

# ACOUSTIC MODEM FOR UNDERWATER SENSOR NETWORKS

D. Sarriá<sup>4</sup>, O. Pallarés<sup>5</sup>, J. del Río<sup>3</sup>

**Abstract—** This work presents the development of an acoustic modem for Underwater Sensor Networks. Since all commercial acoustic modems are designed for long range communication, it is necessary to develop a system capable to fulfill the necessities of a low cost, and small range underwater sensor network. This design moves towards an analogous functionality to terrestrial small sensor networks, which are easy to deploy, and allows scientists to investigate our oceans.

**Keywords—** Acoustic communications, UWSN, OFDM

## I. INTRODUCCIÓN

La monitorización de variables oceanográficas sigue realizándose hoy en día mediante equipos de medida autónomos dotados de una unidad de registro. El motivo de ello, es el elevado coste de una instalación cableada y las problemáticas relacionadas con las comunicaciones en este medio [1].

Debido a las propiedades físicas del medio subacuático, la técnica más apropiada para transmitir información inalámbricamente, y en este entorno, es empleando señales acústicas; siendo la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) el método cuyas propiedades permiten alcanzar mayores velocidades de comunicación con menor tasa de error de bit (BER) [2,3].

Actualmente existen algunos módems acústicos comerciales, no obstante son equipos costosos, alrededor de 6000 €, y preparados para operar a grandes distancias; resultando inadecuados para aplicaciones con un número elevado de nodos o dispositivos, como las redes de sensores subacuáticos (UWSN) y para comunicaciones a corta distancia o en aguas someras [3].

En este trabajo se presenta el desarrollo de un módem acústico con una arquitectura abierta, de bajo coste y potencia, apto para las aplicaciones anteriormente citadas, y que no cubren los actuales módems acústicos comerciales. El desarrollo permite ser reprogramado para trabajar con múltiples modulaciones, soportando OFDM, y en el rango de frecuencias de los 90 a los 200 kHz. Destaca su característica de reprogramación remota, por lo puede utilizarse también como herramienta para la evaluación y mejora de los algoritmos y técnicas actuales en materia de comunicaciones acústicas.

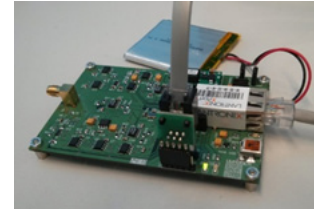
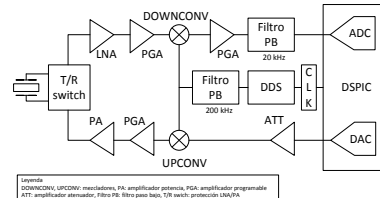
## II. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

Este apartado se divide en dos bloques donde respectivamente se describen y detallan las características del hardware y software desarrollados.

### Implementación Hardware

La arquitectura hardware se compone principalmente de un microcontrolador con capacidades de tratamiento de señal (DSP), y un mezclador analógico gobernado por un sintetizador de frecuencia digital (DDS), operando como oscilador local, y que permite trabajar entre 90 y 200 kHz. La adquisición y generación de señal en banda base se realizan mediante los convertidores analógico-digital (ADC) y digital-analógico (DAC) que incorpora el propio microcontrolador, simplificando los componentes del diseño.

El sistema de alimentación propuesto permite su operación a través de una batería (funcionamiento autónomo), o a través de una conexión cableada. La arquitectura del hardware propuesto y su implementación física se muestran en la figura 1.



**Figura 1** Esquema de la arquitectura (figura izquierda) e implementación física del módem acústico (figura derecha).

### Implementación Software

El desarrollo software para la comunicación OFDM entre nodos se implementa aprovechando las características DSP del microcontrolador. Con ello, se consigue una reducción del consumo energético, además de una optimización temporal para el procesamiento de señales acústicas, permitiendo tasas de comunicación del orden de 10 kbits/s, utilizando 512 portadoras mapeadas en QPSK.

El diagrama de flujo del software encargado de la comunicación se muestra en la figura 2, en éste se puede observar la transformación de una trama binaria, a una trama analógica modulada en frecuencia y tratada debidamente para compensar las variaciones que el medio aplica a las señales acústicas [4].



**Figura 2** Diagrama de flujo del software encargado de la comunicación OFDM.

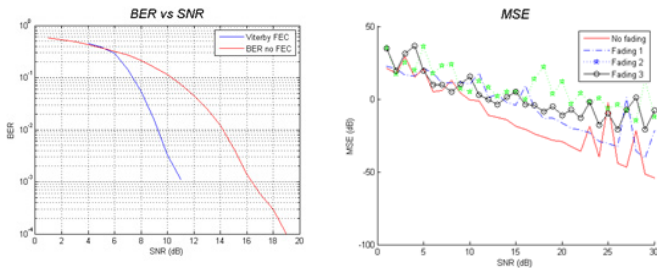
El programa de comunicación queda controlado por una aplicación de nivel superior, que distribuye el control del procesador entre un programador remoto y el programa principal grabado en memoria. En funcionamiento normal, el sistema arranca el programa principal, pero mantiene una interrupción en la comunicación Ethernet que se activará en el caso que se reciba un 'Magic Packet', en ese momento la ejecución de programa queda interrumpida, y se commuta el procesador para dar paso a la ejecución al software de grabado remoto en memoria. De este modo, tal y como ya se ha introducido previamente, la plataforma permite la evaluación de algoritmos de comunicación a pesar de tener el equipo instalado en una plataforma submarina.

### III. RESULTADOS

Con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de la plataforma desarrollada se han realizado dos pruebas de comunicación acústica OFDM; una en laboratorio y la otra en el observatorio submarino OBSEA [5].

En el test realizado en laboratorio se demuestra la capacidad del sistema para implementar una comunicación en tiempo real, al mismo tiempo que se verifica la capacidad de modulación/demodulación óptimas garantizando un BER y una media de error cuadrático MSE óptimos, en función de las variaciones de la relación entre señal y ruido SNR.

Para dicho test se utiliza un acuario de medidas 150 x 40 x 40 cm con dos transductores en su interior conectados a dos de los módems de comunicación presentados en este trabajo y separados entre ellos 1 metro. En la figura 3 se representa el BER y el MSE en función del SNR.

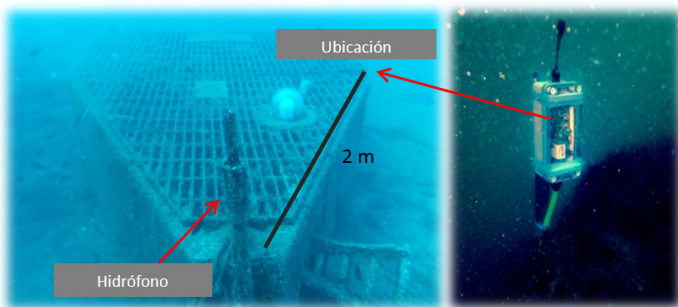


**Figura 3 BER vs SNR (gráfica izquierda) y MSE vs SNR (gráfica derecha) del prototipo.**

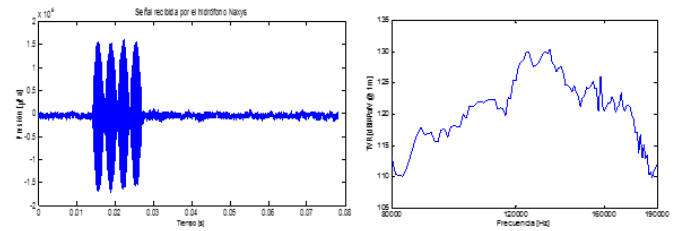
A partir de estos datos podemos concluir que en un entorno controlado de laboratorio, con una relación señal/ruido superior a 11 dB, las características tanto HW como SW del sistema planteado nos permiten una tasa de transferencia entre prototipos de 10 kbit/s sin pérdidas.

A partir de esta verificación se procede al ensayo del prototipo en el mar utilizando la infraestructura del observatorio submarino OBSEA, el cual dispone de puertos libres para la conexión de instrumentos y un hidrófono cableado capaz de trabajar a 300 kilo muestras por segundo y enviar los datos adquiridos a un equipo en tierra con conexión a la red. En la figura 4 se detalla el esquema del montaje del prototipo para el ensayo en mar.

Mediante el hidrófono y las características de la plataforma se ha evaluado la respuesta del transmisor del prototipo en función de la tensión (TVR), medida típica para caracterizar la presión acústica entregada por los transmisores acústicos comerciales.



**Figura 4 Esquema de instalación del prototipo en el observatorio submarino OBSEA.**



**Figura 5 Señal acústica emitida por el prototipo y recibida por el hidrófono (figura izquierda), y respuesta del transmisor en función de la tensión - TVR (figura derecha).**

Los resultados obtenidos demuestran que el nivel de presión acústica que ofrece el prototipo está dentro del rango de potencia de los transmisores acústicos comerciales de corto alcance y destinados a localizar y seguir la trayectoria de especies, y que rondan los 137 y los 152 dB/ $\mu$ Pa @ 1m, ver figura 5.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado, en parte, gracias al proyecto CGL2013-42557-R, interoperabilidad e instrumentación de plataformas autónomas marinas para la monitorización sísmica y el proyecto CTM2010-15459 (subprograma MAR) sistemas inalámbricos para la extensión de observatorios submarinos.

#### REFERENCIAS

- [1] I.F. Akyildiz, D. Pompili, T. Melodia. "Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges", Elsevier 2005
- [2] A. C. Singer, J. K. Nelson, S. S. Kozat. "Signal Processing for Underwater Acoustic Communications", IEEE Communications Magazine, January 2009
- [3] I.F. Akyildiz, D. Pompili, T. Melodia. "State-of-the-Art in Protocol. Research for Underwater Acoustic Sensor Networks". WUWNet 2006, Los Angeles, California, USA
- [4] O.Pallares, P.J. Bouvet, J. del Rio. "Underwater acoustic communication messaging time stamp applied to global time synchronization" Sea Tech Week Conference 2014, Brest, France.
- [5] www.obsea.es