

Robot móvil para digitalización de daños en aeronaves

Mario Arturo Franco Gómez
 Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria
 de Ingeniería campus Guanajuato
 Silao, Guanajuato, México
 mfrancog1700@alumno.ipn.mx

Briseida Jackelinne Pacheco Sandoval
 Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria
 de Ingeniería campus Guanajuato
 Silao, Guanajuato, México
 jakelinne130215@gmail.com

Raúl Ernesto Ávila Luna
 Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria
 de Ingeniería campus Guanajuato
 Silao, Guanajuato, México
 ravila@ipn.mx

César Augusto García Isáis
 Instituto Politécnico Nacional
 Unidad Profesional Interdisciplinaria
 de Ingeniería campus Guanajuato
 Silao, Guanajuato, México
 cgarciai@ipn.mx

Abstract—El uso de las aeronaves las expone a sufrir daños en su fuselaje debido a golpes, ya sea en tierra o durante el vuelo, comprometiendo su eficiencia aerodinámica, por lo que se realiza un reporte de daños para su identificación y posterior reparación. Sin embargo, ese documento por lo general solamente indica la posición del daño de una manera aproximada y no se detallan sus dimensiones, por lo que se pueden presentar errores en la reparación, y corregir algún otro daño no indicado en el reporte. En este trabajo se construye sistema de metrología óptica basado en la proyección de una línea de luz y procesamiento de imágenes obtenidas por una cámara para obtener las dimensiones de los daños. Adicionalmente al sistema óptico, se construye un robot hexápodo para poder mover el sistema óptico por el fuselaje de la aeronave. El control de la posición del robot se realiza de manera manual por medio de comunicación inalámbrica.

Keywords—Robótica móvil, Comunicaciones, Metrología, Perfilometría óptica, Pruebas ópticas no destructivas.

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de las pruebas ópticas no destructivas existen diversas técnicas de metrología que permiten obtener la información en 3D del objeto de estudio [1]. En este sentido, podemos encontrar la rama de la metrología óptica que utiliza la proyección de patrones especiales para su posterior captura por medio de una cámara en donde el patrón proyectado se deforma debido a la superficie del objeto bajo estudio. Entre estos patrones podemos encontrar la proyección de una línea de luz láser [2], o bien utilizando un proyector y haciendo incidir un patrón de franjas senoidales o de otro tipo sobre el objeto de estudio [3]. En la proyección de una línea de luz, se tiene la desventaja de que se requiere de un proceso de escaneo, es decir, realizar un movimiento relativo entre el sistema de metrología y el objeto a medir. La proyección de patrones senoidales tiene la ventaja de que se puede realizar la medición de un área determinada utilizando varias imágenes [4], sin embargo, hay métodos en donde se puede recuperar la información tridimensional utilizando una sola imagen [5]. Se realizó un análisis de éstas dos técnicas y se llegó a la conclusión de que para realizar la medición sobre el fuselaje de la aeronave se requería de una intensidad luminosa lo suficientemente grande para que la cámara captara el patrón independientemente de la luz ambiente o del color de la aeronave, dando mejores resultados el uso de la línea de luz.

Proyecto financiado por el Sistema de Administración de Programas y Proyectos de Investigación del Instituto Politécnico Nacional. Proyecto 20230537.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

A continuación, se describen los componentes del sistema. En la sección II.A se muestra el robot hexápodo, así como los sistemas de comunicación para su control. En la sección II.B se describe el sistema óptico de metrología óptica por medio de proyección de línea de luz para adquirir la información en 3D del daño.

A. Robot hexápodo

Se analizaron diferentes configuraciones de robots para analizar sus ventajas y desventajas, y se llegó a la conclusión que el más indicado para mover el sistema óptico sería el robot hexápodo debido a que tiene una gran estabilidad en su posición de reposo, lo cual es necesario para realizar el proceso de escaneo. El diseño del robot se realizó mediante modelado 3D por computadora para su posterior impresión utilizando tecnología aditiva [6]. El robot cuenta con tres servomotores MG995 en cada pata. La etapa de control se realizó con el microcontrolador Arduino, el robot se muestra en la Fig. 1 a). Adicionalmente y para controlar el movimiento del robot, se implementó un sistema de comunicación inalámbrica por Bluetooth, así como el diseño mecánico de una carcasa que pudiera contener a todos los componentes del sistema de comunicación. En la Fig. 1 b) se puede ver la carcasa diseñada con los circuitos de comunicación. Las instrucciones de movimiento del robot se realizan mediante dos joysticks.

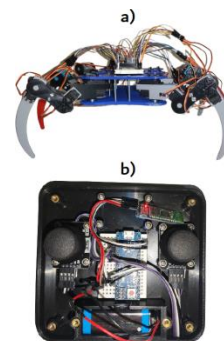


Fig. 1. a) Robot hexápodo. b) Mando a distancia por comunicación Bluetooth.

B. Sistema de metrología óptica

Como se mencionó anteriormente, se optó por la opción de medición por medio de un patrón de línea de luz, el cual es económico en su operación debido a que solo requiere de un láser y una cámara. El láser incluye un lente que produce una línea de luz, la cual, al ser proyectada sobre el objeto, se deforma, y si se observa desde un punto de vista distinto al de la fuente de luz, se puede relacionar la deformación con la altura del objeto. La línea deformada se captura por medio de una cámara y la imagen es procesada utilizando el software Matlab. El esquema del sistema se muestra en la figura 2 a), y su correspondiente deformación en la Figura 2 b).

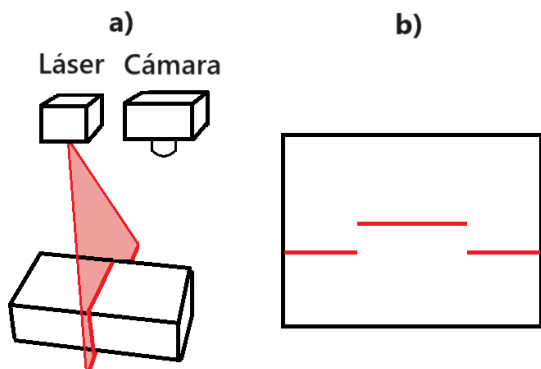


Fig. 2. a) Esquema del sistema de proyección de la línea de luz. b) Imagen de la deformación capturada por la cámara.

Este sistema basa su funcionamiento en la triangulación del desplazamiento obtenido respecto a un plano de referencia. La ecuación que permite realizar la conversión entre el desplazamiento y la altura del objeto se describe en la siguiente ecuación [7].

$$h(x, y) = \frac{D+s(x,y)}{d+s(x,y)} \quad (1)$$

En donde $h(x, y)$ es la altura del objeto, $s(x, y)$ es el desplazamiento en píxeles de la línea proyectada en el objeto en relación con el plano de referencia, D es la separación entre el láser y la cámara respecto del plano de referencia, y d es la distancia entre el láser y la cámara.

Para obtener una exactitud mayor, se realiza una aproximación Gaussiana de la línea de luz, esto con la finalidad de obtener resolución de subpíxeles, de lo contrario si solamente se considerara el píxel con la intensidad máxima, la resolución se vería disminuida.

El principal inconveniente en la aplicación de este método es que solamente se obtienen datos de altura en la región iluminada por la línea de luz, la cual es relativamente pequeña, por lo que se requiere de crear un movimiento relativo entre el sistema de medición y el objeto, requiriendo un proceso de escaneo. El movimiento debe de tener una velocidad y dirección controlada. El motor que cuenta con estas características es el motor a pasos, aunque con la necesidad de contar con una etapa de control y una etapa de potencia, adicionalmente, de nueva cuenta, se debe diseñar el sistema mecánico para el montaje del sistema láser-cámara, para su

posterior impresión en 3D. El sistema de escaneo sobre el colocado sobre el robot se puede observar en la Figura 3.

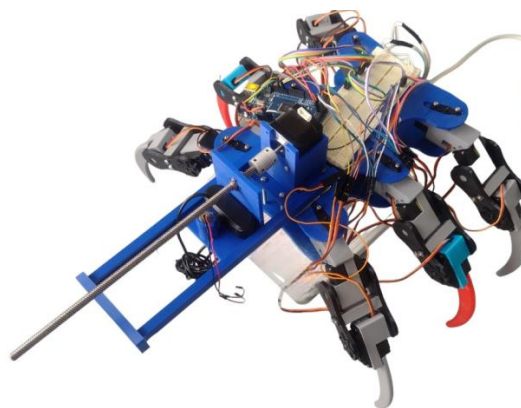


Fig. 3. Sistema de escaneo por línea de luz montado sobre el robot hexápodo.

III. RESULTADOS

Una vez que el robot es colocado sobre el daño a digitalizar, se procede a la captura de las imágenes. En la siguiente figura se muestra el robot sobre el ala del avión durante la prueba.



Fig. 4. Robot hexápodo con el escaner durante la digitalización del daño.

Las imágenes se toman de manera sincronizada con el movimiento del sistema de luz laser-cámara. Posteriormente las imágenes se procesan primero modelando la línea de luz por medio de una función Gaussiana, ya que, en algunas secciones y dependiendo del color de la superficie, se puede dar el caso de que la intensidad sature la imagen. Una vez determinada la posición del valor máximo de intensidad, se puede aplicar la Ec. 1 para obtener la altura del objeto. En este caso, se obtiene la distancia del fuselaje al sistema laser-cámara, por lo que el daño está en función del desplazamiento de la línea de luz comparada con un plano de referencia. El resultado de la digitalización se muestra en la Figura 4, en donde el círculo rojo resalta el daño. Se pueden observar algunas ondulaciones en la superficie digitalizada, estas se deben al error en las tolerancias del sistema al ser impreso en

3D, para evitar esto el sistema se puede construir de metal para tener un mayor control sobre las tolerancias.

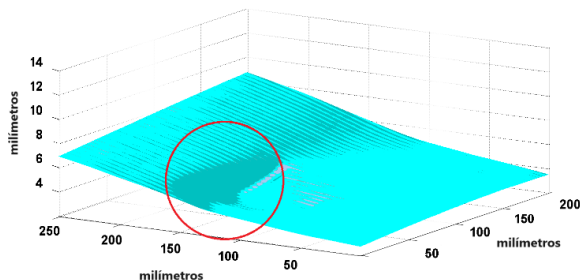


Fig. 4. Resultado de la digitalización del daño en el fuselaje de la aeronave.

IV. CONCLUSIONES

Se logró diseñar y construir un robot hexápodo, el cual sirve de soporte y le aporta movilidad a un escáner de línea de luz. Esto permite realizar la digitalización de daños en el fuselaje de las aeronaves con la finalidad de complementar el reporte de daños. Para realizarlo se diseñaron en software de modelado las piezas, tanto para el escáner, como para el robot; así mismo, se desarrolló la parte de electrónica para controlar el movimiento del robot y las comunicaciones desde el control remoto al robot por medio de Bluetooth. Finalmente, se desarrolló la programación en Matlab para procesar las

imágenes y obtener la reconstrucción en 3D o digitalización de los daños. El procesamiento de las imágenes se realizó posterior a su captura, debido a que el ajuste a la función Gaussiana al ser un procedimiento iterativo implica un consumo importante de tiempo.

Actualmente, el robot solo puede realizar estudios en las superficies horizontales como las alas, sin embargo, como trabajo futuro, se realizarán modificaciones a las patas para que le provean de libertad de movimiento en todo el fuselaje.

REFERENCES

- [1] Malacara D, "Optical shop testing" John Wiley & Sons. (2007).
- [2] J. A. Muñoz Rodríguez Three-dimensional recovering based on variable focal length via Bezier networks, *The Imaging Science Journal*, 63:3, 145-159, (2015).
- [3] Jason Geng, "Structured-light 3D surface imaging: a tutorial," *Adv. Opt. Photon.* 3, 128-160 (2011).
- [4] S. S. Gorthi and P. Rastogui, "Fringe projection techniques: whither we are?" *Opt. Lasers Eng.* 48(2), 133-140 (2010).
- [5] García Isaías CA, Ochoa NA. One shot profilometry using a composite fringe pattern. *Opt Las Eng* (2014).
- [6] <https://howtomechatronics.com/projects/arduino-ant-hexapod-robot/>
- [7] Muñoz-Rodríguez, J. A., & Rodríguez-Vera, R. (2003). Evaluation of the light line displacement location for object shape detection. *Journal of Modern Optics*, 50(1), 137-154.