

Herramienta para control de calidad en industria mediante introspección tomográfica

Rosana Barbuza¹, Mariana del Fresno^{1,2}, Marcelo Vénere^{1,3}, Alejandro Clausse^{1,4}

¹ PLADEMA, Universidad Nacional del Centro, Tandil, Argentina

² Comisión de Investigaciones Científicas, Prov. de Buenos Aires (CIC-PBA), Argentina

³ Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Argentina

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
rbarbu@exa.unicen.edu.ar, <http://www.pladema.net>

Resumen. En este trabajo se presentan distintos métodos para detección visual de fallas en productos mediante ensayo no destructivo. El primer enfoque se basa generar una imagen tomográfica a partir de pocas proyecciones del objeto, seguido por un proceso de segmentación de esta imagen para distinguir imperfecciones en el interior de la misma. El segundo enfoque realiza la inspección basada directamente en las proyecciones del objeto. Para compensar la falta de información cuando se cuenta con pocas proyecciones, en ambos métodos se incorpora conocimiento a priori acerca de la textura del producto, formas y tamaños habituales de fallas, etc., tanto para mejorar la calidad de la imagen reconstruida, como también para acelerar el proceso de inspección. Los resultados obtenidos muestran que es factible realizar inspección de objetos metálicos y con alto grado de detalle, contribuyendo a la automatización de procesos de control de calidad en la industria.

Palabras clave: Inspección de objetos, ensayos no destructivos, reconstrucción tomográfica, visualización y segmentación de imágenes 3D.

1 Introducción

Actualmente, el uso de técnicas de ensayos no-destructivos se restringe casi exclusivamente al campo de la medicina y además están basadas en equipos difíciles de transportar, lo que ha limitado su aplicación en otros ámbitos. Sin embargo, los avances en la tecnología de rayos X y detectores, y la velocidad de los microprocesadores de computadoras personales brindan nuevas alternativas de aplicación de ensayos no destructivos en áreas no convencionales como la industria. Estas técnicas son capaces de brindar la información requerida para un diagnóstico visual del estado interior de un producto sin alterar su naturaleza (Ej. radiografía, gammagrafía, tomografía computada, resonancia magnética, ecografía, termografía, etc.). En este caso, se obtienen una o más vistas o proyecciones mediante alguna fuente de energía particular que, en interacción con el objeto de análisis, brinda información sobre su composición [1],[2],[3]. Aplicadas al área industrial, esta tecnología puede ser de gran utilidad, por ejemplo en el descarte de piezas

defectuosas o en el mantenimiento preventivo de componentes, también en seguridad para detección de armas, explosivos y otros objetos peligrosos.

Casi la totalidad de los métodos de inspección visual automática utilizados actualmente son específicos al producto a examinar. Algunas técnicas utilizan varias proyecciones desde diferentes puntos de vista, resultando en un análisis multi-imagen más complejo para determinar la presencia de fallas [4]. A diferencia de utilizar proyecciones individuales en forma separada, la CT permite reconstruir una imagen 3D del objeto a partir de las mismas [5]. Esta técnica es altamente poderosa ya que permite obtener imágenes de alta calidad del interior de los objetos y efectuar sobre ellas un análisis volumétrico minucioso a partir de un procesamiento adecuado. Sin embargo, el proceso de reconstrucción tomográfica involucra un elevado costo computacional, lo que ha limitado su aplicación para casos donde el tiempo de respuesta debe ser instantáneo. Por esta razón, es deseable el desarrollo de métodos de reconstrucción veloces que puedan obtener imágenes tomográficas de alta calidad a partir de pocas proyecciones.

En este trabajo, el interés se centra en el análisis introspectivo de piezas mediante el planteo de algoritmos de reconstrucción tomográfica y segmentación de imágenes digitales. A continuación se presentan las características de los métodos desarrollados y su aplicación a diferentes casos reales de objetos metálicos. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

2 Análisis introspectivo de piezas mediante tomografía

Para la obtención de las imágenes del tipo de objetos analizados, es necesario contar con una fuente de radiación de amplio espectro que penetre fácilmente el material, y que además permita inspeccionar objetos que se encuentran en movimiento. Los equipos Plasma Focus (PF) constituyen una tecnología reciente e innovadora para este propósito, la cual proporciona interesantes posibilidades de aplicación en la industria. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de proyecciones obtenidas con un PF a partir de distintos objetos metálicos, donde se puede observar la alta penetrabilidad de los rayos que permite obtener placas radiográficas de buena calidad [6].

En la literatura se presenta una gran variedad de métodos que resuelven el problema de la reconstrucción tomográfica a partir de proyecciones [5]. Tales técnicas han sido ampliamente usadas, ya que son rápidas y trabajan bien en caso de contar con un conjunto completo de proyecciones (como sucede en tomografías médicas). Otros enfoques, basados en métodos estocásticos, logran obtener imágenes de calidad con un conjunto limitado de proyecciones. En este trabajo se utilizó una técnica probabilística para la reconstrucción tomográfica basada en el método de Monte Carlo con la inclusión de información a priori acerca de la textura homogénea del objeto [7]. Esta técnica realiza el muestreo de una secuencia de imágenes que van cambiando la tonalidad de algunos de sus pixels, hasta encontrar una que se ajuste al conjunto de proyecciones reales, y que además considere la información a priori establecida para la textura del objeto. Esta información es específica para objetos donde es conocido que el material de fabricación del objeto. Para asegurar la convergencia del algoritmo de búsqueda, se establece un criterio de aceptación de los cambios propuestos,

considerando el error cuadrático medio entre las proyecciones reales y las de la imagen en reconstrucción, respecto de los mismos ángulos.

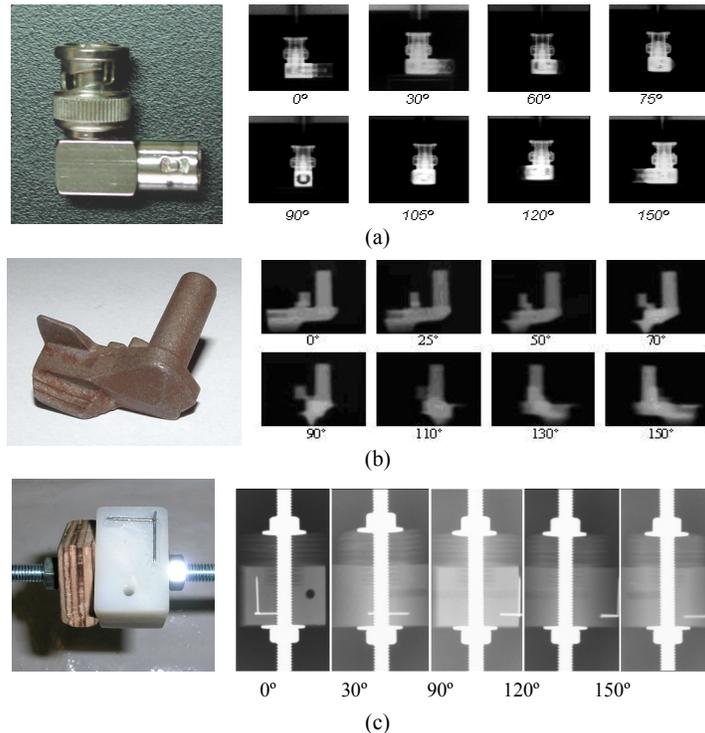


Fig. 1. Proyecciones obtenidas a diferentes ángulos para diferentes objetos metálicos: (a) Conector BNC, (b) seguro de un arma de fuego, (c) varilla roscada con tuercas.

Si bien el algoritmo de Monte Carlo se utiliza para la resolución de problemas de optimización en general, su aplicación en el problema de reconstrucción tomográfica es novedosa. Una de las características de esta técnica es que permite incorporar fácilmente distintas estrategias para mejorar la calidad de la reconstrucción, así como la performance del algoritmo. En cuanto al costo computacional del algoritmo, se estima que la reconstrucción de un corte tomográfico con una resolución de 256x256 puntos es del orden de los dos minutos, con lo cual esta técnica queda limitada para aplicarla en procesos de inspección que no requieran respuesta inmediata.

Con el fin de determinar la presencia de fallas, esta imagen se somete a un proceso de segmentación [8]. De acuerdo a las características de las imágenes tomográficas, un enfoque apropiado para la segmentación de objetos dentro de las mismas consiste en la aplicación de métodos de crecimiento de regiones [9], ya que resulta robusto con respecto a la presencia de ruido y a variaciones de intensidad dentro de los objetos, lo que comúnmente ocurre en este tipo de imágenes. Según este enfoque, cada región de interés comienza a formarse a partir de uno o más puntos iniciales y evoluciona por

incorporación sucesiva de los puntos vecinos que resultan similares a los ya integrados. Para lograr una segmentación más efectiva, se ha considerado un criterio de similitud basada en la evaluación del entorno [10]. De esta manera, se logra determinar las regiones correspondientes al objeto analizado como así también las posibles fallas presentes en él. En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de segmentación correspondiente a los objetos metálicos presentes en el objeto de la Fig. 1-c. Cabe destacar que, una vez determinados los objetos de interés, éstos pueden ser evaluados a partir de la medición de sus propiedades geométricas, tales como longitudes del eje mayor y menor, centro de masa y área, estimada a partir de la cantidad de puntos de la región y de las dimensiones físicas conocidas a partir de la captura.

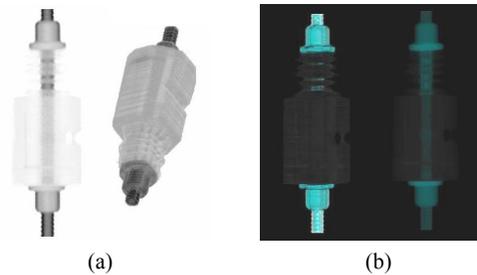


Fig.2. Procesamiento de las imágenes tomográficas de objetos: (a) visualización 3D de la tomografía, (b) segmentación del eje central de la pieza.

El resultado del proceso de segmentación puede ser analizado mediante la inspección visual de cortes o a través de proyecciones del objeto. Mediante el empleo de técnicas de visualización computacional, se permite la generación de proyecciones mediante *rendering* de volúmenes, como se puede apreciar en las diferentes imágenes de la Fig. 2 [11]. Por otra parte, en la Fig. 3 también se presentan distintas vistas correspondientes a la reconstrucción tomográfica del conector BNC de la Fig. 1-a. Las proyecciones mostradas a la derecha de la figura fueron utilizadas como datos para la reconstrucción tomográfica llevada a cabo mediante el método de Monte Carlo, con información a priori sobre la textura homogénea del objeto. En las Fig. 3-b y c se pueden apreciar además algunas vistas resultantes de la aplicación de planos de corte virtuales en direcciones arbitrarias sobre la imagen reconstruida, las cuales brindan interesantes opciones de análisis visual introspectivo.

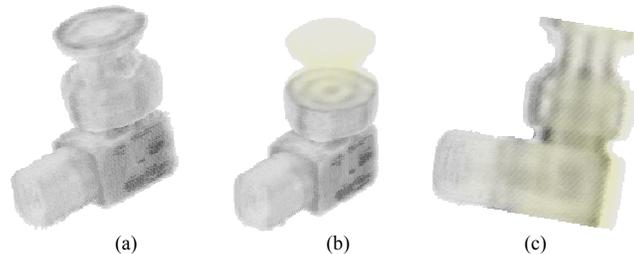


Fig.3. Proyección del conector BNC: vista 3D externa con rotación (a), aplicación de planos de corte a la imagen tomográfica (b) axial y (c) sagital

Como se puede apreciar a partir de las imágenes anteriores, la estrategia de reconstrucción descripta permite la obtención de imágenes tomográficas de calidad altamente aceptable, a partir de un número reducido de proyecciones del objeto. Sin embargo, el tiempo insumido para encontrar la solución es considerable y esto puede afectar significativamente la velocidad de inspección y en ciertos procesos industriales puede resultar impracticable [12],[13]. A tal fin, se describe en la siguiente sección un enfoque diferente de análisis defectoscópico que utiliza información a priori sobre la pieza a inspeccionar y permite acelerar el proceso de inspección al evitar el proceso de reconstrucción tomográfica.

3 Inspección de piezas industriales con conocimiento

En general, al realizar un análisis no destructivo, la pieza considerada es conocida. Durante su fabricación, los productos se someten a un control de calidad básicamente para detectar fallas internas o externas y controlar las dimensiones mediante la desviación de la geometría real respecto de la geometría nominal. Conocer la geometría del diseño de la pieza brinda información adicional que se puede combinar con la obtenida a partir de las radiografías para acelerar el proceso de inspección a valores por demás interesantes. También los distintos tipos de fallas (fisuras, burbujas de aire, etc.) pueden representarse con modelos de superficies de formas variadas (esferas, elipsoides, etc.), conformando así una librería de los defectos más frecuentes. En la Fig. 4 (izquierda) se muestra un ejemplo de la malla de superficie generada a partir de la especificación del modelo correspondiente al seguro de arma de la Fig. 1-b, usando una herramienta CAD. En la Fig. 4 (derecha) se muestra una proyección obtenida a partir de esta malla.

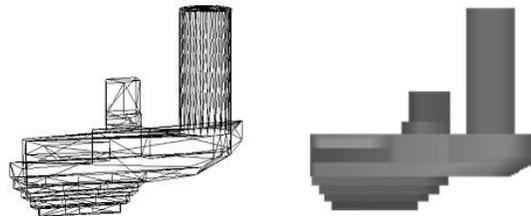


Fig.4. Malla de triángulos de la superficie del seguro de arma (izquierda) y placa radiográfica simulada a partir de la malla (derecha)

A diferencia de la técnica de segmentación anterior que trabaja sobre el conjunto de puntos de la imagen, este método centra el proceso en los triángulos que conforman la geometría de la pieza, acotando así la complejidad del algoritmo. En primer lugar, se debe simular proyecciones radiográficas de la malla de superficie correspondiente al objeto analizado. Una proyección es una función de atenuación de intensidad de cada rayo de la fuente en una determinada dirección que atraviesa el objeto. El algoritmo desarrollado simula atravesar la malla de superficie con un

conjunto de rayos equidistantes y paralelos en una cierta dirección, y calcula para cada uno de estos rayos los puntos exactos de corte con los triángulos que intercepta. Con estos puntos, se calcula la distancia que cada rayo recorre en el interior de la malla, valor que es proporcional a la atenuación de intensidad buscada [11].

El método implementado compara las proyecciones simuladas con las proyecciones obtenidas con el equipo PF (Fig. 1) para determinar si la pieza tiene defecto o no. Una vez ubicada la posición del defecto determinada por las diferencias entre placas, se puede hacer una búsqueda de la falla de librería que mejor ajuste por tamaño o inclinación del defecto.

Para el caso real de proyecciones obtenidas con un equipo PF de la pieza correspondiente al seguro del arma, el tiempo de procesamiento para detectar un defecto típico de burbuja de aire (defecto esférico) es aproximadamente 1 seg., usando una PC standard. Los resultados obtenidos respecto del tiempo de procesamiento para ubicar un defecto y su tamaño son aceptables y optimistas para que esta tecnología pueda incorporarse al proceso productivo industrial. Para la visualización de los resultados, la herramienta desarrollada presenta una opción de *rendering* de superficies en la que se puede apreciar la ubicación y dimensiones del defecto, en caso de ser hallado (Fig. 5).

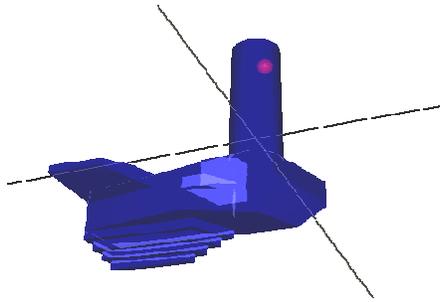


Fig. 5. Visualización 3D de la posición del defecto en la pieza inspeccionada.

4 Conclusiones

Se han presentado técnicas no convencionales para aplicaciones de control de calidad, basadas en la utilización de dispositivos PF para la obtención de imágenes introspectivas de diversos objetos metálicos. El primer enfoque se basa en la reconstrucción tomográfica del objeto analizado a partir de un número reducido de proyecciones, mediante un algoritmo Monte Carlo. La estrategia se combina con el procesamiento de las imágenes 3D generadas, mediante algoritmos de segmentación por crecimiento de regiones para la detección de defectos e incorpora opciones de visualización convenientes. Los resultados experimentales han sido satisfactorios, obteniendo imágenes de alta resolución que permiten apreciar con claridad detalles internos submilimétricos. Esto posibilita su aplicación a diversas opciones de control de calidad, pero sin embargo no resulta apropiada en el caso de inspección de

componentes en líneas de producción, debido al tiempo involucrado en el procesamiento.

La segunda estrategia de análisis defectoscópico presentada logra tiempos aceptables para inspección en tiempo real. En este caso, el enfoque se basa en el procesamiento directo de las proyecciones del objeto real por comparación con vistas simuladas de un modelo de diseño de la pieza inspeccionada. Los resultados obtenidos también han sido altamente aceptables y con costo computacional reducido. Si bien en este caso la posibilidad de inspección interna de las componentes es limitada, ya que carece de un proceso de reconstrucción tomográfica, el algoritmo es adecuado para identificar defectos rápidamente y desechar las piezas correspondientes durante el proceso de fabricación.

Referencias

1. Newman T., Jain A.: A survey of automated visual inspection, *Comp. Vision and Image Understanding*, vol. 61(2), pp. 231—262 (1995)
2. Neubauer C.: Intelligent X-ray inspection for quality control of solder joints, *IEEE Trans. on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part C*, vol. 20(2), pp 111—120 (1997)
3. Noble A., Gupta R., Mundy J., Schmitz A., Hartley R.: High Precision X-Ray Stereo for Automated 3D CAD-based Inspection, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 14 (2), pp. 292—302 (1998)
4. Mery D.: Detección de fallas en piezas de metal fundido mediante el procesamiento digital de secuencias de imágenes radioscópicas, Koester Verlag, Berlin (2001)
5. Herman G., Kuba A.: *Discrete Tomography Foundations, Algorithms and Applications*, Birkhäuser (1999)
6. Vénere M., Moreno C., Clause A., Barbuzza R., del Fresno M.: Tomographic system based on plasma focus X-rays, *Nukleonika*, vol. 46(1), pp 5--6 (2001)
7. Barbuzza R., Clause A.: Metrópolis Montecarlo con información a priori aplicado a la reconstrucción tomográfica, *Mecánica Computacional*, vol. 28, pp. 2693--2703 (2009)
8. Yoo T.: *Insight into Images. Principles and Practice for Segmentation, Registration and Image Analysis*, A K Peters, Ltd. (2004)
9. Fan J., Zeng G., Body M., Hacid M.: Seeded Region Growing: an extensive and comparative study, *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, pp. 1139--1156 (2005)
10. del Fresno M., Vénere M.: Interactive 3D Image exploration based on region growing methods, *Proceedings de la XII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2007)*, Río Gallegos, Argentina (2007)
11. Foley J., Van Dam A., Feiner S., Hughes J.: *Introduction to Computer Graphics*, Addison-Wesley (1996)
12. Simon M., Sauerwein C.: Cone beam tomography for quality control and rapid product development, *Insight*, vol. 42(10), (2000)
13. Castaño A., Paggi P., Barbuzza R., Vénere M., Clause A.: Control de calidad de manufactura con procesamiento tomográfico inteligente, *XXX Reunión Anual AATN 2003*, Nro. 23 (2003)