

DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA HIDROFÓNICO. ASPECTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y ALGORITMO DE CONFORMACIÓN DE HAZ

Felipe García Sánchez, Antonio Javier García Sánchez, Cristina López Bravo

Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

Universidad Politécnica de Cartagena

{felipe.garcia, antoniojavier.garcia, cristina.lopez}@upct.es

ABSTRACT

In this paper a system for the location and marine tracking is outlined. Some features of its hardware implementation as well as the beamforming algorithm proposed are also briefly described. The beamforming algorithm presented is a modification of a conventional scheme but a better computation efficiency is achieved.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo es presentar una estructura real de un sistema para la localización y seguimiento marítimo, útil para diversos campos tales como navegación, previsiones meteorológicas o detección de fauna marina.

En especial se presta atención a los algoritmos de conformación de haz (*beamforming*) que se desarrollan en la actualidad, y que aquí son mejorados para optimizar su funcionamiento en un sistema concreto.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDROFÓNICO

Un sistema hidrofónico es aquél compuesto por un conjunto de hidrófonos, interconexiónados entre sí, y conectados a un centro (o varios) de procesamiento de la información que éstos reciben. Su utilidad radica en la capacidad de detección y localización de elementos fijos o móviles sumergidos o que operan en la superficie. Estos elementos pueden tener diversas naturalezas según el objeto de la aplicación.

Los aspectos fundamentales de una estructura hidrofónica son aquellos que definen su arquitectura física y su rango de funcionamiento. Así se define distancia de separación (d), que consiste en establecer la separación entre elementos hidrofónicos. Este es un valor importante y, sobre todo, su relación con la longitud de onda de la señal ya que dicha relación determina en gran medida el rango de funcionamiento del sistema. Otro punto a considerar es la numeración de elementos (1,2,3,... i ,... N) donde i representa el elemento i -ésimo de la distribución de hidrófonos.

Estos conceptos, junto con los clásicos tales como la frecuencia (f), la longitud de onda (λ) y la desviación (θ) son los que definen la estructura y comportamiento del sistema hidrofónico.

2.1. Estructura del sistema.

La distribución estará formada por un número limitado aunque elevado de elementos hidrofónicos individuales. Se recomienda

que dicho número sea superior a 64 ya que el posterior algoritmo de *beamforming* y desarrollo del sistema hidrofónico será más eficaz en la misma proporción en la que se aumenta el número de receptores de sonido.

Dicha distribución física será lineal, horizontal y uniforme según el espacio marino (o fluvial) que se quiera cubrir. Así, si por ejemplo, lo que se pretende es observar lo que ocurre frente a una costa marítima, se deberá distribuir en línea paralela a dicha costa. La separación entre elementos hidrofónicos dependerá de las posibilidades de distribución del sistema [1].

Una vez distribuido e interconectado el conjunto de hidrófonos, es imprescindible usar para cada uno de ellos, un sistema preamplificador para aumentar la señal capturada por cada uno de los hidrófonos, ya que dicha señal llegará muy atenuada. Para poder realizar la conversión A/D se requiere un nivel mínimo que será necesario conseguir con la etapa preamplificadora.

El siguiente paso es llevar a cabo la adquisición de los datos por parte de un sistema computacional que permita desarrollar los algoritmos de detección y el resto del proceso sobre los datos capturados, en tiempo real. Para ello, y como se trata en este caso de señal de sonido, se pueden usar tarjetas de sonido, si bien hay que recordar que, con un sistema con este elevado número de sensores, cada uno de ellos necesitará un proceso de captura. Con tarjetas convencionales, será necesaria una por cada uno de los hidrófonos, lo cual recomienda utilizar sistemas de adquisición de datos multicanal para acelerar el proceso, eliminar *hardware* redundante y abaratar costes.

La elección de la máquina procesadora necesaria queda condicionada a los requisitos últimos del sistema y a las disponibilidades económicas, teniendo en cuenta la compatibilidad de dicha computadora con el sistema de adquisición de datos seleccionado.

2.2. Implementación práctica en un sistema UNIX

La elección del sistema vendrá dada por los requisitos de ejecución en tiempo real y de implementación (distribuida o centralizada). Éstos deberán determinarse según los objetivos, así un proceso centralizado tendrá las ventajas de un coste inferior, portabilidad y rápida actualización. Se puede considerar que un sistema adecuado es aquél que permita ejecución multiproceso para poder llevar a cabo las diversas funciones a realizar (adquisición, proceso, presentación en su caso...) de manera multitarea. UNIX cumple adecuadamente estos condicionantes.

Se recomienda este tipo de sistema por ser un entorno muy práctico si los algoritmos que se quieren implementar son en lenguaje C o similares.

3. ALGORITMO DE CONFORMACIÓN DE HAZ

Un algoritmo de conformación de haz o *beamforming* es aquél que permite la detección y localización de elementos emisores de ruido acústicos de una manera dinámica (móviles). Se definen los siguientes conceptos:

- DOA (*direction of arrival*) direcciones de los datos de llegada.
- TOA (*time of arrival*) instante temporal en el que se realizan las capturas de señal, retardo. Se obtienen simultáneamente en todos los hidrófonos.
- Matriz de amplitudes (A), que define los valores detectados para cada instante TOA y cada dirección DOA.
- BDI (*Bearing Direction Indication*) algoritmo para el cálculo de la dirección y retardo.
- WMT (*Weighted Mean Time*), algoritmo con la misma función que el anterior pero con distinta filosofía.

Para detallar el sistema se debe tener en cuenta que cada hidrófono determinará un ángulo (θ) en cada instante de tiempo t_i lo cual proporciona un vector de direcciones (DOA's) otro de tiempos (TOA's) y una matriz de amplitudes que determinan el valor amplitud por cada dirección en cada instante de tiempo. Para resolver y encontrar la posición real absoluta se debe previamente integrar todos esos valores. Para solventar esta tarea se utilizarán los algoritmos BDI y WMT [2].

3.1. Algoritmo BDI modificado.

Este primer algoritmo se encarga de encontrar la posición final del contacto, determinando primero los valores útiles entre aquellos recibidos. Las principales fases de este algoritmo son:

- *Estimación del ángulo*. Consiste en combinar los diferentes datos capturados por los diferentes hidrófonos, para determinar aquéllos que son los más precisos e indicados, eliminando valores nulos o imposibles.
- *Compensación del movimiento*, para el caso de que se esté en un receptor móvil (p. e. un barco). Se debe tener en cuenta no sólo el movimiento natural, sino otros provocados por la marea, corrientes,...
- *Aplicación de ventanas de operación*[3]. Consiste en determinar el rango en el que se quiere desarrollar el análisis.
- *Cálculo de los valores finales DOA y TOA*. Al final de todo el proceso se obtiene un conjunto de puntos que definen una serie de direcciones y retardos, donde la matriz A de amplitudes contendrá numerosos valores nulos correspondientes a los datos no significativos. Con esto, se calcula la media y la desviación estándar de los valores del vector TOA (servirá de envolvente de la solución). Seguidamente, se descartan los valores DOA's que no estén dentro de el rango incluido por la media +/- desviación. El tercer paso es calcular la dirección del objeto como la media de esos DOA's. Finalmente se toma como TOA la media calculada al principio, y la amplitud será la media de las amplitudes que tengan valores en ese rango.

3.2. Algoritmo WMT modificado.

Como en el caso anterior se intenta encontrar la localización absoluta del blanco. Dicho algoritmo se divide según los siguientes pasos más significativos:

- *Interpolación de amplitudes para cada dirección DOA*. Se obtiene una función que determina los valores A, en cada dirección para cualquier instante TOA ($f_{DOA_j}(TOA)$).
- *Cálculo de la DOA*. Se determina con la expresión:

$$\overline{DOA} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N DOA [j] \bullet f_{DOA_j}(TOA [j]) \quad (1)$$

- *Cálculo del TOA*. Se asimila como función de interpolación del DOA calculado, aquella del DOA que esté más próximo. Así:

$$\overline{TOA} = \frac{1}{2j} \sum_{i=m-j}^{m+j} TOA [i] \bullet f_{DOA}(TOA [i]) \quad (2)$$

$$\overline{A} = \frac{1}{2j} \sum_{i=m-j}^{m+j} f_{DOA}(TOA [i]) \quad (3)$$

donde $f_{DOA}(TOA)$ es la función de interpolación de amplitudes para el DOA calculado, y los valores $m-j$ y $m+j$ son los que definen las direcciones próximas al propio DOA.

La principal ventaja de este procesado es que se utilizan los valores de las amplitudes para el cálculo ponderado de dirección y retardo, lo cual mejora en gran medida la calidad del análisis.

Con estos dos procedimientos modificados se consigue reducir el tiempo de proceso debido a que en cada paso se utilizan los valores más significativos, obviando el resto.

3.3. Otros sistemas de seguimiento.

Existen otros tipos de análisis que se han ido desarrollando en los últimos años a raíz sobre todo del análisis tridimensional. Éstos se conocen como SAS (Synthetic Aperture Sonar) donde existe una menor degradación de la resolución con el rango de frecuencias. La comparación con el algoritmo presentado está fuera del alcance de este artículo.

4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE ACTUACIÓN

En este documento se presenta un estudio de un sistema hidrofónico y la implementación de un algoritmo de *beamforming* que supone una modificación de los tradicionales, mejorando su eficiencia de cálculo y simplificando su implementación.

Actualmente se está trabajando en la codificación de dichos algoritmos y realizando una medida comparativa de eficiencia entre los algoritmos de *beamforming* tradicionales, los mejorados y el algoritmo de SAS.

5. REFERENCIAS

- [1] David M. Lane, Mike Chanler, Dong Yong Dai, Ioseba Tena Ruiz "Tracking and Classification of Multiple Objects In Multibeam Sector Scan Sonar Images Sequences" Ocean System Laboratory Heriot-Watt University, Edinburgh, Scotland. 2000.
- [2] L3 Communications SeaBeam "Multibeam Sonar Theory Operation". http://www.seabeam.com/top_04.pdf, 2000.
- [3] Ioseba Tena Ruiz, Yvan Petillot, David Lane, Judith Bell "Tracking Objects in underwater multibeam Sonar Images" IEEE Colloquium on Motion Analysis and Tracking, Londres, Inglaterra 1999.