

SISTEMA PARA LA DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE SEÑALES ACUSTICAS DE BANDA ANCHA EMITIDAS POR MAMIFEROS MARINOS

Antonio Sánchez⁽¹⁾, José-Luis Sancho-Gómez⁽²⁾

a.sanchez@electronica-submarina.com, josel.sancho@upct.es

⁽¹⁾ Área Técnica de Estudios Avanzados y Tratamiento de Señal de SAES.

.Carretera de la Algameca s/n, 30205-Cartagena

⁽²⁾ Grupo de Teoría y Procesamiento de la Señal Dpto. de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

Universidad Politécnica de Cartagena,

Campus Muralla del mar s/n, 30202-Cartagena

Abstract- This paper presents the design and preliminary implementation of a computer module for the automatic detection and identification of broadband transient signals emitted by marine mammals generically referred to as clicks. This module will make part of a more wide system designed for detecting and identifying the whole range of signals emitted by marine mammals. The computer module has been extensively tested with simulated signals incorporating the basic structure of sperm whale clicks and with real signals covering a broad spectrum of situations encountered at sea as this corresponding to the presence of high level interfering noise and cluttering of signals.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una creciente preocupación a nivel mundial en relación al efecto pernicioso sobre la vida marina en general y en particular sobre los mamíferos marinos de la contaminación acústica submarina derivada de la actividad humana. Las medidas planteadas se basan principalmente en reducir las emisiones de ruido en las zonas donde se conoce la presencia de mamíferos marinos [1].

Las principales causas del significativo aumento del nivel de ruido en el entorno submarino producido en las últimas décadas son: el tráfico marítimo, las actividades portuarias y en general las acciones humanas susceptibles de generar sonidos de alta intensidad como son operaciones de dragado en puertos, explosiones submarinas, prospecciones sísmicas y emisiones de sónares de baja frecuencia en el rango de frecuencia audible por los mamíferos marinos [2]. Los efectos de estas actividades sobre los mamíferos marinos se extienden desde perturbaciones temporales de su sistema auditivo hasta llegar a causarles incluso la muerte [3].

Como se ha mencionado anteriormente las principales medidas planteadas tienen como premisa el conocimiento, lo más preciso posible, de la presencia de mamíferos marinos en una determinada área. Este conocimiento puede evitar asimismo otras posibles amenazas sobre los mamíferos marinos como son el poder quedar atrapados en redes o una posible colisión con buques que navegan en la zona. El método tradicional para detectar la presencia de mamíferos marinos en una cierta área se basa en la observación visual.

Este método presenta diferentes restricciones como son que sólo es aplicable con la presencia de luz solar y cuando las condiciones meteorológicas no son adversas y que sólo son detectables las unidades que ascienden a la superficie y no se encuentran muy alejadas del observador [4]. Como un complemento y una alternativa eficaz ha surgido la monitorización acústica basada en métodos pasivos (recepción, registro y análisis de las señales acústicas emitidas por los mamíferos marinos) a la que no le afectan las restricciones anteriores. Obviamente sólo es aplicable a mamíferos marinos que emiten sonidos, pero esta es una característica inherente a los mismos que emplean señales acústicas para navegar, comunicarse, relacionarse y localizar presas para su alimentación [5].

Entre las especies particularmente afectadas por el incremento de nivel de ruido se encuentran los cachalotes (*Physeter Macrocephalus*) debido a sus largas y profundas inmersiones. Los cachalotes pueden permanecer sumergidos durante periodos de más de una hora [6] periodo durante el cual pueden estar expuestos a emisiones de ruido de alta intensidad.



Fig. 1 Delfines (izquierda) y cachalote (derecha).

El presente artículo se centra en los sonidos transitorios de banda ancha, denominados chasquidos, que emiten los cachalotes. Estos sonidos tienen energía en un amplio rango de frecuencias que se extiende desde menos de 100 Hz hasta más de 20 kHz [7]. Otras especies de odontocetos como marsopas y delfines también emiten chasquidos, pero la mayor parte de su energía se encuentra en la región

ultrasónica lo que dificulta su análisis entre otros aspectos por la elevada frecuencia de muestreo requerida.

Junto a las señales transitorias de banda ancha la otra clase de sonidos emitidos por los mamíferos marinos son señales transitorias de banda estrecha con modulación en frecuencia que reciben la denominación genérica de silbidos. Un sistema completo para la detección e identificación de mamíferos marinos, como el representado en la Fig.2, debe incorporar módulos de procesamiento específicos para señales transitorias de banda ancha y banda estrecha.

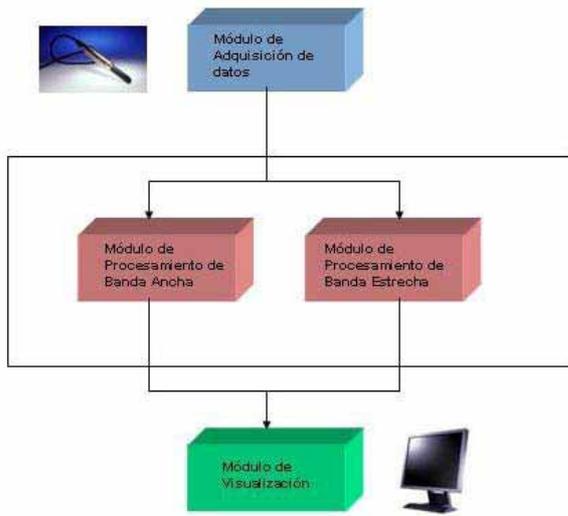


Fig. 2. Sistema completo para detección e identificación de mamíferos marinos.

El presente artículo se centra en la descripción y resultados del módulo de procesamiento de transitorios de banda ancha referenciado en la Fig. 2.

II. CARACTERÍSTICAS GENERALES

En el diseño del módulo de procesamiento podemos distinguir cuatro bloques principales, que son presentados en la Fig. 3.

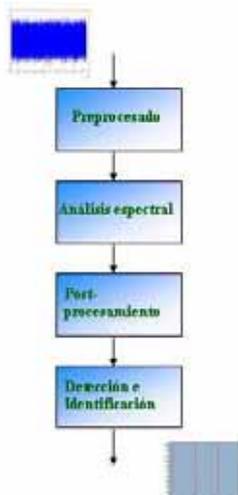


Fig. 3. Bloques principales del modulo de procesamiento

En la Fig.3, el bloque de preprocesado es el encargado de la generación de las señales en el caso de señales simuladas y

de su lectura y adaptación en el caso de señales reales. El bloque denominado análisis espectral implementa la Transformada Rápida de Fourier (FFT) que permite la transferencia de los datos analizados desde el ámbito temporal al ámbito frecuencial. A los datos se les aplica previamente una ventana de ponderación para reducir la contribución de los lóbulos secundarios en los canales de salida de la FFT. Un solapamiento del 50% es aplicado sobre las tramas de datos para incrementar la resolución temporal y obtener una transición más suave entre tramas de datos consecutivas. Como salida se construye la matriz espectral de potencia que contiene los valores de tiempo en el eje horizontal y los valores espectrales en el vertical.

El bloque de postprocesamiento implementa un proceso de blanqueado o normalización para compensar el ruido ambiente submarino. El bloque de detección e identificación opera sobre la matriz de datos normalizados. El algoritmo de detección empleado se basa en la suma total de energía en cada trama temporal y su comparación con un umbral adaptativo. La elección del algoritmo de normalización y método de selección de umbral más apropiado se basa en un estudio comparativo de las prestaciones de detección aportadas por los mismos. Estas prestaciones se han evaluado mediante el empleo de curvas de detección obtenidas a partir del método estadístico de Montecarlo. Estas curvas presentan la probabilidad de detección (P_d) en función de la relación señal-a-ruido (SNR) para una probabilidad de falsa alarma (P_{fa}) fija. El valor de SNR se ha obtenido en base a la definición clásica siguiente:

$$SNR = 10 * \log \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

donde los valores obtenidos se expresan en dB y S y σ representan las potencias de las distribuciones de sólo señal y sólo ruido respectivamente. De entre las diferentes opciones analizadas la combinación que ofrece las mayores prestaciones es la que corresponde al algoritmo de normalización orden estadístico (basado en la ordenación de los elementos y la elección del que ocupa una determinada posición del vector ordenado) y al método de selección de umbral basado en el promediado de los valores de energía obtenidos para cada trama temporal y su multiplicación por una constante. En la Fig.4 se presenta la curva de detección obtenida para esta combinación.

Finalmente se lleva a cabo el proceso de identificación de los chasquidos inicialmente detectados en base a que en cada trama temporal un porcentaje de canales de frecuencia supere un umbral fijo. Este proceso de discriminación permite separar los chasquidos de los cachalotes de otras señales transitorias que se producen en el entorno submarino y en particular de las señales de banda estrecha, tipo silbidos, emitidas por otros mamíferos marinos.

La salida del sistema es una matriz en la que se asigna el valor 1 a todo el rango de frecuencias de la trama temporal en la que se ha identificado el chasquido y el valor 0 en el caso contrario. El sistema proporciona asimismo el número de chasquidos detectados en el intervalo temporal analizado y el

instante en que se producen desde el origen de este intervalo temporal.

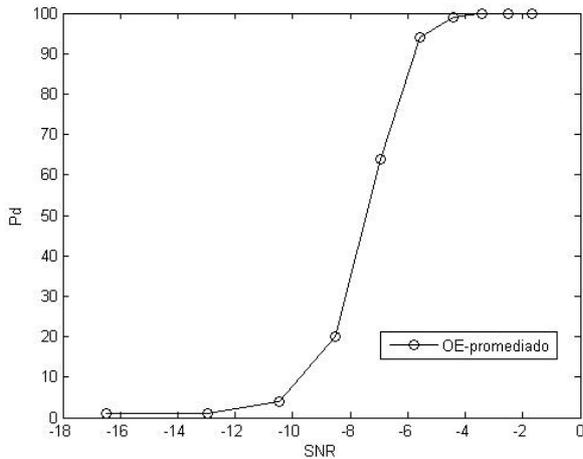


Fig. 4. Curva de detección para el algoritmo de normalización y método de selección de umbral seleccionados

III. PRUEBAS CON SEÑALES SIMULADAS

La capacidad operativa del sistema se ha evaluado con señales simuladas incorporadas en un entorno de ruido gaussiano. Estas señales se han simulado como pulsos sinusoidales modulados gaussianos, como el que se presenta en la Fig. 5, para simular la estructura multipulso típica de los chasquidos emitidos por los cachalotes [8].

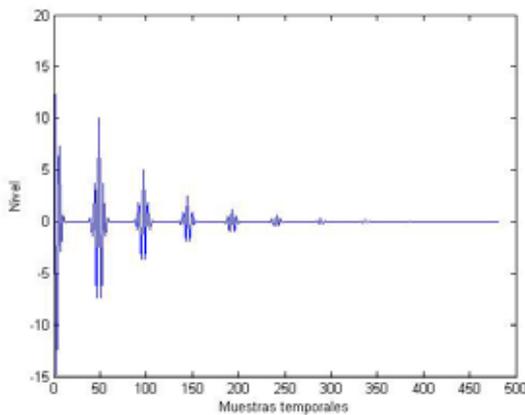


Fig. 5 Señal simulando la estructura multi-pulso de los chasquidos de los cachalotes.

La utilización de estas señales ha permitido refinar la cadena de procesamiento, en base al desarrollo descrito en el apartado anterior, como paso previo a su evaluación con señales reales. En la Fig. 6 se presentan dos transitorios de banda ancha de duraciones 10 ms y 20 ms con valores SNR de -12.4795 dB y -7.8127 dB respectivamente y la salida del módulo de procesamiento.

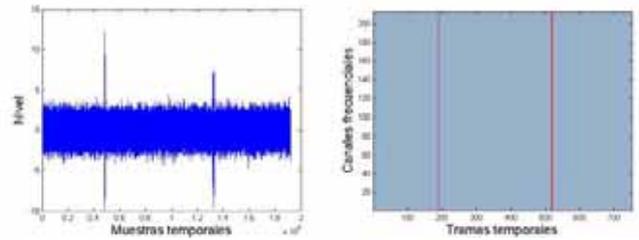


Fig. 6. Forma de onda conteniendo dos señales transitorias tipo chasquido (izquierda) y señales identificadas por el sistema de detección e identificación (derecha).

IV. PRUEBAS CON SEÑALES REALES.

El objetivo básico del sistema de detección es demostrar su operatividad en entornos reales ante señales de diferentes características en relación a su duración temporal, rango de frecuencia, relación señal-a-ruido, presencia de ruidos interferentes, etc. Para evaluar esta operatividad se han llevado a cabo pruebas con un amplio número de señales reales que han permitido demostrar las elevadas prestaciones de detección e identificación aportadas por el sistema. En las Fig. 7 y 8 se presentan dos ejemplos de detección e identificación correspondientes a la presencia de un elevado número de chasquidos, que son correctamente identificados por el sistema, incluyendo los chasquidos número cinco y seis que están muy próximos en el tiempo (Fig. 7) y la presencia de señales de delfines que no son identificados como chasquidos (Fig. 8).

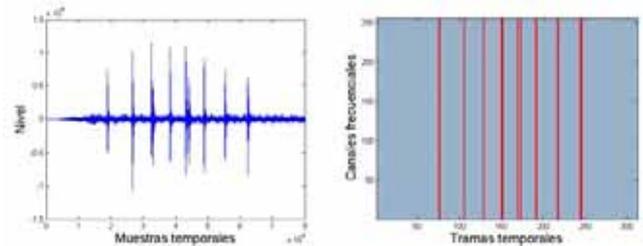


Fig. 7. Señal temporal (izquierda) y chasquidos identificados en un entorno de sólo presencia de chasquidos (derecha).

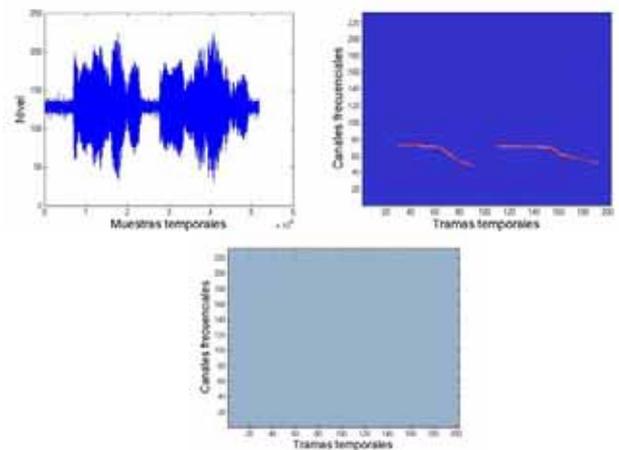


Fig. 8. Señal temporal (arriba izquierda), espectrograma mostrando la presencia de dos silbidos de delfines (arriba derecha) y salida del sistema (abajo) en la que no existe detección al no existir presencia de chasquidos.

El criterio que se ha seguido para considerar a dos chasquidos como independientes es la presencia de al menos una trama temporal de datos entre ellos en la que no exista identificación.

V. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Los mamíferos marinos son especies vociferantes lo que las hace especialmente aptas para su monitorización por métodos acústicos pasivos que no interfieren en sus actividades y permiten su aplicación durante prolongados periodos de tiempo. El conocimiento de su presencia es el punto de partida para la adopción de medidas de regulación del nivel de las emisiones acústicas controladas por el hombre.

Las emisiones acústicas de alta intensidad afectan de forma particularmente importante a los cachalotes, debido principalmente a que su alimentación se basa en presas marinas que se encuentran a elevadas profundidades, lo que implica prolongados periodos de inmersión en los que no pueden ser detectados por el método tradicionalmente utilizado de inspección visual.

El presente artículo presenta un sistema para la detección e identificación automática de las señales acústicas emitidas por los mamíferos marinos y desarrolla el módulo correspondiente a las señales de banda ancha, genéricamente denominadas chasquidos. Se centra en las señales acústicas de los cachalotes por el rango de frecuencia en el que se producen. Las prestaciones de este módulo han sido evaluadas en base a señales simuladas que contienen las características de los chasquidos y en base a señales reales procedentes de diferentes entornos submarinos.

Futuros trabajos se centrarán en la extensión del rango de frecuencias analizadas en las señales de banda ancha para incluir las frecuencias ultrasónicas de los chasquidos emitidos por marsopas y delfines, en el desarrollo del módulo correspondiente a la detección e identificación de señales de banda estrecha y en el desarrollo de una interfaz gráfica que facilite el manejo del sistema.

REFERENCIAS

- [1] D. Mellinger and J. Barlow, "Future directions for acoustic marine surveys: stock assessment and habitat use," NOAA OAR Special Report of a workshop held in La Jolla, CA, November 2002, NOAA/PMEL Contribution No. 2557, 2003.
- [2] W. J. Richardson, C. R. Green, C. I. Malme and D. H. Thomson, *Marine mammals and Noise*. Academic Press, 1995.
- [3] W. C. Verboom and R. A. Kastelein, "Some examples of marine mammals 'discomfort threshold' in relation to man-made noise," in *Proceedings of the Underwater Defence Technology (UDT)*, June 2005, Amsterdam (The Netherlands).
- [4] C. Erbe (2000). Census of marine mammals. Census of marine life (coml.) web page. [Online]. Available: <http://coml.org/scor/2000/erbe/erbe.html>
- [5] P. T. Madsen, R. Payne, N. U. Kristiansen, M. Wahlberg, I. Kerr and B. Mohl, "Sperm whale sound production studied with ultrasound time/depth-recording tags," *The Journal of Experimental Biology*, 205, pp. 1899-1906, 2002.
- [6] J. C. Good, S. E. Jones, "Time and frequency characteristics of sperm whale clicks," *Journal of the Acoustical Society of America*, 99(3), pp. 1279-1291, September 1995.
- [7] W. A. Watkins, "Acoustic behaviors of sperm whales," *Oceanus*, vol. 20, pp. 50-58, 1977. .
- [8] B. Mohl, M. Wahlberg and P. T. Madsen, "The monopulsed nature of sperm whale clicks," *Journal of the Acoustical Society of America*, 114(2), pp. 1143-1154, August 2003.