

Tratamiento digital de imágenes (I)

Perspectiva histórica

Este artículo pretende dar una visión general e introductoria acerca de los temas relacionados con el proceso digital de imágenes. La descripción comienza con el desarrollo histórico de esta disciplina, para continuar con la introducción del concepto de imagen digital y algunas consideraciones sobre las características de los equipos para el tratamiento de las imágenes. Finalmente, se describen varios ejemplos de aplicación que ilustran la utilización de diferentes técnicas básicas.

V. Arnau (*), J. Albert (*), M. Vicens (**), F. Ferri (**), y J. Pelechano (**).

Digital image processing. A perspective (part one)

This paper is an introduction to digital image processing. Starting with a survey on the historical development of this discipline, it introduces the concept of digital image and some considerations on systems to form digital image processing. It concludes with several examples of application using different basic techniques.

Introducción

Las disponibilidades técnicas actuales permiten que muchos métodos para el tratamiento de la información se puedan implantar con mayor facilidad en distintos campos laborales, y no sólo en los centros de investigación. Entre los métodos que mayor interés despiertan cabe destacar aquellos que están relacionados con el proceso digital de imágenes. Su auge está

plenamente justificado si se tiene en cuenta que en el hombre, aproximadamente el 75 %, de la información se recibe a través del sistema de visión. Por lo tanto, la percepción visual representa un factor de gran importancia en los procesos humanos de aprendizaje y resolución de problemas. A través de los tratamientos con ordenador se intenta facilitar e incrementar todavía más las posibilidades de extracción de información a partir de imágenes.

Dado que el proceso digital de imágenes es una disciplina abierta, con aplicación en multitud de campos, resultaría arriesgado intentar realizar una clasificación o subdivisión de sus principales aplicaciones. De hecho, es posible que algunos problemas no hayan sido descubiertos o planteados todavía. Pero en general, podemos centrar las técnicas del procesado digital de imágenes en dos grandes áreas de aplicación:

1) Tratamiento de las imágenes para facilitar y mejorar su interpretación por parte de un observador humano.

2) Extracción de información de escenas para su aplicación en procesos de visión artificial en máquinas autónomas.

De esta clasificación se desprende que se podrán encontrar dos tipos de orientación en las técnicas utilizadas: el hombre y la máquina. En la primera orientación, se tendrán en cuenta muchas de las características psicofísicas humanas, perteneciendo a

(*) Dpto. de Informática y Electrónica. Universidad de Valencia.
 (**) Instituto de Robótica. Universidad de Valencia.

este tipo aquellas técnicas que permiten, por ejemplo, resaltar alguna característica especialmente interesante de las imágenes, o bien, corregir errores producidos en la adquisición de las mismas, como pueden ser: mala iluminación, imágenes movidas, borrosas, etc. Por otro lado, estarán las técnicas cuyo objetivo será la máquina. Apareciendo en este apartado, métodos que permiten automatizar o reproducir procesos que un experto humano realizaría por simple inspección visual. Pero también, se podrán encontrar técnicas cuya única relación con el proceso de visión en el hombre sea la imagen como origen de la información. De manera que no todos los procesos de visión artificial reproducirán el sistema humano de visión, aunque lo tengan como modelo básico.

Evolución histórica

La historia de las técnicas para el tratamiento digital de imágenes no es tan reciente como se podría suponer. Se remonta a varias décadas antes de la aparición del primer ordenador digital (ENIAC, 1946). Ya en el año 1921 se realizaron las primeras transmisiones de fotografía de prensa codificadas digitalmente. Estas imágenes fueron enviadas por cable submarino entre Londres y Nueva York. El nuevo sistema de transmisión de imágenes por cable redujo el tiempo requerido para su transporte a través del Atlántico, de más de una semana a menos de tres horas. Las imágenes eran codificadas para su transmisión y después reconstruidas en la recepción por un equipo especializado. La fotografía de la figura 1a) fue transmitida de este modo.

Las primeras técnicas para la mejora de la calidad visual de las imágenes digitales se relacionaron con los procesos de impresión y con la distribución de los niveles de gris. A finales de 1921, el proceso de impresión utilizado en la imagen de la figura 1a) fue abandonado en favor de una técnica basada en la reproducción fotográfica, realizada en el terminal telegráfico de recepción a partir de cintas perforadas. La figura 1b) es un ejemplo de esta técnica que mejoraba considerablemente la resolución y calidad tonal de la imagen 1a).

Los primeros sistemas para la codificación digital de imágenes eran capaces de utilizar hasta cinco niveles diferentes de gris. Esta capacidad se incrementó hasta quince niveles en el año 1929. La figura 1c) es indicativa de la mejora conseguida con el aumento de la resolución tonal. Durante los años siguientes, se mejoró considerablemente el proceso con la introducción de un nuevo sistema de impresión fotográfica a partir de luz modulada, por la cinta que contenía la imagen codificada.

A pesar de estas primeras aplicaciones de la digitalización de imágenes, es cierto que el procesado digital de las mismas, tal y como lo conocemos en la actualidad, tuvo que esperar a la llegada en gran escala de los ordenadores digitales, debido a la gran capacidad de cálculo necesaria para el desarrollo de métodos aplicables en este área. Por esa razón, muchas de las técnicas del tratamiento digital de imágenes han sido desarrolladas durante los últimos veinticinco años. Sin embargo, el moderno avance en este área no se debe exclusivamente al abaratamiento y disponibilidad de

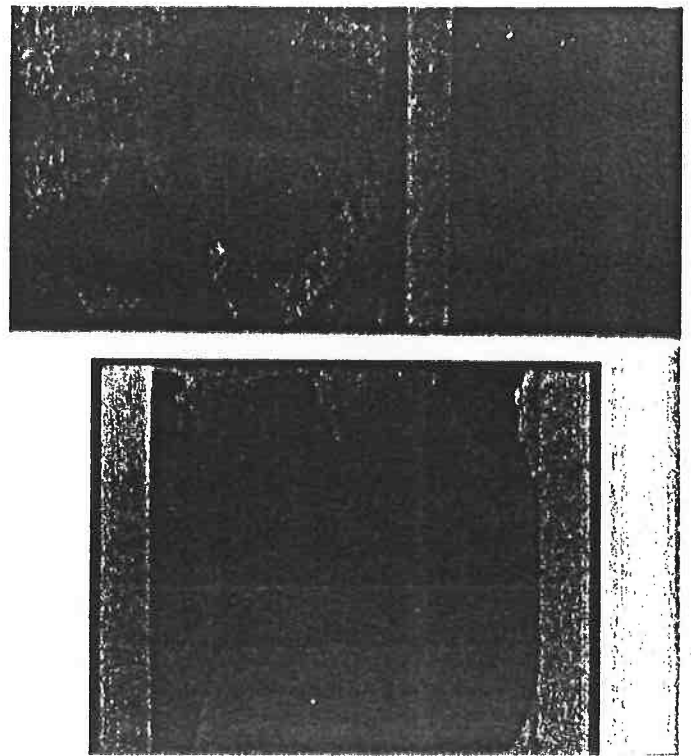


Figura 1. Ejemplos de fotografías transmitidas digitalmente durante los años 20. (a) Superior izquierda, (b) Superior derecha, (c) Inferior. (González & Tou, «Digital Image Processing».)

dispositivos de adquisición, almacenamiento y reproducción de imágenes, sino que también han contribuido considerablemente a este desarrollo la aparición de ciertas técnicas algorítmicas. Así por ejemplo, sin la popularización del algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT), debido a Cooley y Turkey (1965), es muy posible que el proceso frecuencial de imágenes hubiera quedado, durante mucho tiempo, limitado casi exclusivamente al dominio de la óptica.

El comienzo de las investigaciones espaciales merece mención aparte dentro de la evolución histórica de esta disciplina. Los trabajos para la mejora de las imágenes obtenidas en pruebas espaciales utilizando técnicas de ordenador, tuvieron lugar por primera vez en el Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, California) en 1964, cuando se procesaron con ordenador las imágenes de la Luna enviadas por el Ranger 7. Se consiguió de esta manera corregir varios tipos de distorsión producidos por la cámara de TV de la nave. Las técnicas usadas fueron la base para nuevos métodos de realce y restauración sobre imágenes obtenidas en posteriores programas espaciales, como las misiones Voyager, Viking y Mariner, o los viajes tripulados a la Luna dentro del proyecto Apolo.

Actualmente, el interés se va desplazando hacia los procesos de visión en máquinas autónomas, sin que ello signifique el abandono del estudio y perfeccionamiento de los problemas «clásicos». De este modo, el proceso digital de imágenes ha ido evolucionando desde los problemas de transmisión y tratamiento de las imágenes, hacia las técnicas de visión artificial. Se intenta así, automatizar procesos dirigidos por visión, de manera que cada vez tenga menos importan-

cia en ellos la intervención del experto humano. Podemos encontrar ejemplos de máquinas dirigidas por visión en vehículos espaciales o en robots industriales y agrícolas.

Representación digital de una imagen

Cualquier proceso de visión, tanto humano como en máquinas, necesita realizar la adquisición de una imagen para después proceder a su análisis. En cualquier caso, el proceso óptico de captación de una imagen convierte la información de una escena en un patrón de iluminación sobre el plano imagen del sistema; este patrón es función de las coordenadas espaciales en dicho plano.

Se puede grabar o medir este patrón utilizando algún tipo de sensor. Todos los sensores tienen una cierta sensibilidad espectral, esto significa que si se utiliza un único sensor sólo se podrá medir la información de intensidad luminosa. Si queremos medir la información en distintas bandas de frecuencia, por ejemplo si queremos medir color, es necesario utilizar varios sensores con distintas respuestas espectrales. En otras palabras, cuando sólo se usa un sensor la escena se representa por una función escalar de la posición en la imagen. Si se mide la información sobre múltiples bandas, la imagen se representará por una n -upla de estas funciones.

Centrando el tema sobre una única banda, se puede resumir que el término imagen monocromática, o simplemente imagen, tal como se usa en el proceso digital de imágenes, se refiere a una función bidimensional de la intensidad de luz, $f(x,y)$. Donde el valor de f para las coordenadas espaciales (x,y) del plano imagen representa la intensidad medida en ese punto. Puesto que la luz es una forma de energía se debe cumplir que, $0 < f(x,y) < \infty$.

La intensidad de la imagen f medida para un punto (x,y) se conoce con el nombre de nivel de gris (I) de la imagen en ese punto. Es evidente que se cumple que, $L_{min} \leq I \leq L_{max}$. Donde los valores de L_{min} y L_{max} están determinados por la naturaleza de la luz incidente, las características de los objetos presentes en la escena y la respuesta del sensor. La única condición es que L_{min} sea positivo y L_{max} finito.

Al intervalo $[L_{min}, L_{max}]$ se le llama escala de grises de la imagen y es práctica habitual desplazar la escala de manera que $0 \leq I \leq L$. En este caso, los valores $I=L$ y $I=0$ se consideran blanco y negro respectivamente. El resto de los valores representan distintos tonos de gris, variando de manera continua desde el negro hasta el blanco.

Hasta este momento se han considerado las imágenes como funciones continuas, sin embargo, para poder trabajar adecuadamente con una imagen en un ordenador es necesario proceder a su muestreo (toma de muestras en el espacio) y digitalización (paso de representación continua a un intervalo de enteros).

El muestreo aproxima la imagen originada por una matriz de $M \times N$ puntos, cuyos elementos representan el nivel de gris en cada punto de la imagen. Es habitual representar la imagen por muestras equiespa-

ciales, de manera que $M=N$ y por tanto, se trabaja con matrices cuadradas de $M \times N$ puntos, tal como se muestra en la figura 2. La parte derecha de la ecuación de la figura 2 es lo que normalmente se conoce por el nombre de imagen digital y cada elemento de la matriz se llama elemento de la imagen o pixel.

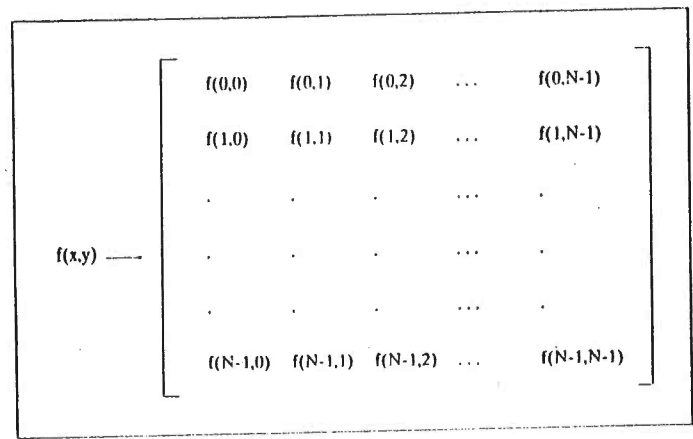


Figura 2. Aproximación de una imagen por una matriz de $N \times N$ puntos.

Para realizar el muestreo y la digitalización de una imagen es necesaria una elección previa del número de muestras espaciales (N) y de los niveles de gris permitidos para cada punto (G). Resulta evidente que cuanto mayores sean ambas cantidades, más se aproximará la imagen digitalizada, a la original. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el espacio de almacenamiento de un ordenador no es infinito. Es necesario pues, llegar a un compromiso entre la precisión de la aproximación y las disponibilidades de almacenamiento.

Es habitual en el proceso digital de imágenes, elegir los valores de N y G de manera que sean potencias enteras de dos, es decir, $N=2^n$ y $G=2^m$.

Los niveles de gris estarán igualmente espaciados en el intervalo $[0,L]$ y así, el número de bits necesarios para almacenar una imagen digital viene determinado por la expresión, $b=N \times N \times m$. Por razones prácticas a la hora de programar, es preferible dejar bits sin ocupar dentro de un byte si con ello se impide el solapamiento de pixels de un byte a otro.

	$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8
N	$G = 2$	4	8	16	32	64	128	256
32	128	256	512	512	1024	1024	1024	1024
64	512	1024	2048	2048	4096	4096	4096	4096
128	2048	4096	8192	8192	16384	16384	16384	16384
256	8192	16384	32768	32768	65536	65536	65536	65536
512	32768	65536	131072	131072	262144	262144	262144	262144

Tabla 1. Número de bytes necesarios para el almacenamiento de una imagen según los valores de N y G .

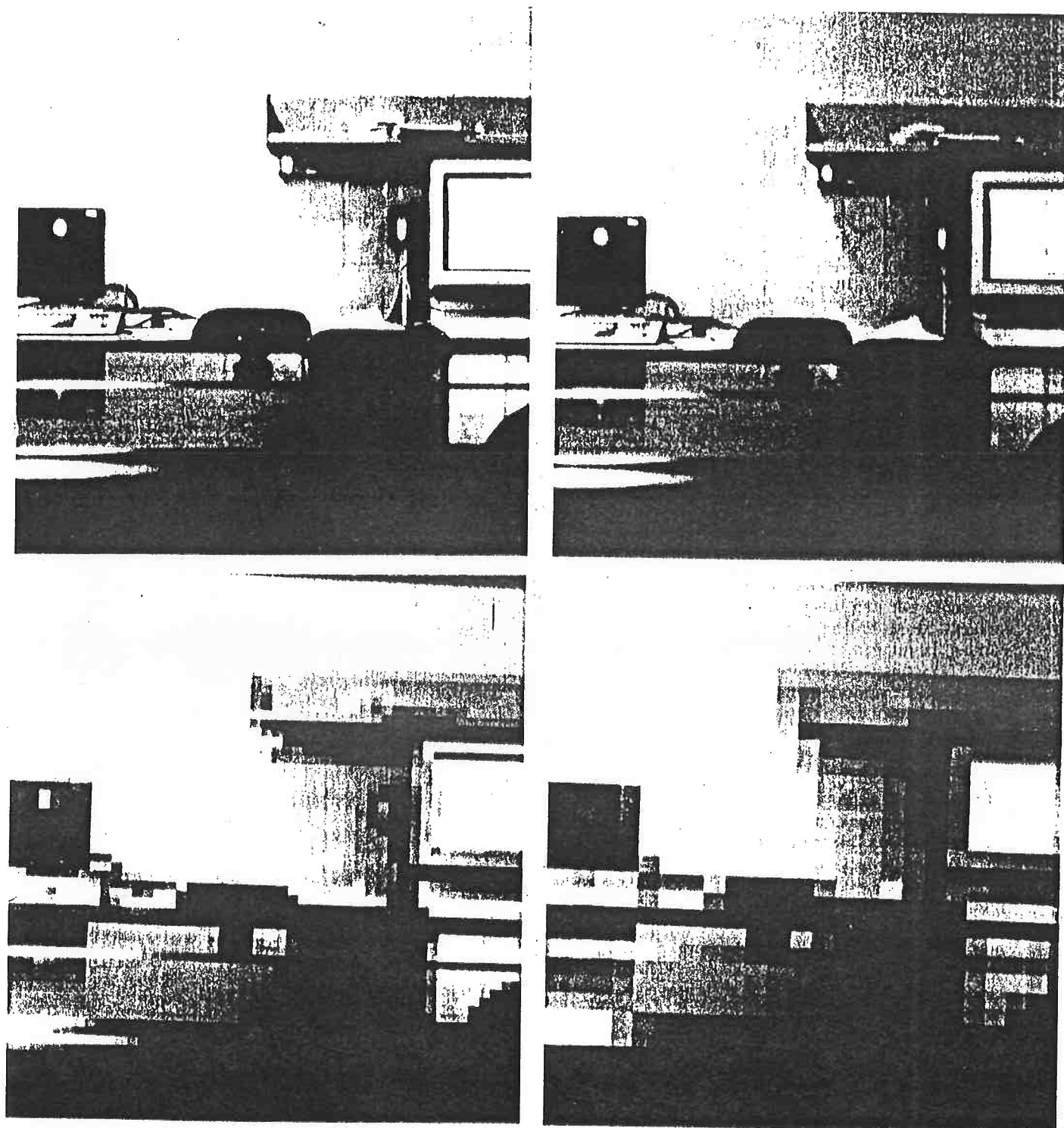


Figura 3. Efecto que produce en la calidad de la imagen la disminución del muestreo espacial: (superior izquierda, a) 512×512 , (superior derecha, b) 256×256 , (inferior izquierda, c) 64×64 , (inferior derecha, d) 32×32 .

Según estos criterios, la tabla 1 da una idea de las necesidades de almacenamiento para valores típicos de N y G.

Ante todos estos compromisos de tipo práctico, es conveniente estudiar la dependencia de la calidad de la imagen digitalizada con los valores de N y G.

Las figuras 3a) hasta 3d) dan una idea de la degradación producida en la resolución de la imagen cuando se reduce el muestreo espacial. En todas estas

imágenes el número de niveles de gris es el mismo, $G=256$ y lo único que varía es el valor de N. La figura 3a) muestra una imagen de 512×512 pixels, mientras que las figuras 3b) a 3d) muestran la misma imagen pero con valores de N=256, 64 y 32 respectivamente. Como el área utilizada para reproducir la imagen es de 512×512 puntos en todos los casos, las imágenes con menor número de puntos presentan un tamaño mayor de los pixels, a fin de poder ocupar completamente el

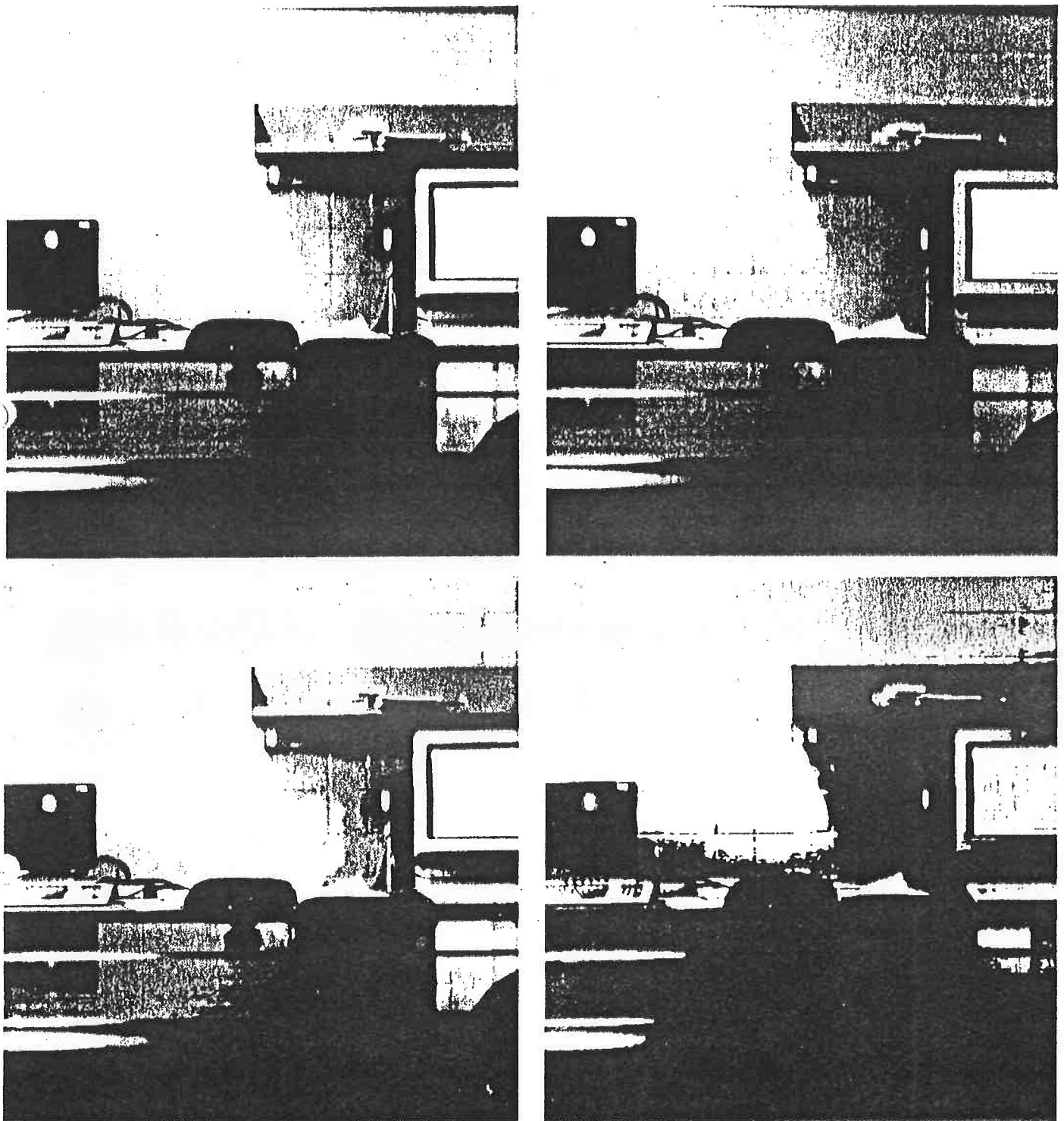


Figura 4. Efecto que produce en la imagen la variación del número de niveles de gris empleados en la cuantización: (superior izquierda, a) 256 niveles, (superior derecha, b) 64 niveles, (inferior izquierda, c) 16 niveles, (inferior derecha, d) 4 niveles.

área de trabajo. Esto produce la aparición del clásico efecto de mosaico, que se hace mucho más apreciable a medida que N disminuye.

La calidad de la imagen (*b*) con 256×256 puntos, resulta similar a la de la imagen (*a*), 512×512 . Sin embargo, se observa que dicha calidad se deteriora rápidamente para los restantes valores de N .

Por otro lado, las figuras 4a) hasta (d) ilustran el efecto que se produce en las imágenes cuando se

reduce el número de bits utilizados en la cuantización de los niveles de gris. En este caso, todas las imágenes tienen la misma resolución espacial, 512×512 , y varía el valor de G , pasando de $G = 256$ ($m = 8$) en la figura 4a) a $G = 64$, 16 y 4 en las figuras restantes. Se observa que las imágenes con 256 y 64 niveles presentan una calidad aceptable, mientras que a partir de 64 niveles en adelante aparecen falsos contornos en determinadas zonas, lo que aleja la reproducción digital de la imagen

original. No es fácil determinar unos valores de N y G que permitan afirmar de manera categórica que la calidad de una imagen digitalizada es buena en todos los casos. De hecho, el número de muestras y niveles de gris necesarios para reproducir de manera satisfactoria una imagen depende de las características de la propia imagen. Sin embargo, es posible dar ciertos valores orientativos. Se puede obtener una calidad de imagen semejante a la de las imágenes monocromáticas de televisión sobre un amplio rango de imágenes, utilizando una representación digital con 512×512 puntos y 128 niveles de gris. En este sentido y para finalizar este apartado, se puede decir también que para que un sistema de procesamiento digital de imágenes ofrezca unos mínimos de calidad debe ser capaz de trabajar con imágenes de 256×256 pixels y 64 niveles de gris.

Consideraciones sobre un sistema para el procesamiento de imágenes

Una vez que se dispone de la imagen en formato digital, es posible analizarla utilizando un sistema de procesamiento de imágenes que permita extraer de ella la información significativa.

Existen tres modelos o aproximaciones que normalmente se utilizan al trabajar con imágenes:

1) Utilizar un gran ordenador (procesador > 32 bits) y trabajar en modo lote o interactivo. Habitualmente se trabaja con impresoras alfanuméricas y sólo ocasionalmente se tiene la posibilidad de analizar o tratar interactivamente con los sensores y ver los resultados del proceso a través de un monitor. Se trata, por tanto, de un método de tratamiento de las imágenes alejado del problema y que puede resultar lento para el desarrollo de ciertas aplicaciones.

2) Emplear un miniordenador (16-32 bits) conectado con una placa procesadora de imágenes y con un monitor de alta resolución. Este conjunto proporciona un entorno ideal de trabajo, donde el investigador tiene la posibilidad de captar escenas, analizarlas y evaluar los resultados del proceso en el mismo puesto de trabajo. El esquema básico de este modelo se puede ver representado en la figura 5.

Las placas procesadoras de imágenes consisten básicamente en: un convertidor A/D capaz de digitalizar la imagen, una memoria que permite almacenar un

cierto número de tomas, una unidad de control y un convertidor D/A para la reproducción de imágenes con un monitor. Según los modelos, estas características se pueden ver incrementadas con la incorporación de nuevas placas para la realización de tratamientos concretos.

3) Finalmente, existen sistemas diseñados específicamente para el procesamiento de imágenes. De manera que se puede disponer de varias estaciones de trabajo sobre el mismo equipo.

Se pueden realizar ahora, algunas reflexiones acerca de las ventajas e inconvenientes de cada una de estas aproximaciones.

El primer modelo considerado, como hemos visto, no permite un acceso rápido y sencillo a los medios para la adquisición y reproducción de las imágenes, esto impide desarrollar soluciones adecuadas para problemas que necesiten un frecuente acceso a estos dispositivos. Es un método indicado cuando no se precisa rapidez en los resultados y cuando se desea desarrollar algoritmos desde un punto de vista más teórico.

El segundo y el tercer modelo están más dirigidos a la tarea específica y, por lo tanto, pueden servir de manera más adecuada a la resolución de estos problemas. Pero la segunda aproximación, por hacer uso de material más general, puede presentar ventajas a nivel de implantación. Basta poseer un ordenador de tipo personal, preferiblemente tipo AT o más potente, conectado con una cámara de vídeo, un monitor y una placa específica para el procesamiento de imágenes y se puede obtener un equipo lo suficientemente eficaz como para resolver un gran número de problemas prácticos.

Evidentemente, no hay que descartar la posibilidad de tener un sistema completo diseñado y preparado exclusivamente para el tratamiento de imágenes. Pero sí hay que considerar seriamente si se le va a obtener el rendimiento suficiente como para justificar el alto coste de la inversión, o si por el contrario, es preferible poseer un equipo no tan potente pero que pueda tener también otras aplicaciones. Por esto, el segundo modelo de trabajo está teniendo una gran aceptación tanto en empresas como en laboratorios de investigación, donde el tratamiento de imágenes forma parte de un proceso global.

Existen en el mercado una amplia gama de placas procesadoras de imágenes que permiten digitalizar, almacenar, procesar y reproducir imágenes con un coste relativamente bajo. Limitándonos a los sistemas que hacen uso de ellas, se pueden realizar algunas consideraciones sobre ciertos temas de interés:

a) El número de usuarios que pueden acceder simultáneamente al sistema está limitado por el equipo. Si se desea disponer de varios puestos de trabajo es necesario duplicar el hardware específico, ya que aunque se trabaje en entornos multiusuario (Unix), el acceso simultáneo por parte de distintos usuarios a la misma placa provocará conflictos en los procesos.

b) El gran número de operaciones de CPU que es necesario realizar, exige que se disponga de un procesador que trabaje con 16 bits o más. Este procesador se tiene que encargar, tanto del control de los dispositivos como de los cálculos inherentes al tratamiento. Es aconsejable, para liberar a la CPU, acelerar las operaciones en coma flotante mediante la

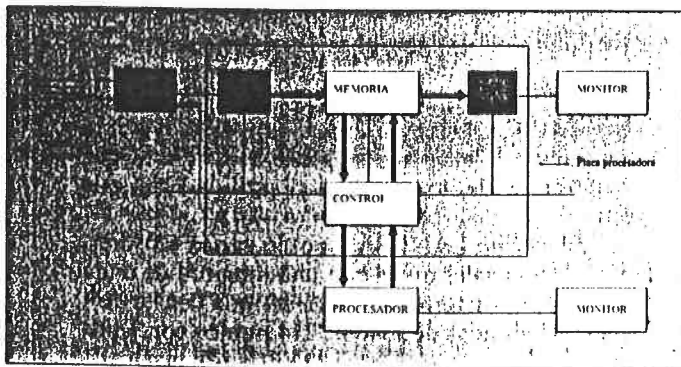


Figura 5. Esquema de un sistema para el procesamiento de imágenes según el segundo modelo descrito en el texto.

incorporación al sistema de un coprocesador matemático. Las mismas placas procesadoras disponen también de circuitería específica para la realización de tratamientos y cálculos concretos.

c) La memoria incorporada en las placas procesadoras permite mantener accesibles un cierto número de imágenes, que varía según los modelos y que descarga de esa tarea al ordenador central, quedando su memoria reservada para otros fines. El número de imágenes que se pueden almacenar simultáneamente en una placa depende de la resolución de las mismas. Se pueden tener cuatro imágenes de 512×512 pixels y 1 byte de información por punto, o bien, una única imagen de 1024×1024 pixels (estos datos cambian según modelos de placas).

d) Junto con el hardware para el procesado, se pueden obtener también las rutinas software para su control. Las funciones incorporadas por los fabricantes en estas rutinas suelen ser abiertas, es decir, pueden ser utilizadas por el usuario en la construcción de sus propios programas de aplicación.

Los lenguajes más utilizados en la programación de estas placas suelen ser Fortran y C, convirtiéndose este último en estándar para casi todos los modelos de placas.

e) El gran espacio (en número de bytes), que normalmente necesita una imagen para su almacenamiento, requiere no sólo un cierto tamaño de la memoria principal del sistema, sino también disponer de dispositivos de memoria externa que permitan tanto un acceso rápido a las imágenes, como una gran capacidad de almacenamiento. Por eso, se utilizan discos para el trabajo interactivo habitual y cintas magnéticas para el almacenamiento secundario en gran escala.

f) La resolución del monitor empleado para la reproducción de las imágenes debe ser lo suficientemente grande como para trabajar con digitalizaciones en alta resolución (1024×1024 pixels). El número de colores exigidos puede variar según las necesidades del problema.

Finalmente, dejar constancia que en el mercado existen paquetes de aplicación que permiten controlar los dispositivos detallados y realizar análisis de las imágenes, sin necesidad de que el usuario tenga experiencia en el desarrollo de programas.

Aplicaciones

Como ya se ha comentado, las funciones de los sistemas de visión son, en general, la adquisición de la información visual de las escenas por medio de sus correspondientes sensores, su digitalización posterior para que sea factible el tratamiento por ordenador, el almacenamiento de la información en lugar accesible para el sistema procesador, y la aplicación de ciertos algoritmos que mostrarán como resultado, o bien la extracción de ciertas características básicas de la imagen desechando la información superflua o bien una imagen de más alta calidad, tendente a una mejor observación humana.

Las técnicas aplicadas para la resolución de problemas se pueden clasificar en tres grupos:

— Técnicas puntuales. Cuando el punto de la imagen de salida sólo depende del valor de dicho punto

en la imagen digitalizada inicialmente.

— Técnicas locales. El valor de un punto en la salida depende tanto del valor de dicho punto en la imagen de entrada como del valor de sus puntos vecinos.

— Técnicas globales. El valor del nivel de salida de un punto depende del conjunto de valores de todos los puntos del espacio de entrada.

En este apartado se tratará de mostrar ejemplos en los que aparezcan algunos de los principales problemas del procesado digital de imágenes, a saber: codificación, realce y restauración de imágenes, segmentación, descripción y reconocimiento. Aunque éstos no son los únicos problemas que pueden aparecer, sí que es cierto que la mayoría de las aplicaciones los van a tener como parte importante de las mismas.

Codificación de imágenes

El almacenamiento de una imagen digitalizada requiere usualmente un gran número de bits. En algunas aplicaciones es importante considerar ciertas técnicas para representar una imagen, o la información contenida en ella, haciendo uso de la menor cantidad de memoria posible.

Las técnicas para la codificación de imágenes se utilizan principalmente en las tres siguientes aplicaciones:

- Compresión de datos de una imagen.
- Transmisión de imágenes.
- Extracción de características.

Es importante señalar que estas técnicas están muy orientadas a cada problema concreto. En otras palabras, la codificación de la información requiere en cada caso práctico de aplicación una técnica particular atendiendo a las características básicas de la imagen a codificar.

Haciendo referencia a la primera categoría citada anteriormente, la compresión de imágenes tiene justificada su utilización por la necesidad de reducir los requerimientos de almacenamiento de las imágenes. Se emplea, por ejemplo en medicina, en modernos aparatos radiológicos donde las radiografías efectuadas a los pacientes son digitalizadas y tras su compresión por el ordenador, almacenadas en soportes magnéticos y susceptibles de ser recuperadas posteriormente.

Resulta obvio que la técnica empleada en la compresión de la imagen deberá permitir luego, mediante la aplicación de su correspondiente algoritmo de descompresión, la reconstrucción de la imagen original.

Como ejemplo de la codificación de imágenes para su transmisión, cabe citar las emitidas por los satélites LANDSAT de la NASA. El primer LANDSAT fue lanzado el 23 de julio de 1972 y dejó de enviar imágenes en 1978. Desde entonces estos satélites han enviado cientos de miles de imágenes de la Tierra que han demostrado la importancia y utilidad de este proyecto.

El satélite LANDSAT posee varios sensores, cada uno de los cuales opera con una longitud de onda distinta. Cada estructura de imagen emitida consta de 4 imágenes digitalizadas de 2340×3234 puntos con 7 bits por punto, es decir, 211 millones de bits y 128 niveles de gris; 0 para el negro y 127 para el blanco. Teniendo en cuenta que las imágenes suelen ser bastante uniformes y

no presentan muchos contrastes, en lugar de emitir el nivel de gris de cada punto se emite la diferencia existente respecto al valor del punto emitido con anterioridad. La diferencia no suele exceder de un rango de -7 a $+6$ niveles de gris. Por ello, suelen ser suficientes 4 bits para codificar un punto. Cuando excepcionalmente se sobrepasa este rango, se utilizan 8 bits para codificar el punto. El valor promedio suele ser de 4,3 bits por pixel, lo cual implica una reducción de aproximadamente un 40 %, además de aumentar la fiabilidad de la transmisión al disminuir el rango de los valores emitidos.

Tras la extracción de las características de una imagen, también se puede hacer uso de las técnicas de codificación para un almacenamiento más eficiente, que tenga en cuenta la información verdaderamente significativa. Considérese, por ejemplo, el problema de clasificar cultivos agrícolas a partir de imágenes aéreas (satélite o avión). En este caso, la imagen original puede ser de 256 niveles de gris lo cual implica 8 bits por punto de imagen. Si el terreno presenta cuatro tipos de cultivos básicos, serán suficientes cuatro niveles de gris para representar esa imagen y por tanto, cada punto podrá ser almacenado utilizando solamente 2 bits, con la reducción que eso supone.

La figura 6 muestra una imagen de la zona de l'Albufera en la provincia de Valencia enviada por el LANDSAT. Las zonas de color amarillo representan cultivos de arroz.

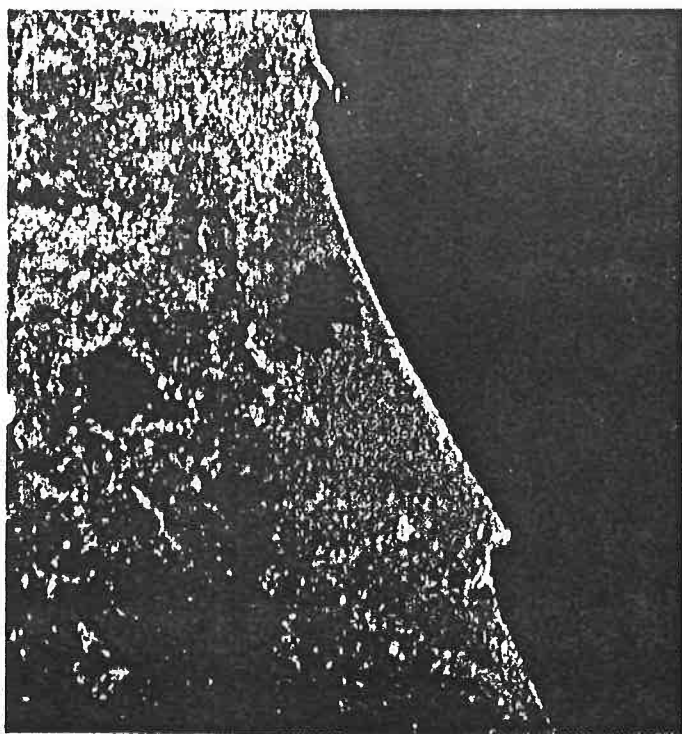


Figura 6. Imagen del LANDSAT de la provincia de Valencia. En color amarillo se pueden distinguir los arrozales.

Realce y restauración de imágenes

Las llamadas técnicas de realce de imágenes están diseñadas para mejorar la calidad de una imagen desde el punto de vista de un observador humano. La

subjetividad a la hora de juzgar la calidad de la imagen resultante por parte del observador, hace que no siempre sea sencillo conseguir un resultado satisfactorio.

Se pueden utilizar multitud de técnicas en los problemas de realce, desde ampliar el rango de los niveles de gris presentes en la imagen, hasta incrementar su contraste separando más esos niveles, pasando por el realce de los bordes de los objetivos o la introducción de pseudocolor. Esta técnica de pseudocoloración consiste en asignar distintos colores a cada uno de los niveles de gris de la imagen, de manera que sea más sencillo reconocer ciertas características de la misma, ya que el hombre posee una mayor capacidad de discernimiento entre diferentes colores que entre tonos de gris.

Por otro lado, existen técnicas dedicadas a la recuperación de información en imágenes en mal estado o deterioradas, es lo que se conoce como restauración de imágenes.

El proceso de degradación que sufren las cosas atenta también sobre las imágenes, haciendo que viejas fotografías aparezcan amarillentas y pierdan contraste, o haciendo que las cintas de vídeo debido a su uso pierdan su calidad inicial.

Incluso la degradación puede presentarse desde el mismo momento en que se realiza una fotografía o se digitaliza una escena. Puede producirse también en la transmisión de las imágenes de un cierto emisor a su receptor debido por ejemplo, entre otros factores, a las condiciones atmosféricas.

El propósito general de las técnicas de restauración de imágenes consiste en intentar reconstruir o recuperar una imagen degradada usando el conocimiento que se pueda tener del fenómeno que ha conducido a dicha degradación.

Como ejemplo curioso, cabe citar el uso que se realiza de estas técnicas en arqueología. A partir de una imagen o fotografía de un objeto antiguo que ha sido dañado o tal vez perdido con posterioridad, se realiza una digitalización de la misma y se le aplican técnicas de restauración por ordenador para obtener una imagen de mayor calidad, a partir de la cual restaurar o reconstruir el objeto.

Como se comenta con anterioridad, las técnicas usadas en el proceso de restauración vienen determinadas por el tipo de degradación que sufrió la imagen. Por ejemplo, cuando se tiene una imagen astronómica que presenta ruido de una determinada frecuencia, se usa una técnica global consistente en pasar de una representación espacial de la imagen a su representación en el espacio de frecuencias, mediante la aplicación de algún tipo de transformada como la de Fourier, y eliminar en esta representación frecuencial, mediante el uso de un filtro, la información correspondiente a la frecuencia del ruido.

Segmentación, descripción y reconocimiento

Un sistema de visión puede ser requerido para identificar objetos o entidades. Su misión será extraer cierta información de la escena y analizarla, a fin de reconocer en ella características identificables con unos patrones determinados. En este proceso se pueden distinguir claramente tres niveles: segmentación, des-

cripción y reconocimiento. En el primero de ellos, se intenta aislar en la escena objetos o regiones significativas. En el siguiente nivel, se realiza la medida de las propiedades de las regiones obtenidas o de las relaciones entre ellas, siendo el nivel de reconocimiento el encargado de asociar las regiones con los patrones atendiendo a las características medidas en el paso anterior.

Cabe comentar que este proceso viene siendo aplicado en multitud de problemas, uno de los cuales es el reconocimiento de caracteres escritos. En este caso, los patrones serán las letras del alfabeto y los signos de puntuación. El ordenador, una vez digitalizado el texto, deberá separar las letras como entidades e identificarlas asignándolas a un patrón determinado.

El proceso general de reconocimiento también tiene claras implicaciones dentro del área de la visión artificial. Su interés se ve reflejado en los dos siguientes ejemplos:

Manipulación e inspección automática en la industria

El control por visión es usado en algunas fábricas de almacenamiento y transporte para guiar las acciones de un manipulador mecánico que realiza ciertos movimientos de los objetos. Las situaciones de trabajo pueden variar considerablemente según el entorno del sistema. Por ejemplo, en unos casos los objetos pueden ser cogidos desde una cinta transportadora en movimiento, para lo cual deberá conocerse las condiciones del movimiento; o como es bastante frecuente en la práctica, ser cogidos desde una posición estática para su posterior almacenamiento.

De cualquier forma, las tareas de coger/poner presentan generalmente, unas dificultades de automatismo dependientes de la forma particular de los objetos, existiendo problemas adicionales de robótica, pues no basta con detectar los objetos sino que además hay que manipularlos, con cuidado atendiendo a las posibles orientaciones de los mismos.

En este ejemplo, es frecuente utilizar una técnica basada en la extracción del contorno de los objetos, teniendo en cuenta el gradiente de iluminación de la escena digitalizada. Esta técnica es similar a la usada por un observador humano, pues cuando se tiene un objeto iluminado sobre un fondo contrastado, el reconocimiento del objeto se basa en la detección del cambio, más o menos brusco, de intensidad que se produce en la transición entre el objeto y el fondo. Los puntos donde se detecta este cambio determinan el contorno del objeto.

En la figura 7a) se pueden ver unas cuantas naranjas sobre un fondo oscuro y en la figura siguiente, 7b), se muestra el contorno de estas naranjas obtenido por aplicación de la técnica antes citada. Con el contorno se puede obtener una valiosa información sobre la posición espacial y el tamaño del objeto.

Dentro de este mismo ejemplo de máquinas controladas por visión en entornos industriales, se pueden incluir los procesos de inspección visual, los cuales pueden ser usados como una herramienta potente en las tareas automatizadas de control de calidad y en la obtención de medidas cuantitativas específicas de parámetros importantes en un proceso de manufactura-

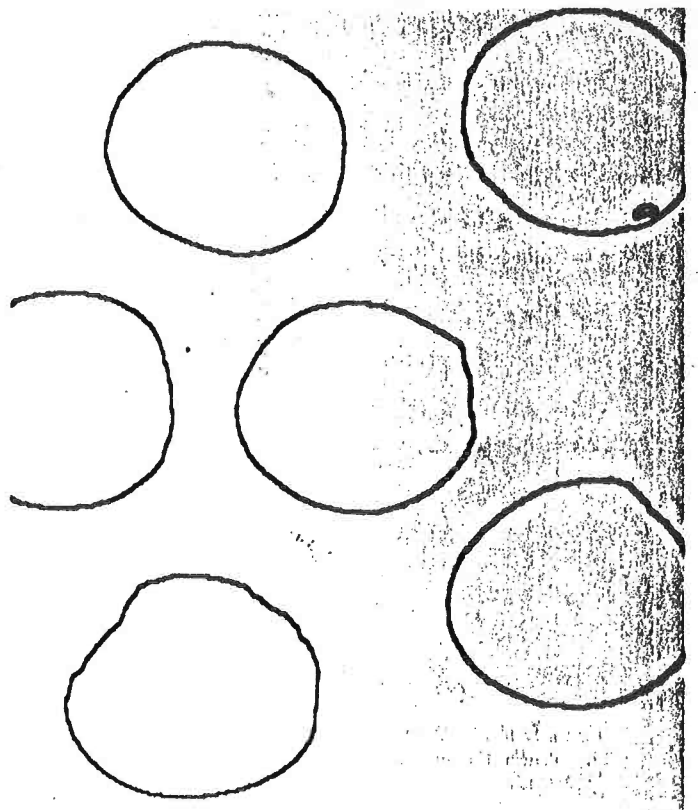
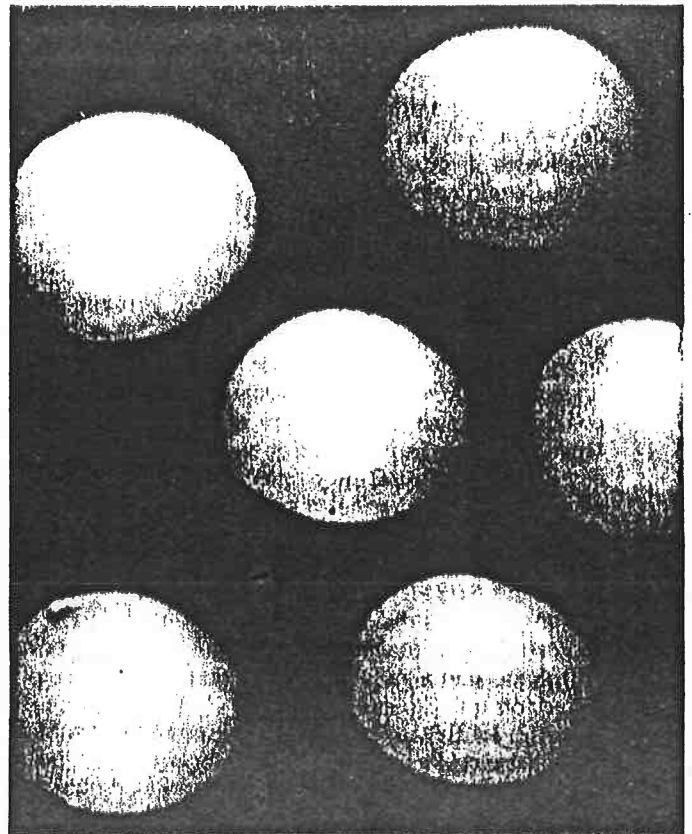


Figura 7. Extracción de contornos de los objetos. (a), imagen original, (b), imagen de bordes.

ción, en el cual se requiera un alto grado de exactitud. Los criterios de inspección pueden variar

desde una simple decisión de paso/fallo, acerca de una aparición general de un objeto o ítem en cualquier punto de una cadena de producción automatizada, hasta el diagnóstico del nivel de calidad de los objetos finales de dicha cadena de manufacturación.

Guiado visual

Se utiliza el guiado visual para controlar el movimiento de máquinas móviles cuyas trayectorias no pueden ser especificadas en términos absolutos, tan solo en relación a un conjunto de criterios que son más fáciles de determinar a partir de la información externa que reciben periódicamente de los sensores visuales.

Un ejemplo de este tipo de operaciones puede ser el guiado de una herramienta de corte, la cual describe una trayectoria operacional a lo largo de la superficie de un metal, en función de la estructura de la superficie dada y de la forma que se desea obtener.

Aunque es un ejemplo de aplicación muy diferente al visto anteriormente y con unos fines menos pacíficos, se utiliza el control de trayectoria en la dirección de los misiles, éstos analizan periódicamente, mediante una cámara de infrarrojos, la posición del objetivo y con los datos obtenidos del análisis de la escena varían su propia trayectoria.

También es usado en el control de ciertos vehículos, para evitar el riesgo y dificultades que implicaría la intervención de tripulantes humanos. Estos vehículos pueden utilizarse para la toma de muestras e inspección en los planetas y satélites del Sistema Solar con total autonomía.

En este tipo de aplicaciones se hace uso de las llamadas imágenes de rango (representaciones de distancia), además del reconocimiento de formas, entre otras técnicas.

Los robots más sofisticados son capaces de hacer una representación visual cualitativa de su entorno global, basándose en mediciones telemétricas, obtenidas usando dos cámaras (visión estéreo) que permiten determinar la distancia a la que se encuentran los objetos de la escena. En otros casos, el cálculo de distancias se realiza también mediante el barrido con un láser.

Resumen

Se ha tratado de dar en este artículo una breve introducción a las técnicas y sistemas para el proceso de imágenes. Desde sus primeras aplicaciones en la transmisión de fotografías de prensa, hasta sus implicaciones en la automatización de procesos.

No se ha intentado en ningún momento comentar en profundidad las técnicas concretas, sino más bien, dar orientaciones acerca de los requerimientos de los sistemas y de las potenciales aplicaciones que pueden tener. Como se ha visto, cada una de estas aplicaciones específicas necesita técnicas diferentes. Las imágenes digitalizadas son codificadas, restauradas, transmitidas, y analizadas con el fin de extraer de ellas información útil tanto para el ser humano como para sistemas robotizados, siendo precisa la adaptación de los métodos a cada caso concreto.

Citar en este artículo todas las posibles

aplicaciones del procesado digital de imágenes hubiera sido una tarea imposible, tan solo se han podido mostrar algunas aplicaciones prácticas que han permitido una somera descripción de las técnicas, quedando una descripción más detallada de las mismas para posteriores artículos.

Bibliografía

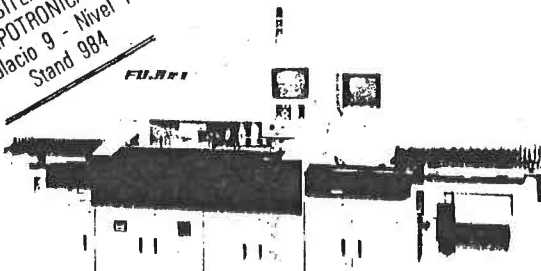
Para acabar de dar una referencia sobre los temas de proceso digital de imágenes, se citan a continuación algunos libros que pueden servir como textos generales:

- [1] Ballard, D.N. and Brown, C.M.: «Computer Vision» Prentice Hall, 1982.
- [2] González, R.C. and Wintz, P.: «Digital Image Processing». Addison-Wesley, 1977.
- [3] Hall, E.L.: «Computer Image Processing and Recognition». Academic Press, 1979.
- [4] Horn, B.K.P.: «Robot Vision». MIT Press, 1986.
- [5] Jain, A.K.: «Fundamentals of Digital Image Processing». Prentice Hall, 1989.
- [6] Pratt, W.K.: «Digital Image Processing». Wiley Interscience, 1978.
- [7] Rosenfeld, A. and Kak, A.C.: «Digital Picture Processing». Academic Press, 1981.

FENWICK

UNA GAMA COMPLETA DE MAQUINAS DE PRODUCCION

VISITENOS EN
 EXPOTRONICA 90
 Palacio 9 - Nivel 1
 Stand 904



INSERCIÓN:

- Axiales + Radiales (FUJI FBA)
- Dip. 0,3" - 0,6" - zócalos, etc (NETCO)

COLOCACION SMD:

- Asistido por cámara CCD (FUJI)
- Concepto modular o en línea integrada
- Colocación adhesivo - pasta de soldar
- Hornos de curado y refusión

VARIOS:

- Máquinas de soldadura
- Máquinas de limpieza
- Máquinas para comprobación de placas

FENWICK IBERICA, S.A.
 Balmes 24, 2.º 2.ª - 08007 BARCELONA
 Tel. 301 39 96 - FAX 301 63 01