

Sistema de inspección de pantógrafos de trenes mediante visión artificial

Inspection system for train pantographs based on computer vision techniques

Ícaro Álvarez Giménez

Grupo de Diseño y Automatización de Sistemas Avanzados, Universidad de Vigo

Resumen

El pantógrafo es la pieza mecánica encargada de adquirir la energía necesaria para alimentar el motor eléctrico de un tren. Actualmente el mantenimiento de los pantógrafos de trenes se realiza de manera manual, siendo necesario cortar la alimentación de la catenaria y que un operario suba al techo del tren. Un pantógrafo en mal estado puede provocar un daño en la infraestructura de la catenaria con el consecuente cese de la circulación de trenes hasta su reparación. Con este proyecto se pretende, mediante técnicas de visión artificial, realizar la inspección del pantógrafo de forma autónoma, rápida y precisa, reduciendo así riesgos, errores humanos, tiempo de mantenimiento y por lo tanto aportando una importante ventaja competitiva.

Palabras clave: Pantógrafo, mantenimiento ferroviario, visión artificial.

Abstract

The pantograph is the mechanism that acquires the energy necessary to power the electric motor of a train. Currently, maintaining of pantograph of trains is performed manually, requiring switch off the catenary power and an operator climbing up to the train. A damaged pantograph could damage the catenary infrastructure and the consequent closure of this route until the repair is done. This projects aims, through computer vision techniques, carrying out the pantograph inspection autonomously, fast and accurate, reducing risks, human error, maintenance time and therefore making a significant competitive advantage.

keywords: Pantograph, train maintenance, computer vision.

1. Introducción y objetivos

El ministerio de Fomento, a través del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT), establece unas directrices específicas para el desarrollo de la política ferroviaria en España, con el objetivo de impulsar el nuevo modelo ferroviario mediante la promoción de la función del ferrocarril en la accesibilidad al conjunto del territorio.

Actualmente la red ferroviaria española de alta velocidad es líder mundial en términos de modernidad y velocidad comercial. En 1992 se realizó el primer viaje comercial de un tren de alta velocidad en España, en la línea Madrid-Sevilla y hoy, 20 años después, hay casi 2900 Km en servicio, que supone la red más extensa de Europa y la segunda del mundo, por detrás de China (Adif, 2012). En el plano tecnológico España es precursora en el sector de I+D+i ferroviario, mediante innovación en infraestructura, señalización, electrificación y material rodante.

El desarrollo de este proyecto viene motivado por la necesidad de los operadores ferroviarios de realizar las tareas de mantenimiento de los vehículos de la manera más óptima posible y de permitir la detección temprana de defectos que puedan suponer un riesgo potencial. Numerosos componentes (ejes, reductoras, deflectores, frenos, pantógrafos, antenas...) deben revisarse periódicamente para garantizar la seguridad de operación de los vehículos. En muchos casos estas operaciones de mantenimiento se realizan varias veces por semana para todas y cada una de las máquinas en circulación.

El pantógrafo

Un pantógrafo ferroviario es un dispositivo encargado de transmitir la energía eléctrica que proporciona la fuerza de tracción a locomotoras, tranvías y otros vehículos con motores eléctricos.

Consiste tal y como se aprecia en la figura 1, en un mecanismo articulado que se encarga de mantener a las pletinas de frotamiento en constante contacto con la línea de alta tensión (catenaria), bajo la que desliza. Se sitúa en el techo de la unidad tractora y es regulable en altura de forma automática.

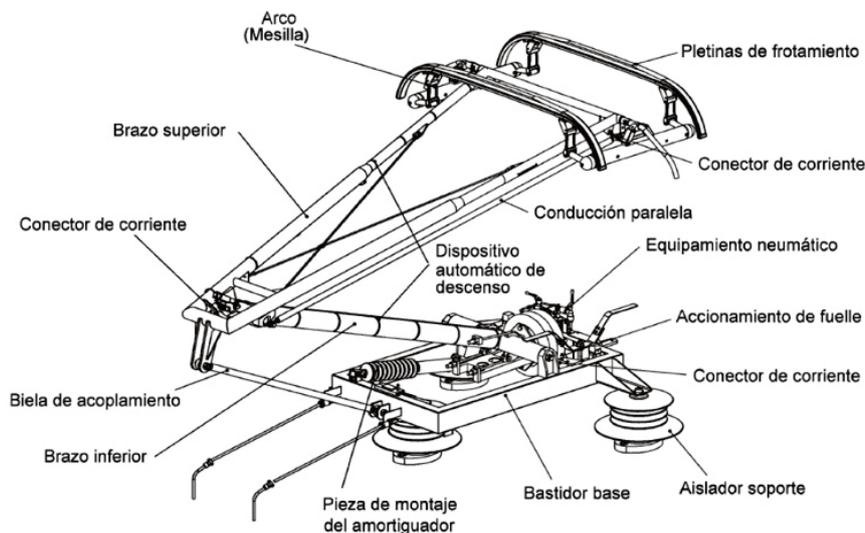


Fig. 1. Esquema general del pantógrafo

El frotador es la parte del pantógrafo que está en contacto con la catenaria. Consta de una pletina de rozamiento, de material variable según el modelo, que es necesario revisar periódicamente debido al constante desgaste por el uso y por la pérdida de material debido a impactos.

El sistema actual de mantenimiento del pantógrafo supone parar el tren por completo, quitar la alimentación a la catenaria y que un operario suba al techo del tren haciendo uso de varios sistemas de seguridad para evitar accidentes. A continuación, el operario realiza una inspección visual de los diferentes elementos de cada pantógrafo y comprueba el nivel de desgaste de las pletinas. La revisión se lleva a cabo cuando el tren ha realizado una cantidad de kilómetros determinada por lo que si se produce un daño importante en el pantógrafo no se detectaría hasta la siguiente revisión.

Un pantógrafo en mal estado, en casos extremos, puede llegar a dañar la infraestructura de la catenaria con la consecuente inutilización de ese tramo de vía hasta que se lleve a cabo su reparación.

Objetivos

Con el presente proyecto se pretende medir el espesor de los frotadores de pantógrafos de trenes de manera autónoma, sustituyendo el actual método de mantenimiento y aportando una ventaja competitiva al reducir el coste, riesgo y errores.

El sistema de inspección debe presentar una fiabilidad elevada y no requerir de mantenimientos complejos y costosos. Además la precisión alcanzada debe cumplir con los requisitos especificados por la norma técnica de mantenimiento de los frotadores a inspeccionar.

La construcción del prototipo debe ser lo más compacta posible para facilitar su instalación y mantenimiento. Los equipos electrónicos deben estar protegidos ante las interferencias electromagnéticas producidas por la catenaria y protegidos de las condiciones ambientales del lugar de instalación.

En aras de la seguridad, el sistema ha de ser suficientemente robusto y disponer de mecanismos de alerta ante fallos y parada de emergencia. Estos mecanismos de emergencia irán convenientemente instalados y sellados en un armario eléctrico instalado a tal efecto.

Para cumplir con los objetivos de autonomía, el sistema debe ser capaz de analizar los pantógrafos de los trenes a su paso por el sistema y generar un informe con los datos relevantes que será enviado a los operarios encargados del mantenimiento para que actúen en caso necesario.

El software encargado de controlar el sistema debe ser configurable para adaptar su funcionamiento a posibles cambios como: el lugar de instalación, el tipo de pantógrafo a analizar, los niveles de alerta fijados, el personal que reciba los informes, etc.

2. Descripción del sistema

La función del sistema de inspección de pantógrafos es obtener una representación tridimensional de su superficie para poder medir el espesor del material de desgaste y detectar posibles defectos de

manera autónoma. Se opta por el uso de técnicas de visión artificial ya que permiten obtener una reconstrucción fiable y precisa de la superficie del frotador con un coste razonable.

Iluminación estructurada

La visión artificial se define como el campo de la Inteligencia Artificial que permite la obtención de información especial obtenida a través de imágenes digitales. En aplicaciones industriales, las técnicas de visión artificial se usan para mejorar la calidad, aumentar la producción y reducir costes.

La visión artificial tridimensional es la parte de la visión artificial que se centra en obtener las propiedades tridimensionales de un objeto a partir de una o varias imágenes de dicho objeto tomadas desde una o varias cámaras.

Una de las técnicas usadas en visión artificial tridimensional se denomina iluminación estructurada y consiste en proyectar un patrón de luz en un objeto y captar la deformación de dicho patrón mediante un sistema de adquisición, normalmente una cámara. En la figura 2 se muestra el principio de funcionamiento; el patrón de luz es generado por un iluminador láser que incide sobre la superficie del objeto y genera un perfil que es captado por el sensor de imagen de una cámara digital.

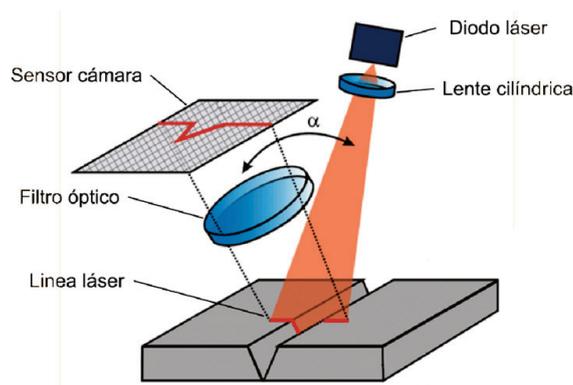


Fig. 2. Principio de funcionamiento de los sistemas de visión artificial basados en iluminación estructurada

Para cada punto del perfil se calcula, mediante triangulación (Kumar, 2006) la posición que ocupa en el espacio. Tomando un número suficiente de perfiles repartidos por la superficie del objeto, se obtiene una reconstrucción tridimensional, como puede observarse en la figura 3.

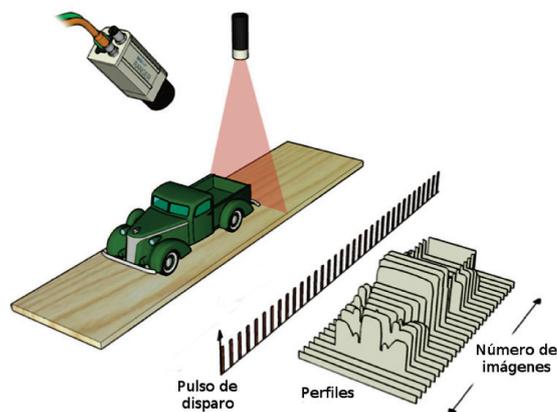


Fig. 3. Reconstrucción tridimensional de la escena mediante la técnica de iluminación estructurada

Hardware

Para llevar a cabo la técnica explicada en el apartado anterior es necesario la instalación de un sistema de iluminación láser que incida en la superficie de los frotadores, un dispositivo de adquisición que registre dichas proyecciones y un mecanismo de detección de pantógrafo para activar y desactivar la cámara y los iluminadores a su paso por el prototipo.

Las imágenes adquiridas se enviarán a un PC donde se realizará su análisis mediante los distintos algoritmos de visión artificial realizados para extraer la información necesaria que permita obtener la medida de espesor de dicho frotador y analizar los posibles defectos.

Para satisfacer los requisitos descritos se diseña una arquitectura como la que se puede observar en la figura 4. El conjunto de línea es la parte del sistema que se instala sobre la catenaria y en él se sitúa la cámara, los sensores de proximidad y los iluminadores láser. En el armario de techo se sitúan todos los dispositivos de alimentación y de comunicación que nos permiten solicitar imágenes a la cámara y activar los iluminadores cuando sea necesario. En el armario de suelo se instala el PC que ejecuta el software que permite controlar todo el sistema y también enviar todos los datos almacenados al exterior.

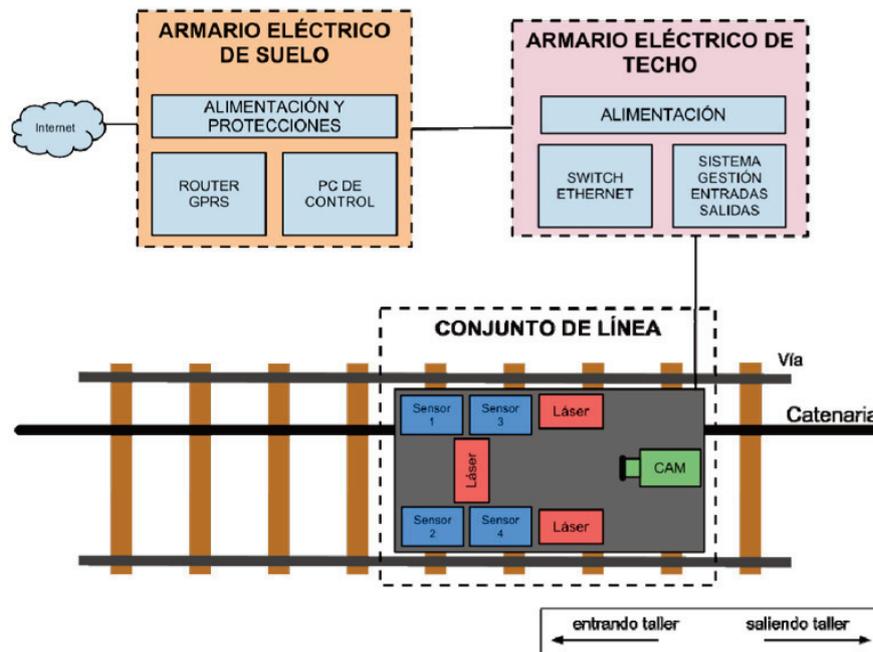


Fig. 4. Arquitectura del sistema

Software de explotación del sistema

El software que se ejecuta en el PC de control tiene como función comunicarse con los sensores de presencia para detectar la llegada de un tren, activar los iluminadores y la cámara, obtener imágenes de los iluminadores láser proyectados en la superficie de dicho pantógrafo, analizar dichas imágenes para extraer la medida de espesor del frotador y finalmente enviar toda la información al exterior para que pueda ser consultada por el personal interesado.

Para realizar las tareas descritas, el software desarrollado se estructura en tres módulos:

- 1- La *Máquina de estados* monitoriza la detección de los sensores de presencia de pantógrafo y activa la iluminación láser y adquisición de imágenes en caso de que un tren pase por el sistema. Posteriormente recibe las imágenes adquiridas y las envía al siguiente módulo para que las analice.
- 2- El módulo de *Procesamiento de imágenes* ejecuta los algoritmos de visión artificial que permiten extraer la información relevante que nos indica el espesor del material de desgaste así como los diferentes problemas detectados.
- 3- El módulo de *Generación de informe* recibe la información del estado de los pantógrafos de un tren y genera un informe con los datos de cada inspección: fecha y hora, velocidad y sentido del tren, espesor de los frotadores detectados, ángulos de desviación de los pantógrafos, pérdidas de material y uniformidad en el desgaste.

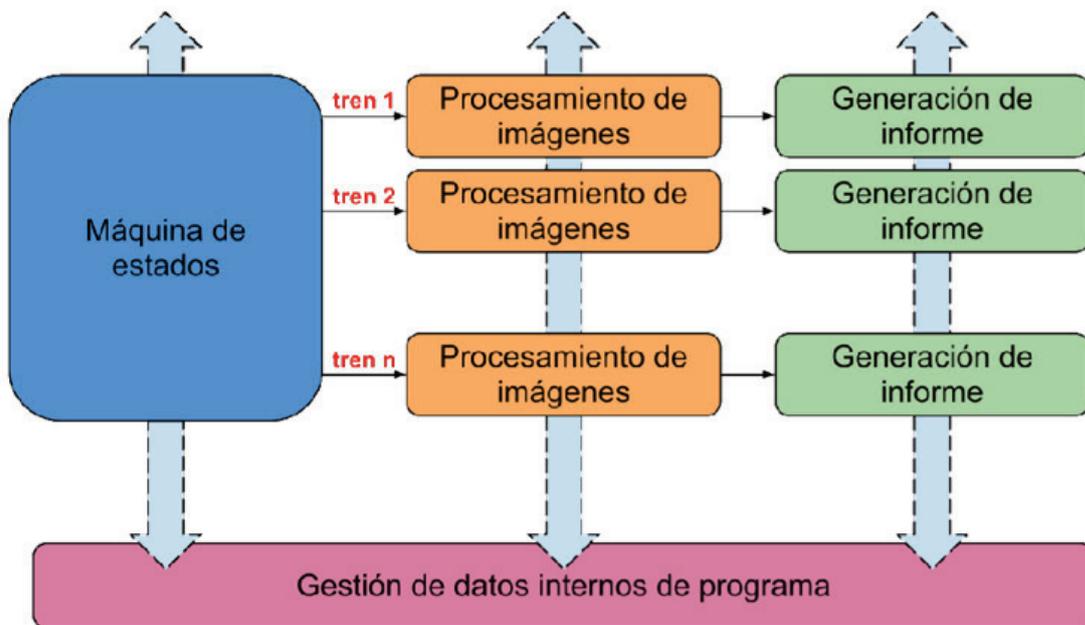


Fig. 5. Arquitectura del software de explotación del sistema

Los informes generados por el sistema se envían a una base de datos, que puede ser consultada por los operarios desde sus ordenadores personales y se envía un email con un resumen del informe como el que se puede ver en la figura 6. Los perfiles muestran las cotas más bajas del espesor de los frotadores detectados en cada pantógrafo. También se muestran datos de desgaste, cota mínima, superficie total con impactos, inclinación lateral de las mesillas y uniformidad en el desgaste. En caso de existir un problema grave se activa una alarma para proceder a la sustitución del pantógrafo en cuestión.

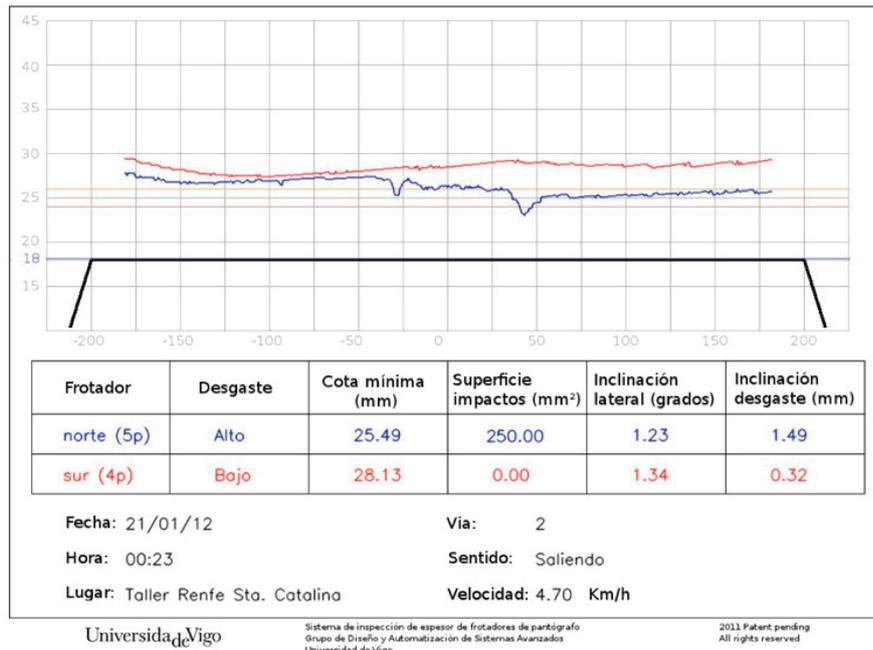


Fig. 6. Gráfica enviada por correo electrónico a los usuarios del sistema cuando se detecta un tren a su paso

Algoritmos de visión artificial

Como se explicó en la sección 2.1, para realizar la reconstrucción tridimensional de la escena se usa la técnica de iluminación estructurada, que consiste en proyectar un haz láser sobre la superficie del objeto con el propósito de localizar dicha proyección en la imagen y calcular su posición mediante triangulación. Los algoritmos desarrollados permiten distinguir la proyección de las líneas láser entre todas las interferencias recibidas por la cámara (ruidos, reflejos). Una vez localizadas las líneas se reduce su grosor para obtener la posición exacta en la imagen y por último se calcula el valor en coordenadas del mundo real.

Las medidas obtenidas de la superficie son relativas a la cámara, pero para saber el espesor real del frotador es necesario localizar el plano inferior del frotador para tomarlo como plano de referencia de cota cero. Por este motivo se sitúan dos iluminadores láser auxiliares que proyectan líneas verticales en los laterales del frotador y nos permiten situar la posición de dicho plano en la imagen, tal y se puede ver en la figura 7.

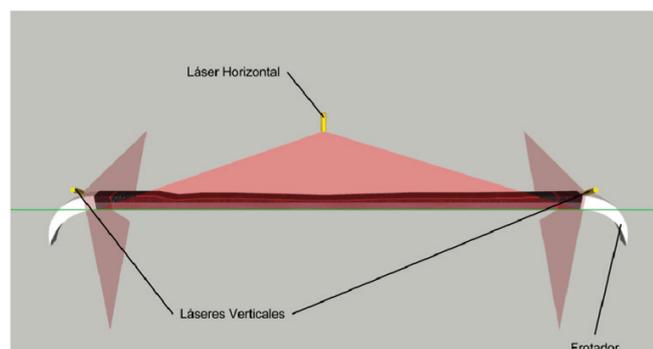


Fig. 7. Disposición de los iluminadores láser en el sistema

En la figura 8 se pueden observar como se usan técnicas de búsqueda de patrones (Brunelli, 2009) para situar las proyecciones de los láser verticales, en primer lugar, y a continuación se segmenta esa zona de la imagen para separar exactamente la parte perteneciente al haz láser del resto. Por último se busca la cota inferior de ambos láser que se corresponderá con la posición del plano inferior del frotador en la imagen.

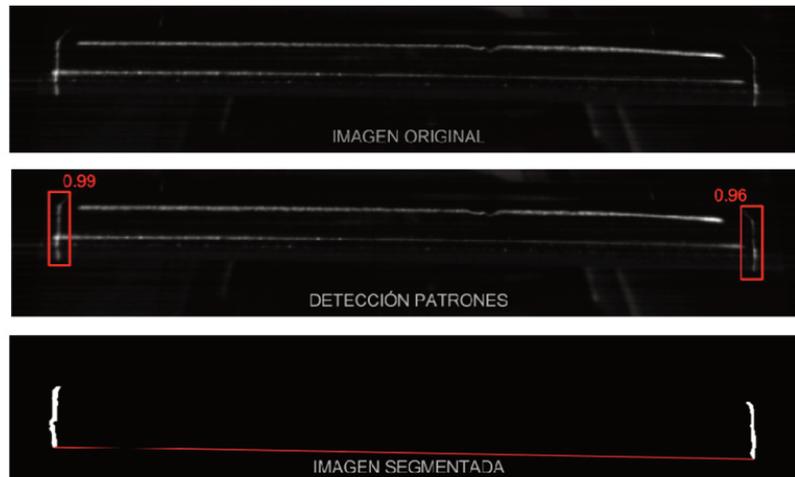


Fig. 8. Localización de las proyecciones láser verticales y cota cero

El siguiente paso consiste en localizar la proyección del láser horizontal, que incide sobre la superficie del frotador y adelgazar dicha línea para obtener la posición exacta en la imagen. En la figura 9 se puede observar los pasos necesarios para localizar dicha proyección: en primer lugar se segmenta la imagen central buscando islas horizontales de puntos con iluminación semejante. Como resultado de este primer paso aparecen varios candidatos entre los cuales solo una de las islas pertenece a la línea buscada y el resto a ruidos y reflejos, que son filtrados en el último paso.

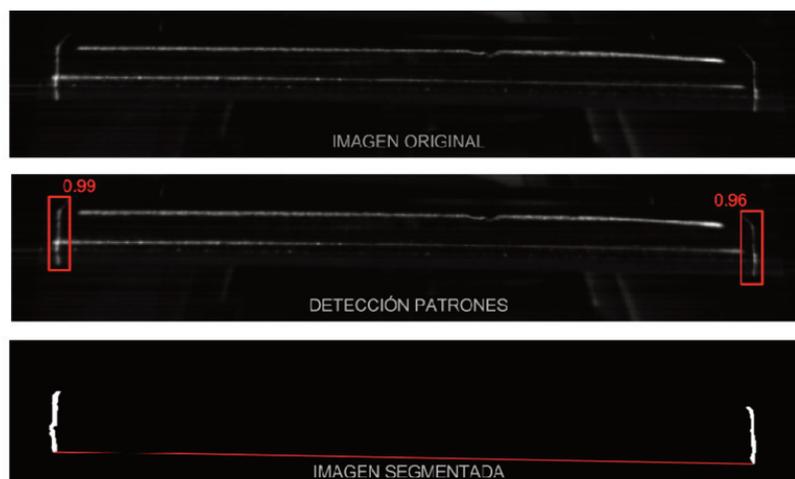


Fig. 9. Localización de proyección láser horizontal

Una vez localizada la zona donde se encuentra la proyección horizontal se adelgaza esta línea mediante técnicas de cálculo del centro de gravedad para obtener en cada columna de la imagen una posición exacta de la altura del frotador en ese punto. Comparando esa posición con la cota cero obtenemos un perfil con una precisión submilimétrica que nos indica el espesor del frotador en cada imagen.

Una vez obtenidos los perfiles en todas las imágenes se fusiona dicha información para obtener una representación tridimensional de la superficie del frotador y finalmente se busca en ella impactos graves o desgastes excesivos o irregulares.

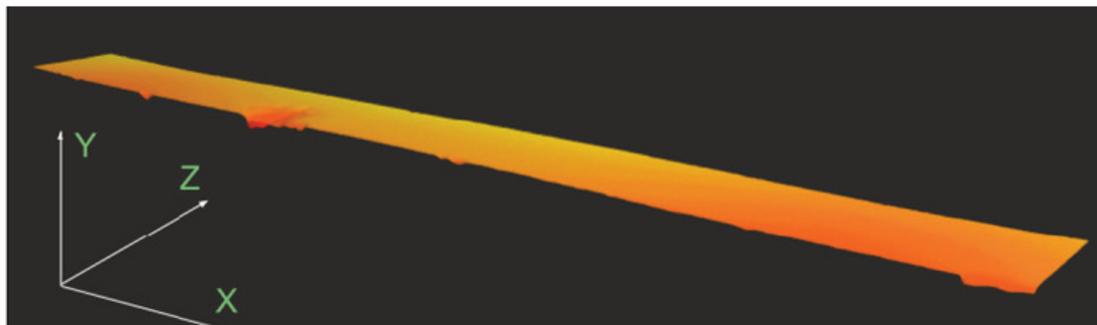


Fig. 10. Representación tridimensional de la superficie del frotador

Para implementar los algoritmos de visión artificial que realizan las funciones aquí descritas se han utilizado distintas técnicas de búsqueda de patrones, segmentación de la imagen, cálculo del centro de gravedad de la curva de intensidad, operaciones morfológicas, filtrado, etc. que están disponibles en la biblioteca de libre distribución OpenCV (Open SourceComputerVision), actualmente gestionada por el laboratorio de investigación robótica WillowGarage (Bradski, 2008).

3. Conclusiones

En el presente proyecto se ha desarrollado un sistema autónomo de inspección de pantógrafos de tren en tiempo real basado en técnicas de visión artificial. El sistema realiza la medición del espesor del frotador mediante triangulación láser, obteniéndose los niveles de desgaste del frotador con precisión submilimétrica, detecta pérdidas de material producidos por impactos y comprueba que las pletinas del pantógrafos estén correctamente alineadas.

La construcción del prototipo se ha realizado lo más compacta posible y de manera que respete todos los gálbos impuestos en el lugar de instalación. Se han protegido los dispositivos electrónicos contra las interferencias electromagnéticas provocadas por la catenaria y contra posibles arcos voltaicos. Para asegurar que el sistema sea lo más flexible posible se ha procurado basarse en estándares abiertos, tanto en la parte hardware como en el software.

Con toda la información recogida por el sistema al paso de cada tren se genera y envía un informe que permite al personal de mantenimiento revisar la integridad de los frotadores sin tener que acceder al techo del tren, reduciendo el riesgo de accidente y el tiempo necesario para realizar esta tarea de forma manual. En este sentido con el sistema desarrollado en este proyecto se consigue una gran ventaja competitiva en las tareas de mantenimiento de trenes eléctricos, obteniéndose una operación más precisa y reduciendo coste, riegos y errores; a mayores, se incrementa la frecuencia de inspección con respecto a los métodos usados anteriormente y por lo tanto permite detectar con mayor eficacia averías importantes que supongan un peligro potencial para la infraestructura de la catenaria.

El sistema desarrollado ha sido instalado y puesto en marcha en un taller de mantenimiento de ferrocarriles de alta velocidad y lleva en funcionamiento mas de un año. En este periodo se han recogido muestras de casi 1000 trenes a su paso por el sistema y se han obtenido los resultados buscados. La precisión final obtenida en las medidas es de 0,65 milímetros.

4. Referencias

- [1] Adif (2012). Alta velocidad Española. <http://www.adif.es/lineas_de_alta_velocidad.shtml>
- [2] Brunelli, R. (2009). *TemplateMatchingTechniques in ComputerVision:Theory and Practice*. Wiley.
- [3] Kumar, S. (2006). Anopticaltriangulationmethodfor non-contactprofilemeasurement. *IEEE International Conferenceon Industrial Technology, 2006*.
- [4] Bradski, G. (2008). *ComputerVisionwiththeOpenCV Library*. OReilly.