

Innovación Acústica en la Protección de Patrimonio de Madera: Detección de Larvas de *Hylotrupes bajulus* L. con Tecnología MEMS

Roberto D. Martínez ^{1,*}, Alberto Izquierdo ², Juan José Villacorta ², Lara del Val ², Milagros Casado ¹, Patricia Vallelado-Cordobes ¹, Luis-Alfonso Basterra ¹

¹ GIR Estructuras y Tecnología de la Madera, Universidad de Valladolid Institución, Valladolid, España.

Robertodiego.martinez@uva.es, mmcasado@uva.es, pvallelado@uva.es, alfonso.basterra@uva.es.

² GIR Procesado en Array, Universidad de Valladolid, Valladolid, España. alberto.izquierdo@uva.es, juanjose.villacorta@uva.es, lara.val@uva.es.

Autor de correspondencia*

RESUMEN

Este estudio aborda el problema global de la degradación de la madera estructural por insectos xilófagos, enfocándose en la detección y localización de las larvas de *Hylotrupes bajulus* L. Se desarrolló un sistema de detección acústica no invasivo, de bajo costo, basado en un array de micrófonos MEMS para identificar la presencia y localización de estas larvas en madera de pino. Este sistema integra un array acústico, un sistema de adquisición y pre-procesamiento basado en FPGA/procesador, y una aplicación de análisis y visualización en PC. El estudio utilizó larvas implantadas en piezas de madera de pino, donde se llevó a cabo una amplia recolección de datos acústicos. Se implementó un algoritmo especializado para procesar las señales acústicas y localizar las larvas. Los resultados indicaron que, aunque la presencia de anomalías en la madera como grietas y nudos puede afectar la precisión de localización, el sistema logró detectar y localizar las larvas dentro de la unidad mínima de tratamiento antixilófago. Este sistema representa un avance en el control de infestaciones de xilófagos, permitiendo tratamientos más selectivos y localizados.

PALABRAS CLAVE

Array acústico, Carcoma gigante, Métodos no destructivos, Beamforming

1 INTRODUCCIÓN

La degradación de la madera estructural por ataques de insectos xilófagos representa un problema global significativo. La madera, sensible a las leyes de supervivencia de la naturaleza, está particularmente expuesta a hongos y diversas especies de insectos bajo ciertas condiciones, generando costos económicos enormes a nivel mundial una vez que el ataque ha ocurrido. Entre estos, La carcoma gigante (*Hylotrupes bajulus* L.), es notable por sus larvas que habitan y se alimentan en maderas con bajo contenido de humedad. Estas larvas, que prefieren maderas coníferas, requieren de métodos de detección y tratamiento específicos.

Los sistemas de inspección visual tradicionales para detectar estas larvas se basan en la identificación de desechos, agujeros de salida y el sonido que producen al morder la madera, pero estos métodos pueden ser subjetivos. Por otro lado, las emisiones acústicas (AE) han sido utilizadas para identificar ataques de insectos en madera, pero con limitaciones en cuanto a la colocación de sensores y la inactividad temporal de las larvas.

Este trabajo se centra en el desarrollo y la implementación de un sistema de detección acústica de bajo costo y sin contacto, utilizando un array de micrófonos MEMS. Este sistema no solo detecta la presencia de larvas activas, sino que también localiza su posición dentro de la madera. Su objetivo es controlar infestaciones, permitiendo tratamientos selectivos y localizados, y verificando su eficacia.

2 Material y métodos

2.1 Descripción del Sistema de Adquisición

El sistema de adquisición desarrollado se compone de tres elementos clave: primero, un array acústico formado por micrófonos MEMS (Sistemas Microelectromecánicos), diseñado para capturar de manera precisa las señales acústicas. El segundo componente es un sistema de adquisición y pre-procesamiento, basado en una plataforma FPGA/Procesador, que gestiona eficientemente los datos recogidos. Finalmente, se incluye una aplicación de análisis y visualización basada en PC, que facilita la interpretación y representación de los datos de forma comprensible y útil.

Este sistema destaca por la integración y coordinación efectiva entre sus componentes de hardware y software. La selección y diseño cuidadoso de cada elemento aseguran una solución robusta y precisa para la detección de actividades acústicas específicas. La flexibilidad del sistema permite su adaptación a una variedad de aplicaciones, abriendo nuevas posibilidades en el análisis acústico.

El título debe alinearse a la izquierda y redactarse en tamaño de fuente 14 pt, negrita y mayúsculas. Úsese interlineado simple y que no supere tres líneas de extensión.

2.2 Configuración de la Prueba

Para la configuración de la prueba, se seleccionaron seis larvas de *Hylotrupes bajulus* L., con un peso que oscila entre 0,22 y 0,35 gramos. Estas larvas fueron implantadas en cuatro piezas de madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), cada una con medidas de 90x140x1200 mm y acondicionada a un 12% de contenido de humedad. Las larvas procedían de madera demolida de edificios históricos en Valladolid, España.

Para la implantación, se perforó un orificio en el lado opuesto de cada pieza de madera, situando el extremo del orificio a 10 mm del lado de observación. Las larvas se colocaron en el interior de estos orificios, los cuales fueron sellados con papel de seda. Esta disposición permitió estudiar diversos fenómenos de propagación del sonido en la madera, como el efecto de borde, entre otros.

Una vez implantadas, se marcó la posición inicial de las larvas en las piezas de madera con una etiqueta amarilla. Posteriormente, las muestras de madera se montaron en un marco para facilitar su estudio simultáneo, lo que permitió simular la presencia de varias infestaciones al mismo tiempo. Las larvas se aclimataron durante 30 días antes de comenzar las pruebas de escucha.

2.3 Algoritmo de Procesamiento

Se implementa un algoritmo de procesamiento que se caracteriza por una secuencia de sub-algoritmos funcionales y especializados. Este diseño es esencial para la detección y localización precisa de larvas de *Hylotrupes bajulus* L. en la madera.

El proceso inicia con la captura de señales acústicas filtradas en el tiempo. Posteriormente, se analizan estas señales, con un enfoque particular en su espectro promedio. Cada fase del algoritmo ha sido desarrollada meticulosamente para asegurar la máxima precisión en la identificación de las señales acústicas emitidas por las larvas. Este método avanzado no solo facilita la detección de la presencia de las larvas, sino también la determinación de su ubicación exacta dentro de la madera, lo cual es fundamental para un tratamiento eficaz de la infestación.

3 Resultados

Durante un período de dos meses, se llevaron a cabo aproximadamente 2,5 millones de capturas acústicas, de las cuales 500.000 mostraron actividad de las larvas implantadas, representando el 2% del total de capturas. En este apartado, se analizan primero las imágenes acústicas obtenidas a partir del algoritmo descrito anteriormente. Posteriormente, se verifica el comportamiento de las larvas y la extensión de las galerías que excavaron durante el período de análisis.

Cabe destacar que la actividad de cada larva y sus movimientos fueron variables, lo que resultó en dispersiones distintas para cada una. Es importante señalar que el sonido producido por las larvas tiene mecanismos de propagación complejos. La madera, al no ser un medio homogéneo, y las galerías internas creadas por las larvas, implican que el sonido se genere en un punto y salga a la superficie de la viga por otro punto. Este último punto ha sido comprobado experimentalmente que está cerca de la posición interna donde se generó el sonido.

Además, la presencia de nudos y grietas en las vigas puede alterar el punto de salida del sonido. Por lo tanto, es evidente que los puntos de salida del sonido están próximos a la posición de las larvas, pero si existen desviaciones significativas de las fibras, nudos o grietas en las vigas, el sonido también puede salir por ellos. Se requiere una inspección visual para descartar una zona de emisión de sonido si hay una fenda o nudo cerca y así asegurar que las zonas detectadas identifiquen claramente la posición de las larvas dentro de ellas.

4 Conclusiones

Se ha desarrollado un sistema acústico no invasivo y de bajo coste basado en un array de micrófonos MEMS, sensible a las señales acústicas producidas por larvas de cerambícidos al alimentarse, que permite la detección y localización precisa de múltiples individuos dentro de piezas de madera de tamaño estructural. El estudio revela que anomalías en la madera, como grietas y nudos, pueden afectar la localización de las larvas, causando errores o divisiones en la localización. No obstante, el error se mantiene dentro del internudo de la madera, que se considera la unidad mínima para el tratamiento antixilófago.

5 Futuras líneas de investigación

Teniendo en cuenta que el crecimiento de las larvas no es lineal y su tamaño al eclosionar es tan pequeño que no pueden ser detectadas auditivamente, futuras investigaciones podrían centrarse en cómo el tamaño de la larva afecta la capacidad de detección del sistema o en definir el umbral de detección. Además, el estudio podría extenderse a la detección de patrones de alimentación y galerías de otros organismos xilófagos, como carcomas o termitas, y realizar pruebas de campo para evaluar su rendimiento fuera del laboratorio. A futuro, el sistema podría identificar el tipo específico de xilófago responsable del deterioro mediante el uso de aprendizaje automático o técnicas equivalentes basadas en la información temporal y de frecuencia de los eventos sonoros detectados, permitiendo tratamientos curativos más focalizados y localizados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Junta de Castilla y León, cofinanciada por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) (ref. VA228P20).

REFERENCIAS

En la comunicación completa se aportarán las correspondientes citas bibliográficas y el listado de referencias.