

SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE MICROESTRUCTURAS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE IMÁGENES UTILIZANDO COMPUTACIÓN DE ALTO RENDIMIENTO Y PARALELIZACIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con métodos para el control de calidad mediante el análisis de imágenes de alta resolución. Más específicamente, la presente invención se relaciona con métodos para el control de calidad de micro objetos, mediante el análisis automático de imágenes de alta resolución para detectar defectos utilizando computación de alto rendimiento y paralelización.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

El control de calidad automático de procesos en muchas ocasiones requiere de observar cuidadosamente grandes volúmenes de objetos en busca de diferencias de forma o tamaño. La automatización de este tipo de procedimientos ayuda a mejorar significativamente la calidad de los controles, reduciendo el número de defectos o unidades defectuosas en cada lote analizado. En otras situaciones, el control de calidad requiere buscar defectos en objetos muy pequeños o defectos muy pequeños en objetos de diferentes tamaños, lo cual se lleva a cabo analizando imágenes de los mismos tomadas a resoluciones muy altas.

En el estado del arte encontramos, por ejemplo, la patente JP2004093252, la cual se incorpora acá en su totalidad como referencia, que enseña un dispositivo y un método para inspección de defectos o materias extrañas que ocurren en un proceso de generación de productos en el cual se forman patrones en un sustrato, donde el método se basa en el hecho que de acuerdo con el objeto inspeccionado, el ángulo de iluminación radiada al objeto se optimiza, y la magnificación de un sistema óptico de detección que detecta la luz reflejada del objeto se optimiza para suministrar señales de un sistema óptico. A partir de las señales, los materiales extraños o los defectos en una pluralidad de tamaños de pixel de detección se detectan, y con base en las características de los mismos, dicha materia extraña o defectos se clasifican en categorías.

El anterior es un ejemplo de un método para controlar la calidad de un producto determinando la presencia de impurezas en la superficie de un producto. Otro método para la detección de defectos consiste en analizar el tipo de impurezas presentes sobre la superficie de un producto. Un ejemplo de este tipo de tecnología lo tenemos en la patente de Estados Unidos US 2004/126909, la cual

se incorpora acá en su totalidad como referencia, y enseña un método para analizar la composición de defectos con un haz de electrones, en donde cuando un defecto objetivo de análisis de composición se selecciona y las condiciones de irradiación del haz de electrones se configuran para análisis EDX, una imagen de referencia de baja resolución se adquiere utilizando el haz de electrones en una posición de defecto que corresponde a la posición de este defecto en un chip cercano al chip objetivo que incluye defectos, y una imagen de defecto de baja resolución luego se adquiere en la posición de defecto del chip objetivo. Luego, al comparar estas imágenes de baja resolución, se adquiere la posición de defecto, se aplanan el haz de electrones y se irradia sobre esta posición de defecto para adquirir un espectro de composición del defecto.

Sin embargo, estos métodos emplean medios convencionales para determinar la presencia de defectos y/o impurezas, o sea, se realiza un barrido de la superficie del objeto en busca de defectos uno por uno lo cual es lento y costoso. La patente JP 2007333647, incorporada aquí en su totalidad a modo de referencia, enseña un método para procesamiento de imagen que comprende un proceso para adquirir datos de imagen antes y después de la variación de un objeto; un proceso de adquirir parámetros de los datos numéricos del tamaño de una micro región, un rango de análisis de cantidad de movimiento de un punto de análisis, un rango de análisis de ángulo rotacional, y un rango de análisis de distorsión; un proceso de rotación de generar una máscara mediante transformación de la micro región; un proceso de cálculo de valor de correlación de los valores de los datos de imagen, mientras se escanea cada máscara; un proceso de detección de posición/ángulo de una posición y un ángulo que tienen el máximo valor de correlación; un proceso de reducción y ampliación, y procesos adicionales de análisis de datos y generación de imagen.

Este sistema de análisis de objetos permite identificar defectos de manera más eficiente y precisa, mejorando la calidad de los productos obtenidos ya que no logra identificar más defectos por pasada que los métodos convencionales. La patente de Estados Unidos US 2008/049220, que se incorpora aquí en su totalidad a modo de referencia, enseña un microscopio de espectroscopia, en el cual una imagen de video de un espécimen se analiza para identificar las regiones que tienen diferentes apariencias, y por lo tanto propiedades presuntamente diferentes. Los tamaños y ubicaciones de las regiones identificadas se utilizan para posicionar el espécimen para alinear cada región con una apertura, y para definir la apertura a un tamaño adecuado para recolectar un espectro de la región en cuestión. El espectro luego se puede analizar para identificar las sustancias presentes dentro de cada región del espécimen. La información en las sustancias identificadas luego se puede presentar al usuario junto con la imagen del espécimen.

El anterior es un ejemplo donde un método convencional para la detección de imperfecciones o defectos se combina con un método de análisis de imágenes para establecer donde hay diferencias que puedan constituir imperfecciones del producto final. La patente de Estados Unidos US 2009/213214, que se incorpora acá en su totalidad como referencia, enseña un sistema de microscopio que tiene un medio de generación de imagen VS para generar una imagen virtual de un espécimen, la cual se construye al conectar mutuamente una pluralidad de imágenes microscópicas con una primera fotomagnificación fotografiada y adquirida cuando un lente objetivo y el espécimen relativamente se mueven en una dirección perpendicular al eje óptico y que representa toda la imagen del espécimen. Así, el método se basa en la correlación de imágenes para la detección del movimiento del espécimen y así indicar si existen defectos o problemas con el micro objeto o la imagen microscópica.

Sin embargo, aún persiste la necesidad de un método que permita analizar de manera más eficiente y automática imágenes de alta resolución para determinar y cuantificar los defectos de micro objetos.

Es, por lo tanto, un objeto de la presente solicitud el suministrar un método para el análisis de imágenes de alta resolución tomadas a micro objetos que permita cuantificar y detectar defectos de manera automática.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con un procedimiento para el control de calidad de micro objetos a través del análisis de imágenes de alta resolución, especializado en cuantificar y detectar defectos automáticamente utilizando computación de alto rendimiento y paralelización.

El proceso de la presente invención comprende los pasos de:

1. cargar la imagen de los micro objetos en un sistema de cómputo;
2. leer la imagen que ha sido introducida en un sistema de cómputo, donde la imagen debe ser la representación del conjunto de micro objetos que se quieren analizar;
3. crear una imagen digital a partir del tipo de micro objeto capturado en la imagen original, denominada plantilla de correlación. La correlación consiste en colocar la plantilla sobre la mitad de la imagen para detectar la similitud con un primer micro objeto. Esto se hace pixel a pixel comparando los valores de intensidad en la plantilla contra los de la imagen.

4. crear una región de interés (ROI) sobre el primer micro objeto la cual está determinada por las coordenadas iniciales donde se encontró la similitud de la plantilla y el primer micro-objeto. El centroide inicial se obtiene de la división exacta por 2 de la altura y el ancho del tamaño del ROI;
5. replicar los centros, lo que corresponde a la traslación sucesiva del centroide inicial hacia todas las direcciones de la imagen de acuerdo con las medidas de fabricación y crear una región de interés (ROI) sobre todos los micro objetos como en el paso anterior.
6. Enviar todos los micro objetos detectados a través de una Red hacia un clúster de computación de alto rendimiento, donde cada procesador efectúa los siguientes pasos:
 - a) Binarizar la imagen del micro objeto, dicha binarización se hace con un factor de umbralización extraído del mismo micro objeto seleccionado con la región de interés (ROI);
 - b) Visualizar los contornos del micro-objeto de la imagen de referencia haciendo una sustracción pixel a pixel entre dos imágenes; una imagen en blanco y negro procesada morfológicamente y la imagen en blanco y negro original.;
 - c) Extraer las características con base en la identificación y almacenamiento en una matriz de cada una de las coordenadas que conforman los contornos de cada micro-objeto, para después hallar medidas como el área, perímetro, circularidad, concentricidad, etc.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 corresponde a una representación de una plantilla binaria de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 2 corresponde a una imagen erosionada de acuerdo con una modalidad del método de la presente invención.

La Figura 3 corresponde a una representación de los contornos obtenidos de acuerdo con una modalidad del método de la presente invención.

La Figura 4 corresponde a una representación de la replicación de centros de acuerdo con una modalidad del método de la presente invención.

La Figura 5 corresponde al esquema de replicación de centros de acuerdo con la presente invención, visto en forma más general en toda la imagen.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La tecnología consiste en un procedimiento para el control de calidad de micro objetos a través del análisis de imágenes de alta resolución, especializado en cuantificar y detectar defectos automáticamente mediante la utilización de computación de alto rendimiento y paralelización. Como se utiliza aquí, la expresión “micro objetos” se refiere a patrones en una imagen con dimensiones muy pequeñas respecto al tamaño de la imagen.

Implementando criterios de calidad expresados en términos digitales, la tecnología identifica los relativamente pocos objetos defectuosos dentro de un gran número de objetos capturados en la imagen, desde texturas de materiales hasta grandes volúmenes de objetos en líneas de producción, almacenamiento, transporte y similares.

El proceso de la presente invención comprende los pasos de:

1. cargar la imagen de los micro objetos en un sistema de cómputo;
2. leer la imagen que ha sido introducida en un sistema de cómputo, donde la imagen debe ser la representación del conjunto de micro objetos que se quieren analizar;
3. crear una imagen digital a partir del tipo de micro objeto capturado en la imagen original, denominada plantilla de correlación. La correlación consiste en colocar la plantilla sobre la mitad de la imagen para detectar la similitud con un primer micro objeto. Esto se hace pixel a pixel comparando los valores de intensidad en la plantilla contra los de la imagen.
4. crear una región de interés (ROI) sobre el primer micro objeto la cual está determinada por las coordenadas iniciales donde se encontró la similitud de la plantilla y el primer micro-objeto. El centroide inicial se obtiene de la división exacta por 2 de la altura y el ancho del tamaño del ROI;
5. replicar los centros, lo que corresponde a la traslación sucesiva del centroide inicial hacia todas las direcciones de la imagen de acuerdo con las medidas de fabricación y crear una región de interés (ROI) sobre todos los micro objetos como en el paso anterior.
6. Enviar todos los micro objetos detectados a través de una Red hacia un clúster de computación de alto rendimiento, donde cada procesador efectúa los siguientes pasos:
 - a) Binarizar la imagen del micro objeto, dicha binarización se hace con un factor de umbralización extraído del mismo micro objeto seleccionado con la región de interés (ROI);

- b) Visualizar los contornos del micro-objeto de la imagen de referencia haciendo una sustracción pixel a pixel entre dos imágenes; una imagen en blanco y negro procesada morfológicamente y la imagen en blanco y negro original.;
- c) Extraer las características con base en la identificación y almacenamiento en una matriz de cada una de las coordenadas que conforman los contornos de cada micro-objeto, para después hallar medidas como el área, perímetro, circularidad, concentricidad, etc.

La correlación consiste en tener una plantilla del micro objeto y colocarla sobre una imagen para detectar su similitud pixel a pixel comparando los valores de intensidad en la plantilla contra los de la imagen, como rara vez los valores de comparación son iguales se debe generar una medida de similitud entre las intensidades de la plantilla y la imagen, donde el error cuadrático es la medida más conocida para este tipo de casos. De acuerdo a las dimensiones ideales de un micro objeto se crea una plantilla binaria de correlación con formato .BMP la cual es ubicada en la mitad de la imagen para encontrar por correlación el primer micro objeto de referencia con su centro denominado Centroide y desde cuya ubicación se encontraran los demás centros de la imagen a través de un método denominado “distribución geométrica”.

Como la base del procedimiento es la detección de bordes mediante análisis morfológico, cada micro objeto debe ser convertido a blanco y negro. El proceso de binarización se hace con un factor de umbralización extraído del mismo micro objeto, sobre el cual se ha selecciona una Región de Interés (ROI) utilizando las coordenadas de su Centroides. El tamaño de la ROI es igual a las dimensiones aproximadas del Inner Hole, cuyo diámetro ideal es 50 μm , aproximadamente 30 px $\times$ 30 px. Una vez ubicada la región el Factor de Umbralización se extrae sumando todos los valores de los pixeles en cada coordenada y haciendo su respectiva promediación.

La extracción de los contornos para este caso está definida como una operación de sustracción pixel a pixel entre dos imágenes, denotada como $I_c = I_b - I_e$, donde I_b es la imagen binarizada cuyo factor de umbralización es extraído de ella misma e I_e es el resultado de aplicar la operación morfológica de erosión a la imagen binarizada.

Un enfoque morfológico facilita el estudio de las formas en las imágenes y la información es obtenida casi siempre de una imagen binaria. La erosión de una imagen A mediante una imagen binaria B es 1 para un pixel p si y solo si cada 1 pixel en la traslación de B hasta p es también 1. De acuerdo a lo anterior, la

imagen obtenida I_c contiene los contornos definidos sobre los cuales se transponen las coordenadas del Centroide para comenzar con la replicación de centros por geometría.

La replicación de centros corresponde a la traslación sucesiva del Centroide inicial hacia todas las direcciones de la imagen de acuerdo a las medidas de fabricación como lo son la distancia entre los elementos de referencia o Pitch (P) y el ángulo θ existente entre ellos.

Cada vez que se encuentra un nuevo Centroide se hace una replicación sucesiva del mismo hacia la izquierda y la derecha. El procedimiento anterior se repite hasta que se llega al borde superior de la imagen. Una vez culminada la replicación hacia abajo, el punto Inicial es desplazado en ángulo de fabricación hacia arriba para hallar las coordenadas de un nuevo Centroide, al igual que el paso inicial se hace replicación sucesiva hacia la derecha y hacia la izquierda.

La extracción de características es un proceso basado en la identificación y almacenamiento en una matriz de cada una de las coordenadas que conforman los contornos de cada Hole, para después hallar medidas como el área, Perímetro, Circularidad, Concentricidad entre otras. La identificación de los contornos se hace encontrando mediante el desplazamiento pixel a pixel del baricentro (centro real del objeto) B de coordenadas (X_b, Y_b) hasta encontrar las coordenadas iniciales de los contornos las cuales están definidas como (X_{ic}, Y_{ic}) para el contorno interno y (X_{ec}, Y_{ec}) para el externo.

Por último, una vez hallados los puntos iniciales de cada contorno, se aplica la técnica de relación entre pixeles denominado “8-neighbors” la cual establece que para todo punto p de coordenadas (x, y) existe un pixel q que pertenece a sus 8-vecinos.

EJEMPLO 1

Control de calidad de micro perforaciones en una lámina de GEM.

El GEM, o Multiplicador de Electrones de Gas por sus siglas en inglés, es una herramienta que se emplea en detectores de ionización gaseosos los cuales tienen poderosas aplicaciones en campos tan variados como la física de altas energías y la medicina. Una pieza muy importante de este dispositivo es la lámina con micro perforaciones, las cuales garantizan una distribución uniforme de los electrones y una descarga adecuada de los mismos durante su uso.

Sin embargo, la homogeneidad en el tamaño y la distribución de dichas perforaciones es crítica al momento de utilizar la lámina GEM. Debido a que el tamaño de las perforaciones es tan pequeño y su densidad es tan alta, utilizar los métodos de análisis convencionales resulta muy costoso tanto en tiempo como en dinero, por lo que a continuación se explicará como se aplicaría el método de acuerdo con la presente invención para controlar la calidad de una película para GEM.

En primer lugar, se toma una imagen de alta resolución de una lámina GEM de 100 x 100 mm, representada en su totalidad por 433 imágenes de las mismas características para un total de 9.60 GB. Cuyo formato de captura es .PNG (Portable Networks Graphics) con una resolución de 3488 x 2616 pixeles, donde cada pixel que equivale a $1.7 \mu\text{m} \times 1.7 \mu\text{m}$ cubre un área física de $6 \times 4.5 \text{ mm}$.

A continuación, se crea una plantilla de correlación, la cual es una representación idealizada de un micro agujero de la lámina GEM, en donde no faltan orificios, todos los orificios son uniformes y están separados por distancias iguales a lo largo de toda la lámina. La Figura 1 es una plantilla idealizada de un micro agujero de la lámina GEM, el cual comprende un orificio exterior y un orificio interior y unas dimensiones de 45 pixeles por 45 pixeles.

Esta plantilla idealizada es colocada sobre la imagen en alta resolución de la lámina GEM con el fin de establecer un primer micro agujero cuyo centro se denomina Centroide y sirve como referencia para identificar los demás agujeros en la imagen de alta resolución de la lámina GEM mediante replicación geométrica.

Una vez se identifican las coordenadas del Centroide, se hace una replicación geométrica para cada Centroide de cada micro-agujero. A partir de las coordenadas de cada Centroide se crea una región de interés (ROI) de 30 pixeles por 30 pixeles en forma de ventana cuadrada para cada micro agujero donde el centro de la ventana es el centroide obtenido

Cada micro objeto es enviado a los procesadores disponibles del clúster de Alto rendimiento y se procede a binarizar cada imagen.

Binarizar la imagen del micro objeto, dicha binarización se hace con un factor de umbralización extraído del mismo micro agujero seleccionado con la región de interés (ROI);

- a) Visualizar los contornos del micro agujero de la imagen de referencia haciendo una sustracción pixel a pixel entre dos imágenes; una imagen en blanco y negro procesada morfológicamente y la imagen en blanco y negro original.;

- b) Extraer las características con base en la identificación y almacenamiento en una matriz de cada una de las coordenadas que conforman los contornos de cada micro agujero, para después hallar medidas como el área, perímetro, circularidad, concentricidad, etc.

La binarización es uno de los elementos centrales del método de acuerdo con la presente invención y se aplica a cada uno de los micro agujeros enviados a los procesadores del clúster de alto rendimiento. El factor de umbralización se determina sumando todos los píxeles de cada coordenada con su respectiva promediación.

Una vez se tienen binarizados cada uno de los micro agujeros utilizando el Factor de Umbralización, se procede a la extracción de los contornos, lo cual no es más que la operación sustracción pixel a pixel entre la imagen erosionada del micro agujero y la imagen original del micro agujero en blanco y negro

La figura 2 nos muestra una imagen en alta resolución de la lámina GEM que ha sido erosionada. La figura 3 es el resultado de la sustracción de píxeles entre dos imágenes y nos muestra los contornos que se obtienen tras el análisis de la imagen de alta resolución de acuerdo con el método de la presente solicitud.

Es necesario primero identificar los centros de todos los micro agujeros, por lo que una vez se han obtenido los contornos se procede a replicar los centros con el fin de identificar todos los orificios de la lámina GEM. Cuando se han identificado todos los micro agujeros, se procede con el análisis de las características de cada uno, lo cual requiere que se identifique el primer pixel de cada contorno el cual sirve de referencia para comenzar a buscar los píxeles adyacentes al mismo hasta dibujar el contorno real del orificio sobre la imagen de alta resolución.

Este contorno real se obtiene realizando un análisis de píxeles vecinos a este primer pixel, lo que permite determinar su posición e ir dibujando el contorno real del orificio sobre la imagen de alta resolución de la lámina GEM, para así determinar los defectos del mismo.

Si bien hasta ahora se ha hecho una descripción de una modalidad de la presente invención, el experto con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible realizar algunas variaciones al método descrito sin alejarse del espíritu de la invención. Así mismo, el experto con habilidad entenderá que el método acá descrito puede aplicarse a cualquier imagen de alta resolución donde los objetos que se van a analizar tengan una apariencia de micro objetos respecto al tamaño de la imagen.

El solicitante aclara que la descripción hecha acá no es de carácter limitante y que solo la descripción a continuación limita el alcance de la invención y definen el objeto que se va a proteger.