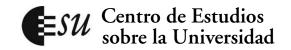




Domínguez Torres, Alejandro (1996) "PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES" en Perfiles Educativos, Vol. 18 No. 72 pp. 61-68.





PERFILES EDUCATIVOS

Abril • Mayo • Junio 1996 Vol. 18 Núm. 72, pp. 61- 68

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Alejandro DOMÍNGUEZ TORRES *

El procesamiento digital de imágenes ha adquirido, en años recientes, un papel importante en las tecnologías de la información y el cómputo. Actualmente, es la base de una creciente variedad de aplicaciones que incluyen diagnosis médica, percepción remota, exploración espacial, visión por computadora, etc. Como resultado directo de la reducción en el precio de las computadoras, el procesamiento digital de imágenes actualmente se puede efectuar (aunque con ciertas limitantes) en una computadora personal. El presente trabajo proporciona una breve introducción a esta área de la informática y de la computación haciendo referencia a las principales teorías y métodos; asimismo, se muestran los resultados de estas teorías y métodos cuando se aplican a imágenes dadas.

♦

DIGITAL PROCESSING OF IMAGES. In recent years digital processing of images has gained an important place in the field of information technology and computing. Presently, it is the base of a growing variety of applications which includes: medical diagnosis, remote perception, space exploration, computer vision, etc. As a result of the reduction of computers prices, presently, the digital processing of images can be accomplished (with a few restrictions) with a personal computer. The present paper offers a brief introduction to this area of computing. It refers to the main theories and methods, and shows the results of these theories and methods when used with certain images.

INTRODUCCIÓN

Al conjunto de técnicas y procesos para descubrir o hacer resaltar información contenida en una imagen usando como herramienta principal una computadora se le conoce como procesamiento digital de imágenes (PDI). Hoy en día, el PDI es un área de investigación muy específica en computación y está muy relacionada con el procesamiento digital de señales. Esta relación estriba en el hecho de que en esencia el PDI es una forma muy especial del procesamiento digital de señales en dos o tres dimensiones.

El interés en el estudio del PDI se basa en dos áreas de aplicación primordiales:

- a) El mejoramiento de la calidad de la información contenida en una imagen con el fin de que esta información pueda ser interpretada por los humanos
- b) El procesamiento de los datos contenidos en un escenario a través de una máquina de percepción autónoma.

El presente trabajo tiene como propósito mostrar los siguientes puntos:

- Ofrecer en forma abreviada la historia del PDI;
- hacer mención de algunos ejemplos de aplicación del PDI a otras áreas de la ciencia;
- resumir los procesos teóricos y las operaciones primordiales en los que se fundamenta el PDI.

Director de la División Académica y Sistemas de la Fundación. Algunas de las imágenes para este trabajo fueron proporcionadas por Jorge Vasconcelos.

Breve historia del PDI

Uno de los primeros ejemplos de PDI relativo al inciso a) es el mejoramiento de las imágenes digitalizadas de un periódico que fueron transmitidas por un cable submarino entre Londres y Nueva York. La utilización del sistema de transmisión de imágenes por cable en los años de 1920-1930 redujo el tiempo requerido para transportar una imagen a través del océano (más de una semana a menos de tres horas). Las imágenes, codificadas para ser transmitidas por cable, fueron reconstruidas en el receptor terminal por un equipo sofisticado de impresión.

Los problemas que se presentaron en aquellos años, al querer mejorar la calidad visual de las imágenes transmitidas, estaban relacionados con la selección de los procesos de impresión y la distribución de los niveles de brillantez. Los sistemas primitivos de transmisión de imágenes por cable eran capaces de codificar imágenes en cinco distintos niveles de brillantez. En 1929 esta capacidad se incrementó a 15 niveles, al igual que el proceso de reproducción se incrementó considerablemente por la introducción de un sistema para revelar placas fílmicas, vía rayos de luz que eran modulados por la imagen codificada.

Aunque una de las mejoras en los métodos de procesamiento para transmitir imágenes digitales continuaron por más de 35 años, fueron el advenimiento de las computadoras digitales a gran escala y la capacidad de almacenar programas los que revelaron el potencial del procesamiento digital de imágenes.

El procesamiento de imágenes vía computadoras tuvo su inicio en el Jet Propultion Laboratory (Pasadena, Cal.) en 1964, cuando las imágenes de la Luna fueron transmitidas por el Ranger 7 y procesadas por una computadora para corregir diferentes tipos de distorsiones inherentes en los sistemas de captura de la cámara de televisión. Estas técnicas sirvieron como base para mejorar los métodos utilizados en el resaltamiento y restauración de imágenes, y generar programas que fueron utilizados en la nave Surveyor en sus misiones a la Luna, las misiones de vuelo a Marte de los Mariner, y los vuelos del Apolo a la Luna.

A partir de 1964 hasta nuestros días, el campo del PDI ha experimentado un crecimiento vigoroso. Además de sus aplicaciones en programas espaciales, las técnicas del PDI se utilizan en una variedad de problemas que, aunque a menudo no están relacionados, comparten una necesidad común de métodos capaces de resaltar y descubrir información en las imágenes para su interpretación y análisis. Algunas de estas aplicaciones serán brevemente descritas en la siguiente sección.

Aplicaciones del PDI

Pocos son los aspectos de nuestra vida actual que no han sido "afectados" por las computadoras. Cada transacción monetaria que se lleva a cabo diariamente en diferentes establecimientos tiene que ver con una computadora. En muchos casos, lo mismo sucede con las imágenes por computadora. Por ejemplo, éstas aparecen en televisión, en los periódicos, en los reportes del tiempo, o en un consultorio médico. Las imágenes por computadora están siempre alrededor de nosotros.

Esta sección describe algunos de los usos más frecuentes del PDI, y tiene el objetivo de ayudar a clarificar un poco más las capacidades y el potencial del mismo.

Cartografía automatizada y sistemas de información geográfica (SIG)

La cartografía automatizada y los sistemas de información geográfica (SIG) son dos áreas que se han beneficiado enormemente por la utilización del PDI. La aplicación del PDI en la cartografía automatizada concierne principalmente a las imágenes que de la Tierra se obtienen por diferentes medios. Por ejemplo, es por todos conocido que los satélites envían imágenes de la Tierra. Cuando estas imágenes son procesadas producen información muy clara y precisa de nuestro planeta. De esta forma, al analizar e interpretar estas imágenes los geólogos, cartógrafos y un sinnúmero de científicos aprenden cada vez más

acerca de nuestro planeta. En estas imágenes no sólo se captura la luz visible sino también gran parte del espectro electromagnético, lo que le da a estos científicos la capacidad de analizar el espectro infrarrojo para determinar el tipo y la cantidad de plantas y árboles en la porción de terreno capturado en la imagen.

Otro ejemplo de aplicación del PDI es la obtención de información de las cartas del clima que aparecen comúnmente en la televisión y en los periódicos. Los satélites que producen estas imágenes orbitan la Tierra exactamente una vez cada 24 hrs. Este espacio de los satélites se conoce como órbita geoestacionaria o geosincronoma. Esta hace que los satélites permanezcan en una posición fija sobre la tierra, siempre sobre un punto geográfico. Los satélites mismos rotan cerca de 100 revoluciones por minuto; en cada revolución ellos capturan la radiación de calor de una pequeña porción de la superficie de la Tierra. Analizando esta radiación, los satélites pueden distinguir la tierra, el agua, y los niveles de la atmósfera, así como la formación de nubes.

Por otro lado, los SIG. consisten en combinar las potencialidades de las cartas geográficas y los programas de bases de datos; es decir, los SIG no sólo son mapas, sino también bases de datos. De esta forma, dado un objeto geográfico capturado por medio de una imagen, se puede obtener información del mismo y esto hace que la manipulación de las bases de datos sea relativamente fácil para el usuario. Como ejemplo específico consideremos un objeto geográfico muy particular: una autopista. Seleccionando esta carretera podemos obtener información de las localidades que atraviesa, las cadenas montañosas por las que pasa o a qué altura de éstas se encuentra, todo esto gracias a la graficación por computadora y al PDI.

Aplicaciones en medicina

Durante los últimos 15 años, un número creciente de técnicas referentes a imágenes digitales ha sido introducido en la práctica médica. Muchos radiólogos y personal de laboratorios médicos conocen y manipulan imágenes digitales como las producidas por Tomografía Asistida por Computadora (tac), resonancia magnética y por métodos de medicina nuclear. Debido al desarrollo, capacidades y gran factibilidad de ejecución de las computadoras, las imágenes en medicina, que eran tradicionalmente grabadas sobre películas, ahora pueden manipularse en forma digital. De esta forma las imágenes de ultrasonido y las de Rayos X se pueden almacenar directamente en forma digital por medio de placas de fósforo de luminiscencia fotoestimulable.

El desarrollo de las técnicas de almacenamiento de imágenes digitales en medicina ha estado acompañado por un incremento en el uso de herramientas de manipulación de imágenes. Estas últimas se pueden dividir en dos categorías:

- Herramientas de propósito general para procesar imágenes, las cuales se utilizan para manipular y modificar la presentación de las imágenes. éstas pueden ser: ajuste de la intensidad y contraste; compactación de la imagen y rotación de la misma; filtros para suavizar y resaltar imágenes, y algoritmos para la extracción de propiedades como textura, y otros.
- Técnicas para el análisis y técnicas de medición en la evaluación cuantitativa de las imágenes.

Estas herramientas están diseñadas para ayudar a los laboratoristas y médicos a realizar evaluaciones objetivas de las imágenes, y proporcionar así un diagnóstico más preciso que el que puede dar la sola interpretación visual.

Visualización en las ciencias

En esta área los campos de estudio son la aerodinámica, la dinámica de fluidos, la modelación molecular, y otras. Por ejemplo, la modelación de los cientos de reacciones en el movimiento de un fluido se puede llevar a través de computadoras que crean imágenes y animaciones sobre un área específica de interés. Sistemas similares se aplican a la predicción del clima. Los sistemas de nubes y tormentas se

pueden modelar a través de simulaciones realistas. Aunque muchos de los programas de visualización en las ciencias manipulan datos en tres dimensiones, la salida final se puede reflejar normalmente en una imagen de dos dimensiones. Esta imagen se puede manipular para extraer la información requerida.

Aplicaciones diversas

Existe un sinfín de aplicaciones adicionales del PDI. Por ejemplo, en publicidad y arte la gente usa técnicas de color para obtener mejores presentaciones. En el área de edición de textos por computadora la idea de cortar-pegar (cut-paste) es muy común. En esta aplicación se pueden manipular texto, imágenes de color y gráficas en general.

Otra aplicación es el análisis de estructuras de inmuebles por medio de placas de Rayos X. La imagen obtenida es manipulada con el fin de resaltar las fracturas de la estructura que de otra forma serían difíciles de detectar y clasificar.

Las aplicaciones del PDI crecen día con día. En el pasado los equipos (software y hardware) eran demasiado costosos como para poder explorar nuevas aplicaciones. Hoy en día el precio de los equipos se ha reducido considerablemente, esto ha generado que una lista completa de las áreas de aplicación del PDI sea difícil de recopilar. Una lista bastante incompleta de las áreas de aplicación del PDI se da a continuación:

> Lectura de documentos Grabado Cartografía y SIG Crecimiento de bacterias Metalurgia Modelación geológica Navegación autónoma Imágenes médicas Reconocimiento de objetos Astronomía

Microscopía Mecánica de fluidos

Percepción remota Periodismo

Seguridad fotográfica Mapas climatológicos CAD

Impresión de huellas

digitales Transferencia v Metamorfosis de imágenes comparación de Documentos (morphing)

Teoría y métodos del PDI

El PDI utiliza un gran número de técnicas de las matemáticas puras y aplicadas. Las áreas utilizadas de las matemáticas son primordialmente el álgebra lineal, cálculo diferencial e integral en una y varias dimensiones, ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, ecuaciones integrales (transformadas integrales), probabilidad y estadística.

Las áreas de las matemáticas antes mencionadas se aplican de forma diversa y variada en los tres problemas distintos y fundamentales que son comunes en muchas de las áreas de aplicación del PDI:

- Restauración y reconstrucción de imágenes;
- reconocimiento de patrones;
- interpretación física.

Estos problemas surgen del problema fundamental de extracción de información de una imagen.

Con el fin de ilustrar las técnicas y métodos utilizados para resolver cada uno de los problemas anteriores se tomará como imagen inicial la dada en la figura 1, la cual ilustra un par de puntos.

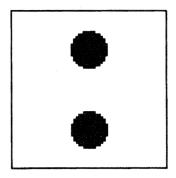


Figura 1

Para resolver estos problemas se tiene que formular un modelo matemático. La experiencia en el manejo de imágenes ha revelado que existe una única ecuación que se utiliza para tal propósito. Esta ecuación es:

Imagen capturada = (función de dispersión puntual) convolución (imagen original) + ruido

La función de dispersión puntual describe cómo la imagen original se dispersa alrededor de esta función; se considera a priori, del tipo gaussiana, aunque en casos muy específicos su forma puede cambiar. La convolución es una operación matemática que puede ser interpretada como un suavizamiento o empañamiento de la información (en este caso la imagen original) en una forma que está determinada por las características de la función de dispersión puntual. Con el fin de ilustrar este suavizamiento, el resultado de convolucionar la imagen original (fig. 1) y una función gaussiana se ilustra en la figura 2. De esta forma, la función de dispersión puntual puede ser también llamada función de suavizamiento o función de empañamiento.

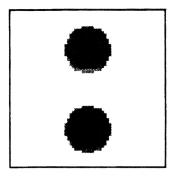


Figura 2

Además de este efecto, la imagen ya empañada puede estar afectada por perturbaciones externas y no requeridas, las cuales se conocen en la literatura como ruido, y el cual por lo regular es aleatorio, es decir, no se puede determinar la ecuación explícita de este ruido y en algunos casos se puede conocer sólo una expresión matemática para la forma en que está distribuido en la imagen (figura 3).

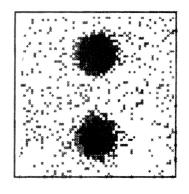


Figura 3

Una vez que se tiene una imagen capturada, el siguiente paso es tratar de resolver los tres problemas fundamentales del PDI antes mencionados, ya que imágenes como la mostrada en la fig. 3 son las que se obtienen en las aplicaciones y, por ende, se desconocen las imágenes de donde se generó, es decir, las imágenes mostradas en las figuras 1 y 2.

Restauración y reconstrucción

El problema de restauración/construcción concierne específicamente a la recuperación de la información codificada en una imagen, esta recuperación de la información está relacionada claramente con el proceso inverso de la convolución: la deconvolución o desempañamiento. El método más común - aunque no el único- para llevar a cabo el proceso de deconvolución es el método de deconvolución por mínimos cuadrados o filtrado de Wiener. Este método, como su nombre lo dice, consiste en estimar una imagen de tal forma que la diferencia entre ésta y la imagen original sea mínima en el sentido de mínimos cuadrados. La técnica matemática y computacional para llevar a cabo este proceso de deconvolución de forma rápida y efectiva es el algoritmo conocido como transformada rápida de Fourier. Debido a la naturaleza del método, la imagen resultante contiene a un cierto tipo de ruido que debe ser eliminado (véase figura 4).

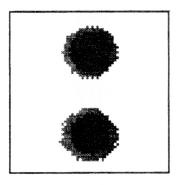


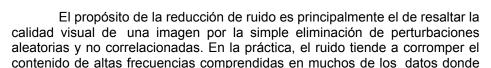
Figura 4

Reconocimiento

El reconocimiento de patrones en el PDI se refiere al procesamiento de la imagen resultante del proceso de deconvolución. En esta imagen se manipulan los niveles de gris para mejorar la lectura de la misma e identificar propiedades que pudiesen tener algún significado físico. La manipulación de los niveles de gris se lleva a cabo a través de tres subprocesos: resaltamiento de la imagen, reducción de ruido, segmentación y detección de bordes.

El propósito del resaltamiento de imágenes es literalmente hacer que la imagen luzca mejor. Por esta razón, el resaltamiento de imágenes es un proceso subjetivo ya que lucir mejor depende del tipo de detalles y contrastes en la imagen que el usuario espera obtener. A su vez, estas propiedades dependen de las características físicas de la imagen y el conocimiento a priori que el usuario pueda tener sobre ciertas propiedades en la imagen. Existe una gran cantidad de técnicas para resaltar imágenes que en mucho se basan en la calidad de los resultados que se quieran obtener o resaltar. Dos de estas técnicas se describen a continuación:

- Transformaciones simples: Se utilizan para resaltar detalles en una imagen que ocurren en las regiones obscuras o luminosas de la misma. Entre ellas se encuentran transformaciones logarítmicas para resaltar regiones obscuras (figura 5), y exponenciales, para el proceso inverso (figura 6).
- Igualación de histógramas: Un histógrama en el PDI es una gráfica del número de veces que un nivel particular de gris ocurre contra el nivel de gris. De esta forma se tiene una descripción global de la apariencia de imagen en términos de la función característica de distribución de probabilidad en los niveles de gris. Si el histógrama presenta una acumulación en los niveles bajos de gris, entonces la imagen es relativamente obscura, y si el histógrama tiene una concentración de pixeles con un nivel alto de gris, entonces la imagen es relativamente luminosa. La igualación de histógramas pretende generar una imagen cuyo histógrama es uniforme (es decir, una imagen donde cada nivel de gris ocurre un número igual de veces: de aquí el término igualación). El efecto es incrementar el rango dinámico de los niveles de gris. Esto tiene una influencia considerable en la apariencia visual de la imagen, ya que resalta el detalle de muchas propiedades tanto en la región obscura como en la luminosa de la imagen. El proceso de igualación del histógrama de la figura 4 se muestra en la figura 7.



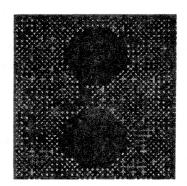


Figura 7

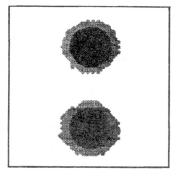


Figura 8

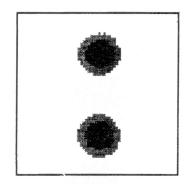


Figura 5

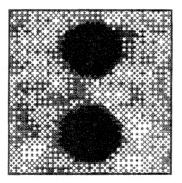


Figura 6

la amplitud de las frecuencias es normalmente baja. De esta forma, se puede reducir el ruido por la atenuación de las componentes de altas frecuencias de los datos sobre un rango de frecuencias que se puede seleccionar y ajustar por el usuario. Esto normalmente se obtiene por medio de un filtro llamado filtro- pasabajo cuya ejecución se optimiza utilizando el ya mencionado algoritmo de la transformada rápida de Fourier, y en algunos casos particulares, utilizando técnicas puramente espaciales como en el caso del filtro de promedio, el cual nivela los pixeles en una ventana dada (figura 8) -filtro de la mediana-, el cual asigna a todos los pixeles dentro de una ventana dada el nivel de brillantez de la mediana de los valores de los pixeles en esa ventana (figura 9) y otros.

La segmentación se refiere al proceso de dividir una imagen en regiones o segmentos manipulables. Se utiliza en el análisis de imágenes para separar de la imagen propiedades o regiones de una textura dada. Esto es importante para la clasificación de la imagen y es el primer paso en el análisis automático de imágenes y reconocimiento de patrones.

La segmentación se basa en alguna de las dos propiedades siguientes de la imagen:

- Similitud
- Discontinuidad.

La primera propiedad segmenta la imagen en regiones que tienen niveles de gris dentro de un rango predeterminado (véase figura 10). Notar la similaridad de la imagen de la figura 10 con la imagen de la figura 1, la cual en la práctica no es conocida.

La segunda propiedad segmenta la imagen en regiones de discontinuidad donde existe un cambio abrupto en los valores de los niveles de gris. Esto se utiliza para detectar las fronteras o bordes en la imagen y es consecuentemente conocida como detección de bordes. En términos sencillos, esta detección hace uso de operadores diferenciales para detectar cambios en los gradientes de los niveles de gris. En las figuras 11 y 12 se muestran la detección de bordes tanto de la figura 1 como de la figura 10, respectivamente. Notar la similaridad de ambos bordes.

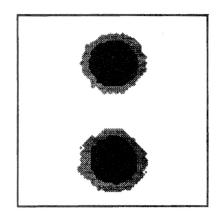
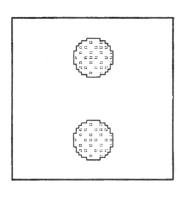
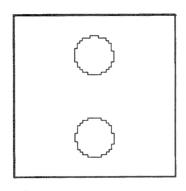


Figura 9





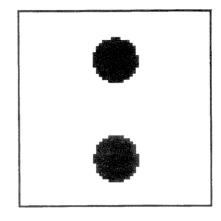


Figura 11 Figura 12

Figura 10

Interpretación física

Como ya se mencionó anteriormente, el último objetivo del reconocimiento de patrones es identificar las propiedades en una imagen que tienen un significado físico. La interpretación física de una imagen es difícil de cuantificar, ya que los objetivos y expectaciones de este aspecto del PDI está inextricablemente acotado al diseño y aplicación de un sistema manipulador de imágenes. Primordialmente, se pretende interpretar una imagen en términos de las propiedades físicas del campo de radiación electromagnético del cual la imagen ha sido derivada, y entonces deducir información de la estructura y propiedades del material de los objetos capturados en la imagen.

Conclusiones

Existen varias operaciones del PDI que no han sido mencionadas en el presente trabajo. Uno de los grandes problemas es que, con la múltiple cantidad de operaciones, se puede caer en el estudio de varias teorías avanzadas que producen algunas variaciones en las imágenes antes mostradas. Sin embargo, es importante mantener en mente en todo momento la imagen a analizar y que mucho de este análisis depende de la persona que lo realice ya que, como se mencionó anteriormente, hacer que una imagen luzca mejor es un proceso puramente subjetivo.

BIBLIOGRAFÍA

BLACKLEDGE, J.

1989. Quantitative Coherent Imaging. Academic Press.

GONZALEZ, R. y P. Wintz,

1987. Digital Image Processing. Addison-Wesley.

MORRISON, M.

1993. The Magic of Image Processing. SAMS Publishing.

STAR J.

1985. Introduction to Image Processing, en BYTE, 2(10): 163-170.