

Procesando más allá de lo visible

Domingo Mery

Grupo de Inteligencia de Máquina (GRIMA) Departamento de Ciencia de la Computación Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesor Titular DCC, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Electrical Engineering, Technical University of Berlin (2001), MSc Electrical Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (1992), Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú (1989). Líneas de especialización: Visión por Computador, Reconocimiento de Patrones, Procesamiento de Imágenes, Aplicaciones Industriales. <http://dmery.ing.puc.cl>



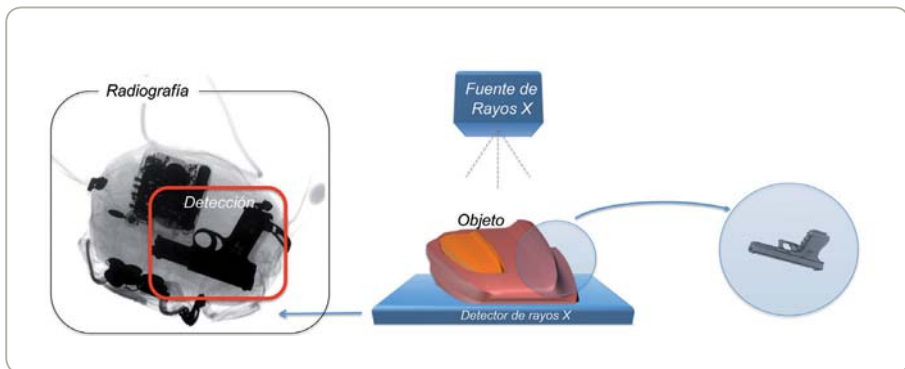
En algunas aplicaciones de visión por computador –relacionadas por ejemplo con la seguridad de personas o con la calidad de productos–, el análisis de las imágenes no puede llevarse a cabo usando fotografías digitales convencionales. En estos casos se requiere del uso de imágenes obtenidas fuera del espectro visible, como los rayos X, que son capaces de mostrar lo que ocurre dentro de un objeto. En el Grupo de Inteligencia de Máquina (GRIMA) hemos desarrollado diversas aplicaciones de visión por computador con rayos X en la identificación de objetos peligrosos en equipajes, detección de objetos no deseados en alimentos y reconocimiento de fallas internas en materiales. En este artículo revisamos los principales logros en investigaciones y desarrollos que hemos llevado a cabo en la última década.

INTRODUCCIÓN

Es sabido por todos nosotros que cuando viajamos en avión nuestro equipaje debe ser revisado exhaustivamente, con el fin de controlar si es que llevamos algún objeto prohibido. Estamos acostumbrados, por ejemplo, a que cada bolso de mano u otro objeto personal debe pasar por una cabina de rayos X en la que se obtiene una radiografía para que un operador humano inspeccione su contenido y detecte, si es que los hay, objetos que puedan atentar contra la seguridad del vuelo, como se ilustra en la Figura 1.

Como una fotografía a color de la mochila de la Figura 1 no nos proporcionaría información alguna para inspeccionar su contenido, es necesario contar con imágenes

Figura 1



Esquema del proceso de inspección de un objeto (mochila) usando rayos X.

que nos muestren lo que está más allá del espectro visible. Necesitamos entonces sistemas de rayos X que sean capaces de penetrar los objetos y que nos proporcionen una imagen de lo que está en su interior. Un sistema de visión por computador de rayos X consta de un equipo encargado de la adquisición de imágenes (fuente y detector de rayos X), muchas veces un manipulador robótico que posicione el objeto de análisis (o el equipo mismo de adquisición) en la posición adecuada, y un computador donde corran algoritmos de visión por computador encargados de realizar la detección o reconocimiento de manera automática. Estos sistemas son utilizados en un sinnúmero de aplicaciones relacionadas con la seguridad de personas y con la calidad de productos o materiales.

Los algoritmos se basan en técnicas de procesamiento de imágenes (relacionadas principalmente con el mejoramiento de la calidad de las imágenes obtenidas y con la segmentación que separe en la imagen los objetos de interés); reconocimiento de patrones (extracción de características que nos proporcionen información discriminativa de los objetos a detectar, y clasificadores); visión por computador (uso de múltiples vistas, visión activa y análisis moderno de gran cantidad de imágenes) y aprendizaje de máquina (estrategias de entrenamiento y selección de datos). En cada uno de estos problemas es necesario contar con una base de datos de imágenes con casos representativos que pueden ser empleados para el aprendizaje y las pruebas de nuestros

algoritmos. Con este fin hemos creado una base de datos pública de imágenes de rayos X en la que hemos recopilado las principales radiografías que hemos utilizado en nuestras investigaciones disponibles en nuestra página web (grima.ing.puc.cl).

En este artículo mostraremos investigaciones y desarrollos llevados a cabo en la última década por el Grupo de Inteligencia de Máquina (GRIMA) del Departamento de Ciencia de la Computación de la Universidad Católica, que hoy cuenta con un laboratorio único en Chile, dotado de un poderoso sistema de visión por computador de rayos X, en el que han trabajado estudiantes de postgrado que realizan investigación en el área.

APLICACIONES

Dentro de los problemas que hemos investigado se encuentran la revisión de

equipaje (detección de algunos objetos prohibidos en bolsos), análisis de alimentos (detección de espinas en salmones y truchas, así como control de calidad de kiwis y arándanos) e inspección de materiales (detección de fallas en soldaduras y en piezas de automóviles). A continuación haremos una breve descripción de ellos.

Revisión de equipajes

La revisión de equipajes se realiza hoy en día de manera manual. Nuestra investigación se ha concentrado en tratar de ofrecer algún grado de automatización a este proceso. La dificultad de este problema radica principalmente en el inmenso número de variantes en la apariencia que pueda tener una categoría de objetos prohibidos como muestra la Figura 2. En los dos últimos años hemos obtenido algunos resultados preliminares en la detección de hojas de afeitar y en la detección de pistolas, que a continuación describiremos con mayor detalle.

En el primer problema, creamos una base de datos de descriptores SIFT de radiografías de hojas de afeitar en distintas posiciones. La idea principal de la estrategia de detección, se basa en buscar en la radiografía de un objeto a revisar (por ejemplo una mochila) descriptores SIFT que sean similares a los de la base de datos y que estuvieran agrupados en una zona compacta de la imagen. A partir de la pose de la hoja de afeitar de la base de datos cuyos descriptores SIFT sean los más similares a los obtenidos de la imagen

Figura 2



Alta variabilidad en la apariencia de pistolas y cuchillos (imágenes obtenidas de Google Images al buscar estos ítems).

a revisar, se utiliza un manipulador robótico que gire el objeto con el fin de obtener una vista frontal de la hoja de afeitar detectada. De esta manera, basándonos en estrategias de visión activa en los que dirigimos al manipulador para obtener una mejor vista, es posible obtener una segunda, tercera y hasta una cuarta vista del objeto a revisar para mejorar y corroborar la detección (Riffo & Mery, 2012).

En el segundo problema, para poder disminuir la complejidad del problema de la alta variabilidad en la apariencia de las pistolas, se desarrolló una estrategia que buscara solamente los gatillos, ya que todas las pistolas cuentan con uno de ellos. Con este fin se entrenó un detector de gatillos, basándose en características geométricas obtenidas de la parte (*bounding-box*) de la imagen donde están los gatillos de diversas fotografías de pistolas obtenidas de Internet. Utilizando la estrategia de ventana deslizante

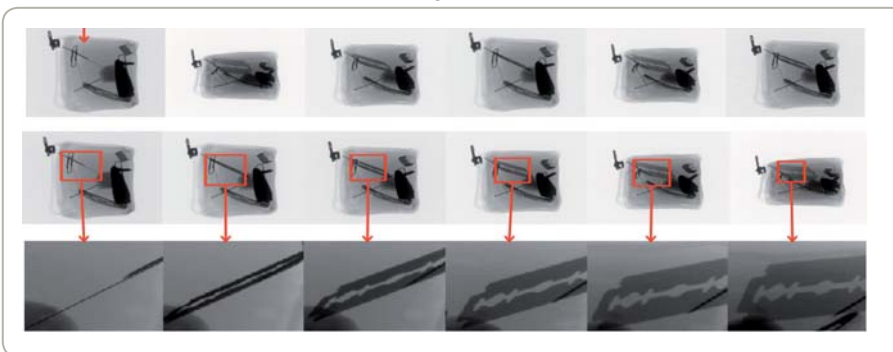
(*sliding-windows*) se barre entonces la radiografía del objeto a inspeccionar (por ejemplo la mochila) detectando posibles gatillos. Luego, se usa una estrategia de múltiples vistas en la que se obtienen diversas vistas del objeto y mediante algoritmos de correspondencia en las vistas se corroboran las detecciones correctas y se eliminan las falsas alarmas, donde las detecciones no estén presentes en las siguientes imágenes en las posiciones donde según el modelo geométrico del movimiento deberían estar (Mondragón, 2012).

También se ha trabajado en diseñar una estrategia general para la detección de objetos dentro de equipajes, con algoritmos de segmentación que separen objetos de interés y que puedan ser seguidos a lo largo de una secuencia de imágenes (Mery, 2011a). Una vez obtenida la secuencia es posible analizar las múltiples vistas, desarrollando un algoritmo de clasificación que tome como

entrada las apariencias desde distintos puntos de vista del objeto, y que luego realice una tomografía computada del objeto a seguir. Algunos resultados preliminares se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

En esta área de investigación se han obtenido resultados preliminares satisfactorios: en las categorías “hojas de afeitar” y “pistolas” se alcanzaron índices de desempeño de un 90% aproximadamente (en 130 y 27 experimentos respectivamente), sin embargo, resulta evidente que se necesita una validación experimental mayor, y ampliar considerablemente el número de categorías a detectar. Nuestra aspiración es poder contar con un equipo semiautomático que asista y alivie la tediosa inspección humana indicándole a los operadores cuáles objetos pueden ser sospechosos, y en algunos casos mostrar una reconstrucción 3D como en la Figura 5, que le ayude al operador a tomar una decisión y así aumentar los índices de desempeño en la detección de objetos prohibidos.

Figura 3



Detección de hojas de afeitar.

Figura 4



Detección de pistolas.

Figura 5



Reconstrucción 3D de pistola detectada.

Análisis de alimentos

En el análisis de alimentos hemos desarrollado una metodología general basada en reconocimiento de patrones en la que se extrae –en una etapa de entrenamiento– un número inmenso de características, por ejemplo del orden de tres mil, y que luego de manera automática se seleccionan las características y el clasificador que obtengan el mejor desempeño en una estrategia supervisada (Mery *et al.*, 2012). Basándonos en esta metodología, que se ilustra en la Figura 6, hemos podido desarrollar un proyecto Fondef¹ con la industria salmonera, cuyo fin fue poder detectar de manera automática las espinas presentes en los filetes de trucha y salmón. Los resultados entregaron índices de desempeño superiores al 95% (Mery *et al.*, 2011). Asimismo, hemos trabajado en el control de calidad de kiwis (Mondragón *et al.*, 2011) y arándanos (Leiva *et al.*, 2011) usando rayos X con resultados similares.

1 SalmonX: Sistema de Rayos X para inspección automática de filetes de salmón. Fondef N° D071-1080 (2009-2010).

Figura 6

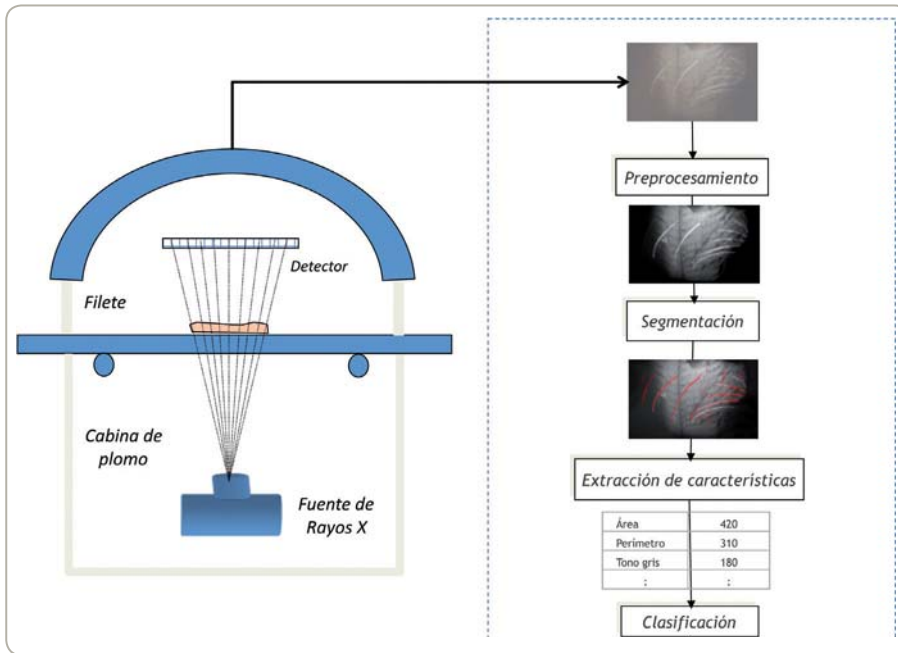


Diagrama de bloques de la detección automática de espinas en filetes de salmón.

Inspección de materiales

Dos aplicaciones en las que el análisis de imágenes radiográficas juega un rol primordial son inspección de soldaduras (Silva & Mery, 2007) e inspección de partes metálicas de automóviles (Mery, 2006). En estos ejemplos industriales, en que las imágenes de rayos X son utilizadas para determinar si estos objetos presentan fallas internas, la inspección debe observar criterios de seguridad sumamente rigurosos.

En este caso, un control de calidad errado que no detecte una fisura o una burbuja interna en una soldadura de una tubería que suministre gas a una ciudad, o en una llanta de automóvil, puede ocasionar serios accidentes como se ilustra en la Figura 7. Cabe mencionar, que este tipo de inspección no es por muestreo, ya que es necesario examinar el 100% de los objetos.

En la inspección de soldaduras hemos desarrollado estrategias clásicas como las explicadas en la sección anterior basándonos en características de textura (Berty & Mery, 2003) y también técnicas más modernas en las que hemos aplicado metodologías de ventanas deslizantes ampliamente usadas por la comunidad de visión por computador en la detección de caras, por ejemplo. En este caso, como se logra apreciar en la Figura 8, hemos obtenido desempeños del orden del 92% (Mery, 2011b).

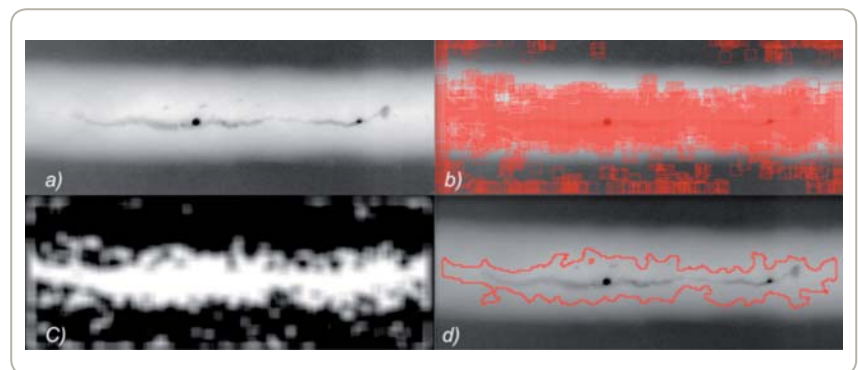
En la inspección de piezas de automóviles, se trabaja con múltiples imágenes tomadas desde distintos puntos de vista gracias al posicionamiento adecuado de la pieza a través de un manipulador robótico (Mery & Filbert, 2002). En estos algoritmos la modelación geométrica de la proyección 3D → 2D juega un rol muy importante debido a que es necesario encontrar correspondencias en las múltiples vistas (Mery, 2003). Para validar los algoritmos de detección en variados casos, se cuenta con herramientas de simulación de fallas (Mery 2001; Mery et al., 2005) que gracias a la modelación de superficies poligonales de fallas, se logra sobreponer zonas más claras, que simulan las fallas, en radiografías reales. En los últimos años, los algoritmos de detección han logrado índices de desempeño suficientemente altos (Pieringer & Mery, 2010; Carrasco & Mery, 2011), lo que ha llevado a que hoy en día este tipo de industria esté completamente automatizada.

Figura 7



Accidente en una llanta producto de una inspección deficiente

Figura 8



Detección de fallas en una soldadura: a) radiografía original, b) ventanas detectadas, c) ventanas sobrepuestas, d) detección final.

CONCLUSIONES

El Grupo de Inteligencia de Máquina (GRIMA) ha desarrollado diversas aplicaciones de visión por computador con rayos X en la identificación de objetos peligrosos en equipajes, detección de objetos no deseados en alimentos y reconocimiento de fallas internas en materiales. En este artículo revisamos los principales logros en cada una de estas aplicaciones. Observamos que algunas de ellas (partes de automóviles, detección de espinas en salmónes) están bastante desarrolladas, alcanzando niveles de automatización aceptables; otras aplicaciones (soldaduras) han obtenido desempeños altos pero aún no es posible automatizar el

proceso completamente debido a que los índices de desempeño deben bordear el 100%, ya que está en juego la seguridad de las personas; y otras aplicaciones (revisión de equipaje) son aún un problema sin resolver debido principalmente a la alta variabilidad de categorías a detectar y a que las imágenes presentan un grado de complejidad elevado con bajo contraste y con oclusión.

Gran parte de los adelantos en esta comunidad se deben a poder compartir tanto el código de los algoritmos, así como las imágenes utilizadas. Por esta razón, una contribución de nuestro grupo ha sido crear y actualizar un Toolbox en Matlab, con los algoritmos implementados y probados,

disponible en nuestra página web para fines no comerciales. Asimismo, las imágenes empleadas también se pueden descargar de nuestro sitio.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer por su apoyo a los proyectos Fondecyt 1100830 y 1040210, Fondef D07I-1080, LACCIR R0308LAC003, Anillos ACT32 y CopecUC; y también a los miembros de GRIMA, quienes han colaborado en el desarrollo de esta línea de investigación, especialmente a Miguel Carrasco, Gabriel Leiva, Germán Mondragón, Christian Pieringer, Vladimir Riffo, Álvaro Soto e Irene Zuccar.^{BITS}

BIBLIOGRAFÍA

Carrasco, M.; Mery, D. (2011): Automatic Multiple View Inspection using Geometrical Tracking and Feature Analysis in Aluminum Wheels. *Machine Vision and Applications*, 22:157-170.

Leiva, G.; Mondragón, G.; Mery, D.; Aguilera, J.M (2011): The automatic sorting using image processing improves postharvest blueberries storage quality. *Proceedings of International Congress on Engineering and Food*.

Mery, D. (2001): Flaw simulation in castings inspection by radiography, *Insight*, 43(10):664-668.

Mery, D.; Filbert, D. (2002): Automated Flaw Detection in Aluminum Castings Based on The Tracking of Potential Defects in a Radioscopic Image Sequence. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 18(6):890-901.

Mery, D.; Berti, .M.A. (2003): Automatic Detection of Welding Defects using Texture Features. *Insight*, 45(10):676-681.

Mery, D. (2003): Explicit Geometric Model of a Radioscopic Imaging System. *NDT & E International*, 36(8):587-599.

Mery, D.; Hahn, D.; Hirschfeld N. (2005):

Simulation of Defects in Aluminium Castings Using CAD Models of Flaws and Real X-ray Images. *Insight*, 47(10):618-624. (Ron Halmshaw Award 2005).

Mery, D. (2006): Automated Radioscopic Testing of Aluminium die Castings. *Materials Evaluation*, 64(2):135-143.

Mery, D. (2011a): Automated Detection in Complex Objects using a Tracking Algorithm in Multiple X-ray Views. *Proceedings of the 8th IEEE Workshop on Object Tracking and Classification Beyond the Visible Spectrum (OTCBVS 2011)*, in *Conjunction with Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2011)*. Colorado Springs, USA.

Mery, D. (2011b): Automated Detection of Welding Discontinuities without Segmentation. *Materials Evaluation*, June-2011:657-663.

Mery, D.; Lillo, I.; Loebel, H.; Riffo, V.; Soto, A.; Cipriano, A.; Aguilera, J.M. (2011): Automated Fish Bone Detection using X-ray Testing. *Journal of Food Engineering*, 105(2011):485-492.

Mery, D.; Pedreschi, F.; Soto, A. (2012): Automated Design of a Computer Vision System for Visual Food Quality Evaluation" *International Journal of Food and Bioprocess*

Technology (in Press doi 10.1007/s11947-012-0934-2).

Mondragón, G.; Leiva, G.; Aguilera, J.M.; Mery, D. (2011): Automated detection of softening and hard columella in kiwifruits during postharvest using X-ray testing. *Proceedings of International Congress on Engineering and Food*.

Mondragón, G. (2012): Metodología para el desarrollo de un clasificador de múltiples vistas de radiografías. Aplicación para la búsqueda de armas pequeñas dentro de equipajes. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Pieringer, C.; Mery, D. (2010): Flaw Detection in Aluminum Die Castings Using Simultaneous Combination of Multiple Views. *Insight*, 52(10):548-552.

Riffo, V.; Mery, D. (2012): Active X-ray testing of Complex Objects. *Insight*, 54(1):28-35.

Silva, R.; Mery, D. (2007): State-of-the-Art of Weld Seam Inspection by Radiographic Testing: Part I – Image Processing. *Materials Evaluation*, 65(6):643-647.

Silva, R.; Mery, D. (2007): State-of-the-Art of Weld Seam Inspection by Radiographic Testing: Part II – Pattern Recognition. *Materials Evaluation*, 65(9):833-838.