800 images (ensemble A) et une partie pour le réglage des paramètres contenant 80 images (ensemble B). La performance est mesurée en termes de la courbe DET (Detection Error Tradeoff).

Nous menons plusieurs expérimentations sur l'ensemble DB4_B de la base de données FVC2004 afin d'estimer empiriquement les paramètres. Nous fixons empiriquement les paramètres: $n=8$ et $r=50$ pixels.

Nous évaluons les deux descripteurs en utilisant l'ensemble DB4_B afin de trouver les meilleurs seuils de distance. Les graphiques présentés à la figure 1-a et 1-b illustrent les résultats de la première variante utilisant le module et la phase du descripteur QDHMs respectivement. Nous traçons la courbe DET pour différents seuils de distance. On peut noter que les meilleurs résultats sont obtenus pour les seuils $M_{QDHM}=20$ et $P_{QDHM}=10$. Les graphiques de la figure 1-c et 1-d affichent les résultats de la deuxième variante basée sur le module et la phase du descripteur QZMs pour différents seuils de distance. Nous soulignons que les meilleures courbes sont obtenues pour les seuils $M_{QZM}=10$ et $P_{QZM}=0,001$.

Les courbes DET présentées dans la figure 2 montrent la comparaison en termes de performance des deux descripteurs: la première variante basée sur le descripteur QDHM, la seconde variante en utilisant le descripteur QZM, en plus de l'algorithme M3gl basé sur la correspondance des triplets de minuties. Nous avons fixé les seuils $M_{QDHM}=20$, $P_{QDHM}=10$, $M_{QZM}=10$ et $P_{QZM}=0,001$ à partir des résultats de la figure 1.

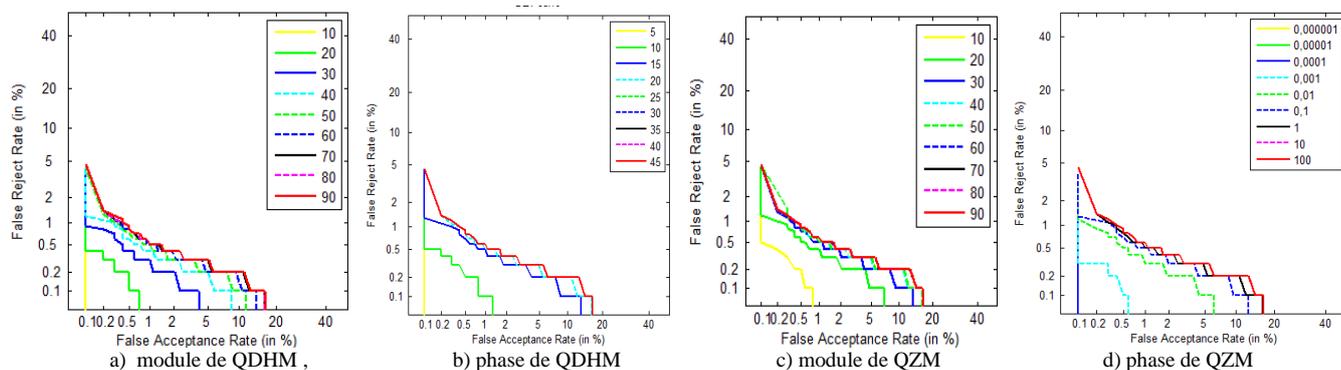


Figure 1: La courbe DET comparant la performance du descripteur QDHM et du descripteur QZM pour différents seuils de distance

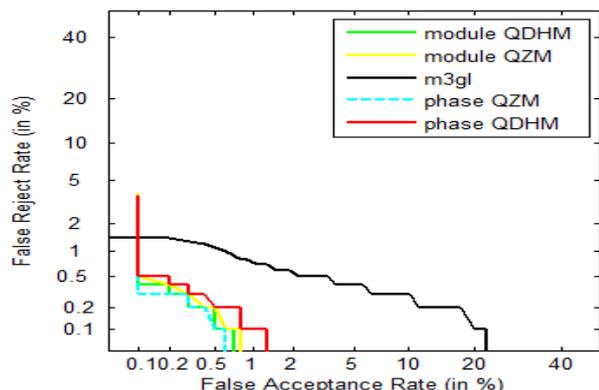


Figure 2: La courbe DET comparant la performance des descripteurs QDHM et QZM et l’algorithme M3gl.

Nous mentionnons que ces résultats sont obtenus en utilisant l’ensemble DB4_A de la base de données FVC2004. Nous notons que la performance des deux descripteurs présentés dans ce travail est supérieure à celle de l’algorithme M3gl classique. En effet, les deux descripteurs basés sur le quaternion augmentent le taux de reconnaissance (1-FRR) pour la plupart des valeurs de FAR. Par exemple, pour un taux des faux rejets égal à 0,1% ; les fausses acceptations des deux descripteurs proposés ne dépassent pas 1%, tandis que le taux des fausses acceptations obtenu par l’algorithme M3gl dépasse 20%.

4 Conclusion

Nous avons proposé une évaluation de deux descripteurs basés sur le quaternion pour la description du voisinage des minuties: le Quaternion des Moments Disques Harmoniques et le Quaternion des Moments de Zernike. Ces descripteurs sont intégrés dans une méthode d’appariement des triplets de minuties : M3gl. Les résultats expérimentaux sur la base de données FVC2004 illustrent l’amélioration obtenue dans les performances en réduisant le nombre de fausses acceptations. Comme perspectives, nous prétendons évaluer notre méthode en utilisant d’autres bases de données et en se comparant avec d’autres méthodes.

5 Références

[1] D.Maltoni, D.Maio, A.K.Jain, et Prabhakar, «Hand book of fingerprint Recognition». Springer,2003.

[2] A.K. Jain, L. Hong and R. Bolle, «On-line fingerprint verification», IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 19 (4) (1997), p. 302–313.

[3] Stosz J.D. et Alyea L.A., «Automated System for Fingerprint Authentication Using Pores and Ridge Structure», Proc. of SPIE (Automatic Systems for the Identification and Inspection of Humans), vol. 2277, pp. 210-223, 1994.

[4] M.A. Medina-Pérez, M. Garcia-Borroto, A.E. Gutierrez-Rodriguez and L. Altamirano-Robles, «Improving Fingerprint Verification Using Minutiae Triplets», Sensors 2012, 12, 3418-3437; doi:10.3390/s120303418, 2012.

[5] B.J. Chen, H.Z. Shu, H. Zhang, G. Chen, C. Toumoulin, J.L. Dillenseger, and L.M. Luo. «Quaternion Zernike moments and their invariants for color image analysis and object recognition. Journal Signal Processing», vol. 92, no.2, Feb. 2012.

[6] L.Q. Guo, and M.Zhu. «Quaternion Fourier-Mellin moments for color images», Journal Pattern Recognition, vol. 44, Issue 2, Pg. 187-195, February, 2011.

[7] M.R. Teague, «Image analysis via the general theory of moments», Journal of the Optical Society of America, vol. 70, no. 8, 1980, pg. 92030.

[8] A. Khotanzad, and Y.H. Hong. «Invariant image recognition by Zernike moments», IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, no. 5, pg. 48997, 1990.

[9] B. Xiao, J.F. Ma, and X. Wang. «Image analysis by Bessel-Fourier moments», Journal Pattern Recognition, vol. 43, Issue 8, Pg. 2620-2629, August, 2010.

[10] W.R. Hamilton, «On a species of imaginary quantities connected with a theory of quaternions», Proceedings of the Royal Irish Academy, vol. 2, 1844, pp. 424-434.

[11] D. Assefa, L. Mansinha, K.F. Tiampo, H. Rasmussen, K. Abdella, «Local quaternion Fourier transform and color image texture analysis», Signal Processing 90 (2010) 1825–1835, 2009.

[12] N. Ennahahi, M. Oumsis, A. Bouhouch, and M.Meknassi. «Fast shape description based on a novel set of moments defined on the unit disc and inspired by 3D Spherical Harmonics», IET Image Processing Journal, vol. 4, no. 2, pg. 120-131, Apr. 2010.

[13] N. Ennahahi, A. Bouhouch, M. Oumsis, and M. Meknassi. «A novel moments generation inspired by 3D spherical harmonics for robust 2D shape description». 16th IEEE International Conference on Image Processing ICIP09, Cairo-Egypt, 2009.

[14] N. Ennahahi, M. Oumsis, and M. Meknassi. «Moments disques harmoniques basés sur l’échantillonnage Healpix pour une description rapide et robuste des formes 2D», CORESA 2010, Lyon, 26-27 Octobre 2010.

[15] N. Ennahahi, M. Oumsis, and M. Meknassi. «Improvement of the Disc Harmonic Moments Descriptor by an Exponentially Decaying Distance Transform». Lecture Notes in Computer Science Volume 6218, pp 503-511, 2010.

[16] L. Haloui, N.Dad, N. En-Nahnahi, S. E. Ouatik, M. Oumsis, «Improvement of Fingerprint matching by describing the minutiae neighborhood using a set of Quaternion Disc-Harmonic Moments », AICCSA’2014, Qatar, 10-13 Novembre 2014.

[17] FINGERPRINT VERIFICATION COMPETITION. HTTP://BIAS.CSR.UNIBO.IT/FVC2002/.