

MODELADO DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CLICS EN CACHALOTES

Eduardo Hernández ⁽¹⁾, Beatriz Rodríguez ⁽²⁾, Juan L. Navarro ⁽¹⁾

⁽¹⁾Dpto. de Señales y Comunicaciones – Universidad de Las Palmas de G. C.

⁽²⁾Dpto. de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas

Universidad de La Laguna

{ehernan,navarro}@dsc.ulpgc.es

ABSTRACT

We propose a novel approach to the estimation of a model for the production of clicks in sperm whales based on the assumption of an autorregressive nature of the signals. The approach is done in two ways. In the first one we apply a classical LPC analysis. In the second we apply a common-acoustical-pole model to take benefit from multiple clicks.

1. INTRODUCCIÓN

Los cachalotes son unos mamíferos marinos que utilizan una serie de pulsos, clics, para comunicarse y conducirse en la caza de sus presas. En el mecanismo de producción sonora del cachalote actúa de manera decisiva un órgano conocido como espermaceti. Se trata de una enorme bolsa de grasa rodeada de músculos que permiten al cetáceo modelar su forma. Norris y Harvey [1] proponen modelar este órgano como un solo tubo excitado por el clic.

En este artículo, basándonos en la geometría y las propiedades biológicas del espermaceti, proponemos que es más acertado modelar el citado órgano como un sistema de varios tubos con diferentes frecuencias de resonancia, figura 1. Entonces, a la hora de modelar la función de transferencia, consideramos que las señales a que dan lugar son de naturaleza autorregresiva con unos coeficientes de predicción. Ensayamos dos formas de calcular los coeficientes. En la primera aplicamos una predicción lineal clásica. En la segunda aprovechamos la naturaleza múltiple –siempre aparecen varios- de los clics para obtener el modelo común de los mismos supuesto que provienen del mismo individuo o manada. Un modelo de esta naturaleza tiene interés, por ejemplo, en la localización [2].

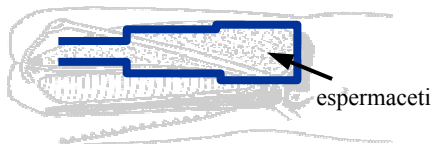


Figura 1. Cabeza de cachalote con indicación del espermaceti y el modelo de tubos propuesto.

2. MODELO AUTORREGRESIVO

El modelo autorregresivo [3] de un proceso $s_i(n)$ asociado a un clic dado se obtiene como combinación lineal de las muestras anteriores $s_i(n-k)$ afectadas por unos coeficientes $\{a_{ik}\}$ de predicción:

$$s_i(n) = \sum_{k=1}^d a_{ik}s_i(n-k) + \varepsilon_i(n) \quad (1)$$

donde d es el orden del proceso, G un factor de ganancia y ε_i el error de predicción. Si aplicamos transformada Z a (1) obtendríamos la función de transferencia del proceso (2).

$$H_i(z) = \frac{S_i(z)}{\sum_i(z)} = \frac{G}{1 - \sum_{k=1}^{d_i} a_{ik}z^k} \quad (2)$$

Se trata de un modelo todo polos donde los polos están asociados a las resonancias de cada uno de los tubos que a su vez utilizamos para modelar el espermaceti.

3. MODELO DE POLOS ACÚSTICOS COMUNES

La estructura múltiple de los clics es debida a dos hechos. De un lado, el cachalote genera un clic básico producido a partir de un fuerte impulso inicial al que le sigue una serie de réplicas como consecuencia de reflexiones dentro del espermaceti. Y de otro lado, la funcionalidad en la comunicación y en la caza hace que no se genere uno sólo sino muchos.

Para un individuo particular dado, a partir de unos impulsos iniciales, los clics representan la función de transferencia del sistema de producción y llevan, pues, características comunes. En este sentido, y aceptando el hecho de que el espermaceti se comporta como una cavidad resonante compuesta por varios tubos, planteamos la idea de usar una serie de clics para extraer esas características comunes recogidas éstas en los coeficientes de predicción (1) o, equivalentemente, en los polos del sistema que consideramos comunes a todos los clics.

Análoga idea se puede plantear en el caso de que los clics provengan de varios individuos. En este caso, las características comunes residen en el hecho de tener un sistema de producción similar en su morfología y composición.

El modelo de polos acústicos comunes [4] parte de una expresión como (1) donde asumimos que las señales $s_i(n)$ son en sí respuestas impulsionales $h_i(n)$ del clic i -ésimo. Entonces, para ese clic el error de predicción $e_i(n)$ será $\varepsilon_i(n) = h_i(n) - \sum_{k=1}^d a_{PAC}(k)h_i(n-k)$ donde $a_{PAC}(k)$ son los coeficientes acústicamente comunes a todos los clics. Estos coeficientes se pueden estimar, entonces, como aquellos que minimizan la función de coste de error cuadrático medio siguiente:

$$\varepsilon_{PAC} = \sum_{i=1}^M \sum_{n=0}^L \left[h_i(n) - \sum_{k=1}^d a_{PAC}(k)h_i(n-k) \right]^2 \quad (3)$$

donde M es el número de clics que participan en la estimación y L es la longitud de los mismos. La solución a (3) es:

$$a = (W^T W)^{-1} W^T v \quad (4)$$

donde a es un vector que recoge los coeficientes, v y W representan un vector y una matriz, respectivamente, convenientemente construidos para recoger las respuestas impulsionales asociadas a los clics.

4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

La finalidad de los experimentos es verificar que es posible utilizar los modelos propuestos para los sonidos de los cachalotes así como verificar que es factible un promediado de los filtros asociados a las funciones de transferencia. En este sentido, haremos una comparativa entre un modelo autorregresivo clásico (AR) para cada clic, y autorregresivo promediando los coeficientes de varios clics o ciclos (AR(4)) y un modelo de polos acústicos comunes (CAPZ).

Para aplicar los citados modelos hemos separado diversos clics de registros reales de estos mamíferos. Los registros fueron realizados con una $F_s = 32000$ kHz y a 16 bits por muestra. La figura 2 muestra gráficamente la frecuencia de los polos asociados a los formantes de la función de transferencia de los clics para los diferentes modelos. El número de clics por promedio ha sido de cuatro.

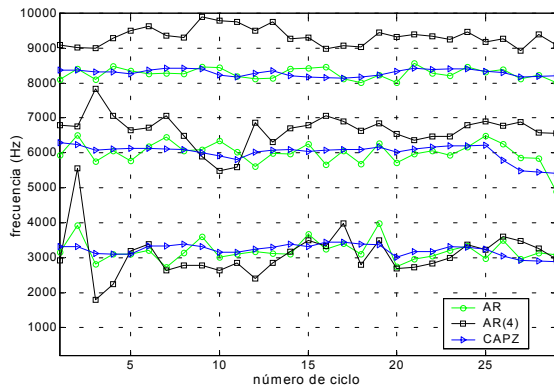


Figura 2. Frecuencia de los polos de la función de transferencia.

La primera etapa de los experimentos ha consistido en determinar un orden adecuado para los modelos. Varios son los criterios que permiten determinar el orden adecuado para el modelo autorregresivo. Por añadidura, también determinaremos el número de resonancias versus tubos del sistema y con ello verificar lo acertado de nuestra propuesta. Los criterios utilizados han sido: Criterio del error final de predicción (FPE, Akaike 1969), Criterio de Información de Akaike (AIC, Akaike 1974), Descripción de Mínima Longitud (MDL, Rissanen 1983) y Criterio de Transferencia Autorregresiva (CAT, Parzen 1974). Una vez hechas las pruebas con múltiples clics el orden más adecuado resultó ser seis.

Si observamos la figura 2 podemos comprobar que un modelado autorregresivo permite capturar la estructura de formantes que asumimos como integrante del espectro de los clics. Este resultado es coherente con las observaciones previas en las que, en general, se manifiestan máximos de energía espectral alternados entre mínimos. El reparto de estos formantes es de la naturaleza que se puede apreciar en la figura. Esto es, hay un formante importante entre 2 y 4 KHz, uno sobre 6KHz y algunos en torno a 10 KHz.

Al hacer un promedio el CAPZ muestra unos resultados coherentes con las observaciones mientras que el AR(4) ofrece resultados poco fiables si los comparamos con los modelos de los clics individuales AR, especialmente a frecuencias altas.

5. CONCLUSIONES

En este artículo presentamos un método de modelado - autorregresivo- del sistema de producción de clics en un cachalote. Por un lado, hemos comprobado su validez. De otro, hemos estudiado la forma de hacer estimaciones fiables de los coeficientes toda vez que la corta duración de los clics da lugar a estimaciones poco estables cuando hacemos un análisis individualizado de los mismos. El modelado CAPZ se muestra como una herramienta muy potente que nos permite hacer estimaciones muy estables. En trabajos futuros presentaremos su aplicación a problemas de DOA [2], identificación, etc.

6. REFERENCIAS

- [1] K.S.Norris y G.W.Harvey. "A theory for the function of the spermaceti organ of sperm whale". Animal Orientation and Navigation. Session V: Sensory mechanisms mechanical, pp. 397- 417, 1972.
- [2] E. Hernández, E. Delory, M. André, J. L. Navarro. "Incorporación de un Modelo de Fuente a la Localización de Cachalotes". Actas URSI 2002. Madrid-Alcalá.
- [3] S. J. Orphanidis. "Optimum Signal Processing: An Introduction". McMillan Publ. Company. London, 1985.
- [4] Y. Haneda, S. Makino, Y. Kaneda, N. Kitawaki. "Common-Acoustical-Pole-Zero Modelling of Head-Related Transfer Functions". IEEE Trans. On Speech and Audio Processing. March 1999. Vol. 7. No. 2.