
Procesamiento de imágenes médicas

ALBERTO RESTREPO

El procesamiento de imágenes médicas es un campo muy amplio que afecta todas las especialidades y subespecialidades. Se utilizan estas imágenes específicamente para emitir diagnósticos, determinar un curso de tratamiento y, obviamente, evaluar los cambios que vayan ocurriendo con el tiempo. La idea del presente artículo es presentar a la comunidad médica aspectos relacionados con el procesamiento de imágenes médicas, su adquisición, almacenamiento y posterior visualización. Dado el gran avance en los diferentes dispositivos de que se dispone hoy, es conveniente tener presente cómo se puede hacer un proceso en el cual no se pierda fidelidad en cuanto a la calidad de las imágenes que se están procesando. El éxito de un diagnóstico clínico basado en imágenes depende de la exactitud con la cual el profesional de la medicina pueda visualizar el objeto de estudio.

PALABRAS CLAVE

PIXEL : elemento mínimo de una imagen o pantalla de video

PAL (*Phase Alternation Lines*)

CCD (*Charge Coupled Device*)

GIF: *Graphic Interchange Format*. Estándar para almacenamiento de imágenes.

JPEG: *Joint Photographic Expert Group*. Otro estándar para almacenamiento y compresión de imágenes.

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

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

DOCTOR ALBERTO RESTREPO VELÁSQUEZ, Ingeniero Químico - Universidad de Antioquia, Magister en Administración- EAFIT, Área de Interés - Informática Médica, Profesor de Tiempo Completo - Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.



FIGURA N° 1
LA IMAGEN PRESENTA UN CORTE AXIAL DEL
CEREBRO, OBTENIDO MEDIANTE UN EQUIPO
PARA TOMOGRAFÍAS AXIALES
COMPUTARIZADAS

1. TIPOS DE IMÁGENES MÉDICAS

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

Es importante ilustrar al lector en todo lo referente a los varios tipos de imágenes que se pueden lograr 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 utilizadas, y es del común conocimiento de casi toda persona que ha requerido 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.



FIGURA N° 2
IMAGEN OBTENIDA MEDIANTE UN ECÓGRAFO

1.4 Imágenes de resonancia magnética (MRI)

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

1.5 Fotografía convencional

Ésta 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. Ejemplos 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 voltaje más bajo y 255 al más alto. Los voltajes intermedios están en el rango de 1 a 254, considerando una escala de 256 tonos de gris.

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 compuesto de una matriz de capacitores que pueden almacenar una carga eléctrica con una fotocelda sensible 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 indica su nombre, una imagen digital es la representación de imágenes como un conjunto de números. En la práctica, esto implica la captura de la

imagen electrónicamente, su conversión a datos numéricos, el almacenamiento y recuperación y la manipulación, visualización e impresión de las imágenes.

A modo de ejemplo, considérese una simple fotografía en blanco y negro. Imagínese la fotografía compuesta de muchos cuadritos en tono gris, donde cada cuadrito se llamará *pixel* o elemento de la fotografía. A modo de ilustración, considérese que la fotografía es una matriz de 50 filas por 50 columnas y en cada posición de esta matriz se tiene un *pixel*. A cada uno de éstos se le asignará un número equivalente a un nivel de gris. El color más oscuro tendrá el valor de cero y el más claro el valor de 255. Los demás tendrán un valor entre 1 y 254. Se hace referencia a la brillantez de un *pixel* como la luminiscencia.



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

45, 46, 46, 200, 202, 20, 57, 58, 59, 48, 49, et

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 32.768 *pixels*. La numeración dada en este ejemplo se ha expresado 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 1 MB de espacio de almacenamiento. Se infiere que cuanto más *pixels* se tengan más almacenamiento se requiere.

Quando 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 han 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 se la separa en sus versiones rojo, azul y verde mediante filtros que sólo dejan pasar estos colores. Cada una de estas imágenes se convierte 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 (24). Es posible tener también imágenes a 16 bits, lo cual da 65.536 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 deno-

mina 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 el 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 hasta la parte inferior derecha de la pantalla, línea por línea. Cuando se realiza el proceso de barrido, se puede cambiar la intensidad del rayo de electrones, lo que da como resultado variaciones de brillantez a través de la pantalla y genera 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* (triada). 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:

a. 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 1.024 x 768. Para el caso de radiología se utilizan monitores de alto grado.

b. Color: cuantos más bits por *pixel* se puedan tener, mayor es el número de colores y de sombras de gris que se pueden representar.

c. Tasa de refrescamiento: el tener una alta tasa de refrescamiento de la imagen permite asegurar que no se detecten en ella movimientos o parpadeos. Normalmente, un monitor puede tener aproximadamente un valor usual de 75 Hz como tasa de refrescamiento.

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 monitorizar cambios en el tiempo con respecto a alguna enfermedad. 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.

A una imagen original que suministre información lo más aproximada posible se le pueden realizar mejoramientos 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 es poder dar un mejor contraste de la imagen original. Por ejemplo, se puede tener una radiografía (imagen en blanco y negro) en la que no se aprecien áreas donde se

encuentren 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 logre obtener un mejor contraste. Para tal efecto, pueden utilizarse ecuaciones como las que a continuación se presentan:

Nuevo valor del *pixel* = (viejo valor del *pixel* 80)*255/100,

para el ejemplo anterior, o en forma más general

Nuevo valor del *pixel* = (viejo valor del *pixel* - valor mínimo)* 255/
(valor máximo - 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. Además, se dispone de algoritmos computacionales que permiten mejorar la nitidez de los bordes de las imágenes.

6. COMPRESIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

Generalmente, las imágenes médicas son bastante grandes. Una radiografía usualmente requiere 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 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.

7. EL 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*.

*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.

8. CONCLUSIONES

Hoy día, cuando se han alcanzado grandes adelantos en el campo médico, el procesamiento a través del computador ha adquirido gran importancia para tener a disposición imágenes confiables con el fin de realizar procesos rápidos de diagnóstico con alto grado de certidumbre. 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; ello cobra mayor importancia cuando, por aspectos éticos, los médicos pueden verse expuestos a demandas por 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; en efecto, por ahorrar almacenamiento, algo que puede ser conveniente, puede perderse una buena observación de la imagen cuando se esté emitiendo un diagnóstico.

BIBLIOGRAFÍA

1. HANSEN MW, HIGGINS WE. Watershed-driven relaxation labeling for image segmentation. Proceedings First IEEE International Conference on Image Visualization in Biomedical Computing; 1994; 2.359: 59-71 (Rochester, MN, USA).
 2. HIGGINS WE, LEDELL BE. A nonlinear filtering approach to the Grayscale interpolation of 3D medical images. Proceedings SPIE Conference on Medical Imaging. 1992; 284-295 (Newport Beach, CA, USA).
 3. HOFFMAN EA, GNANAPRAKASAM D, GUPTA KB, HOFORD JD, KUGELMAS SD, KULAWIEC RS. VIDA: An environment for multidimensional image display and analysis. SPIE Conference on Biomedical Image Processing and Three Dimensional Microscopy 1992; 1.660: 1-18.
 4. RITMAN EL, ROBB RA, HARRIS LD. Imaging physiologic functions: experience with the dynamic spatial reconstructor. New York: Praeger; 1985: 6-15.
 5. ROBB RA, BARILLOT C. Interactive display and analysis of 3D medical images. IEEE Transactions in Medical Imaging 1989; 8: 217-226.
 6. VINCENT L, SOILLE P. New trends in morphological algorithms. Proceedings SPIE Conference on Nonlinear Image Processing 1991; 1.451:158-170.
-