

TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES: UNA APLICACIÓN PARA IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS A TRAVÉS DE LOS SENOS FRONTALES

Emilce Moler^a, Juan I. Pastore^a

^a*Laboratorio de Procesos y Medición de Señales, Universidad Nacional de Mar del Plata, J.B. Justo, 7600 mar del Plata, Argentina, egmoler@yahoo.com.ar*

Palabras claves: Senos frontales, descriptores, invariantes, imágenes digitales.

Resumen. Este trabajo presenta un método de comparación de senos frontales, utilizando técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes. La identificación de una persona a partir de la comparación de los senos frontales de su cráneo es admitida como un método válido de identificación positiva: la radiografía pre-mortem se compara con la radiografía post-mortem. Sin embargo, en virtud de la posición y distancia con que las radiografías han sido adquiridas esta comparación no puede ser realizada con una simple inspección visual. Las técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes se constituyen en un importante aporte en esta disciplina ya que proporcionan una descripción cuantitativa de curvas cerradas a partir de invariantes. En este trabajo se presenta un método de comparación a partir de una selección de Factores de formas, invariantes al escalamiento, rotación y traslación. Se trabajó con imágenes reales provenientes de radiografías digitales y simuladas por software. Se obtuvo un parámetro de distancia mínima entre curvas que indica la similitud entre dos formas.

1 INTRODUCTION

La Antropología Forense tiene como finalidad el estudio de los restos óseos esqueléticos, con el objeto de llegar a la identificación personal, averiguar la causa y data de la muerte, la edad, sexo, raza, estatura, posibles marcas profesionales, antiguas lesiones óseas y todo cuanto sea posible para proporcionar información a los investigadores para que puedan llegar a la identificación de una víctima (Luis-Vincent, 1983; Reverte Coma, 2001).

El cráneo es una parte muy importante en este proceso cuando la víctima no puede ser identificada por sus huellas digitales u otros métodos. Dado que no hay dos individuos que tengan senos frontales idénticos (Isçan and Helmer, 1993), la radiografía aplicada al estudio de los senos frontales del cráneo, es en muchos casos, definitiva para llegar a una identificación positiva. Si los familiares de la víctima pueden aportar una radiografía (pre-mortem), se toma una radiografía al cráneo (post-mortem) y se establece la comparación entre ambas. Sin embargo, la posición y la distancia de ambas radiografías no siempre coinciden, lo que dificulta al perito establecer la comparación por simple inspección visual o superposición entre ambas (Boddington et al., 1987; Reichs Kathleen, 1997).

Esta situación fue planteada por el Equipo Argentino de Antropología Forense y la Dirección de Registro de Personas Desaparecidas de la Provincia de Bs. As., cuyo objetivo es entregar los restos a los familiares de la persona desaparecida y aportar pruebas a las causas judiciales correspondientes (Cohen Salama, 1994).

Para colaborar en la solución de este problema se diseñó un método utilizando técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes correspondientes a las etapas de segmentación y representación de formas (Gonzalez & Woods, 1992).

Segmentar una imagen consiste en separar los objetos que intervienen en ella, con algún fin específico (Russ, 1995). Para obtener el contorno de los senos frontales se utilizó la técnica de gradiente morfológico (Serra, 1982; Meyer and Beucher, 1990). Debido a la buena calidad de las imágenes, no se presentaron dificultades adicionales en esta etapa.

Para la etapa de representación de un objeto, las numerosas técnicas existentes se pueden clasificar en dos tipos: las que se basan en las características internas del objeto (regiones) o las que analizan las características externas (contornos).

Los métodos basados en regiones utilizan momentos geométricos como el de Legendre o Zernike, entre otros. Aunque estas técnicas pueden aplicarse a distintas situaciones, usualmente involucran mayores costos computacionales (Teague, 1980; Liao Pawlak, 1996).

Las representaciones de contorno incluyen descriptores globales de forma tales como esfericidad, esbeltez, factor de forma o código cadena. Éstos, usualmente se los combina con otras técnicas para mejorar su rendimiento (Freeman, 1978; Davies, 1997).

Se ha probado que los Descriptores de Fourier (DFs) son robustos e invariantes a las rotaciones, traslaciones y escalas. Además, son simples computacionalmente y fáciles de normalizar para realizar comparaciones entre diferentes curvas (Mitchel and Grogan, 1984; Jain, 1987). Estas ventajas hacen que esta técnica sea la elegida para este trabajo.

Los métodos que utilizan DFs requieren una reducción en el número de coeficientes (Thomas, 1995; Kindratenko and Espen, 1996). Los contornos reconstruidos con menor número de coeficientes son una buena versión suavizada de los originales. Pero, tal reducción conduce a menor información en el contorno y en este contexto podría conducir a un error en la identificación, por lo tanto, deben eliminarse los coeficientes menos significativos.

Este trabajo propone utilizar la curvatura de los puntos del contorno como criterio de selección de los DFs más significativos. Esto permite reconstruir la forma de manera eficiente para su posterior análisis.

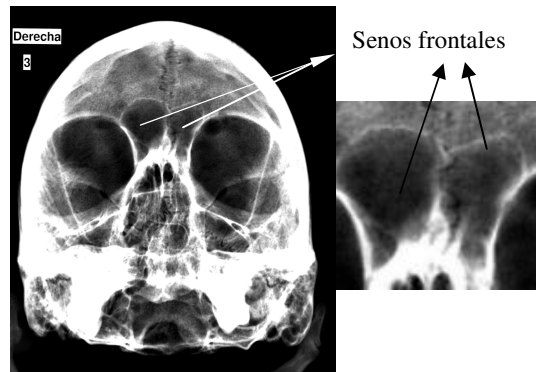


Figura1: Radiografía digital de un cráneo.

En las secciones siguientes se describen los fundamentos teóricos y el método propuesto aplicado a imágenes que presentan curvas simples cerradas, como las de los senos frontales (Figura1).

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Factores de forma

Los factores de forma más tradicionales son simplemente combinaciones de parámetros de tamaño (área, perímetro y diámetros) dispuestos de modo que las dimensiones se cancelan.

En la Tabla 1 se muestra una lista de los factores de forma más utilizados. Cada uno de estos parámetros captura un aspecto característico de la forma, pero por supuesto ninguno de ellos es único.

Factores de forma	Referencia
$F = \frac{4\pi A}{P^2}$	Factor de forma
$R = \frac{4A}{\pi D_{\max}^2}$	Redondez
$R_a = \frac{D_{\max}}{D_{\min}}$	Relación de aspecto
$E = \frac{l_f}{a_f}$	Elongación
$C = \frac{P_c}{P}$	Convexidad

Tabla 1. Factores de Forma.

A = área encerrada por el contorno;

Dmín/Dmáx = mínima/máxima diagonal del área encerrada por el contorno;

lf = longitud de fibra: definida como la longitud a lo largo del eje de la forma curvilínea;

af = ancho máximo de la forma curvilínea;

P = perímetro;

Pc = perímetro convexo: se define como la longitud de una línea convexa que circunscribe al objeto a medir.

2.2 Descriptores de Fourier

El método de los Descriptores de Fourier (DFs) consiste en describir la forma de una figura plana cerrada a partir de su contorno. El contorno de un objeto (en forma continua) puede ser caracterizado como una función en el tiempo considerando a éste como un par de señales $x(t)$ e $y(t)$. Dada una figura en el plano complejo, donde la parte real está representada por la señal $x(t)$ y la parte imaginaria está representada por la señal $y(t)$, el contorno puede ser trazado formando una función compleja en el tiempo en una dimensión. Por lo tanto, para cualquier contorno muestreado se puede definir:

$$u(n) \triangleq x(n) + jy(n) \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

Para una forma cerrada, la función se considera periódica de período N y puede ser representada por una Serie de Fourier, donde las componentes de dicha serie son los llamados Descriptores de Fourier (DFs). Dado que las imágenes son discretas, la Serie de Fourier pasa a ser una Transformada Discreta de Fourier, donde sus coeficientes (DFs) también son discretos:

$$u(n) \triangleq \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} a(k) \exp\left(\frac{j2\pi kn}{N}\right) \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

Los coeficientes de Fourier se calculan directamente a partir de la posición del trazado del contorno:

$$a(k) \triangleq \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \exp\left(\frac{-j2\pi kn}{N}\right) \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (3)$$

Transformación	Descriptores de Fourier
Normal	$a(k)$
Traslación	$a(k) = a(k) + u_0 \delta(k)$
Escala o Zoom	$a(k) = \alpha a(k)$
Punto de Comienzo	$a(k) = a(k) e^{(-2\pi n_0 k/N)}$
Rotación	$a(k) = a(k) e^{j\theta_0}$
Reflexión	$a(k) = a^*(-k) e^{(j2\theta_0)} + 2\gamma \delta(k)$

Tabla 2. Propiedades de los DFs

En la Tabla 2 se enuncian las principales propiedades de los DFs. Se observa que los módulos de los DFs son invariantes respecto a la translación, reflexión y rotación e

independientes del punto de comienzo u_0 (Jain, 1989).

Si se definen a_k y b_k como los DFs de dos diferentes señales $u(n)$ y $v(n)$ respectivamente, las formas serán similares si la siguiente distancia es pequeña:

$$d(u_0, \alpha, \theta_0, n_0) \triangleq \min_{u_0, \alpha, \theta_0, n_0} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} |u(n) - \alpha v(n + n_0) e^{j\theta_0} - u_0| \right\} \quad (4)$$

Los parámetros u_0 , α , n_0 , y θ_0 son elegidos para minimizar los efectos de la translación, escalamiento, puntos de comienzo y rotación respectivamente. Donde para un n_0 dado, la distancia será mínima si:

$$u_0 = 0, \quad \alpha = \frac{\sum_k c(k) \cos(\psi_k + k\phi + \theta_0)}{\sum_k |b(k)|^2}, \quad (5)$$

$$\tan(\theta) = \frac{\sum_k c(k) \sin(\psi_k + k\phi)}{\sum_k c(k) \cos(\psi_k + k\phi)}$$

donde: $a(k)b^*(k) = c(k)e^{j\psi_k}$ siendo $b^*(k)$ el conjugado de $b(k)$; $\phi \cong -2\pi n_0/N$ y $c(k)$ una cantidad real. La Ecuación 5 entrega valores α y θ_0 , a partir de los cuales la distancia mínima d está dada por:

$$d = \min_{\phi} [d(\phi)] = \min_{\phi} \left\{ \sum_k |a(k) - \alpha b(k) e^{j(k\phi + \theta_0)}|^2 \right\} \quad (6)$$

donde la distancia $d(\phi)$ puede ser evaluada para cada $\phi = \phi(n_0)$, $n_0 = 0, 1, 2, \dots, N-1$ y encontrar el mínimo para determinar d . Este valor d es una medida útil para determinar diferencias entre dos curvas (Zhang, 2003).

2.3 Función curvatura

Uno de los elementos que caracterizan la forma de una curva es el grado de curvatura. Si el contorno es una función dos veces derivable, definida por:

$$\gamma(t) = x(t) + jy(t) \quad (7)$$

entonces su Función curvatura, se define como:

$$K(t) = \frac{\delta}{\delta t} \tan^{-1} \frac{y'(t)}{x'(t)} \quad (8)$$

En el caso de perfiles discretos se utilizó el método de estimación de la curvatura de k-coseno de Rosenfeld - Johnston (Mokhtarian and Mackworth, 1986) que establece que:

Sea $C = \{p_i(x_i, y_i), i = 1, \dots, n\}$ un perfil. Se elige un factor de alisamiento m y en cada punto p_i se calcula $\{\cos_{ik}, k = 1, \dots, m\}$ donde:

$$\cos_{ik} = \frac{a_{ik}b_{ik}}{|a_{ik}||b_{ik}|} \quad (9)$$

con $a_{ik} = (x_i - x_{i+k}, y_i - y_{i+k})$, $b_{ik} = (x_i - x_{i-k}, y_i - y_{i-k})$ y en cada punto $p_i \in C$, se toma el mayor h tal que $\cos_{im} < \cos_{i,m-1} < \dots < \cos_{i,h} \geq \cos_{i,h-1}$; siendo el valor de curvatura en el punto p_i el $\cos_{i,h}$

2.4 Muestreo

Dado el contorno original (denotado por C) y otro contorno cualquiera, se debe establecer una comparación entre ambos a través de los DFs. Por lo tanto, es deseable que ambos tengan el mismo número de coeficientes. Sin embargo, esto raramente ocurre y hace que no puedan ser comparados. Para eliminar este problema el contorno debe ser muestreado nuevamente para obtener la igualdad. Kindratenko and Espen (1996) proponen un método iterativo de muestreo: el nuevo contorno se forma con aquellos puntos que tengan mayor curvatura y se van eliminado N_C/C^* puntos vecinos del valor seleccionado (siendo N_C la cantidad de puntos del contorno C y C^* un número arbitrario de puntos). En este trabajo se presenta un nuevo método de muestreo en base a estos análisis.

3 METODO PROPUESTO

Dada la imagen original (radiografía pre-mortem) y la imagen correspondiente a la radiografía post-mortem, el método propone los siguientes pasos:

- Paso 1: Cálculo del Gradiente Morfológico.
- Paso 2: Cálculo y normalización de los DFs.
- Paso 3: Muestreo del contorno.
- Paso 4: Cálculo de los DFs de los nuevos elementos.
- Paso 5: Cálculo de los factores de forma.
- Paso 5: Cálculo de la distancia mínima y análisis comparativo de las curvas.



Figura.2: (a) Senos frontales; (b) Imagen segmentada utilizando Gradiente Morfológico

Paso 1: Se calcula el Gradiente Morfológico para obtener los contornos de las imágenes a comparar (Figura 2). Se denotan C y C' a los respectivos contornos.

Paso 2: Se calculan los DFs a ambos contornos y se aplica la normalización propuesta por Mitchel and Grogan (1984), pero, en vez de dividir por el $|c_1|$ se divide por el $\max_{1 \leq i \leq N_c} |c_i|$.

Paso 3: Se calcula el vector curvatura (denotado por K y de longitud N_c), formado por los valores de la Función Curvatura correspondiente a todo punto del contorno C . Se establece el siguiente proceso iterativo: Se seleccionan los elementos de K de valor máximo y se coloca un valor bandera a éste y al valor contiguo creciente. Se repite este paso hasta quedarse con C^* elementos. Análogamente se realiza para el contorno C' de $N_{c'}$ puntos.

Paso 4: Se calculan los DFs a los nuevos contornos obtenidos del Paso 3.

Paso 5: Se calcula para cada contorno los factores de forma definidos en la Tabla 1. Si los valores presentan diferencias significativas (diferencias mayores al 15%) no se continúa con el análisis. En caso contrario:

Paso 6: Se calcula el valor d definido en la Ecuación 6. Si el valor d se mantiene menor que un umbral T , se considera que ambas curvas presentan un alto grado de similitud.

4 SOFTWARE

El algoritmo propuesto fue implementado en Matlab utilizando una interfaz gráfica de usuario que, después de seleccionar y cargar la imagen post-mortem, ejecuta los pasos del algoritmo propuesto, y proporciona una lista ordenada por la distancia mínima d de menor a mayor con respecto a las radiografías existentes en la base de datos. La mejor aproximación (menor distancia d) se mostrará en la parte superior. Al seleccionarse un elemento específico de la lista, el programa muestra información detallada. Botones adicionales permiten guardar los resultados, ya sea la totalidad de la lista, o el contenido del elemento seleccionado. La Figura 3 muestra la interfase del programa.

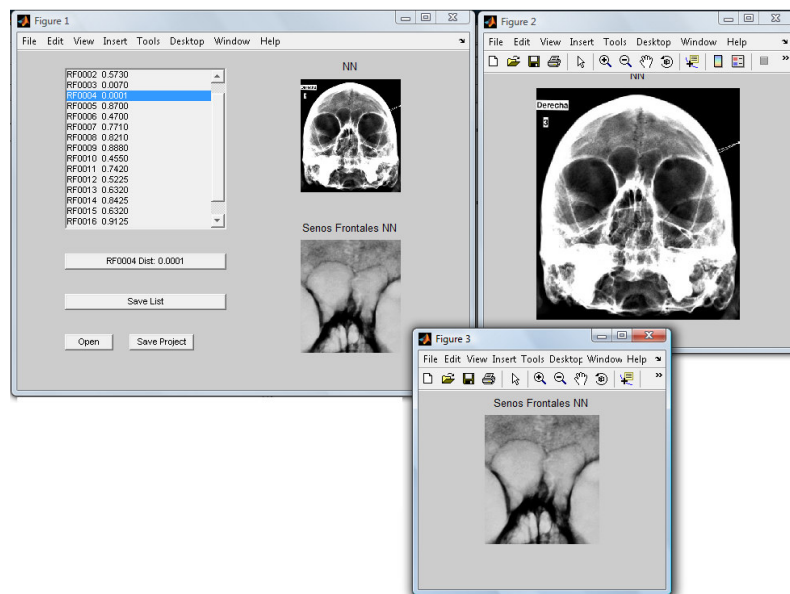


Figura3: Interfase gráfica.

5 MATERIALES

Se tomaron radiografías digitales a 10 cráneos en distintas posiciones. Las imágenes fueron adquiridas en el Instituto Radiológico de la ciudad de Mar del Plata y grabadas en formato TIFF. Para la etapa de prueba se utilizaron imágenes simuladas por software. Los algoritmos utilizados fueron desarrollados en lenguaje Matlab[®].

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron pruebas con imágenes simuladas y las obtenidas de las radiografías digitales. En las imágenes simuladas se establecieron grupos con las siguientes características:

Grupo A: Imágenes originales (simuladas por software).

Grupo B: Imágenes originales rotadas con un ángulo α ($\alpha = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$).

Grupo C: Imágenes rotadas con un ángulo α arbitrario.

Grupo D: Imágenes escaladas.

Grupo E: Imágenes escaladas y rotadas (α arbitrario).

Grupo F: Imágenes que mantienen características globales similares (esfericidad, factor de forma y esbeltez) pero con características locales diferentes.

Se determinó el valor de d (distancia mínima) entre imágenes pertenecientes a distintos grupos. La Tabla 3 muestra los valores promedios de los N_c , N_c y de los valores mínimos obtenidos d (denotados por \bar{N}_c , \bar{N}_c y \bar{d} , respectivamente).

Grupos	\bar{N}_c	\bar{N}_c	\bar{d}
A y B	544	545	$2.675e^{-006}$
A y C	544	535	0.1
A y D	544	675	0.15
A y E	544	690	0.2
A y F	544	568	≥ 1
B y F	545	568	≥ 1
C y F	535	568	≥ 1
D y F	675	568	≥ 1
E y F	690	568	≥ 1

Tabla 3. Resultados de análisis comparativos

Una vez concluida esta etapa de prueba con imágenes simuladas, se procedió a constatar la eficacia del método de identificación descripto con 10 imágenes reales, nítidas y libres de ruido, arribando a resultados similares. Esta cantidad es significativa dada la dificultad legal que existe para la obtención de este tipo de imágenes.

Por lo expuesto se consideró que, si al comparar dos curvas cerradas simples presentan parámetros de redondez, factor de forma, elongación, convexidad correlacionados y el valor de distancia mínima d se encuentra en el intervalo $[0, T)$, $T=0.02$, se considera que tienen un alto grado de similitud. Este valor de T surge como resultado de varias pruebas experimentales.

Este análisis, junto con otros datos que aportan los expertos, permite, en primera instancia, descartar si ambas radiografías pertenecen o no a la misma persona.

Debido a la buena calidad de las imágenes, no se presentaron dificultades adicionales en la etapa de segmentación. Sin embargo, se observó que si la radiografía pre-mortem es de baja calidad, esta etapa es dificultosa. Esto requerirá un pre-procesamiento de la imagen original a

través de un filtrado adecuado. Con el objeto de solucionar también este problema se están realizando pruebas con imágenes de tomografía computada.

7 AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Dr. Carlos Capiel del Instituto Radiológico, por el suministro de las imágenes radiográficas y tomográficas; como así también al experto forense Alejandro Incháurregui por su valioso aporte en las discusiones.

8 CONCLUSIONES

Se presentó un método que utiliza los DFs para describir formas y obtener un parámetro que permite realizar un análisis de similitud. Se propone, para solucionar el problema de eliminar DFs, seleccionar aquellos que presenten curvatura máxima. Esto garantiza que los DFs significativos van a estar presentes en la reconstrucción de la forma y sólo son eliminados aquéllos que no aportan información relevante, lo que minimiza la pérdida de información.

Se obtuvo un parámetro de distancia mínima entre dos curvas, que junto con otros datos de descripción de formas, incide de manera directa en la decisión de similitud de formas.

Con este trabajo se realiza un aporte científico-tecnológico a una disciplina como la Antropología Forense requerida tanto para la resolución de un único caso como cuando se producen desastres masivos, donde el procesamiento automatizado se convierte en una útil herramienta para la obtención de datos. El proceso automático de identificación disminuye considerablemente el tiempo, se elimina la subjetividad y aumenta la capacidad de trabajo del experto.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Boddington, A., Garland A. & R. Janaway, *Death, Decay and Reconstruction: Approaches to Archaeology and Forensic Science*, Manchester University Press (1987).
- Cohen Salama, M., *Tumbas anónimas: Informe sobre la identificación de restos de desaparecidos en Argentina*, Catálogos, Buenos Aires (1994).
- Davies, E. R., *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*, Academic Press, New York (1997).
- Freeman, H. and A. Saghari, "Generalized chain codes for planar curves," Proc. 4th International Joint Conference on Pattern Recognition, Japan, 701-703 (1978).
- Gonzalez, R. & R. Woods, *Digital Image Processing*, Adison -Wesley, New York (1992).
- Işcan, Y. & R. Helmer, *Forensic Analysis of the skull: Craniofacial Analysis, Reconstruction, and Identification*, Wiley-Liss, New York (1993).
- Jain, A., *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1989).
- Kindratenko, V. and P. Van Espen, "Classification of Irregularly Shaped Micro-Objects Using Complex Fourier Descriptors," Proceedings of ICPR'96, 285-289 (1996).
- Liao, S.X. and M. Pawlak, "On Image analysis by moments," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **18**, 254-266 (1996).
- Luis-Vincent, T., *Antropología de la muerte*, Fondo de Cultura Económica, México (1983).
- Meyer, F.y S. Beucher, "Morphological segmentation," J. of Visual Communication & Image Representation, **1**, 21-45 (1990).
- Mitchel, O. R. and T., Grogan, "Global and partial shape discrimination for computer vision," Optical Engineering, **23**, 484-491 (1984).

- Mokhtarian, F. and A. Mackworth, "Scale-based Description and Recognition of Planar Curves and Two-Dimensional Shapes," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell.*, **8**, 34-35 (1986).
- Reichs Kathleen J., *Forensic Osteology. Advances in the Identification of Human Remains*, Illinois (1997).
- Reverte Coma, J.M., *Antropología Forense*, Ministerio de Justicia, Madrid (2001).
- Russ, J., *The Image processing Handbook*, 2nd edition, CRC Press (1995).
- Serra, J., *Image Analysis and Mathematical Morphology, Vol I*, Academic Press, London (1982).
- Teague, M. R., "Image analysis via the general theory of moments," *Journal of Optical Society of America*, **70**, 920-930 (1980).
- Thomas, M., Wiltshire R.J and A.T. Williams, "The Use of Fourier Descriptors in the Classification of Particle Shape," *Sedimentology*, **42**, 635-645 (1995).
- Zhang, D. And L. Guojun, "A comparative study of curvature scale space and Fourier descriptors for shape-based image retrieval," *J. of Visual Communication & Image Representation*, **14**, 41-60 (2003).