

APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA VISION POR COMPUTADOR



Gonzalo Pajares Martinsanz

Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática

Facultad de Informática/Físicas

Universidad Complutense de Madrid

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). 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 más general. 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 aquellos sistemas multisensoriales tal como los equipos de navegación en robótica donde la

visión constituye una capacidad sensorial más, para la percepción del entorno que rodea al robot.

En cualquier caso, el proceso que normalmente hay que seguir para llegar a una determinada aplicación se resume en el esquema de la figura 1, donde partiendo de la adquisición de las imágenes se llega a las aplicaciones de interés.

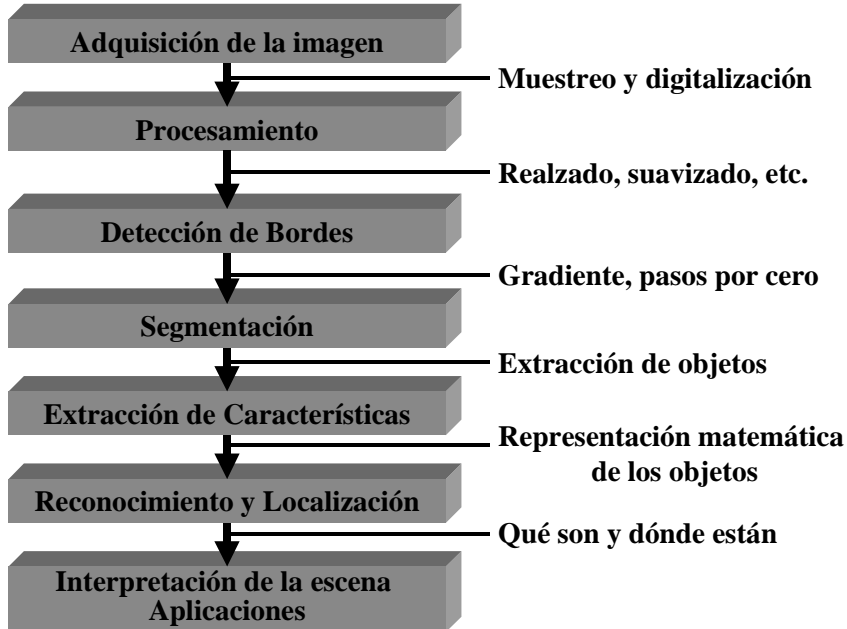


Figura 1 Esquema de procesamiento de imágenes hasta llegar a las aplicaciones

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

Conscientes de que no es posible mencionar todas las aplicaciones posibles, a lo largo de la presente exposición se realiza un recorrido por diversas aplicaciones, incluyendo cuando sea posible ciertas referencias bibliográficas por si el lector desea profundizar en ellas. En cualquier caso, el lector puede recurrir a Pajares y col. (2001, 2003) para obtener más información sobre lo expuesto aquí, especialmente en la primera referencia, donde se proporcionan todos los métodos descritos en este documento y utilizados en las diferentes aplicaciones. También en dicha referencia se incluye un tema específicamente dedicado a proporcionar una visión general sobre diversas aplicaciones de interés.

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.

En la figura 2 (a) y (b) se muestran sendas imágenes izquierda y derecha captadas mediante un sistema de visión estereoscópica. El objetivo es la obtención de un mapa de profundidad del entorno, tal y como aparece codificado por el color en (c).

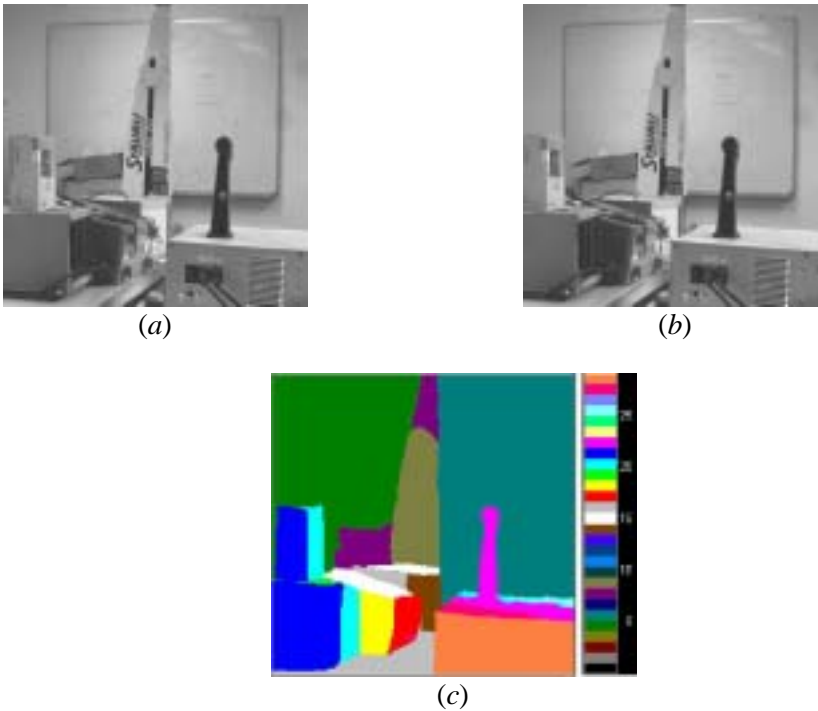


Figura 2 Imágenes estereoscópicas de laboratorio; (a) y (b) imágenes originales izquierda y derecha; (c) mapa de disparidades en función del color.

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).

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 por el color, tras lo cual se binariza y se obtiene el número de píxeles blancos o negros, que nos permite obtener el porcentaje de floración, tal y como se muestra en la figura 3.

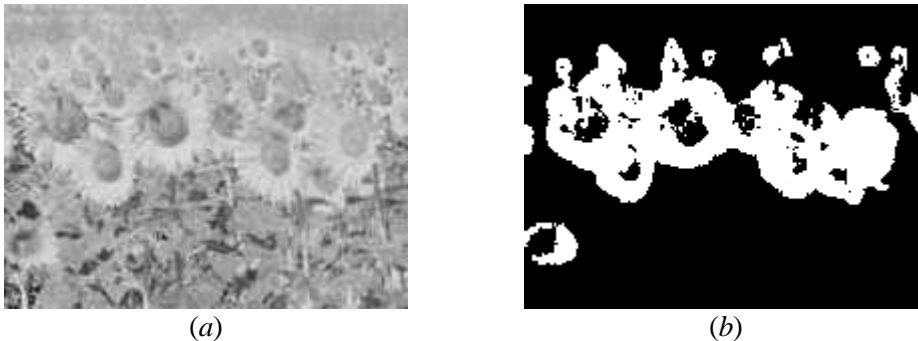


Figura 3 Grado de floración de un campo de cultivo de girasoles.

En Glasbey y Horgan (1995) se estudia el procesamiento de forma específica en imágenes biológicas.

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 4(a) 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 aparece en la figura 4(b) (IMAQ, Matlab).

En Meteorología podríamos utilizar las técnicas de detección y predicción del movimiento (Pajares y Cruz 2001) 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.

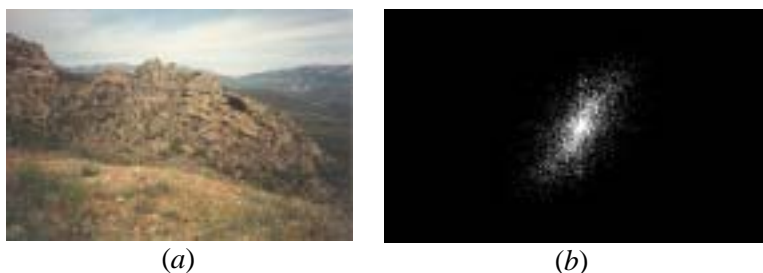


Figura 4 (a) Formación geológica estratificada; (b) su espectro de frecuencia

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 5(a) se muestra un campo cubierto por una intensa nevada y en (b) aparece la misma imagen binarizada que determina la zona cubierta.

La técnica anterior podría aplicarse en otras áreas tales como Medio Ambiente para identificar zonas degradadas, contaminadas o deforestadas.



Figura 5 (a) Paisaje nevado; (b) imagen binaria mostrando el grado de cobertura de la nevada.

4 MEDICINA

La comunidad médica utiliza muchas aplicaciones en las que aparece el procesamiento de imágenes, la mayoría de ellas 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 6(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 niveles de intensidad. Se modifica el histograma mediante aumento del contraste, 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 tonalidad de color (g), con esta información podemos obtener el área de las diferentes regiones etiquetadas (coloreadas).

En la figura 7 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 Pajares y Cruz (2001), permite su tratamiento (medida de los picos, anchura entre picos, etc.). En la parte inferior de dicha figura aparece la gráfica binarizada, que ya nos permite realizar medidas sobre ella.

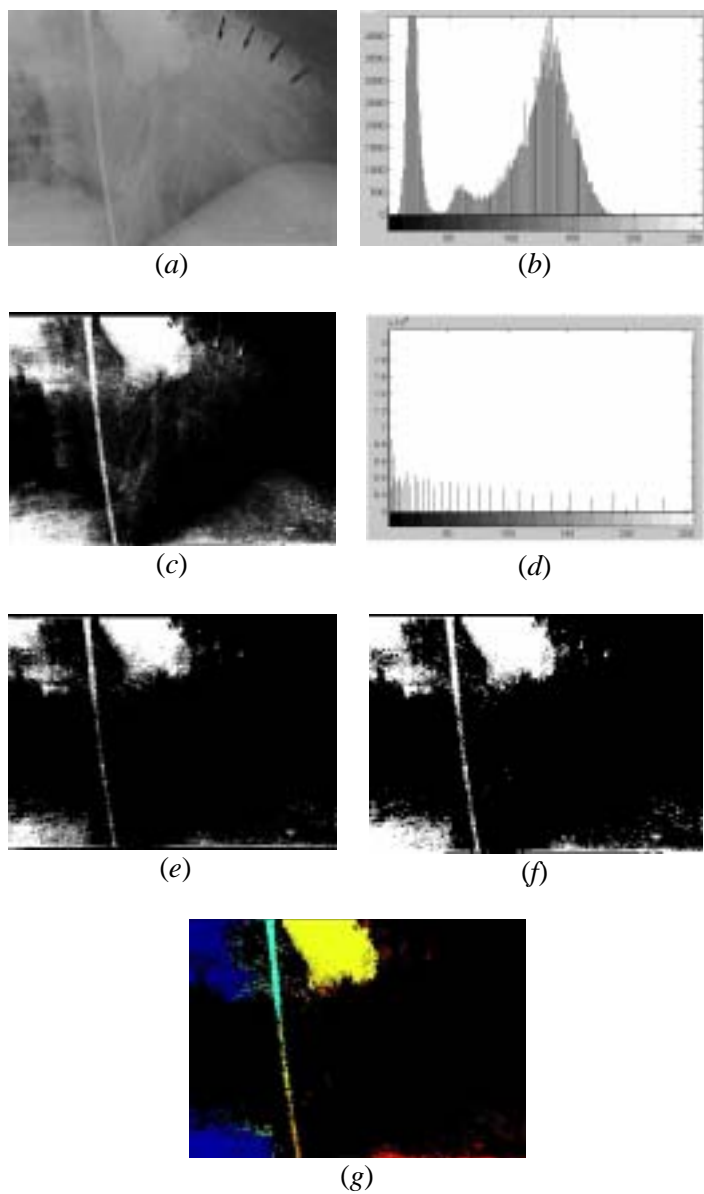


Figura 6 (a) Radiografía original; (b) histograma de la imagen original; (c) nueva imagen mediante modificación de histograma (aumento de contraste y gamma); (d) histograma correspondiente a (c); (e) imagen binarizada a partir de (c); (f) imagen dilatada a partir de (e); (g) regiones de la imagen (f) por su color.



Figura 7 Ecografía con gráfica de medidas.

En la figura 8(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.

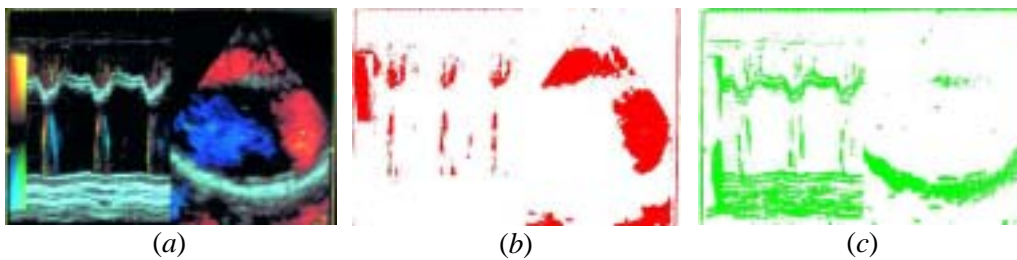


Figura 8 Extracción de información por el color.

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.

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.

Una aplicación que actualmente está dando muy buenos resultados es la fusión de imágenes. Concretamente, fusión de imágenes PET (*Positron Emisión Tomography*) con imágenes de Resonancia Magnética. Las primeras miden la emisión de radio isótopos en tejidos como consecuencia de una gran actividad del mismo, son por tanto imágenes funcionales de muy baja resolución, mientras que las segundas son imágenes anatómicas de alta resolución. La combinación de ambas proporciona una imagen que permite ver la actividad funcional perfectamente localizada. En la figura 9(a) y (b) se muestra una imagen PET del cerebro con una Resonancia Magnética, también del cerebro para obtener la imagen fusionada (c).

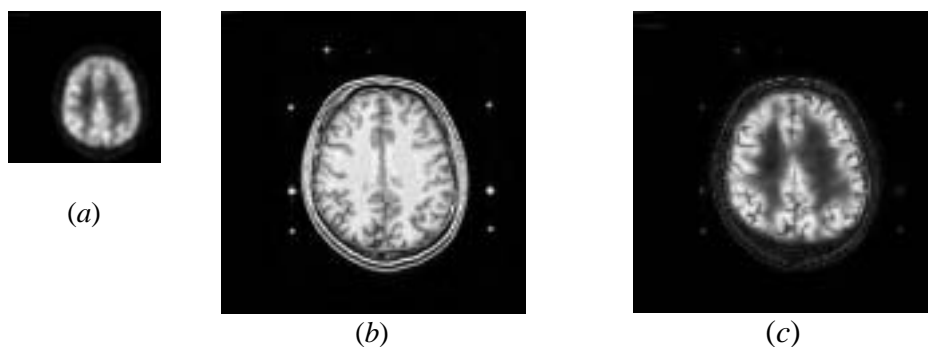


Figura 9 Fusión de imágenes PET con Resonancia Magnética.

En el Instituto de *Tecnología del Conocimiento de la Universidad Complutense* se han desarrollado diversas aplicaciones sobre Telemedicina, una disciplina en auge: <http://www.itc.ucm.es/>

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 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 identificación 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 10(a) en la que aparece una carretera con sus líneas

blancas. En la figura 10(b) se ha obtenido una imagen de bordes mediante el siguiente proceso: 1) conversión de la imagen a grises; 2) obtención de una imagen binaria mediante umbral 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. 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 10(c) se muestra un panel indicativo del punto kilométrico y en la figura 10(d) la binarización de la imagen para la lectura de los caracteres de dicho punto, señalado 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.

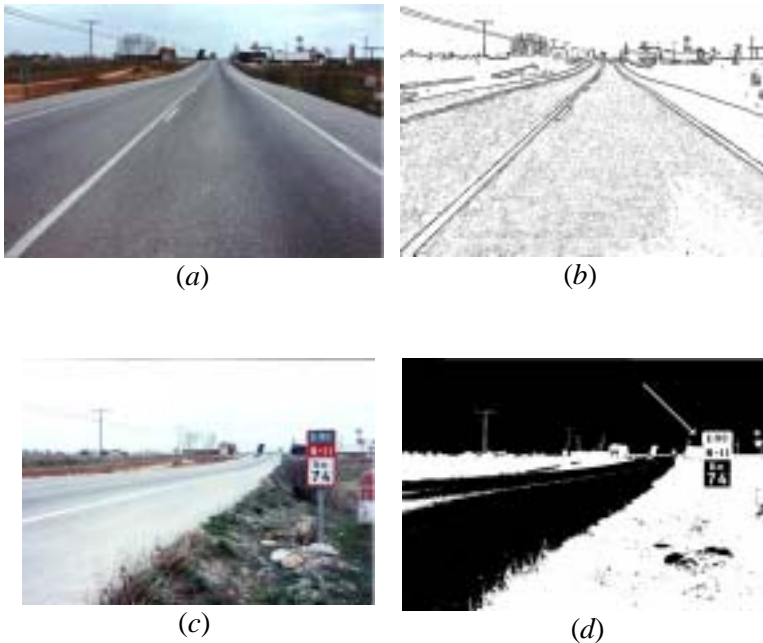


Figura 10 (a) y (b) Imagen de una carretera y los bordes de las líneas; (c) y (d) identificación del punto kilométrico mediante reconocimiento de caracteres.

En Vailaya y col. (1998) se presenta un método para discernir entre imágenes urbanas y paisajes naturales. 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. 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.

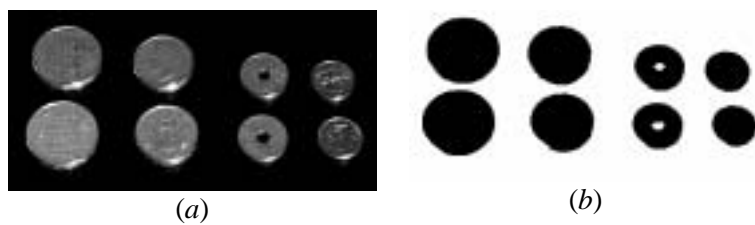


Figura 11 (a) Imagen original; (b) áreas de las monedas originales

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.

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 propiedades, 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. 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.

Como ejemplo de reconocimiento de caracteres, en la figura 12(a) se muestra un patrón concreto que luego se localiza mediante correlación en (b)



Figura 12 (a) patrón; (b) localización por correlación

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.

Un ejemplo interesante lo constituye el tema de reconocimiento de texturas. En la figura 13(a)-(k) aparecen una serie de patrones de textura identificando otras tantas clases, que sirven para la identificación de texturas naturales. En Pajares y Cruz (2002, 2001) esos patrones se han utilizado como muestras de entrenamiento para una red neuronal retro-propagación y un método de agrupamiento borroso. Algunos resultados obtenidos se muestran en las figuras 14 y 15.

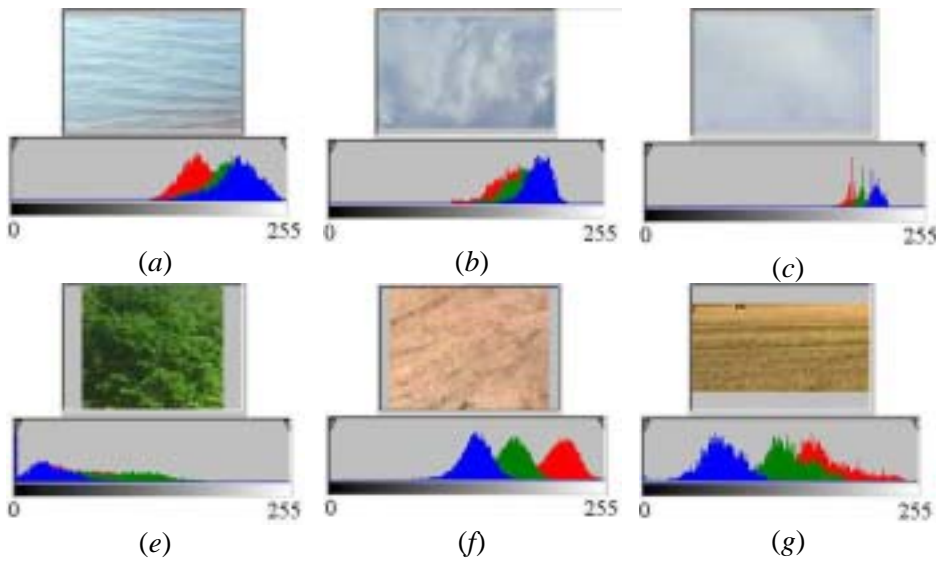


Figura 13 Seis clases de texturas

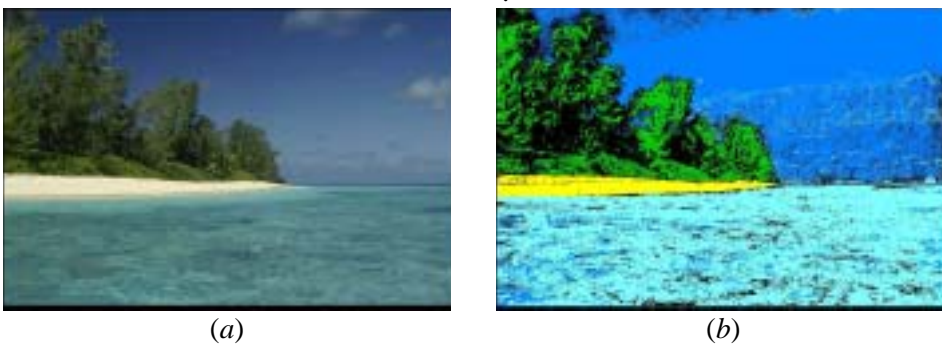


Figura 14 (a) y (b) Imágenes original y etiquetada con cuatro tipos de texturas

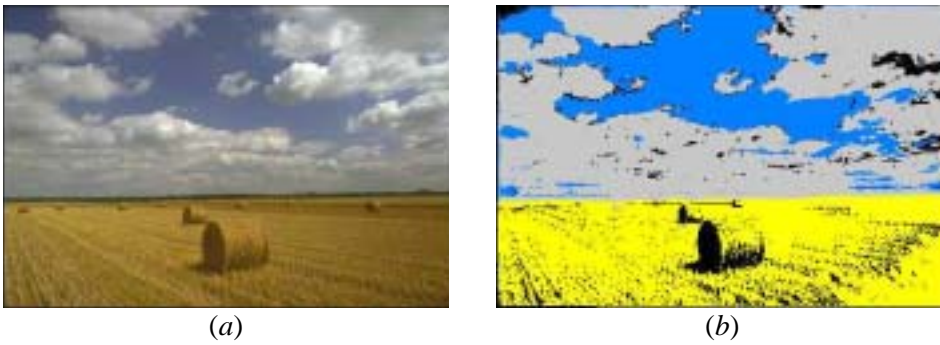


Figura 15 (a) y (b) Imágenes original y etiquetada con tres tipos de texturas

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.

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 tridimensional

Ciertos procesos industriales de producción requieren que los productos manufacturados sean inspeccionados para asegurar que algunas medidas de calidad y fiabilidad se cumplen.

Marshall y Martin (1992) proponen un sistema de visión estereoscópica activa como se ilustra en la figura 16. 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).

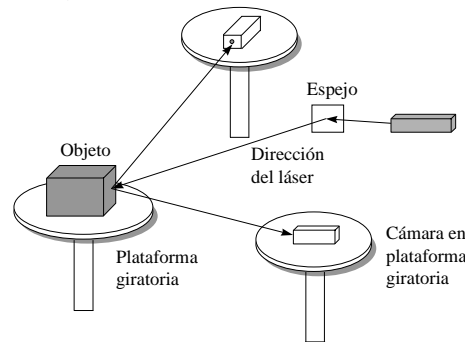


Figura 16 Diagrama esquemático del sistema de visión para inspección

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 17 (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 17(b) y (d) se muestran las correspondientes imágenes binarizadas de dichas regiones. De estas imágenes binarias se extraen el área, la compacidad y el 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.

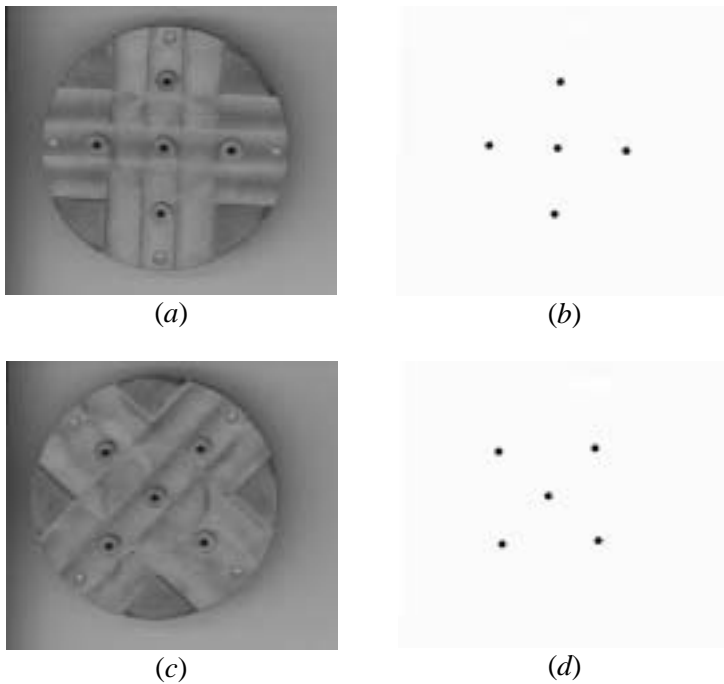


Figura 17 (a) y (c) El mismo conector de fibra óptica en dos posiciones diferentes; (b) y (d) orificios de inserción de los hilos del cable extraídos mediante binarización

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.

Una aplicación interesante es la detección de imperfecciones en el acabado de ciertas superficies basándose en la detección de algún cambio significativo en las características de dicha superficie. Para desarrollar esta tarea se han propuesto muchos sistemas (Batchelor y col. 1985, Brook, 1971, Jain y Jain 1990, Mundy, 1982).

Los sistemas anteriores 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 18(a), podemos comparar el correcto precintado con cualquier anomalía presentada en esta fase, ver figura 18(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.

En JIVA (1991) se proporciona un sistema de detección automática de defectos en barras de acero y en pantys.

En IMAQ aparece un ejemplo para detectar la ausencia de cables en un determinado tipo de conectores, dicho conector posee 4 cables de entrada, la ausencia de alguno de ellos es detectada por el hecho de estar los cables separados.

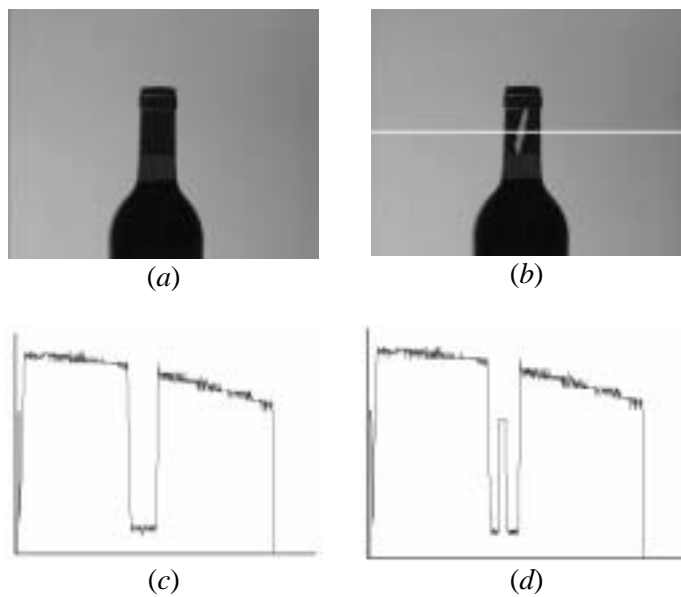


Figura 18(a) Imagen original modelo; (b) imagen deteriorada; (c) perfil de intensidad de (a) a lo largo de la línea horizontal a la misma altura que en (b); (d) perfil de intensidad a lo largo de la línea horizontal marcada en (b). Obsérvese la diferencia del perfil en la zona deteriorada de (b) con 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

En la figura 19(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 19(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.

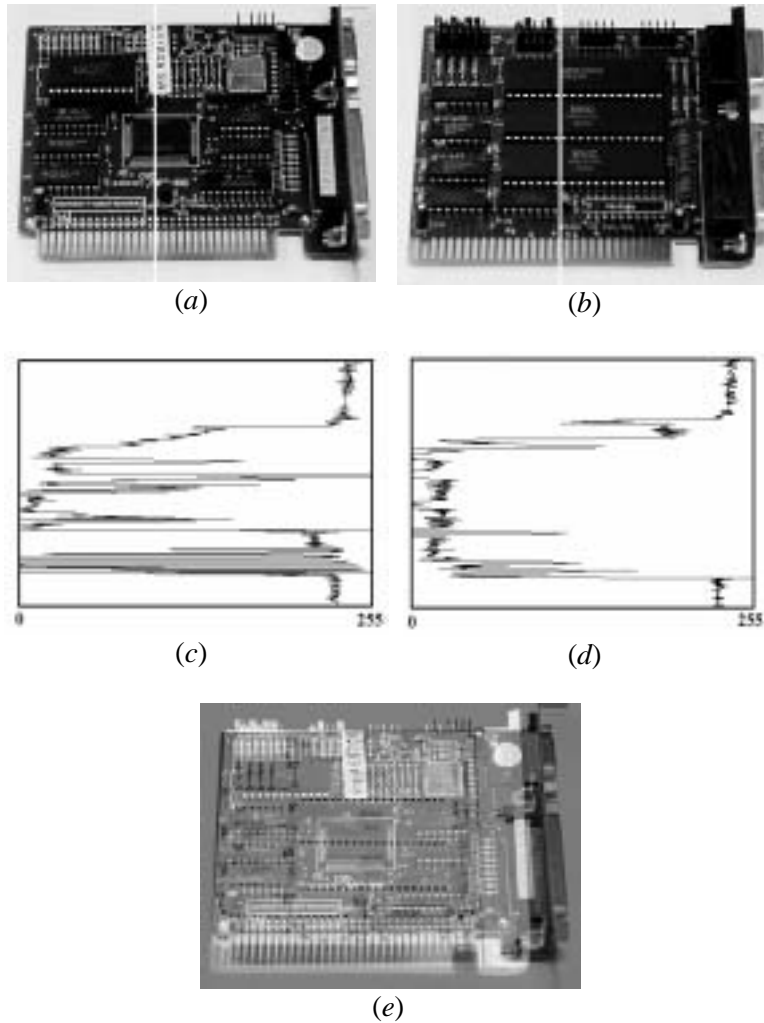


Figura 19 (a) y (b) Imágenes originales; (c) y (d) perfiles correspondientes a las líneas verticales marcadas; (e) diferencia entre las dos imágenes originales

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.

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).

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 19(a) podemos tener almacenado el patrón dado en la figura 20, que nos permitirá detectar si dicho componente se ha instalado o no en la tarjeta (Mil, IMAQ).



Figura 20 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
- b) impurezas no deseadas

Dependiendo de la naturaleza del problema así serán las técnicas a aplicar.

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 la figura 21(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 21(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.



(a)



(b)

Figura 21 (a) envasado defectuoso;(b) envasado correcto

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 formas geométricas elementales básicas: triángulos, cuadrados, rectángulos, etc., al margen obviamente de las técnicas basadas en la transformada de Hough, que también se pueden utilizar. En la figura 22 se muestra un ejemplo del espectro de frecuencia de la transformada de Fourier aplicada a un triángulo, en este caso en una determinada posición espacial. Si este triángulo se rota, por ejemplo, el espectro de frecuencia también aparece girado.



Figura 22 (a) figura geométrica básica; (b) su transformada de Fourier

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 DETECCIÓN DEL MOVIMIENTO

El fenómeno de la detección del movimiento en una secuencia de imágenes resulta ser una tarea interesante desde distintos puntos de vista. Uno de ellos es la vigilancia, otro puede ser el seguimiento de un objeto en movimiento mediante técnicas de obtención del flujo óptico.

En la figura 23 se muestran dos imágenes (a) y (b) entre las cuales se detecta un movimiento que se manifiesta en (c). Si estas imágenes procedieran de un sistema de vigilancia, la presencia de bordes en (c) indicaría la presencia de un intruso, de otro modo la imagen sería netamente blanca.

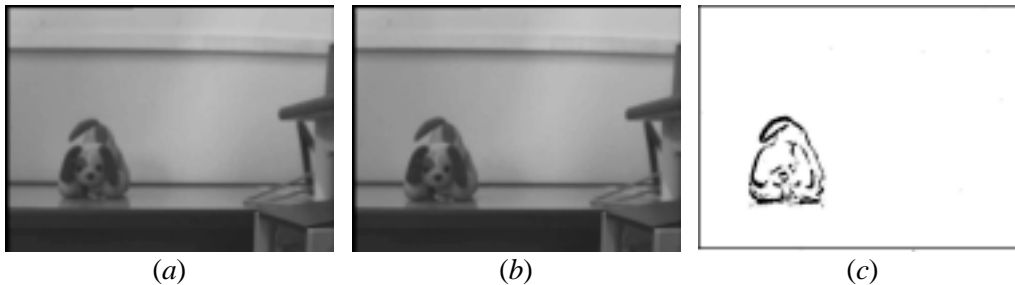


Figura 23 Detección del movimiento

9 CARTOGRAFÍA

Mediante el uso de imágenes estereoscópicas aéreas o de satélite es posible obtener las elevaciones del terreno, lo que técnicamente se denomina Modelo Digital del Terreno. Al igual que en el caso de la robótica, que se reconstruye la escena a 3D estableciendo correspondencias entre las imágenes izquierda y derecha del par estereoscópico y luego se utiliza la geometría del sistema, en este caso se procede del mismo modo y se utiliza también la geometría de del sensor (satélite o vuelo aéreo)

En la figura 24(a) y (b) se muestran sendas imágenes estereoscópicas izquierda y derecha de un paisaje lunar.

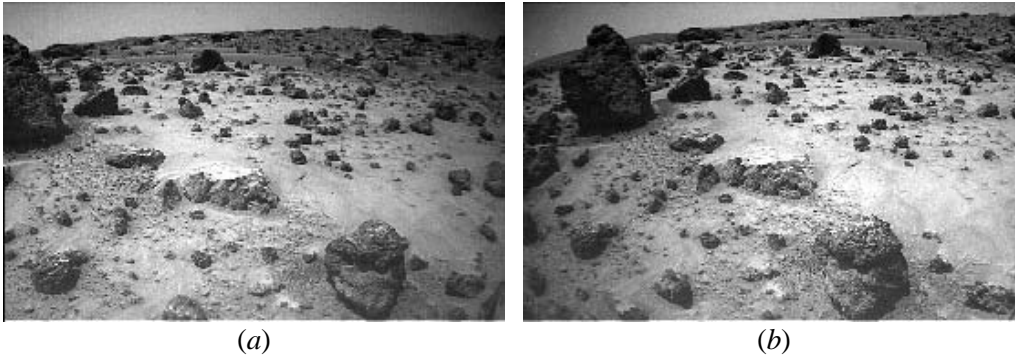
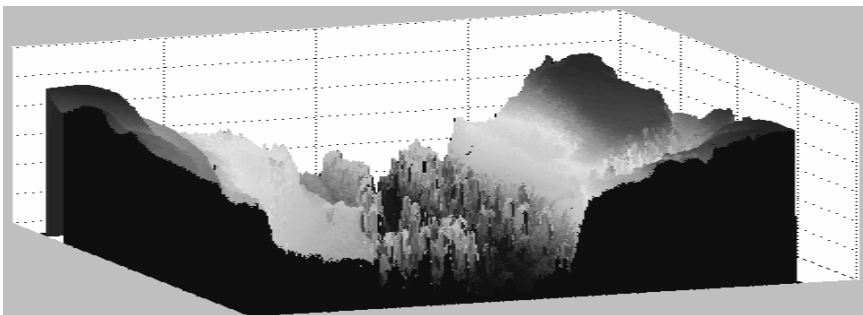


Figura 24 Imágenes estereoscópicas de un paisaje lunar

En las imágenes 25(a) y (b) se muestra un Modelo digital del Terreno en forma de imagen, aunque sus valores son alturas relativas con respecto a un geoide, y en (b) su representación 3D.



(a)



(b)

Figura 25(a) Modelo Digital del Terreno procedente de un par estereoscópico de imágenes de satélite; (b) su representación tridimensional

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. 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.

10 TELEDETECCIÓN

Es la ciencia que se ocupa, como su nombre indica, de la detección a distancia basada en imágenes de satélite y aéreas fundamentalmente. Esta detección es muy diversa, abarca desde la pura interpretación hasta un tratamiento más avanzado.

Desde el punto de vista de la mera interpretación, éstas imágenes son tratables mediante técnicas de filtrado, realzado, extracción de bordes, etc., es decir métodos aplicables a cualquier tipo de imágenes.

Sin embargo, existen tratamientos más avanzados, como es el caso de la fusión de imágenes. En Garguet-Duport y col. (1996), ver figura 26, se describe un método de fusión cuyo objetivo es la obtención de una imagen en color de alta resolución a partir de una imagen en color de baja resolución (*d*) dada por sus bandas espectrales visibles (*a*), (*b*) y (*c*) y una pancromática de alta resolución sin color (*e*).

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 y procedimientos (Jensen 1982):

- a*) diferencia de imágenes;
- 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;
- d*) comparación de texturas;
- e*) análisis de componentes principales;
- 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.

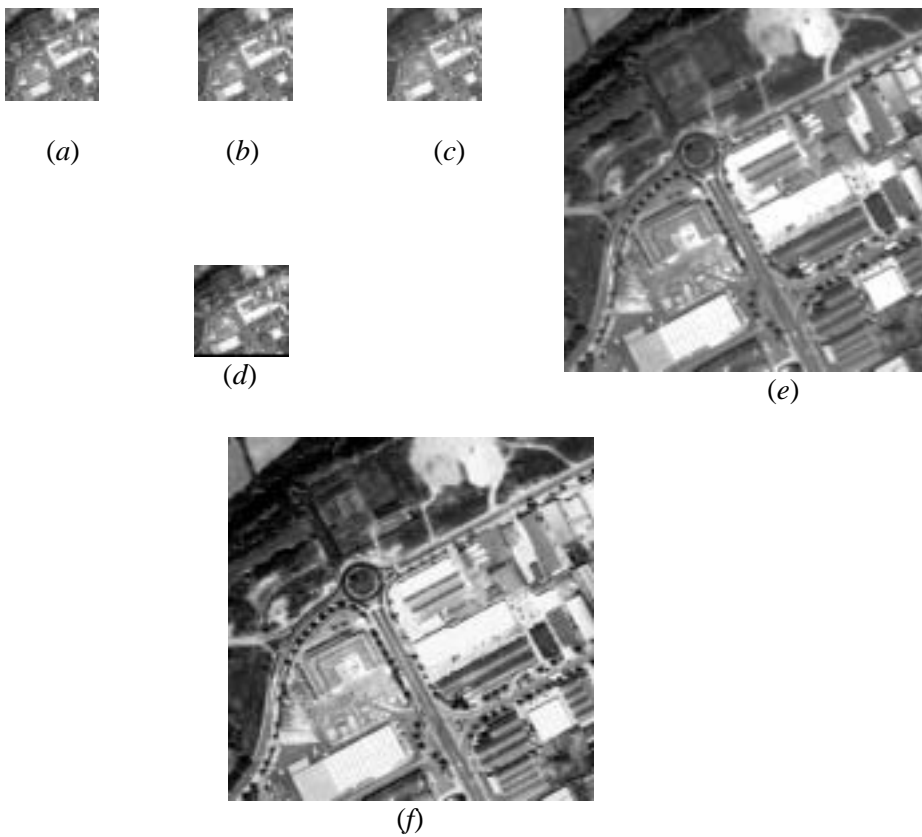


Figure 26 (a), (b) y (c) bandas espectrales a 4 m de resolución; (d) imagen en color de baja resolución obtenida por combinación de las bandas espectrales; (e) imagen pancromática de alta resolución sin color; (f) imagen en color de alta resolución.

En la detección de cambios, un problema importante que surge es la presencia de sombras, ya que las imágenes de satélite suelen estar captadas en diferentes épocas del año o en diferentes condiciones de iluminación, lo que origina distintas formas en las sombras. Por ello, en áreas urbanas es necesaria la identificación previa de dichas sombras, esto es lo que se hace por ejemplo en Pajares y col. (2002) donde se utiliza un procedimiento de clasificación basado en aprendizaje Bayesiano. Un ejemplo de sombras aparece en la figura 27.

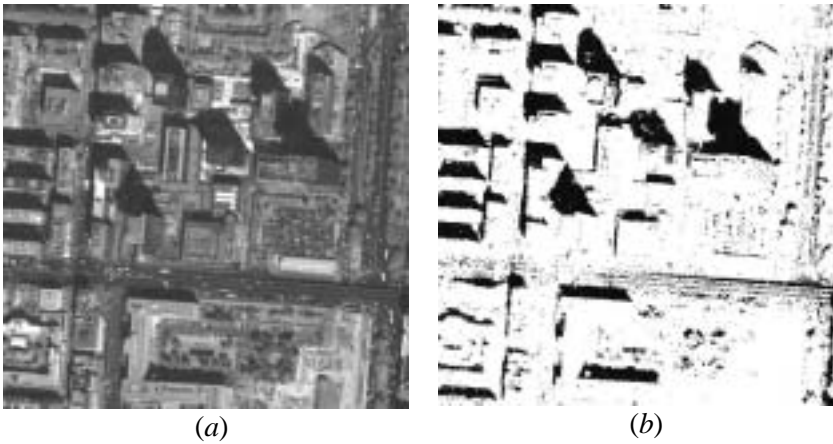


Figure 27 (a) imagen original; (b) identificación de sombras.

Finalmente, puede resultar interesante la visualización de ciertos fenómenos como es el caso del anochecer que se muestra en la imagen de la figura 28



Figura 28 Anochecer en medio mundo

11 BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Malek, A. Hasekioglu, O. and Bloomer, J. (1990). Image segmentation via motion vector estimates. In *Medical Imaging IV: Image Processing*, Newport Beach, CA, pp. 366-371, SPIE, Bellingham, WA.
- Amat, J. and Casal, A. (1989). Environment Recognition for Automatic Guidance of Agricultural Machines. In *Proc. First Workshop on Multi-sensor Fusion and Environment Modelling*.
- Bahlmann, C., Heidemann, G. and Ritter, H. (1999). Artificial neural networks for automated quality control textile seams. *Pattern Recognition*, 32, 1049-1060.
- Batchelor, B.G., Hill, D.A. and Hodgson, D.C. (1985) *Automated Visual Inspection*, North Holland, Amsterdam.

- Battle, J., Casals, A. Freixenet, J. and Martí, J. (2000). A review on strategies for recognizing natural objects in colour images of outdoor scenes. *Image Vision Computing*, 18(6-7), 515-530.
- Besl, P.J. , Delp, E.J. and Jain, R.K. (1985). Automatic Visual solder joint inspection. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1(1), 42-56.
- Brook, R.A. (1971). An Experimental Automatic Surface Inspection System, *Metron*, 3(8), 219-223.
- Cantoni, V., Levisaldi, S. and Vito, R. (Eds.) (1997). *Artificial Vision: Image Description, Recognition and Communication (Signal Processing and its Applications)*. Academic Press, New York.
- Capson, D.W. and Eng, S. (1988). A Tiered-Color illumination Approach for machine inspection of Solder-Joints, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 10(3), 387-393.
- Céspedes, F.J., Diego, D., Serrano, I. y Lázaro, A. (1998). Sistema de Reconocimiento de personas mediante visión artificial. *Proc. XIX Jornadas de Automática*, pp 321-325, Madrid.
- Chan, J.P. Batchelor, B.G., Harris, I.P. and Perry S.J. (1990). Intelligent Visual inspection of Food Products. In Batchelor, B.G. and Waltz F.M. (Eds.). *Proc. SPIE: Machine Vision systems Integration in Industry*, pp 171-179, Washington.
- Chen, P.C.Y., Kovalcheck, S.W. and Zweifach, B.W. (1987). Analysis of microvascular network in bulbar conjunctiva by image processing, *Int. J. Microcirc.: Clinical and Experimental*, 6, 245-255.
- Chim, Y.C., Kassim, A.A. Ibrahim, Y. (1999). Character Recognition using statistical moments. *Image and Vision Computing*, 17(3-4), 299-308.
- Chin, R.T. and Harlow, C.A. (1982). Automated Visual Inspection: A survey, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 4(6), 557-573.
- Chi, Z., Wu, J. and Yan, H. (1995). Handwritten numeral recognition using Self-Organizing maps and Fuzzy rules, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 28(1), 59-66.
- Collins, R.T. Hanson, A.R. Riseman, M.R. and Schltz, H. (1995). Automatic extraction of buildings and terrain from aerial images. In A. Grün, O. Kübler and P. Agouris (Eds.) *Automatic Extraction of Man Made Objects Aerial and Space Images*, Birkhäuser-Verlag, Basel, pp. 169-178.
- Cootes, T.F., Taylor, C.J., Cooper, D.H. and Graham, J. (1995). Active Shape Models- Their Training and Application. *Computer Vision and Image Understanding*, 61(1), 38-59.
- Davies, E.R. (1997). *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Academic Press, London.
- Del Bimbo, A., Mugnaini, M., Pala, P. and Turco, F. (1998). Visual Querying by Color Perceptive Regions. *Pattern Recognition*, 31(9), 1241-1253.
- Demant, C., Abel, S.B., Waszkewitz, P. and Strick, M. (1999). *Industrial Image Processing: Visual Quality Control in Manufacturing*. Springer-Verlag, Berlin.
- Dorriety, J.L. (1995). New developments for seam quality monitoring in sewing applications. *IEEE Trans. Ind. Applications*, 31, 1371-1375.
- Duncan, J.S. and Ayache, N. (2000). Medical Image Analysis: Progress over Two Decades and the Challenges Ahead, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 22(1), 85-106.

- Durán, M.L., Plaza, A., Cernadas, E., Sánchez, J.M., Petró, M.J. (1998). Determinación del nivel de grasa en jamón ibérico utilizando visión artificial. *Proc. XIX Jornadas de Automática*, pp 333-337, Madrid.
- Elnagar, A. and Basu, A. (1998). From 2D Surface Patches to 3D Reconstructed Models: Theory and Applications. *Pattern Recognition*, 31(10), 1419-1430.
- Feng, G.C. and Yuen, P.C. (1998). Variance projection function and its application to eye detection for human face recognition. *Pattern Recognition Letters*, 19 (9), 899-906.
- Fernández-Rodríguez, J.J., Cañas, A., Roca, E., Pelayo, F.J., Fernández-Mena, J. and Prieto, A. (1993). Application of Artificial Neural Networks to Chest Image Classification. In Mira J, Cabestany J, Prieto A (Eds). *New Trends in Neural Computation*. Springer-Verlag, 1993, pp 542-549.
- Fischer, A., Kolbe, T.H., Lang, F., Cremers, A.B., Förstner, W., Plümer, L. and Steinhage, V. (1998). Extracting Buildings from Aerial Images Using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D. *Computer Vision Image Understanding*, 72(2), 185-203.
- Fischler, M.A., Tenenbaum, J.M. and Wolf, H.C. (1987). Detection of Roads and Linear structures in Low-Resolution Aerial Imagery using multisource knowledge integration. In Fischler, M.A. and Firschein, O. (Eds.). *Readings in Computer Vision*, Morgan Kaufmann, Los Altos: CA, pp. 741-752.
- Fisher, D.J., Ehrhardt, J.C., and Collins, S.M. (1991). Automated detection of noninvasive magnetic resonance markers. In *Computers in Cardiology*, Chicago, IL, pp. 493-496, IEEE, Los Alamitos, CA.
- Flusser, J. and Suk, T. (1993). Pattern Recognition by affine moment invariants. *Pattern Recognition*, 26(1), 167-174.
- Flusser, J. and Suk, T. (1994). Affine moment invariants: a new tool for character recognition. *Pattern Recognition Letters*, 15, 433-436.
- Fuente de la, E., Traspaderne, F.M. y Perán, J. R. (1998). Control del tueste en la fabricación de galletas con visión artificial. *Proc. XIX Jornadas de Automática*, pp. 293-296, Madrid.
- Garguet-Duport, B., Girel, J., Chassery, J. and Pautou, J. G. (1996). The use of Multiresolution Analysis and Wavelets Transform for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9) (1996) 1057-1066.
- Gee, J.C. (1999). On matching brain volumes. *Pattern Recognition*, 32(1), 99-111.
- Glasbey, C.A. and Horgan, G. (1995). *Image Analysis for the Biological Sciences*. Wiley: New York.
- González, R.C. and Woods, R.E. (1993). *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Grün, A., O. Kübler and P. Agouris (Eds.) (1995). *Automatic Extraction of Man Made Objects Aerial and Space Images*, Birkhäuser-Verlag, Basel.
- Grün, A., Valtsavias, E.P. and Henricsson, O. (1997). *Automatic Extraction of Man Made Objects Aerial and Space Images II*, Birkhäuser-Verlag, Basel,
- Guiducci, A. (1999). Parametric Model of the Perspective Projection of a Road with Applications to Lane Keeping. *Computer Vision and Image Understanding*, 73(3), 414-427.
- Guttmann, M.A. and Prince, J.L. (1990). Image Analysis Methods for tagged MRI cardiac studies. In *Medical Imaging IV: Image Processing*, Newport Beach, CA, pp. 168-175, SPIE, Bellingham, WA.

- Han, C.C., Tseng, Y.L., Fan, K.C. and Wang, A.B. (1995). Coarse classification of Chinese characters via stroke clustering method. *Pattern Recognition Letters*, 16, 1079-1089.
- Henricsson, O. (1998). The role of Color Attributes and Similarity Grouping in 3-D Building Reconstruction. *Computer Vision Image Understanding*, 72(2), pp. 163-184.
- Hu, M.K. (1962). Visual Pattern Recognition by Moment invariants. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 8, 179-187.
- Hussein, K.M., Aggarwal, A., Gupta, A. and Wang, P.S.P. (1999). A knowledge-based segmentation algorithm for enhanced recognition of handwritten courtesy amounts. *Pattern Recognition*, 32(2), 305-316.
- Intrator, N. Reisfeld, D. and Yeshurum, Y. (1996). Face Recognition Using a Hybrid Supervised/Unsupervised Neural Network. *Pattern Recognition Letters*, 17, 67-76.
- IPMI'99 (1999). Information Processing in Medical Imaging, 16th Int. Conf. IPMI'99. *Lecture Notes in computer Science*, Springer-Verlag, Berlín.
- Jain, R.C. and Jain, A.K. (1990). *Analysis and Interpretation of Range Images*, Springer-Verlag, New York.
- Jaulent M.C., Bombardier, V. Bubel, A. and J. Bremont (1997). Application of a fuzzy method for the segmentation of renal angiograms. *Proc. 5th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing in Aachen, Germany*, vol. 3, pp. 2355-2359.
- Jendrysik, F., Eichfeld, H. and Graumann, R. (1997). Fuzzy segmentation method applied to the extraction of kidney boundaries in medical images. *Proc. 5th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing in Aachen, Germany*, vol. 3, pp. 2360-2364.
- Jensen, J.R. (1982). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs: NJ.
- Jiménez, A.R., Jain, A.K., Ceres, R. and Pons, J.L. (1999). Automatic fruit recognition: a survey and new results using Range/Attenuation images. *Pattern Recognition*, 32, 1719-1736.
- JIVA (1991). Jornadas de Inspección Visual automatizada. CICYT- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Madrid.
- Kambhamettu, C. and Goldgof, D.B. (1992). Point correspondence recovery in non-rigid motion. In *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Champaign, IL, pp. 222-227, IEEE, Los Alamitos, CA.
- Kanatani, K.I. (1984). Detection of Surface Orientation and Motion from Texture by a Stereological Technique, *Artificial Intelligence*, 23, 213-237.
- Kass, M. Witkin, A. and Terzopoulos, D. (1987). Snakes: Active Contours Models. *Proc. First Int. Conf. Comp. Vision*, London, 259-269.
- Kato, N., Suzuki, M., Omachi, S. Aso, H. and Nemoto, Y. (1999). A Handwritten Character Recognition System Using Directional Element Feature and Asymmetric Mahalanobis Distance. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 21(3), 258-262.
- Kawagoe, M. and Tojo, A. (1984). Fingerprint Pattern Classification. *Pattern Recognition*, 17(3), 295-303.
- Keller, J. Subhangkasen, D., Unklesbay, K. and Unklesbay, N. (1990). Approximate reasoning for recognition in color images of beef steaks. *Int. J. General Systems*, 16, 331-342.

- Kim, J.H., Yoon, S.H. and Sohn, K.H. (1996). A Robust Boundary-Based Object Recognition in Occlusion Environment by Hybrid Hopfield Neural Networks. *Pattern Recognition*, 29(12), 2047-2060.
- Kim, T.H., Cho, T.H., Moon, Y.S. and Park, S.H. (1999). Visual inspection system for the classification of solder joints. *Pattern Recognition*, 32(4), 565-575.
- Kim, T., and Muller, J.P. (1999). Development of a graph-based approach for building detection. *Image Vision Computing*, 17(1), 3-14.
- Knoll, C., Alcañiz, M. Grau, V., Monserrat, C. and Juan, M.C. (1999). Outlining of the prostate using snakes with shape restrictions based on the wavelet transform (Doctoral Thesis: Dissertation). *Pattern Recognition*, 32, 1767-1781.
- Kovács-V, Z.M. (1995). A novel architecture for high quality hand-printed character recognition. *Pattern Recognition*, 28(11), 1685-1692.
- Kwon, Y.H. and Lobo, N.V. (1999). Age Classification from Facial Images. *Computer Vision and Image Understanding*, 74(1), 1-21.
- Latif-Amet, A. Ertüzün, A. and Ereçil, A. (2000). An efficient method for texture defect detection. *Image Vision Computing*, 18(5), 377-387.
- Lee, S.W. and Song, H.H. (1994). Optimal design of reference models for large-set handwritten character recognition. *Pattern Recognition*, 27(9), 1267-1274.
- Lester, H. and Arridge, S.R. (1999). A survey of hierarchical non-linear medical image registration. *Pattern Recognition*, 32, 129-149.
- Li, R.Y. and Xu, M. (1992). Character recognition using a fast neural-net classifier. *Pattern Recognition Letters*, 13, 369-374.
- Lisa, F., Carreabina, J., Pérez-Vicente, C., Avellana, N. and Valderrama, E. (1993). Feed Forward Network for vehicle license character recognition. In Mira J, Cabestany J, Prieto A (eds). *New Trends in Neural Computation*. Springer-Verlag, 1993, pp. 638-643.
- López-Orozco, J.A. (1999). Integración y Fusión Multisensorial en Robots Móviles Autónomos. Tesis Doctoral. Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática. Físcas. Universidad Complutense, Madrid.
- Lotufo, R.A., Thomas, B.T. and Dagles, E. L. (1990). Road Following algorithm using a panned plan-view transformation. In Faugeras, O. (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science, Proc. First European Conf. ComputerVision*, pp. 231-235, Antibes, France, Springer-Verlag, Berlin.
- Low, A. (1991), *Computer Vision and Image Processing*, McGraw-Hill, New York.
- Lu, Y. And Shridhar, M. (1996). Character Segmentation in handwritten words- An Overview. *Pattern Recognition*, 29(1), 77-96.
- Mahmoud, S.A. (1994). Arabic character recognition using Fourier descriptors and character contour encoding. *Pattern Recognition*, 27(6), 815-824.
- Maravall, D. (1993), *Reconocimiento de Formas y Visión Artificial*, RA-MA, Madrid.
- Marshall, A.D. and R.R. Martin (1993), *Computer Vision models and Inspection*, World Scientific Series in Robotics and Automated Systems, vol. 4, World Scientific, London.

- McGlone, J. and Shuffelt, J. (1994). Projective and object space geometry for monocular building extraction. *Proc. IEEE Conf. On computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94)*, Seattle, Washington, pp. 54-61.
- McIntosh, W.E. (1984). Automating the Inspection of Printed Circuit Boards. *Robotics Today*, June 75-78.
- Moons, T. Frère, D., Vandekerckhove, J. and van Gool, L. (1998). Automatic Modelling and 3D Reconstruction of Urban House Roofs from High Resolution Aerial Imagery. In H. Burkhardt and B. Neumann (Eds.). *Computer Vision ECCV'98.*, vol. I, pp. 410-425, Springer-Verlag, Berlín.
- Mundy, J.L. (1982). Visual Inspection of Metal surfaces. *Proc. 8th Int. Conf Pattern Recognition*, pp. 227-231.
- Nakagawa, Y. (1982). Automatic Visual Inspection of Printed Circuit Boards. *Robot Vision*, 336, 676-682.
- Nevatia, R., Lin, C. and Huertas, A. (1997). A system for building detection from aerial images. In A. Grün, E. P. Valtsavias and O. Henricsson (Eds.) *Automatic Extraction of Man Made Objects Aerial and Space Images II*, Birkhäuser-Verlag, Basel, pp. 77-86.
- Newman, T.S. and Jain, A.K. (1995). A survey of automated visual inspection. *Computer Vision and Image Understanding*. 61(2), 231-262.
- Nishida, H. (1995). Model-Based Shape Matching with Structural Feature Grouping. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 17(3), 315-320.
- Paetzold, F. and Franke, U. (2000). Road recognition in urban environment. *Image Vision Computing*, 18(5), 377-387.
- Pajares, G., y de la Cruz, J.M. (2001). *Clasificación de texturas naturales mediante K-Means*. Revista Electrónica de Visión por Computador, 6, pp. 1-18, Ed. Centre de Visió per Computador, Universidad Autònoma Barcelona.
- Pajares, G., y de la Cruz, J.M. (2002). *Clasificación de texturas mediante redes neuronales*. Ingeniería Civil. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).- Ministerio de Fomento. 123, 61-69.
- Pei, S.C. and Liou, L.G. (1998). Vehicle-type motion estimation by the fusion of images point and line features, *Pattern Recognition*, 31(3), 333-344.
- Pien, H., Karl, W.C., Kennedy, D., Worth, A. and Willsky, A. (Eds.) (1997). Special Issue: Processing of MR Images of the Human Brain. *International J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 11, n° 8.
- Plaza, A., Cernadas, E., Durán, M.L., Sánchez, J.M., Petró, M.J. (1998). Detección Automática de Vetas de Grasa en Jamón Ibérico. *Proc. XIX Jornadas de Automática*, pp. 339-343, Madrid.
- Reiss, T.H. (1993). *Recognizing Planar Objects Using Invariant Image Features*. Springer-Verlag, Berlín.
- Rocha, J. and Pavlidis, T. (1994). A shape Analysis Model with Applications to Character Recognition System. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 16(4), 393-404.
- Rocha, J. and Pavlidis, T. (1995). Character Recognition Without Segmentation. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 17(9), 903-909.
- Rohr, K. (1999). Extraction of 3d anatomical point landmarks based on invariance principles. *Pattern Recognition* 32, 3-15.
- Rohr, K. (1994). Localization properties of direct corners detectors. *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 4, 139-150.

- Rong, J.H., Coatrieux, J.L. and Collorec, R. (1989). Combining motion estimation and segmentation in digital subtracted angiograms analysis. In *Sixth Multidimensional Signal Processing Workshop*, Pacific Grove, CA, pp. 44-48, IEEE Piscataway, NJ.
- Roux, M. and Maître, H. (1994). (1997). Three-dimensional description of dense urban areas using maps and aerial images. In A. Grün, E. P. Valtasavias and O. Henricsson (Eds.) *Automatic Extraction of Man Made Objects Aerial and Space Images II*, Birkhäuser-Verlag, Basel, pp. 311-322.
- Schmid-Schoenbein, G.W., Zweifach, B.W. and Kovalcheck, S. (1977). The application of stereological principles to morphometry of the microcirculation in different tissues, *Microvascular Research* 14, 303-317.
- Schnabel, J.A. and Arridge, S.R. (1999). Active shape focusing. *Image Vision Computing*, 17, 419-428.
- Schneider, M. (1996). Planificación basada en percepción activa para la navegación de un robot móvil, Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid.
- Seah, M.P. and Lea, C. (1985) Certainty Measurement using an Automated Infrared Laser Inspection System for PCB Solder Joint Integrity. *J. Physical, Electronic and Scientific Instrumentation*, 18, 676-682.
- Soloman, S. (2000). *Vision Technology for Manufacturing*. McGraw-Hill: New York.
- Sonka, M., Hlavac, V. and Boyle, R. (1995). *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, Chapman -Hall, Cambridge.
- Tan, T.N., Sullivan, G.D. and Baker, K.D. (1998). Model-Based Localisation and Recognition of Road Vehicles. *Int. J. computer Vision*, 27(1), 5-25.
- Theodoridis, S. and Koutroumbas, K. (1999). *Pattern Recognition*, Academic Press, New York.
- Trucco, E. and Verri, A. (1998). *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice-Hall, Upper Saddle River: NJ.
- Tsirikolias, K. and Mertzios, B.G. (1993). Statistical pattern recognition using efficient two-dimensional moments with applications to character recognition. *Pattern Recognition*, 26, 167-174.
- Tsujii, O., Freedman, M.T. and Mun, S.K. (1999). Classification of microcalcifications in digital mammograms using trend-oriented radial basis function neural network. *Pattern Recognition* 32(5), 891-903.
- Umbaugh, S.E. (1998). *Computer Vision and Image Processing: A Practical approach using CVIPtools*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs: NJ.
- Vailaya, A., Jain, A. and Zhang, H.J. (1998). On image classification: city images vs. landscapes. *Pattern Recognition*, 31(12), 1921-1935.
- Waard, W.P. (1995). An optimised edit distance for hand-written word recognition. *Pattern Recognition Letters* 16, 1091-1096.
- Wechsler, H. and Sklansky J. (1977). Finding the rib cage in chest radiographs. *Pattern Recognition*, 9, 21-30.
- Wick, C.E., Loew, M.H. , Kurantsin-Mills, J. (1993). Understanding Microvessels in Two and three dimensions. In C.H. Chen, L.F. Pau and P.S.P. Wang (Eds.) *Handbook of pattern recognition* pp. 667-693.
- Windyga, P., Garreau, M. and Coatrieux, J.L. (1998). Estimation of search-space in 3D coronary artery reconstruction using angiographic biplane images. *Pattern Recognition Letters*, 19(14), 1325-1330.

- Wong, W.H., Siu, W.C. and Lam, K.M. (1995). Generation of moments invariants and their uses for character recognition. *Pattern Recognition Letters*, 16, 115-123.
- Xin, Y., Truyen, B., Pratikakis, I. and Cornelis, J. (1996). Hierarchical contour matching in medical images, *Image Vision Computing*, 14, 417-433.
- Xu, L. Jackowski, M. Goshtasby, A., Roseman, D., Bines, S., Yu, C., Dhawan, A. and Huntley, A. (1999). Segmentation of skin cancer images. *Image and Vision Computing*, 17, 65-74.
- Young, A. and Axel, L. (1992). Non-rigid heart wall motion using MR tagging. In *Proc. 1992 Computer Vision and Pattern Recognition*, Champaign, IL, pp. 399-404, IEEE, Los Alamitos, CA.
- Zhong, Y. And Jain, A.K. (2000). Object localization using color, texture and shape. *Pattern Recognition*, 33, 671-684.
- Zou, J.J., and Yan, H. (1999). Extracting strokes from static line images based on selective searching. *Pattern Recognition*, 32(6), 935-946.