A large, bold, black letter 'P' is set against a rectangular background with a fine, grey, halftone-like texture. The letter is positioned on the left side of the page, partially overlapping the title.

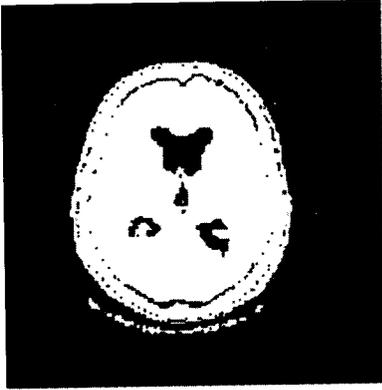
rocesamiento de Imágenes Médicas

Alberto ■ Restrepo ■ V.

Gracias a las innovaciones en la tecnología para el procesamiento de imágenes médicas, al alto desarrollo de mejores y más baratas computadoras, y, adicionalmente, a los adelantos en los sistemas de comunicaciones de imágenes médicas, la adquisición, almacenamiento y manejo de 0 imágenes digitales ha adquirido gran importancia en todas las ramas de la medicina.

Se pretende en este artículo introducir algunas ideas fundamentales de procesamiento de imágenes digitales, que incluyen aspectos tales como su representación, almacenamiento, mejoramiento, visualización y comprensión.

Alberto Restrepo V. Ingeniero Químico, U. de A. Magister en Administración de la Universidad EAFIT. Área de Interés - Informática Médica. Profesor de tiempo completo de la Universidad EAFIT.



La imagen presenta un corte axial del cerebro, obtenida mediante un equipo para Tomografías Axiales Computarizadas.

1. TIPOS DE IMÁGENES MÉDICAS

Las imágenes médicas se han convertido en unas ayudas importantes para el profesional de la medicina, tanto en campos especializados como no especializados. Es importante ilustrar al lector en todo lo referente a los diferentes tipos de imágenes que se pueden obtener con la tecnología actual. Estas imágenes se obtienen en formato análogo, por lo cual es necesario digitalizarlas para su proceso. Se presentan las más conocidas:

1.1 RADIOGRAFÍAS

Son imágenes monocromáticas que se adquieren generalmente en formato análogo, al capturar la variación de intensidad espacial de los rayos X en una película. Ésta ha sido una de las tecnologías más ampliamente utilizada, y es del común conocimiento de casi toda persona que ha requerido de radiografías. Adicionalmente, se llevan placas planas análogas de imágenes radiológicas a un formato digital con el fin de poder almacenarlas y utilizarlas en posteriores lecturas.

1.2 TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC)

Este tipo de imágenes permite obtener cortes bidimensionales de cualquier parte del organismo humano sobre la pantalla de un tomógrafo y en una película plana en blanco y negro.

1.3 ULTRASONIDO

Estas imágenes se generan al procesar la reflexión recibida de las ondas ultrasónicas. Normalmente son imágenes en blanco y negro de baja resolución. Posiblemente, el lector habrá podido observar el resultado de una ecografía.

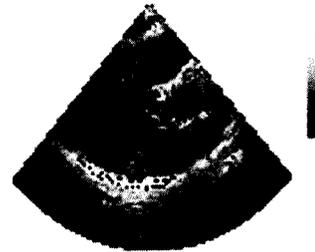


Imagen obtenida mediante un ecógrafo

1.4 IMÁGENES DE RESONANCIA MAGNÉTICA (MRI)

Este tipo de imagen se obtiene al utilizar el *spin* de los electrones en átomos individuales, con el fin de obtener una imagen de estructuras anatómicas. Se obtiene en blanco y negro con una resolución baja. En ciertas partes del organismo, se prefiere este tipo de imagen a la que resulta de un TAC.

1.5 FOTOGRAFÍA CONVENCIONAL

Esta se utiliza en muchos campos, entre los que se pueden mencionar la dermatología,

oftalmología, cirugía plástica, videoendoscopias, etc. Se pueden obtener en blanco y negro o en colores.

2. OBTENCIÓN DE IMÁGENES DIGITALES EN MEDICINA

Las imágenes radiológicas representan un alto porcentaje de las imágenes médicas que se utilizan diariamente en procedimientos dentro de los centros de salud. Estas imágenes se capturan en una película, aunque los sistemas radiológicos modernos permiten obtener las imágenes directamente en formato digital. El proceso de convertir una película de rayos X en una imagen digital se realiza en un dispositivo denominado digitalizador, el cual es un *scanner* de alta calidad.

Otras tecnologías para producir imágenes tienen una salida que se obtiene al procesar mediante análisis numérico varias medidas lógicas. Ejemplo de estos casos se dan en imágenes de resonancia magnética, fotografías axiales computarizadas y el ultrasonido. En muchos de estos casos se puede obtener una salida digital.

Se discutirán algunas técnicas de adquisición de imágenes digitales.

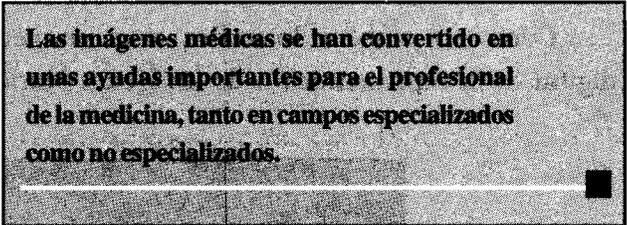
2.1 IMÁGENES DIGITALES OBTENIDAS CON CÁMARAS DE VIDEO

Se puede obtener una imagen utilizando una cámara de video estándar. En sistema PAL (Phase Alternation Lines) las imágenes de video se componen de 625 líneas horizontales. Un rayo delgado pasa a través del objeto de

izquierda a derecha, produciendo una línea, proceso que continúa hasta generar las 625 líneas.

Cuando se trabaja sobre una imagen en blanco y negro, al pasar el rayo se produce un voltaje que varía con la brillantez de la imagen. El rayo produce alto voltaje cuando pasa sobre zonas brillantes y bajo voltaje al pasar sobre zonas oscuras. Esta señal eléctrica se llama salida análoga, al igual que la que produce una imagen de televisión.

Posteriormente, se utiliza un convertidor análogo digital para cambiar los voltajes a números creando así la imagen digital. Se asigna 0 al más bajo voltaje y 255 al más alto. Los voltajes intermedios están en el rango de 1 a 254, esto considerando una escala de 256 tonos de gris.



Las imágenes médicas se han convertido en unas ayudas importantes para el profesional de la medicina, tanto en campos especializados como no especializados.

El proceso de hacer este *rastreo* línea por línea en forma de zig-zag se denomina *raster-scan*.

Es importante resaltar que la resolución horizontal que se da depende del ancho de banda que se asigne a las señales de TV. La resolución vertical depende del número de líneas, que en el caso del sistema PAL es de 625.

Uno de los ejemplos de utilización de esta tecnología se da en la videoendoscopia (utilizada en el examen del tracto digestivo).

2.2 IMÁGENES DIGITALES DE CÁMARA CCD

El corazón de una cámara digital es el CCD (*Charge Coupled Device*). Está compuesta de una matriz de capacitores que pueden almacenar una carga eléctrica con una fotocelda sensitiva a la luz.

Cuando se expone una imagen en esta matriz cada cuadro producirá un voltaje relacionado con la brillantez, partiendo de la luz que cae en el cuadro. Se puede obtener directamente una salida digital al someter este voltaje al proceso de digitalización mencionado anteriormente.

Las últimas cámaras disponibles en el mercado producen imágenes de 640 x 480 *pixels*.

3. ALMACENAMIENTO DIGITAL

Como su nombre lo indica, una imagen digital es la representación de imágenes como



Con estos valores, se puede almacenar, transmitir o visualizar cualquier imagen. Entre más amplia sea la escala de grises, se podrá obtener mayor resolución. Por lo tanto, se podría tener almacenada una imagen de este modo:

[45, 46, 46,, 200, 202, 201, 57, 58, 59,48, 49, etc..]

Ahora bien, la imagen se puede reconstruir desplegando los *pixels* en el orden correcto con los valores correctos de los tonos de gris. El obtener una muy buena imagen depende del número de *pixels* y el número de niveles de gris que se utilicen.

La resolución de una imagen digitalizada se aumenta al incrementar el número de *pixels* y hacer que cada *pixel* sea más pequeño. Una imagen de 124 por 256 tiene un total de 32768 *pixels*. La

numeración dada en este ejemplo se ha dado en formato decimal, pero su representación interna se hace en sistema binario.

En el caso de imágenes médicas, un angiograma se captura mediante 1 K por 1K *pixels* con escala de grises de 8 bits (0 a 255 = 2^8 bits), lo cual requiere 11 MB de espacio de almacenamiento. Se infiere que cuanto más *pixels* se tengan, más almacenamiento se requiere.

Cuando se requiere almacenar imágenes en colores, hay varias formas de representación, pero la más común se denomina representación en colores RGB (*Red, Green, Blue*), y se refiere al hecho de que todos los colores se pueden representar por mezclas de rojo, verde y azul. Esta representación se acerca más a lo que puede percibir el ojo humano, pero físicamente no hay un conjunto confiable de tres colores que al combinarse suministren todos los colores que puede ver el ojo humano. Por esto, hay términos que seguramente se ha podido ver en un televisor en colores: *Hue*, que hace referencia al color básico (rojo, púrpura, café, etc.), *Saturation* (saturación), como color puro, y *Brightness* (brillantez) o valor que se utiliza para describir colores. Por ejemplo, un rosado es un rojo no altamente saturado.

Para almacenar la imagen, ésta se separa en sus versiones rojo, azul y verde mediante filtros que sólo dejan pasar estos colores. Cada una de estas imágenes se convierten a formato digital con base en la brillantez de las imágenes resultantes. Si se utilizan 8 bits por cada *pixel*, se tendrán 24 bits por *pixel*. A esto se le denomina *verdadero color*, lo cual permite una representación de 16 millones de colores (2^{24}).

Es posible tener también imágenes a 16 bits, lo cual da 65536 colores posibles.

Hay una alternativa para almacenar imágenes en colores y es la creación de una paleta de colores, que acompañe la imagen. Con este sistema, se crea un conjunto predefinido de colores y a cada punto de la imagen se le asigna el color más cercano. Así, cada número asignado representará un color y no el brillo. A este tipo de formato se le denomina GIF, ampliamente utilizado en Internet. Tiene una paleta de 256 colores, pero infortunadamente no es el más apropiado para muchas imágenes de diagnóstico.

4. VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES MÉDICAS

Una imagen digital se puede desplegar en un monitor de una computadora, el cual como un televisor común, está basado en la tecnología de rayos catódicos. El fondo de la pantalla está recubierto con materiales fosfóricos, los cuales emiten luz cuando se excitan eléctricamente. Esta excitación eléctrica la provee un rayo de electrones al cual se le hace un barrido (*scan*) desde la parte superior izquierda de la pantalla hasta la parte inferior derecha de la misma, línea por línea. Cuando se realiza el proceso de barrido, se puede cambiar la intensidad del rayo de electrones, dando como resultado variaciones de brillantez a través de la pantalla, generando las imágenes. La sensación del ojo humano es la de tener una imagen continua pero la verdad es que la pantalla se redibuja un determinado número de veces por segundo. Por ejemplo, en un sistema PAL, esto se hace 25 veces por segundo.

Para la obtención de las imágenes en colores, se tienen tres tipos diferentes de fósforo, cada uno de los cuales produce luz roja, verde y azul cuando se le excita. Las tres fuentes de fósforo se organizan en un arreglo geométrico llamado TRIAD (tríada). Para ello, se utilizan tres rayos de electrones.

Los monitores de las computadoras producen unas imágenes de mayor calidad que una pantalla de televisión. Sin embargo, es la tarjeta de video la que proporciona tal calidad. Para ello, es bueno conocer acerca de ciertos importantes parámetros:

- Tamaño del *pixel*: Un monitor VGA puede soportar 640 x 480 *pixels*, mientras que un SVGA va desde 800 x 600 *pixels* en adelante. Hoy día es común tener pantallas de 1024 x 768. Para el caso de radiología, se utilizan monitores de alto grado.
- Color: Cuantos más bits por *pixel* se puedan tener, mayor es el número de colores y de sombras de gris que se pueden representar.
- Rata de refrescamiento: El tener una alta tasa de refrescamiento de la imagen, permite asegurar que no se detecten movimientos o parpadeos en la imagen. Normalmente, un monitor puede tener aproximadamente un valor usual de 75 Hz como tasa de refresco.

5. MEJORAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES EN MEDICINA

En el campo médico, se utilizan las imágenes para realizar diagnósticos, planear una forma de tratamiento, y monitorear cambios en el

tiempo con respecto a alguna patología. Estas aplicaciones, por cierto especializadas, requieren estandarización en la forma como se deben obtener, procesar y presentar las imágenes con el fin de asegurar la confiabilidad de interpretación durante el procedimiento que se realice.

Partiendo de una imagen original que suministre información lo más aproximada posible, se pueden realizar mejoramientos a la imagen para revelar algunas características más aparentes para el observador humano (un radiólogo, por ejemplo). Nunca se aumenta la resolución a través de procesos de mejoramiento, pero no puede darse el caso de que muestre algo inexistente o inexacto.

La idea del mejoramiento está en poder dar un mejor contraste de la imagen original. Por ejemplo, se puede tener una radiografía (imagen en blanco y negro), donde no se aprecien áreas donde se encuentre el tono blanco o el negro puros, como se puede dar si el rango numérico, para este caso, está entre 80 y 180. Se puede hacer un manejo de cada *pixel* y realizar un proceso de transformación tal que se pueda obtener un mejor contraste. Para tal efecto, se pueden utilizar ecuaciones como las que a continuación se presentan:

$$\text{Nuevo valor del } \textit{pixel} = (\text{viejo valor del } \textit{pixel} - 80) * 255 / 100,$$

para el ejemplo anterior, o en forma más general

$$\text{Nuevo valor del } \textit{pixel} = (\text{viejo valor del } \textit{pixel} - \text{valor mínimo}) * 255 / (\text{valor máximo} - \text{valor mínimo})$$

Esto permite obtener una nueva imagen, más clara y que permite recuperar la original.

De igual modo, se puede aplicar en áreas donde hay mucho blanco o mucho negro, que hacen que se pierda información.

Otra técnica común implica la utilización de algoritmos para mejorar la nitidez de los bordes del dibujo. Por tanto, si se representa la imagen como una función bidimensional de la brillantez $B(x,y)$, entonces las áreas donde se encuentran los bordes tienen un alto valor para $d B(x,y)/dx$ o $d B(x,y)/dy$. De este modo, si se aplica la diferenciación, es posible obtener los bordes de la imagen.

6. COMPRESIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

Generalmente, las imágenes médicas son bastante grandes. Una radiografía generalmente requiere de una gran cantidad de almacenamiento en bits. Esto implica grandes dificultades no sólo para quien procesa la imagen sino también para el usuario. Por lo tanto, es posible efectuar una compresión de la imagen (de ser factible). Para ello existen dos formas, una donde hay una compresión sin pérdida de la imagen original y la otra en la cual se pierden detalles, aunque mínimos.

6.1 COMPRESIÓN SIN PÉRDIDA

Supóngase que se tiene la siguiente secuencia de grises:

[140, 140, 140, 140, 140, 142, 142, 142, 142, 142, 142, 142]

Como puede verse, el tono de gris 140 aparece en forma consecutiva cinco veces y el tono 142, siete veces. Por lo tanto, es posible almacenar dicha secuencia como:

[(5) 140, (7) 142]

Esto va a implicar un ahorro en el almacenamiento. Dicho de otro modo, se aprovecha la redundancia y no se pierden los valores originales. El único sacrificio está en el tiempo requerido para la compresión y descompresión de las imágenes.

6.2 COMPRESIÓN CON PÉRDIDA

Contrario al caso anterior, no hay tonos consecutivos de igual numeración, pero sí valores muy cercanos:

[130, 131, 130, 130, 131,
130, 131, 131, 131, 130]

Se puede seleccionar para su representación, ya sea el tono 130 o el 131. De este modo, se podría almacenar como

[(10) 130] o [(10) 131]

en lugar de la secuencia original. Obviamente, es imposible recuperar la imagen original, y, por ende, se tiene una pérdida despreciable de calidad. Este formato se utiliza en el estándar de compresión JPEG.

En el campo médico, se utilizan las imágenes para realizar diagnósticos, planear una forma de tratamiento, y monitorear cambios en el tiempo con respecto a alguna patología.

7. CASO COLOMBIANO

En la Universidad EAFIT de Medellín, se ha trabajado en el procesamiento de imágenes para la radiocirugía estereotáxica. Consiste en aplicar una alta dosis de radiación a un blanco intracraneal para realizar una resección volumétrica de un tumor cerebral. Aquí ha sido importante la digitalización de imágenes utilizando un scanner convencional. Posteriormente, la imagen se ha sometido al manejo de los tonos de gris, para poder detallar con exactitud, los contornos de la lesión cerebral que se presenta. Con esta ayuda, ha sido posible realizar una acertada planeación de la radioterapia, sin que se afecte tejido sano ⁽¹⁾.

CONCLUSIONES

Hoy día, cuando se han alcanzado grandes adelantos en el campo médico, la importancia de tener a disposición imágenes médicas confiables, para poder realizar procesos rápidos de diagnóstico con alto grado de certidumbre, el procesamiento a través del computador ha adquirido gran importancia.

Por esto, los especialistas en el procesamiento de imágenes están teniendo especial cuidado para producir imágenes fidedignas, ya que quien está de por medio es el paciente, y más cuando por aspectos éticos, los médicos se

pueden ver expuestos a demandas por posibles procedimientos erróneos.

Por tanto, es importante que los encargados de procesar las imágenes se asesoren bien del experto para tomar las decisiones pertinentes en cuanto al manejo de la compresión de imágenes, ya que por ahorrar almacenamiento, algo que puede ser conveniente, se puede perder una buena observación de la imagen, cuando se esté emitiendo un diagnóstico.

BIBLIOGRAFÍA

- Hansen, M. W. and Higgins, W. E. (1994) Watershed-driven relaxation labeling for image segmentation. Proc. First Ieee Int. Conf. Image. Visual. In Biomed. Comp. Vol. 2359. Rochester, MN. Sept. pp 59-71.
- Higgins, W. E. and Ledell, B. E. (1992) A nonlinear Filtering approach to the grayscale interpolation of 3d medical images. Proc. SPIE Conf. Medical Imaging. Newport Beach, CA. pp 284-295.
- Hoffman, E. A., Gnanaprakasam, D., Gupta, K. B., Hoford, J. D., Kugelmass, S. D., and Kulawiec, R. S.(1992) Vida: an environment for multidimensional image display and analysis. Spie Conf. Biomedical Image Processing and Three-Dimensional Microscopy. Vol. 1660. pp 1-18.
- Ritman, E. L., Robb, R. A., and Harris, L. D.(1985) imaging physiologic functions: experience with the dynamic spatial reconstructor. New York: Praeger.
- Robb, R. A. and Barillot, C. (1989) interactive display and analyss of 3-d medical images. Ieee Trans. Medical Imaging, Vol. 8. No. 3. pp 217-226, Sept.
- Vincent, L. and Soille, P. (1991) New trends in morphological algorithms. Proc. SPIE Conf. Nolinear Image Proc. Vol. 1451. Pp 158-170. Feb.

(1) SPREX, Sistema de Procesamiento de Imágenes para Radiocirugía Estereotáxica. Proyecto de grado realizado por Claudia Giraldo y Luz Denice Restrepo con la asesoría del profesor Alberto Restrepo V. y del neurocirujano Luis Carlos Cadavid T.