

Estimación de la incertidumbre asociada a la localización de objetos en el medio marino mediante técnicas acústicas

Autores:

Albert Garcia-Benadí

Ivan Masmitja

Spartacus Gomáriz

Joaquin del Río

Resumen: El objetivo de este trabajo es la inclusión del parámetro de la incertidumbre en el cálculo del posicionamiento en el medio marino mediante el uso de dispositivos acústicos.

El procedimiento que se presenta, utiliza un vehículo que se desplaza por superficie equipado con un modem acústico que emite una señal que la recibe el equipo que se desea posicionar, ubicado en el fondo marino. Este responde con otra señal que permitirá calcular los rangos con el vehículo y triangular su posición.

El balance de incertidumbres en el proceso, así como el uso estadístico, permite determinar la posición del equipo en el fondo del mar con su estimación de incertidumbre mínima a tener en cuenta.

Palabras clave: Posicionamiento, incertidumbre, acústica, marino

Abstract: The aim of this paper is to include the uncertainty in the position of an object in the marine environment using acoustic modems. In this case, a vehicle with geolocation signal is moving on the sea surface, which periodically emits an acoustic signal to another device located in the seabed. This device returns a signal when it receives the emission from the vehicle on sea surface. The uncertainty balance in the process allows to determinate the real position of the device in the seabed and its confidence interval. This value is very important because indicates a minimum value to consider.

Keywords: Tracking, uncertainty, acoustics, marine

INTRODUCCIÓN

El estudio de los mares es un campo de la ciencia que se encuentra en constante desarrollo. A nivel tecnológico, en los últimos años se han producido importantes avances. Sin embargo, estos avances están condicionados por las características singulares del medio marino.

Algunas de sus principales características son: la densidad del agua, la disminución de la visibilidad en función de la profundidad y sobretodo la absorción de las ondas electromagnéticas. Esta característica es relevante en el diseño de técnicas de posicionamiento submarino. El posicionamiento en la atmosfera se realiza mediante la triangulación de las señales de un sistema global de navegación por satélite (GNSS) como el americano GPS (*Global Position System*), el ruso GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) o el europeo GALILEO. También pueden emplearse estudios telemétricos mediante observación directa. Pero en el medio marino estas técnicas no son viables dado que las ondas electromagnéticas son absorbidas y la visibilidad se limita a unas ciertas longitudes de onda (Figura 1 extraída de [1])

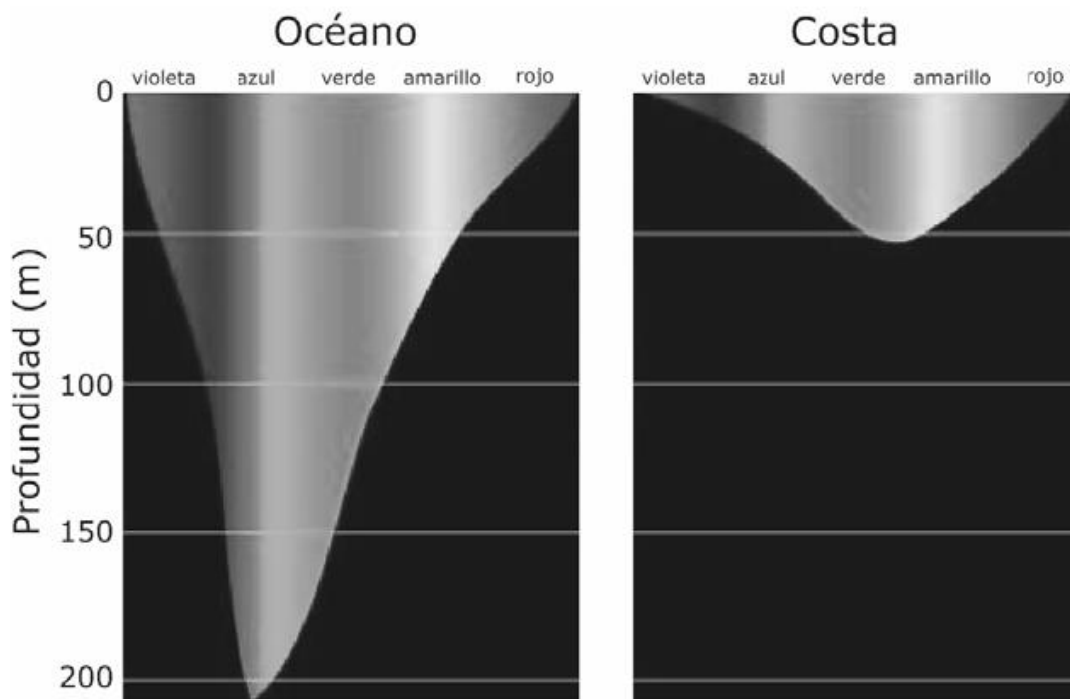


Figura 1. Penetración del espectro de la luz visible en el mar (fuente [1])

Sin embargo, aunque las ondas de presión (sonido) también son absorbidas por el medio marino [2], esta absorción es muy inferior a la de las ondas electromagnéticas. Esto hace que los sistemas acústicos sean adecuados para la comunicación submarina. Además, esta utilización de señales de baja frecuencia permite transmitir información a kilómetros de distancia.

Esta capacidad de transmisión a largas distancias de ondas acústica es consecuencia de que el medio marino tiene una densidad superior al aire, que influye también en la velocidad de propagación. Sin embargo, otras particularidades como la variación de la temperatura y la salinidad en función de la profundidad también causan una variación en la velocidad del sonido en el medio provocando que no sea constante. (figura 2).

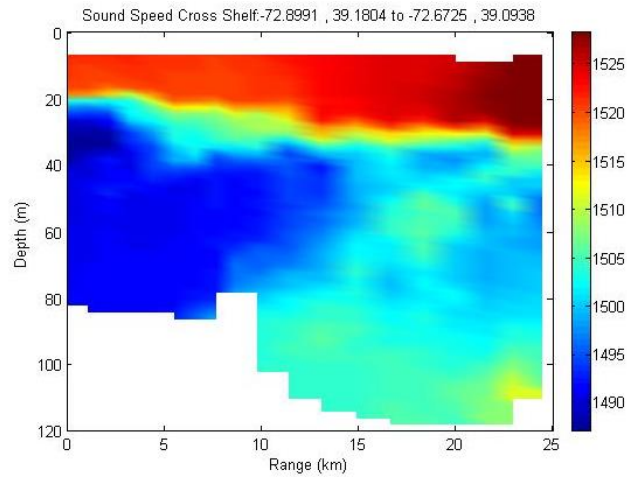


Figura 2. Variación de la velocidad del sonido en función de la profundidad (fuente [3])

Otros factores que influyen en los sistemas acústicos submarinos son la presencia de material orgánico en el medio y la dificultad de su instalación, para la cual se requiere de barcos, vehículos no tripulados (*Remote Observation Vehicle*), en caso de grandes profundidades y la dependencia con la meteorología. Factores que generan costes económicos elevados.

DESARROLLO

Para facilitar la comprensión partimos de un caso ideal donde tenemos un emisor y un blanco. El emisor se mueve sobre la superficie del mar y el blanco está estático en el lecho marino. En la figura 3 se detalla un esquema del sistema:

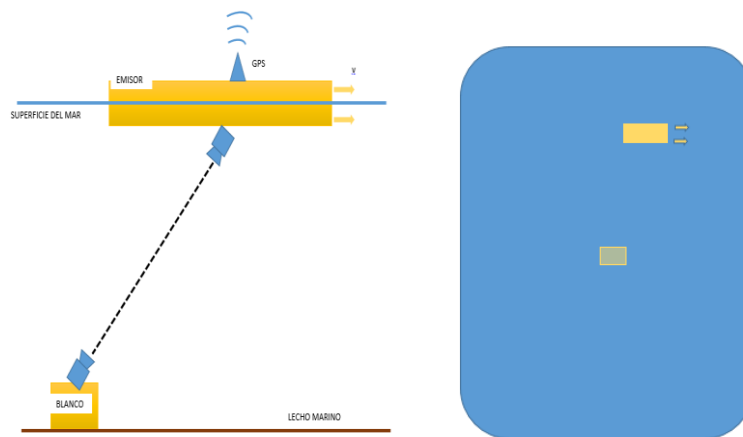


Figura 3. Esquema del experimento

La ecuación (1) es la fundamental que se emplea y representa el valor de la distancia entre los dos dispositivos a partir del tiempo de vuelo de la señal y su velocidad en el medio. Donde t_{TOF} es el intervalo de tiempo entre emisión y recepción, y t_{BLANCO} es el intervalo de tiempo que tarda el BLANCO entre la recepción y emisión. El valor de c es la velocidad del sonido en el medio:

$$r = \frac{c}{2} \cdot (t_{TOF} - t_{BLANCO}) \quad (1)$$

Como se ha indicado anteriormente, la velocidad del sonido en el medio no es constante y dependen de la temperatura, la salinidad y la presión [6]. La ecuación (2) representa la propagación de la incertidumbre sobre el valor de la distancia (r), donde el método empleado es independiente. Esta ecuación permite encontrar un valor mínimo de la incertidumbre asociada a las contribuciones de tipo B.

$$u(r) = \sqrt{\left(\frac{t_{TOF} - t_{BLANCO}}{2}\right)^2 \cdot u^2(c) + \left(\frac{c}{2}\right)^2 \cdot u^2(t_{TOF}) + \left(\frac{c}{2}\right)^2 \cdot u^2(t_{BLANCO})} = \sqrt{u'^2(c) + u'^2(t_{TOF}) + u'^2(t_{BLANCO})} \quad (2)$$

Cada término de la incertidumbre lleva asociados diversas variables, que se detallan:

$u(c)$: depende del medio, por ello posee una dependencia con la temperatura, salinidad, profundidad y los rebotes en la propagación.

$u(t_{TOF})$: depende del efecto Doppler, ya que el emisor se mueve, de la señal de GPS para su ubicación y la resolución temporal del equipo.

$u(t_{BLANCO})$: depende únicamente del equipo y puede ser evaluado en el laboratorio.

RESULTADOS

De la ecuación 2 y siguiendo los criterios de la GUM [4], se realiza el cálculo para las fuentes de incertidumbre, obteniendo la tabla 1. También se utiliza la aproximación del medio marino según [5]

Variable	Unidad	$u(x_i)$	Distribución de probabilidad	Divisor	Coefficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre combinada	Varianza
x_i					c_i	$u'(x_i)$ m	$u'^2(x_i)$ m

c^*	m/s	10	Rectangular	$\sqrt{3}$	$\frac{** t_{TOF} - t_{BLANCO}}{2}$	0,43	0,18
t_{TOF}	s	$7 \cdot 10^{-3}$	Rectangular	$\sqrt{3}$	$\frac{c}{2}$	$4,04 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
t_{BLANCO}	s	10^{-3}	Rectangular	$\sqrt{3}$	$\frac{c}{2}$	0,43	0,185
Incertidumbre Combinada (m)							0,61
Incertidumbre Expandida (m) con $k=2,00$							1,22

* Valor determinado teniendo en cuenta los valores de : $T=15,00 \pm 2,88$ grados Celsius, $S=35,00 \pm 1,29$ ppt, profundidad $100,00 \pm 2,89$ m.

**El valor de $t_{TOF}-t_{BLANCO}$ que es de 0,149 s, se ha estimado para una profundidad de 100 m y a una distancia superficial del blanco de 200 m

Una vez conocemos el valor de la incertidumbre de la distancia, se puede calcular los valores de la posición del blanco (x_b, y_b, z_b) mediante la estimación de mínimos cuadrados, ya que nuestro emisor se mueve en una zona donde se pueden obtener un número elevado de recepciones en varias posiciones. Tal como se indica en la ecuación 3, considerando que $z_e=0$ dado que el emisor se encuentra en la superficie del mar y que x_e e y_e no tienen incertidumbre, se puede calcular el rango al blanco r .

$$r = \sqrt{(x_e - x_b)^2 + (y_e - y_b)^2 + (z_b)^2} \quad (3)$$

En Junio de 2017 se realizó un experimento con un blanco fijo en el área del observatorio submarino OBSEA[6] en Vilanova i la Geltrú (Barcelona) operado por la Universitat Politècnica de Catalunya. Se desarrolló mediante una metodología de desplazamientos circulares tal como indica la figura 4:

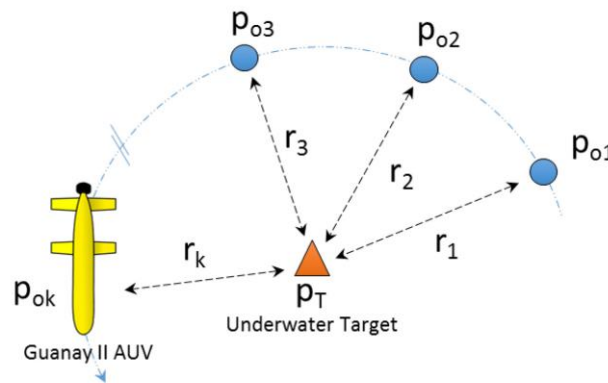


Figura 4. Desplazamiento del equipo sobre la superficie marina frente a la posición del equipo en el lecho marino

Mediante la aplicación de varios algoritmos de posicionamiento como LS (mínimos cuadrados), EKF (filtro extendido de kalman) y PF (Filtro de partícula) a los datos

recogidos en cada posición del vehículo p_{ok} , se calculó el valor estadístico de la posición del equipo en el lecho marino. En la figura 5 se muestran los resultados.

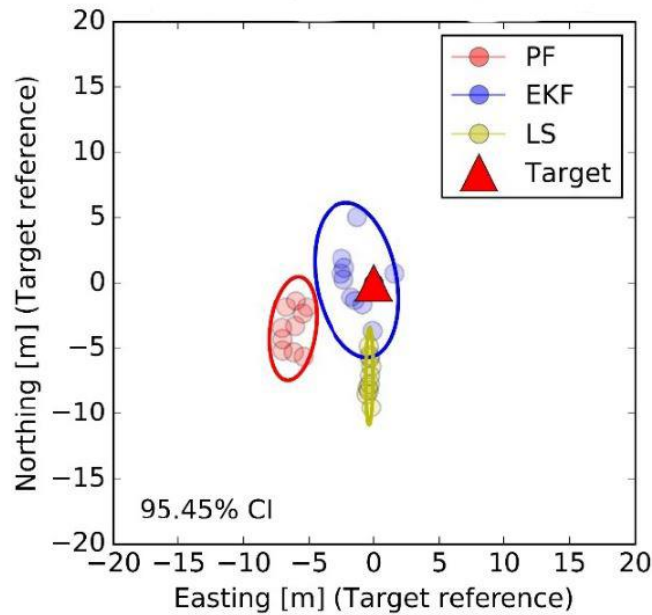


Figura 5. Representación gráfica de 10 estimaciones frente la ubicación real del equipo, utilizando los algoritmos PF, EKF y LS. La elipse representa el intervalo de confianza encontrado mediante el uso de la desviación típica (fuente [7])

CONCLUSIONES

Se presenta en este artículo las características del medio marino, así como la metodología seguida para realizar el cálculo de la posición, desde superficie y mediante pulsos sonoros, de un blanco estático en el fondo marino y el cálculo de la incertidumbre asociada. Los resultados obtenidos estiman una incertidumbre de 1,22 m para el posicionamiento de un blanco situado a 100 m de distancia. También se ha contemplado el estudio estadístico complementario, utilizando varios algoritmos, para tener en cuenta la contribución estadística y de esta manera poder validarlos.

REFERENCIAS

- [1] Edding, Mario & Tala, Fadia & Vásquez. Fotosíntesis, productividad y algas marinas, Julio. (2006).
- [2] R.E. Francois and G. R. Garrison "Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption" J. Acoust. Soc. Am. Vol. 72, N.6, December 1982
- [3] Kristy A. Moore, James H. Miller, Gopu R. Potty, James F. Lynch and Arthur Newhall, "Investigation of three-dimensional propagation effects at the New Jersey shelf break front," Journal of the Acoustical Society of America 2007 121:5, 3126-3126.

- [4] Guía GUM, “Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement.” JCGM 100:2008
- [5] X. Lurton, An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- [6] Jacopo Aguzzi, Antoni Mànuel, Fernando Condal, Jorge Guillén, Marc Nogueras, Joaquin Del Rio, Corrado Costa, Paolo Menesatti, Pere Puig, Francesc Sardà, Daniel Toma, Albert Palanques, The new Seafloor Observatory (OBSEA) for remote and long-term coastal ecosystem monitoring. Sensors vol. 11, Issue 6, 2011
- [7] I. Masmitja, P. J. Bouvet, S. Gomariz, J. Aguzzi, J. del Rio, D. Mihai Toma, Accuracy and precision studies for range-only underwater target tracking in shallow waters, 22nd IMEKO TC4, 2017