

Métodos de Impresión Fiel para Huellas Dactilares

Gustavo Drets, Rosario Curbelo,
Olaf Bergengruen, Andrés Almansa

Centro de Cálculo, Facultad de Ingeniería,
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay
cecal_huellas@fing.edu.uy

29 de Noviembre de 1995

Resumen

El siguiente trabajo presenta distintas alternativas de impresión de huellas dactilares estudiadas en el marco del desarrollo del Sistema de Transmisión de Huellas Dactilares (THUEDA) realizado por la Facultad de Ingeniería para la Suprema Corte de Justicia uruguaya. Los distintos métodos de impresión permiten la reproducción de fichas decadactilares y datos asociados a bajo costo manteniendo la fidelidad de la imagen, conservando en particular los detalles necesarios para la identificación de personas. La aplicación de este sistema ha producido una aceleración substancial en el tiempo de averiguación de antecedentes, contribuyéndose de esta manera a la protección de los derechos humanos en el Uruguay.

1. Introducción

La Suprema Corte de Justicia (S.C.J.) y la Facultad de Ingeniería (F.I.) de Uruguay establecieron en 1992 un convenio de asistencia tecnológica para la informatización del archivo de fichas decadactilares y la automatización de la tarea de identificación de las mismas que realiza el Instituto Técnico Forense (I.T.F.), a consecuencia del cual la F.I. desarrolló durante el año 1994 el Sistema de Transmisión de Huellas Dactilares THUEDA [ALM95].

El I.T.F. dispone de un archivo de fichas de impresiones decadactilares registradas en papel, así como los antecedentes de todas las personas procesadas en el país desde principios de siglo, las cuales son enviadas desde los distintos juzgados por correo convencional. La demora en el envío causa, en algunos casos, un aumento en el tiempo de averiguación de antecedentes durante el cual el individuo permanece detenido, así como liberaciones de individuos sin previa consulta a los registros de antecedentes del organismo. La sustitución del envío postal por algún tipo de transmisión electrónica permite eliminar esta demora.

La S.C.J. planteó el importante problema de la fidelidad en la transmisión y reproducción de la huella ya que las soluciones existentes en el mercado no satisfacían alguno de los siguientes requisitos: ofrecer bajo costo inicial y operativo, o conservar la calidad y el tamaño de las impresiones dactilares. Debido a defectos en el entintado, rodamiento y a imperfecciones en el papel, la impresión dactilar no es uniforme, presentando zonas de escasa y excesiva concentración de tinta. Este fenómeno se ve incrementado en una reproducción a bajo costo de la ficha. A pesar de esta dificultad los métodos de impresión deben preservar la fidelidad de la misma, esto es, tanto la estructura global de los surcos como los detalles particulares.

El objetivo de este trabajo es la presentación de las distintas alternativas de impresión suministradas por el sistema THUEDA. Estas constituyen un rango de opciones desde la más sencilla; de costo computacional menor y satisfactoria en la mayoría de los casos, hasta la más compleja, de mayor costo computacional y con resultados satisfactorios incluso para huellas mal entintadas.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 incluye las distintas alternativas estándar de impresión estudiadas, así como las deficiencias de las mismas

para esta aplicación. La sección 3 presenta técnicas de pre-procesamiento de la ficha tendientes a mejorar la reproducción de la imagen y la sección 4 plantea las conclusiones del trabajo.

2. Impresión

La imagen a ser impresa es adquirida mediante un scanner de mesa HP ScanJet IIP compatible, con una resolución de 300 ppp y 256 tonos de gris y luego es compactada con JPEG con pérdida, obteniéndose un factor de reducción del 90% en el tamaño del archivo a ser transmitido. Este factor resultó de un estudio llevado a cabo en conjunto con los técnicos dactiloscopos del I.T.F. y no afecta la clasificación ni el reconocimiento de la huella dactilar.

Un requerimiento determinante de la solución para la reproducción de la ficha es tener bajo costo inicial y operativo. Por este motivo se descartaron las impresoras por sublimación aunque proveen una fidelidad suficiente como para ser consideradas aptas para la tarea. Asimismo, cuando se diseñó el sistema, las impresoras láser de alta resolución (1200 ppp) poseían un costo igualmente elevado, además de no estar disponibles en el mercado local.

Por lo tanto se estudiaron soluciones más económicas de impresión en blanco y negro, con una resolución menor (300 y 600 ppp). La Figura 1a muestra una fotografía de una huella original, para su comparación con las restantes alternativas.

En estos casos los métodos estándar de binarización no resultan suficientes; debido a los defectos de entintado, al utilizar un umbral global a la huella se producen manchas negras o blancas que ocultan zonas considerables de la misma (Figura 1.b). A su vez los métodos de medios tonos ordenados en general utilizan patrones que a frecuencias bajas interfieren con la estructura de surcos de la huella (Figura 1.c) y a frecuencias altas producen empastado (Figura 1.d). Este problema se presenta tanto en impresoras de 300 como 600 ppp.

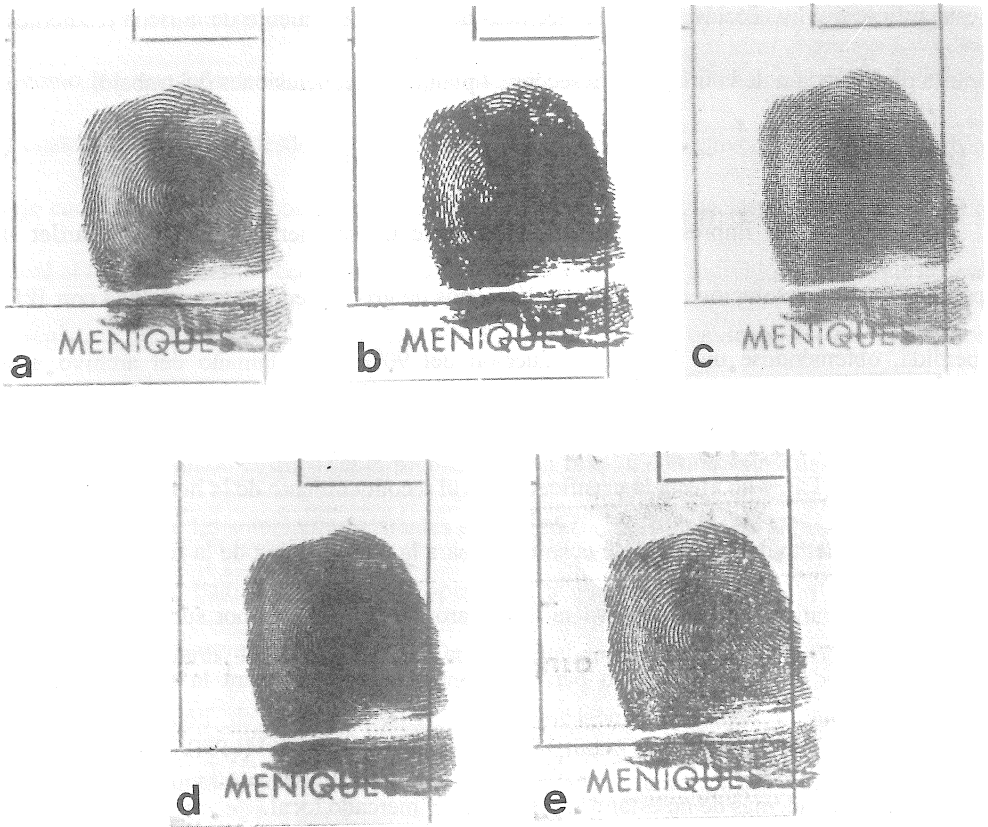


Figura 1: Alternativas de impresión: (a) Imagen original; (b) Fax (200 ppp); (c) Medios tonos ordenados a 300 ppp y 60 lpp; (d) Medios tonos ordenado a 300 ppp y 150 lpp; (e) Floyd-Steinberg (300 ppp).

Debido a las deficiencias de los métodos antes descritos se implementó la adaptación de la imagen al dispositivo de salida mediante una transformación gamma [FOL90] seguida de una binarización mediante el algoritmo de medios tonos por difusión de error de Floyd-Steinberg [FLO75] (Figura 1.e) con una resolución de 300 ppp. Para superar los resultados insatisfactorios que subsisten en las zonas de baja calidad de la imagen se agrega un pre-procesamiento de la ficha antes de su impresión.

3. Pre-procesamiento de la Imagen

El objetivo principal del procesamiento de la imagen previo a la impresión consiste en aprovechar el rango dinámico que ofrece el dispositivo de salida. En lo que sigue se analizan las distintas alternativas consideradas para lograr este objetivo.

3.1 Ecuilización del Histograma

3.1.1 Ecuilización Global

Uno de los métodos más conocidos para aumentar el contraste de una imagen consiste en ecualizar su histograma [GON92]. A lo largo de este trabajo se denota a la imagen original por una función $f: D \rightarrow [0, L-1]$ que puede tomar L valores distintos, cuyo dominio $D = [0, I-1] \times [0, J-1]$ es una grilla regular de $I \times J$ puntos.

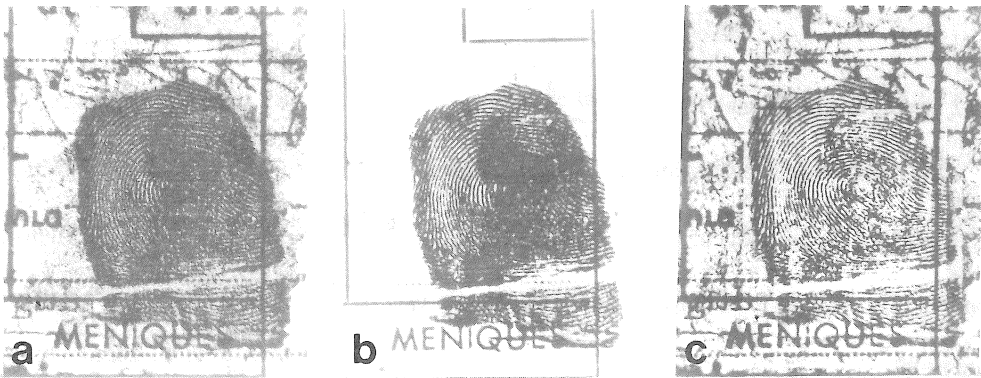


Figura 2: (a) Ecuilización global clásica; (b) Ecuilización del histograma global truncado; (c) Ecuilización local clásica.

En el caso de las huellas dactilares, el mejoramiento debido al aumento del contraste producido por la ecualización global del histograma no es suficiente, como lo muestra la Figura

2.a. El fondo blanco de la ficha decadactilar produce un pronunciado extremo local en el histograma, que corresponde a información que no interesa realzar. Una solución consiste en eliminar el extremo local del histograma mediante un truncamiento a partir de un valor t elegido convenientemente y normalizarlo de la siguiente manera:

$$h^{(trunc)}(r) = \begin{cases} \left(\sum_{i=0}^t h(i) \right)^{-1} h(r) & , \text{ si } r \leq t \\ 0 & , \text{ si } r > t \end{cases} \quad r \in [0, L-1] \quad (1)$$

En muchos casos la ecualización del histograma truncado produce buenos resultados, pero como se puede ver en la Figura 2.b, para la huella del ejemplo subsiste una pequeña región central donde no se distinguen los detalles. El principal problema consiste en que dentro de la misma huella coexisten regiones muy claras y muy oscuras debido a variaciones en el entintado. Para resolver el mencionado problema, es necesario efectuar una ecualización de histograma local.

3.1.2 Ecualización Local

Se realiza una ecualización del histograma local [GON92] en entornos cuadrados $E_{n,x}$ para cada punto x de la imagen. El tamaño del entorno n debe elegirse de manera de mejorar el contraste local sin realzar el ruido de la imagen. En este caso se encontró un buen compromiso para $n=80$.

Para lograr una implementación eficiente del algoritmo de ecualización local se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones. En primer lugar los histogramas locales se calculan solamente en una grilla de puntos equiespaciados w pixels. Para los puntos fuera de la grilla se toma como aproximación el histograma correspondiente al punto más cercano de la grilla. Dicha aproximación es razonable siempre y cuando la relación n/w sea suficientemente grande. En este

caso una relación $n/w=4$ resultó ser la más adecuada. En segundo lugar los histogramas locales son calculados en forma incremental.

La Figura 2.c muestra el resultado de aplicar una ecualización local a la imagen de ejemplo donde se puede apreciar una mejor visualización de la zona oscura en el centro de la huella, sin perder los detalles de las zonas más claras. Sin embargo se observan dos nuevos problemas:

- Se realzan demasiado los detalles del fondo, lo cual produce un efecto visual desagradable.
- Los bordes de la huella se ven levemente más oscuros que el resto.

El primer problema se debe a que para dichos puntos el entorno $E_{n,x}$ contiene solamente puntos del fondo, por lo cual la transformación realza los detalles del mismo, que son irrelevantes. El segundo problema se debe a que en esos casos el entorno $E_{n,x}$ contiene, además de algunos puntos de la huella, una gran cantidad de puntos del fondo, que producen un pronunciado extremo local en el histograma para los valores de gris más claros.

La solución consiste en discriminar los puntos de la imagen que corresponden al fondo de los que pertenecen a la impresión dactilar, y efectuar un tratamiento diferenciado según el caso.

A continuación se analizará cómo calcular una máscara que permita distinguir ambas regiones y luego cómo utilizarla para mejorar el resultado.

3.2 Extracción de la Máscara

Dado que la máscara no requiere la consideración de detalles de la huella, se realiza una reducción de la resolución de la imagen a 60 ppp para disminuir el tiempo de cálculo.

La región de la huella tiene un promedio de valor de gris bajo, por lo que una primera aproximación a la máscara se realiza aplicando un filtro pasa-bajo a la imagen, binarizándola posteriormente. El umbral de binarización se calcula en función de la ubicación del máximo del

histograma de la imagen reducida. Este criterio no resulta satisfactorio en zonas muy claras de algunas huellas, donde el valor de gris de las líneas es cercano al del fondo. Para solucionarlo se agrega a la máscara los puntos tales que la variación local de tonos de gris es suficientemente alta.

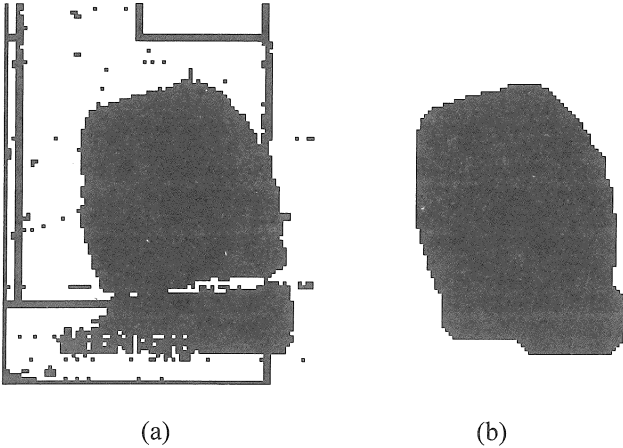


Figura 1: (a) Máscara antes y (b) después de la depuración

De esta manera la máscara es adecuada en las regiones de huellas, incluso para zonas de muy poco entintado, pero incluye todas las regiones oscuras de la ficha como ser líneas separadoras, letras y manchas del papel. Para eliminar estas regiones, por lo general de pequeño tamaño o espesor, se aplican a la máscara

obtenida las operaciones morfológicas de apertura y clausura con un disco de 9 pixels de diámetro. La Figura 3 muestra la máscara antes y después de realizar esta depuración.

3.3 Ecualización de Histogramas Locales Modificados

Una vez obtenido el conjunto M de puntos correspondientes a la máscara se pueden resolver los problemas mencionados al final de la sección 3.1.2. En los puntos de la máscara se ecualiza un histograma calculado sólo en base a los puntos que la integran:

$$h_{x,M}^{(1)}(r) = \frac{\#\{y \in E_{n,x} \cap M: f(y) = r\}}{\#E_{n,x} \cap M} \quad r \in [0, L-1], \text{ si } x \in M \quad (2)$$

Para los puntos del fondo no se quiere aumentar el contraste, sino dejar la imagen incambiada, lo que es equivalente al uso de un histograma constante.

$$h^{(const)}(r) = \frac{1}{L} \quad r \in [0, L-1] \quad (3)$$

La Figura 4.a muestra el resultado de aplicar una ecualización al histograma modificado $h_{x,M}^{(1)}(r)$ en los puntos de la máscara:

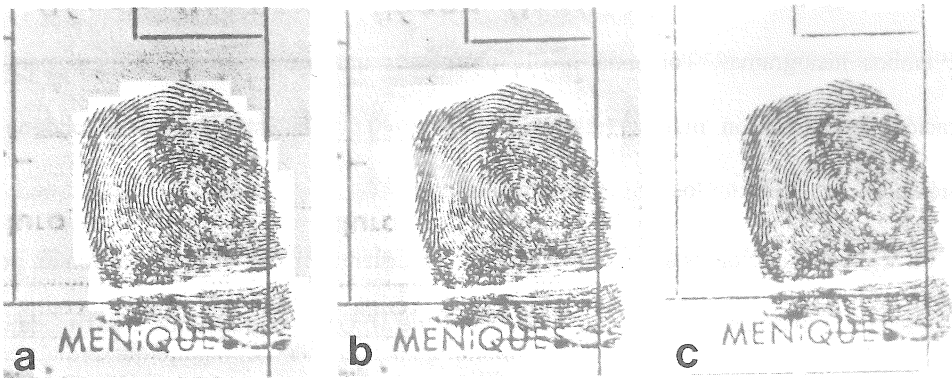


Figura 4: (a) Transición brusca, (b) Transición suave, (c) Tomando el histograma global para el fondo.

La modificación del histograma redujo el efecto visual desagradable en el fondo y evitó el oscurecimiento de los bordes de la huella, pero en cambio aparece una brusca transición desde un fondo gris fuera de la máscara hacia un fondo más claro dentro de ella. Ello se debe a la discontinuidad del histograma en la frontera de M .

Dicha transición brusca puede resolverse de dos maneras complementarias entre sí:

En primer lugar, la transición se puede suavizar permitiendo que el histograma varíe continuamente de $h_{x,M}^{(1)}$ a $h^{(const)}$ a medida que x pasa del interior al exterior de la máscara:

$$h_{x,M}^{(2)}(r) = \frac{m_x h_{x,M}^{(1)}(r) + \alpha(n^2 - m_x)h^{(const)}(r)}{m_x + \alpha(n^2 - m_x)} \quad r \in [0, L-1] \quad (4)$$

La imagen resultante de ecualizar $h_{x,M}^{(2)}$, refleja este comportamiento, como lo muestra la Figura 4.b.

El grado de cercanía de x a la región de huella se mide en base a m_x , el número de puntos del entorno $E_{n,x}$ que caen dentro de la máscara. El factor α permite regular el tipo de transición entre ambos histogramas. Tomando $\alpha = 1$, obtenemos una transición lineal, pero para esta aplicación se obtuvieron mejores resultados con $\alpha = 0.5$. De esta manera se obtiene una transición suave sin afectar los bordes de la huella.

La segunda solución es sustituir el histograma constante $h^{(const)}$, atribuido al fondo, por un histograma que minimiza las transiciones en el borde de M . Un histograma que aproximadamente satisface ese requisito es el histograma global calculado solamente en base a puntos de la máscara, es decir:

$$h_M^{(global)}(r) = \frac{\#\{x \in D \cap M: f(x) = r\}}{\#(D \cap M)} \quad r \in [0, L-1] \quad (5)$$

Combinando ambas soluciones se obtiene:

$$h_{x,M}^{(3)}(r) = \frac{m_x h_{x,M}^{(1)}(r) + \alpha(n^2 - m_x)h_M^{(global)}(r)}{m_x + \alpha(n^2 - m_x)} \quad r \in [0, L-1] \quad (6)$$

La imagen resultado de ecualizar $h_{x,M}^{(3)}$ mostrada en la Figura 4.c, si bien tiene un costo computacional superior, resuelve todos los problemas de métodos anteriores sin introducir nuevas dificultades.

4. Conclusiones

En este trabajo se presentan distintas alternativas de impresión de huellas dactilares estudiadas durante el desarrollo del Sistema de Transmisión de Huellas Dactilares (THUEDA) realizado por la Facultad de Ingeniería para la Suprema Corte de Justicia de Uruguay.

Las alternativas implementadas por THUEDA son el método de medios tonos por difusión de error de Floyd-Steinberg (sección 2), la ecualización global del histograma (1) y la ecualización del histograma local modificado (4). Para futuras versiones, se proyecta sustituir el método de ecualización local indicado por la mejora descrita en (6).

Los algoritmos desarrollados para el procesamiento e impresión de la imagen permiten utilizar equipamiento estándar y de bajo costo inicial y operativo, que de otro modo no produciría resultados aceptables. De esta manera el sistema ofrece una solución económica y eficaz al problema planteado.

Hasta el presente, se han transmitido 213 fichas con THUEDA y todas las impresiones han permitido la identificación del detenido por parte de los técnicos dactiloscopos de la S.C.J.. Esto ha significado una reducción en el tiempo de averiguación de antecedentes que alcanza, en algunos casos, hasta un 80 %, con el consiguiente beneficio tanto para el detenido como para las instituciones involucradas.

La S.C.J. de Uruguay ha manifestado interés en que el Sistema de Transmisión de Huellas Dactilares se complemente con un Sistema de Reconocimiento Automático de Huellas. El Centro de Cálculo de la F.I. comenzó estudios en esta área en 1992, los cuales se continúan desde el año

1995 con la financiación del BID-CONICYT¹ en el marco del Proyecto 96/94 titulado “*Desarrollo de un Sistema de Reconocimiento Automático de Huellas Dactilares*”. El proyecto incluye mejoramiento, binarización, detección de puntos característicos, clasificación y comparación de la imagen de las huellas dactilares. Se cuenta asimismo con la colaboración del Instituto de Análisis Numérico del Instituto Real Tecnológico de Estocolmo (NADA, KTH) particularmente a través de sus departamentos de Redes Neuronales (SANS) y Visión Artificial (CVAP). Dicha colaboración está financiada por el Consejo Sueco para Inversión y Soporte Técnico (BITS) mediante un convenio establecido entre la Facultad de Ingeniería y KTH para desarrollar proyectos tecnológicos conjuntos.

5. Bibliografía

- [ALM95] Almansa, A.; Bergengruen, O.; Curbelo, R.; Drets, G. (1995) “Sistema de Transmisión Remota de Huellas Dactilares”, Memoria del 5to. Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías de La Habana, INFORMATICA’96, Cuba.
- [FLO75] Floyd, R. W., y Steinberg, L. (1975). “*An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale*”, International Symposium Digest of Technical Papers, Society for Information Displays, 36.
- [FOL90] Foley, J. D., et al. [1990]. “*Computer Graphics*”, (Selecting Intensities-Gamma Correction pp. 564-568; Halftone Approximation, pp. 568-574).
- [GON92] Gonzalez, R. C., y Woods, R. E. (1992) “*Digital Image Processing*”, (Histogram Processing, pp. 173-180; Local enhancement, pp. 182-185).

¹ Banco Interamericano de Desarrollo- Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica