

9. LOS SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL EN INSPECCIÓN INDUSTRIAL

La visión artificial ha alcanzado una gran importancia en el campo científico-técnico debido a sus enormes posibilidades de aplicación. Existen sistemas de visión artificial en todos los ámbitos navegación autónoma de vehículos, análisis de imágenes médicas, monitorización del tráfico, etc. En este capítulo nos centraremos en los sistemas de visión destinados a la inspección en líneas de fabricación. Este uno de los campos dentro de la visión artificial que más han crecido y que presenta mayores aplicaciones a nivel industrial.

9.1 LA INSPECCIÓN CON VISIÓN ARTIFICIAL

La inspección es el proceso mediante el que se establece si un producto (objeto, artículo, parte) cumple conjunto determinado de especificaciones técnicas. Se trata por tanto de una **tarea de control de calidad**, que conlleva normalmente medición de dimensiones geométricas o la verificación de características específicas tales como acabado superficial, figura, color o la integridad en el ensamblado.

A veces se dice que la inspección es un parche para líneas de fabricación donde no hay un buen control del proceso. Sin embargo, lo cierto es que en la actualidad existen **procesos de fabricación que son muy complejos**, con múltiples etapas donde es inevitable la aparición de sucesos aleatorios como desajuste o desgaste de herramientas, pequeñas variaciones en la materia prima, etc.

9.1.1 La necesidad de inspección en líneas industriales

Hay dos razones fundamentales para llevar a cabo la inspección en línea: evitar la llegada de **artículos defectuosos** al cliente o al proceso siguiente y la **adquisición continua de datos** que facilitarán la mejora del sistema productivo.

La inspección en línea puede realizarse en un **proceso intermedio de fabricación y al final**. En el primer caso la inspección proporciona la información necesaria para determinar si las operaciones realizadas en esa etapa se han llevado a cabo dentro de las tolerancias especificadas, estableciendo si el proceso de ensamblado está bajo control o si las herramientas están gastadas o rotas. Esta inspección se muestra por tanto, dirigida al proceso, y tiene por objeto **evitar que ocurran roturas o atascos** en la maquinaria con la consiguiente interrupción del proceso productivo. La inspección en una fase intermedia permite también un aprovechamiento de los recursos ya que supone la detección de productos defectuosos y su **rechazo inmediato**, salvando los costes que supondría el seguir trabajando sobre elementos defectuosos que finalmente deberán ser rechazados a la salida de la cadena de fabricación.

Frente a la inspección en un proceso intermedio, existe la más tradicional inspección del producto **al final del proceso de fabricación**. Esta se lleva a cabo de forma más exhaustiva y tiene por objeto **determinar la validez del producto**. La inspección final proporciona también una información valiosa que, estadísticamente, permite determinar tendencias en el proceso de fabricación que resultan muy útiles para detectar algunos problemas de la maquinaria que interviene en el proceso.

Tanto la inspección final como la de proceso se han llevado a cabo con ciertas garantías **sin necesidad de revisar la totalidad de la producción**. La toma adecuada de unas muestras permite una vez analizadas generalizar sobre la calidad del lote del que fueron tomadas. Sin embargo, este tipo de inspección sólo es eficaz si las perturbaciones sobre el proceso de fabricación varían lentamente con el tiempo y de cualquier forma no permite la retirada de los artículos defectuosos. Por ello muchos fabricantes, para aumentar la competitividad de su producto en mercado, desean una inspección final del 100% de la producción. Los proveedores que emplean técnicas *just-in-time* tienen una especial necesidad de una inspección total para satisfacer a las industrias receptoras, cada vez más reacias a aceptar productos que deban ser chequeados a la entrada. La inspección 100% es de cualquier forma deseable pues los costes de una calidad pobre pueden alcanzar en algunos casos hasta el 20% de las ventas totales.

9.1.2. Ventajas de la visión artificial en la inspección

La fuerte competitividad en el mercado internacional ha hecho que los países más industrializados inviertan cada vez más recursos en automatizar la inspección en línea introduciendo sistemas de visión artificial. No obstante, todavía existen muchas líneas donde la inspección es llevada a cabo por los tradicionales operadores humanos. En líneas de baja producción y con productos con gran variabilidad los humanos todavía compiten con las máquinas por diversos motivos:

- El sistema visual humano presenta una gran habilidad para desenvolverse en un mundo muy cambiante y **adaptarse a tareas muy diversas**.
- Los seres humanos pueden alcanzar una alta eficiencia en el proceso de inspección combinando la vista con el **sentido del tacto**. Además las manos de un operario ofrecen un sistema ideal para la manipulación de objetos a inspeccionar permitiéndole retirar aquellos defectuosos o clasificarlos trasladándolos.
- La extrema versatilidad del sistema visual humano que en conexión con la **inteligencia** permite la detección de variaciones irrelevantes en una imagen.

A pesar de estas posibilidades, la inspección con operadores humanos tiene muchos inconvenientes:

- Diferentes individuos evalúan de diferente forma; la **objetividad no esta garantizada** mediante operadores humanos, no se puede pretender de esta forma tener una salida de productos con calidad uniforme.
- Las prestaciones de los operadores humanos bajan espectacularmente en **tareas repetitivas** como es el proceso de inspección visual que requiere observar sistemáticamente el mismo tipo de escena.
- En el objetivo de alcanzar la inspección del 100% de la fabricación, la inspección visual con operadores dispara los crecientes **costes laborales**.
- Los inspectores humanos no son fáciles de encontrar en el mercado laboral y de mantener en una industria. Además su capacitación requiere de entrenamiento y tiempo para desarrollarse.
- En casos donde la planta no es accesible a personas por su **hostilidad** o donde la velocidad de movimiento de los artículos es muy elevada, la inspección con operarios no es posible.

- El almacenamiento de información acerca de la producción para un posterior **análisis estadístico** que resultará muy valioso para la toma de decisiones solo es posible empleando métodos automáticos;

Las tareas de inspección en línea parecen mucho más adecuadas para ser realizadas por un sistema automático que por inspectores humanos. **Los sistemas de visión artificial poseen ese grado de precisión y repetibilidad** de que el ojo humano carece o es incapaz de mantener durante un periodo prolongado de tiempo. Además de un incremento en la calidad, la inspección visual automática supone una reducción clara de los costes laborales.

Los sistemas de visión artificial también presentan ventajas frente a otros sistemas de inspección automáticos que precisan de contacto con la pieza, y es necesario que esta sea parada, cuidadosamente posicionada y reposicionada varias veces. **La visión artificial elimina la necesidad de parada de línea y posicionamiento preciso.** Además puesto que las operaciones de captación de imagen carecen de contacto alguno no existe riesgo de dañar el producto durante la inspección.

No obstante, no hay que caer en el error de muchos de los entusiastas de la visión artificial en las pasadas décadas. Aunque el progreso durante los últimos años en los sensores de adquisición de imagen, en el hardware y la algorítmica ha mejorado la fiabilidad y prestaciones de los sistemas de visión, es muy recomendable un **escepticismo sano**. Es preciso que el responsable de la implantación de un sistema de visión conozca las limitaciones de los algoritmos y lo que la tecnología de visión automática puede o no puede hacer.

9.2 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE VISIÓN INDUSTRIAL.

Hoy día es indudable que la visión artificial se presenta como una tecnología con enormes ventajas pero se ha tardado mucho en llegar a esta situación de madurez. El motivo fundamental ha sido que en muchas aplicaciones no se apreció el límite existente entre la industria y el centro de investigación. Independientemente de las brillantes prestaciones que pueda presentar un proceso de inspección visual en un laboratorio de procesamiento de imagen no puede transformarse en el núcleo de control de un sistema de inspección hasta que el **sistema sea capaz de trabajar en un entorno de producción**. Y esto significa: robustez, fiabilidad, precisión, velocidad, costes, disponibilidad de servicio técnico y flexibilidad. Estos factores siguen siendo críticos en las aplicaciones industriales de los sistemas de inspección visual automática.

9.2.1 Robustez.

Un sistema de inspección industrial además de presentar una **buena esperanza de vida debe funcionar con robustez**, es decir, deber ser insensible a las perturbaciones aleatorias que aparecen en el entorno industrial (cambios en la posición del producto, ligeras variaciones en la apariencia, variaciones en la iluminación, etc.). Cuando un sistema de visión no es robusto, requiere de una sintonización humana continua que hace que en realidad sea el usuario el que está indirectamente realizando el análisis y reconocimiento de imagen.

Los operadores humanos, aunque están sujetos a fatiga y pérdida de concentración, en condiciones normales resultan difícilmente superables dentro del apartado de la robustez. La capacidad de reconocimiento humano en entornos variables no será alcanzada en un futuro inmediato por los programas de reconocimiento de patrones. No obstante, en líneas industriales donde las variaciones del entorno son muy limitadas se pueden desarrollar con éxito aplicaciones sin pretender alcanzar las capacidades del sistema visual humano.

9.2.2 Fiabilidad.

El sistema de visión debe llevar a cabo la tarea de inspección con un **índice muy bajo de errores de reconocimiento**. Este índice de errores hace referencia no sólo a la *tasa de escape* (productos defectuosos dados por aceptables) sino también a las *falsas alarmas* (productos aceptables dados por defectuosos). Un

TETBT1 0 0 1 120.1 09 (pr)-3(og)16nrr-3((pr)-3una3((pr)-3e9(l)-4(e)9(s)11(ara)-2()-621t)-4(a)9(ra)-3(r)

suficientemente alta. Las cámaras CCD convencionales (640x480) pueden resultar insuficientes, teniendo que ir a sensores de mayor resolución (hasta 16 MPíxeles en la actualidad). La resolución puede ser todavía mayor con sensores lineales pero para obtener una imagen bidimensional es necesario el movimiento controlado del objeto respecto a la cámara.

9.2.4 Velocidad.

Los requerimientos de velocidad son muy **variables** dependiendo de la aplicación. La velocidad de las aplicaciones industriales va desde la inspección de comprimidos farmacéuticos donde deben inspeccionarse hasta treinta comprimidos por segundo hasta otras en las que un artículo se inspecciona durante más de medio minuto, como la inspección de carrocerías de automóviles o grandes tarjetas de circuitos impresos. En general, se puede decir que el proceso de inspección debe llevarse a cabo a una velocidad acorde con la velocidad con la que los objetos pasan por la línea de producción. El sistema de visión no puede ser nunca el cuello de botella del proceso de fabricación.

9.2.5 Disponibilidad de servicio técnico.

En una industria todo equipo necesario para la producción tiene que presentar unas características que le hagan **rápidamente reparable o sustituible** ante cualquier eventualidad. Los equipos de procesamiento de imagen, generalmente no resultan muy familiares al personal de mantenimiento de una factoría normal y es imprescindible la presencia de personal cualificado para su manipulación. Esto obliga a que en caso de fallo en el funcionamiento del sistema de visión, debe poderse disponer en un corto espacio de tiempo de técnicos de la casa suministradora. En la actualidad con el aumento del mercado de este tipo de sistemas ha mejorado significativamente la asistencia técnica.

9.2.6 Flexibilidad.

Los operadores humanos son muy flexibles en el sentido de que pueden reconocer defectos que se presentan por primera vez. Sin embargo, la práctica totalidad de los **sistemas de inspección visual automática construidos están enfocados a la detección de unos fallos concretos**. El detectar automáticamente defectos imprevistos resulta difícil pues no están descritos por parámetros explícitos. No obstante, es muy recomendable que los sistemas estén diseñados de forma que resulten fácilmente adaptables a la detección de nuevos

defectos, a cambios en las piezas, o incluso tareas de inspección completamente nuevas. Fácilmente adaptable significa que sistema pueda ser reprogramado por un operador no entrenado para ser acoplado a la inspección de nuevas etiquetas, piezas o fallos.

En líneas donde se fabrican lotes de productos distintos, es recomendable que los algoritmos de procesamiento de imagen **cambien sus parámetros automáticamente** para adaptarse a cada cambio de fabricación. La información del cambio de producto puede obtener mediante comunicación del sistema de procesamiento de imagen con el sistema informático de fabricación o bien a partir de la imagen adquirida. El sistema de visión operará así de una forma completamente autónoma, sin ningún tipo de intervención humana ni pérdida de tiempo de arranque.

9.2.7 Coste.

No son sólo los costes intrínsecos de los sistemas de inspección consistentes en el sensor de imagen y el procesador los que hay que considerar. Las líneas de fabricación precisan de **soluciones completas** que incluyen la manipulación y clasificación de los objetos calculando ellos la utilidad del sistema completo. La manipulación de las piezas para la adquisición de imagen y para la clasificación supone una parte muy significativa de los costes de instalación totales. Si la manipulación debe realizarse manualmente, la inspección por computador tendrá muy pocas posibilidades, y casi con toda probabilidad, deberá llevarse a cabo también por un operador humano.

Aunque el aspecto económico no es crucial en algunas aplicaciones críticas, donde el más mínimo fallo es inaceptable, o en entornos hostiles donde no existe la opción de inspeccionar con operadores, normalmente el coste tiende a ser el primer criterio para la viabilidad. Si los costes de instalación son tan altos como los costes del procedimiento convencional por operador humano, sólo las mejoras en la calidad y seguridad y, por tanto, en la imagen de la empresa justificarán la instalación de un sistema de inspección visual automática (y sólo si los costes de operación y mantenimiento son suficientemente bajos).

La visión artificial, como cualquier tecnología avanzada, está sometida a un fuerte ritmo de innovación que hace que el coste de los equipos manifieste una tendencia hacia el abaratamiento. No es sencillo en la actualidad hacer una estimación general del coste y rentabilidad económica de estos equipos porque existen muy pocas soluciones estándar. Sin embargo, sí que podríamos clasificar los equipos de visión en tres grandes grupos que corresponderían a

bajo, medio y alto coste dependiendo de la resolución, velocidad de procesamiento, flexibilidad del software y los sistemas mecánicos y electrónicos que conlleve su integración en la línea.

- **Bajo coste**

Bajo este epígrafe se sitúan los sistemas constituidos por cámaras inteligentes o los equipos integrados compactos. Estos sistemas permiten la programación de muchas aplicaciones como verificación de presencia y posición de etiquetas, presencia de fecha de caducidad, falta de tapones en botellas, falta de artículos en el empaquetado, control del nivel de líquido en botellas y envases transparentes,...Los costes de estos sistemas oscilan entre los 3.000 € y los 9.000 €. Son sistemas que tienen sus limitaciones pero que permiten resolver muchas aplicaciones con una programación sencilla.

- **Medio coste**

Son sistemas basados en PC que pueden incluir varias cámaras. En este caso normalmente es un PC con sistema operativo Windows el que se encarga de llevar a cabo el procesamiento. Se trata de una solución que es especialmente flexible porque permite a la empresa disponer de un entorno para la reconfiguración que le resulta familiar (Windows) y al proveedor del sistema de visión elegir libremente los componentes que más se adecuan a la aplicación e integrarlos en esta plataforma. El coste de estos sistemas oscila entre 6.000 € y 60.000 €

- **Alto coste**

Son sistemas de altas prestaciones que requieren invertir mucho tiempo en su desarrollo. El procesamiento se lleva a cabo en un PC industrial o un computador con bus VME. Este tipo de soluciones puede superar los 120.000€.

Costes de calidad

Los costes de calidad se describen en la norma ISO 9004. Los costes de calidad se pueden evaluar como la suma de los costes empleados en la prevención de fallos, en la inspección y los costes de los defectos.

Costes de prevención de fallos:

- Planificación de la calidad antes de comenzar la fabricación
- Planificación de las inspecciones
- Control de procesos y aseguramiento de la calidad
- Estadísticas de calidad
- Programas de promoción de calidad.

Costes de inspección

- Coste de formación de los operarios involucrados en la tarea de inspección
- Personal que se dedica a inspecciones intermedias
- Personal que se dedica a inspección final del producto
- Análisis de laboratorio

Costes de los defectos

- Coste de material bruto desechado
- Costes de producción
- Costes por atascos y averías de productos defectuosos
- Costes de inventario
- Costes de almacenamiento
- Costes de reprocesamiento
- Personal que se dedica a atender devoluciones y reclamaciones
- Indemnizaciones
- Penalizaciones

Tabla 1. Costes de Calidad

A la hora de evaluar la rentabilidad de una aplicación de visión artificial es preciso considerar los costes de calidad del proceso. El ahorro proporcionado por un sistema de inspección automático en muchos de los apartados expresados en la tabla no es fácil de evaluar a simple vista: mejora de la imagen de la marca, ahorro en penalizaciones, ahorro en indemnizaciones, mejor defensa ante demandas fraudulentas,... Además, cualquier estimación de la rentabilidad debería recoger los posibles efectos que podría tener el producto defectuoso no sólo en el mercado sino también en la línea de producción (atascos con paradas de línea, averías, costes de material,...)

El **plazo de amortización** dependerá de cada tipo de aplicación, pues cada sistema es un caso distinto. La amortización estará en función del rendimiento que se obtenga y del número de horas diarias que se haga trabajar a los equipos. En una planta de producción con dos o tres turnos, el plazo de amortización de los equipos se reduce. Desde este punto de vista, la inspección automática es especialmente adecuada para las aplicaciones de gran volumen de producción que requieren una calidad consistente.

Normalmente, la mayor parte de los equipos se amortizan el primer año de su instalación e incluso los equipos más caros se amortizan en un plazo inferior a tres años. Por tanto, aunque inicialmente puede parecer una inversión cara, no lo es considerando que en general se produce una amortización en un tiempo corto y que, en muchas ocasiones, resuelve problemas que no pueden ser solucionados con equipos convencionales.

Rentabilidad de un Sistema de Inspección con Visión Artificial

Consideremos, a efectos de calcular la rentabilidad y tiempo de amortización de un sistema de visión, la instalación de un equipo genérico que tiene un coste de 60.000 € y que permite sustituir el trabajo realizado por tres inspectores. Analicemos los costes asociados al procedimiento manual y al automático.

COSTES ANUALES ASOCIADOS AL PROCESO DE INSPECCIÓN CON OPERADORES HUMANOS

Coste de operarios de inspección (3 operarios x 18.000 €/año)	54.000 €
Coste ; artículos desechados internamente	5.000 €
Costes por productos devueltos y reclamaciones	6.000 €

TOTAL Coste Anual 65.000 €

COSTES ANUALES ASOCIADOS AL PROCESO DE INSPECCIÓN CON VISIÓN ARTIFICIAL

Coste de Adquisición del Sistema:

Componets (d)-5(el)-3(s)3ijsteme ro de sofare eameios Mcens ntgración	f5.000 €
---------------------------------------------------------------------------------	----------

9.3 OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Las **tareas de un sistema de visión artificial** en un proceso industrial de inspección son:

1. **Detección de anomalías.** Naturalmente, la inspección visual automática sólo es viable si las anomalías muestran alguna característica visual. Los defectos pueden variar desde un abrupto cambio local en la intensidad de la imagen hasta una sutil variación en la textura. El rango de variación de tamaño puede ir desde una fracción de milímetro hasta decenas de centímetros. Es muy importante que el sistema de iluminación proporcione el máximo contraste y la máxima relación señal/ruido para apreciar con claridad los detalles de interés.
2. **Clasificación de las anomalías detectadas.** La identificación de los defectos detectados se apoya en algún tipo de clasificador que haga uso de rasgos visuales para distinguir entre diferentes tipos de defectos. Estos rasgos pueden ser propiedades geométricas, como la forma y el tamaño y/o propiedades fotométricas relacionadas con la intensidad de la imagen.
3. **Generación de salidas.** Una vez identificadas todas las anomalías, el último paso de la inspección visual automática consiste en generar algún tipo de salida útil. Puede ser una señal que active un mecanismo expulsor, una entrada a un canal de clasificación, una señal para llevar a cabo una acción correctiva en el proceso de producción, etc.

De acuerdo con las características a inspeccionar en el producto o proceso los sistemas se pueden clasificar en:

1. Inspección de la calidad superficial
2. Inspección dimensional
3. Inspección de ensamblaje correcto, integridad del conjunto, ...
4. Inspección de funcionamiento correcto

A pesar de las diferencias en la naturaleza de las distintas categorías, todas ellas se reducen básicamente a la acción de confirmar unos estándares de satisfacción que en la mayoría de los casos es una decisión binaria (aceptación/rechazo)

9.4 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La inspección visual es una tarea de creciente importancia para el control de calidad y para la monitorización de procesos. En este capítulo se ha expuesto la necesidad de estos sistemas en las líneas de fabricación modernas caracterizadas por su alto grado de automatización y alta producción. También se han contemplado los factores que condicionan su viabilidad en un entorno industrial incluyendo lógicamente el coste económico. Incluiremos ahora unas últimas consideraciones finales.

9.4.1 Productos y entornos difíciles

Los sistemas de inspección visual automática se caracterizan frente a otras aplicaciones de la visión artificial porque existe un gran conocimiento a priori acerca de las imágenes que adquirirá el sistema de visión industrial, lo que facilita el proceso de inspección automática. Una gran variabilidad en los defectos como terminaciones de mala calidad, brillos extraños, manchas, derivas en los colores o texturas, impurezas, burbujas,... disminuyen el grado de fiabilidad del sistema, al tratarse muchas veces de fallos mal definidos y que no pueden ser previstos. El criterio de rechazo de estos defectos es con frecuencia subjetivo, haciendo difícil la detección automatizada.

Se considera como regla general para integrar un sistema de visión artificial en una línea de producción que **las condiciones de inspección deben ser constantes y que el criterio de inspección debe ser claro**. Las variaciones continuas en el entorno de fabricación incrementan los costes necesarios hasta el punto que pueden originar que el proyecto sea no viable. El obligado estudio de viabilidad debe ser especialmente minucioso en:

- Inspección en líneas con muchos productos distintos, productos con mucha variabilidad o con muchos tipos de fallos.
- Entornos industriales agresivos: aceites, polvo, niebla, vibraciones y calor.
- Productos con superficies muy brillantes y especialmente con metales pulidos.

9.4.2 Conviene contemplar otros sensores

Otra cuestión importante es que hay que evitar la aplicación de equipos de visión artificial porque sí. Muchos especialistas en visión por deformación

profesional lo hacen. Existen muchas otras posibilidades disponibles y muchas de ellas más baratas que la visión. Por ejemplo, el control de nivel de líquido, la diferenciación por colores en botellas PET, la detección falta de producto, etc puede hacerse utilizando sensores láser y capacitivos.

9.4.3 Formación de los operarios

Para lograr el éxito en una aplicación de visión es importantísimo que los trabajadores adopten el sistema como suyo; si no la instalación estará abocada al fracaso. Cuando el sistema es percibido como una mejora para el operario, como una herramienta que le permite hacer mejor su trabajo y de forma más sencilla, las posibilidades del sistema automático se multiplican. Por tanto, una formación adecuada es fundamental. El ingeniero debe concienciar a los operarios de que el sistema de visión trabaja en cooperación con ellos y en su propio interés, no contra ellos.

Durante la formación se adiestrará a los operarios a manipular el interfaz gráfico del sistema para poder reprogramar nuevos productos o fallos. Se debe convencer a los operarios de que no se deben hacer ajustes internos al sistema puesto que éstos requieren de conocimientos muy especializados de óptica, iluminación, cámaras o algoritmia.

9.4.4 Recepción del sistema

En el momento en que se entrega el sistema de visión artificial hay que cuantificar la capacidad del sistema para demostrar que se han alcanzado las especificaciones previstas. La precisión, repetitividad, robustez, detección de características y tolerancia a las variaciones del producto deben ser medidas y contrastadas. Todas las demostraciones deben ser seguidas por el ingeniero responsable de la aplicación en la planta.

La entrega de la instalación deberá ir acompañada de la **documentación** del sistema. La documentación es una parte esencial del sistema. Un sistema de visión no sobrevivirá por mucho tiempo sin una buena documentación.