

XIV JORNADAS de AUTOMÁTICA



**La Manga Club de Golf
Cartagena (22, 23, 24 Septiembre 1993)**

Organiza: Departamento de Informática y Automática.

**Subvencionan: Instituto de Fomento, Iberdrola, Instituto Murciano de
Tecnología, E.T.S.I.I. y E.U.P. de la Universidad de Murcia**

INSPECCION AUTOMATICA DE SUPERFICIES: VISION ARTIFICIAL Y OTRAS TECNICAS

Carlos Fernández*, Carlos Platero*,
Pascual Campoy*, Rafael Aracil*

* División de Ingeniería de Sistemas y Automática (DISAM)
Univ. Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal, 2 28006 Madrid
Tel: +34 1 336 30 61 Fax: +34 1 564 29 61
E-mail: cfernandez@disam.upm.es

Se describe una arquitectura general, junto con una metodología, para la detección y análisis de defectos en superficies producidas en proceso continuo. La exigencia de inspección en tiempo real del 100% del producto, junto con las características de inspección en una superficie con textura fuerzan el desarrollo de algoritmos optimizados de detección y clasificación, así como de arquitecturas con un elevado grado de paralelismo para procesado de imágenes con alta velocidad.

1 Introducción.

La tarea de inspección de superficies constituye habitualmente un cuello de botella en muchos procesos industriales [1] entre los cuales cabe destacar: laminación de acero, producción de plásticos, producción de papel y cartón, producción de tableros de madera, pintado de superficies, ... [2]. Una de las tareas que presentan mayor dificultad dentro de la inspección visual automatizada es la de inspeccionar la apariencia visual [1]. Esta es encargada, en la mayoría de las ocasiones, a inspectores humanos. El sistema de visión humano es adecuado para su funcionamiento en un mundo de variedad y cambio, mientras que el proceso de inspección visual requiere la observación de una escena repetida de forma que se puedan detectar anomalías. La exactitud del sistema humano de visión empeora con el trabajo repetitivo y monótono. El resultado es una inspección lenta, cara y errática. La inspección visual automatizada es, obviamente, la alternativa a los inspectores humanos.

2 Aspectos a considerar para la Inspección de Superficies.

Como se ha especificado con anterioridad, la inspección de la apariencia de una superficie (presencia de defectos, textura, acabado, ...) es un problema complejo, complejidad que varía dependiendo de factores tales como: material del que se compone la superficie, acabado superficial, velocidad del producto a inspeccionar o la naturaleza de los defectos. En lo que sigue se expondrá la influencia de cada uno de estos factores y se detallará la aplicación en la inspección de lámina de

aluminio obtenida en proceso continuo.

2.1 Influencia del material a inspeccionar.

La naturaleza del material a inspeccionar condiciona en muchos casos la técnica de inspección utilizada.

Técnicas de visión artificial. Sin duda las más extendidas debido principalmente al gran desarrollo alcanzado por el hardware para procesamiento de imágenes. Presentan las ventajas de simular el comportamiento de los inspectores humanos, inspección sin contacto físico, alta velocidad de inspección -inspección del 100% de producto a velocidades de hasta 1000 m/min.-; el complejo proceso de interpretación de imágenes se ha reducido en tiempo con la incorporación a los sistemas de inspección de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial -sistemas expertos o redes neuronales-. Aparte del uso más extendido en el análisis de defectos superficiales,, se usa la visión artificial para la detección de defectos internos del material cuando su naturaleza lo permite, v.g., inspección por luz transmitida por materiales translúcidos, inspección por absorción de líquidos penetrantes en materiales porosos, ...

Técnicas de ultrasonidos. Útiles en inspección a baja velocidad cuando el material a inspeccionar presenta alteraciones dimensionales o de homogeneidad. Seleccionando bien los patrones puede conseguirse una buena precisión.

Técnicas termográficas. Usadas en la inspección de materiales en los que la falta de uniformidad en la temperatura superficial es indicativa de defecto. Problemas con diferencias de emisividad por alteraciones de color pueden dar al traste con la fidelidad de la inspección.

Técnicas láser. Usadas en inspección dimensional con alta resolución; obtención de dimensión 3D de la superficie con gran precisión. No aportan información sobre apariencia superficial.

2.2 Acabado superficial.

El acabado superficial condiciona, en inspección mediante técnicas de visión artificial, los algoritmos de inspección e, incluso, el tipo de cámara usado.

2.1.1 Acabado superficial fino.

Es un acabado típico de metales laminados, superficies pintadas, materiales composites, ... Presentan una dispersión de niveles de gris extremadamente pequeña dada la apariencia homogénea. En estos casos es ventajoso el uso de segmentación con técnicas basadas en umbral[3].

Si la superficie presenta movimiento (caso de la producción en continuo) el uso de cámaras lineales muestra ventajas frente a las cámaras matriciales debido al tratamiento hardware de discontinuidades que éstas proporcionan. Bandas de hasta 2 m de anchura pueden ser inspeccionadas mediante una sola cámara CCD lineal con resoluciones de 2 pix./mm [19].

2.1.2 Acabado superficial presentando textura.

La dimensión visual de textura, aun sin definición precisa [10], es algo observable en forma de un conjunto de niveles de gris -medio, máximo, mínimo- en el vecindario que contiene al patrón o texel [20]. Las imágenes tomadas de superficies como las de metales conformados, materiales

naturales -madera, corcho,...- no pueden ser procesadas mediante técnicas de umbral debido a la infinidad de discontinuidades que presentan. Se muestran a continuación dos alternativas en el procesamiento:

- * Algoritmos basados en similitud. Estudio del vecindario de un píxel con el fin de determinar la presencia de situación anómala. Técnica útil cuando la textura es única y el defecto supone una alteración significativa -observable- de la misma.
- * Algoritmos basados en análisis textural. Identificación de los patrones texturales 2D y búsqueda de discontinuidades en la distribución espacial de los mismos. Técnica útil en inspección de baja velocidad en superficies que no presentan una textura única.

En la inspección de superficies con textura las cámaras matriciales muestran mejor rendimiento que las lineales puesto que los algoritmos usados exigen procesamiento en entorno de vecindad. Aunque se frecuentemente argumenta el peor funcionamiento de éstas en inspección de productos continuos a gran velocidad la incorporación de obturadores electrónicos de hasta 1/10000 s. ha solventado en gran medida este handicap.

2.3 Volumen de Datos.

El volumen de datos resultante de la adquisición de imágenes condiciona el hardware necesario para la inspección:

- * Flujo de datos < 500 Kbytes/s. Posibilidad de uso de tarjetas de procesamiento de imágenes para bus PC con DSP's de bajo rendimiento.
- * Flujo de datos < 5 Mbytes/s. Paralelismo de tarjetas de procesamiento de imágenes sobre bus PC. Uso de tarjetas específicas con DSP's de alto rendimiento.
- * Flujo de datos > 5 Mbytes/s. Paralelismo a gran escala sobre buses de alta velocidad/capacidad (VME). Uso de transputers.

2.4 Naturaleza de los defectos.

La naturaleza de los defectos presentes en la superficie condiciona el tipo de análisis y el método de clasificación empleado.

* Análisis de defectos. Dependiendo de la periodicidad en la aparición de los defectos -si se conoce- así como de la persistencia de los mismos una vez aparecidos, será posible o no un análisis off-line de los mismos. En la inspección de productos producidos en continuo es deseable un mínimo almacenamiento de imágenes conteniendo defecto para un análisis posterior -preferiblemente nulo- habida cuenta del coste que supone la disponibilidad de medio físico para almacenamiento a gran escala, así como la penalización en tiempo que implican los procesos de lectura/escritura por parte de los dispositivos de procesamiento.

* Clasificación.

. En defectos susceptibles de ser representados por primitivas estructurales es posible el uso de métodos sintácticos para su clasificación: métodos basados en reglas en combinación con Sistemas Expertos; redes neuronales generadoras/reconocedoras de gramáticas a partir de primitivas estructurales.

. En defectos de difícil caracterización por primitivas estructurales -texturas semideterministas o no deterministas- es necesario el uso de métodos de decisión teórica: análisis multivariante o factorial, redes neuronales.

3 Aplicación: Inspección Superficial de Plancha de Aluminio obtenida en Proceso Continuo.

La obtención de una plancha de aluminio de 7mm de espesor a partir de aluminio colado es el resultado de un proceso altamente optimizado en el que se usa una línea compacta en donde la lámina de aluminio se obtiene directamente a partir del metal fundido al contacto de éste con los rodillos de moldeo. El mantenimiento de este proceso bajo control implica: conocimiento de la distribución de temperaturas en la plancha inmediatamente después de los rodillos de moldeo, medida del perfil -tanto longitudinal como transversalmente-, la detección y clasificación de defectos superficiales que aparecen durante el proceso, así como la determinación del acabado superficial.

El trabajo de inspección visual automatizada aquí presentado forma parte del Proyecto BRITE "On-line Quality Control of Strip Cast Aluminum Alloys".

3.1 Especificaciones para la tarea de inspección.

Las especificaciones para el sistema de visión encargado de la inspección de la superficie del aluminio relativas a resolución, tiempo de procesamiento y modo de operación vienen determinadas por el mínimo tamaño de los defectos, tasa de producción y frecuencia de los defectos, siendo respectivamente:

* Tamaño mínimo de los defectos: 1 mm^2 . Esto fuerza una resolución mínima de 2 pix/mm [5].

* Especificaciones de producción: Inspección por ambas caras de una plancha de 1680 mm de anchura y una velocidad máxima de 2m/s.

* Los defectos pueden aparecer en cualquier momento; pueden ser del tamaño de 1 mm^2 o pueden extenderse por cientos de mm^2 , pueden ocupar porciones pequeñas de la banda o pueden aparecer durante minutos sin interrupción. La detección del defecto, así como su caracterización para posterior clasificación han de hacerse on-line, es decir, no existe la posibilidad de almacenar imágenes conteniendo defectos para un análisis posterior.

Las especificaciones incluyen, asimismo, la necesidad de modularidad del sistema desarrollado; dicha modularidad deberá permitir la transportabilidad del sistema siendo adaptable en cuanto a resolución -número de cámaras- y flujo de datos -paralelismo-.

4 Sistema de Inspección Visual.

Se ha desarrollado un sistema de Visión Artificial apropiado para la inspección superficial de superficies planas producidas en continuo; incluye: Sistema de iluminación; Dispositivos de adquisición; Módulo de detección de defectos; Módulo de determinación de acabado superficial y Módulo de extracción de características.

4.1 Sistema de Iluminación.

Los defectos en superficies metálicas se caracterizan por alteraciones en la micro-estructura superficial. En la frontera aire-metal la luz sufre un fenómeno de dispersión; la luz que alcanza esta interfase se transmite o se refleja; cuanto mayor rugosidad presenta la superficie mayor es el índice de dispersión [4]. Puesto que los defectos que aparecen en las superficies metálicas suponen una alteración material de las mismas, la observación de la componente especular de la luz reflejada da como resultado la detección de defectos cuando la cantidad de luz dispersada varía como resultado de tales alteraciones en la superficie.

Se ha desarrollado un simulador de iluminación de forma que es posible la obtención de la configuración óptima para la geometría del sistema de iluminación. En lugar de los modelos de óptica física de Beckman-Spizzichino [7] -que no se muestran muy adecuados cuando la longitud de onda de la luz incidente no es despreciable frente a las dimensiones de las imperfecciones superficiales- se ha optado por los modelos de óptica geométrica de Torrance-Sparrow[8][9].

La reflexión especular producida por las superficies rugosas debe ser modelada por medio de modelos de reflectancia, esto es, usando la óptica geométrica, la cual usa la corta longitud de onda de la luz para simplificar el análisis del problema de reflexión. Las superficies rugosas -los metales conformados a partir de fundición pertenecen a este tipo- esparcen la luz en múltiples direcciones, de forma más importante en la dirección de conformación. Para describir la superficie se ha adoptado un modelo matemático basado en una distribución estadística de altura respecto a un nivel medio, h , que se ha considerado nulo.

Con este modelo se observan tres clases de componentes de la luz reflejada: aureola difusa, aureola especular y máximo especular. La aureola difusa no muestra cambios significativos con la aparición de defectos, mientras que los dos últimos componentes sí lo hacen; por tanto, de su observación resulta un realce óptimo de los defectos.

4.2 Adquisición de imágenes.

Se han adoptado cámaras CCD matriciales como las más apropiadas para la aplicación principalmente por dos razones: la velocidad máxima de la banda no supera los 2m/s lo que permite tiempos de adquisición de hasta 10 ms y la necesidad de procesamiento en entorno de vecindad, puesto que la superficie presenta una notable textura lo que no permite procesamiento basado en umbral -la principal ventaja de las cámaras lineales-. Se han elegido cámaras matriciales de mediana resolución -752 x 528 pixels- y la adquisición se lleva a cabo con una resolución de 2 pix/mm.

4.3 Módulo de detección de defectos.

Cada imagen que se obtiene de la plancha de aluminio se analiza con el fin de determinar dos tipos de situaciones anómalas:

- * Presencia de puntos aislados que presentan alta frecuencia espacial.
- * Presencia de zonas en la plancha de aluminio que presentan diferencias en la distribución de niveles de gris.

Es necesario realizar un análisis local debido a la alta rugosidad que presenta el aluminio; puntos claros aparecen entremezclados con otros más oscuros; algunos defectos no producen una variación significativa en los valores absolutos de nivel de gris, sino que producen una alteración en

la distribución espacial de los mismos.

4.3.1 Patrón de luz y media local.

El algoritmo de detección desarrollado considera la falta de uniformidad de la distribución de intensidades a lo largo de área inspeccionada; de esta forma es posible el procesado de imágenes tal y como provienen de las cámaras sin necesidad de corrección de los niveles de gris; dada la necesidad de ejecución en tiempo real, se han programado un mínimo de operaciones que incluyen:

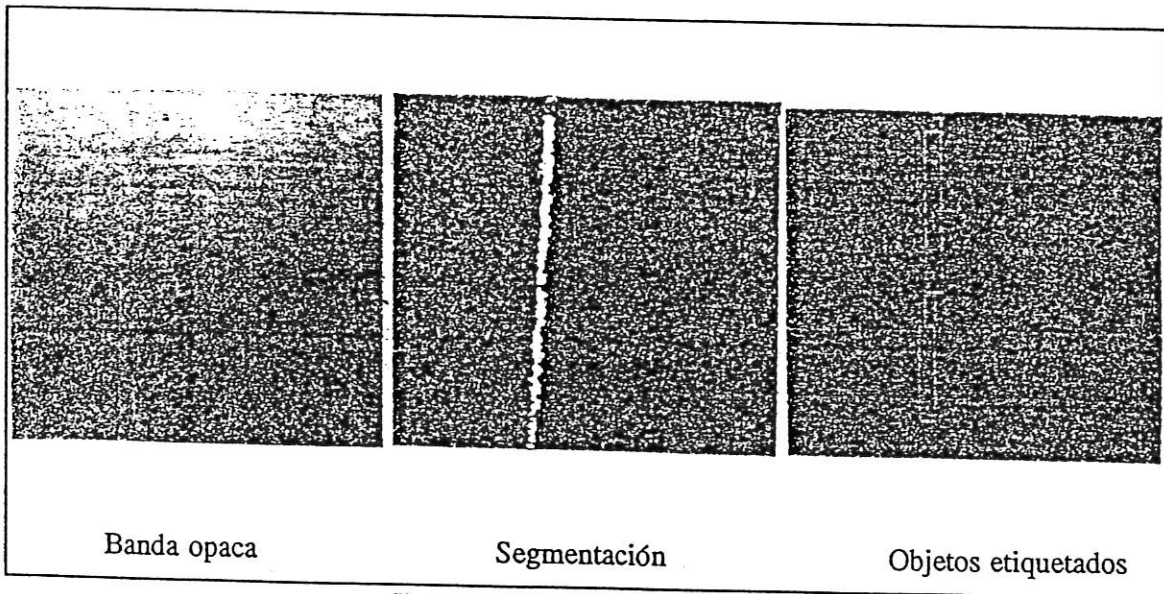
- * Media en entorno de vecindad, con prioridad para uno de los vecinos; esto permite la detección de puntos aislados de elevada frecuencia espacial sin penalizar la detección de macrodefectos de intensidad menos relevantes.

- * Comparación local con patrón de iluminación, lo cual permite una detección de defectos que presentan apariencia "clara" u "oscura".

- * Operaciones morfológicas -conexiones N-S E-O- para la reducción de ruido. Esto resulta en una detección de defecto en la cual aparece un número de objetos relativamente bajo, lo cual propicia un rápido análisis posterior.

El patrón de iluminación es renovado en cada ciclo con el fin de eliminar los efectos producidos por desgaste en las lámparas, presencia de polvo, envejecimiento los dispositivos ópticos de las cámaras o variación en los niveles de luz natural en la planta.

La ilustración 1 muestra la detección de un defecto real en la banda. En la izquierda aparece el defecto -mala cristalización-; en el centro aparece el defecto segmentado y en la derecha se pueden apreciar los rectángulos, en azul, que engloban a los objetos. Aunque éstos no se ven, se encuentran etiquetados con valores de 1 a 255.



Ilustr. 1. Detección de defecto.

4.4 Medida del acabado superficial.

Debido a las características del proceso, tales como la aleación de aluminio usada como al

desgaste de los rodillos de conformado, la rugosidad superficial del aluminio puede variar desde 65 micropulgadas cuando los rodillos son nuevos hasta las 100 micropulgadas cuando se hace necesario sustituir los rodillos. Cuando la rugosidad alcanza las 75 micropulgadas es necesario que el sistema de inspección lance una señal de aviso. El incremento de rugosidad proviene habitualmente del desgaste de los cilindros; no obstante, no se descarta una variación repentina en el acabado superficial debido a problemas en la aleación.

Los algoritmos desarrollados para determinación del acabado superficial están basados en análisis textural [10]. Aunque la textura no es esencialmente una característica visual [11] sino táctil, los inspectores humanos perciben que un acabado más basto debido a que las primitivas tonales presentan una mayor diferencia entre sus valores máximos y mínimos.

Se han implementado varios algoritmos basados en Diferencias de Nivel de Gris[12] y presentan un grado de discernimiento correcto con imágenes con resolución "pobre", esto es, no se necesitan imágenes magnificadas.

Dada una imagen $I=g(x,y)$ y un vector de desplazamiento $d=(N,M)$ se obtiene una nueva imagen $gd(x,y)=g(x,y)-g(x+N,y+M)$. De ésta se extraen dos medidas: rugosidad y contraste; la suma de ambas proporciona una indicación sobre el acabado superficial del aluminio.

Este proceso se realiza de forma on-line con toda la plancha.

4.5 Extracción de características.

Para la extracción de características, puesto que considera objetos, es necesario un etiquetamiento previo de la imagen de defecto. Se ha desarrollado un método de etiquetamiento denominado "Etiquetamiento de segmentos" el cual está basado en los mismos principios que el de etiquetamiento de pixels [13], pero necesita menos accesos a la tabla de características.

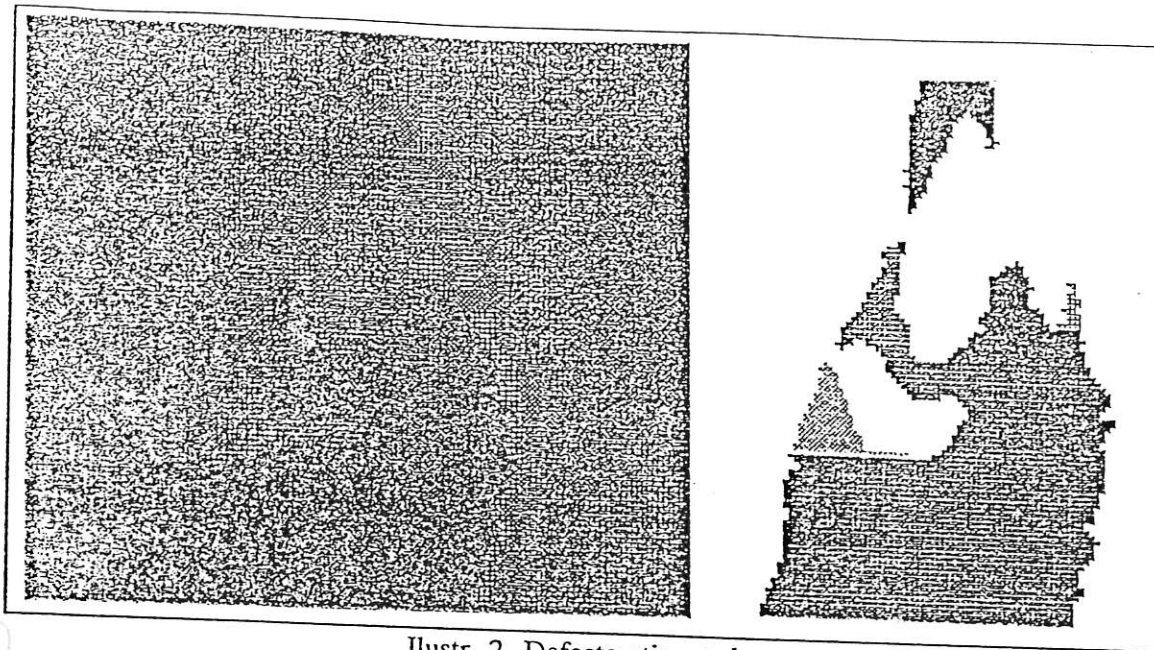
Se considera un segmento como un conjunto de igual-clase, igual-fila de pixeles conectados, con vecinos izquierda y derecha de valor cero, pertenecientes a otra clase pertenecientes a los bordes de la imagen.

Se recorre la imagen en tres niveles -fondo, objetos claros y objetos oscuros- de arriba a abajo y de izquierda a derecha, de forma que se detectan los diferentes segmentos, etiquetándose cada uno de los mismos después de examinar sus vecinos superiores:

- * Si todos los vecinos superiores pertenecen al fondo o a otra clase, se crea un nuevo objeto, cuyas características son las propias del segmento.

- * en otro caso, el segmento se le asigna al objeto de menor etiqueta encontrada. Una vez que el segmento se etiqueta, se actualizan las características del objeto dependiendo de las propias del segmento. Se considera conectividad de 4-vecinos[13].

El cómputo de los centros de gravedad requiere una segunda pasada sobre los objetos etiquetados. El cálculo se basa en las propiedades de los perfiles vertical y horizontal. En la tabla 2 se muestra la actualización de la tabla de características para el defecto mostrado en la ilustración 2 (los tiempos son para imágenes de 128x128 pixeles). En la izquierda un defecto tal como es visto por las cámaras; en la derecha, defecto etiquetado.



Ilustr. 2. Defecto etiquetado.

<p>OBJECT n°1 : Area = 491 Enclosing Rectangle = [(55;1),(73;47)] North exit points = [(61;1),(71;1)] South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (65;22) NOT LINKED</p> <p>OBJECT n°2 : Area = 2765 Enclosing Rectangle = [(28;53),(96;126)] North exit points = NONE South exit points = [(28;126),(0;126)] East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (66;105) NOT LINKED</p> <p>OBJECT n°3 : Area = 271 Enclosing Rectangle = [(64;56),(90;75)] North exit points = NONE South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (78;71) LINKED TO OBJECT N°2</p> <p>OBJECT n°4 : Area = 25 Enclosing Rectangle = [(85;60),(89;68)] North exit points = NONE South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (89;66) LINKED TO OBJECT N°3</p> <p>OBJECT n°5 : Area = 155 Enclosing Rectangle = [(34;77),(56;94)] North exit points = NONE South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (42;90) LINKED TO OBJECT N°2</p>	<p>OBJECT n°1 : Area = 491 Enclosing Rectangle = [(55;1),(73;47)] North exit points = [(61;1),(71;1)] South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (65;22)</p> <p>OBJECT n°2 : Area = 3216 Enclosing Rectangle = [(28;53),(96;126)] North exit points = NONE South exit points = [(28;126),(0;126)] East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (66;101)</p> <p>OBJECT n°3 : (IGNORE IT NOW !) Area = 296 Enclosing Rectangle = [(64;56),(90;75)] North exit points = NONE South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (79;71)</p> <p>OBJECT n°4 : (IGNORE IT NOW !) Area = 25 Enclosing Rectangle = [(85;60),(89;68)] North exit points = NONE South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (89;66)</p> <p>OBJECT n°5 : (IGNORE IT NOW !) Area = 155 Enclosing Rectangle = [(34;77),(56;94)] North exit points = NONE South exit points = NONE East exit points = NONE West exit points = NONE Gravity Center = (42;90)</p>
--	--

Processing time : 25,05 ms

Total processing time : 25,06 ms

Tab. 1. Proceso de actualización de la tabla de características.

5 Clasificación de Defectos.

Cada defecto está compuesto por un conjunto de objetos segmentados de forma aislada. Una vez que el sistema de visión extrae las características correspondientes a los objetos pertenecientes a una zona de la banda de aluminio que contiene defectos -datos de bajo nivel-, estas características se envían a una base de datos. A continuación un Sistema Experto se encarga de clasificar esta información dando como resultado la clase de defecto detectado.

La clasificación se basa en dos conjuntos de datos: por una parte la información sobre la apariencia del defecto que da el inspector humano; por otra, la información de bajo nivel correspondiente a la extracción de características procedente de las tarjetas de procesamiento de imágenes.

La figura 1 muestra la apariencia de algunos de los defectos tal y como ha sido descrita por los operadores de la línea de conformado. A partir de esta información se propone un árbol de búsqueda, mostrado en la figura 2.

PIPES	
Appearance: Brilliant longitudinal lines (0.5 mm thick)	
ABNORMAL CRYSTALLIZATION	
Appearance: Longitudinal opaque bands	
SURFACE ROUGHNESS	
Appearance: Brilliant spots spread over the surface	
LACKS	
Appearance:	Small -> Brilliant slim objects Large -> Clear speckles
HOT LINES	
Appearance: Longitudinal opaque bands	
STICKING	
Appearance: Clear speckles due to surface alteration Dark speckles due to strip distortion	
SURFACE INCLUSIONS	
Appearance: Dark spots (0.5 - 3 mm diameter)	
LEVEL LINES	
Appearance: Traversal faint lines	

Fig. 1. Apariencia visual de algunos defectos.

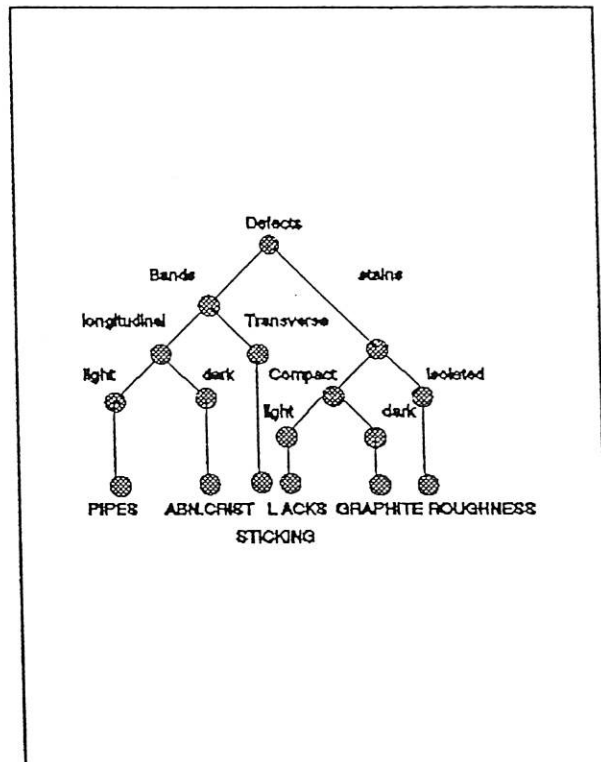


Fig. 2. Arbol de búsqueda.

Se aplica análisis estructural puesto que se posee un conocimiento heurístico acerca de los defectos[14]. En este tratamiento los árboles de búsqueda son la base del proceso de clasificación, puesto que representan el patrón básico para las gramáticas asociadas a cada tipo de defecto. Se han llevado a cabo dos tipos de clasificación: métodos basados en reglas y métodos de decisión teórica.

La primera aproximación se basa en los métodos sintácticos[15]. Los principios básicos consisten en una definición de patrones estructurales simples junto con la determinación de reglas que gobiernan su interconexión.

La información de bajo nivel -características de los objetos- se procesa de forma que se obtiene una información de medio nivel que constituye la primitivas o elementos terminales de cada gramática

asociada a cada tipo de defecto. Posteriormente se aplica un conjunto de reglas aplicadas a cada gramática de forma que es posible conocer si la cadena resultante se corresponde con alguna de las clases de defectos, cuando se aplican sobre elementos terminales.

El segundo método, de decisión teórica, considera cada defecto como formado por un conjunto de objetos, estando cada uno de estos representado por un vector: $X_i = \text{object}_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, donde x_i representa el valor numérico de cada una de las siguientes características:

- . Area
- . Centro de gravedad
- . Nivel de gris
- . Coordenadas del rectángulo externo
- . Conexiones

la clasificación consiste en la obtención de las funciones discriminantes $d_1(X)$, $d_2(X)$, ..., $d_m(X)$ de forma que un objeto X^* pertenece a la clase W_i si $d_i(X^*) > d_j(X^*)$; $j = 1, 2, \dots, m$; $j \neq i$.

Para la obtención de estas funciones discriminantes se ha entrenado una red neuronal con algoritmos de aprendizaje supervisado, la cual ha mostrado un índice de acierto de 95%. En este punto se está intentando un entrenamiento no supervisado que sea capaz de detectar la aparición de defectos no entrenados previamente; el entrenamiento on-line es el objetivo de esta fase.

5.1 Método basado en reglas.

Se ha generado un conjunto de gramáticas G_i de forma que es posible establecer relaciones entre cadenas de elementos terminales- con tipos de defectos, w_i . Se ha usado una gramática de contexto libre [16][17] $G_i = (V_{N,i}, V_{T,i}, S_i, F_i)$ $0 < i < 7$ en donde:

- . $V_{N,i}$: Conjunto finito de elementos no terminales para la gramática i .
- . $V_{T,i}$: Conjunto finito de elementos terminales para la gramática i .
- . S_i : Símbolo de comienzo inicial perteneciente a $V_{N,i}$.
- . F_i : Conjunto finito de reglas de producción para la gramática i .

Como resultado del algoritmo de detección, los defectos aparecen fragmentados en múltiples objetos; el primer problema que es necesario resolver es asociar a estos objetos entre de elementos terminales coherentes. Esto se consigue clasificando cada objeto por medio de su silueta -puntos, manchas, bandas longitudinales y transversales-. A continuación se establecen las asociaciones entre los elementos terminales y los objetos, comenzando por los más significativos, denominados semillas. Por último, los elementos terminales obtenidos de esta forma se etiquetan con las características de medio nivel [18].

- . Bandas Oscuras Transversales (BOT).
- . Bandas Claras Transversales (BCT).
- . Bandas Oscuras Longitudinales (BOL).
- . Bandas Claras Longitudinales (BCL).
- . Manchas Oscuras (MO).
- . Manchas Claras (MC).
- . Puntos Oscuros Aislados (POA).
- . Puntos Claros Aislados (PCA).

Para cada tipo de defecto se obtiene un árbol en donde cada nodo representa elementos terminales y la información de bajo nivel correspondiente a cada una de las objetos que forman el defecto. Sobre este árbol se aplican las reglas de cada gramática de forma que se determina a qué clase

pertenece el defecto detectado en la banda.

6 Prototipo y Resultados.

En la figura 3 se puede observar el layout del sistema completo.

Para la implementación de prototipo, se ha optado por el desarrollo de una tarjeta de procesamiento basada en el microprocesador RISC ADM-29200 actuando como gestor de procesadores de señal IGOR -con capacidad de funcionamiento pipelined mediante conexión en serie de hasta 4 chips, en operaciones ejecutadas en tiempo real-. Cada una de las tarjetas es capaz de procesar las imágenes provenientes de dos cámaras y se conectan a una workstation encargada de la clasificación y determinación de calidad del producto.

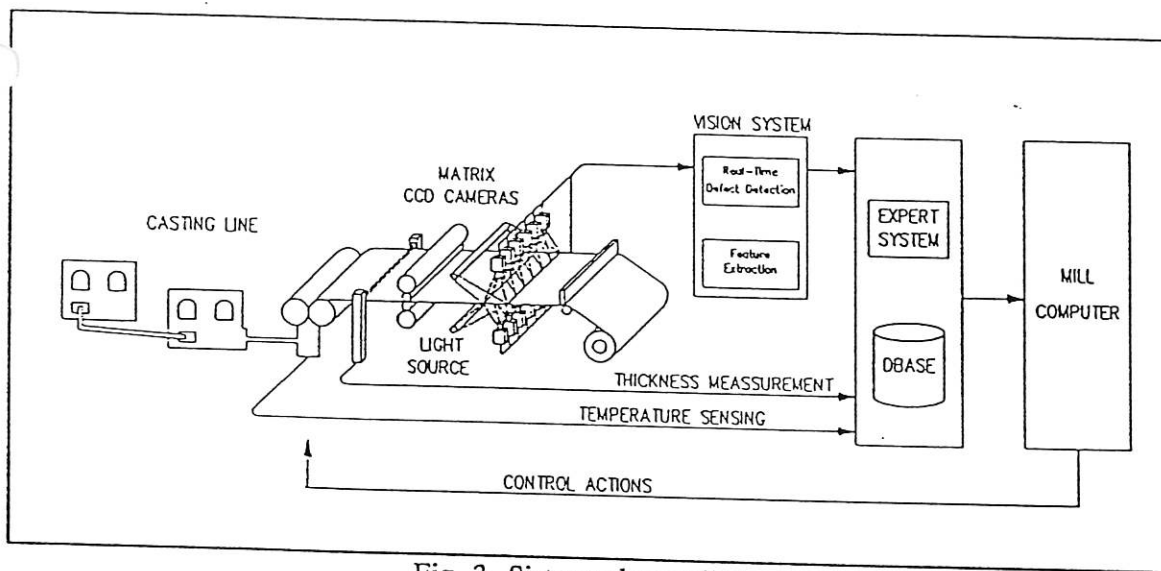


Fig. 3. Sistema desarrollado.

El proceso completo -adquisición de imágenes, detección de defectos y extracción de características- se realiza de forma on-line. Los algoritmos de clasificación se han implementado por medio de técnicas de Inteligencia Artificial, usando el sistema experto Nexpert Object.

Se muestra una arquitectura general para su aplicación en la resolución de los problemas que se plantean en la inspección superficial. Se consigue: gran rendimiento, flexibilidad, posibilidad de integración multi-sensorial, modularidad. Estas características facilitan su aplicación para multitud de tareas de inspección: superficies metálicas, madera, plástico, superficies pintadas,... con un esfuerzo pequeño tanto en adaptación del hardware como en el desarrollo software.

El sistema expuesto constituye una substancial mejora en un proceso industrial optimizado para la obtención de plancha de aluminio a partir de colada en proceso continuo.

7 Bibliografía.

- [1] Freeman, H. Machine vision for inspection and measurement. Academic Press, 1989.
- [2] Roland T. Chin. "Automated visual inspection: 1981 to 1987". CVGIP 41, pp 346-381, 1988.

- [3] Jain, A.K. Fundamentals of digital image processing. Prentice Hall, 1989.4. Gonzalez, R.C. and Safabakhsh, R. "Computer vision techniques for industrial inspection and robot control: A tutorial overview". IEEE EH0241-0/86/0000/0400\$01.00. 1986.
- [4] Hall, R. Illumination and color in computer generated imagery. Springer-Verlag, 1989.
- [5] IEEE Proceedings 22nd. International Symposium on Industrial Robots. October 21-29 1991. Detroit, Michigan.
- [6] Jain, A.K. Real-time object measurement and classification. Springer-Verlag, 1987.
- [7] Bechmann, P., Spizzichino. The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces, New York, Pergamon, 1963.
- [8] Torrance, K., Sparrow, E. "Off-specular peaks in the directional distribution of thermal radiation". J. Heat Transfer, pp. 223-230, May 1966.
- [9] Torrance, K., Sparrow, E. "Theory off-specular reflection from roughness surfaces". J. Opt. Soc. Amer. n^o 57, pp. 1105-1114, 1967.
- [10] Haralick, H. "Statistical and structural approaches to texture". Proceedings of the IEEE, vol 67 n^o5 1979, pp 786-804.
- [11] Tamura, H. and Mori, S. "Textural features and visual perception". IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics vol SMC-8 n^o 6 June 1978.
- [12] Lee, C. and Chao, Y.J. "Surface texture dependence on surface roughness by computer vision". IEEE CH2413-3/87/0000/5220\$01.00, 1987.
- [13] Gonzalez, R.C., Wintz, P. Digital Image Processing. Addison-Wesley 1987.
- [14] Patrick, E.A. Fundamentals of pattern recognition. Prentice Hall, 1972.
- [15] Fu, K. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. McGraw Hill, 1988.
- [16] Banks, S. Signal Processing Image Processing and Pattern Recognition, Prentice Hall, 1990.
- [17] Feldman, J.A. "Some decidability results on grammatical inference and complexity". Inf. Control, 20, 244-46, 1972.
- [18] Platero, C., Fernandez, C. Detección y Clasificación de Defectos en Planchas de Aluminio, mediante Visión Artificial. Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I.I., Madrid, 1992.
- [19] B.R. Suresh. "A real-time Automated Visual Inspection System for hot steel Slabs". PAMI-5, n^o 6, Nov 1983.
- [20] "Visual Pattern Discrimination" IEEE Trans. Info. Theory vol. IT-8