

## **10. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN**

La visión artificial se ha beneficiado de grandes avances en los procesadores, sensores, sistemas de iluminación y de mucha investigación llevada a cabo en centros de investigación y universidades. Esto ha permitido que en el mercado actual exista una enorme oferta de equipos y componentes que permiten abordar prácticamente cualquier aplicación.

Para desarrollar eficientemente un equipo es necesario buscar entre las tecnologías existentes las que presenten las características más adecuadas a la aplicación: resolución, campo de visión, velocidad de procesamiento, iluminación... Aparte de las prestaciones de los componentes será preciso analizar su coste. Muchas veces, en los sistemas desarrollados alguno de los componentes no llega a alcanzar las prestaciones deseadas o bien ocurre lo contrario, que sobrepasa con mucho estas. Ambas situaciones son antieconómicas pues los sistemas con bajas prestaciones deben ser rediseñados hasta hacerlos funcionar mientras que los que sobrepasan exageradamente las expectativas contendrán elementos que son bastante más caros que los realmente necesarios.

No es fácil establecer una metodología a la hora de abordar el desarrollo de un sistema industrial de visión artificial debido a la gran variedad de aplicaciones existentes y al amplio conjunto de disciplinas involucradas en la integración del sistema, tales como:

- Tecnología de cámaras industriales de vídeo.
- Iluminación
- Óptica.
- Manipulación mecánica.
- Diseño y desarrollo de dispositivos electrónicos.

- Algoritmos y software para análisis de imagen.
- Integración del sistema de visión en la línea.
- Factores humanos (interacción hombre máquina, formación de operarios,...)

No obstante, con carácter orientativo sí que se pueden establecer una serie de **pasos generales**:

1. Análisis de los **detalles o defectos a detectar**.
2. Análisis del **sistema mecánico** de manipulación de artículos.
3. Elección y configuración de la **iluminación** para realzar las partes motivo de la inspección.
4. Elección de la **cámara y óptica**.
5. Elección del **sistema de procesamiento y desarrollo del software**.
6. **Salida de resultados**.

Los análisis técnicos determinarán las características del sistema de adquisición y procesamiento de imágenes, el nivel de complejidad del software y la naturaleza de las interacciones con el proceso de producción y por tanto la viabilidad técnica del sistema. Veamos a continuación con más detalle cada uno de estos apartados, considerando que la capacidad de un sistema de visión es el resultado de las prestaciones de todos sus componentes.

## 10.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS A DETECTAR

La gran diferencia que existe entre las aplicaciones industriales de visión artificial y otras aplicaciones fuera de este ámbito como pueden ser la monitorización del tráfico, la navegación de vehículos, el reconocimiento de caras, etc. es que en las primeras **hay un gran conocimiento a priori de lo que aparecerá en la imagen**. En la mayoría de los casos, los sistemas industriales son diseñados para tratar sólo objetos conocidos en posiciones fijas. Además la escena se ilumina de una forma estable y se adecua para facilitar la adquisición de las características necesarias para el procesamiento y clasificación. Unas características que casi siempre se conocen por adelantado. Precisamente esta adecuación del entorno al sistema de visión y el conocimiento a priori hacen que las aplicaciones funcionen. Cuanto más previsible sea lo que aparecerá en la imagen más posibilidades de éxito tiene el sistema. Las aplicaciones de visión en líneas con muchos productos distintos, productos con una apariencia variable o con muchos tipos de fallos deben ser analizadas con especial cuidado.

Hay que tener en cuenta que un sistema de visión se diseña para llevar a cabo una **tarea muy específica**. El sistema resultante sólo valdrá para trabajar sobre la escena y producto para el que ha sido desarrollado y tendrá tantas más posibilidades de éxito cuanto más específico sea. Por tanto, resulta fundamental comenzar entendiendo las características de la aplicación y teniendo muy claro qué es lo que se quiere del sistema de visión. No es lo mismo un sistema para llevar a cabo una inspección bueno/malo que una clasificación en distintas categorías. Un etiquetado de los artículos como **aceptables o no aceptables es siempre más fácil que clasificar los defectos por tipo**. Una clasificación detallada de los defectos puede aumentar significativamente el coste y el tiempo de procesamiento del sistema de visión. Incluso muchas veces no será fácil dar con una clasificación clara y objetiva de los defectos. Una vez determinado el perfil del sistema se establecerán qué umbrales se van a utilizar en el proceso de inspección para discriminar un artículo aceptable de otro defectuoso o entre las distintas clasificaciones que se determinen.

En las plantas industriales, el personal responsable de calidad presenta la tendencia generalizada de que puesto que se va a implantar un sistema de inspección, este debería tener capacidad para detectar todo tipo de defectos habidos y por haber. Este enfoque es totalmente antieconómico y peligroso. Los tipos de defectos deben ser ordenados por importancia de forma realista. Es preciso hacer una relación de defectos por prioridades puesto que éstos condicionarán el enfoque escogido y, por tanto, el coste final de la solución. Suele ser frecuente que el 90% de los tipos de defectos puedan ser detectados con un presupuesto equivalente al de detectar el 10% restante. En aquellos casos en que la detección de todos los fallos sea excesivamente compleja o no exista, lo más razonable es plantearse la búsqueda de una solución que sin ser óptima sea satisfactoria. A veces puede ser preciso mantener un operario trabajando en cooperación con el sistema de visión.

Una vez que se ha determinado claramente qué es lo que se quiere detectar, se procederá a la elección de productos que sirvan de **muestra** para el diseño del sistema de visión. Es necesario obtener el máximo número de muestras de productos tanto aceptables como defectuosos y especialmente de aquellos que puedan resultar más conflictivos como productos que se encuentren en el umbral de aceptación. Estas muestras son de suma importancia puesto que el estudio de viabilidad, el diseño del sistema, la verificación, la evaluación y cualquier demostración al cliente estarán basados en ellas. Las muestras se deben elegir siguiendo una técnica de muestreo estadístico adecuada y un protocolo planificado. En ningún caso las muestras utilizadas deben ser cuidadosamente limpiadas y escogidas por el cliente para el proyecto sino que

deben tomarse en las mismas condiciones que circulan por la línea de fabricación.

A partir de las muestras el ingeniero de visión analizará qué información debe extraer el sistema de visión y cómo se cuantificará esta para llevar a cabo la inspección / clasificación. La información a extraer determinará las características de los componentes del sistema que a continuación se presentan.

## 10.2 SISTEMA MECÁNICO

En todos los sistemas de inspección industrial no sólo hay un equipo informático con una cámara sino que deben existir unos componentes mecánicos que posicionan los artículos ante el captador de imagen y que actúan sobre las piezas inspeccionadas, de acuerdo con los resultados del procesamiento de imagen.

Al sistema mecánico integrado por el sistema de alimentación y el sistema de separación se le denomina sistema de manipulación de piezas. **Siempre es necesario un sistema mecánico** para manipular las piezas debido a las siguientes razones:

- Un sistema de inspección con visión artificial debe adquirir las imágenes de forma automática y para ello debe existir algún tipo de **sistema de transporte** que haga circular los productos enfrente de la cámara.
- Aunque los sistemas de visión no precisan de un **reposicionamiento de las piezas** para su análisis, la complejidad de los procedimientos se reduce significativamente si estas aparecen en la misma posición ante la cámara. Si el sistema de manipulación alimenta las piezas de forma que la posición de éstas resulta aleatoria se requerirán más pasos para el procesamiento, lo que supone un mayor tiempo de cálculo o mayor potencia computacional.
- Después del proceso automático de inspección, que proporciona un resultado sobre la clasificación de la pieza o artículo, **es necesario un dispositivo mecánico para ejecutar este resultado**: dejar o retirar el producto de la línea, desviarlo hacia un clasificador, etc.

Para el **posicionamiento de las piezas ante la cámara** lo más común es emplear cintas transportadoras. Si éstas pueden construirse de materiales transparentes o traslúcidos la retroiluminación (iluminación a contraluz) resulta muy útil en aquellas aplicaciones dedicadas a analizar la forma o poros de los

objetos. Algunos equipos de inspección ubican los productos en múltiples filas, usando tiras de pequeños contenedores que discurren bajo las cámaras. En muchos casos es frecuente la utilización de múltiples cámaras, porque permiten capturar imágenes desde distintas posiciones de toda la superficie del producto. En aquellas aplicaciones en la que los productos son aproximadamente cilíndricos o esféricos, en vez de incorporar mecanismos para rotar el producto para adquirir las distintas facetas, lo más económico es aumentar el número de cámaras.



**Figura:** Las posiciones de las cámaras son normalmente fijas pero también existen sistemas de inspección que incorporan algún mecanismo para desplazar las cámaras. En la figura se muestra un sistema para la inspección de grandes piezas de chapa estampada en el que un robot desplaza la cámara a las distintas zonas a inspeccionar.

El **sistema mecánico de separación**, que actuará una vez que el procesador ha interpretado las imágenes, depende en gran medida de cada caso en particular. En general se pueden usar sistemas relativamente sencillos, tales como dispositivos neumáticos o clasificadores de canales. Salvo que la manipulación requerida sea muy compleja, no es preciso irse a un robot.

De cualquier forma en el sistema de inspección no sólo hay que considerar los costes correspondientes a la visión en sí. Las aplicaciones precisan de soluciones completas que incluyen los sistemas mecánicos para la posicionamiento de cámaras, manipulación y de los objetos. El sistema mecánico supone muchas veces una **parte muy significativa de los costes** de instalación totales.

### 10.3 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La iluminación juega un **papel vital** dentro de un sistema de inspección ya que proporciona las condiciones ópticas bajo las cuales se lleva a cabo la adquisición de la imagen. El éxito de una aplicación industrial depende tanto del diseño de la iluminación como del procesamiento de imagen. A pesar de esta importancia, la selección de un buen medio de iluminación suele ser una de las áreas más frecuentemente descuidadas. El diseñador de un sistema de inspección visual automática, a diferencia de otras aplicaciones de la visión artificial, **puede controlar las condiciones de iluminación** y no sólo eso, sino que debe hacerlo. Un enfoque para un sistema de inspección que no preste suficiente atención a la iluminación supone una mayor complicación en el análisis y posterior interpretación de la escena captada; la luz es un factor que afecta de forma dramática a la complejidad de los algoritmos de visión. La iluminación existente en el entorno de la aplicación no suele ser aceptable la mayoría de las veces ya que se obtienen imágenes con bajo contraste, intensidad variable, sombras,...

El diseñador de un sistema de visión dispone en la actualidad de una amplia gama de fuentes de luz y configuraciones que le permiten destacar en la imagen las características de interés. Aunque la mayor parte de las aplicaciones de los sistemas de visión utilizan el intervalo del espectro visible, hay otras zonas del **espectro invisible** al ojo humano, como rayos X, infrarrojo o ultravioleta, que están siendo utilizados en nuevos campos de aplicaciones. En el siguiente capítulo, dedicado exclusivamente a la iluminación, se exponen pormenorizadamente las fuentes y técnicas de iluminación más utilizadas en visión industrial.

### 10.4 CÁMARA Y ÓPTICA

Las cámaras son los dispositivos encargados de **captar la información luminosa** de la escena a través de la óptica y transmitirla al computador como

señales analógicas o digitales. La óptica proyecta de forma precisa la escena sobre el sensor de la cámara obteniéndose en los elementos fotorreceptores de este una representación de los objetos que están ante la cámara.

Las prestaciones de los sistemas de visión actuales han mejorado significativamente con la introducción de la tecnología de estado sólido a finales de los ochenta. Las cámaras industriales modernas son compactas, ofrecen un control total del disparo, presentan obturadores electrónicos de alta velocidad y disponen de una gran sensibilidad. Opciones que hace unos años eran exóticas se han vuelto completamente accesibles como la alta resolución y cámaras progresivas que permiten una adquisición nítida de objetos en movimiento. En el capítulo dedicado exclusivamente a cámaras y ópticas se abordan las distintas tecnologías existentes en los sensores y objetivos para los sistemas de visión.

### 10.5 SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE IMAGEN.

Ha sido precisamente el fuerte **aumento de la potencia computacional** de los dispositivos electrónicos, acompañado del también singular abaratamiento de éstos, lo que ha impulsado de forma espectacular el campo de la visión artificial. Los sistemas de visión de las primeras aplicaciones basados en *mainframes* y posteriormente en hardware especializado dejaron paso, con los microprocesadores de altas prestaciones, a los ordenadores personales de bajo coste. En la actualidad la aparición en el mercado de **cámaras inteligentes** no hace sino confirmar esta tendencia hacia sistemas monolíticos más sencillos y baratos con la incorporación del microprocesador en la cámara. A continuación en esta sección se exponen con algo más de detalle los componentes del sistema de procesamiento tanto en el ámbito del hardware como del software.

En primer lugar, una vez que la imagen ha sido capturada por la cámara analógica de vídeo, se precisa de una **tarjeta de adquisición**, que se encargará de transformar la señal de vídeo analógica en una señal digital capaz de ser procesada por un computador. Básicamente, las tarjetas de adquisición hacen un muestreo de la señal de la cámara y guardan la imagen digital en una zona de memoria, que puede ser accedida por el microprocesador del computador para su tratamiento. Tendrán un al menos puerto de entrada de la señal de vídeo, y un conversor analógico-digital para obtener la imagen. En aplicaciones donde se requiere la inspección de objetos que se desplazan rápidamente la tarjeta de adquisición deberá disponer además de disparo (trigger) para una adquisición precisa de la imagen. El empleo de un flash que proporcione buena intensidad

de luz sincronizado con el disparo permitirá evitar imágenes movidas en este tipo de aplicaciones. Algunas tarjetas de adquisición incluyen además LUT (Look-Up-Table) que son memorias que permiten una modificación prácticamente instantánea del nivel de gris de la imagen en base a la función cargada en estas tablas.

Con la llegada de las cámaras digitales industriales con muy buenas prestaciones y a precios muy asequibles, la presencia de estas tarjetas se ha reducido muy sensiblemente. En estos casos, es directamente la cámara la que proporciona la señal digital, con la ventaja de que la degradación de la señal hasta el computador también desaparece.

En cuanto al **computador** del sistema de visión artificial, debe ser un sistema capaz de tratar esa gran cantidad de datos que constituyen las imágenes en el tiempo que ofrezca la aplicación, que en líneas de alta velocidad es muy limitado debido a que pueden pasar decenas de productos por segundo. Las arquitecturas para sistemas de visión son muy variadas, y abarcan desde conjuntos de procesadores muy especializados hasta DSP integrados en las cámaras pasando por los computadores personales de propósito general.

Aunque existen aplicaciones donde hoy por hoy es imposible evitar el empleo de computadores especializados de elevado coste, se puede observar que, con el espectacular incremento de las prestaciones de los procesadores, en la actualidad la gran mayoría de las aplicaciones puede resolverse con PCs convencionales o con cámaras inteligentes basadas en DSP.

Existen muchas casas comerciales que suministran **sistemas integrados compactos**. Son equipos que incorporan una cámara con su óptica y el sistema de procesamiento completo formando parte de un solo sistema. Se trata de sistemas pensados para clientes finales y por ello son sistemas relativamente fáciles de configurar y de adaptar a cada aplicación, sin necesidad de tener una formación específica en visión artificial. Estos equipos compactos disponen de menús de configuración orientados a aplicación, son fácilmente reconfigurables por el usuario y pueden adaptarse a los cambios en la producción sin necesidad de acudir a proveedores externos. Además, al carecer de discos duros son muy robustos ante vibraciones o choques y pueden emplearse en aplicaciones industriales especialmente hostiles. Estos sistemas incluyen además funcionalidades para la entrada y salida que permiten la comunicación con PLC, relés y robots. No obstante, el procesador de estos sistemas es de menores prestaciones que el de un PC por lo que deberá extremarse en este caso el cuidado para obtener imágenes de buen contraste y evitar de esta forma cualquier procesamiento adicional.

En cuanto al **software** a desarrollar dependerá de la tarea a resolver. Tareas como comprobación de marcas impresas o etiquetas, detección de defectos, inspección dimensional, clasificación,... requieren de distintos algoritmos para su resolución. Incluso dentro de un mismo tipo de tarea, existe una carencia de metodología para la resolución del problema de procesamiento de imagen. Siempre es difícil conocer a priori qué clase de algoritmo se adecua mejor a las imágenes, decidir antes de intentarlo qué aproximación funcionará mejor en la práctica, o evaluar antes de realizar ninguna prueba, qué exactitud o tiempo de proceso se puede esperar de una determinada técnica. De cualquier forma existen librerías de procesamiento de imagen para cualquier entorno de desarrollo que son muy útiles para evaluar distintas estrategias de procesamiento. Estas librerías proporcionan todo tipo de funciones para operaciones aritméticas entre imágenes: filtrado, extracción de contornos o regiones, análisis de características, etc.

Si la aplicación a resolver no es estándar, los costes de desarrollo del software suelen ser elevados (por encima de 12.000 €), puesto que normalmente se precisa programar algoritmos muy específicos, con interfaces muy concretos y se requiere la interconexión del equipo de visión a otros sistemas.

## 10.6 SALIDA DE RESULTADOS

La salida de resultados consistirá en las señales que recibirán los actuadores para llevar a cabo la retirada o clasificación de los productos, señales para situar el proceso bajo control en aquellas aplicaciones en que la visión se utilice en lazo cerrado, señales de comunicación con otros sistemas informáticos y la visualización de resultados en un **interfaz gráfico**. Aunque esta última salida puede parecer algo superfluo, una pantalla donde aparezcan los resultados obtenidos por el sistema de visión en cada inspección es muy valiosa porque permite verificar si el sistema está operando correctamente.

En el diseño del interfaz gráfico hay que tener en cuenta que los operarios de planta no van a ser especialistas informáticos. Por tanto, el interfaz gráfico debe ser diseñado de forma que pueda ser utilizado con unos mínimos conocimientos informáticos.

## 10.7 CONCLUSIONES.

En los últimos años se han realizado avances significativos dentro del campo de la inspección visual automática y se han desarrollado aplicaciones

que incorporan múltiples imágenes, aplicaciones que hacen uso del color, infrarrojo, rayos X ... Los PC son cada vez son más baratos, rápidos y compactos y permiten abordar muchas aplicaciones de inspección industrial. En la actualidad con la aparición de equipos compactos y cámaras inteligentes la implantación de sistemas de visión se ha vuelto más fácil y rentable que nunca.