

PROTOTIPO PARA EL REGISTRO DE IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNÉTICA DEL CEREBRO

MANUEL FORERO

Grupo de Investigación en Computación Gráfica y Procesamiento de Imágenes OHWAHA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

MARIO RODRIGUEZ

Grupo de Investigación en Computación Gráfica y Procesamiento de Imágenes OHWAHA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

FERNEY ROJAS

Grupo de Investigación en Computación Gráfica y Procesamiento de Imágenes OHWAHA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

Recibido para revisar 5 de Diciembre de 2001, aceptado 10 de Abril de 2002; versión final 23 de Mayo de 2002.

RESUMEN: El estudio del cerebro ha avanzado notablemente gracias a las técnicas de adquisición y procesamiento de imágenes. En el tratamiento de pacientes se requiere, en algunos casos, la comparación de diversas imágenes de la misma modalidad, pero adquiridas en distintos momentos con el fin de evaluar la evolución de una enfermedad o un tumor. El mayor inconveniente reside en que las imágenes están desalineadas (rotadas, trasladadas o no se hallan en un mismo plano), impidiendo su comparación directa. Este artículo presenta dos acercamientos para el registro de imágenes basados en la transformadas de Hotelling y Radón.

PALABRAS CLAVES: Registro, Procesamiento de imágenes, Hotelling, Sinograma, Radón.

ABSTRACT: The study of the brain has advanced notably because of the acquisition and image processing techniques. In the treatment of patients, in some cases, it is necessary to compare different images of the same modality, but acquired in different moments in order to evaluate the evolution of an illness or a tumor. The bigger problem consists in that the images are not aligned (rotated, translated or they are not in the same plane), making impossible its direct comparation. This paper presents two approach for image register based on the Hotelling and Radon transforms.

KEYWORDS: Register, Image processing, Hotelling, Sinogram, Radon.

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de registro es una tarea fundamental en el procesamiento de imágenes y es usado para hacer coincidir dos o más imágenes dadas; tomadas, por ejemplo, en distintos instantes de tiempo o con ángulos de vista diferentes.

En los últimos años se han desarrollado una gran variedad de técnicas de registro para solucionar variados tipos de problemas. Estas

técnicas han sido estudiadas independientemente dando como resultado una gran cantidad de adelantos y documentos experimentales. Las técnicas de registro son requeridas especialmente en casos de integración de información proveniente de diferentes sensores. Estas permiten encontrar diferencias entre imágenes tomadas bajo distintas condiciones temporales, espaciales o climáticas, deducción de información tridimensional de imágenes en las cuales las cámaras o los objetos están en

movimiento y para reconocimiento de objetos basados en modelos.

2 TRANSFORMADA DE HOTELLING

Una de las técnicas que permite la alineación precisa de imágenes es la transformada de Hotelling (*Forero, 2001*), la cual se basa en las propiedades estadísticas de las representaciones vectoriales.

Esta técnica considera una población de vectores aleatorios de la forma:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde el vector medio de esta población, se define como:

$$\mathbf{m}_x = E\{\mathbf{x}\} \quad (2)$$

La matriz de covarianza de la población de vectores se define como:

$$\mathbf{C}_x = E\{(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)^T\} \quad (3)$$

Puesto que \mathbf{x} es de dimensión n y la matriz de covarianza \mathbf{C}_x es real, simétrica y de orden nxn , los elementos de la diagonal de \mathbf{C}_x , indican la varianza de la i -ésima componente de los vectores \mathbf{x} de la población, y los demás elementos de la matriz \mathbf{C}_x representan la covarianza entre los elementos x_i y x_j de los vectores.

Si se tiene una cantidad M de muestras vectoriales de una población aleatoria, el vector medio y la matriz de covarianza se pueden aproximar por:

$$\mathbf{m}_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \mathbf{x}_k \quad (4)$$

y

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \mathbf{x}_k \mathbf{x}_k^T - \mathbf{m}_x \mathbf{m}_x^T \quad (5)$$

Como \mathbf{C}_x es real y simétrica, es posible hallar el conjunto de los n valores propios ortonormales, para la construcción de la matriz \mathbf{A} cuyas filas están formadas por los vectores propios de \mathbf{C}_x ordenadas de forma tal que la primera fila de \mathbf{A} sea el vector propio correspondiente al mayor valor propio y la última sea el vector propio correspondiente al menor valor propio.

\mathbf{A} es una matriz de transformación que se aplica sobre \mathbf{x} , obteniendo los vectores \mathbf{y} en la siguiente forma:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x) \quad (6)$$

La ecuación (6) es llamada la transformada de Hotelling. La media de los vectores \mathbf{y} , resultantes de esta transformación, es cero; es decir:

$$\mathbf{m}_y = 0 \quad (7)$$

La matriz de covarianza de los componentes \mathbf{y} puede obtenerse en términos de \mathbf{A} y \mathbf{C}_x mediante la ecuación:

$$\mathbf{C}_y = \mathbf{A} \mathbf{C}_x \mathbf{A}^T \quad (8)$$

El resultado de emplear la transformada de Hotelling es establecer un nuevo sistema de coordenadas. Un ejemplo del uso de la transformada de Hotelling puede observarse en la Figura 1, donde la imagen **a** es la imagen original y la **b** es la resultante de aplicar el nuevo sistema de coordenadas encontrado por medio de la transformada.

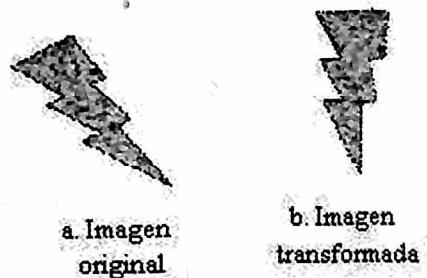


Figura 1. Ejemplo de la transformada de Hotelling.

Dado que en el trabajo desarrollado se usan imágenes en escala de grises, se debe realizar un

tratamiento antes de aplicar esta transformada. Dicho tratamiento consiste en detectar los bordes de los objetos en la imagen, luego convertir la imagen resultante a monocromática y construir la población de vectores con las posiciones de los puntos que queden en color negro. Posteriormente se aplica la transformada de Hotelling y se construye una nueva imagen con base en los resultados de la rotación, las posiciones de los pixeles y sus intensidades, las cuales se encuentran en la imagen original.

El procedimiento necesario para la detección de los bordes, se lleva a cabo con la aplicación de máscaras como la siguiente:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Estas máscaras funcionan como operadores locales de derivación, en busca de la frontera entre dos regiones con propiedades de nivel de gris relativamente distintas.

La imagen resultante del proceso de detección de bordes, es sometida a una técnica de ecualización automática, pues los componentes presentes en la imagen tienden a agruparse en una sola región de grises. Esta ecualización acentúa los bordes, y por lo tanto en el momento de construir de la imagen monocromática, donde se aplica la transformada de Hotelling, se tendrá la certeza de que se trabaja con la información más significativa de la imagen y de que los resultados del proceso arrojarán los componentes más importantes de ella, para lograr así una correcta realineación de los ejes de los objetos en la imagen.

3 TRANSFORMADA DE RADON

Otra de las técnicas usadas para el registro de imágenes, ya evaluadas por el grupo Ohwaha (*Forero y González, 1998*), está basada en la transformada de Radon, quien expuso sus principios en 1917. El objetivo de esta técnica es poder alinear de forma casi exacta dos imágenes similares, donde una de estas se encuentra rotada y/o trasladada respecto a la otra.

Por medio de la transformada de Radon se obtienen sinogramas. Un sinograma es una imagen que organiza las diferentes proyecciones

que se han hecho de una imagen inicial, comúnmente llamada imagen flotante. Una proyección es la representación de una imagen bidimensional en un espacio unidimensional representado por una línea o vector de valores.

Para crear el sinograma existen dos técnicas de proyección, las cuales son equivalentes y por tanto proporcionan resultados similares (*Forero y González, 1998*).

La primera técnica de proyección construye la representación de la imagen lanzando rayos paralelos horizontales sobre ésta, tomando cada rayo la máxima intensidad o el valor promedio de su recorrido como lo muestra la Figura 2.

Después de barrer toda la imagen, se obtiene un vector representativo de ésta. El sinograma es construido con base en diferentes proyecciones que se obtienen de la imagen; para lograrlas se rota la imagen, por lo general en pasos de un grado obteniendo así nuevas proyecciones, tal como lo ilustra la Figura 3.

El proceso se realiza rotando la imagen generalmente entre 0° y 180° , obteniendo una proyección por cada grado. Debe tenerse en cuenta que en la práctica, las imágenes que se desean registrar se encuentran por lo general rotadas muy poco una respecto a la otra, y que esta rotación puede ser negativa, por lo que (*Forero y González, 1998*) sugieren un intervalo menor que contemple grados de inclinación negativa, entre -30° y 30° . Las proyecciones son colocadas una a continuación de la otra para formar el sinograma, cuyo alto será el mismo de la imagen inicial y su ancho corresponderá al número de proyecciones tomadas, en este caso 180. El sinograma resultante presenta la forma mostrada en la Figura 4.

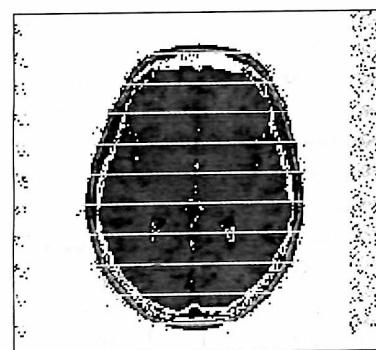


Figura 2. Técnica de barrido horizontal para obtener la proyección de una imagen.

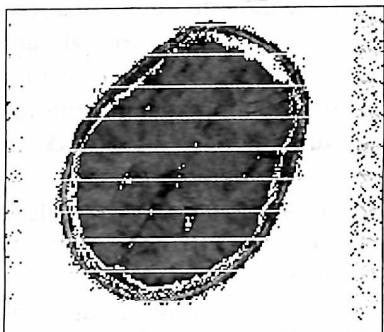


Figura 3. Imagen rotada y proyectada horizontalmente.

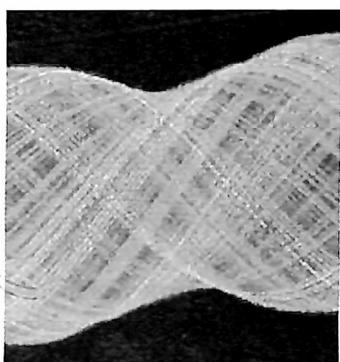


Figura 4. Sinograma creado a partir de las diferentes proyecciones de la Figura 1.

Como puede observarse en la Figura 4, los sinogramas toman su nombre de las formas sinusoidales que se presentan en él y que representan los diferentes detalles de la imagen de importancia que se presentan al rotarla.

El principal problema que presenta esta implementación es que exige la creación de una nueva imagen cada vez que la original es rotada para realizar sobre ella el barrido horizontal. Este proceso requiere un alto trabajo de computo pues implica calcular las nuevas posiciones de cada uno de los pixeles que forman parte de la imagen original, originando demoras considerables en el procesamiento. Además, en la rotación pueden perderse algunos pixeles que no correspondan directamente entre la imagen original y la transformada.

La segunda técnica de proyección busca ser más eficiente. Su principio básico consiste en no rotar la imagen sino los rayos que la barren; como lo ilustra la Figura 5. Usando esta técnica, se obtiene una proyección prácticamente igual que la resultante de usar la primera técnica. La ventaja de esta forma de proyección, es que no

se deben generar nuevas imágenes, por ende el tiempo de procesamiento es mucho menor. Para implementar esta técnica, se usó el algoritmo de trazado de líneas DDA (*Hearn, 1995*) con el cuál es posible conocer los puntos que conforman una línea, además de sus ventajas respecto a otros métodos similares.

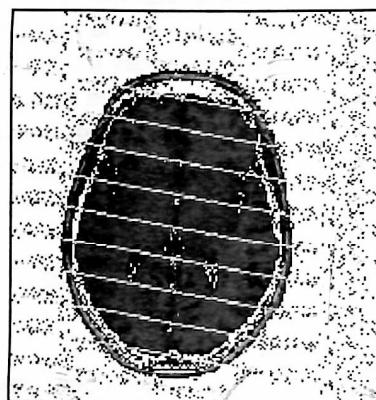


Figura 5. Técnica de proyección rotando el ángulo de barrido.

Después de obtener el sinograma de la imagen flotante, empleando cualquiera de los dos métodos anteriormente expuestos, éste es usado para conocer el grado de relación que hay entre la imagen flotante y una fija, la cual debe corresponder a la misma región pero adquirida mediante otra modalidad o tomada nuevamente en otro momento. Un ejemplo claro de este tipo de imágenes se da en la medicina, donde una imagen puede obtenerse al inicio de un tratamiento de un órgano y otra después de un período de tiempo.

Para usar el sinograma, primero debe hacerse una proyección sobre la imagen fija empleando la misma técnica utilizada en su creación. Ya que el sinograma es el resultado de la unión de múltiples proyecciones realizadas sobre la imagen flotante, se busca entre ellas la que más se asemeja a la proyección de la imagen fija; para ello se usan métodos de correlación.

El coeficiente de correlación normalizado está dado por (*Forero y González, 1998*)

$$r = \sum f(x)f(y) / \sqrt{(\sum f(x)^2 \sum f(y)^2)} \quad (10)$$

donde $f(x)$ son los valores obtenidos de la proyección de la imagen fija y $f(y)$ son los

valores hallados de las diferentes proyecciones hechas sobre la imagen flotante.

El resultado de la correlación se encuentra en el intervalo [-1 1], donde una mayor magnitud indica un mayor grado de correlación y el signo señala si la relación es positiva o negativa. De esta manera puede encontrarse en forma sencilla el grado de inclinación que existe entre la imagen fija y la imagen flotante.

Sin embargo, esta solución de registro de imágenes no tiene en cuenta la translación ni el ruido que puede presentarse en la realidad. Con el fin de mejorar los resultados, se realizó un ajuste a la técnica de correlación. La mejora realizada consiste en tomar las proyecciones dadas por los sinogramas y ordenar sus valores antes de correlacionarlos, para así evitar resultados erróneos.

En la Figura 6, se muestran las representaciones matriciales de dos imágenes y sus respectivas proyecciones usando la técnica del promedio. Como puede verse, la segunda matriz es equivalente a la primera, pero desplazada en una fila. El resultado de correlacionar estos dos grupos de valores es de 0.80769 a pesar de que son iguales.

La mejora de la técnica toma los valores de las proyecciones y los ordena en forma ascendente, tal como se ve en la Figura 7.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	150	130	120	115	118	0	90
0	145	123	125	116	112	0	89
0	130	130	120	120	115	0	88
0	131	135	123	132	130	0	93
0	110	103	115	125	127	0	83
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0
0	150	130	120	115	118	0	90
0	145	123	125	116	112	0	89
0	130	130	120	120	115	0	88
0	131	135	123	132	130	0	93
0	110	103	115	125	127	0	83
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 6. Ejemplo de la mejora de la técnica.

0	0	0	83	88	89	90	93
---	---	---	----	----	----	----	----

Figura 7. Vector de proyección ordenado.

Al correlacionar los vectores ordenados se obtiene un mejor resultado. Para este ejemplo, la correlación encontrada es de 1, indicando que las imágenes son iguales.

4 RESULTADOS

Con el fin de comprobar la efectividad del segundo método y la mejora propuesta, se tomaron diferentes imágenes de resonancia magnética como imagen fija, mientras que las flotantes correspondían a las imágenes fijas rotadas.

La Figura 8 muestra una imagen flotante usada en una prueba, ésta corresponde a la Figura 2 rotada 15° y trasladada 7 píxeles en sentidos horizontal y vertical.

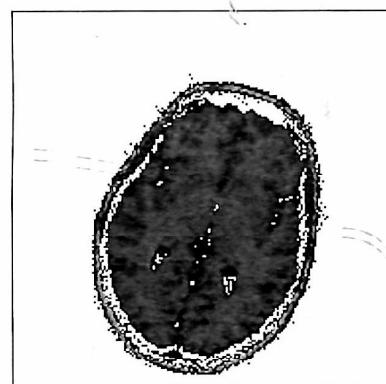


Figura 8. Imagen flotante usada para observar los resultados de la aplicación en desarrollo.

La imagen rotada resultante, de registrar las imágenes de las Figuras 2 y 8 con la técnica sin mejorar, se esperaba que coincidiera con la inclinación de la Figura 2. Sin embargo, el ángulo obtenido con mayor correlación fue de 53°. La Figura 9 muestra el resultado al rotar la Figura 8 por este valor. Como es obvio, el resultado obtenido no coincide con el esperado.

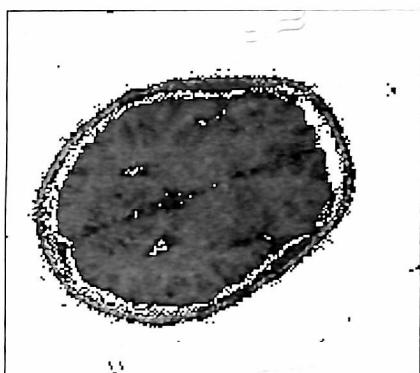


Figura 9. Resultado obtenido al procesar la Figura 6.

Los resultados obtenidos fueron superiores usando la mejora propuesta para esta técnica. Para el ejemplo de la Figura 8 se obtuvo un ángulo de mayor correlación de 13°.

Otro aspecto tenido en cuenta durante la implementación fue el criterio para obtener la proyección de la imagen. En principio se usó como criterio el valor máximo que encontrara el rayo; sin embargo, al trasladar las imágenes flotantes los resultados de usar el máximo no fueron los mejores, esto llevó a cambiar este criterio por el valor medio de las intensidades; esta modificación arrojó mejores resultados y además redujó los efectos causados por el ruido presente en las imágenes IRM.

5 CONCLUSIONES

Los métodos expuestos en este artículo presentan los resultados preliminares de una investigación en registro de imágenes. Los primeros trabajos realizados en el grupo OHWAHA por (Forero y González, 1998) requerían de una técnica que permitiera corregir la fusión cuando se presentan desplazamientos entre los objetos en las imágenes.

Se han presentado dos acercamientos a la solución utilizando las transformadas de Hotelling y de Radón. Esta última permite obtener mejores resultados ya que la transformada de Hotelling sólo emplea una imagen mientras que el uso de sinogramas permite correlacionar dos.

Los resultados preliminares sobre imágenes trasladadas y rotadas utilizando la técnica del

sinograma planteada por (Forero y González., 1998) entrega errores del orden de 40°. La mejora presentada permite disminuir el error a valores entre 2° y 3°.

Aunque se obtienen buenos resultados se desea mejorar la aproximación cuando los objetos de las imágenes se encuentran trasladados en el espacio.

REFERENCIAS

- Forero M.G., González M. *Fusión automática de imágenes a través de la obtención de sinogramas*. Revista Ingeniería e Investigación, No. 40. Universidad Nacional de Colombia. Agosto 1998.
- Forero M.G. *Introducción al procesamiento digital de imágenes*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. UNED. Madrid. España. 2001.
- Hearn D. y Baker P. *Gráficas por computadora*. Prentice Hall Hispanoamericana. Segunda Edición. 1995.