

# APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

---

## 1 INTRODUCCIÓN

Es preciso reconocer que hoy por hoy la visión por computador a veces no es la mejor solución a un problema. Existen muchas ocasiones en las que el problema es tan complejo que la solución humana es lo mejor. Por ejemplo imaginemos una conducción de un vehículo en una carretera con tráfico intenso. Pero a veces, las soluciones humanas tienden a ser inexactas o subjetivas y en ocasiones lentas y presentan una ausencia de rigor así como una pobre percepción (Marshall y Martin 1993, Hamey y col. 1993). No obstante, la solución humana es menos estructurada que la solución artificial y muchos problemas de visión por computador requieren un nivel de inteligencia mucho mayor que el que la máquina pueda ofrecer. El sistema de visión humana puede describir automáticamente una textura en detalle, un borde, un color, una representación bidimensional de una tridimensional, ya que puede diferenciar entre imágenes de diferentes personas, firmas, colores, etc., puede vigilar ciertas zonas, diagnosticar enfermedades a partir de radiografías, etc. Sin embargo, aunque algunas de estas tareas pueden llevarse a cabo mediante visión artificial, el software o el hardware necesario no consigue los resultados que serían deseables.

Aun a pesar de las limitaciones expuestas, cada día es mayor el número de aplicaciones de la visión artificial. Por ello sólo es posible dar una pequeña pincelada sobre las múltiples aplicaciones en las que la visión artificial se ha aplicado hasta el momento. Aquí solamente proporcionamos algunas ideas para generar aplicaciones en la mente del lector. Obviamente los ejemplos que se presentan son aplicables a cualquier

otro proceso diferente y en otro campo industrial o científico también diferentes. En Newman y Jain (1995) o Davies (1997) se puede encontrar una amplia revisión sobre la inspección visual y aplicaciones de la visión a diferentes campos de la vida real, que nos dan idea del amplio abanico de posibilidades.

Existen herramientas y paquetes software cuya finalidad principal son las aplicaciones industriales, tal es el caso de IMAQ Vision de National Instruments (IMAQ), y por supuesto paquetes de propósito general con ciertas funciones de aplicación como es el caso de las Matrox Imaging Libraries (Mil) o el Toolbox Image de MATLAB (Matlab). A partir de ahora la aparición en el texto de los anacronismos entre paréntesis expresará la capacidad de la herramienta correspondiente para llevar a cabo la tarea que se describe.

Cabe no obstante diferenciar entre las aplicaciones donde la visión artificial constituye una herramienta por sí sola y aquellas otras en las que es parte de un sistema multisensorial. El primer caso engloba todas aquellas aplicaciones en las que el único sensor presente es el de visión. En el segundo caso nos estamos refiriendo a la navegación en robótica donde la visión constituye una capacidad sensorial más para la percepción del entorno que rodea al robot.

En muchas aplicaciones las imágenes se presentan al sistema bajo diferentes formatos, cuyos detalles están lejos del alcance de este libro. A modo de ejemplo citamos los siguientes: TIFF, BMP, GIF, JPG, PNG, DICOM, RAW.

## 2 NAVEGACIÓN EN ROBÓTICA

En este caso, la visión es un elemento de un sistema multisensorial. La información procedente de la visión es validada, comparada y finalmente integrada con el resto de la información proporcionada por otro tipo de sensores. El resultado es la reconstrucción de la escena 3-D, que permite la navegación autónoma del sistema (Schneider 1996, López-Orozco 1999).

Para la navegación en robótica se recurre generalmente a técnicas de visión estereoscópica con el fin de poder reconstruir la escena 3-D. Si a esto se le añade algún módulo de reconocimiento 3-D con el fin de identificar la presencia de determinados objetos, hacia los que debe dirigirse o evitar, tanto mejor. La utilización del movimiento basado en la visión constituye un magnífico recurso puesto que el propio sistema está ya de hecho en movimiento. Naturalmente, cualquier otra información que pueda extraerse con ayuda de la visión puede proporcionar una gran ayuda para conseguir el movimiento del robot.

No es exclusivo su uso en robótica, sino que podría utilizarse en otras aplicaciones tales como guiado automático de máquinas, tal y como proponen Amat y

Casal (1989) para máquinas agrícolas. También para la detección y estimación del movimiento de vehículos (Pei y Liou 1998, Tan y col. 1998).

### 3 BIOLOGÍA, GEOLOGÍA Y METEOROLOGÍA

En el campo de la biología podríamos distinguir entre aplicaciones microscópicas y macroscópicas. En una imagen microscópica nos podemos encontrar con abundantes organismos, que mediante técnicas de segmentación orientadas a regiones, por ejemplo utilizando una binarización, podrían ser aislados para su identificación mediante las correspondientes propiedades (tamaño, excentricidad, color, etc.) o para contar el número de microorganismos o células presentes en una imagen, IMAQ, Mil, Matlab. En las imágenes macroscópicas pueden utilizarse las regiones para la identificación de determinados tipos de texturas en vegetales o características de diferentes áreas naturales por su color o el crecimiento de ciertas especies por diferencia de imágenes. En geología se puede también detectar movimientos de terrenos captando dos imágenes en diferentes momentos de tiempo para observar la variación mediante una diferencia de imágenes (bajo similares condiciones de iluminación). En esta área también es posible la reconstrucción de áreas 3-D mediante visión estereoscópica o la obtención de la forma a partir de la iluminación.

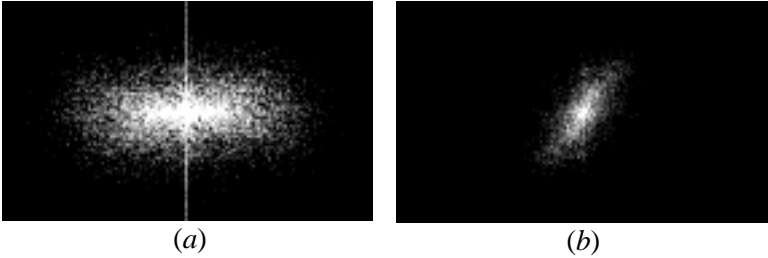
Puede resultar de interés el hecho de identificar el grado de floración de un determinado cultivo, por ejemplo, de un campo de girasoles. Para ello se extrae de la imagen la componente de color amarillo, al igual que se hizo en el apartado 7.5 donde se obtuvieron las regiones por el color, tras lo cual se binariza la imagen y se obtiene el número de píxeles blancos o negros, que nos permite obtener el porcentaje de floración.

En Glasbey y Horgan (1995) se estudia el procesamiento de forma específica en imágenes biológicas con las técnicas descritas a lo largo de este libro.

La transformada de Fourier puede resultar útil por ejemplo para determinar la naturaleza de una determinada formación geológica o de una especie biológica. En efecto, la figura S.21(b) muestra una formación rugosa de un tronco de árbol con una orientación media de las arrugas en sentido vertical, tal y como se deduce del espectro de frecuencias de la figura 1(a). Análogamente, en la figura S.32(a) se muestra una imagen de una formación geológica con estratos inclinados formando un ángulo de 45° aproximadamente. El espectro de frecuencias en este caso, muestra una tendencia inclinada de unos 45°, que caracteriza dicha estratificación, tal y como se muestra en la figura 1 (b) (IMAQ, Matlab).

En Meteorología podríamos utilizar las técnicas de detección y predicción del movimiento estudiadas en el Capítulo 12 para observar, por ejemplo, la evolución de ciertas masas nubosas, u otros fenómenos meteorológicos, a través de imágenes

recibidas vía satélite. En Sonka y col. (1995) se muestra precisamente un ejemplo sobre la evolución y predicción de una masa de nubes a partir de una secuencia de imágenes.



*Figura 1 Espectros de frecuencia (a) de una estructura biológica correspondiente a la corteza de árbol de la figura S.21(b) y (b) de una formación geológica cuya imagen se muestra en S.32 (a)*

También puede resultar de interés determinar el grado de cobertura de una nevada en función de la superficie cubierta. En la imagen de la figura S.32(b) se muestra un campo cubierto por una intensa nevada. En la imagen de la figura 2(a) aparece la misma imagen en tonos de grises de la que mediante binarización se determina la superficie no cubierta por la nieve.



*Figura 2 (a) Imagen de grises obtenida a partir de la imagen de la figura S.32(b); (b) imagen binaria, obtenida a partir de (a) donde se muestra en negro la superficie no cubierta*

En Vesecky (1988) se propone un estudio para observar la dinámica de placas de hielo en el mar mediante el análisis de imágenes de radar.

## 4 MEDICINA

La comunidad médica tiene muchas aplicaciones en las que aparece el procesamiento de imágenes, a menudo orientadas hacia el diagnóstico de dolencias o enfermedades, entre las que se incluyen radiografías, resonancias magnéticas, tomografías etc.

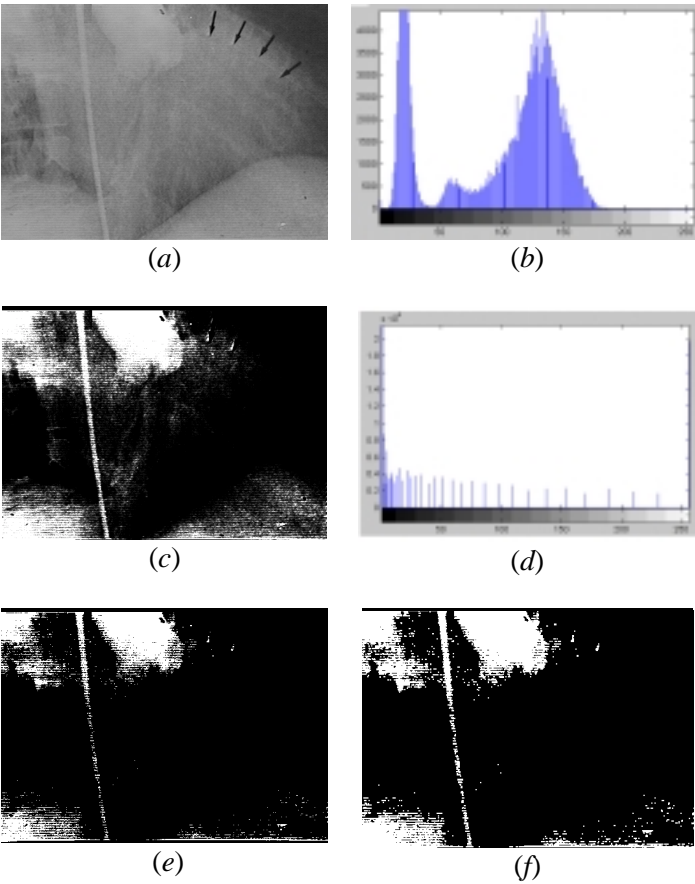
Éste es un campo extraordinariamente amplio donde la mejor fuente de ejemplos y aplicaciones la constituye la revista *IEEE Trans. Medical Imaging*. A veces, en algunas otras revistas de medicina se incluyen diversas aplicaciones basadas en imágenes médicas. Lester y Arridge (1999) presentan una revisión de métodos relativos a lo que en inglés se denomina *Image Registration* y que en definitiva se trata de definir una estrategia para encontrar la correspondencia entre un modelo y un objeto, siendo necesario definir las características o estructuras, el espacio de búsqueda y la métrica para determinar el grado de semejanza. El propio trabajo contiene abundantes referencias bibliográficas en las que se incluyen algunos ejemplos de interés en el campo de las imágenes médicas. Además Duncan y Ayache (2000) hacen una revisión sobre el progreso en los últimos 20 años del análisis de imágenes médicas así como los cambios en el futuro. Desarrollan un exhaustivo trabajo al respecto, que incluye 139 referencias de interés. En IPMI'99 (1999) se encuentran en exclusiva abundantes trabajos aplicados al campo de la medicina.

Veamos algunos ejemplos de aplicaciones de procesamiento básico. Consideremos la imagen dada en la figura 3(a) que corresponde a una radiografía con una imagen de muy baja calidad, se pretende extraer información sobre las manchas blancas que aparecen en la misma. En (b) se muestra su histograma de frecuencias. Se modifica el histograma mediante aumento del contraste y gamma con lo que se obtiene la imagen dada en (c) y su histograma correspondiente en (d), aquí las manchas aparecen explícitamente, sin embargo todavía se puede extraer más información. Utilizando una técnica de binarización mediante selección de umbral se obtiene (e) que posteriormente se dilata mediante la correspondiente operación morfológica para rellenar huecos y hacer más explícitas las manchas, obteniendo (f). Posteriormente, de esta imagen se extraen las manchas (objetos) subyacentes, que son etiquetados. Según el número de etiqueta así es su color en S.33(a), con esta información podemos obtener el área de las diferentes regiones etiquetadas (coloreadas).

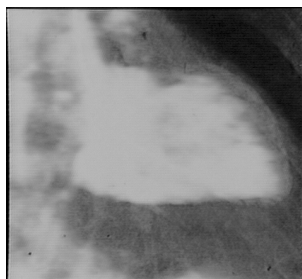
En la figura S.33(b) se muestra una ecografía con una gráfica en su parte inferior. La segmentación de dicha gráfica por extracción de la componente de color verde mediante las técnicas de extracción de regiones por el color descrita en el Capítulo 7, permite su tratamiento (medida de los picos, anchura entre picos, etc.). En la parte inferior de dicha figura aparece la gráfica binarizada.

En la figura S.34 (a) se proporciona una imagen original, en (b) y (c) las componentes dominante de color rojo y verde respectivamente para su análisis. Así, resulta fácil determinar la superficie de rojo o verde y dónde se localizan.

La técnica del pseudocolor puede utilizarse también para clarificar o visualizar mejor una imagen. En la figura 4, aparece una imagen original y la misma imagen coloreada en S.6(a) y (c) con sus respectivos mapas de colores en (b) y (d) utilizando la técnica del pseudocolor expuesta en el Capítulo 5.



*Figura 3 (a) Radiografía original; (b) histograma de la imagen original; (c) nueva imagen mediante modificación de histograma (aumento de contraste y gamma); (d) histograma correspondiente a (c); (e) imagen binarizada a partir de (c); (f) imagen dilatada a partir de (e)*



*Figura 4 Imagen de grises, cuyo coloreado se muestra en S.6 así como sus respectivos mapas de colores.*

Hemos considerado algunos ejemplos elementales para el tratamiento de imágenes médicas, si bien, resulta abundante la literatura en este campo, entre múltiples y diversas aplicaciones podemos mencionar las siguientes:

El zoom permite ampliar detalles de la imagen que en una primera vista aparecen confusos

Mediante sustracción de imágenes se puede detectar el movimiento de un objeto, o la variación de volumen por ejemplo en los movimientos de sístole y diástole del corazón.

Mediante reducción de la escala de grises o binarización se puede eliminar de la imagen los niveles de gris que no interesen y dejar sólo aquellas partes de interés, por ejemplo el resaltado de dientes en una radiografía (Umbaugh 1998).

Mediante sustracción se puede determinar la evolución de un tinte que se inyecta en las venas tomando como referencia la imagen antes de la inyección (González y Woods 1993)

Coloreado de regiones de interés en una radiografía mediante técnicas de pseudocolor (Umbaugh 1998).

Obtención del entramado de vasos capilares, o nervios en un determinado tejido mediante la extracción de bordes (González y Woods 1993).

Detección de lesiones vasculares a partir de angiogramas renales (extensible a otros órganos) (Jaulent y col. 1997 y Jendrysik 1997).

Diferenciar tejidos sanos de tejidos cancerígenos o infectados por el color (Umbaugh 1998).

Detección de cánceres de piel mediante técnicas de color y extracción de bordes (Xu y col. 1999).

Medida del grosor de venas y arterias (Wick y col. 1993, Chen y col. 1987, Schmid-Choenbein y col. 1977).

Detección de puntos de interés en una radiografía como precursores de la presencia de un tumor (Low 1991) o como puntos de referencia en ciertos órganos como el cerebro en Rohr (1999).

Identificación de un nódulo sospechoso en una mamografía por diferencia de contraste y textura en Trucco y Verri (1998).

En neurología para determinar el estado de enfermedad y el grado de deformación de la materia gris del cerebro en enfermos epilépticos mediante el uso de contornos deformables (Schnabel y Arridge 1999, Gee 1999).

Detección de costillas en radiografías mediante la transformada de Hough (Wechsler 1977).

Detección de microcalcificaciones en mamografías mediante redes neuronales (Tsujii y col. 1999).

Reconstrucción de arterias coronarias utilizando imágenes de angiogramas (Windyga y col. 1998).

La diferencia de imágenes ha sido utilizada en la substracción de angiogramas para estimar el movimiento de una vena o vaso capilar (Rong y col. 89, Abdel-Malek y col. 90).

Movimiento de las paredes cardíacas a partir de imágenes de Resonancia Magnética de las que se extraen puntos de interés sobre los que se establecen las correspondencias, mediante correlación, entre las distintas imágenes de una secuencia de imágenes. Se determina el flujo óptico a través de dichas correspondencias (Fisher y col. 1991).

Otro método de análisis de movimiento para imágenes del corazón obtenidas mediante resonancia magnética se basa en la detección de bordes y la correspondencia de máscaras en las direcciones esperadas (Guttmann y Prince 1990).

Los modelos deformables se han aplicado también al análisis del movimiento 3D en imágenes de resonancia magnética del corazón (Young y Axel 1992). En Kambhamettu y Goldgof (1992) la estima de correspondencia de puntos en una superficie no rígida (órganos biológicos) se basa en cambios de la curvatura Gaussiana.

En Fernández-Rodríguez y col. (1993) se presenta un sistema de redes neuronales para el diagnóstico de carcinomas y neumonías en los pulmones mediante imágenes de radiografías del tórax.

Xin y col. (1996) presentan un método para establecer correspondencias de contornos extraídos de imágenes del corazón (ventrículos) y del cerebro, basado en el análisis de curvas deformables.

Las curvas deformables son también utilizadas en Knoll y col. (1999) para detectar contornos de la próstata y poder medir volúmenes de la misma.

Chen y col. (1999) detectan anomalías en el cerebro comparando las estructuras subyacentes con un cerebro de referencia contenido en una base de datos.

Procesamiento de imágenes de Resonancia Magnética del cerebro humano (Pien y col. 1997).

En Theodoridis y Koutroumbas (1999) se utilizan técnicas de reconocimiento de patrones para detectar cirrosis e infiltraciones de grasa en el hígado.

## **5 IDENTIFICACIÓN DE CONSTRUCCIONES, INFRAESTRUCTURAS Y OBJETOS EN ESCENAS DE EXTERIOR**

Mediante imágenes aéreas o de satélite se puede determinar la presencia de ciertas regiones a través de la segmentación de las mismas así como detectar la presencia de ciertas construcciones (edificios) o infraestructuras (carreteras, canales, puentes) a través de técnicas de extracción de bordes o contornos combinadas con la segmentación de regiones.

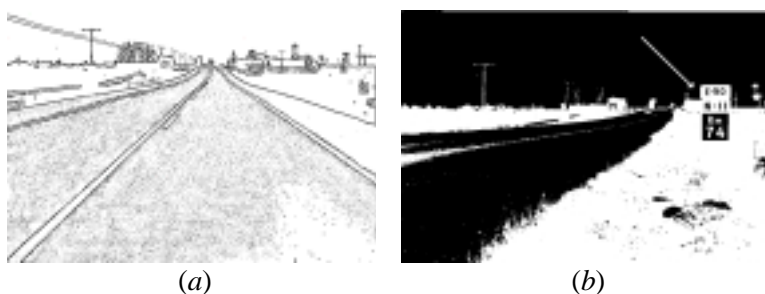
Un ejemplo puede ser la reconstrucción de tejados de casas urbanas (por su estructura geométrica mejor definida que los rurales) propuesto por Moons y col. (1998) por medio de relaciones topológicas y geométricas teniendo una base de datos de modelos a partir de los cuales se reconstruye el tejado que está siendo inspeccionado. Sobre la identificación y extracción de estructuras urbanas existen algunos trabajos en la literatura como por ejemplo Collins (1995), Fischer y col. (1998), Grün y col. (1995, 1997), Kim y Muller (1999), McGlone y Shuffelt (1994), Nevatia y col. (1997), Roux y Maître (1997).

Otro ejemplo lo podemos encontrar en Kass y col. (1987) donde se describe la detección de carreteras mediante el procedimiento de contornos deformables. También en Fischler y col. (1987) se presenta un método de detección de carreteras.

A modo de ejemplo, la transformada de Hough puede resultar de interés en determinadas aplicaciones en las que aparecen estructuras detectables por la misma, tal es el caso de la imagen de la figura S.35(a) en la que aparece una carretera con sus líneas blancas. En la figura 5(a) se ha obtenido una imagen de bordes mediante el

siguiente proceso: 1) conversión de la imagen a grises según la técnica descrita en el Capítulo 5; 2) obtención de una imagen binaria mediante umbral según el Capítulo 7 y 3) extracción de las líneas mediante la aplicación de las operaciones morfológicas de apertura y cierre y un posterior XOR. Finalmente, las ecuaciones de las líneas rectas se obtienen por la transformada de Hough, descrita en el Capítulo 8. Obsérvese la transformación de perspectiva, que ayuda a identificar la estructura como una carretera en los procesos de reconocimiento posteriores. Por otro lado, en la figura S.35(b) se muestra un panel indicativo del punto kilométrico y en la figura 5(b) la binarización de la imagen para la lectura de los caracteres de dicho punto, señalado por la flecha, mediante técnicas de reconocimiento de caracteres.

Mediante métodos similares al ejemplo anterior o técnicas de extracción de las componentes de color, de acuerdo a lo visto en el Capítulo 5, se puede deducir la presencia de diferentes parcelas sobre una determinada extensión de terreno. En este tipo de estructuras serían aplicables los operadores de texturas.



*Figura 5 (a) Imagen de bordes obtenidos a partir de la imagen de la figura S.35(a) para la extracción de las líneas mediante la transformada de Hough; (b) Imagen binaria obtenida a partir de la imagen de la figura S.35(b) para la identificación del punto kilométrico marcado por la flecha mediante técnicas de reconocimiento de caracteres*

Los trabajos de Lotufo y col. (1990), Guiducci (1999) y Paetzold y Franke (2000) se enmarcan también dentro de la línea de detección de carreteras y su reconstrucción 3D.

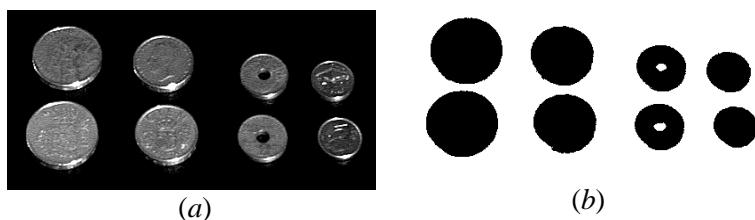
En Vailaya y col. (1998) se presenta un método para discernir entre imágenes urbanas y paisajes naturales, lo cual puede ser útil por ejemplo para extraer imágenes de bases de datos grandes o para los buscadores de Internet. Utilizan para ello histogramas de color, la Transformada Discreta del Coseno, histogramas que contienen direcciones de los bordes. El color, por cierto, es un extraordinario atributo para la discriminación en construcciones 3D (Henricsson 1998).

Battle y col. (2000) presentan una revisión de métodos y estrategias para extraer y reconocer objetos en escenas naturales mediante el color. Dichas estrategias comprenden diferentes enfoques: arriba-abajo, abajo-arriba e híbridos. Las 61 referencias citadas constituyen a su vez una buena fuente de documentación. El color junto con la textura y los contornos deformables se ha utilizado para localizar objetos en Zhong y Jain (2000).

## 6 RECONOCIMIENTO Y CLASIFICACIÓN

Una posible aplicación puede ser la clasificación de objetos por su tamaño y en su caso el recuento de los mismos, ver figura 6. Por ejemplo, para contar monedas en función del área de la moneda, perímetro o número de Euler tras el correspondiente proceso de binarización (Mil).

En Céspedes y col. (1998) se muestra una técnica para el reconocimiento de caras de personas mediante visión artificial utilizando perfiles de intensidad tal y como se describe más adelante. En Intrator y col. (1996) se utilizan redes neuronales con el mismo fin, y en Kwon y Lobo (1999) se clasifican las edades a partir de imágenes de caras. Feng y Yuen (1998) reconocen ojos en caras humanas. Purnell y col. (1998) reconocen caras de entre un grupo de personas.



*Figura 6 (a) Imagen original; (b) áreas de las monedas originales*

En JIVA (1991) se propone un procedimiento de lectura automática de datos del Documento Nacional de Identidad, así como reconocimiento de objetos basados en el color.

El reconocimiento de huellas dactilares también es posible mediante visión, así en Capelli y col. (1999) se utiliza un conjunto de máscaras para obtener un vector numérico representando cada huella digital como un vector de atributos multidimensional, luego mediante optimización se realiza la clasificación. Los trabajos de Caru y Jain (1996) y Kawagoe y Tojo (1984) también presentan métodos de reconocimiento de huellas dactilares.

IMAQ posee una aplicación para leer displays LCDs reconociendo obviamente los caracteres que aparecen a pesar de la variación de intensidad de la luz. Este mismo

paquete incluye la posibilidad de chequear la validez o no de una determinada etiqueta, en concreto en los disquetes de ordenador de alta densidad analiza la correcta grabación de los caracteres HD incluso aunque el disquete se muestre ligeramente girado con relación al modelo.

IMAQ también posee un módulo específico de reconocimiento óptico de caracteres así como otro módulo para leer la posición de la aguja en un multímetro analógico.

Quizás una de las áreas de aplicación más importantes sea el Reconocimiento Óptico de Caracteres (en inglés OCR). En Maravall (1993), JIVA (1991) o Lisa y col. (1993) se proporcionan los correspondientes ejemplos para la identificación de matrículas de vehículos, que en el caso de Lisa y col. (1993) incluyen técnicas de redes neuronales. En aplicaciones OCR es abundante la bibliografía existente al respecto, a continuación citaremos una serie de trabajos, que pueden resultar de interés en este campo: Li y Xu (1992) que utilizan un clasificador basado en técnicas de correlación y utilizan los 7 momentos invariantes de Hu (1962) como características, al igual que Flusser y Suk (1993) o Wong y col. (1995). Chim y col. (1999) utilizan los momentos de Hu (1962), los momentos invariantes afines de Flusser y Suk (1993, 1994) y los momentos de Tsirikolias y Mertzios (1993). Mahmoud (1994) que usa descriptores de Fourier y códigos del contorno de caracteres. En Lu y Shridhar (1996) se presenta una revisión de técnicas para el reconocimiento de caracteres manuscritos. Las técnicas de Learning Vector Quantization y Self-Organizing maps han sido utilizadas también en reconocimiento de caracteres manuscritos por Lee y Song (1994) y Chi y col. respectivamente. Waard (1995) propone un criterio de mínima distancia para el reconocimiento de caracteres manuscritos. Los trazos en los caracteres manuscritos son utilizados por Han y col. (1995) o Zou y Yan (1999) para su reconocimiento. Liang y col. (1994), mediante una nueva función de discriminación, reconocen caracteres de documentos impresos. Kovacs (1995) propone un método de reconocimiento estadístico para caracteres manuscritos. Rocha y Pavlidis (1994, 1995) y Nishida (1995) desarrollan un método de descripciones estructurales de caracteres. Kanai y col. (1995) obtienen primero los párrafos o secciones de textos (por ejemplo de los periódicos) antes de proceder al reconocimiento. Cai y Liu (1999) integran información estadística y estructural para el reconocimiento de números manuscritos.

Hussein y col. (1999) también reconocen caracteres manuscritos mediante técnicas estructurales y Kato y col. (1999) mediante la distancia de Mahalanobis.

Kim y col. (1996) utilizan sendas redes neuronales de Hopfield (discreta y continua) para el reconocimiento de objetos parcialmente ocluidos mediante sus bordes, de utilidad en la inspección de equipajes en aeropuertos o aplicaciones militares.

Del Bimbo y col. (1998) proporcionan un método para mejorar la búsqueda en bases de datos en imágenes basándose en las características cromáticas de las mismas, lo cual es útil para el manejo de bases de datos grandes.

Cantoni y col. (1997) o Reiss (1993) presentan diversas técnicas para reconocimiento de objetos.

## 7 INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

La inspección de un objeto manufacturado puede tomar muchas formas, que podría involucrar las siguientes tareas:

- a) verificar la presencia de cada característica esperada
- b) verificar las dimensiones de esas características (por ejemplo radio y longitud de un cilindro)
- c) verificar las interrelaciones entre características (por ejemplo distancias entre centros de gravedad y ángulos entre planos).

La inspección en el sentido más amplio se refiere a la verificación de si un objeto cumple con determinados criterios. Esto implica comparar el objeto con algún objeto modelo que describe las características relevantes del objeto. Para muchos tipos de datos existen tolerancias definidas dentro de las cuales las medidas realizadas pueden considerarse como aceptables. Abordaremos en primer lugar el problema de la inspección geométrica para posteriormente tratar otros tipos de inspección. Un tratamiento más exhaustivo de todos estos aspectos se pueden encontrar en Marshall y Martin (1992), Davies (1997), Demant y col. (1999) o Soloman (2000). Marshall y Martin (1992) constituye una buena referencia para procesos de inspección visual automatizada con abundantes detalles en cuanto a métodos y procedimientos, que en realidad son los expuestos a lo largo de este libro, si bien, desde una perspectiva detallada de análisis de errores y métodos muy específicos para aplicaciones muy concretas.

Una de las finalidades de los controles de calidad consiste en detener la producción de algún producto si el sistema de producción comienza a generar productos que no cumplen con las normas estándares generales. Imaginemos que para la fabricación de galletas se exige que las mismas tengan un tamaño con unos márgenes de confianza, mediante la segmentación de la misma se determina el área, pero si además es preciso que la forma sea circular, la transformada de Hough nos facilita el cumplimiento de dicho requisito.

## 7.1 La inspección geométrica

Ciertos procesos industriales de producción requieren que los productos manufacturados sean inspeccionados para asegurar que algunas medidas de calidad y fiabilidad se cumplen. El proceso de inspección, dependiendo de lo que se quiera inspeccionar puede ser complejo, por lo que en ocasiones será necesario reducir costos de tiempo y dinero (Batchelor y col. 1985).

Existen las denominadas *máquinas de medidas de coordenadas*, basadas en sensores táctiles que requieren una reprogramación para cada objeto, ambos problemas a veces hacen que estas máquinas no se puedan usar en la realidad (Reinshaw, 1991). En la actualidad existen sistemas de inspección basados en visión industrial para inspección en dos dimensiones tales como inspección de circuitos impresos por ejemplo Batchelor y col. (1985). Sin embargo, son pocos los que abordan la inspección de objetos tridimensionales. En cualquier caso las ventajas de un sistema de inspección visual son las siguientes: *Flexibilidad*, cualquier tipo de objetos puede ser inspeccionado al tratarse de un sistema pasivo y no interactuar con los objetos a inspeccionar; *Velocidad*, determinada por el procesamiento interno, sin necesidad de tener que colocar y tocar el objeto; *Registro automático de los datos*, etc. No obstante, algunas desventajas serían que las partes no visibles no se pueden inspeccionar y la resolución del sistema en cuanto al número de píxeles y calibración efectuada, que a veces puede impedir la inspección de determinadas anomalías o elementos de dimensión reducida.

Los requisitos que se le exigen a cualquier sistema de inspección basado en visión son los siguientes: *flexibilidad*, para poder inspeccionar cualquier tipo de objetos; *resolución*, debe ser capaz de proporcionar medidas que sean suficientemente precisas para poder establecer si los objetos inspeccionados están dentro de tolerancia; *resolución espacial*, para decidir si las características inspeccionadas están posicionadas y orientadas con la precisión adecuada con respecto a algún sistema de referencia; *fácil de usar*, para facilitar su versatilidad y fácil manipulación.

A partir del estudio previo realizado en los capítulos anteriores es evidente que muchas de las técnicas desarrolladas en ellos no satisfacen los anteriores requisitos. Por ejemplo, los métodos basados en la forma a partir de la tonalidad no son apropiados para inspección por las siguientes razones:

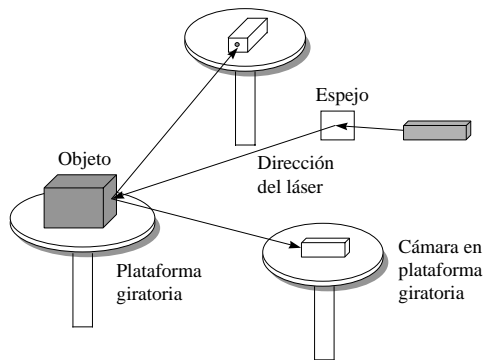
- a) son demasiado sensibles a los pequeños cambios de iluminación y a la reflectancia de las superficies
- b) sólo trabajan bien en superficies con textura uniforme
- c) es difícil deducir las profundidades absolutas de los puntos, y solamente la orientación de la superficie o curvatura se puede deducir.

d) la resolución de profundidad o tercera dimensión obtenida resulta generalmente insuficiente.

Las técnicas pasivas de visión estereoscópica requieren la determinación de la correspondencia de características bidimensionales en cada una de las dos imágenes. Esto necesita la extracción fiable de esas características a partir de dos imágenes bidimensionales separadas y luego establecer la correspondencia de las características entre imágenes, para finalmente deducir la tercera dimensión. Cuando las características son bordes o regiones el mapa 3D obtenido no es suficientemente denso.

Marshall y Martin (1992) proponen un sistema de visión estereoscópica activa como se ilustra en la figura 7. El sistema consta de un par de cámaras y un láser montadas sobre un banco para reducir las vibraciones junto con un espejo. Las cámaras están montadas en un sistema giratorio de rotación independiente. El espejo se mueve para que genere un barrido vertical del objeto y se proyecte su imagen en ambas cámaras además de barrer el objeto. El sistema completo es controlado por un computador que además tiene acceso a la base de datos donde se encuentran los modelos geométricos. El procedimiento establece las correspondencias de forma muy precisa y con ellas reconstruye el objeto 3D deseado para ser comparado con los modelos.

Al obtener los valores de profundidad se cometen ciertos errores que es preciso evaluar (Marshall y Martin 1992).

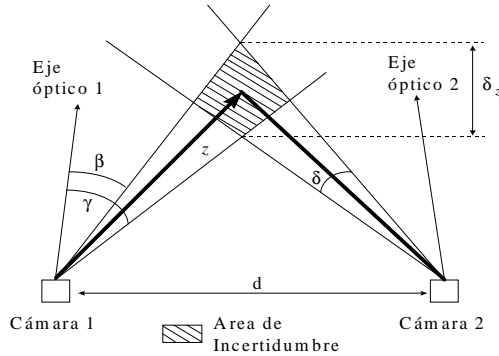


*Figura 7 Diagrama esquemático del sistema de visión para inspección*

En primer lugar, es necesario considerar los efectos de la cuantización espacial. La posición  $(x,y)$  de un punto tiene inexactitudes, que surgen del sistema óptico. Un valor de  $z$  en el mapa de profundidad que supuestamente corresponde a una posición  $(x,y)$  puede realmente corresponderse con una posición que realmente difiere en unas pocas décimas de píxeles de la posición correcta, por ejemplo 0.2 como se indica en Marshall y Martin (1992). A este resultado llegan a través de las diferencias observadas en los mapas de profundidad a partir de configuraciones del sistema idénticas. Este error depende de muchas cosas, incluyendo las propiedades de reflectancia de los objetos, las

propiedades ópticas de las lentes y cámaras y la resolución del CCD. También depende de la distancia del sistema de visión al objeto como se explicará seguidamente.

Aparece un *área de incertidumbre* en la localización precisa de los puntos, como se ilustra en la figura 8.



*Figura 8 Error en la medida de la profundidad de un punto utilizando visión estereoscópica*

Tanto la resolución de profundidad y angular pueden evaluarse fácilmente considerando los siguientes parámetros:

$\gamma$ : campo de vista de las cámaras en radianes

$n$ : número de puntos evaluables a través del campo de vista

$d$ : separación de las cámaras en metros

$\beta$ : ángulo entre el eje óptico y los puntos de la imagen en radianes

$z$ : profundidad en metros

$\delta$ : resolución angular de la cámara

$\delta_z$ : resolución de profundidad

La resolución angular puede expresarse como (Marshall y Martin 1992),

$$\delta = 0.5 \tan^{-1} \left( \frac{\tan \gamma}{n} \right)$$

mientras la resolución en profundidad se puede demostrar que es (Hutber 1987)

$$\delta_z = \frac{2z^2 \tan \delta}{d} \left( \tan^2 \beta + \frac{d}{z} \tan \beta + 1 \right)$$

por tanto, la incertidumbre en la medida de profundidad  $z$  es proporcional al valor de  $z$  al cuadrado, e inversamente proporcional a la separación de las cámaras.

A modo orientativo, con valores típicos el sistema de Marshall y Martin (1992) obtiene los siguientes resultados,

$\gamma$ : 0.08 radianes

$n$  :  $512 \times 5 = 2560$

$d$  : 0.3 m

$\beta$ : 0.0 radianes

$z$  : 0.7 m

$\delta$ :  $4.9 \times 10^{-5}$  radianes

$\delta_z$  : 0.052mm

## 7.2 Tolerancias en la inspección

En inspección visual geométrica resulta del máximo interés considerar el hecho de que los objetos geométricos a inspeccionar van a admitir una serie de valores de tolerancia en las correspondientes medidas de los elementos geométricos que los componen. Un estudio detallado con abundantes fuentes de referencia lo constituye el libro de Marshall y Martin (1992).

En JIVA (1991) se presentó un sistema de control dimensional de elementos alargados.

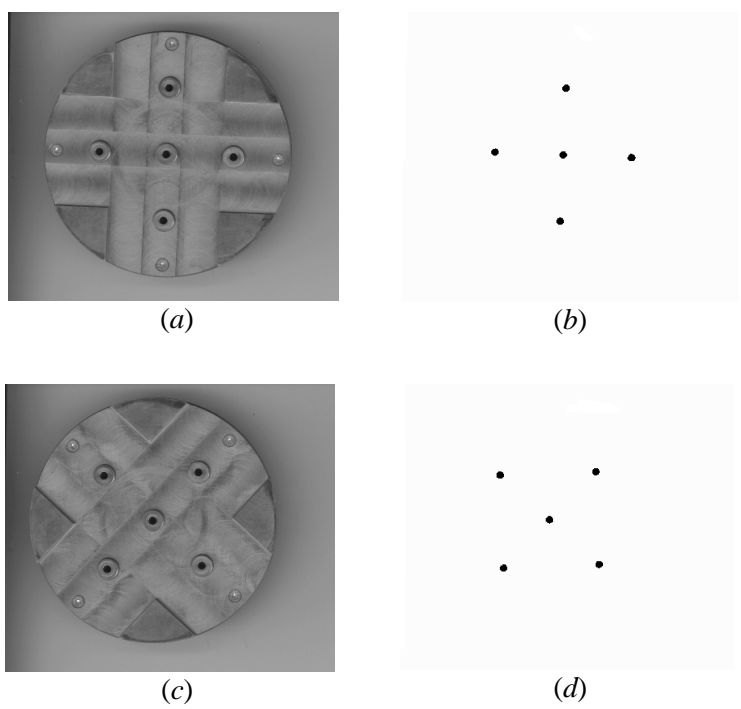
En IMAQ se muestra un ejemplo de inspección de acabado de conectores de fuentes de alimentación, donde debe aparecer un contorno de borde dentro de los límites de una circunferencia previamente especificada con la protuberancia del conector también dentro de los límites establecidos.

En la figura 9 *a*) y *(c)* se muestran dos imágenes de un conector de fibra óptica en diferentes posiciones giradas. El objetivo consiste en detectar la presencia de los cinco orificios de conexión y que se sitúen entre sí a las distancias especificadas. En la figura 9*(b)* y *(d)* se muestran las correspondientes imágenes binarizadas por el método del umbral descrito en el Capítulo 7, de dichas regiones se extraen las siguientes propiedades: área, compacidad y número de Euler para determinar la calidad de los orificios, así como la posición del centro de gravedad para establecer las medidas de distancias entre ellos. Con ello se pretende identificar y verificar la correcta fabricación de estos conectores independientemente de su posición, obviamente manteniendo la misma perspectiva y escalado, es decir la misma posición relativa de la cámara respecto del conector.

### 7.3 Acabado de superficies y detección de imperfecciones

En muchos casos resulta más fácil inspeccionar objetos utilizando un perfil o una serie de perfiles de las diferentes vistas del objeto. En este caso, los problemas de adquisición tridimensional son eliminados y las medidas se hacen con referencia a los datos bidimensionales.

Por ello hay que tener especial cuidado en que la posición de la cámara y las condiciones de iluminación sean idénticas con el fin de que las vistas del objeto inspeccionado sean las mismas en cada imagen. En cuanto a la posición de la cámara habrá que especificar por ejemplo que la línea de vista sea perpendicular al área de interés, o paralela o perpendicular a algún eje de simetría del objeto. La elección de las condiciones de iluminación es también determinante, ya que en caso contrario pueden aparecer efectos no deseados tales como sombras y reflejos. El libro de Batchelor y col. (1985) trata en profundidad estas cuestiones.



*Figura 9 (a) y (c) El mismo conector de fibra óptica en dos posiciones diferentes; (b) y (d) orificios de inserción de los hilos del cable extraídos mediante binarización*

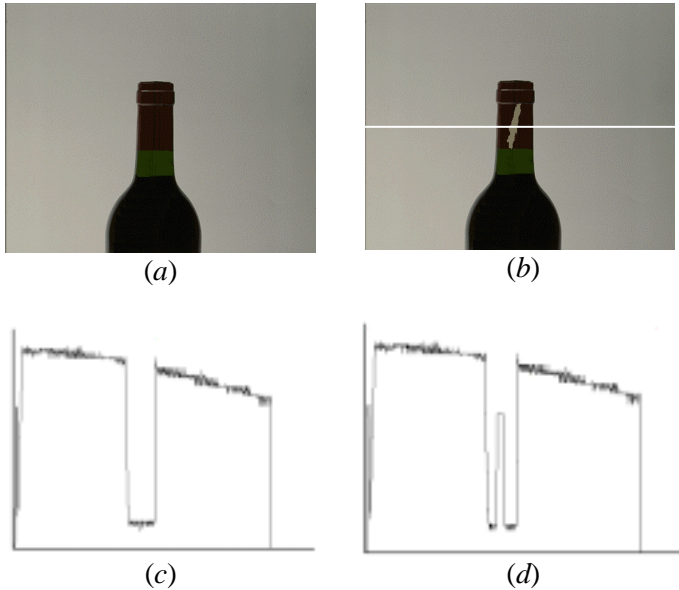
En cualquier caso, la inspección requiere comparar un modelo ideal con el que está siendo inspeccionado.

El acabado de una superficie puede determinarse mediante descripciones tales como: áspera, ondulada, granulada o rayada por ejemplo. Para llevar a cabo esta tarea es necesario conocer la fuente de luz que se utiliza para iluminar la superficie de forma que la cámara reciba la luz reflejada de la superficie. Muchas técnicas se han aplicado para la inspección del acabado de superficies usando métodos similares a los discutidos para la obtención de la forma, por ejemplo Mundy (1982).

Muchas propiedades del acabado de superficies están relacionadas con la textura de las superficies, que se estudió en el Capítulo 9. Weszka y Rosendfeld (1976) han identificado un cierto número de propiedades de texturas relacionadas con el acabado de las superficies. Don y col. (1984) clasifican las superficies de los metales en seis categorías diferentes utilizando textura.

No obstante, es difícil medir el acabado de superficies visualmente debido a las pequeñas dimensiones de las características de las superficies que afectan a su acabado. Generalmente, esta tarea requiere la ayuda de instrumentos de alta precisión tales como aquellos que obtienen el perfil mediante un sistema de agujas recorriendo las superficies en líneas (a veces presionan a la superficie y pueden alterar sus propiedades). Una alternativa consiste en usar un microscopio de sección de luz.

En lugar de tratar de medir el acabado de las superficies, resulta más común en sistemas de inspección visual detectar defectos de las superficies. Esta tarea es mucho más fácil y está basada en la detección de algún cambio significativo en las características de la superficie. Para desarrollar esta tarea se han propuesto muchos sistemas (Batchelor y col. 1985, Brook, 1971, Jain y Jain 1990, Mundy, 1982). Estos sistemas a menudo obtienen ciertas medidas a partir de una secuencia de píxeles a lo largo de la superficie y determinan un cambio o desviación en la secuencia. A modo de ejemplo durante el precintado de las botellas de vino se producen ciertas anomalías en el precinto, si se dispone de un modelo como es el caso de la figura 10(a), podemos comparar el correcto precintado con cualquier anomalía presentada en esta fase, ver figura 10(b). El procedimiento consiste en comparar sendos perfiles de intensidad horizontal del modelo y de la imagen con la superficie supuestamente deteriorada. Previamente para facilitar el proceso se puede convertir la imagen de color a imagen de grises. En (c) se muestra el perfil de intensidad correspondiente a la misma línea que aparece en (b) pero relativa a la imagen (a). En (d) aparece el perfil de la imagen con la superficie deteriorada. Ambos perfiles son diferentes debido a la anomalía.



*Figura 10 (a) Imagen original modelo; (b) imagen deteriorada; (c) perfil de intensidad de (a) a lo largo de la línea horizontal a la misma altura que en (b); (d) perfil de intensidad a lo largo de la línea horizontal marcada en (b). Obsérvese la diferencia del perfil en la zona deteriorada de (b) con respecto al modelo*

## 7.4 Inspección en tarjetas de circuitos impresos

Existen muchos aspectos diferentes en el proceso de fabricación de circuitos impresos que requieren inspección. Por ejemplo, es necesario:

- a) verificar que los componentes han sido colocados en sus lugares correctos
- b) chequear las pistas para verificar cualquier ruptura
- c) componentes inclinados sobre la tarjeta
- d) chequear soldaduras incorrectas

Las técnicas expuestas en la sección anterior para la detección de anomalías en superficies son aplicables para resolver los dos primeros problemas. En cualquier caso, tanto la verificación de componentes como la detección de elementos inclinados supone una comparación entre un modelo y la tarjeta inspeccionada. Más detalles de las tareas implicadas en estos procesos se pueden encontrar en Chin y Harlow (1982), Kaufmann y col. (1984), Capson y Eng (1988), Batchelor y col. (1985) o Bretsch (1981).

En la figura 11(a) y (b) se muestran sendas imágenes de dos circuitos impresos diferentes mientras que en (c) y (d) aparecen los perfiles de intensidad correspondientes a sendas líneas verticales. Obsérvese la diferencia en los perfiles obtenidos, lo que nos permite deducir claramente que las dos tarjetas son diferentes (en lo que se refiere a dicho perfil). Una exploración más exhaustiva nos llevaría a la misma conclusión para diferentes líneas de exploración. Para deducir su semejanza deberíamos obtener perfiles de intensidad similares. Esta técnica también nos proporciona la posibilidad de determinar si todos los componentes han sido instalados, sin más que conocer el perfil o perfiles correspondientes a una instalación apropiada. Como técnica adicional, se puede obtener la diferencia entre ambas imágenes, de forma que si ambas tarjetas son iguales la imagen de diferencias sería nula (imagen negra) cosa que no ocurre en el ejemplo, como se puede apreciar en la figura 11(e).

Es absolutamente imprescindible que las condiciones de iluminación y posicionamiento sean idénticas en la captura de las imágenes. También puede, en ocasiones, ser necesario tomar algún punto de referencia fácilmente reconocible a partir del cual obtener el perfil correspondiente.

El chequeo para la detección de rupturas en circuitos impresos se realiza antes de la inserción de los componentes, pero los chequeos para la detección de cortocircuitos o circuitos abiertos debidos a soldaduras incorrectas debe chequearse después de colocar y soldar los componentes. No obstante, los procesos básicos para detectar dichos defectos son similares. De nuevo, las técnicas están basadas en la sustracción de una imagen ideal y la imagen bajo inspección. Claramente, las imágenes deben ser previamente alineadas y las condiciones de iluminación y posición de la cámara consideradas, como ya se ha mencionado anteriormente. Esto puede lograrse estableciendo la correspondencia entre características de ambas imágenes, mediante las técnicas de correlación estudiadas en el Capítulo 17. Alternativamente, la tarjeta se puede colocar en cualquier dispositivo que permita su alineamiento. Algunos métodos que emplean estas técnicas pueden encontrarse en Chin y Harlow (1982) o Bretschgi (1981).

La inspección de soldaduras en circuitos impresos presenta un conjunto de problemas no relacionados con los descritos anteriormente. Muchos investigadores han tratado este problema (Besl y col., 1985, Chin y Harlow, 1982, McIntosh 1984, Nakagawa 1982, Seah y Lea 1985, Kim y col. 1999). A veces, debido a la invisibilidad, es necesario recurrir a rayos-X para hacer visible la soldadura, tal es el caso de Seah y Lea (1985).

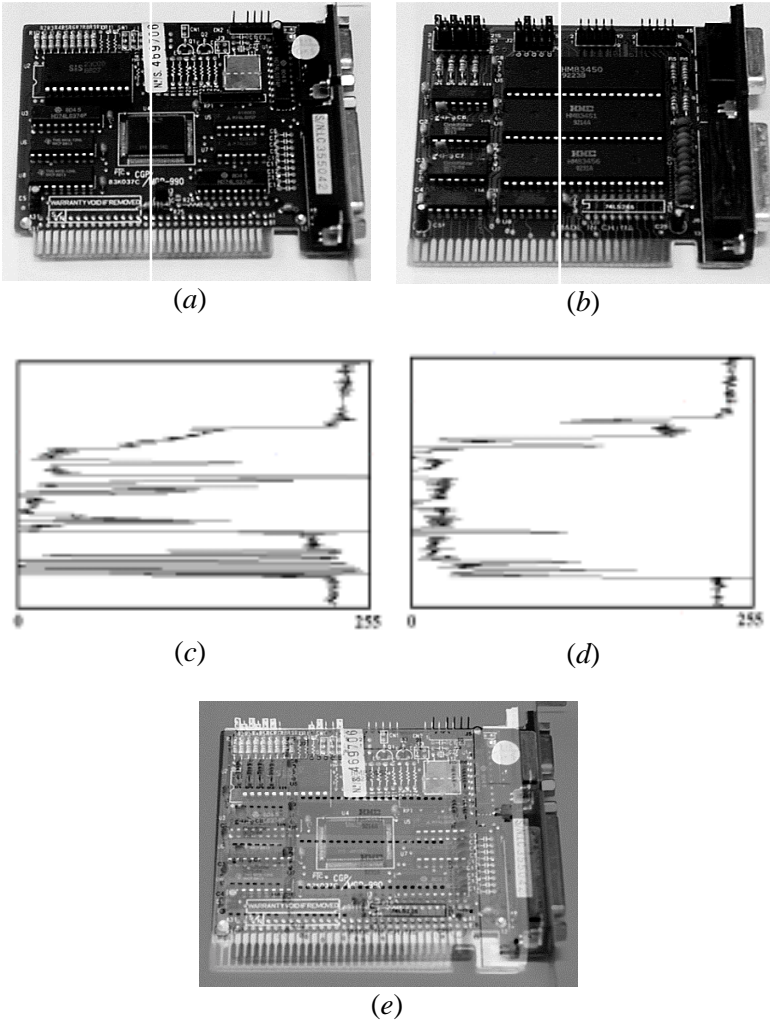


Figura 11 (a) y (b) Imágenes originales; (c) y (d) perfiles correspondientes a las líneas verticales marcadas; (e) diferencia entre las dos imágenes originales

Nakagawa (1982) utiliza luz estructurada proyectando un haz de luz sobre la soldadura y midiendo su perfil. No obstante, la luz reflejada de ciertos tipos de soldadura puede originar problemas en la obtención de imágenes claras. McIntosh (1984) sugirió el uso de luz coloreada aunque a veces la percepción de los colores para diferentes imágenes puede ser diferente. Capson y Eng (1988) utilizaron luz coloreada por capas, en realidad dos anillos de luz fluorescente de forma que sus centros caen en el mismo eje, uno que emite luz roja y el otro azul.

Es posible tener como referencia un determinado modelo para luego detectar mediante correlación la presencia del mismo en un conjunto más amplio, por ejemplo en relación con la imagen de la figura 11(a) podemos tener almacenado el patrón dado en 12, que nos permitirá detectar si dicho componente se ha instalado o no en la tarjeta (Mil, IMAQ).



*Figura 12 Modelo de componente electrónico*

Cootes y col. (1995) proponen un modelo deformable para analizar la presencia de resistores en tarjetas electrónicas, aunque los contornos de los mismos tras su extracción se presenten deformados.

## **7.5 Inspección en las industrias de alimentación y agricultura**

Son dos áreas en las que se pueden aplicar técnicas de inspección visual, pero la naturaleza no determinista de sus productos hace que esta técnica sea difícil.

El manejo de ciertos productos comestibles exige que los mismos necesiten un proceso de inspección ya que pueden dañarse o contaminarse. Se pueden mencionar algunas aplicaciones en este campo, como por ejemplo: calidad del algodón, calidad de las frutas, inspección de árboles, crecimiento de plantas, etc.

Como puede observarse, el rango de productos es inmenso, no obstante la fuente de problemas puede dividirse en dos categorías:

- a) defectos de producción y
- b) impurezas no deseadas

Los defectos de producción pueden provenir de muchas fuentes, incluyendo los equipos no fiables o defectuosos, mezcla errónea de ingredientes en los productos preparados, proceso de manufactura incorrecto tales como tiempo y temperatura de preparación incorrectos, empaquetado defectuoso. Los defectos de este tipo pueden deteriorar los productos finales, por ejemplo:

- a) una estructura deformada o dimensión incorrecta
- b) textura externa incorrecta

c) textura interna incorrecta (tales como burbujas)

d) color inapropiado

Un problema adicional consiste en cuantificar lo que realmente constituye un defecto particular. Por tanto habrá que proceder previamente a determinar lo que se puede considerar un defecto. Por ejemplo considerar una barra de pan, se pueden determinar dos criterios para pasar la inspección:

¿es satisfactoria la forma

¿ha sido cocida correctamente

Los dos criterios son subjetivos y dependerá de las preferencias del panadero. Las medidas de forma de la barra pueden determinarse por técnicas bi o tridimensionales. Se puede determinar el grado de cocción examinando el color de la corteza bajo condiciones de luz controladas.

Otro ejemplo puede ser la detección de fisuras o grietas en ciertos productos terminados, cuya detección se puede llevar a cabo como en el método expuesto en la figura 10.

La apariencia de los productos es también importante, en cuyo caso los métodos de textura pueden ser interesantes para su detección (Chan y col. 1990).

Otro ejemplo podría ser el control del nivel de tostado de galletas en hornos industriales, cuando las galletas salen del horno son segmentadas en regiones mediante un proceso de binarización y tras una serie de operaciones morfológicas se afinan los contornos de las regiones. Una vez extraídas las regiones se procede a analizar el nivel promedio de gris de las regiones, que es indicativo del tostado final (Fuente y col. 1998).

En IMAQ se muestra un ejemplo de detección del nivel de llenado de una botella de líquido teniendo como referencia un determinado nivel de referencia.

La detección de cuerpos extraños en los alimentos constituye otro de los campos de aplicación, ya que contribuyen a la credibilidad y buena imagen del producto. Batchelor y col. (1985) han presentado algunas técnicas de aplicación en este aspecto. Algunas manifestaciones de esto son: la presencia de huesos en filetes que deberían estar deshuesados, o espinas en el pescado que debería manifestarse limpio, insectos en las verduras, pelos del operario, etc. Algunas impurezas necesitan ser detectadas mediante Rayos-X (Chan y col. 1990). Las técnicas a utilizar son diversas y varían dependiendo de la naturaleza de la inspección, por ejemplo, técnicas de color, de nivel de gris, texturas, etc.

La calidad del producto final también puede cuantificarse mediante técnicas de inspección visual. Por ejemplo, el contenido y distribución de grasa intramuscular es un factor determinante de la calidad del jamón ibérico. Las medidas químicas clásicas determinan el contenido pero no la distribución, mediante visión se puede encontrar una relación entre ambas (Plaza y col. 1998, Durán y col. 1998). Esta tarea se lleva a cabo mediante técnicas de binarización, operaciones morfológicas y crecimiento de regiones.

En JIVA (1991) se proporciona una técnica de tratamiento de imágenes en color en la manipulación de carne.

Jiménez y col. (1999) presentan un sistema automático para el reconocimiento de frutas incluso en situaciones complicadas, tales como con la presencia de sombras, áreas brillantes, oclusiones, solapamientos. Se presenta además una revisión de técnicas en esta misma línea.

En Keller y col. (1990) encontramos un sistema para identificar filetes de vaca mediante técnicas de color y razonamiento aproximado.

## **7.6 Inspección en el envasado de productos**

En IMAQ se muestra un ejemplo para detectar si un determinado envase de cápsulas de farmacia ha sido correctamente rellenado con las cápsulas correctas identificadas por su color, tamaño y forma y además que todos los compartimentos poseen una cápsula. Por ejemplo, en S.36(a) se muestra un envase en el que falta una gragea en la parte inferior izquierda, lo cual se detectaría por la ausencia del color rojo y amarillo, que aparecen en las celdas correctas. Incluso podría detectarse la correcta colocación suponiendo que el rojo se situara siempre a la derecha del amarillo, si se asume esto, el envasado en este caso sería incorrecto. En la imagen de la figura S.36(b) todas las grageas están correctas, lo cual se puede determinar tanto por su color rojo como por su forma circular, lo que impediría que se introdujeran grageas o cuerpos ajenos y extraños en los correspondientes compartimentos. Si fuera necesario, se podría detectar fácilmente el tamaño de las grageas mediante la extracción de regiones coloreadas.

La lectura e interpretación del código de barras de los productos manufacturados. Aunque esto es una técnica muy utilizada en la industria mediante lectores ópticos, en IMAQ se muestra un módulo de lectura de código de barras mediante visión artificial.

## **7.7 Inspección en la industria textil**

Bahlmann y col. (1999) presentan un método para determinar la calidad de las costuras en las prendas utilizando un extractor de bordes y la transformada de Hough

mediante el uso de una red neuronal basada en el Self-Organizing Feature Map. El trabajo de Dorrity (1995) es precursor en esta línea.

Latif-Amet y col. (2000) utilizan texturas, en concreto las matrices de coocurrencia del nivel de gris para detectar defectos en tejidos.

## 7.8 Inspección bajo el agua

En Elnagar y Basu (1998) se propone un trabajo para la inspección de objetos bajo el agua, es el caso de cascos de buques, plataformas petrolíferas, etc. El método consiste en tomar una secuencia de imágenes para con ellas realizar una reconstrucción 3D a partir de la cual obtener la superficie del objeto para después ser analizada convenientemente.

## 7.9 Inspección de formas geométricas básicas

Mediante la transformada de Fourier es posible la detección de figuras elementales básicas: triángulos, rectángulos, etc. tal y como se describe en el Capítulo 2, ver figura 2.10, al margen obviamente de las técnicas basadas en la transformada de Hough.

Igualmente es posible inspeccionar formas circulares mediante el uso de histogramas radiales. Este concepto fue introducido por Davies (1997) y obtiene un histograma de intensidad como una función de la distancia radial del centro del objeto que está siendo inspeccionado.

## 8 CARTOGRAFÍA

Mediante el uso de imágenes estereoscópicas aéreas o de satélite es posible obtener las elevaciones del terreno con los procedimientos descritos en el Capítulo 17, fundamentalmente a través de técnicas de correspondencia basadas en el área.

Por otro lado, de cara a la elaboración de los catastros, particularmente en las zonas rurales, la utilización de imágenes aéreas permiten una fácil identificación de las diferentes parcelas y sus delimitaciones tras el correspondiente tratamiento de las imágenes mediante técnicas de extracción de bordes y regiones, así como sus descripciones tal y como se ha visto a lo largo de los capítulos 6 a 9. Si los sensores que captan las imágenes están perfectamente calibrados se puede llegar a determinar la superficie real de las parcelas basándose en el área de las imágenes medida en píxeles, simplemente aplicando la correspondiente función de transformación.

## 9 FOTOINTERPRETACIÓN

La fotointerpretación es la ciencia que trata del análisis de las imágenes por parte de un experto para extraer de ellas la información de interés o relevante, por ejemplo, ver las construcciones existentes en una determinada imagen de satélite o una imagen aérea. Cuanto mejor sea la calidad de la imagen mejor será el resultado del análisis. Por ello las imágenes pueden ser tratadas con todas las técnicas encaminadas a mejorar la calidad de la imagen y que se han expuesto a lo largo de este libro, por ejemplo realizado en el Capítulo 4 y restauración de imágenes (Capítulos 21 y 22). Además, puede ocurrir que se desee obtener una imagen en color por combinación de las bandas roja, verde y azul procedentes de un sensor multiespectral de satélite, en este caso se puede recurrir a las técnicas expuestas en el Capítulo 5.

El uso de las wavelets descritas en el Capítulo 2 resultan de interés para la fusión de imágenes de diferente resolución, en efecto, en Garguet-Duport y col. (1996) se describe un procedimiento de fusión que consiste en partir de dos imágenes, una de doble resolución espacial que la otra, y la de doble resolución se descompone en las cuatro subimágenes descritas en el Capítulo 2 mediante la TDW; a continuación se obtiene una nueva imagen mediante la transformada inversa de wavelets, pero sustituyendo la subimagen resultante del filtrado Paso Bajo/Paso Bajo por la original de menor resolución.

Para la fusión de imágenes en fotointerpretación se puede utilizar el procedimiento de componentes principales descrito en el Capítulo 2.

Además suele ser útil la detección de cambios en una zona en diferentes instantes de tiempo. Esta aplicación resulta de gran utilidad para la detección de zonas deforestadas, incendios, inundaciones, variación de la edificación, etc. Para ello se pueden utilizar por ejemplo imágenes aéreas o de satélite captadas en diferentes instantes de tiempo sobre las que se pueden aplicar diversas técnicas, entre las que citamos las siguientes (Jensen 1982): *a*) una simple diferencia de imágenes como se explicó en el Capítulo 12; *b*) cálculo del cociente entre los valores de los píxeles de dos imágenes de diferentes fechas; *c*) comparación de las clasificaciones obtenidas en las diferentes imágenes con las técnicas descritas en los capítulos 13, 14 y 15; *d*) comparación de texturas mediante las técnicas descritas en el Capítulo 9; *e*) mediante técnicas de análisis de componentes principales como se describe en el Capítulo 2 para determinar mediante el uso de autovalores y autovectores la diferencia entre imágenes de diferentes instantes de tiempo; *f*) análisis de cambio vectorial, se pueden medir dos variables (vector bidimensional) en los diferentes instantes de tiempo para detectar el ángulo y magnitud del cambio cuando esas variables se representan en un sistema de ejes cartesianos.