



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

NUEVOS ALGORITMOS DE PROCESADO DE SEÑAL PARA LA MONITORIZACIÓN DE RUIDO SUBMARINO

PACS: 43.30.-k, 43.60.-c, 43.38.-p, 43.58.-e

R.Martínez*; I.Felis; P.Ruiz; H.Er-rachdi; P.Cervantes
Institución: Centro Tecnológico Naval y del Mar (CTN)
Dirección: Parque Tecnológico de Fuente Álamo, Ctra El Estrecho-Lobosillo Km2, 30320
Población: Fuente Álamo, Murcia
País: España
Tel: +34 968 19 75 21
E-Mail: rosamartinez@ctnaval.com

Palabras Clave: Ruido submarino, Monitorización acústica, MSFD, Compresión de datos, Algoritmos de Huffman,

ABSTRACT

The planning, management and exploitation of marine natural resources requires monitoring systems that generates a large volume of data. Among other aspects, these systems require technologies capable of transmitting and processing information quickly and efficiently. In this way, information compression techniques play a fundamental role. In this text, the CTN proposes lossless compression techniques, based on Huffman and Lempel Zip Welch (LZM) algorithms, used for the transmission of the frequency information of underwater acoustic signals to improve the performance of current underwater noise monitoring systems. The applications and experiments carried out focus on responding to the Marine Strategies, an instrument for planning the marine environment created under Directive 2008/56 / CE, of June 17, 2008, and more specifically of the D1 MSFD.

RESUMEN

El gran volumen de datos generados en el ámbito de la planificación, gestión y explotación de los recursos naturales ubicados en el medio marino requiere de, entre otros aspectos, tecnologías capaces de transmitir y procesar la información de forma rápida y eficiente. Para ello, las técnicas de compresión de información presentan un papel fundamental. En este texto, el CTN plantea técnicas de compresión sin pérdidas, basados en algoritmos de Huffman y Lempel Zic Welch (LZM), empleados para la transmisión de la información frecuencial de señales acústicas submarinas que permiten mejorar las prestaciones de los sistemas de monitorización de ruido submarino actuales. Las aplicaciones y experimentos realizados se centran en dar respuesta a las Estrategias Marinas, instrumento de planificación del medio marino creado al amparo de la Directiva 2008/56/CE, de 17 de junio de 2008, y más concretamente al D1 de la MSFD.



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIAACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

1. Introducción

La Ley 41/2010 de protección del medio marino es el instrumento de transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva marco sobre la Estrategia Marina (Directiva 2008/56/CE, MSFD) que establece las estrategias marinas como el instrumento básico de planificación para todas las aguas marinas sometidas a soberanía o jurisdicción española. La MSFD establece que los Estados Miembros deben abordar las medidas necesarias para alcanzar o mantener el Buen Estado Ambiental (GES) en el año 2020.

Para ayudar a los Estados miembros a interpretar lo que significa el GES en la práctica, la Directiva establece, en el Anexo I, once descriptores cualitativos que describen cómo se verá el entorno cuando se haya logrado el GES. De entre ellos, el Descriptor 11 establece que la "introducción de energía (incluido el ruido subacuático) no afecte negativamente al ecosistema". Para su implementación, deben desplegarse sistemas de capaces de registrar dos tipos de ruido, establecidos como criterios:

- Criterio D11C1 "Sonido impulsivo de origen antropogénico en el agua" (ej.: explosiones, pilotaje, etc.), descrito como el nivel sonoro de la fuente de energía monopolar o como la variación del nivel desde cero hasta el nivel máximo de la fuente monopolar, ambos por encima de la banda de frecuencias entre 10 Hz y 10 kHz.
- Criterio D11C2 "Sonido continuo de origen antropogénico de baja frecuencia en el agua" (ej.: tráfico marítimo, operaciones de dragado, etc.). La evaluación de este criterio requiere la medida de la presión sonora en las bandas de tercio de octava centradas en 63 y 125 Hz.

La monitorización de este tipo de señales, da lugar a grandes cantidades de datos. Por ello, es necesario que estos sistemas incorporen tecnologías de procesado y compresión que, por un lado, optimicen la información que se quiera extraer de cada medida y, por otro, garanticen el envío de dicha información con la mejor eficiencia. En este punto, entran en juego las técnicas de compresión de información aplicadas a señales de ruido, cuyos avance y contraste experimental es objeto del presente documento.

2. Estado del arte

La compresión de información ha jugado un papel fundamental en cuanto a la tecnología digital debido a su potencial de minimizar el espacio de almacenamiento de información, así como el ancho de banda necesario para su transmisión entre equipos remotos. Esta información puede ser de audio, video, texto y multimedia.

Por un lado, aunque hoy en día existen numerosos métodos de compresión de información digital, sólo algunos aprovechan las particularidades de las señales típicas de audio, que son: la relativa predictibilidad a corto plazo y el alto grado de redundancia. Por otro lado, existen dos algoritmos principales de descompresión: los que no tienen pérdidas (lossless), que se reproducen descomprimiendo bit a bit; y los que sí las tienen (lossy), que permiten obviar parte de la información.

En PAAMSY se ha decidido emplear la compresión de datos sin pérdidas (lossless) dado que, además de no perder información en su descompresión, es la técnica más utilizada para la transmisión mediante redes de sensores inalámbricos (WSN).

Las WSN presentan un consumo muy elevado, debido en gran parte a la comunicación entre sensores ya que necesita mucha potencia para transmitir los datos. Por ello, la compresión de datos resulta inevitable pues así se consigue disminuir el consumo de potencia y enviar una mayor cantidad de información [1]. Para comunicaciones inalámbricas y redes de sensores los



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

algoritmos de compresión de datos sin pérdidas más estudiados son los algoritmos de Huffman y Lempel-Ziv Welch (LZW). [1] [2] [3] [4]

En [1] se realiza una comparación de las técnicas de compresión de datos Huffman, LZW y LZH (LZW + Huffman) empleando como datos de entrada, datos de temperatura, humedad, ECG (electrocardiogramas) y texto. El algoritmo con mejores resultados en términos de tasa de compresión y tiempo de computación es Huffman, que alcanza un 43 % de reducción, en media, sobre los datos. El algoritmo LZH alcanza un 9% más de reducción que Huffman, sin embargo, el tiempo de computación es mayor. Por lo tanto, la conclusión que se extrae es que, para transmisión mediante WSN, el algoritmo Huffman es el que presenta una mejor tasa de reducción de datos.

En [5] se realiza una comparación de diferentes algoritmos de compresión de datos sin pérdidas sobre ECGs. En éste, los algoritmos bajo estudio son Huffman, LZW, Shannon Fano, codificación Run-Length (RLE) y una variación de Huffman de mínima varianza. Las conclusiones extraídas muestran que, en términos de tasa de compresión, tiempo de computación y de varianza, los algoritmos que mejores resultados obtienen son Huffman y su variación.

Otro estudio comparativo de algoritmos de compresión de datos sin pérdidas es el que se expone en [6]. En él, la comparación se realiza para diferentes tipos de datos de entrada (texto, imagen y audio). Para compresión de texto, el algoritmo que mejor eficiencia muestra respecto a tasa y tiempo de compresión es Huffman; Lempel-Ziv por su parte, no presenta una gran tasa de compresión. Con respecto a la imagen, Lempel-Ziv presenta una gran capacidad de compresión en comparación con Huffman ya que el cálculo de probabilidades consume mucho tiempo. Finalmente, para la compresión de audio, los resultados fueron inconclusos dado que ambos algoritmos muestran resultados similares. Sin embargo, Huffman presenta mayor eficiencia respecto a Lempel-Ziv; las diferencias entre ambos están en la creación del diccionario que afecta al número de símbolos creados; Huffman emplea menos símbolos para la compresión que Lempel-Ziv.

Asimismo, en la literatura se han encontrado diferentes estudios comparativos entre los algoritmos de compresión ya existentes y adaptaciones de los mismos, como en [4], donde se diseña un algoritmo Huffman adaptativo modificado y se compara con Huffman estático y adaptativo. Los resultados muestran que el algoritmo desarrollado supera en términos de eficiencia y tasa de compresión a los ya existentes. En [3], el estudio se basa en la comparación de un nuevo algoritmo de compresión de datos diseñado para reducir los recursos computacionales y de almacenamiento y ser transmitidos por un nodo de una WSN y, así, reducir el consumo de potencia. El algoritmo en cuestión demuestra una tasa de compresión de 67% en comparación con el algoritmo S-LZW (Simple Lempel-Ziv Welch).

En este proyecto, los datos que se van a emplear para transmitir inalámbricamente van a ser datos de audio, por ello, [7] y [8] son dos estudios en los que nos basamos para la implementación de los algoritmos de compresión en PAAMSY.

En [7] se presenta un nuevo método para compresión de audio basado en Huffman y técnicas de procesamiento de señal. Este método supone un preprocesamiento de los datos que consta de una subdivisión de la señal en 16 bandas de frecuencia que, posteriormente, son cuantificadas para su codificación. Los resultados obtenidos muestran una notable reducción de la tasa de bit, suponiendo una tasa de compresión de datos eficiente. Además, el método propuesto consigue decodificar los componentes de alta frecuencia con eficiencia debido al preprocesamiento de los datos. En [8] se realiza un estudio comparativo entre Huffman y Shannon-Fano; los resultados concluyen que Huffman realiza una mejor compresión de los datos a Shannon-Fano.

3. Descripción del algoritmo de compresión de datos

En vista al estado del arte, en este estudio se ha decidido implementar el algoritmo de Huffman para la compresión de datos de ruido submarino registrado en las inmediaciones del Puerto de Cartagena. La codificación Huffman permite, de forma sencilla y óptima, mapear cada símbolo de un alfabeto con un código de longitud óptima. Para conseguir esta asignación óptima, los símbolos se representan con códigos cuya longitud es inversamente proporcional a la probabilidad del símbolo. De esta forma, los símbolos menos probables se representan con códigos más largos, y los más probables con símbolos más cortos.

El proceso de asignación de códigos se lleva a cabo mediante la construcción de un árbol binario, desde las hojas hacia la raíz, de modo que los nodos hoja son los símbolos asignados. En la construcción del árbol, los nodos menos probables se unen sucesivamente para formar otro nodo de mayor probabilidad, de forma que cada uno de los enlaces añade un bit al código de los símbolos que estamos juntando. Este proceso termina cuando sólo se dispone de un nodo, de forma que éste representa la raíz del árbol [9].

Un ejemplo representativo del proceso llevado a cabo desde el registro de la señal de ruido, hasta la asignación de códigos y la construcción del árbol de decisión se muestra en la Figura 1.

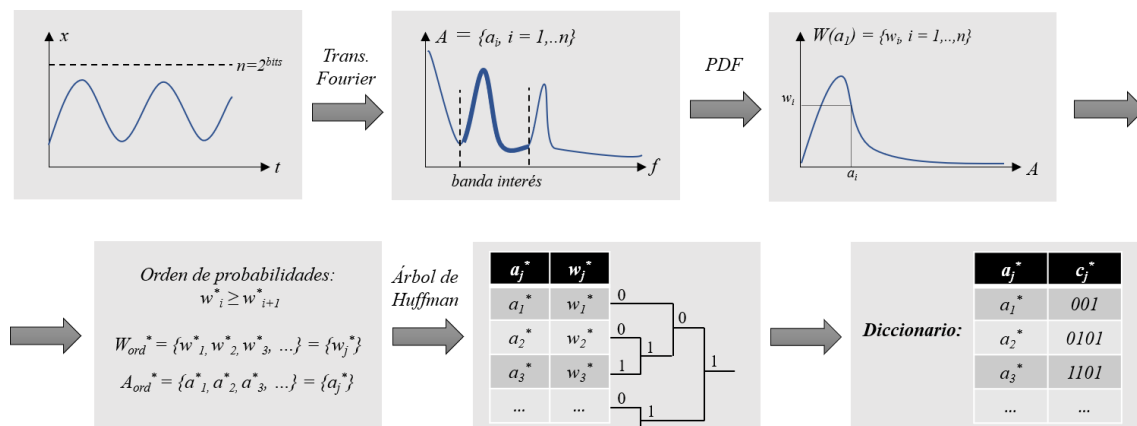


Figura 1. Ejemplo de construcción de un árbol de decisión y asignación de códigos.

En el último paso de la Figura 1, una vez se llega a la raíz del árbol, se crea el diccionario de Huffman. Para ello, se recorre el nodo desde la raíz por todas las ramas, creando los códigos. En el ejemplo de la Figura 1, comenzamos desde la raíz hasta la rama del símbolo a_1^* , obteniendo que su código es 001; y así, sucesivamente. Finalmente se obtiene la tabla que se muestra en la Figura 1, que representa el diccionario.

El paso siguiente a la construcción del árbol, asignación de código y creación del diccionario es la transmisión de los datos que se quieran codificar.

El compresor determina los códigos de los símbolos basándose en su probabilidad o frecuencia de ocurrencia de los datos. Estos códigos se almacenan junto con los datos comprimidos para que el descompresor pueda reconstruir los datos originales. El descompresor construye el árbol de Huffman y comienza la descompresión posicionándose en la raíz del árbol. El proceso consiste en leer el primer bit de los datos comprimidos y recorrer la rama según los datos comprimidos. Cuando se llega a una hoja en el árbol, el descompresor encuentra el código original y regresa el valor del símbolo como dato descomprimido. Y así sucesivamente [10].

4. Medidas realizadas

Para la implementación experimental del algoritmo propuesto aplicado a señales de ruido submarino, se han realizado medidas en el Puerto de Cartagena. Por un lado, se ha desplegado un hidrófono modelo AS1 de Aquarian Sound, cerca del Faro de la Curra, en la entrada del puerto, con un sistema de adquisición autónomo implementado específicamente para el registro de las señales, que permite modificar a voluntad el tiempo de registro de ruido. A este sistema se le conecta, mediante cable Ethernet, una antena WiMAX emisora OmniTIK 5ac. Por otro lado, se ha ubicado una antena receptora de las mismas características a distintas distancias respecto a la emisora, a lo largo de la misma dársena, cubriendo desde 100 m hasta 1 km. La Figura 2 muestra, a la izquierda, la posición de las antenas emisoras y receptoras desplegadas y, a la derecha, la estación de recepción con la antena receptora y un pc de registro.



Figura 2. Izquierda, punto registro de ruido y puntos de recepción inalámbrica. Derecha, fotografía del punto de registro de ruido.

En primer lugar, se han realizado un total de 100 *medidas de referencia* para establecer el diccionario en la compresión de los datos. Este nos ha dado una distribución de probabilidad para cada símbolo de nuestra señal (amplitud de la Transformada de Fourier), con la que posteriormente realizar la compresión y descompresión de las medidas de ensayo.

En segundo lugar, se realizan distintas *medidas de prueba* para estudiar el algoritmo propuesto. En todas las pruebas se ha seguido el mismo protocolo de medida:

Descripción del proceso	Señal	Tiempo
1º Configuración del tiempo total de captura de ruido y de la duración de cada medida individual (2 segundos en todos los casos).	-	-
2º Inicio del registro de ruido y almacenamiento secuencial de las señales en la memoria interna del sistema de adquisición.	$x_{env}(t)$	t_0
3º Obtención de la Transformada de Fourier de cada una de las señales que se registran.	$X_{env}(f)$	δt_{FFT}
4º Compresión de los datos de cada señal mediante el diccionario obtenido previamente aplicando el algoritmo de Huffman.	$[X_{env}(f)]$	δt_{comp}
5º Envío y recepción de los datos entre las antenas.	$[X_{rec}(f)]$	δt_{rec}
6º Descompresión de los datos.	$X_{rec}(f)$	δt_{desc}

Tabla 1. Protocolo empleado con la nomenclatura de señales y tiempos empleados en cada paso.

Así, se han calculado los tiempos totales, $\tau = \delta t_{FFT} + \delta t_{comp} + \delta t_{rec} + \delta t_{desc} + \delta t_{IFFT}$, para distintos tiempos de captura (de 2 segundos hasta 6 horas), con y sin compresión, y según si esta se realiza con una profundidad de bits u otra (8 y 16 bits).

5. Resultados

5.1 Medidas de referencia

Para cada una de las 100 medidas de referencia, se ha obtenido su Transformada de Fourier y nos centramos en el rango frecuencial entre 300 Hz y 10 kHz. Con todas ellas, se ha construido un histograma para las amplitudes (símbolos) y, de ahí, se ha buscado la función que mejor se ajusta a los datos. Esta establece la probabilidad de ocurrencia de cada símbolo en los datos de registro.

La Figura 3 muestra, a la izquierda, un ejemplo de la Transformada de Fourier de las señales de test y, a la derecha, el histograma resultante de las 100 medidas de test con la función de distribución probabilidad para el ajuste (pdf).

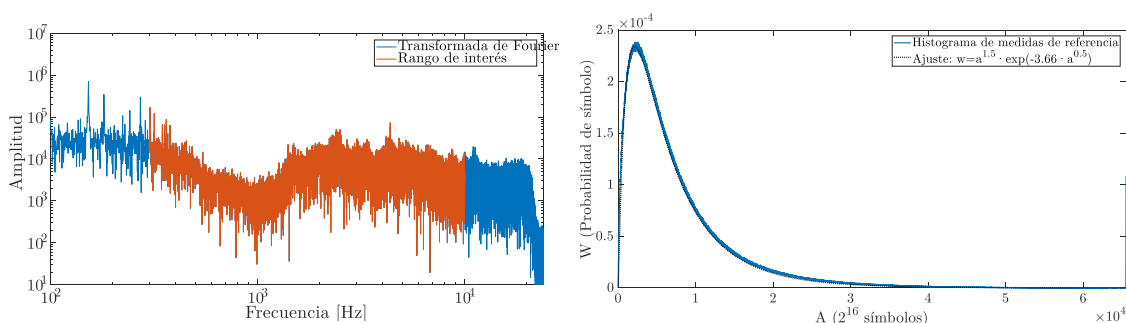


Figura 3. Izquierda, ejemplo de señal a enviar (Transformada de Fourier entre 300 Hz y 10 kHz). Derecha, histograma del conjunto de señales y función de ajuste.

La función de probabilidad depende del número de símbolos; no obstante, dada la pdf para un número de bits, las expresiones para cualquier número de bits se pueden obtener mediante dilatación o expansión del eje de abscisas (número de símbolos). En concreto, para una profundidad de 16 bits, tal como se muestra en la figura, los pesos de cada uno de los símbolos se pueden obtener mediante la siguiente expresión:

$$w = a^{1.5} \cdot e^{-3.66 \cdot a^{0.5}} \quad (1)$$

Una vez obtenida, para cada resolución, las probabilidades de los símbolos de la señal, se procede a la elaboración del diccionario. Este asigna a cada símbolo un número de bits diferente, que es inversamente proporcional a la probabilidad del símbolo. Por ejemplo, para el caso de 16 bits, los símbolos que se encuentran en la parte derecha de la Figura 3 (con menor probabilidad de aparición) se le ha asignado un conjunto de 25 bits mientras que, a aquellos que tienen una mayor probabilidad de aparición se les ha asignado un conjunto de 12, 13 o 14 bits.

Este diccionario será el utilizado posteriormente por todas las *medidas de prueba* realizadas, cuyos resultados van a comentarse.

5.2 Medidas de prueba

Para cada una de las distintas medidas de prueba, con diferentes duraciones y resoluciones, se realiza la compresión basada en el diccionario obtenido anteriormente. La *Figura 4* muestra los tiempos obtenidos en cada uno de los pasos de este estudio, comentado en la sección 4, de los que podemos extraer los siguientes resultados:

- Tiempos de procesado de la Transformada de Fourier, δt_{FFT} : aunque con fluctuaciones importantes debidos al propio algoritmo, estos permanecen más de un orden de magnitud por debajo de los tiempos de registro, por lo que no introducen una pérdida importante.
- Tiempo de codificación, δt_{codif} : hay una notoria diferencia en función de la resolución; en 8 bits, aumentando linealmente con la duración del tiempo total de registro, permaneciendo igualmente más de un orden de magnitud por debajo; en 16 bits el tiempo permanece aproximadamente en unos 20 minutos en duraciones inferiores a esta pues el factor importante es el gran tamaño del diccionario.
- Tiempo de recepción inalámbrica, δt_{rec} : respecto a las medidas con compresión, para tiempos de registro inferiores a 1 minuto, los tiempos de recepción son prácticamente despreciables y, el incremento relativo en las distancias (de 100 a 500 m) es superior inferior al incremento de tiempos (factor entre 2 y 3). En líneas generales, la codificación con 16 bits reduce a la mitad el tiempo respecto al envío sin compresión, y la codificación con 8 bits la mitad respecto a 16 bits.
- Tiempo de decodificación, δt_{decod} : este se mantiene aproximadamente constante para todos los tiempos de registro estudiados, en un valor de unos 4 segundos.

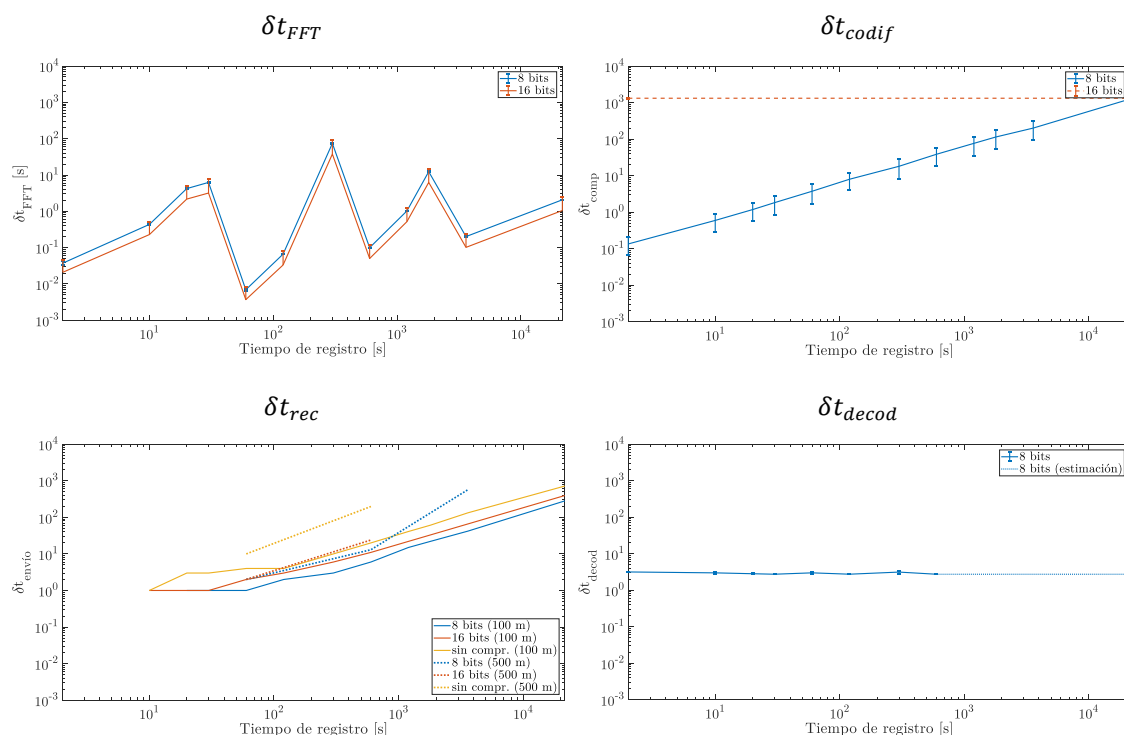


Figura 4. Tiempos obtenidos en los distintos pasos.

Con todo, los tiempos totales obtenidos cuando existe algún tipo de compresión, es de entre el 10 y el 50 % del tiempo de registro, con excepción de reducidos (< 10 segundos) y elevados tiempos de registro (> 20 minutos). En el primer caso, la decodificación resulta menos eficiente y, en el segundo caso, la codificación así como el envío son más duraderos.



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

6. Conclusiones

Estos son los primeros resultados de las nuevas técnicas de procesado de señales de ruido submarino. Los resultados son aun preliminares aunque muestran algunas bondades que serán utilizadas en posteriores desarrollos. De ellos, destacamos las siguientes conclusiones:

- Respecto al algoritmos de compresión/codificación: el algoritmo Huffman ha resultado ser un buen candidato para el envío de datos, con escasa latencia para señales de 8 bits en todos los tiempos de registro emplados. En 16 bits, el tamaño del diccionario introduce importantes retrasos en la transmisión. Queda por comprobar el rango dinámico intermedio (12 y 14 bits), hasta establecer uno óptimo para la información frecuencial de un sistema de monitorización del medio marino, como el instalado en las inmediaciones del puerto de Cartagena.
- Respecto al sistema de emisión-recepción: las antenas WiMAX han demostrado ser capaces de, al menos, enviar la información sin excesivos problemas ni pérdida de bits. Con ello, sería un buen método para incorporar en los puntos de monitorización en el puerto de Cartagena y transmitir la información, de forma eficiente, a una punto de recepción cercano.

Con todo, se ha podido reducir el tamaño de la información a analizar así como enviarla, sin pérdidas, hasta 500 m en un ambiente de monitorización real. En futuros estudios, se realizarán ensayos con los que abarcar hasta 10 km el envío de datos.

Agradecimientos

Estos estudios se han realizado dentro del proyecto "PAAMSY, Nuevas Técnicas de Procesado en baja frecuencia", subvencionado por el Instituto de Fomento (INFO) de la Región de Murcia bajo el Programa de ayudas dirigidas a Centros Tecnológicos de la Región de Murcia destinada a la realización de actividades I+D de carácter no económico. Modalidad 1: Proyectos I+D Independiente, con el Nº Expediente: 2017.08.CT01.0043.

Bibliografía

- [1] A. B. J. a. N. A. Khairi, «Performance Comparison of Huffman and LZW Data Compression for Wireless Sensor Node application,» *American Journal of Applied Sciences*, vol. 11, nº 1, pp. 119 - 126, 2014.
- [2] Y. L. X. C. a. X. F. Shaoqiang Liu, «A New Scheme for Evaluation Energy Efficiency of Data Compression in Wireless Sensor Networks (WSN),» *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, nº 5, 2018.
- [3] F. M. a. M. Vecchio, «A simple algorithm for data compression in Wireless Sensor Networks,» *IEEE Communications Letters*, vol. 12, nº 6, pp. 411 - 413, 2008.
- [4] C. T. a. P. V. Ranjan, «Design of Modified Adaptive Huffman Data Compression Algorithm for Wireless Sensor Networks,» *Journal of Computer Sciences*, vol. 5, nº 6, pp. 466 - 470, 2009.
- [5] R. V. T. a. S. S. Gajre, «Comparative Study of Lossless ECG Signal Compression Techniques for Wireless Networks,» *Computing in Cardiology*, vol. 44, 2017.
- [6] A. R. F. Q. Rhen Anjerome Bedruz, «Comparison of Huffman ALgorithm and Lempel-Ziv Algorithm for Audio, Image and Text Compression,» de *8th IEEE International Conference Humanoid, Nanotechnology, Information Technology*, Cebu, Philippines, 2015.
- [7] H. K. M. N. a. Y. Y. Shinjiro Ashida, «Sampled-Data Audio Signal Compression with Huffman Coding,» Kyoto University, Japan.
- [8] M. H. Z. A. N. C. P. Tonny Hidayat, «Lossless Codign Scheeme for Data Audio 2 Channel using Huffman and Shannon-Fano,» *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 96, nº 11, pp. 3467 - 3477, 2018.
- [9] P. T. d. D. Multimedia, *Introducción a la Compresión: Huffman y Entropía*.
- [10] J. Lezama, «Compresión de Imágenes. Codificación de Huffman,» *Revista de Educación Matemática*, vol. 32, nº 1, pp. 25-36, 2017.



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**