

ALGORITMOS Y MÉTODOS PARA LA VERIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE IMPRESIONES DACTILARES Y PALMARES

Autoría principal

José Hernández Palancar¹.

Otros autores

Alfredo Muñoz Briseño¹, Andrés Gago Alonso¹, Katy Castillo Rosado¹, Armando Rodríguez Fonte¹, Luis Manuel Ramos Céspedes², Ernesto Rodríguez Reina¹, Jorge Félix Pimentel Álvarez¹, Luis Manuel Jorge Águila², Karen Sarzo Pavón², Julio Andrés Rabilero Luna².

Colaboradores

Ing. Raunier Brito Llerena², TC. Lázara Barada Entenza³, Capitán Roberto Alexis Chirino Canales³, Mayor Yaima Noemí Hernández Enriquez³, Mayor Armando Portela Falgueras³.

Entidad ejecutora principal

¹Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada (CENATAV), Empresa Datys, MININT.

Entidades participantes

²División de Biometría, Datys.

³Dirección de Criminalística.

Autor para correspondencia

Dr.C. José Hernández Palancar

7ma A # 21406 e/ 214 y 216, Rpto. Siboney, Playa. C.P. 12200, La Habana, Cuba.

Email: jpalancar@cenatav.co.cu

Aporte científico de cada autor al resultado

- ✓ Dr.C. **José Hernández Palancar**, Investigador Titular (25%): Se desempeñó como Jefe del proyecto desde sus inicios hasta su culminación en diciembre 2013. Realizó el diseño y la concepción de la investigación durante todas sus fases y todas las herramientas que se desarrollaron. Además, interactuó directamente con los usuarios, diseñó y desarrolló la plataforma experimental para la evaluación del método de indexación y recuperación de impresiones dactilares y del algoritmo de verificación dactilar y palmar. Participó además con un elevado por ciento, en las experimentaciones realizadas para la validación de las herramientas implementadas. En cuanto a los resultados científico-técnicos, Palancar propuso un nuevo método para el pre-alineamiento de triángulos y un nuevo método de consolidación de las correspondencias entre minucias, con los que se obtiene la similitud final entre dos impresiones dactilares o palmares, métodos que son comunes a la etapa final del algoritmo de verificación y del algoritmo de recuperación; este resultado incrementó notablemente la eficacia de los algoritmos propuestos. Además, participó en la fundamentación de cada uno de los otros nuevos métodos y algoritmos que forman parte de esta investigación, tanto en el diseño como la implementación de los mismos. En este sentido, vale destacar su labor como asesor científico del resto de los miembros del equipo.
- ✓ Lic. **Alfredo Muñoz Briseño**, Especialista B en Ciencias Informáticas (18%): Realizó la formalización teórica del algoritmo de verificación, propuesto por José Hernández Palancar. Además, participó en el desarrollo de la plataforma experimental para la evaluación del

método de indexación y recuperación de impresiones dactilares y del algoritmo de verificación dactilar y palmar. En este sentido diseñó y ejecutó experimentos de validación de estos métodos. También implementó las adecuaciones necesarias para extender los algoritmos propuestos al caso de impresiones palmares. Participó en la implementación de mejoras y optimizaciones a los métodos antes mencionados. Por último, desarrolló mejoras a la librería de extracción de rasgos utilizada en los métodos propuestos, así como en la introducción de mejoras a la implementación del algoritmo de clasificación de impresiones dactilares desarrollado en el marco del proyecto.

- ✓ Dr.C. **Andrés Gago Alonso**, Investigador Agregado (13%): Propuso una nueva forma de representación de impresiones dactilares llamada “Triangulación de Delaunay Expandida” (TDE). A partir de TDE, diseñó el esquema general de los algoritmos de indexación y recuperación, desarrollando las primeras implementaciones computacionales. Finalmente, participó en la formalización teórica del algoritmo de verificación, propuesto por José Hernández Palancar.
- ✓ Lic. **Katy Castillo Rosado**, Especialista B en Ciencias Informáticas (7%): Propuso e implementó un nuevo método para clasificar las impresiones dactilares en planas o rodadas.
- ✓ Lic. **Armando Rodríguez Fonte**, Especialista B en Ciencias Informáticas (7%): Propuso e implementó un nuevo método para discriminar las impresiones dactilares de otras imágenes.
- ✓ Ing. **Luis Manuel Ramos Céspedes**, Especialista B en Ciencias Informáticas (7%): Jugó un rol principal en la introducción en la práctica de los resultados, dándole solución a diferentes problemáticas detectadas en las implementaciones de los diferentes algoritmos desarrollados en el marco del proyecto, así como en la introducción de adecuaciones en el código para que los mismos pudieran ejecutarse tanto en Linux como en Windows.
- ✓ Lic. **Ernesto Rodríguez Reina**, Especialista B en Ciencias Informáticas (5%): Desarrolló la implementación computacional del algoritmo “Kruskal”, empleado en la etapa de consolidación propuesta por Palancar, para la obtención de la correspondencia óptima de minucias. Contribuyó también a la idea de almacenar datos pre-calculados para acelerar diferentes cálculos de funciones matemáticas, así como otras estrategias de optimización de códigos en ANSI C.
- ✓ Lic. **Jorge Félix Pimentel Álvarez**, Especialista B en Ciencias Informáticas (5%): Desarrolló e implementó un algoritmo para la segmentación de imágenes de impresiones palmares. Introdujo modificaciones al algoritmo de extracción de minucias del Veringer, para su aplicación sobre imágenes palmares con resultados muy positivos
- ✓ Ing. **Luis Manuel Jorge Águila**, Especialista B en Ciencias Informáticas (5%): Contribuyó a la introducción en la práctica de los resultados, aportando soluciones a problemáticas detectadas en las implementaciones de los algoritmos de extracción de rasgos y de clasificación por tipo de dibujo. Intervino también en la realización de las adecuaciones correspondientes, para que las implementaciones de los algoritmos pudieran ejecutarse tanto en Linux como en Windows.
- ✓ Ing. **Karen Sarzo Pavón**, Especialista B en Ciencias Informáticas (5%): Contribuyó a la introducción en la práctica del algoritmo para determinar si una impresión fue tomada plana o rodada y del algoritmo para determinar si una imagen corresponde o no a una impresión dactilar, aportando soluciones a problemáticas detectadas en las implementaciones de los mismos.

- ✓ Ing. **Julio Andrés Rabilero Luna**, Especialista B en Ciencias Informáticas (3%): Contribuyó a la concepción del algoritmo de clasificación de impresiones dactilares por el tipo de dibujo, desarrollando su implementación computacional.

Resumen

La Biometría es el estudio de métodos automatizados para el reconocimiento de humanos basándose en una o más características de comportamiento o rasgos físicos intrínsecos. Las impresiones dactilares y las palmares constituyen uno de los elementos más usados en la Biometría. La unicidad de estas es aceptada desde 1893 y pueden ser usadas tanto en aplicaciones civiles como en aplicaciones forenses.

En la actualidad se han desarrollado numerosos Sistemas de Identificación Automática de Impresiones Dactilares (AFIS, por sus siglas en inglés) con el objetivo de identificar a quién pertenece una determinada impresión dactilar. No obstante, las investigaciones en esta área sigue siendo un reto debido al gran tamaño que han alcanzado las bases de datos, así como la necesidad de tener métodos que sean tolerantes a distorsiones en las imágenes capturadas.

Una vez analizado los retos y problemas existentes en el estado del arte de esta temática, se diseñó la presente investigación, orientada a mejorar el desempeño de los AFIS, mediante la incorporación de nuevos algoritmos y métodos.

En particular, se propusieron dos nuevos métodos, uno para la identificación y otro para la verificación, para este tipo de reconocimiento en bases de datos de impresiones dactilares. Como parte de este aporte, se propuso un nuevo marco teórico que incluye un nuevo tipo de grafo geométrico, llamado triangulación de Delaunay expandida, un conjunto de rasgos para las tareas de cotejo, y un algoritmo para realizar el conteo de crestas. Además, se proponen dos nuevos métodos, uno para clasificar impresiones en rodadas o planas y otro para discriminar las impresiones de otras imágenes. Estos últimos surgen como nuevas estrategias para lograr la consistencia de la información contenida en las bases de datos.

Los resultados obtenidos fueron publicados en revistas y eventos internacionales de alto prestigio, mostrando su efectividad con respecto al estado del arte de la temática. Además, parte de estos resultados fueron introducidos con éxito en la práctica social.

Comunicación Corta

INTRODUCCIÓN

La biometría es la ciencia que se encarga de medir las propiedades físicas de los seres vivos. El término biometría que proviene del griego, donde “bios” significa vida y “metron” medida, puede definirse como el estudio de métodos ideados para el reconocimiento de forma única de personas en base a uno o más rasgos físicos intrínsecos o de comportamiento.

La biometría posibilita métodos automatizados para reconocer una persona en base a características fisiológicas, psicológicas o de comportamiento. Algunos ejemplos de

tipos biométricos son: impresión dactilar, rostro de una persona, el patrón del iris o retina, la forma de la mano, la forma de firmar de forma manuscrita (no sólo grafología 2D sino presión en la tableta digitalizadora, rapidez, aceleración, etc.), reconocimiento de voz, forma de teclear sobre un teclado, patrón de surcos de la palma de la mano, patrón de venas del tornio de la mano, ácidos de la vida ADN/ARN, olor corporal, estructura de la piel, etc.

De todos los ejemplos antes mencionados, la impresión dactilar, es la más estudiada y probada. Existen numerosos estudios científicos que avalan la unicidad de la impresión dactilar de una persona y, lo que es más importante, la estabilidad con el tiempo, la edad, etc. En estos aspectos es una técnica que le lleva mucha ventaja a las demás, debido a su siglo de existencia. Su captura recibe diversas formas, sobre todo últimamente, debido a la innovación tecnológica.

El objetivo de un “Automated Fingerprint Identification System” (AFIS) es identificar a quién pertenece una determinada impresión dactilar. En tal sentido, la primera etapa consiste en la extracción de rasgos a partir de la imagen de la impresión dactilar, considerándose como rasgos primarios unos puntos característicos que se obtienen de los surcos y crestas que se forman en la dermis y a los que se les denomina minucias¹. En esta etapa, el proceso de extracción se aplica tanto a las impresiones rodadas/planas que se tienen en la base de datos, como a las impresiones latentes, aunque en este último caso no se realiza de forma automatizada.

Por otro lado, en los últimos años se ha visto la necesidad de que los AFIS sean utilizados en la investigación criminal y que se incorpore también la funcionalidad de poder comparar impresiones palmares. Según un estudio realizado por las agencias de seguridad norteamericanas publicado en el 2003, se ha podido corroborar que el 30% de las huellas latentes levantadas en el lugar de ocurrencia de un hecho criminal, corresponden a huellas palmares y no a impresiones digitales. Esta situación también ha sido corroborada en nuestro país.

Desde el año 2006, nuestro país cuenta con el sistema CUBAFIS, que desde esa fecha hasta la actualidad ha reportado la solución de más de 4000 casos criminales, con un gran impacto económico y social. Sin embargo, el período de tiempo relativamente corto en el que se desarrolló el proyecto, incidió en que para la concepción e implementación del sistema CUBAFIS, no se consideraran funcionalidades y elementos importantes relacionados con la eficiencia y eficacia de los procesos de detección, que dieron origen al inicio de la presente investigación.

¹ **Definición:** Una *minucia* es un punto en la impresión dactilar que representa cualquier discontinuidad o bifurcación presente en el recorrido de las crestas. Los dos tipos de minucias más importantes son: las terminaciones y las bifurcaciones, la primera es el lugar donde se termina una cresta y la segunda donde una cresta se separa formando dos nuevas crestas. Maltoni D., Maio D., Jain A.K. and S. Prabhakar. , Handbook of Fingerprint Recognition. Springer Verlag, 2003.

Novedad científica

Sobre la base de los problemas detectados y expuestos anteriormente, en el marco de esta investigación es posible enumerar **ocho resultados científicos** que fueron obtenidos:

1. **La triangulación de Delaunay expandida.** Es un nuevo concepto que permite mantener una cantidad estable de triángulos para representar las imágenes dactiloscópicas, reduciendo los tiempos de ejecución al no considerar todos los triángulos. Además, esta representación es más robusta ante las distorsiones provocadas por minucias corridas, minucias perdidas, y minucias falsas.
2. **Nuevo conjunto de rasgos para describir los triángulos.** Está compuesto por diez rasgos que permiten caracterizar cada triángulo de la triangulación antes mencionada. De esta forma, se logra reducir los efectos negativos causados por la inestabilidad de los rasgos geométricos basados en distancias y ángulos.
3. **Un nuevo algoritmo de indexación de impresiones dactilares.** Este algoritmo se basa en los resultados anteriores para estructurar la información contenida en una base de datos de impresiones para construir una tabla de índices.
4. **Un nuevo algoritmo de recuperación de impresiones dactilares.** Este algoritmo se basa en los resultados anteriores para procesar las consultas a la base de datos, utilizando eficientemente la tabla de índices para obtener una lista de candidatos. Este algoritmo propone estrategias de búsqueda que son tolerantes a posibles errores en los rasgos obtenidos, atenuando el efecto negativo causado por las inexactitudes en los extractores de rasgos. Además, con este resultado se logra completar un método para la identificación de impresiones dactilares, que incluye la indexación y la recuperación. Al evaluar la eficacia de este método se comprobó la posibilidad de evaluar más de 1 Millón de impresiones x segundos, y obtener una eficacia del 100% en menos de 1 segundo por cada solicitud de 4 impresiones dactilares.
5. **Un nuevo algoritmo para la comparación de impresiones planas, rodadas o latentes.** Este algoritmo se basa en los tres primeros resultados de esta investigación logrando una mayor eficacia durante el cotejo.

Los siguientes resultados logran mejorar la calidad de las bases de datos del AFIS, durante la fase de enrolamiento, detectando oportunamente aquellas imágenes que no cumplan con los estándares.

6. **Un nuevo método para clasificar impresiones dactilares en planas o rodadas.**
7. **Un nuevo método para discriminar impresiones dactilares de otras imágenes.**
8. **Un nuevo algoritmo de clasificación de impresiones dactilares por el tipo de dibujo.**

Finalmente, el objetivo general de la investigación fue cumplido. Adicionalmente, la mayor parte de estos resultados fueron publicados en dos revistas internacionales con alto impacto, y en memorias de eventos internacionales de gran prestigio.

Impacto del resultado por su destino y cambio o beneficio producido

Al evaluar el impacto económico y social pudiéramos decir que este es potencial, ya que no podrá ser apreciado en su integridad hasta tanto los resultados del proyecto sean comercializados o se despliegue en nuestro país y se encuentre a plena capacidad la explotación de la infraestructura de búsqueda multibiométrica que desarrolla Datys y en la que ya están introducidos estos resultados. Como consecuencia de ello se podrán resolver hechos delictivos no esclarecidos, ya sea porque el algoritmo con el que contábamos no tenía la eficacia suficiente o porque se trataba de huellas palmares para lo que tampoco teníamos un algoritmo con el que se pudiera resolver el caso. De igual forma, el hecho de contar con una infraestructura de búsqueda multibiométrica permitirá con mayor certeza determinar la

identidad de una persona usando diferentes biometrías de forma combinada. No obstante, se tiene la certeza de acuerdos comerciales alcanzados por nuestra empresa Datys con países como Nicaragua y Sudáfrica, donde los resultados de este proyecto contribuyen en gran medida.

El impacto científico está dado en que los resultados del proyecto fueron obtenidos con un alto nivel de conocimiento propio, los más importantes respaldados por publicaciones de impacto, aspecto muy positivo considerando el reconocimiento que reciben estos métodos y algoritmos a nivel internacional, por otra parte se debe señalar que estos resultados permiten fortalecer la capacidad de nuestro país de desarrollar nuevos productos de identificación biométrica.

Alcance del impacto

El conjunto de resultados presentados tienen un alcance nacional, ya que al estar introducidos en la plataforma multibiométrica desarrollada por Datys tributarán al proceso de modernización tecnológica de la DIIE y de la DCRIM, como parte del AFIS Civil y el AFIS Criminal cubano, alcanzándose una mayor eficacia y eficiencia que la que reportan los sistemas en uso actualmente en nuestro país, así como mayores posibilidades por los órganos de enfrentamiento del MININT.

Por otra parte, la introducción del nuevo algoritmo de comparación de impresiones dactilares, obtenido entre los resultados de la investigación, como parte de los elementos funcionales del “Nuevo Carnet de Identidad (NCI)” que ya se encuentra en fase de prueba y validación a nivel Ministerial, permite que nuestro país disponga de una tarjeta de identificación nacional con nuevas posibilidades para su uso en diferentes servicios de seguridad, al garantizar la autenticación de la identidad de la persona propietaria de la misma en tiempo real y sin necesidad de acceso a un servidor central.

Sostenibilidad del impacto

Contar con métodos con *know how* propio, constituye un aspecto básico para garantizar la sostenibilidad de los resultados alcanzados. No solo se puede seguir incursionando en nuevos resultados teóricos, novedosos desde el punto de vista científico, sino que hace posible enfrentar nuevas problemáticas en diversas áreas de aplicabilidad, aportando soluciones completamente novedosas y propias.

Publicaciones

- ✓ J. Hernández-Palancar, A. Muñoz-Briseño, and A. Gago-Alonso. Using a Triangular Matching Approach for Latent Fingerprint and Palmprint Identification. (To appear) International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2014. DOI: 10.1142/S0218001414600040, Accepted: 18 July 2014 (<http://dx.doi.org/10.1142/S0218001414600040>) (**JCR Impact Factor: 0.685**)
- ✓ K. Castillo-Rosado, J. Hernández-Palancar. Rolled-Plain Fingerprint Images Classification. In Proceedings of the 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP'2014), Springer-Verland, Berlin Heidelberg, LNCS 8827, pp. 556–563, 2014.
- ✓ Rodríguez-Fonte, J. Hernández-Palancar. Discriminating Fingerprint Images of Other Images. In Proceedings of the 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP'2014), Springer-Verland, Berlin Heidelberg, LNCS 8827, pp. 524–531, 2014.
- ✓ Gago-Alonso, J. Hernández-Palancar, E. Rodríguez-Reina, A. Muñoz-Briseño. Indexing and Retrieving in Fingerprint Databases Under Structural Distortions. Expert Systems With

Applications, Elsevier, Vol. 40, Issue 8, pp. 2858–2871, 2013. **(JCR Impact Factor: 1.965, 5-Year Impact Factor: 2.254)**

- ✓ J. Hernández-Palancar, A. Muñoz-Briseño, and A. Gago-Alonso. A New Triangular Matching Approach for Distorted Palmprint Images. In Proceedings of the 18th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP'2013), Springer-Verland, Berlin Heidelberg, Part II, LNCS 8259, pp. 294-301, Havana, Cuba, 2013.
- ✓ Katy Castillo-Rosado, José Hernández-Palancar: Clasificación de impresiones dactilares en planas o rodadas. En memorias del XII Congreso Nacional de Reconocimiento de Patrones (RECPAT'2014), ISBN: 978-959-16-2248-6, Las Tunas, Cuba, Octubre 2014. **(Premio a la Mejor Ponencia Presentada en el Congreso – Best Paper Award).**