

Adaptive of the bee algorithm with an overall pattern extractor to improve the fingerprint matching process

Ebrahim Omar Al Shami, Marah Bassem Ali*

Department of Automatic Control and Computers Engineering | Faculty of Mechanical and Electrical Engineering |
Al Baath University | Syria

Received:

21/09/2023

Revised:

04/10/2023

Accepted:

18/12/2023

Published:

30/03/2024

* Corresponding author:

alalimarrah@gmail.com

Citation: Al-Shami, E. O.,

& Ali, M. B. (2024).

Adaptive of the bee algorithm with an overall pattern extractor to

improve the fingerprint matching process. *Journal of engineering sciences and information*

technology, 8(1), 1 – 21.

<https://doi.org/10.26389/AJSRP.C210923>

2024 © AISRP • Arab Institute of Sciences & Research Publishing (AISRP), Palestine, all rights reserved.

2024 © AISRP • Arab

Institute of Sciences &

Research Publishing

(AISRP), Palestine, all

rights reserved.

• Open Access



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) [license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Abstract: Fingerprints serve as a crucial biometric identifier for verifying individual identities, particularly in the context of developing automatic fingerprint recognition systems. This study addresses the imperative need to enhance fingerprint matching accuracy while concurrently mitigating false acceptance rate (FAR) and rejection rate (RR) challenges inherent in traditional matching methods. The research proposes a novel approach, integrating the adaptive bee algorithm with a global pattern extractor to refine fingerprint matching processes. Specifically, the methodology focuses on adjusting the central point and angle of the studied impression. The effectiveness of the proposed methodology was evaluated using the standard FVC2004 database.

Results demonstrate the efficacy of the bee algorithm, a prominent artificial intelligence technique within the realm of swarm intelligence, in achieving a remarkable matching rate of 97.3%. This outcome underscores the algorithm's potency compared to alternative methods employed for similar purposes.

Keywords: Fingerprints, Matching, Bee Algorithm, Artificial Intelligence, Swarm Intelligence

تكيف خوارزمية النحل مع مستخرج الأنماط الشامل لتحسين عملية المطابقة لبصمات الأصابع

إبراهيم عمر الشامي، مرح باسم علي*

قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب | كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية | جامعة البعث | سوريا

المستخلص: تعتبر بصمات الأصابع معرف حيوي حاسم للتحقق من هويات الأفراد، خاصة في سياق تطوير أنظمة التعرف التلقائي على بصمات الأصابع. تتناول هذه الدراسة الحاجة الملحة لتعزيز دقة مطابقة بصمات الأصابع مع التخفيف في الوقت نفسه من معدل قبول الخطأ (FAR) ومعدل رفض الخطأ (RR) التحديات المتأصلة في الأساليب التقليدية للمطابقة. تقترح البحث نهجًا جديدًا، يدمج خوارزمية النحل المتكيفة مع استخراج نمط عالمي لتنقية عمليات مطابقة بصمات الأصابع. تركز هذه النهج بشكل خاص على ضبط النقطة المركزية والزوايا للانطباع المدروس. تم تقييم فعالية النهج المقترح باستخدام قاعدة بيانات FVC2004 القياسية.

تظهر النتائج فعالية خوارزمية النحل، وهي تقنية ذكاء اصطناعي بارزة ضمن مجال ذكاء السرب، في تحقيق معدل مطابقة ملحوظ يبلغ 97.3%. يؤكد هذا النتيجة فعالية الخوارزمية مقارنة بالأساليب البديلة المستخدمة لأغراض مشابهة.

الكلمات المفتاحية: بصمات أصابع، مطابقة، خوارزمية نحل، ذكاء اصطناعي، ذكاء سرب

1- مقدمة

تعتبر بصمات الأصابع من أهم القياسات الحيوية المعتمدة في محاكم العالم لتطبيق القانون حيث يساعد التعرف على بصمات الأصابع المحققين على تتبع السجل الجنائي للمتهمين. واعتقالاتهم السابقة وإدانتهم، وذلك للمساعدة في إصدار الأحكام والمراقبة، والإفراج المشروط، وقرارات العفو، فعدت بصمات الأصابع أهم دليل علمي في المحاكم القانونية في جميع أنحاء العالم، ولتسهيل عملية البحث عم البصمة ومطابقتها عمل الباحثون على انجاز أنظمة التعرف التلقائي على بصمات الأصابع وتطويرها.

يعتبر هذا البحث من البحوث المنجزة في ذات المجال باختصاص المعلوماتية والتحكم الآلي والحوسيب، حيث تم فيه تكييف خوارزمية النحل ودمجها مع مستخلص الأنماط الشاملة لتحقيق منهجية جديدة في عملية مقارنة بصمة مجهولة الهوية مع مجموعة من البصمات في قاعدة بيانات معيارية متاحة ومطابقتها وتم الحصول على نتائج البحث موضوعة في جداول.

لقد كانت النتائج جيدة في هذه البحث وتمت مقارنة مقارنتها مع نتائج الطرق الأخرى المستخدمة في مطابقة بصمات الأصابع وأعطيت نتيجة المقارنة في هذا البحث.

2- مشكلة البحث

تعتبر المشكلة العامة الأساسية في هذا النوع من الأبحاث هي الحصول على نسبة مطابقة بصمات الأصابع كنتيجة للمقارنة بين بصمتين، والتي يجب أن تكون عالية للانطباع الوارد من نفس الاصبع بغض النظر عن مصدر الانطباع.

من خلال دراسة الأبحاث السابقة وخاصة [15] [5] المعتمدين في مطابقة البصمات على طريقة المسافة الاقليدية تبين وجود بعض المشاكل البحثية التي تؤثر على جودة عملية استخلاص الميزات والمطابقة باعتبار أن المسافة الاقليدية تتطلب ضبط صحيح للنقطة الأساسية وتتأثر بشكل كبير بزوايا الانطباع المدروس، ومنه عمل الباحث على تحسين هذه المشكلة من خلال تكييف خوارزمية النحل ودمجها مع مستخلص الأنماط المتطور عن الطريقة التقليدية (المينوشا) "الاستخراج الميزات الشاملة وإجمالي النقاط التفصيلية وحذف التفاصيل الزائدة".

3- فرضيات البحث

في هذا البحث تم تقسيم منطقة العمل (صورة البصمة) لقطاعات على شكل مصفوفة أبعادها $N*M$ و تم اختيار عدد النحلات الباحثات وفق فرضيات الباحث باستخدام العلاقة $K=(N*M)/4$.

يمثل كل من K' و K'' و K''' الخ، عدد نحلات البحث في كل دورة تتراوح قيمته من 1 إلى K وتكون قيمته متناقصة مع تزايد عدد الدورات.

بينما يمثل a عدد دورات الخوارزمية التكرارية الأعظمية بشرط ألا يتجاوز 100. وهو متغير من أجل كل عملية مطابقة لبصمة ما والذي ينتج عن إيجاد الحل الأمثل بعدد دورات a .

تم التجريب على الجزء DB2-B من قاعدة البيانات FVC2004 المعيارية، وهذا الجزء مؤلف من 10 مجموعات بصمات لعشر أشخاص ولكل شخص 8 بصمات لنفس الاصبع أخذت بوضعية مختلفة باستخدام ماسح ضوئي من نوع Biometrika FX2000 بقياس 296*560-569dpi. وتم قبول كل البصمات التي يكون لها نسبة تشابه أعلى من Threosold (حد القبول) وهو الحد الذي تقبل عنده الحلول الجزئية وفق تعديلات الباحث على خوارزمية النحل ودرس في هذا البحث عندما تكون النسبة أعلى من الواحد (>1) وأصغر من 100.

4- هدف مشروع البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتنفيذ عملية مطابقة بصمات الأصابع بتكليف خوارزمية النحل وتطبيقها وفق المنهجية المقترحة والتحقق من دقة نتائج هذه المنهجية، ومقارنة نتائجها بنتائج الطرق الأخرى التي استخدمت لنفس الغرض.

5- أهمية البحث

تأتي أهمية البحث من أهمية أنظمة التعرف التلقائي على بصمات الأصابع في عصرنا الحالي والعمل المستمر على تطويرها، حيث تم انجاز منهجية جديدة تعمل على التخلص من مشاكل الطرق التقليدية المستخدمة في المطابقة المتمثلة في طريقة استخلاص الميزات العامة وزاوية تسجيل صورة الاستعلام وضبط موقع مركز منطقة الاهتمام (ROI) والتي تؤثر جميعها بشكل كبير على دقة تمييز البصمة والتعرف عليها.

6- مواد وطرائق البحث

تم في هذا البحث اختبار المنهجية المقترحة على قاعدة بيانات FVC2004 الناتجة عن المسابقة الدولية لخوارزميات التحقق من بصمات الأصابع التي نظمت في عام 2004 من قبل مختبر أنظمة القياسات الحيوية (جامعة بولونيا) والمركز القومي للأميري لاختبار الهوية (جامعة سان خوسيه الحكومية) وذلك بعد المعالجة الأولية لبصمات الأصابع باستخدام برنامج MATLAB، كما تم كتابة كود الخوارزمية باستخدام البرمجة بلغة C# على برنامج Visual studio 2022. تم حساب ومقارنة نتائج نسبة المطابقة باستخدام Microsoft Office Excel على المنهجية المقترحة من قبل الباحث على حاسب ذو معالج Intel® Core™ i5-5200U بنظام تشغيل Windows 10 Pro وذاكرة 8GB بتردد 2.20 GHz.

7- مسألة البصمة وخواصها

كانت بصمات الأصابع من أقدم القياسات الحيوية المستخدمة للتحقيق الجنائي، استخدمتها حضارة بابل القديمة منذ 500 عام قبل الميلاد لتمييز المعاملات التجارية وتسجيلها على ألواح الصلصال، كما استخدمتها الحضارة الصينية في العقود التجارية وفي حل المشاكل المتعلقة بإثبات الهوية فكانوا يميزون الأطفال عن بعضهم عن طريق أخذ بصمات أصابع اليد والقدم. وما تزال الطريقة الأكثر شيوعاً بفضل تفاصيلها الفريدة ومجال استخدامها الواسع وموثوقيتها العالية وسهولة تصنيفها وانخفاض تكلفة أنظمة التعرف عليها نسبياً مقارنة مع الأنظمة المعتمدة على أنواع أخرى من القياسات الحيوية.

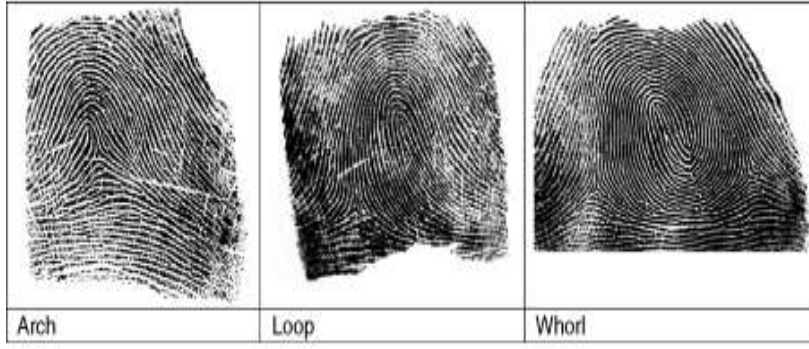
تعرف بصمات الأصابع في علم القياسات الحيوية على أنها نمط النسيج الذي يتكون من التلال المتشابكة والوديان (Hills and Valleys).

في الطب الشرعي بصمة الاصبع هي الانطباع المرئي أو غير المرئي الذي يترك عندما تلامس أصابع الشخص سطحاً ما ويتكون من نمط مميز من التلال والوديان والأقواس والحلقات وغيرها من المميزات التي تساهم في تحديد الهوية. إذا بصمة الاصبع من أهم الأدلة التي يمكن للمرء العثور عليها في مسرح الجريمة، وذلك لسببين رئيسيين:

- 1- يلمس الناس الأشياء باستمرار كل يوم تاركين وراءهم بصمات أصابع.
 - 2- لا توجد بصماتان متماثلتان تماماً. حتى التوائم المتطابقة التي تمتلك نفس الحمض النووي لن يكون لها نمط بصمات الأصابع نفسه حيث تأخذ البصمة شكلها النهائي في الشهر السابع من حياة الجنين وتبقى دون تغير طيلة فترة حياته.
- عمل الباحثون منذ اكتشاف البصمة وحتى اليوم على دراسة أنماط البصمات وتحليل تفاصيلها وذلك بهدف تصنيفها لتسهيل عملية التعرف عليها ومطابقتها.

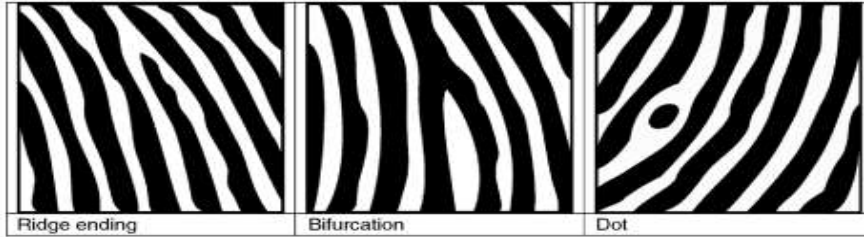
بداية تم تصنيف أنماط التلال إلى ثلاثة أنواع مميزة هي:

1. الحلقات (Loops): هي المطبوعات التي تنحرف مرة أخرى على نفسها لتشكل حلقة وتمثل الحلقات حوالي 60% من أنماط البصمات وتقسم إلى:
 - حلقات نصف قطرية تشير إلى عظم الكعبرة أو الإبهام.
 - حلقات زندية تشير إلى عظم الزند أو الخنصر.
 2. الدوامات (المغازل) (whorls): هي مطبوعات التلال التي تأخذ شكلاً لولبياً مثل الدوامات الصغيرة وتمثل الدوامات حوالي 35% من أنماط البصمات. ولها أربعة أنواع:
 - النمط العادي (دوائر متحدة المركز).
 - حلقة الجيب المركزية (حلقة مع دوامة في نهايتها).
 - حلقة مزدوجة وهي عبارة عن حلقتان تخلق نمط يشبه حرف (S).
 - حلقات عرضية (شكل غير منتظم).
 3. الأقواس (Archs): هي مطبوعات التلال التي تعطي شكلاً شبيهاً بالموجة وتنشئ أقواساً عادية وأقواساً خيمية، حيث ترتفع الأقواس الخيمية إلى نقطة أكثر حدة من الأقواس العادية.
- وتمثل الأقواس حوالي 5% فقط من أنماط البصمات. [16]



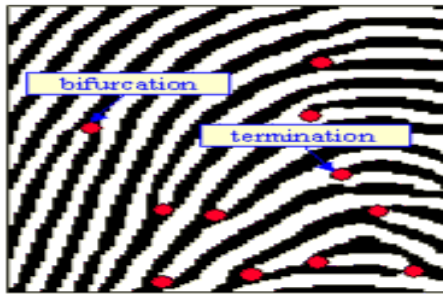
الشكل (1): القوس – الحلقة – الدوامة [14]

يكشف الفحص التفصيلي لجلد سلسلة الاحتكاك أيضاً أن مسار الحواف (التلال) لا يكون مستمراً عبر كامل سطح الإصبع، بعض الحواف (التلال) تتدفق وتنتهي فجأة وتسمى نهاية الحواف (Ridge Ending) أو النهايات (Terminations)، بينما تتدفق الحواف الأخرى وتنقسم إلى حافتين منفصلتين ومتميزتين وتسمى تشعب الحواف أو التشعبات (Ridge Bifurcation)، وبعض النتوءات تكون واسعة وتسمى نقاط. [14]



الشكل (2): النهايات – التشعبات – النقاط [14]

ويسمى المركز التقريبي لانطباع البصمة بالنواة، وتسمى المنطقة الصغيرة حيث تلتقي ثلاث تدفقات من التلال لتشكل نمط مثلث الشكل ب (دلتا). حيث لا تحوي الأقواس على دلتا، وتحوي الحلقات دلتا واحدة، وتحتوي الدوامات على 2 دلتا. يشار إلى هذه التغيرات في سلسلة التلال على أنها خصائص أو تفاصيل دقيقة (Minutiae) وتستخدم علاقة التفاصيل مع بعضها البعض ضمن منطقة محددة لتكوين انطباع سلسلة الاحتكاك اللازمة لمقارنة بصمات الأصابع وتحديد الهوية. [14]



الشكل (4): النهايات – التشعبات [12]

الشكل (3): النهايات – النواة – التشعبات – الدلتا.

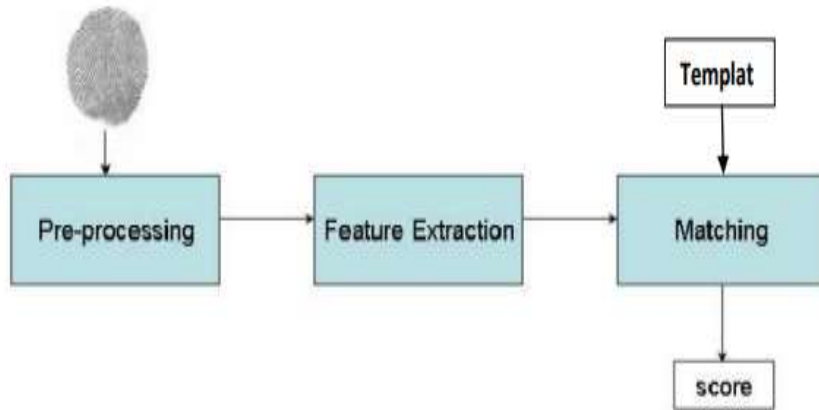
يعد تصنيف بصمات الأصابع مشكلة صعبة للغاية تزامناً مع أهميتها الكبيرة في عملية التعرف على الأنماط وذلك بسبب التباين الصغير بين الطبقات والتنوع الكبير داخل الصنف والضوضاء والخصائص الكامنة لبصمات الأصابع. يمكن أن يلعب نهج التصنيف دوراً كبيراً في تقليل عدد عمليات المقارنة أثناء المطابقة وبالتالي تقليل وقت الاستجابة لعملية تحديد الهوية. تعتبر طريقة هنري للتصنيف هي الأشهر والأكثر استخداماً وتتكون من ثماني تصنيفات هي [12]:

| | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| الدوائر العادية (Whorls). | الدوائر المزدوجة (Double whorls). | الحلقات اليسارية. |
| الدوائر المركزية (Central whorls). | الأقواس العادية. | الحلقات اليمينية. |
| الدوائر العرضية (Transverse) | الأقواس الخيمية. | |

يسمح نظام هنري للتصنيف بالتصنيف المنطقي لسجلات بصمات الأصابع العشر في مجموعات أولية بناء على أنواع أنماط بصمات الأصابع المذكورة سابقاً. يقلل هذا النظام من الجهد اللازم للبحث في أعداد كبيرة من سجلات بصمات الأصابع عن طريق تصنيف سجلات بصمات الأصابع وفقاً للخصائص الفيزيولوجية الاجمالية.



الشكل (5): (a) قوس الخيمة (b) القوس (c) الحلقة اليمى (d) الحلقة اليسرى (d) الدائرة [12]
تعد معالجة البصمات ومطابقتها من الأجزاء الرئيسية في نظام التعرف الآلي على بصمات الأصابع.
اقترح الباحثون طرق مختلفة لمطابقة بصمات الأصابع التلقائية وجميعها تقريباً تعتمد على التفاصيل الدقيقة.



الشكل (6): الأجزاء الرئيسية لنظام التعرف الآلي على بصمات الأصابع [12]

تنقسم مشكلة التحقق من بصمات الأصابع إلى ثلاث مهمات رئيسية هي:

- المعالجة الأولية لصورة البصمة.
- استخراج التفاصيل الدقيقة.
- مطابقة التفاصيل الدقيقة. [12]

4. الطرق المستخدمة في مطابقة بصمات الأصابع

هنالك أيضاً الكثير من الخوارزميات المعتمدة في مطابقة بصمات الأصابع والتعرف عليها والتي يمكن تصنيفها إلى نمطين؛ تقليدية

[1,4,7,10,19]، وتجريبية [5,15,2,6,8,11,17,18]

عمل الباحث في [5] على استخراج التفاصيل الدقيقة باستخدام الطريقة التقليدية (المينوشا) وتمت المطابقة باستخدام طريقة

المسافة الاقليدية. لم تكن النتائج العامة جيدة خاصة مع صور بصمات الأصابع ذات الجودة المنخفضة، لوجود الكثير من الضوضاء والخدوش التي أدت إلى نقاط تفصيلية زائفة.

في [15] عمل الباحث على تحسين دقة المطابقة بطريقة المسافة الاقليدية وذلك باستخدام كاشف الميزات الشاملة المتطور عن (المينوشا) لاستخراج النهايات والتشعبات واجمالي النقاط التفصيلية وتصفية التفاصيل الزائفة بشكل موثوق مما أدى إلى تقليل أبعاد صورة البصمة وبالتالي تقليل التعقيد الحسابي وتحسين نتائج المطابقة.

قدم الباحث [2] تقنية سريعة للتعرف على بصمات الأصابع باستخدام ANN. تُظهر نتائج التجارب أن نهج البحث هذا مع ANN مناسب لمطابقة بصمات الأصابع في قواعد البيانات الكبيرة. حقق المخطط المقترح ذاكرة أقل وتعقيداً أقل لأنه يلي متطلبات وقت الاستجابة لأنظمة التحقق عبر الإنترنت نظراً لاستهلاكه أقل وقت الحساب في كل من مراحل استخراج الميزات والمطابقة. علاوة على ذلك، فقد حسّن كلاً من معدل القبول الحقيقي ومعدل الرفض الخاطئ.

قدم المؤلف في [8] منهجية جديدة لاستخراج الميزات و التقييم في نظام التعرف على بصمات الأصابع باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية بعد عمليات معالجة صورة البصمة، وتم تقييم خوارزمية النظام في قاعدة بيانات UPEK و FVC2000 والدقة 95.57% و 91.38% في كل منهما على التوالي.

استخدم الباحثون في [18] الخوارزمية المعتمدة على التفاصيل الدقيقة Minutia لمطابقة بصمات الأصابع وذلك بعد تحسين الصورة باستخدام مرشحات السطوع وغابور ومعالجتها باستخدام خوارزمية Zhang Suen. بينت النتائج أن هذه الطريقة هي الأكثر حساسية ودقة في كشف ومطابقة البصمات.

في [17] قدم الباحث نظام ذكي للتعرف التلقائي على بصمات الأصابع باستخدام دمج الميزات بواسطة مرشح Gabor والتعلم العميق " للمصادقة تلقائياً على بصمة الإصبع لتحديد الهوية والتحقق من الهوية الشخصية. أظهرت التجارب التي تم إجراؤها باستخدام قواعد البيانات العامة القياسية أن النهج المقترح أظهر أداءً أفضل فيما يتعلق بالدقة (99.87%) مقارنة بتقنيات التصنيف الأحدث مثل Support Vector Machine (97.86%) أو Random Forest (95.47%). ومع ذلك، أظهرت الطريقة المقترحة أيضاً دقة أعلى مقارنة بأساليب التحقق الأخرى مثل K-fold (98.89%) والتعميم (97.75%).

اقترح الباحثون في [11] تطبيق الشبكة العصبونية السيامية للتعرف على بصمات الأصابع وبتقييم الطريقة المقترحة أظهرت النتائج أن دقة الخوارزمية المقترحة تصل إلى 92%، بالمقارنة مع طرق مطابقة بصمات الأصابع التقليدية.

قدم الباحثان في [6] طريقة لمطابقة بصمات الأصابع اعتمدت على أتمته سلوك خبير بشري بفحص العلاقات الموضوعية المحلية بين التفاصيل المحلية يدوياً، وتأكيد المطابقة أخيراً باستخدام الهيكل العام الفريد للبصمة. الهيكل المحلي للتفاصيل الدقيقة يتكون من الاتجاه والموقع بالنسبة إلى التفاصيل الأخرى. يمكن للهيكل المحلي أن يتحمل تشوه معقول في صورة البصمة لأنه يتكون من مساحة صغيرة فقط من البصمة ولذلك يمكن استخدام الهياكل المحلية مباشرة للمطابقة. وتم التأكيد على أنه يمكن تخفيض قيم معدل القبول الخاطئ FAR ومعدل الرفض الخاطئ FRR إذا تم ضمان وجود كمية كافية من المنطقة المشتركة (أكبر من 60%) من القالب وبصمة الادخال.

في [19] قدم الباحثان نهجاً جديداً لمطابقة بصمات الأصابع مستنداً إلى الخوارزمية الجينية (GA) في محاولة لإيجاد الطريقة الأفضل للتعامل مع صور بصمات الأصابع منخفضة الجودة. أظهرت النتائج التجريبية أن هذا النهج يحقق أداء جيد على قاعدة البيانات Nist-4 حتى لو كانت نسبة كبيرة من بصمات الأصابع في قاعدة البيانات ذات جودة رديئة. إحدى مشاكل الخوارزمية الجينية (GA) هي أن زمن حساب التطور يمكن أن يكون طويلاً وبالتالي هذه الخوارزمية لا تلي متطلبات تطبيقات الزمن الحقيقي.

في المرجع [4] اقترح الباحثان خوارزمية جديدة لتحسين مستعمرة النمل لإقامة مطابقة دقيقة لبصمات الأصابع ذات التشوه الكبير. أثبتت النتائج التجريبية أن هذه الخوارزمية يمكن أن تعمل بشكل فعال على تحسين أداء مطابقة بصمات الأصابع ذات التشوه الكبير المكتسبة من أجهزة استشعار متباينة.

اعتمد الباحث في [1] على خوارزمية تحسين اليراع Firefly Optimized Algorithm (FOA) في المصادقة وأعطت الخوارزمية نتائج دقيقة جداً في هذا المجال تراوحت بين 96.36% و 100% عند تطبيقها على قواعد البيانات FCV2002 و FCV2004 و FCV2006.

بينما قدم الباحثان في [10] نهجاً ألياً بتجهيز خوارزمية البحث عن الوقواق وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات مع التقييم باستخدام قاعدة البيانات البحثية لقاعدة البيانات الخاصة Nist-27. حققت الخوارزمية الهجينة المقترحة معدل التعرف المتوسط بنسبة 91.38%.

قدم الباحثون في [7] نظام متعدد المقاييس الحيوية لدمج ميزات بصمة الإصبع ذاته المستخرجة من نفس المستشعر أو من مستشعرات مختلفة وبأوضاع مختلفة معتمدين على خوارزمية النحل الأساسية لتفادي مشكلة الحجم الكبير لمتجه الميزات الناتج عن الدمج. حيث قللت الخوارزمية المقترحة تكلفة التخزين ووقت التصنيف وبالتالي وقت التعرف على بصمات الأصابع.

9. مطابقة بصمات الأصابع بتكليف خوارزمية النحل

9.1 خوارزمية النحل (ABC)

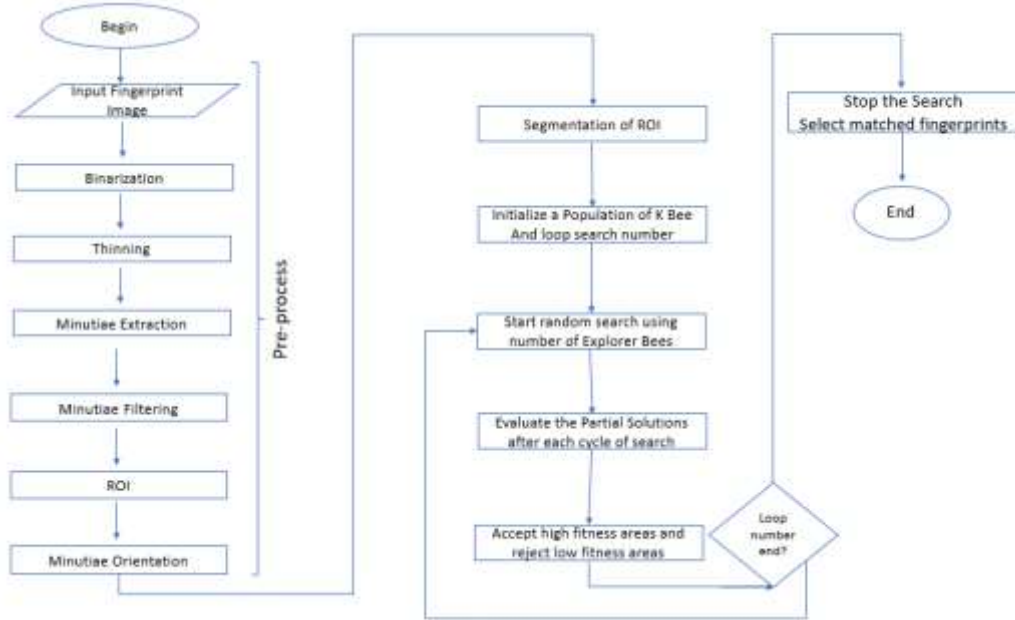
هي النهج الذي تم استخدامه لإيجاد الحل الأمثل لمشاكل التحسين العددي. هذه الخوارزمية مستوحاة من سلوك نحل العسل عند البحث عن مصدر غذاء عالي الجودة. مخطط ABC هو أسلوب بحث عشوائي بسيط وسريع يعتمد على السكان. [20] جذبت أبحاث ABC مؤخراً الكثير من الباحثين من مختلف أنحاء العالم وتم الإبلاغ عن 80 منشوراً على ABC فقط في عام 2011 وفقاً لسجل Scopus. يستكشف باحثون مختلفون مجالات تطبيق الهندسة والعلوم والطب باستخدام ABC. تعتبر خوارزمية ABC من أفضل الطرق التي تستخدم لاختبار البرمجيات والتي تتميز بكفاءتها من حيث استهلاكها لأقل وقت ممكن وسهولة تنفيذها مقارنة بالخوارزمية الجينية. فهناك بعض المشاكل التي تواجهها الخوارزمية الجينية تم حلها من قبل خوارزمية ABC حيث ان الخوارزمية الجينية تتضمن عدم وجود تخزين أي (التذكر memorization) والتأخر في التقارب للحل. [20][3]

تعتمد هذه الخوارزمية على عدد النحل في المجتمع، مكان الغذاء يمثل حل محتمل للمسألة، وكمية الرحيق تتطابق مع جودة الحل بينما يمثل عدد النحل العاملات عدد الحلول.

تعتمد هذه الخوارزمية على حجم الخلية (عدد النحل) حيث يقسم سرب النحل الى 50% نحللات عاملات و50% نحللات كشافة وعدد المتفرجات يساوي الواحد. كما أن عدد النحللات العاملات يساوي عدد الحلول [9]

9.2. المنهجية المقترحة

تنقسم المنهجية المقترحة في هذا البحث إلى مرحلتين أساسيتين، المرحلة الأولى تعمل على معالجة صورة البصمة المدخلة رقمياً وتمييز التفاصيل لتتم مطابقتها في المرحلة الثانية باستخدام خوارزمية النحل ABC (Artificial Bee Colony). وفق الشكل (7).



الشكل (7): المخطط التدفقي للمنهجية المقترحة في البحث.

9.2.1. المعالجة الأولية لصورة البصمة Preprocessing

تم العمل بداية على المعالجة الأولية لصورة البصمة رقمياً باستخدام برنامج MATLAB وفق خطوات متسلسلة كالتالي:

1. Binarization

بما أن صور البصمات في قاعدة البيانات المختارة هي صور ذات تدرج رمادي (Grayscale) فالخطوة الأولى من المعالجة المسبقة هي تحويل تلك الصور لصور مرمزة ثنائياً (Binary) بحيث يتم تمييز الحواف الموجودة في البصمة باللون الأسود بينما تكون الأخاديد بيضاء. الشكل (8-a)

2. Thinning

ترقيق الحواف (التلال) للتخلص من وحدات البكسل الزائدة وذلك لتقليل سُمك جميع الخطوط حتى يبلغ عرض الحواف (التلال) بكسل واحد فقط. الشكل (8-b)

3. استخراج التفاصيل (Minutiae extraction)

يكشف الفحص التفصيلي لجلد سلسلة الاحتكاك أيضاً أن مسار الحواف (التلال) لا يكون مستمراً عبر كامل سطح الإصبع، بعض الحواف (التلال) تتدفق وتنتهي فجأة وتسمى نهاية الحواف (النهايات) (Terminations) (Ridge Ending)، بينما تتدفق الحواف الأخرى وتنقسم إلى حافتين منفصلتين ومتميزتين وتسمى تشعب الحواف (التشعبات) (Ridge Bifurcation)، وبعض النتوءات تكون واسعة وتسمى نقاط. الشكل (8-c) و (8-d). يتم في هذه المرحلة استخلاص الميزات الأساسية (النهايات والتشعبات) من صورة البصمة وذلك بغية تقليل كلفة الحساب والمعالجة واستخدام ذاكرة الحاسب أثناء عملية المطابقة

4. فلتره التفاصيل (Minutiae filtering)

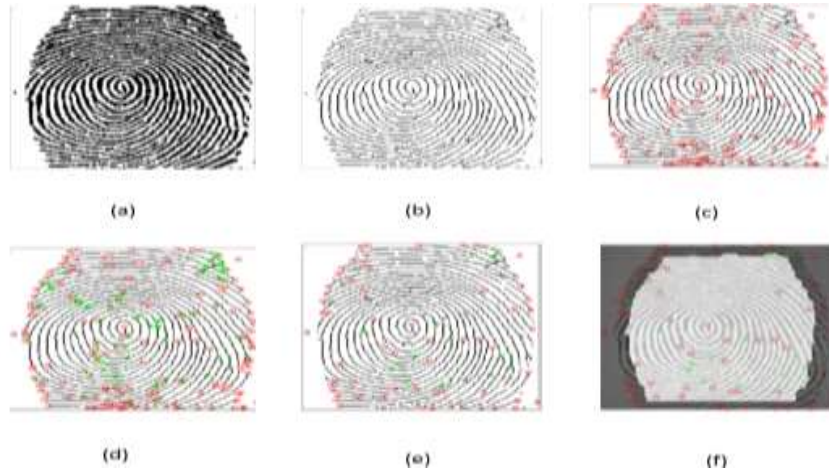
تتم إزالة التفاصيل الزائفة باستخدام 3 عمليات:

- إذا كانت المسافة بين النهاية و التشعب أصغر من D فإننا نزيل هذه التفاصيل الصغيرة.
- إذا كانت المسافة بين تشعبين أصغر من D فإننا نزيل هذه التفاصيل الصغيرة .
- إذا كانت المسافة بين نهايتين أصغر من D فإننا نزيل هذه التفاصيل. الشكل (8-e)

5. تحديد منطقة الاهتمام (Region of Interest ROI)

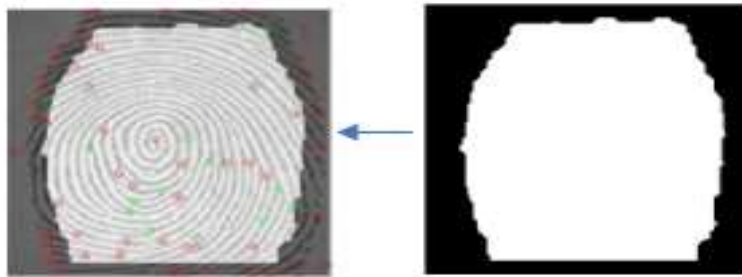
هذا الاجراء يفصل بين بصمة الإصبع الأمامية ومنطقة الخلفية نظراً لأن استخراج الميزة والمطابقة يقتصر على منطقة الاهتمام

بدلاً من صورة البصمة بأكملها. الشكل (9)



الشكل (8): المعالجة الأولية لصورة البصمة

(a) الترميز الثنائي – (b) التخفيف (الترقيق) – (c) استخراج النهايات – (d) استخراج التشعبات – (e) فلتره التفاصيل – (f) تحديد منطقة الاهتمام.



الشكل (9): منطقة الاهتمام (ROI)

6. توجيه التفاصيل الدقيقة (Minutiae orientation)

بمجرد أن نحدد التفاصيل الدقيقة المختلفة، علينا أن نجد اتجاه كل منها. إذ يعد حساب الاتجاه أمراً بالغ الأهمية في عملية

المطابقة.



Bifurcation Orientation



Termination Orientation

الشكل (10) : تحديد اتجاه التفاصيل الدقيقة

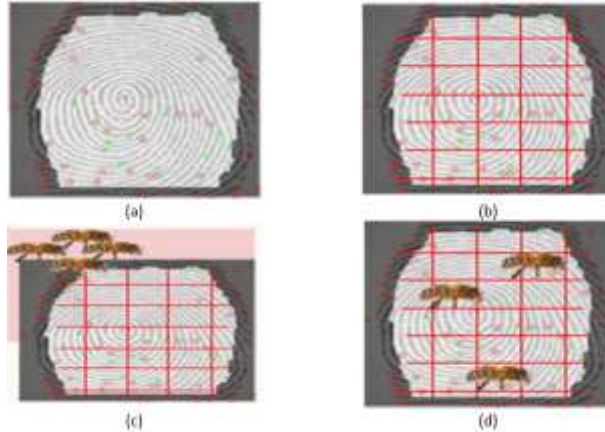
بالطرق التقليدية تم أولاً استخلاص الميزات من بصمات الأصابع إما باستخدام كاشف النقاط الدقيقة (المينوشا) [5] والذي أثبت عدم دقته مع صور البصمات ذات الجودة المنخفضة، أو باستخدام كاشف الأنماط و إجمالي التفاصيل الدقيقة المتطور عن (المينوشا) [15] والذي أعطى نتائج أفضل ومن ثم تمت عملية تمييز البصمة والمطابقة باستخدام طريقة المسافة الاقليدية و الجدير بالذكر هو تأثير المسافة الاقليدية بالزاوية ففي حال تم تسجيل صورة الاستعلام من زاوية مختلفة فإن المطابقة بين صورة الادخال وصورة الاختبار تصبح صعبة للغاية إذ يجب ضبط النقطة الأساسية في صور البصمات بشكل صحيح للحصول على نتائج دقيقة. إضافةً إلى أن المسافة الاقليدية تتطلب مسح لكامل صورة البصمة وتحديد مواقع الميزات لرسم خريطة المعالم ومطابقتها مما يزيد بشكل واضح التكلفة الحسابية وبالتالى الزمنية لعملية المطابقة.

ومن أجل زيادة سرعة وفعالية عملية المطابقة تم استخدام خوارزمية النحل وتكييفها ودمجها مع كاشف الأنماط المتطور عن

(المينوشا). وذلك لتميز خوارزمية النحل بسرعة التقارب للحل الأمثل نظراً لعشوائية البحث عن الحلول ضمن منطقة العمل.

9.2.2 المطابقة بالاعتماد على المنهجية المقترحة بتكييف خوارزمية النحل (ABC)

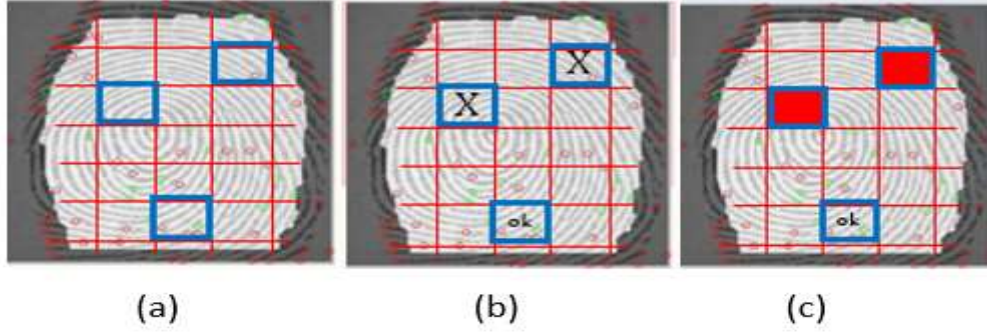
- 1- تحديد منطقة العمل بعد المعالجة الأولية لصورة البصمة والتي تحدد المنطقة الفعالة ROI. الشكل (11-a)
- 2- تقسيم منطقة العمل إلى قطاعات متساوية الأبعاد تمثل مصفوفة $N*M$ حيث يمثل عدد القطاعات البارامتر (1) في الخوارزمية. الشكل (11-b)
- 3- تجهيز عدد من النحل K يمثل النحل المستكشفة للمنطقة حيث تم اختيار عدد K من نحل البحث يحدد عدده وفق: $K=(N*M)/4$ حيث يمثل K البارامتر (2). الشكل (11-c)
- 4- البدء بالبحث عشوائياً لمجموعة B من النحل. يتم البحث ضمن منطقة العمل ضمن جزء من القطاعات حيث تم اختيار عدد نحل البحث من 1 إلى K بشكل عشوائي ويمثل العدد B و C البارامتر (3) وهو عدد النحل في كل دورة بحث. الشكل (11-d)



الشكل (11): تقسيم منطقة العمل الى قطاعات والبدء بالبحث عشوائياً باستخدام عدد B من النحل.

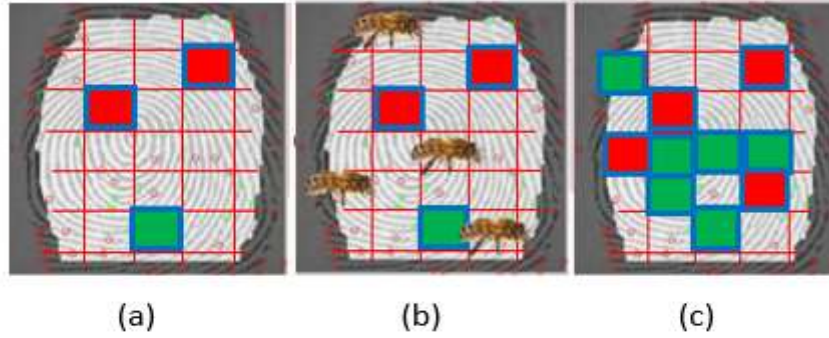
- 5- تقييم الحلول الجزئية لنحل البحث بعد كل دورة من عمليات البحث.

حيث تتم عملية التقييم وفق عتبة المينوشا للحلول الجزئية المقدمة في منطقة العمل والعتبة هنا مأخوذة من الطريقة التقليدية (المينوشا) وتعبر عن العدد الأصغر المقبول من التفاصيل الدقيقة الموجود ضمن القطاع. الشكل (12-a)
 -6 تستبعد المناطق ذات التشعبات والنهايات وفق بارامتر يحدد العدد الأدنى الذي تستبعد عنده المناطق. الشكل (12-b) و(12-c)



الشكل (12): تقييم الحلول الجزئية واستبعاد المناطق الأقل جودة.

- 7 تثبيت المناطق ذات جودة الحلول الجيدة واستبعاد المناطق من عمليات البحث في المرحلة التالية. الشكل (13-a)
 -8 تبدأ دورة عملية بحث جديدة للمناطق التي لم يتم زيارتها، كذلك الأمر بشكل عشوائي وبعدها C من النحلات. الشكل (13-b)
 -9 تقييم الحلول الجديدة و تثبيت المناطق ذات الجودة العالية. الشكل (13-c)



الشكل (13): دورة جديدة من البحث وحلول جديدة.

- 10 توقف عمليات البحث عندما تحقق نسبة تطابق بين البصمة المجهولة والبصمات في قاعدة بيانات البحث نسبة معينة.

نتائج البحث

FVC هي قواعد البيانات الناتجة عن المسابقة الدولية لخوارزميات التحقق من بصمات الأصابع التي نظمت في عام 2000 من قبل مختبر أنظمة القياسات الحيوية (جامعة بولونيا) و المركز القومي الأميركي لاختبار الهوية (جامعة سان خوسيه الحكومية). كان الاصدار الأول في عام 2000 ثم تم تنفيذ 3 إصدارات أخرى كل عامين: FVC2002, FVC2004, FVC2006. من أجل اختبار المنهجية المقترحة تم تطبيقها على قاعدة البيانات FCV2004 والتي تحوي على أربع مجموعات DB1 و DB2 و DB3 و DB4 حيث كل مجموعة تعبر عن حساس من نوع مختلف بمواصفات مختلفة. الصور في كل مجموعة لبصمات أصابع من نفس الأشخاص حيث أخذت كل بصمة على أربع حساسات وكل بصمة أخذت على كل حساس بثمانتي حالات مختلفة. [13]
 تم الدراسة والتجريب على المجموعة DB2-B وهي مؤلفة من 10 مجموعات بصمات لعشر اشخاص و كل شخص له 8 بصمات لنفس الاصبع أخذت بوضعية مختلفة ، حيث تمت مطابقة كل بصمة من القاعدة DB2-B مع كل البصمات فيها.
 عند دراسة الجداول التي تنتج عن مقارنة البصمات فإن القيم التي تستخدم لتحليل الجداول عند المطابقة هي:

- البصمات المتطابقة Matching fingerprints
- البصمات غير المتطابقة Non-Matching fingerprints
- النسبة المئوية للمقارنة % Comparison Percentage (CP)
- نسبة التطابق Match Ratio (MR)
- نسبة القبول الخاطئ False Acceptance Rate (FAR)
- نسبة التطابق الحقيقية True Match Ratio (TMR)
- نسبة الرفض Rejection Rate (RR)
- القيمة الدنيا للتشابه The Minimum Value of Similarity (MVS)

• القيمة العظمى للتشابه The Great Value of Similarity (GVS)

نعرف كلا من هذه القيم، حيث:

1. البصمات المتطابقة: هي كل البصمات التي يكون لها نسبة تشابه أعلى من (حد القبول) وهو الحد الذي تقبل عنده الحلول الجزئية وفق خوارزمية النحل وهنا درس عندما تكون النسبة أعلى من الواحد (>1).

$\forall (\text{matching\% of 2 fingerprints}) > \text{Bee algorithm thresold} \Rightarrow \text{fingerprint acceptable}$
تجدر الإشارة أن سلوك الخوارزمية يعطي تطابقات شاذة وهذه التطابقات لا يمكن اعتمادها حيث ينتج نسبة تطابق لها أكبر 100% ويكون فيها عدد matching minutiae مساوي إلى 1، هذه التطابقات الشاذة لا يمكن إدخالها في الحسابات لذا تحذف من نتائج عمليات المطابقة. كما يوضح الجدول (7) لمطابقة البصمة 7-101 مع بصمات المجموعة DB2.

2. البصمات غير المتطابقة: أي بصمة لا تحقق الحد وفق خوارزمية النحل فهي غير مقبولة (أصغر من 1).

3. النسبة المئوية للمقارنة %: وتعرف هذه النسبة لكل عملية مقارنة للبصمة التي تتم مقارنتها مع بصمة أخرى. والقيم بنسبة المطابقة المئوية التي يكون قيمتها أكبر من 1 (>1) هي البصمات المطابقة والتي يدخل عددها في حساب "نسبة التطابق" وفق العلاقة:

$$\text{matching\%} = \text{similarity} * 100$$

يمكن حساب النسبة المئوية من خلال normalization لقيم ال similarity من العلاقة التالية:

$$\text{Normalized(matching\%)} = \frac{\text{similarity} * 100}{\text{Max(similarity)} - \text{Min(similarity)}}$$

في هذه الحالة تصبح البصمة ذات القيمة 100% هي البصمة ذات التطابق الأعلى والتي يتم تحديدها كبصمة مطابقة، وكل القيم التي أكبر من 100% هي قيم مرفوضة. مبينة في الجدول (2) للبصمة 2-101.

4. نسبة التطابق: هي النسبة التي تحسب من خلال تحقيق مطابقة كل بصمة مع عدد البصمات المرتبطة بها. أي أن البصمة 101 مرتبطة مع البصمات من 1-101 إلى 8-101 وعددها 8 بصمات فتكون نسبة التطابق 100% إذا تحقق مطابقة البصمة المقارنة مع 8 بصمات من المجموعة الكلية. لكن العدد 8 والذي يعبر عن عدد البصمات المرتبطة ضمناً يجب أن يكون من مجموعتها. ولكن يتبين أن العدد من الممكن أن يحوي 8 بصمات ولكن يوجد بصمات ليست من مجموعتها. ومن أجل هذا السبب يعرف ما يسمى نسبة القبول الخاطئ. كذلك عندما تكون النسبة أكثر من 100% فإنه حكماً هناك بصمات تتبع للقبول الخاطئ. وتحسب من خلال العلاقة التالية:

$$\text{matching rate\%}$$

$$= \frac{(\text{Count (fingerprint matching\% > 1)} - \text{Count (fingerprint\% \le 100)}) * 100}{\text{number of finger print for one person in Finger print Group}}$$

حيث:

$$\text{number of finger print for one person in Finger print Group} = 8$$

5. نسبة القبول الخاطئ: هي البصمات التي حققت تطابق وفق (حد القبول) وهي ليست بصمات من مجموعة الشخص نفسه. وهي تحسب كنسبة من عدد بصمات الشخص والتي هي 8.

6. نسبة التطابق الحقيقية: هي عبارة عن نسبة البصمات المتطابقة منقوصاً منها نسبة القبول الخاطئ.

$$\text{الخاطئ القبول نسبة} - \text{الكلية التطابق نسبة} = \text{الحقيقية التطابق نسبة}$$

7. نسبة الرفض: هي النسبة عندما تكون البصمة موجودة ولا يتم كشفها أو إيجاد تطابق لها رغم وجود بصمات لنفس الشخص وهي من خارج قاعدة البيانات. وتحسب من عدد البصمات الموجودة لنفس الشخص والتي يبلغ عددها 8.

وتستخدم هذه النسبة عندما نبحث عن تطابق لبصمة بالأساس غير موجودة بشكل مباشر واخذت لاحد الأشخاص في المجموعة ولكنها ليست من ضمن ال 8 بصمات الخاصة بالشخص نفسه.

8. القيمة العظمى للتشابه: هي أكبر قيمة بين قيم ال "النسبة المئوية للمقارنة %" أو matching%.

9. القيمة الدنيا للتشابه: هي أصغر قيمة بين قيم ال "النسبة المئوية للمقارنة %" أو matching%.

نعرض بعض جداول المقارنات، حيث يبين الجدول (2) مقارنة البصمة 2-101 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B والجدول (3)

مقارنة البصمة 7-101 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B والجدول (4) مقارنة البصمة 8-101 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

والجدول (5) مقارنة البصمة 102-3 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B والجدول (6) مقارنة البصمة 102-6 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B. وهذه الجداول تعرض كعينة من عمليات المقارنة الكاملة لهذه التجربة.

لاختبار الخوارزمية كما ذكرنا فإننا نختبر ونجري مطابقة للبصمة مع كل البصمات في مجموعتها، البصمة 101 هي بصمة لشخص محدد وينتهي له البصمات من (101-8 → 101-1) والبصمات الأخرى لأشخاص آخرين ومرتبطة بنفس الصيغة، أي الشخص 2 فإن بصمته تكون 102 وتنتهي له البصمات (102-8 → 102-1) وعدد الأشخاص في المجموعة DB2-B من القاعدة FCV2004 هو عشرة أي الشخص العاشر بصماته تحمل الرقم 110-x. من خلال مطابقة كل بصمة مع البصمات الأخرى فإننا نحصل على رقمين، الأول هو نسبة التشابه similarity والثاني هو المميزات المتطابقة بين البصمتين matching minutiae. ونذكر أن البصمات 101-x التي تنتهي لـ DB1-B والبصمات 101-x التي تنتهي لـ DB2-B هي لنفس الشخص لكن مأخوذ بحساس مختلف.

من أجل عرض النتائج نكتفي بعرض بعض حالات المقارنة التي تبين أغلب حالات النتائج التي مرت بها المنهجية المتبعة من خلال مجموعة من الجداول لبصمات محددة والتي هي 101-1 و 101-4 و 101-8 و 103-2 و 103-3 و 103-7 و 105-4 و 107-2 من المجموعة DB2-B للقاعدة FCV2004

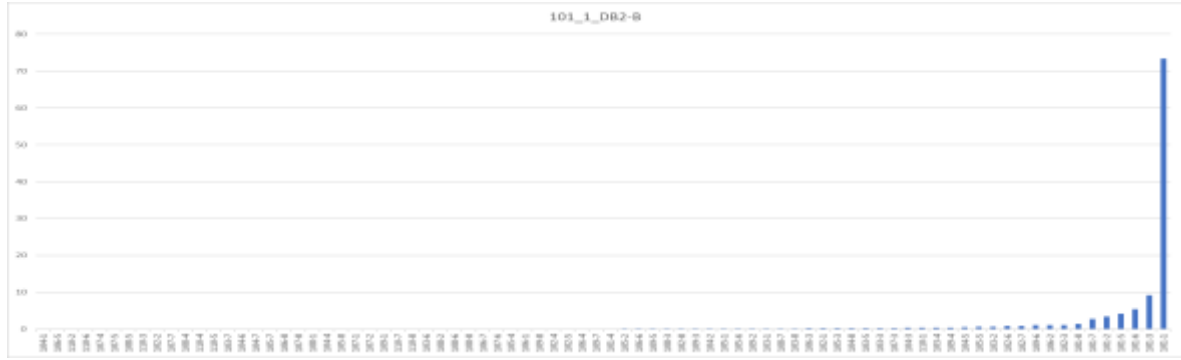
يبين الجدول (1) مقارنة البصمة 101-1 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B ومن خلال هذا الجدول والجداول اللاحقة نبين أداء المنهجية في عملية المطابقة.

الجدول (1): مقارنة البصمة 101-1 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 101-1 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | Similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 104-1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 106-5 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.212368887 | 0.89 | 102-7 | 0.0089 | 5 |
| 1.389456477 | 1.02 | 109-6 | 0.0102 | 10 |
| 1.430322844 | 1.05 | 106-2 | 0.0105 | 4 |
| 1.512055578 | 1.11 | 102-3 | 0.0111 | 7 |
| 1.852608636 | 1.36 | 101-8 | 0.0136 | 7 |
| 3.74608364 | 2.75 | 101-7 | 0.0275 | 8 |
| 4.617899469 | 3.39 | 101-2 | 0.0339 | 13 |
| 5.639558643 | 4.14 | 101-5 | 0.0414 | 13 |
| 7.43767879 | 5.46 | 101-6 | 0.0546 | 13 |
| 12.58684103 | 9.24 | 101-3 | 0.0924 | 13 |
| 100 | 73.41 | 101-1 | 0.7341 | 29 |
| | البصمات الغير مطابقة | 3 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1 | 7 | | |
| | | Max | 0.7341 | 73.41 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 87.50% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 37.5% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

من خلال دراسة الجدول (1) الذي تمت فيه مقارنة البصمة 101-1 مع بصمات القاعدة فإنه نتج من الخوارزمية 10 بصمات ضمن المجال 1 إلى 100 والتي يفترض أنها لبصمات متطابقة، لكن في الحقيقة يوجد ثلاث ليست لنفس الشخص وهي البصمات 102-3 و 106-2 و 109-6 وهي تمثل نسبة قبول خاطئ للبصمات 37.5% وبالرغم من ذلك فإن البصمة الأساسية طابقت 7 من بصمات مجموعة الشخص والتي هي من 101-1 إلى 101-8 باستثناء البصمة 101-4 وحققت نسبة 87.50% والذي يبين أداء المنهجية المقترحة بالوصول

للبيصمة المطلوبة والتي تكون بأعلى نسبة مئوية. من خلال قراءة الجدول فإن كل القيم التي تكون أكبر من الحد ($1 < 100$) هي بصمات متطابقة لكن نلاحظ ان القيم حقيقية صغيرة عند البصمات الأقل تطابقاً وتزداد بالتدرج للوصول لنفس البيصمة التي حققت أعلى نسبة مئوية للتطابق وتكون أقل من 100% والتي هي نفس البيصمة. والموضحة في الشكل (14). يمكن زيادة الحد لمجال الكشف وذلك لتقليص نسبة البصمات المتطابقة لكن من خلال التجارب تبين أن القيمة ($1 < 100$) أعطت نتائج جيدة.

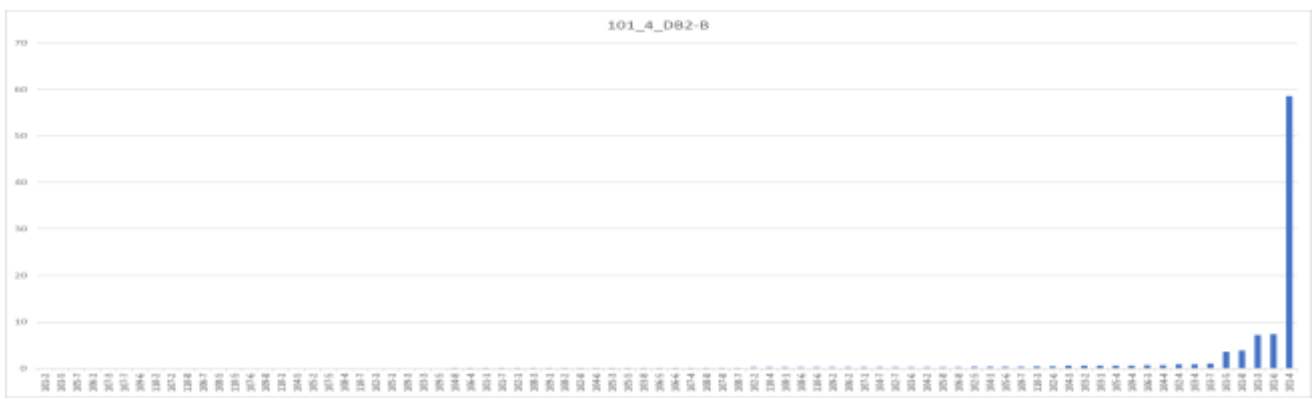


الشكل (14): النسب المئوية لمقارنة البيصمة 101-1 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B ونتيجة لعدم ظهور البيصمة 101-4 فإننا ندرس جدول المقارنة الخاص بها لتبيان عملية مقارنتها مع البصمات الأخرى.

الجدول (2): مقارنة البيصمة 101-4 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البيصمة 101-4 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البيصمة المقارن معها | similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 101-2 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 103-5 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.485655738 | 0.87 | 103-4 | 0.0087 | 2 |
| 1.861338798 | 1.09 | 103-7 | 0.0109 | 2 |
| 6.096311475 | 3.57 | 101-5 | 0.0357 | 4 |
| 6.642759563 | 3.89 | 101-8 | 0.0389 | 9 |
| 12.29508197 | 7.2 | 101-3 | 0.072 | 10 |
| 12.5170765 | 7.33 | 101-6 | 0.0733 | 11 |
| 100 | 58.56 | 101-4 | 0.5856 | 20 |
| | البصمات الغير مطابقة | 1 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1 | 5 | | |
| | | Max | 0.5856 | 58.56 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 62.50% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 12.5% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

يتبين من خلال جدول المقارنة للبيصمة 101-4 نجاح عملية المقارنة وتحقيقها للتطابق مع مجموعة من البصمات والتي عددها 6



بصمات و5 بصمات من مجموعتها وبصمة وحيدة ليست من المجموعة والتي لها النسبة المئوية الأصغر وهي البصمة 7-103 والتي تعطي قبول خاطئ بنسبة 12.5%.

الشكل (15): النسب المئوية لمقارنة البصمة 4-101 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

نعرض باقي عمليات المقارنة لعرض الحالات الأخرى، نبين الجدول للبصمة 8-101 ونتائج عملية المطابقة الخاصة بها.

الجدول (3): مقارنة البصمة 8-101 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 8-101 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|--------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 106-1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 106-7 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.672520488 | 1 | 101-1 | 0.01 | 6 |
| 1.806322127 | 1.08 | 109-8 | 0.0108 | 7 |
| 6.5061047 | 3.89 | 101-4 | 0.0389 | 9 |
| 100 | 59.79 | 101-8 | 0.5979 | 31 |
| | البصمات الغير مطابقة | 1 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشروط أكبر من 1 | 2 | | |
| | | Max | 0.5979 | 59.79 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 25.00% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 12.5% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

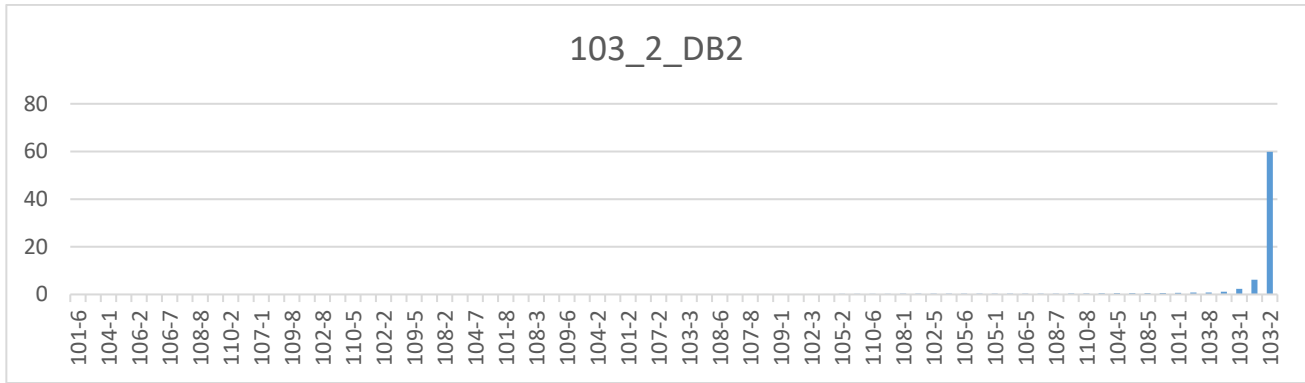
نلاحظ من جدول البصمة 8-101 أن عدد البصمات التي حققت عملية تطابق قليلة وهي ثلاث بصمات. بصمتين فقط من مجموعة الشخص نفسه وبصمة لا تنتمي لمجموعة الشخص، وتعتبر هذه من الحالات الأسوأ التي تمر بها عملية المطابقة، وبالرغم من ذلك فإن المنهجية المتبعة استطاعت الوصول إلى البصمة نفسها مع بصمة أخرى لنفس الشخص. نتابع دراسة الجداول الأخرى للنظر في نتائج عمليات المقارنة. ونتنقل إلى الجدول 2-103 ونناقش النتائج التي تم الحصول عليها.

الجدول (4): مقارنة البصمة 2-103 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 2-103 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|--------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 101-6 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 102-7 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.38656866 | 0.83 | 103-8 | 0.0083 | 9 |
| 1.954560641 | 1.17 | 103-6 | 0.0117 | 4 |
| 3.942532576 | 2.36 | 103-1 | 0.0236 | 5 |
| 10.35750084 | 6.2 | 103-7 | 0.062 | 13 |
| 100 | 59.86 | 103-2 | 0.5986 | 17 |
| 1201.41998 | 719.17 | 107-5 | 7.1917 | 1 |
| | البصمات الغير مطابقة | 1 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشروط أكبر من 1 | 4 | | |

| مقارنة البصمة 103-2 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|--------------------|--------|--------|--------|
| | | Max | 7.1917 | 719.17 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 50.00% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 12.5% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

من خلال دراسة جدول البصمة 103-2 نلاحظ وجود 5 بصمات متطابقة، 4 بصمات تتبع لنفس الشخص ولكن البصمة الخامسة 107-5 ليست لمجموعة الشخص وكذلك قيمة التطابق المنوي أكبر من المجال المحدد بين 1 و 100%. هذه القيمة عبارة قيمة شاذة تتبع للعشوائية في إيجاد المميزات المرتكز على خوارزمية النحل. ومن الجدول يتبين عادة أن قيمة matching minutiae لها يكون بين 1 و 2 في كل التجارب وعمليات المطابقة على قاعدة البيانات.



الشكل (16): النسب المئوية لمقارنة البصمة 103-2 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

ونرى بشكل واضح نفس الفكرة والنتائج في جدول البصمة 103-3 والموضح تالياً.

الجدول (5): مقارنة البصمة 103-3 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 103-3 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 101-6 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 106-1 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.675302245 | 0.97 | 103-6 | 0.0097 | 8 |
| 3.177892919 | 1.84 | 103-8 | 0.0184 | 21 |
| 6.545768566 | 3.79 | 103-7 | 0.0379 | 24 |
| 7.029360967 | 4.07 | 103-4 | 0.0407 | 9 |
| 10.29360967 | 5.96 | 103-1 | 0.0596 | 19 |
| 100 | 57.9 | 103-3 | 0.579 | 47 |
| 870.3454231 | 503.93 | 106-8 | 5.0393 | 2 |
| 990.8981002 | 573.73 | 106-3 | 5.7373 | 1 |
| | البصمات الغير مطابقة | 2 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1 | 5 | | |
| | | Max | 5.7373 | 573.73 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 62.50% | | |

| مقارنة البصمة 103-3 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|--------------------|-------|--|--|
| | نسبة القبول الخاطئ | 25.0% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

بالنظر لجدول البصمة 103-3 يتبين انتقاء المنهجية لـ 7 بصمات. نلاحظ أن 5 بصمات منها لمجموعة الشخص نفسه وبصماتان لهما نتائج شاذة خارج المجال المقترح لعمليات المطابقة، والتي تم حذفها وعدم إدخالها في الحسابات وفق المنهجية المقترحة من قبل الباحث. بإجراء عملية مطابقة للبصمة 103-7 نحصل على جدول عملية المقارنة للبصمة 103-7 والمبين تالياً:

الجدول (6): مقارنة البصمة 103-7 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 103-7 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 107-7 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 110-2 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.578679341 | 0.93 | 105-4 | 0.0093 | 4 |
| 1.850280088 | 1.09 | 101-4 | 0.0109 | 2 |
| 2.308606349 | 1.36 | 103-6 | 0.0136 | 12 |
| 2.495331862 | 1.47 | 103-5 | 0.0147 | 13 |
| 3.123408589 | 1.84 | 103-1 | 0.0184 | 12 |
| 4.973688678 | 2.93 | 103-8 | 0.0293 | 24 |
| 6.993719233 | 4.12 | 103-3 | 0.0412 | 25 |
| 8.555423527 | 5.04 | 103-4 | 0.0504 | 10 |
| 8.996774741 | 5.3 | 103-2 | 0.053 | 12 |
| 100 | 58.91 | 103-7 | 0.5891 | 49 |
| | البصمات الغير مطابقة | 1 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1 | 8 | | |
| | | Max | 0.5891 | 58.91 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 100.00% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 12.5% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

من خلال الجدول 103-7 تبين أن المنهجية المقترحة استطاعت تحديد جميع بصمات الشخص في مجموعته والتي عددها 8 وهذا يعبر عن قدرة المنهجية المقترحة في تمييز البصمات لنفس الشخص. وكذلك حددت البصمة التي يتم العمل عليها بأعلى نسبة مئوية لعملية المطابقة. نرى وجود قبول خاطئ لبصمة وحيدة والتي هي 101-4 ولكنها ذات قيمة مئوية صغيرة تقترب من الواحد والتي يمكن حذفها بتكبير مجال قبول البصمات في المنهج المقترح.

الجدول (7): مقارنة البصمة 105-4 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 105-4 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|---------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | Similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 101-2 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 103-2 | 0 | 0 |
| : | : | : | : | : |
| 1.363037 | 0.93 | 103-7 | 0.0093 | 4 |

| مقارنة البصمة 105-4 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|-------------------------------------|--------|--------|-------|
| 100 | 68.23 | 105-4 | 0.6823 | 21 |
| | البصمات الغير مطابقة | 0 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1 | 1 | | |
| | | Max | 0.6823 | 68.23 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 12.50% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 0.0% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

بالنظر لجدول البصمة 105-4 نرى جلياً عدم قدرة المنهجية على تحديد البصمات في المجموعة أو بصمات متطابقة سوى البصمة نفسها. من الجانب الإيجابي تم تمييز البصمة ولكن من الناحية السلبية في التطبيقات العملية فإن البصمة التي يتم عليها عملية المطابقة تكون مجهولة ومن الممكن أن تكون له بصمة في قاعدة البيانات أو لا فيصبح إيجاد البصمة موضوع صعب نسبياً. لأن البصمة التي تأخذ لشخص من الممكن أن تتم عبر جهاز لقراءة البصمات أو عبر المسح بالطرق التقليدية ومن الممكن أن تكون لشخص من خارج قاعدة البيانات. هذه المتغيرات يتعرض لها الباحث في التجارب الحقيقية. لا يوجد تجارب واضحة لخوارزميات على ميدان حقيقي على مدار زمني طويل لكشف سلوكيات الخوارزميات، حيث تبقى التجارب المنفذة على قواعد بيانات معيارية توحد العمل بين الباحثين. نلاحظ تكرار نفس الجدول مثلاً في البصمة 107-2.

الجدول (8): مقارنة البصمة 107-2 مع كل البصمات في المجموعة DB2-B

| مقارنة البصمة 107-2 مع بصمات المجموعة DB2-B | | | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|------------|-------------------|
| Normalized% | النسبة المئوية للمقارنة % | البصمة المقارن معها | similarity | matching minutiae |
| 0 | 0 | 110-2 | 0 | 0 |
| 0.016152479 | 0.01 | 104-2 | 0.0001 | 3 |
| : | : | : | : | : |
| 1.550638023 | 0.96 | 107-4 | 0.0096 | 17 |
| 100 | 61.91 | 107-2 | 0.6191 | 90 |
| | البصمات الغير مطابقة | 0 | | |
| | عدد البصمات المحققة للشرط أكبر من 1 | 1 | | |
| | | Max | 0.6191 | 61.91 |
| | | Min | 0 | 0 |
| | نسبة التطابق | 12.50% | | |
| | نسبة القبول الخاطئ | 0.0% | | |
| | نسبة الرفض | 0% | | |

مقارنة نتائج الدراسة مع دراسات سابقة

من خلال الدراسات المرجعية عمل الباحثون على مجالات متعددة حول بصمة الإصبع تراوح من تحسين نسبة المطابقة إلى تحسين الصورة إلى تقليل نسبة القبول الخاطئ.. الخ. ومن أجل توثيق هذه الدراسات نسبة للعمل المقدم من قبل الباحث فقد تم وضع الجدول (9) وتبيان أسماء الأبحاث وسنة نشرها والتقنية المستخدمة وقاعدة بيانات الاختبار بالإضافة إلى نسبة المطابقة. من الجدول (9) نلاحظ تفاوت في النسب النهائية للمطابقة وذلك يتبع بالدرجة الأولى لفرضيات الباحث، وبالدرجة الثانية لإيجابيات وسلبيات الطريقة المتبعة في استخلاص الميزات والمطابقة الموضحة في الجدول (10). فبالتمعن في البحث [1] مثلاً نلاحظ أن نسبة المطابقة عالية تراوحت بين 96.36% و 100% ولكن هذه النسبة لا تعبر عن دقة مطابقة دائمة وعامة انما تتبع لحالة خاصة فرضها الباحث وهي أن جميع البصمات التي تمت دراستها هي بصمات أمامية بالتالي ستراجع نسبة دقة المطابقة في حال استدارة البصمات.

الجدول (9): مقارنة نتائج الدراسة مع نتائج الدراسات المرجعية.

| نسبة المطابقة | قاعدة البيانات | التقنية المستخدمة | هدف البحث | سنة النشر | الدراسة | تصنيف |
|--------------------------|-------------------------------|--|---|-----------|---------|-----------------------|
| - | عينات من FVC2000-2002 - 2004 | التفاصيل الدقيقة (المينوشا) والمسافة الاقليدية | مطابقة بصمات الأصابع | 2007 | [5] | الخوارزميات التقليدية |
| - | - | المسافة الاقليدية | المقارنة بين نتائج المطابقة عند استخدام نوعين من مستخرج ميزات البصمة | 2016 | [15] | |
| - | FVC2002 | ANN | التعرف على البصمة عن طريق اكتشاف مجموعات الميزات المتشابهة من ملفات صور النموذج التي تم انشاؤها من نفس الاصبع | 2005 | [2] | |
| 95.57% | UPEK | ANN | استخراج الميزات للتعرف على بصمات الأصابع | 2018 | [8] | |
| 91.38% | FVC2000 | | | | | |
| - | - | Gabor filter & Zhang Suen Minutia algorithm | تحسين جودة الصورة و استخراج التفاصيل للمطابقة | 2020 | [18] | |
| 99.87% | - | التعلم العميق Convolution Neural Network CNN | تحديد الهوية والتحقق منها | 2021 | [17] | |
| 92% | - | Siamese Neural Network SNN | التعرف على بصمات الأصابع | 2022 | [11] | |
| - | - | أتمتة سلوك خبير بشري بفحص العلاقات الموضوعية بين التفاصيل المحلية يدوياً | مطابقة بصمات الأصابع | 2002 | [6] | |
| - | Nist-4 | الخوارزمية الجينية | مطابقة بصمات الأصابع | 2006 | [19] | |
| - | FVC2004 | خوارزمية تحسين مستعمرة النمل | مطابقة صور بصمات الأصابع ذات التشوه الكبير المكتسبة من أجهزة استشعار متباينة | 2012 | [4] | |
| تراوحت بين %96.36 و %100 | FVC2002 FVC2004 FVC2006 | خوارزمية تحسين اليراع FOA | مطابقة بصمات الأصابع | 2016 | [1] | |
| 91.38% | Nist-27 | نمط هجين بين | مطابقة بصمات الأصابع | 2020 | [10] | |

| نسبة المطابقة | قاعدة البيانات | التقنية المستخدمة | هدف البحث | سنة النشر | الدراسة | تصنيف |
|---------------|----------------|-------------------------------|---|-----------|--------------------------------------|-------|
| | | خوارزمية PSO وخوارزمية NMD | | | | |
| - | - | ABC | تقليل زمن تصنيف البصمات قبل التعرف عليها من خلال تقليل حجم متجه الميزات | 2021 | [7] | |
| 97.3% | FVC2004 | ABC | مطابقة بصمات الأصابع | 2023 | المنهجية المقترحة في هذا البحث | |

الجدول (10): سلبيات وإيجابيات الطرق المستخدمة في الدراسات المرجعية

| السلبيات | الإيجابيات | الدراسة | |
|---|---|---------|----------------------|
| النتيجة الاجمالية لم تكن جيدة لوجود الكثير من النقاط التفصيلية الزائفة | سهولة التطبيق عند توزيع الميزات المتوازن في كلتا الصورتين | [5] | لخوارزميات التقليدية |
| تأثر المسافة الاقليدية بزواية الانطباع وعدم ضبط النقطة المركزية بشكل جيد | تحسين عملية استخراج الميزات وإزالة التفاصيل الزائفة أدى لزيادة دقة المطابقة | [15] | |
| طريقة البحث الخطي تسبب زيادة في حجم البيانات المسجلة. | قدرة تمييز تجعلها مناسبة للتطبيق على قواعد بيانات كبيرة تلي وقت الاستجابة عبر الانترنت (وقت حساب أقل) | [2] | |
| عبء حسابي كبير يؤدي إلى وقت استجابة طويل. | دقة . سهولة تنفيذ . تسامح مع الخطأ. | [8] | |
| لم يتم التركيز على بصمات الأطفال وكبار السن. لم تستخدم في المطابقة سوى نوعين من التفاصيل وهي النهاية والتشعب. | تم التركيز بشكل جيد جدا على تحسين جودة الصورة باستخدام عدة تقنيات مما أدى لزيادة دقة المطابقة | [18] | |
| تكلفة حسابية عالية. اعتماد الخوارزمية على جودة انطباعات البصمات المستخدمة للتدريب والمطابقة. | نتائج دقيقة. معدل فشل أقل من 1%. | [17] | |
| تم اهمال وقت التشغيل وبالتالي متطلبات الوقت الحقيقي والسرعة. | دقة عالية نسبة رفض 1.41% ونسبة قبول خاطئ 1.11% وتعتبر نسب منخفضة | [11] | |
| لتحقيق نسبة مطابقة عالية يجب ضمان وجود كمية كافية من المنطقة المشتركة (أكبر من 60%) من القالب وبصمة الادخال. وهذا غير ممكن دائماً | موثوقية ودقة وسرعة معالجة تتحمل إلى حد ما التشوه غير الخطي لبصمة الاصبع. | [6] | |
| وقت حساب كبير بالنسبة لمتطلبات الوقت الحقيقي والسرعة. | يحقق أداء جيد رغم وجود نسبة كبيرة من بصمات الأصابع في قاعدة البيانات ذات جودة رديئة. | [19] | |
| ركود سهل سرعة التقارب حساسة جداً لبارامترات الضبط وخاصة معدل تبخر الفيرومونات | تحسين أداء مطابقة البصمات ذات التشوه الكبير المكتسبة من أجهزة استشعار متباينة. | [4] | |
| استخدام قاعدة بيانات تحوي بصمات أغلبها في الوضع الأمامي وتراجعت الدقة في حال | أداء ممتاز بدقة تتراوح من 96% إلى 100% | [1] | |

| الدراسة | الإيجابيات | السلبات |
|---------|--|---|
| | | استدارة البصمة |
| [10] | بدمج الخوارزميتين تغلب الباحث على عيوب كل منهما في استخراج التفاصيل الهامة وإزالة التفاصيل الزائدة | دقة تعرف متوسطة بنسبة 91.38% |
| [7] | دقة في المطابقة ناتجة عن دقة التصنيف | وقت تعرف طويل نظراً لتعدد ميزات الاختيار والتصنيف |

الخلاصة

من خلال دراسة النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق المنهجية المتبعة التي اعتمدت على تكييف خوارزمية النحل لاستخدامها لعملية مطابقة بصمات الأصابع بعد مرحلة معالجة صورة البصمة بالخطوات المذكورة في هذا البحث فإنه تم الحصول على نتائج جيدة مقارنة بالأبحاث السابقة التي تشابه في موضوع الدراسة والمبينة في الجدول (9). حيث حققت الخوارزمية عند تطبيقها على الجزء (DB2-B) من قاعدة البيانات FCV2004 نسبة مطابقة وصلت إلى 97.3%. وهي نتيجة جيدة مقارنة بخوارزميات أخرى تعمل على مطابقة البصمات.

المقترحات والتوصيات

دُرست المنهجية المقترحة المبينة على تكييف وملائمة خوارزمية النحل لمطابقة بصمات الأصابع على الجزء DB2-B من قاعدة البيانات FVC2004 المعيارية والتي تحوي انطباعات واضحة ودقيقة نوعاً ما لبصمات الأصابع، وعملياً يجب تطبيقها على قاعدة بيانات تحوي انطباعات حقيقية وذلك لاختبار دقة نتائج المنهجية المقترحة في مطابقة البصمات وقدرتها على تلبية الاحتياجات الواقعية بما يتلاءم من متطلبات الزمن الحقيقي.

References

- [1] Al-Azzawi, A. (2016). Correlated Feature Selection Model based on Swarm Intelligence to Enhance Rotational Invariant Fingerprint Authentication using Firefly Optimized Algorithm. *Nternational Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5(10), 1–9. <https://doi.org/10.17148/ijarccce.2016.51001>
- [2] Allah, M. M. A. (2005). Artificial neural networks based fingerprint authentication with clusters algorithm. *Informatica (Lithuanian Academy of Sciences)*, 29(3), 303–308. <https://doi.org/10.31449/inf.v29i3.44>
- [3] Bansal, J. C., Sharma, H., & Jadon, S. S. (2013). Artificial bee colony algorithm: a survey. *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms*, 5(1/2), 123. <https://doi.org/10.1504/ijaip.2013.054681>
- [4] Cao, K., Yang, X., Chen, X., Zang, Y., Liang, J., & Tian, J. (2012). A novel ant colony optimization algorithm for large-distorted fingerprint matching. *Pattern Recognition*, 45(1), 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.04.016>
- [5] Fingerprint minutiae extraction and matching for identification procedure. (2007). Department of Computer Science and Engineering University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0443, pparra@ucsd.edu. <https://cseweb.ucsd.edu/classes/wi07/cse190a/reports/pparra.pdf>
- [6] Jiang, X., & Yau, W. (2002). Fingerprint minutiae matching based on the local and global structures. Centre for Signal Processing, Nanyang Technological University. <https://doi.org/10.1109/icpr.2000.906252>
- [7] Jooda, J. O., Oke, A., Omidiora, E. O., Adedeji, O. T., & Makinde, B. O. (2021). Fingerprint Intramodal Biometric System based on ABC Feature Fusion. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 1–10. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2021/v11i230256>
- [8] Kahraman, N., Taskiran, Z. G. C., & Taskiran, M. (2018). Novel Feature Extraction Methodology with Evaluation in Artificial Neural Networks Based Fingerprint Recognition System. *Tehnicky Vjesnik-technical Gazette*. <https://doi.org/10.17559/tv-20170816124949>
- [9] Karaboga, D., & Basturk, B. (2008). On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*, 8(1), 687–697. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.05.007>

المراجع

- [10] Kumar, T. and Garg, R. S. (2020). The Recognition of Latent Fingerprints using Swarm Intelligence based Hybrid Approach. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(5): 90–97.
- [11] Li, Z., Wang, Y., Zhong, Y., Tian, X., Li-Xin, Z., Wu, X., Yu, J., Gu, S., Huang, L., & Zhang, Y. (2022). A novel fingerprint recognition method based on a Siamese neural network. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 690–705. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0055>
- [12] Maddala, S., Tangellapally, S. R., Bartunek, J. S., & Nilsson, M. (2011). Implementation and evaluation of NIST Biometric Image Software for fingerprint recognition. Master's Thesis MEE10:85. <https://doi.org/10.1109/brc.2011.5740672>
- [13] [13] Maio, D., Maltoni, D., Cappelli, R., Wayman, J. L., & Jain, A. K. (2004). FVC2004: Third fingerprint verification competition. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 1–7). https://doi.org/10.1007/978-3-540-25948-0_1
- [14] Meuwly, D. (2009). Fingerprint, Forensic Evidence of. In *Springer eBooks* (pp. 528–535). https://doi.org/10.1007/978-0-387-73003-5_181
- [15] Narwal, S., & Kaur, D. (2016). Comparison between Minutiae Based and Pattern Based Algorithm of Fingerprint Image. *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, 8(2), 23–29. <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2016.02.03>
- [16] National Forensic Science Technology Center (NFSTC). (2009). A Simplified Guide To Fingerprint Analysis (2009th ed., Vol. 028) [#2009--D1--BX--K028]. Bureau of Justice Assistance (BJA).
- [17] Nur-A-Alam, Ahsan, M., Based, M., Haider, J., & Kowalski, M. (2021). An intelligent system for automatic fingerprint identification using feature fusion by Gabor filter and deep learning. *Computers & Electrical Engineering*, 95, 107387. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107387>
- [18] Socheat, S., & Wang, T. (2020). Fingerprint enhancement, minutiae extraction and matching techniques. *Journal of Computer and Communications*, 08(05), 55–74. <https://doi.org/10.4236/jcc.2020.85003>
- [19] Tan, X., & Bhanu, B. (2006). Fingerprint matching by genetic algorithms. *Pattern Recognition*, 39(3), 465–477. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2005.09.005>
- [20] Verma, B. K., & Kumar, D. (2013). A review on Artificial Bee Colony algorithm. *International Journal of Engineering & Technology*, 2(3), 175. <https://doi.org/10.14419/ijet.v2i3.1030>