

Fingerprint Matching Based on Two- Dimensional Discrete Hartley Transform

Roqia Khaled Rdwan

Mohammed Mahmoud Amer

Faculty of Science || Al-Baath University || Homs || Syria

Abstract: The main aim of this research is to study fingerprint matching based on the discrete two-dimensional Hartley transformation and its comparison with the discrete two-dimensional Wavelet transformation and the Gabor filter. In this research, a methodology based on extracting standard deviation and energy characteristics based on two-dimensional discrete time Hartley Transform for fingerprint matching was proposed according to an approved database of the University of Bologna and the FVC2002 database. The results obtained were compared with discrete wavelet transform (DWT) and experimental results showed that the methodology proposed using Hartley transform reduces the FAR from 21.48% to 16.74% according to the University of Bologna database and also from 31.29% to 28.69% according to FVC2002 database.

Keywords: Hartley Transform, Discrete wavelet Transform, Gabor Filter, Feature Extraction, Fingerprint Matching.

مطابقة البصمات بالاعتماد على تحويل هارتلي ثنائي البعد المتقطع

رقية خالد رضوان

محمد محمود عامر

كلية العلوم || جامعة البعث || حمص || سورية

الملخص: إن الهدف الرئيس من هذا البحث هو دراسة مطابقة بصمات الأصابع بالاعتماد على تحويل هارتلي ثنائي البعد المتقطع ومقارنته مع التحويل المويجي ثنائي البعد المتقطع ومرشح غابور. حيث تم في هذا البحث اقتراح منهجية تقوم على استخراج سمات الانحراف المعياري (standard deviation) والطاقة (energy) المبنية على تحويل هارتلي ثنائي البعد المتقطع زمنياً لمطابقة بصمات الأصابع وفق قاعدة بيانات معتمدة لجامعة بولونيا وقاعدة بيانات FVC2002، وتمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع التحويل المويجي المتقطع (DWT) وأظهرت النتائج التجريبية أنَّ المنهجية المقترحة باستخدام تحويل هارتلي تقلل معدل القبول الخاطئ (FAR) من 21.48% إلى 16.74% وفقاً لقاعدة بيانات جامعة بولونيا وكذلك من 31.29% إلى 28.69% وفقاً لقاعدة بيانات FVC2002.

الكلمات المفتاحية: تحويل هارتلي، التحويل المويجي المتقطع، مرشح غابور، استخراج السمات، مطابقة بصمات الأصابع.

1- المقدمة:

إن انتشار محطات الوصول إلى المعلومات والاستخدام المتزايد للتطبيقات (مثل التجارة، والتصويت الإلكتروني، والخدمات المصرفية الإلكترونية) التي تنطوي على نقل البيانات الشخصية تجعل من الضروري توفير أنظمة موثوقة سهلة الاستخدام ومقبولة بشكل عام.

إن أنظمة التحقق من الهوية التقليدية مثل جوازات السفر وبطاقات الهوية وكلمات المرور والرموز السرية يمكن تزويرها بسهولة، ويبدو أن القياسات الحيوية توفر وسيلة للتغلب على بعض عيوب هذه الأنظمة، باستخدام التحقق الخاص بكل فرد. لفترة طويلة ظل استخدام القياسات الحيوية مقتصرًا على تطبيقات الشرطة نظراً لإمكاناتها ومزاياها، ويجري الآن النظر في استخدام هذه التكنولوجيا للعديد من المهام الأخرى.^[1]

وقد تم تطوير التطبيقات التجارية للتعرف على الأشخاص على أساس ملامح الوجه، بصمات الأصابع، القزحية، فحص شبكية العين، وهندسة اليد والإصبع، أو الصفات السلوكية للفرد مثل صوت الطباعة، طريقة المشي، التوقيع، وآلية الكتابة على لوحة المفاتيح مع مستويات متميزة من المزايا. هذه المعرفات البيومترية (الحيوية) تعاني من القيود، والتي يتم التغلب عليها باستخدام نمط فريد من التلال والوديان في صور بصمات الأصابع.^[2]

حيث إنه في الآونة الأخيرة أصبح من السهل التعرف على بصمات الأصابع بطريقة آلية سريعة، وذلك بسبب التقدم في قدرات أجهزة الحاسب الآلي وهو ما يعرف بتقنية التعرف على بصمة الإصبع حيث يشير إلى آلية التحقق من تطابق بصمتي إنسان باستخدام الخصائص والسمات الفريدة لبصمة الإصبع.

فالتعرف على بصمات الأصابع هو واحد من أكثر المقاييس الحيوية شهرة، كما أن بصمات الأصابع من أقدم الصفات التي استخدمت لأكثر من قرن لتحديد الهوية إن القوة في استخدام بصمات الأصابع يرجع إلى «تفرد البصمة» وتميزها، وثباتها^[3]

الفكرتين الأساسيتين اللتين يعتقد العلماء بهما حول تمييز الأفراد عن طريق بصمات الأصابع هما:^[2]

1- بصمات الأصابع لا تتغير أبداً حتى عند التقدم في السن حيث تتشكل التلال الصغيرة على يد الشخص وقدميه قبل أن يولد ولا تتغير ما دام الشخص على قيد الحياة.

2- لا يمكن أن تتطابق البصمات حتى بالنسبة للتوائم حيث تشير الدراسة إلى أن بصمات التوائم المتطابقة لها تفاصيل دقيقة مختلفة (والتي يمكن استخدامها لأغراض تحديد الهوية)، من الممكن أن تكون متشابهة جداً عند النظر إليها بالعين المجردة ولكن هذا لا يعني تطابقها أبداً.

لبصمة الإصبع ثلاث سمات مميزة والتي تظهر في تركيبات البصمة حيث لا تتشابه على أيدي أو أقدام أي شخصين.^[4]

1. نهايات التلال: وهي ببساطة نهاية التلال.

2. التفرع (الانقسامات أو التشعبات): هو انقسام على شكل حرف Y من حافة واحدة إلى قسمين.

3. النواة: هي سلسلة قصيرة جداً على شكل نقطة تبدو وكأنها ".

والشكل التالي يوضح سمات بصمة الإصبع:^[2]



الشكل(1): السمات المميزة للبصمة (نهاية التلال- التفرع- النواة)

وتصنف تقنيات مطابقة بصمات الأصابع إلى نوعين:

- التقنية المعتمدة على التفاصيل minutiae: يتم في التقنية المعتمدة على التفاصيل استخراج السمات مثل نهاية التلال والنقطة والانقسام من صورة بصمة الأصابع ويتم استخدامها من أجل مقارنتها مع صورة قاعدة البيانات المحفوظة.

تعني هذه الطريقة أنه يمكن أن يستغرق الأمر أسابيع أو أشهراً حتى تُعالج بصمة الإصبع، إذ يجب تحليلها في مكتب البصمات المركزي.

- التقنية المعتمدة على الملمس (النسيج texture): يتم في هذه التقنية استخراج معلومات نسيج التلال باستخدام مرشحات غابور Gabor.

كلتا التقنيتين مكلفة حسابياً من ناحية معالجة البيانات واستخراج السمات إضافة للتعقيدية الحاسوبية وزمن المعالجة وعليه تم في هذا الفصل اقتراح منهجية أخرى لمطابقة بصمات الأصابع بالاعتماد على تحويل هارتلي والذي يعتبر أقل كلفة وتعقيدية حسابية.^[5-7]

2- مشكلة البحث:

إن المشكلة الأساسية التي تقوم المنهجية بمعالجتها هي مشكلة دقة مطابقة البصمات خاصة في التطبيقات الحساسة مثل البنوك وغيرها وكذلك زمن المعالجة لمطابقة البصمات حيث إن المنهجيات الموجودة مبنية على

التحويل المويجي ومرشحات غابور والذي يتطلب تعقيدية حاسوبية كبيرة وزمن معالجة كبير إضافة إلى الصعوبة في اختيار الموجة الأم أو تصميم المرشحات وفق التطبيق المطلوب مما يزيد أيضاً من نسبة الخطأ.

3- الدراسات السابقة:

تعتمد معظم خوارزميات مطابقة البصمات على التفاصيل minutiae المأخوذة من الأصابع، حيث قام الباحث هيرشاك "Hrechak" وآخرون بتطوير طريقة مطابقة بنيوية مبنية على التفاصيل^[8] لاستخراج تفاصيل ذات جودة عالية، في حين اقترح الباحث شيرلوك "Sherlock" وآخرون ترشيح فورييه اتجاهي من أجل تعزيز وتحسين بصمة الأصابع^[9] وطوّر الباحث ناليني "Nalini" نظام مطابقة بصمة الأصابع المبني على التفاصيل في الزمن الحقيقي من أجل مجموعة ضخمة من قاعدة البيانات^[10] وتم تنفيذ مطابقة التفاصيل المعتمدة على الشجرة الثنائية من قبل الباحث جين "Jain" وآخرون.^[11-12]

إن الدراسات المرجعية المذكورة أعلاه لا تعطي معدل مطابقة جيد لأن نهاية التلال والانقسامات لا تعطي معلومات كافية عن المطابقة بمفردها، ومن أجل تحسين معدل التطابق يتم تكامل ودمج بعض سمات التفاصيل مع سمات أخرى من أجل الحصول على درجة موثوقية أعلى وزيادة معدل التطابق كما في التقنية المعتمدة على متجهات الطاقة التي تم اقتراحها من قبل العالم ناغاتي "Nagaty".^[13-15]

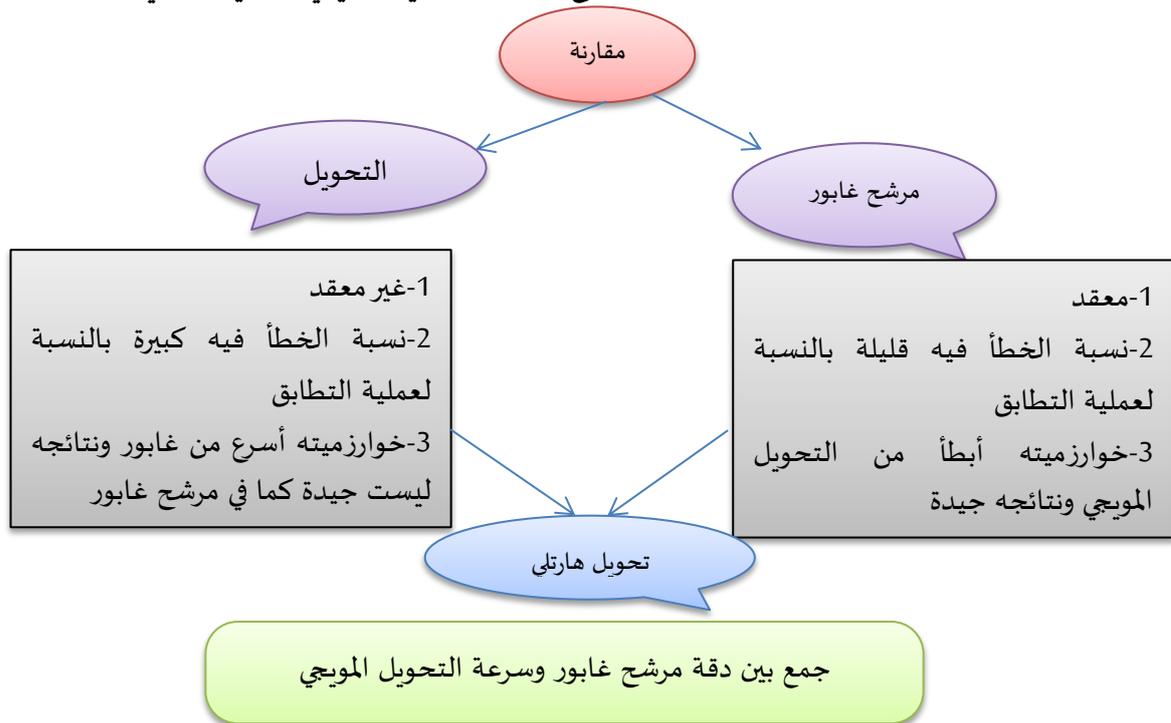
المحدودية الأساسية في التقنية المبنية على التفاصيل أنها تستخرج السمات المحلية من صورة البصمات فقط، استخدم العالم جين "Jain" وآخرون مرشحات غابور لسد الثغرات في هذه التقنية حيث أن الخوارزمية المقترحة تستخدم بنك من مرشحات غابور من أجل التقاط السمات المحلية والسمات العامة حيث أعطت نتائج أفضل بالمقارنة مع المطابقة باستخدام التفاصيل وتبين الدراسات المرجعية^[16-18] أن هذه الإجرائية تعطي نتائج أفضل حيث تم استخدام ثمانية مرشحات غابور زوجية والتي تعطي سمات الصورة الزوجية.

تمت مناقشة مرشحات غابور المعقدة والتي تجمع بين المميزات الفردية والزوجية في المرجع^[16] حيث أنه وعند زيادة عدد فلاتر غابور تزداد نسبة المطابقة ويظهر هذا في المرجع^[19] حيث تم استخدام ستة عشر مرشح، وأعطى مرشح غابور نتائج جيدة ولكن كانت له المحدوديات الآتية:

1. توابع غابور الأساسية غير متعامدة لأن هذا يتطلب كمية كبيرة من الذاكرة.
 2. التعقيدية الحاسوبية لخوارزمية غابور مرتفعة جداً مما يقيد من سرعة التطابق.
- من أجل التغلب على القيود الموجودة في مرشحات غابور قام العالم تيكو "Tico" وآخرون^[20] بتطوير تقنية مطابقة بصمات الأصابع بالاعتماد على التحويل المويجي Wavelet transform حيث إن توابعه الأساسية متعامدة وعلى الرغم من أن هذه الخوارزمية أسرع بالمقارنة مع مرشحات غابور لكن نتائجها ليست جيدة كما هي في مرشحات غابور.^[21-23]

وبناءً على ما سبق تم في هذا البحث اقتراح منهجية جديدة بالاعتماد على تحويل هارتلي من أجل استخراج السمات والتي تعتبر أسرع بالمقارنة مع مرشحات غابور وذات تعقيدية قريبة من التعقيدية الحاسوبية للتحويل المويجي كما أنها توفر معلومات تمييزية أفضل من التحويل المويجي. يمكن اختصار النتيجة السابقة بالمخطط التالي:

المخطط (1) مخطط المقارنة بين مرشح غابور والتحويل المويجي وتحويل هارتلي



- مود البحث وطرائقه:

قدمنا في هذا البحث التمثيل الحقيقي باستخدام السمات المبنية على تحويل هارتلي من أجل مطابقة البصمات ومن ثمّ سيتم تقييم الخوارزمية المقترحة من حيث معدل القبول الحقيقي $Genuine\ Acceptance\ Rate(GAR)$ ومعدل القبول الكاذب $False\ Acceptance\ Rate(FAR)$ ورتبة التعقيدية الحاسوبية حيث تثبت النتائج التجريبية أنّ أداء هذه المنهجية أفضل من أداء التحويل المويجي المتقطع DWT عند المقارنة على نفس قاعدة البيانات المعيارية التي تم استخدامها.

(4-1). المنهجية المبنية على التحويل المويجي:

من أجل استخراج السمات بالاعتماد على التحويل المويجي المتقطع يتم اقتصاص الصورة الأصلية للبصمات باستخدام نافذة بقياس 128×128 حول البكسل المركزي ويظهر الشكل (a) صورة بصمة الإبهام، يتم بعد ذلك تقسيم الصورة المقتصة إلى أربعة أرباع غير متداخلة بقياس 64×64 كما هو موضح في الشكل (b)، ويتم بعد ذلك تطبيق التحويل المويجي المتقطع على كل صورة فرعية بشكل منفصل^[24] وبفرض هي $f(x,y)$ فإنه يمكن تمثيل التحويل المويجي المتقطع بشكل عام كما يأتي:

 <p>(a)</p>	 <p>(b)</p>
<p>الصورة الأصلية لبصمة الإصبع</p>	<p>اقتصاص الصورة الأصلية بنافذة قياسها 128×64 حول المركز ثم تقسيم الصورة المقتصة إلى أربعة أرباع غير متداخلة بقياس 64×64</p>
<p>الشكل (2) الصورة الأصلية والصورة المقتصة حول المركز وتقسيمها لأربعة أجزاء</p>	

يجزء هذا التحويل الصورة إلى صورة تقريبية ذات وضوح منخفض (LL) بالإضافة إلى صورة تقريبية أفقية (HL) وصورة تقريبية عمودية (LH) وصورة تقريبية قطرية (HH).
تمثل الصورة (LL) الأجزاء الترددية المنخفضة من الصورة الأصلية والتي تتضمن التركيز الأعلى من الطاقة بينما تمثل الصور التقريبية، HL, LH, HH تفاصيل المكافآت الترددية الموجية.

<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">LL2</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">HL2</td> <td colspan="2" rowspan="2" style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">HL1</td> </tr> <tr> <td style="width: 25%; text-align: center;">LH2</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">HH2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">LH1</td> <td colspan="2" style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">HH1</td> </tr> </table> <p>(a)</p>	LL2	HL2	HL1		LH2	HH2	LH1		HH1		<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">LL3</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">HL3</td> <td rowspan="2" style="width: 25%; text-align: center; vertical-align: middle;">HL2</td> <td colspan="2" rowspan="2" style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">HL1</td> </tr> <tr> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">LH3</td> <td style="width: 12.5%; text-align: center;">HH3</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="width: 25%; text-align: center; vertical-align: middle;">LH2</td> <td style="width: 25%; text-align: center; vertical-align: middle;">HH2</td> <td colspan="2" rowspan="2" style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">HH1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="width: 25%; text-align: center; vertical-align: middle;">LH1</td> <td colspan="2" style="width: 50%; text-align: center; vertical-align: middle;">HH1</td> </tr> </table> <p>(b)</p>	LL3	HL3	HL2	HL1		LH3	HH3	LH2		HH2	HH1		LH1		HH1	
LL2	HL2	HL1																									
LH2	HH2																										
LH1		HH1																									
LL3	HL3	HL2	HL1																								
LH3	HH3																										
LH2		HH2	HH1																								
LH1		HH1																									
<p>تحليل الصورة الأساسية لمستويين اثنين باستخدام DWT (التحويل المويجي المتقطع)</p>	<p>ترتيبات المناطق التسعة لمعاملات DWT (التحويل المويجي المتقطع) لاستخراج المعالم</p>																										
<p>الشكل (3) التحويل المويجي للصورة الأساسية والصورة المجزأة (الصورة المجزأة لربع واحد ويكرر لكل ربع)</p>																											

يتم حساب التحويل المويجي من خلال المعادلات التالية:

$$L_j(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (1)$$

$$D_j(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (2)$$

حيث إن:

L_j تعطي معاملات التقريب approximation (الشكل العام للصورة)

D_j تعطي تفصيل detailed للموجة لصورة البصمة عند السوية $1 - j$ (تفاصيل الصورة)

وتعبر H و L في الصورة السابقة عن مرشح تمرير منخفض ومرشح تمرير مرتفع وتستخدم من أجل تفكيك (تحليل) decomposition صورة البصمة، وتعطي $LL1$ تقريب الصورة الاصلية عند المستوى 1 للتحليل المويجي ثنائي البعد، كما تعطي الحزم الفرعية $HL1$ ، $HH1$ ، $LH1$ تفاصيل الصورة الأصلية عند المستوى 1 للتحليل المويجي ثنائي البعد.

تعبّر المعادلة (3) عن التحليل المويجي ثنائي البعد على الثمانيات J للصورة المتقطعة $f(x, y)$ كصور

فرعية من الشكل $1 + 3j$:

$$\left(L_j, \{D_j^1, D_j^2, D_j^3\}_{j=1, \dots, J} \right) \quad (3)$$

حيث L_j تقريب الصورة الأصلية بدقة منخفضة و D_j^k التحويل المويجي للصور الفرعية المحتوية على تفاصيل الصورة عند قياسات مختلفة 2^j وكذلك اتجاهات مختلفة (أفقية، شاقولية وقطرية). يمكن حساب الانحراف المعياري والطاقة لمعاملات DWT من كل مستوى تحليل مويجي لكل صورة فرعية من أجل إنشاء سمة متجه الطول $3j$. علماً أن التحليل لأكثر من ثلاثة مستويات لا يقدم مساهمة فعّالة في معدل الإدراك إضافةً إلى أنه يزيد من التعقيدية الحاسوبية.

يتم تمثيل الانحراف المعياري والطاقة بالمعادلتين (4) و (5) على التوالي:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (b(i, j) - M)^2} \quad (4)$$

$$\text{energy}(E) = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |b(i, j)| \quad (5)$$

حيث $b(i, j)$ تمثل قيمة البكسل للصورة الفرعية المحللة و $N \times N$ حجم الصورة الفرعية المحللة و M هي متوسط الصورة الفرعية و S الانحراف المعياري للصورة الفرعية و E الطاقة للصورة الفرعية، وكلاً من الانحراف المعياري والطاقة تستخدم من أجل تشكيل متجه السمة وبالتالي يكون طول متجه السمة 72.

(4-2). تحويل هارتلي المتقطع:

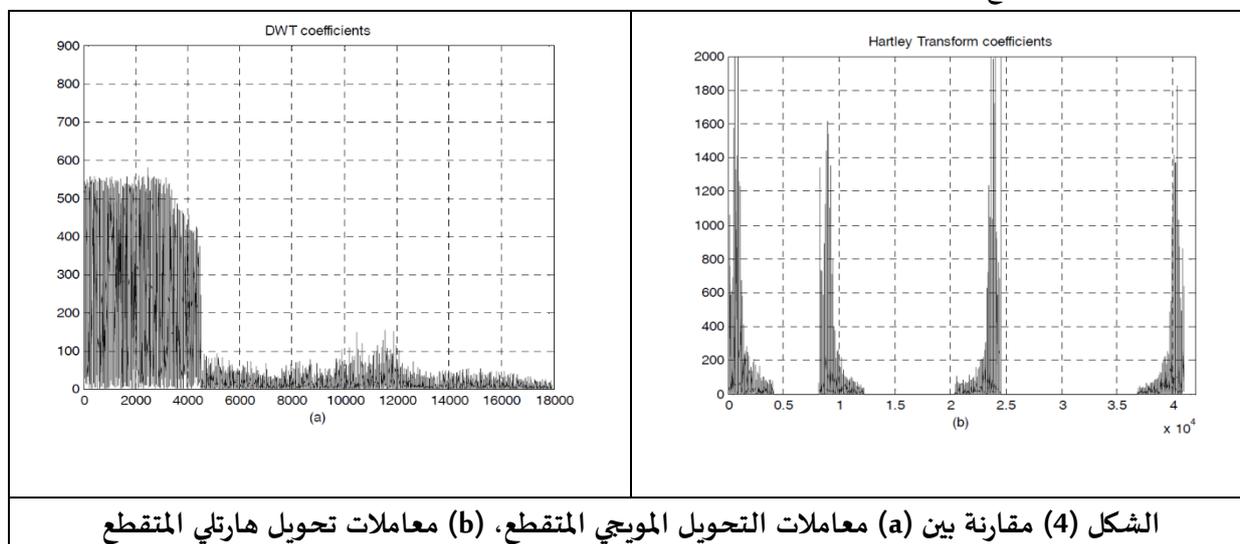
يتم نشر الصورة من ناحية المجموعات المتقطعة إلى مصفوفات أساسية تدعى الصور الأساسية (الأصلية)، ويعتبر حفظ الطاقة وضغط الطاقة وفك الترابط من الخصائص المهمة لهذه التحويلات، ويستخدم تحويل هارتلي كلاً من توابع الجيب والتجيب بشكل مترابط حيث إن معاملاته عبارة عن أعداد حقيقية على العكس من تحويل فورييه والذي له معاملات تكون بشكل عام عبارة عن أعداد عقدية^[25]. ويعرّف تحويل هارتلي المتقطع ثنائي الأبعاد $N \times N$ لصورة $f(x,y)$ على النحو الآتي كما في المعادلة (6):

$$H(u,v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \left[\cos\left(\frac{2\pi(ux + vy)}{N}\right) + \sin\left(\frac{2\pi(ux + vy)}{N}\right) \right] \quad (6)$$

بينما يُعطى التحويل العكسي بالمعادلة الآتية:

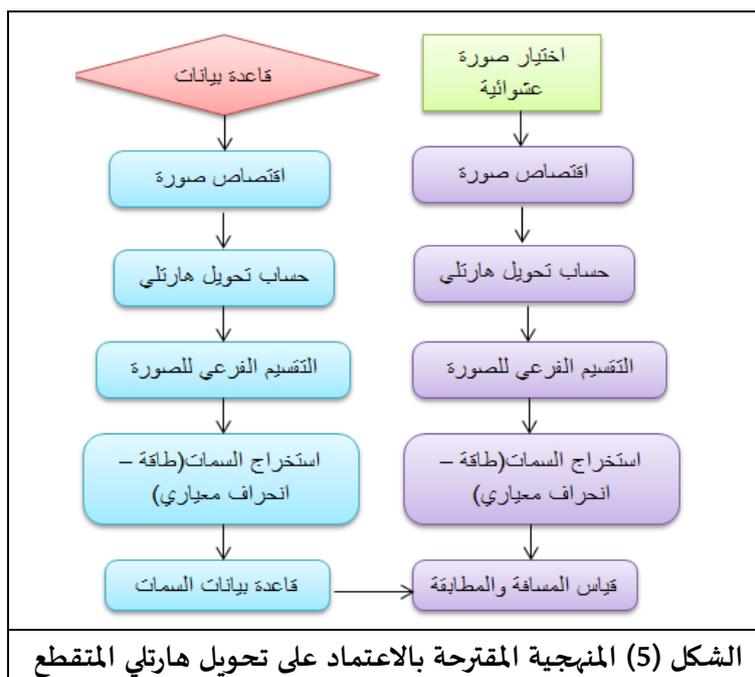
$$f(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} H(u,v) \left[\cos\left(\frac{2\pi(ux + vy)}{N}\right) + \sin\left(\frac{2\pi(ux + vy)}{N}\right) \right] \quad (7)$$

حيث $0 \leq x, u \leq N - 1$ ، $0 \leq y, v \leq N - 1$ ويعتبر تحويل هارتلي تحويل حقيقي ومتعامد وسريع حسابياً، ولمراقبة تأثيرات أنواع التحويلات على سمات المعلومات على صورة بصمة الأصابع فإن الشكل 3 (a) يوضح تحويل DWT و هارتلي على صورة بصمة الأصابع ويوضح الشكل 4 (a) و (b) توزيع معاملات كلا التحويلين في المجال الترددي ويمكن أن نلاحظ أن معاملات تحويل هارتلي لها تباين أكبر من معاملات DWT الأمر الذي من شأنه أن يعطي دقة عالية في مطابقة سمات بصمة الأصابع وبعبارة أخرى فإن سمات المعلومات المشتقة من معاملات تحويل هارتلي أكثر قابلية للتمييز والإدراك من تلك المشتقة من DWT ونظرياً يجب أن تقدّم معدل إدراك أعلى في مطابقة بصمات الأصابع.



(4-3). المنهجية المقترحة:

تعتمد المنهجية المقترحة على تحويل هارتلي الحقيقي، يتم حساب تحويل هارتلي لمنطقة صغيرة من صور البصمات ويتم تجزئة الصورة إلى أربعة أجزاء يُحلّل كل جزء منها وفقاً لتوزيع الطاقة كما في DWT ويتم حساب الطاقة والانحراف المعياري لتشكيل متجه السمة ويوضح الشكل (5) المخطط التدفقي للمنهجية المقترحة وسيتم شرح الصناديق في المنهجية المقترحة وإظهار النتائج التجريبية ومقارنتها مع المنهجيات الأخرى:



(4-3-1) قاعدة بيانات صور البصمات:

تم استخدام قاعدتي بيانات معياريتين ^[11] DB1 و DB2 من أجل تقييم أداء المنهجية المقترحة حيث إن قاعدة البيانات الأولى DB1 متوفرة في جامعة بولونيا في إيطاليا University of Bologna أما الثانية DB2 هي قاعدة البيانات التي تم استخدامها في مسابقة التحقق من بصمات الأصابع 2002 ورمزها FVC2002db1_a.

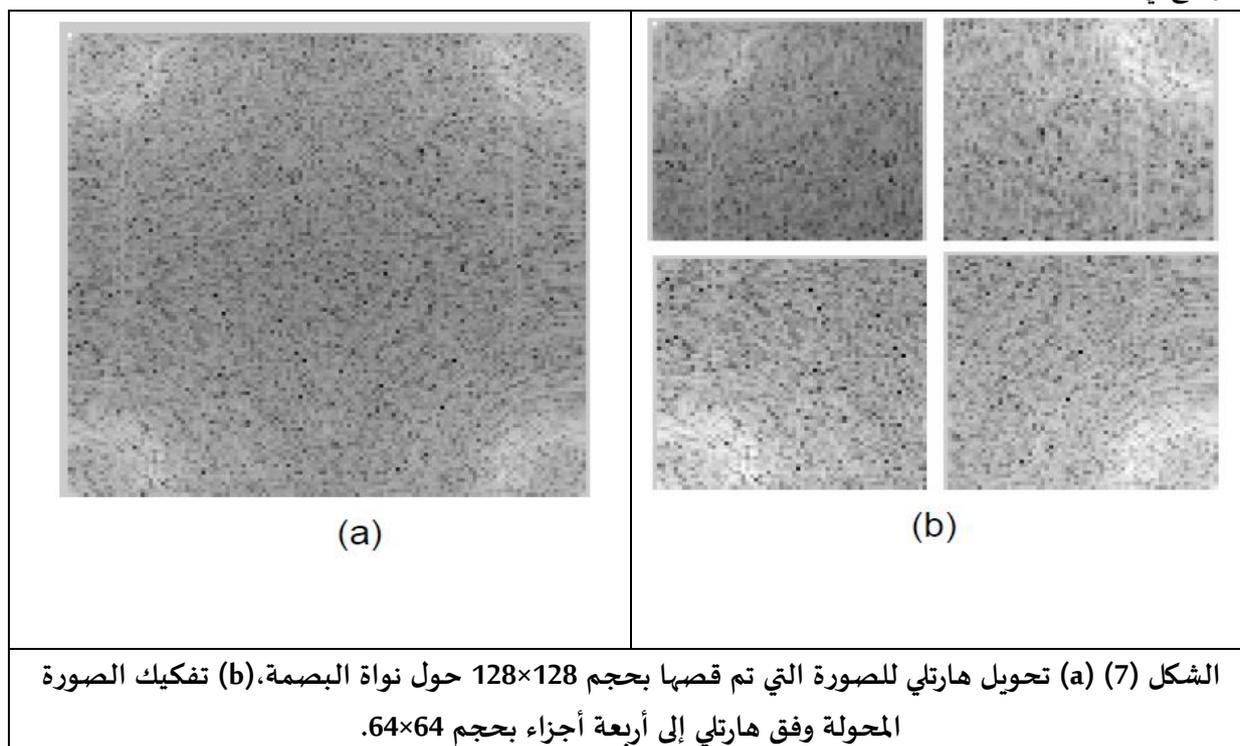
(4-3-2) قص صورة البصمة:

تركز المعلومات المهمة في صور البصمة حول نواة أو مركز البصمة وعليه وبدلاً من استخدام كامل الصورة من أجل استخراج السمات تم قص هذا الجزء حول نواة البصمة في صورة البصمة حيث يتم أولاً تحديد نقطة النواة ومن ثم يتم استخدام نافذة بقياس 128×128 حول هذه النقطة ^[24] والشكل (6) يوضح الصورة الاصلية (6-6) (a) والصورة الناتجة عن عملية القص (6-6) (b) بالحجم المذكور:



(4-3-3) حساب تحويل هارتلي والتقسيم الفرعي **subdivision**:

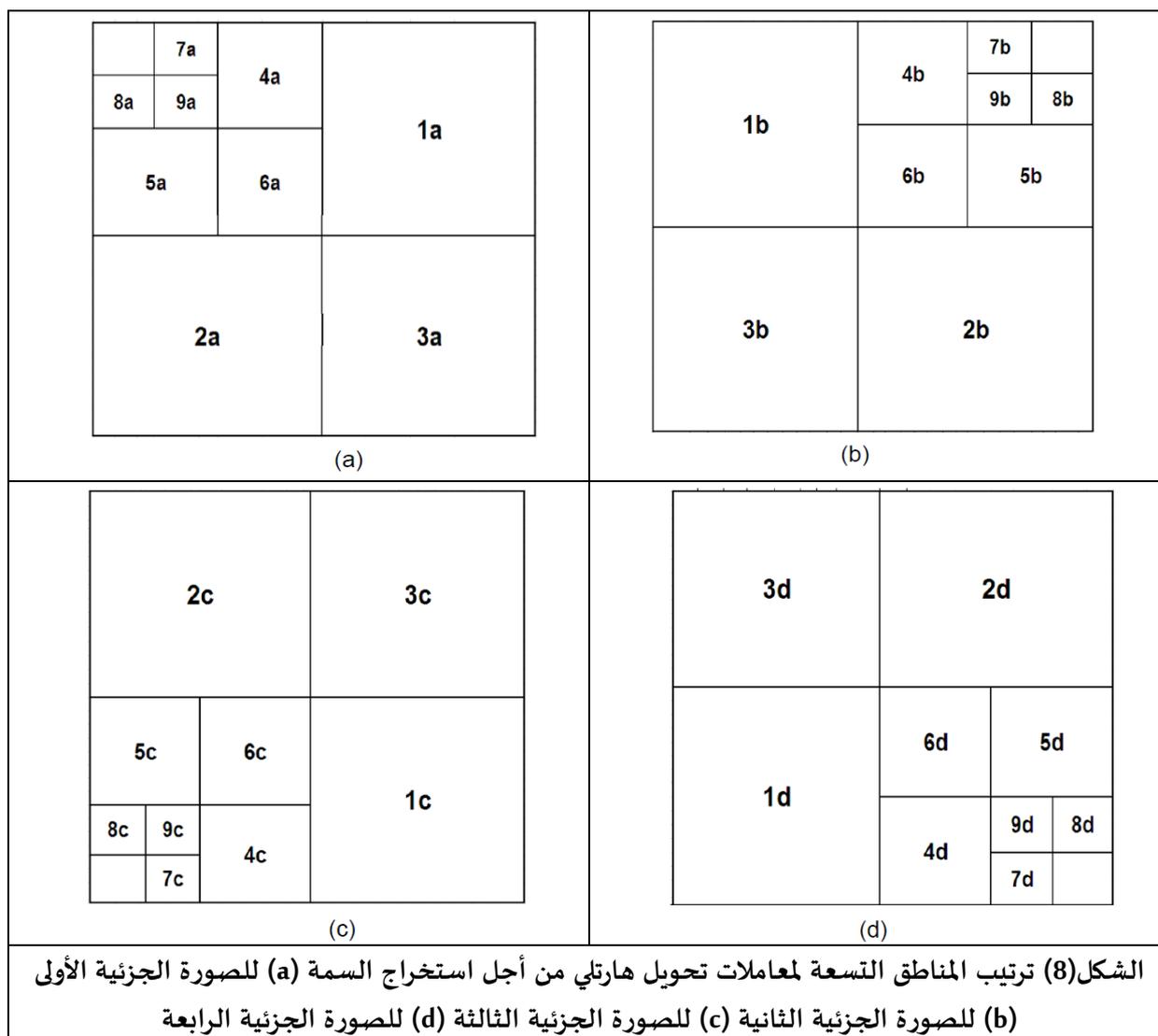
يتم حساب تحويل هارتلي للصورة التي تم قصها وفق المعادلة (6) ويوضح الشكل (a) 7 تحويل هارتلي للصورة المذكورة وتظهر هذه الصورة أن توزع الطاقة يكون أكثر في الزوايا الأربعة للصورة التي تم حساب تحويل هارتلي لها بالمقارنة مع الجزء الأوسط حيث أنه في هذه الصورة تكون الزوايا الأربعة أكثر سطوعاً من الجزء الأوسط وجميع معاملات تحويل هارتلي في المجال الترددي تم تقسيمها إلى أربعة أقسام متساوية بقياس 64×64 كما هو موضح في الشكل 7 (b)



الشكل (7) (a) تحويل هارتلي للصورة التي تم قصها بحجم 128×128 حول نواة البصمة. (b) تفكيك الصورة المحولة وفق هارتلي إلى أربعة أجزاء بحجم 64×64 .

(4-3-4) استخراج السمات وبناء قاعدة بيانات السمات:

يمكن استخراج السمات وفق خصائص المجال الترددي لتحويل هارتلي لصورة البصمة بنفس الطريقة المتبعة في DWT وذلك عن طريق استخدام ترتيب جديد كما هو موضح في الشكل (8) حيث يتم تحليل كل صورة جزئية إلى ثلاثة مستويات كما يوضح الشكل 8 (a), (b), (c), (d) حيث إن التحليل إلى أكثر من ثلاثة مستويات لا يعطي مساهمة فعالة في معدل الإدراك علاوة على أنه يزيد من التعقيدية الحسابية. يتم استخراج السمات باستخدام الانحراف المعياري والطاقة لكل حزمة فرعية وبالتالي تتشكل متجهات السمات لكل من صور الاختبار وقاعدة البيانات حيث يحسن الدمج بين سمات الطاقة والانحراف المعياري من أداء النظام بالمقارنة مع استخدام واحدة منهما فقط ويتم حساب الطاقة والانحراف المعياري وفق المعادلة (5) و (4) على الترتيب، و F_i و F_T هي متجهات السمات لكل من صورة قاعدة البيانات وصورة الاختبار على الترتيب.



الشكل (8) ترتيب المناطق التسعة لمعاملات تحويل هارتي من أجل استخراج السمّة (a) للصورة الجزئية الأولى (b) للصورة الجزئية الثانية (c) للصورة الجزئية الثالثة (d) للصورة الجزئية الرابعة

تعطي المعادلة (8) تمثيل لمتجهات السمّة لكل من صورة قاعدة البيانات وصورة الاختبار:

$$F_i, F_t = [S_1, S_2, S_3, \dots, S_{36}, E_1, E_2, E_3, \dots, E_{36}] \quad (8)$$

ويكون طول متجه السمّة مساوياً لـ 4 × عدد الحزم الجزئية × عدد معاملات السمّة المدمجة، ويتم تخزين سمات صورة قاعدة البيانات من أجل تشكل قاعدة بيانات السمّة.

(4-3-5) قياس المسافة والمطابقة:

يتم حساب المسافة بين سمات صور الاختبار وقاعدة البيانات من أجل إيجاد التشابه بينهما، وستكون صورة الاختبار أكثر تشابهاً مع صورة قاعدة البيانات إذا كانت المسافة بينهما صغيرة، وتعطى المسافة الإقليدية المعيارية بين سمات صورة قاعدة البيانات F_i وصورة الاختبار F_t بالمعادلة (9) الآتية:

$$d_E = \sqrt{\sum_{j=1}^N (F_i - F_t)^2} \quad (9)$$

ولكن المسافة الإقليدية ليست دائماً المقياس الأفضل وذلك لأنه يتم تربيع المسافات قبل جمعها مما يؤثر على تلك السمات وبالتالي يكون عدم التشابه كبيراً وبالتالي يجب التفكير هنا باستخدام طريقة يتم فيها حساب المجموع المطلق للفروق في كل بعد بدلاً من التربيع كمقياس عام للتباين أو عدم التشابه ويطلق على مجموع الفرق المطلق أحياناً بـ City Block أو مسافة منهاتن Manhattan distance وتُعرف مسافة منهاتن أو L_1 كما في المعادلة (10) الآتية:

$$d_M = \sum_{j=1}^N |F_i - F_t| \quad (10)$$

حيث أن مسافة منهاتن تعطي أداء أفضل من المسافة الإقليدية، وتُخزن هذه المسافة بترتيب تصاعدي، ويتم حساب متوسط القيم السبعة الأعلى من أجل احتساب العتبة threshold بحيث تُختار قيمة العتبة لتكون أكبر قليلاً من القيمة المتوسطة.^[26]

5- النتائج التجريبية للمنهجية المقترحة والمناقشة:

تم إنجاز التجارب باستخدام حاسب ذو معالج بينتيوم 4 باستخدام بيئة البرمجة ماتلاب MATLAB R2018a ومن ثم تمت مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع طريقة DWT المعيارية وتم قياس أداء المنهجية المقترحة من وجهة نظر FAR وGAR ومعدل الرفض الكاذب (FRR). false rejection rate

(5-1). قاعدة بيانات صورة البصمة:

كما تم ذكره آنفاً فإن قاعدة البيانات DB1 متوفرة في جامعة بولونيا في إيطاليا^[27] حيث تحتوي على 140 صورة بصمة أصابع بحجم 256×256 لـ 20 شخص بسبعة وضعيات مختلفة لكل شخص وDB2 هي قاعدة بيانات FVC2002 db1_a. تم استخدام 400 صورة بصمة إصبع بقياس 374×388 لمئة شخص بـ 4 وضعيات مختلفة لكل شخص من DB2.

(5-2). قياس الأداء بالاعتماد على FAR، GAR، FRR:

تم تقييم الأداء للمنهجية المقترحة من ناحية GAR (معدل القبول الحقيقي) وFAR (معدل القبول الخاطئ) وFRR (معدل الرفض الخاطئ) حيث تم تفكيك كل صورة فرعية إلى خمسة مستويات بالاعتماد على تحويل هارتلي وDWT وتحليل النتائج لكل مستوى باستخدام FRR وFAR وGAR يمكن إيجاد مستوى التفكيك أو التحليل الأمثل، وتعطى كلاً من GAR وFAR وFRR بالمعادلات الآتية:

$$FRR = (\text{true claims rejected} / \text{total true claims}) \times 100 \quad (11)$$

$$FAR = (\text{imposter claims accepted} / \text{total imposter claims}) \times 100 \quad (12)$$

$$GAR = (100 - FRR) \times 100 \quad (13)$$

الجدول (1) مقارنة GAR وFAR وFRR لتحويل هارتلي والتحويل المويجي المتقطع لكلاً من سمة الطاقة

والانحراف المعياري عند سويات تفكيك مختلفة باستخدام مسافة منهاتن على قاعدة البيانات DB1

تحليل المستويات	تحويل هارتلي			التحويل المويجي المتقطع DWT		
	GAR	FAR	FRR	GAR	FAR	FRR
1	85	33.46	15	85.81	30.37	14.18

تحليل المستويات	تحويل هارتلي			التحويل المويجي المتقطع <i>DWT</i>		
	<i>GAR</i>	<i>FAR</i>	<i>FRR</i>	<i>GAR</i>	<i>FAR</i>	<i>FRR</i>
2	91.53	29.36	8.46	90.51	24.04	9.48
3	95.10	16.74	4.89	95.40	21.48	4.59
4	95.51	16.45	4.48	95	23.22	5
5	95.30	16.14	4.69	93.36	32.86	6.63
المتوسط الحسابي	92.9567	22.4300	7.5040	92.0160	26.3940	7.9760

الجدول (2) مقارنة *GAR* و *FAR* و *FRR* لتحويل هارتلي والتحويل المويجي المتقطع ومرشح غابور لكلاً من سمة الطاقة والانحراف المعياري عند مستوى التفكيك الثالث باستخدام مسافة منهاتن على قاعدة البيانات DBI

المنهجية	<i>GAR</i>	<i>FAR</i>	<i>FRR</i>
تحويل هارتلي	95.10	16.74	4.89
<i>DWT(db4)</i>	95.40	21.48	4.59
<i>DWT(db5)</i>	95.40	22.08	4.59
<i>DWT(db6)</i>	94.79	19.96	5.20
<i>DWT(sym4)</i>	93.36	20.45	6.63
<i>DWT(sym5)</i>	94.28	20.07	5.71
<i>DWT(sym6)</i>	93.46	21.70	6.53
مرشح غابور	95.10	17.29	4.89

يظهر الجدول (1) مقارنة أداء تحويل هارتلي والتحويل المويجي المتقطع *db4* عند خمسة مستويات تفكك من ناحية *FRR* و *FAR* و *GAR* حيث إن *db4* هي عبارة عن موجة دوبشيز "Daubechies" والتي لها أربعة عزوم تلاشي.

ويوضح الجدول (2) مقارنة الأداء بين المنهجية المقترحة وبين *DWT* ومرشح غابور حيث إن *sym6* و *sym5* و *sym4* و *db6* و *db5* و *db4* هي عبارة عن موجات دوبشيز وسيملت "Symlet" ذات أربعة وخمسة وستة عزوم تلاشي على التوالي.

6- مناقشة النتائج:

نلاحظ في الجدول (1) أنّ النتائج عند المستوى الثالث أفضل من النتائج عند مستوى التفكك 1 و 2. ولا توجد زيادة ملحوظة في *GAR* أو نقصان ملحوظ في *FAR* خارج المستوى الثالث ولكنها تزيد من طول متجه السمة ومن هنا سوف يزداد زمن المعالجة وبالتالي وُجد أن المستوى الثالث هو مستوى التفكك الأمثل للمقارنة، ومتوسط الأداء للمستويات الخمسة للمنهجية المقترحة يعطي نتائج أفضل من *DWT* كما هو واضح من الجدول (1) أعلاه. ويظهر الجدول (2) تفوق المنهجية المقترحة على *DWT* ومرشح غابور.

وقد أظهرت النتائج التجريبية أن الطريقة المقترحة تقلل من معدّل القبول الكاذب *FAR* من 21.84% إلى 16.74% على أساس قاعدة بيانات جامعة بولونيا ومن 31.29% إلى 28.69% استناداً إلى قاعدة بيانات FVC2002 مقارنة مع المنهجيات الموجودة والتي تستخدم سمات التحويل المويجي، وحيث إن تحويل هارتلي

يحسب القيم الحقيقية فقط على العكس من تحويل فورييه المتقطع الذي يتطلب عمليات جمع وضرب عقدية مما يعني تعقيدية حسابية أكبر

7- الخلاصة والتوصيات:

تمّ في هذا البحث إظهار أن تحويل هارتلي يمكن أن يُستخدم بكفاءة لاستخراج سمات مفيدة وتمييزية من صور بصمات الأصابع لمطابقة البصمات. نقترح دراسة منهجية مبنية على تحويل الجيب المتقطع ثنائي البعد (DCT) على نفس قاعدة البيانات السابقة ومن ثم مقارنة النتائج مع تحويل هارتلي ثنائي البعد المتقطع، وزيادة عدد السمات التي يمكن مقارنتها باستخدام سمات احصائية واحتمالية مثل التباين والانتروبي والتشتت والنزعة المركزية لزيادة الدقة.

8- المراجع:

- [1] Bernadette, D., Carmen, G.M. "Multimodal Biometrics," Annals of Telecommunications, Volume 62(2)-May 4, 2012.
- [2] Fingerprint recognition in Arabic, <http://www.pitt.edu>.
- [3] علوم مسرح الجريمة. كيف يتم التعرف على بصمة الإصبع بطريقة آلية؟ | صوت الأمة (<http://www.soutalomma.com/Article/812303>)
- [4] كيف يعمل النظام الآلي للتعرف على بصمات الأصابع؟ - أنا أصدق العلم (<https://ibelieveinsci.com/?p=55452>)
- [5] Bharkad, S.D., Kokare, M.B. "Fingerprint Identification: Ideas, pattern recognition, Machine intelligence and Biometrics(PRM), Chapter 17, Springer publication 2011, pp.417-455.
- [6] Bharkad, S., Kokare, M. "Survey of current fingerprint matching methods," Proceeding in international conf. on Computer networks and security, 2008, pp.352-355.
- [7] Cummins, H., Midlo, C. "Fingerprints, Palms and Soles: An Introduction to Dermatoglyphics," Dover Publications, Inc., New York, 1961.
- [8] Hrechak, A.K., McHugh, J.A. "Automated fingerprint recognition using structural matching," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 1996, pp.799-813.
- [9] Sherlock, B.G., Monro, D.M., Millard, K. "Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering," IEE Proc., Vision, Image Signal Process, 1994, pp.87-94.
- [10] Nalini, K.R., Karu, K., Chen, S., Jain, A.K. "A real-time matching system for large fingerprint databases," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 1996, pp.799-813.
- [11] Bhowmick, P., Bhattacharya, B.B. "Approximate Fingerprint Matching Using Kd tree," proc.IEEE on pattern Recognition, 2004, pp.544-547.
- [12] Jain, M.D., Nalin, P., Prakash, C., Balasubramanian, R. "Binary Tree Based Linear Time Fingerprint Matching," Proc. IEEE on Image Processing, 2006, pp.309-312.

- [13] Bartunek, J.S., Nilsson, M., Nordberg, J., Claesson, I. "Neural Network Based Minutiae Extraction from Skeletonized Fingerprint," *proc.IEEE on TENCON*, 2006, pp.1-4.
- [14] Nagaty, K.A., "An Energy-Based Fingerprint Matching System," *Proc. IEEE on Consumer Communications and Networking*, 2004, pp.706-709.
- [15] Tico, M., Kuosmanen, P. "Fingerprint Matching Using an Orientation-Based Minutia Descriptor," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, pp.1009-1014.
- [16] Horton, M., Meenen, P., Adhami, R., Cox, P. "The Costs And Benefits of using complex 2D Gabor Filter in a filter Based Fingerprint Matching system." *Proc.IEEE on System Theory*, 2002, pp.171-175.
- [17] Jain, A.K., Prabhakar, S., Hong, L., Pankanti, S. "Finger Code: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching," *Proc.IEEE on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1999, pp.187-193.
- [18] Jain, A.K., Prabhakar, S., Hong, L., Pankanti, S. "Filterbank-Based Fingerprint Matching," *IEEE Trans. On image processing*, 2000, pp.846-859.
- [19] Munir, M.U., Javed, M.Y. "Fingerprint Matching using Ridge Patterns," *Proc.IEEE on Information and Communication Technology*, 2005, pp.116-120.
- [20] Tico, M., Immonen, E., Ramo, P., Kuosmanen, P., Saarinen, J. "Fingerprint Recognition Using Wavelet Features," *The 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2001, pp.21-24.
- [21] Bharkad, S., Kokare, M. "Comparison of Transform based features for fingerprint Matching," *Proceeding in IEEE conf. on Electronic Design and Signal Processing*, December, 2009.
- [22] Bharkad, S., Kokare, M. "Sine Transform Based fingerprint Matching," *International journal of Technology and engineering system*, Vol.01, 2010, pp.131-136.
- [23] Bharkad, S., Kokare, M. "Sine Transform Based fingerprint Matching," *Proceeding in international conf. on Information science and applications*, 2010, pp.56-59.
- [24] Hong, L., Wan, Y., Jain, A.K. "Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation," *IEEE Transactions on PAMI*, 1998, PP.777-789.
- [25] Jain, A. "Fundamentals of Digital Image Processing," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.
- [26] Bharkad, S., Kokare, M. "Performance evaluation of distance metrics: application to fingerprint recognition," *International journal of pattern recognition and artificial intelligence (IJPRAI)*, Vol.25, No.6, 2011, pp.777-806.
- [27] Biometric system Lab, University of Bologna, Casena-Italy, <http://www.csr.unobo.it/research/biolabl>.