

Obtención de información del entorno con un array ultrasónico

A. Ochoa*, J. Ureña*, A. Hernández*, M. Mazo*, F. Álvarez†, C. De Marziani*, M. C. Pérez*

*Departamento de Electrónica – Universidad de Alcalá
Campus Universitario s/n, 28805 Alcalá de Henares (Madrid) – España
Tel.: +34 91 885 6921 – Fax: +34 91 885 6591

†Dep. de Ingeniería Electrónica y Electromecánica – Universidad de Extremadura
E-mail: {alberto, urena, alvaro, mazo, fernando, marziani, carmen}@depeca.uah.es

Abstract - En este trabajo se presenta un método para estimar la respuesta impulsiva (IR) en un sistema ultrasónico MIMO usando Conjuntos Complementarios de M Secuencias (M -CSS). El sistema está conformado por μ transductores, que emiten simultáneamente una Macro-Secuencia (M_S) construida a partir de un conjunto complementario distinto y particular. Cada M_S es asignada a un emisor del sensor para su transmisión y simultáneamente en cada receptor se reciben las señales ultrasónicas (ecos) para ser procesados por un grupo de correladores. De las señales correladas se puede obtener la IR del canal de transmisión e información del objeto del cual provinieron los ecos. Además se incluye un algoritmo de post-proceso para estimar con mayor precisión los picos de correlación candidatos. El sistema sensorial está formado por 4 ($\mu=4$) transductores (Emisor/Receptor) que transmiten cuatro macro-secuencias simultáneamente y en cada proceso de lectura se puede captar en el sistema sensor hasta un máximo de 16 señales. De los ecos captados puede obtenerse no solo la medida de tiempo de vuelo, sino también la cantidad de energía del eco recibido, la IR de los canales de transmisión entre cada emisor y receptor e inclusive con la diferencia de tiempos entre las IR se estima la posición de un reflector.

Palabras Clave: Sistema Ultrasónico MIMO, Respuesta Impulsiva, Conjunto Complementario de M Secuencias y Macro-Secuencias.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de detección y clasificación que emplean como base principal el sonido (radar y sonar) han ido cambiando con el paso del tiempo, incrementando su capacidad de procesamiento tanto en la emisión como en la de recepción [1]. Los distintos tipos de sonares (aéreo, marítimo, etc.) han incrementado su número de elementos con los que interactúan con el entorno, con la finalidad de obtener información más detallada del mismo y haciendo que el sistema de procesamiento sea más complejo. Los sistemas sonar actuales utilizan en sus estructuras sensoriales uno o varios transductores y con distintas configuraciones geométricas entre ellos. Al contar con más transductores con los que se interactúa con el entorno el sistema sonar es capaz de obtener más información en cada proceso de lectura.

El uso de varios transductores tanto en la etapa de emisión como recepción involucra un cambio en el modelo tradicional del sistema, y esto implica el usar una técnica que provea información detallada del sistema en cualquier instante de tiempo para todos los canales físicos de transmisión. Los sistemas MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output) actualmente son muy utilizados por su gran capacidad y diversidad para disminuir el efecto de varios tipos de señales interfiriendo en un sistema de transmisión [2]. En el caso de tener una transmisión y recepción simultánea en estos sistemas, en donde se involucran tanto los múltiples emisores como los receptores, se tendrá una función de transferencia que relacionará a cada emisor con cada receptor, generando así un modelo general del sistema de transmisión MIMO

Dependiendo del entorno, una señal emitida por un transductor ultrasónico T_{emi} llegará al receptor T_{rec} a través de diferentes caminos y ésta puede ser modelada usando un modelo de propagación multi-camino (*Multipath*) [3]. Hay diferentes técnicas para determinar la respuesta impulsiva $h[k]$ de un canal de transmisión [3][4], por ejemplo la excitación de un sistema con un pulso corto o con una señal seleccionada codificada para su posterior correlación. Entre las técnicas que se usan para la correlación de la señal recibida, es normal encontrar codificaciones con secuencias pseudo-aleatorias [5] o complementarias [6][7].

En este trabajo se presenta un algoritmo de proceso para estimar la respuesta impulsiva en un sistema ultrasónico MIMO usando Macro-Secuencias formadas a partir de los Conjuntos Complementarios de M Secuencias M -CSS (Complementary Set of M Sequences) para aprovechar sus propiedades de auto-correlación y correlación cruzada [6]. El sistema consiste en μ transductores, los cuales emiten simultáneamente una señal codificada con una macro-secuencia particular y diferente asignada a cada uno de los transductores. Simultáneamente, en cada receptor los ecos son recibidos y procesados para obtener sus correspondientes respuestas, las cuales están relacionadas con cada emisión y el canal físico de transmisión entre cada emisor y receptor considerado.

El resto de este trabajo esta estructurado como sigue: en el apartado II, se introducen las macro-secuencias y su construcción a partir de los conjuntos complementarios de M secuencias; el apartado III es dedicado a explicar el sistema de transmisión ultrasónico y su modelado; los algoritmos de procesamiento que se utilizan para obtener información de las señales captadas son mostrados en IV; en el apartado V, se presentan algunos resultados de las simulaciones realizadas y; finalmente, las conclusiones son mencionadas en el apartado VI.

II. CONTRUCCIÓN DE MACRO-SECUENCIAS CON LOS CONJUNTOS COMPLEMENTARIOS DE M SECUENCIAS

Un conjunto complementario de M secuencias (M -CSS) es una colección de secuencias binarias de longitud L , donde cada secuencia del conjunto contiene solo valores de +1 y/o -1. La principal propiedad de estos conjuntos es que la suma de sus funciones de auto-correlación aperiódicas es igual a $M \cdot L$ para un desplazamiento nulo y cero para cualquier otro desplazamiento [4]. En forma particular, si se usa un conjunto 32-CSS de 32 secuencias ($M=32$) $\{a_1, a_2, \dots, a_{M-1}, a_M\}$, de longitud 32 ($L=32$), la suma $\Phi[k]$ de sus funciones de auto-correlación $\phi_{a_i} [k]$ es:

$$\Phi[k] = \sum_{x=1}^M \phi_{a_x} [k] = \begin{cases} M \cdot L & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Es bien conocido cómo un conjunto M -CSS de longitud L puede ser obtenido utilizando un generador eficiente de conjuntos complementarios de secuencias (ESSG) y, de misma forma, cómo puede ser implementado un correlador eficiente de conjuntos complementarios de secuencias (ESSC) [4][6]. Ambos algoritmos fueron construidos para generar y correlar estos conjuntos, respectivamente, y su principal objetivo es reducir el número de operaciones que tienen que ser realizadas. Cada conjunto se genera a partir de una semilla \mathbf{W} que tiene una representación decimal dada por p [4], la cual es característica de cada conjunto. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de la suma $\Phi[k]$ de sus funciones de auto-correlación para el conjunto 32-CSS conformado por 32 secuencias ($M=32$), donde cada secuencias del conjunto es de longitud 32 ($L=32$).

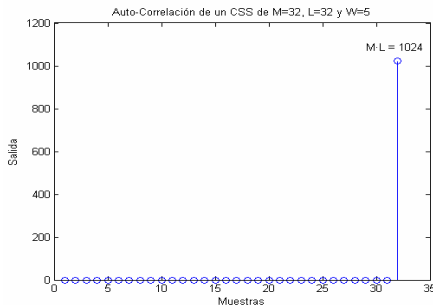


Fig. 1. Suma de las funciones de auto-correlación $\Phi[k]$ de un conjunto 32-CSS de semilla 5 ($p=5$) con $M=32$ y $L=32$.

Para obtener la señal codificada que se usará para excitar un emisor, se tienen que considerar los siguientes puntos:

- Cada uno de los bits de las M secuencias de un conjunto $\mathbf{S}_{M(L)}^{(p)}$ que se muestra en (2) son intercalados para construir una macro-secuencia (M_S) de longitud total $L_{M_S}=M \cdot L$. En (3) se muestra cómo se construyó la macro-secuencia $M_S^{(p)}$ al utilizar cada bit de las secuencias generadas a partir de la semilla p [4], la cual será usada para excitar al transductor de la etapa de emisión.

$$\mathbf{S}_{M(L)}^{(p)} = \begin{pmatrix} S_{1,L}^{(p)}[k] \\ S_{2,L}^{(p)}[k] \\ \vdots \\ S_{M-1,L}^{(p)}[k] \\ S_{M,L}^{(p)}[k] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,L} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M-1,1} & x_{M-1,2} & \cdots & x_{M-1,L} \\ x_{M,1} & x_{M,2} & \cdots & x_{M,L} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$M_S^{(p)}[k] = [x_{1,1} \ x_{2,1} \ \cdots \ x_{M-1,1} \ x_{M,1} \ x_{1,2} \ x_{2,2} \ \cdots \ x_{M-1,2} \ x_{M,2} \ \cdots \ x_{1,L} \ x_{2,L} \ \cdots \ x_{M-1,L} \ x_{M,L}] \quad (3)$$

Donde $x_{n,m}$ es cada bit de las secuencias del conjunto, $n \in \{1, 2, \dots, M\}$ y $m \in \{1, 2, \dots, L\}$.

- Cada bit de la M_S es transmitido después de una modulación BPSK, usando un símbolo de modulación que consiste en dos periodos de una señal cuadrada a una frecuencia de 50 kHz.

La Fig. 2 muestra la auto-correlación $\Phi_{M_S}[k]$ de una Macro-Secuencia de longitud 1024 ($L_{M_S}=1024$) obtenida del conjunto 32-CSS generado con semilla p ($p=5$) y con una modulación BPSK de 2 muestras por símbolo de la macro-secuencia.

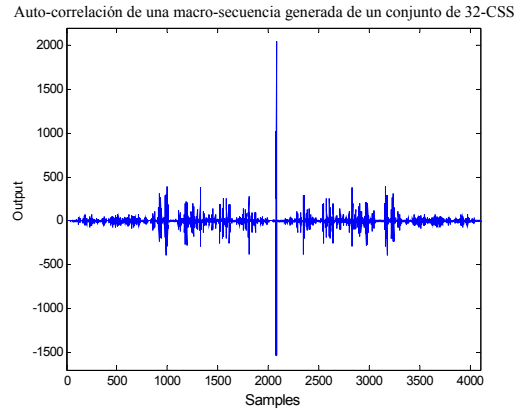


Fig. 2. Auto-correlación $\Phi_{M_S}[k]$ de una M_S de longitud 2048 obtenida del conjunto 32-CSS ($M=32$ y $L=32$) y con una modulación digital tipo BPSK de dos muestras por símbolo.

III. MODELO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN ULTRASÓNICO

A) Sistema Sensor

La respuesta impulsiva puede ser estimada de una señal ultrasónica para conocer el comportamiento del proceso de la emisión-reflexión-recepción e intentar identificar algún tipo de reflector en el entorno a través de su respuesta impulsiva. En la Fig. 3 se muestra la estructura geométrica de un sistema sensorial y la localización de un reflector ultrasónico frente a la estructura.

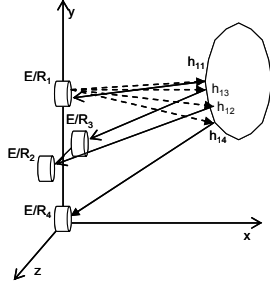


Fig. 3. Estructura de un sistema ultrasónico.

Cada canal físico de transmisión entre cada emisor y receptor tiene una respuesta impulsiva particular. Con cuatro emisiones simultáneas y cuatro recepciones simultáneas, un máximo de 16 respuestas impulsivas pueden estar implicadas en el proceso de lectura (la Fig. 3 muestra solamente los canales físicos de transmisión h_{ij} entre el emisor E/R_i y los cuatro receptores).

En la Fig. 4 se muestra el diagrama de bloques de todo el sistema ultrasónico MIMO, en el cual esta comprendida la etapa de emisión, la etapa de recepción y el entorno. En el bloque de emisión cuatro M_S son generadas a partir de cuatro conjuntos mutuamente ortogonales y son utilizadas para codificar la emisión de cada emisor.

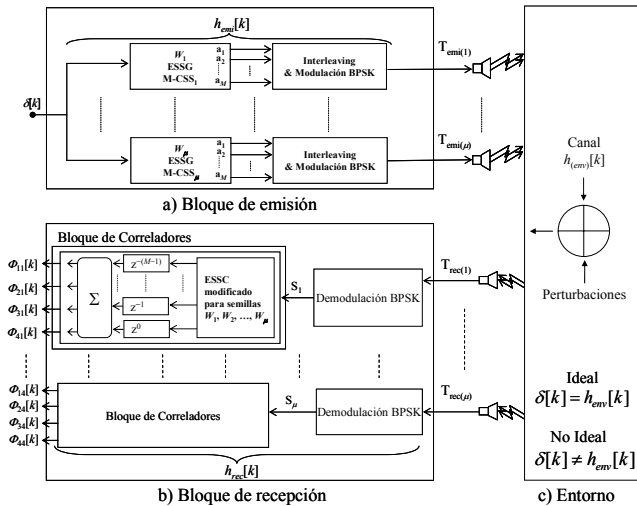


Fig. 4. Diagrama de bloques de todo el sistema ultrasónico MIMO (emisores, receptores y entorno).

En el bloque de recepción las señales recibidas (ecos) por los transductores son demoduladas y correladas para obtener la salida del sistema en el instante k .

B) Modelo general del sistema ultrasónico

Obsérvese que a la entrada de cada ESSG, en la etapa de emisión, la señal de entrada es $\delta[k]$, y entonces cada salida en la etapa de recepción se puede expresar como:

$$\Phi_{ij}[k] = h_{i(emi)}[k] * h_{ij(env)}[k] * h_{j(rec)}[k] * \delta[k] + n_j[k] * h_{j(rec)}[k] \quad (4)$$

donde $\Phi_{ij}[k]$ es la salida obtenida después del proceso de correlación en el receptor j causado por la emisión codificada del emisor i , $h_{i(emi)}[k]$ es la respuesta impulsiva del módulo de emisión para el emisor i , $h_{j(rec)}[k]$ es la respuesta impulsiva del módulo de recepción para el receptor j al procesar la información en busca de la señal que proviene del emisor i , $h_{ij(env)}[k]$ es la respuesta impulsiva del canal físico de transmisión entre el emisor i y el receptor j , y $n_j[k]$ es el ruido aditivo en la entrada del receptor j .

Obviamente, en un proceso *off-line* se puede suponer que el ambiente es ideal, es decir, no hay ruido aditivo en ningún receptor ($n_j[k]=0$) y toda la respuesta impulsiva del entorno es ideal ($h_{ij(env)}[k] = \delta[k]$). Las salidas obtenidas en estas condiciones serán guardadas como unas señales de referencia:

$$\begin{aligned} \Phi_{ij(ref)}[k] &= h_{i(emi)}[k] * h_{j(rec)}[k] * \delta[k] \\ &= h_{j(rec)}[k] * M_{S_i}[k] \end{aligned} \quad (5)$$

En una operación normal (proceso *on-line*), el entorno (canal de transmisión) se considera no-ideal (con perturbaciones, tiempos de vuelo, etc.) y con ruido aditivo. Tomando en cuenta las perturbaciones del sistema de transmisión y del entorno la salida del sistema puede expresarse como:

$$\Phi_{ij}[k] = y_{ij(ref)}[k] * h_{ij(env)}[k] + n_j[k] * h_{j(rec)}[k] \quad (6)$$

Para efectos prácticos, si se realiza un cambio de variable sobre (6) donde $h_{ij}[k] = h_{ij(env)}[k] * h_{j(rec)}[k]$ y $\eta_j[k] = n_j[k] * h_{j(rec)}[k]$, la relación entre la entrada y la salida del sistema ultrasónico, esta dada por:

$$\Phi_{ij}[k] = h_{ij}[k] * M_{S_i}[k] + \eta_j[k] \quad (7)$$

C) Modelo MIMO del sistema

En forma matricial, la relación (modelo MIMO de un sistema [2]) entre la entrada y la salida del sistema de transmisión con μ Emisores/Receptores (véase Fig. 3 y 4), puede ser expresada como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\psi}[k] &= \sum_{l=0}^{\lambda} \mathbf{H}_l \mathbf{M}_s[k-l] + \boldsymbol{\eta}[k] \\ &= [\mathbf{H}_z(z^{-1})] \mathbf{M}_s[k] + \boldsymbol{\eta}[k]\end{aligned}\quad (8)$$

donde la señal $\boldsymbol{\psi}[k]=[y_1[k] \ y_2[k] \ \dots \ y_{\mu}[k]]^T_{(\mu \times 1)}$ es un vector que contiene las señales recibidas por cada transductor, $\mathbf{M}_s[k]=[m_{s1}[k] \ m_{s2}[k] \ \dots \ m_{s\mu}[k]]^T_{(\mu \times 1)}$ es un vector que contiene las Macro-Secuencias transmitidas por los transductores, λ es el orden de canal de transmisión, $\{\mathbf{H}_l\}_{l=0, \dots, \lambda}$ son las matrices de dimensión $(\mu \times \mu)$ que contienen el valor de las respuestas impulsivas del canal de transmisión en el instante l y $\boldsymbol{\eta}[k]=[\eta_1[k] \ \eta_2[k] \ \dots \ \eta_{\mu}[k]]^T_{(\mu \times 1)}$ es el vector de ruido, en el cual el elemento $\eta_j[k]$ del vector está asociado con el transductor j . En (9) se muestra la matriz \mathbf{H}_l que contiene las respuestas impulsivas h^l_{ij} de los canales físicos de transmisión entre el emisor i y el receptor j en el instante l .

$$\mathbf{H}_l = \begin{bmatrix} h^l_{1,1} & \dots & h^l_{\mu,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h^l_{1,\mu} & \dots & h^l_{\mu,\mu} \end{bmatrix}\quad (9)$$

En (10) se expresa al modelo del sistema como una suma de series finitas (FIR), donde la matriz $\mathbf{H}_z(z^{-1})$ contiene la suma de las matrices \mathbf{H}_l para todos los instantes l considerados por el sistema. Esta matriz representa la atenuación y el desplazamiento de la fase en las señales recibidas por los receptores con un retardo l en el dominio de z .

$$\mathbf{H}_z(z^{-1}) = \sum_{l=0}^{\lambda} \mathbf{H}_l \cdot z^{-l}\quad (10)$$

IV. ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO

En cada bloque de procesamiento vinculado al receptor j , el eco recibido es procesado simultáneamente en busca de las macro-secuencias transmitidas por el emisor i a través de la correlación (\oplus) , como se observa en (11). De esta forma, después de obtener la señal de correlación Φ_{ij} se realiza sobre esta una umbralización para obtener la respuesta impulsiva h_{ij} del canal de transmisión entre el emisor i y el receptor j .

$$\Phi_{ij}[k] = \boldsymbol{\psi} \left[\frac{k-j}{\mu} \right] \oplus M_{Si}[k]_{i, j=1, 2, \dots, \mu}\quad (11)$$

Con el fin de localizar con una mayor precisión los picos de correlación y reducir el ruido causado por la correlación cruzada de las macro-secuencias, se puede aplicar una técnica que se denomina factor de corrección o post-proceso [8]. Al aplicar esta técnica de corrección se puede eliminar tanto el ruido que se agregó a la señal

durante su transmisión por el entorno como el ruido generado por la correlación cruzada entre las macro-secuencias recibidas simultáneamente.

Esta técnica consiste en saber cuál será el comportamiento de una señal correlada sin ningún tipo de perturbación y para ello se emplea la señal de referencia $\Phi_{ij(ref)}[k]$ calculada previamente. Después se analiza la energía de la señal $\Phi_{ij}[k]$ captada (no-ideal) en el instante k y a partir de este punto se abre una ventana de análisis de longitud $2w-1$, siendo ésta la longitud de $\Phi_{ij(ref)}[k]$. En (12) se observa el proceso que se realiza mediante esta técnica de corrección. Siendo $\Phi'_{ij}[k]$ la nueva salida del sistema.

$$\Phi'_{ij}[k] = \text{sign}(\Phi_{ij}[k]) \cdot \left(\sum_{l=k-(w-1)}^{k+(w-1)} \left\{ \left| \Phi_{ij}[l] \right| - \left| \Phi_{ij}[l] - \left(\frac{\Phi_{ij}[k]}{\Phi_{ij(ref)}^{\max}} \cdot \Phi_{ij(ref)}[l] \right) \right| \right\} \right)\quad (12)$$

Si la energía que existe en la ventana de análisis que se abrió sobre Φ_{ij} en el instante k es igual a la energía de la señal de referencia $\Phi_{ij(ref)}[k]$ en una ventana de igual dimensión, el algoritmo de post-proceso asignará a la nueva señal generada Φ'_{ij} en el instante k el valor de la suma de la energía, de forma que se incrementará el pico de correlación. En caso contrario de que la energía no sea la misma, el algoritmo de corrección asignará a Φ'_{ij} en el instante k un valor mínimo.

V. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Si al sistema descrito en la sección III se le aplica una perturbación (delta) al bloque de emisión para generar 4 ($\mu=4$) M_{Si} , estas pueden ser utilizadas para excitar los emisores del sistema de transmisión y poder obtener información detallada del sistema ultrasónico. Además si un reflector ultrasónico es colocado frente a la estructura sensoria, es posible estimar su posición a través de sus $h_{ij(env)}[k]$ obtenidas. En (13) se muestra un conjunto de respuestas impulsivas asociadas a la matriz \mathbf{H}_z , que emularan el comportamiento de los canales de transmisión de un sistema discreto MIMO durante la emisión de las macro-secuencias por el entorno. \mathbf{H}_z provee de información detallada del comportamiento del entorno e inclusive de la posición del objeto localizado frente al sensor ultrasónico.

$$\mathbf{H}_z(z^{-1}) = \begin{bmatrix} z^0 & z^{-600} & z^{-600} & z^{-1000} \\ z^{-600} & z^{-900} & z^{-900} & z^{-1400} \\ z^{-600} & z^{-900} & z^{-900} & z^{-1400} \\ z^{-1000} & z^{-1400} & z^{-1400} & z^{-1600} \end{bmatrix}\quad (13)$$

El resultado del proceso de correlación realizado sobre los ecos recibidos en los transductores en busca de las macro-secuencias transmitidas simultáneamente se muestra en la Fig. 5.

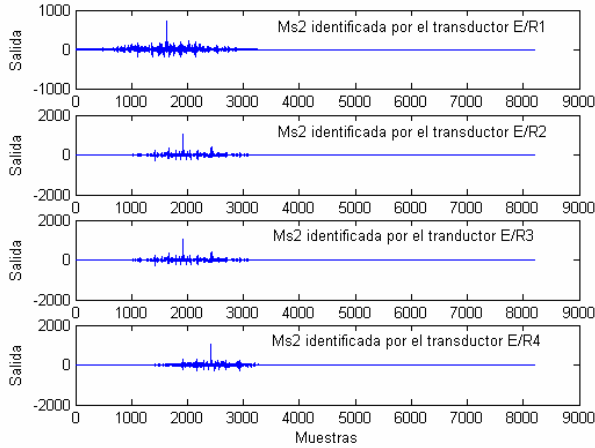


Fig. 5. Resultado de la identificación de la macro-secuencia M_{S2} de longitud 1024 en los cuatro transductores del sistema. En los retardos de cada pico de correlación esta contenida la información de la posición del reflector.

En el proceso de transmisión/recepción realizado por el sistema, el transductor E/R₂ transmite su macro-secuencia y simultáneamente cada uno de los cuatro transductores recibe e identifica esta M_S a través de su eco. De igual forma, las otras macro-secuencias transmitidas por cada transductor son recibidas y procesadas para identificar cada M_S . Si las cuatro macro-secuencias son captadas simultáneamente el sistema es capaz de identificar a cada una de ellas y de asignar a su correspondiente $\Phi_{ij}[k]$ ($\Phi_{21}[k]$, $\Phi_{22}[k]$, $\Phi_{23}[k]$, $\Phi_{24}[k]$ - para la transmisión de M_{S2}). Con las diferencias entre los retardos de cada una de las deltas pertenecientes a cada $\Phi_{ij}[k]$ es posible estimar la posición del reflector.

Después de que la identificación de cada una de las macro-secuencias transmitidas, se realiza un post-proceso sobre las señales correladas para que se logre identificar con mayor precisión los patrones que fueron aplicados cada de los canales de transmisión, como se muestra en la Fig. 6.

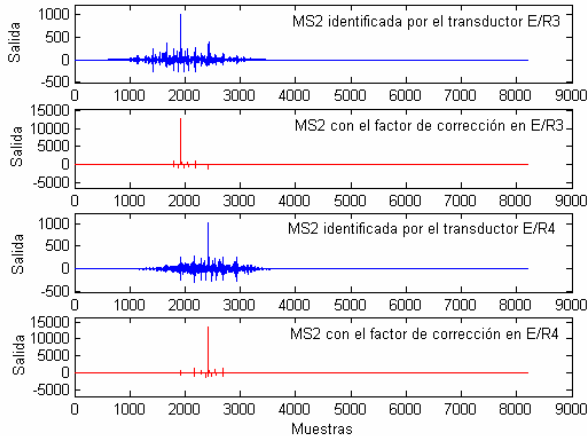


Fig. 6. Algoritmo de post-proceso aplicado sobre las señales recibidas en los transductores E/R₃ y E/R₄.

Con esto se logra la detección de los picos que corresponden a cada delta y las diferencias entre los retardos de cada una de estas, proporcionan una estimación de la localización del reflector ultrasónico.

Si se aplica al entorno otro grupo de respuestas impulsivas \mathbf{H}_z distinto al anterior, en donde algunas $h_{ij}[k]$ representen el *multipath* causado por una doble reflexión de las señales transmitidas, es posible estimar con el sistema el comportamiento de los canales de transmisión. En (14) se muestran las distintas respuestas impulsivas que emulan a los canales de transmisión, donde las respuestas impulsivas que emulan el *multipath* son $h_{41}[k]$ y $h_{14}[k]$.

$$\mathbf{H}_z(z^{-1}) = \begin{bmatrix} z^0 & 0.7z^{-600} & 0.9z^{-600} & z^{-1000} + 0.7z^{-1200} \\ 0.7z^{-600} & z^{-900} & 0.9z^{-900} & 0.9z^{-1400} \\ 0.9z^{-600} & 0.9z^{-900} & z^{-900} & 0.8z^{-1400} \\ z^{-1000} + 0.7z^{-1200} & 0.9z^{-1400} & 0.8z^{-1400} & z^{-1600} \end{bmatrix} \quad (14)$$

En la Fig. 7 se muestran los resultados de la identificación de las respuestas impulsivas $h_{ij}[k]$ aplicadas al entorno. En la señal correlada en el receptor E/R₄ son identificadas dos deltas que corresponden al *multipath* a consecuencia de una múltiple reflexión de la señal transmitida por E/R₁. Todas las señales captadas por los transductores tienen agregado un ruido gaussiano con un SNR de -3 dB.

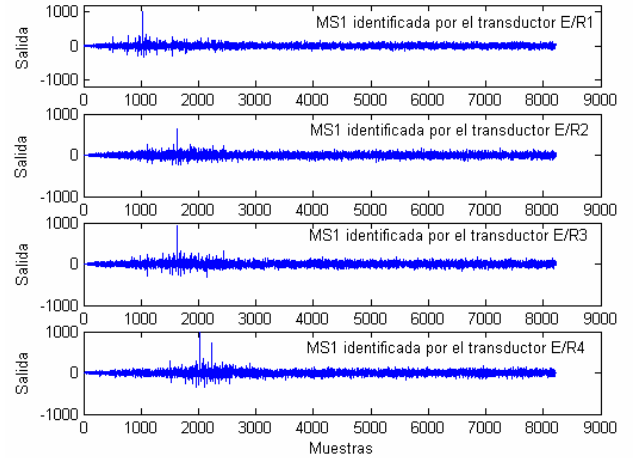


Fig. 7. Resultado de la identificación de la macro-secuencia M_{S1} de longitud 1024 ($L_{M_S}=M \cdot L$) recibida por los cuatro transductores. La señal recibida tiene agregado un ruido gaussiano de -3 dB y la señal correlada en el transductor E/R₄ muestra el *multipath* provocado por una reflexión múltiple.

La Fig. 8 muestra el resultado de aplicar el algoritmo de post-proceso a las señales correladas en los transductores E/R₃ y E/R₄, para que se logre identificar con mayor precisión los patrones que fueron aplicados cada de los canales de transmisión: con el post-proceso se identifica con mayor detalle el *multipath* recibido en E/R₄ y es eliminado en gran parte el ruido gaussiano.

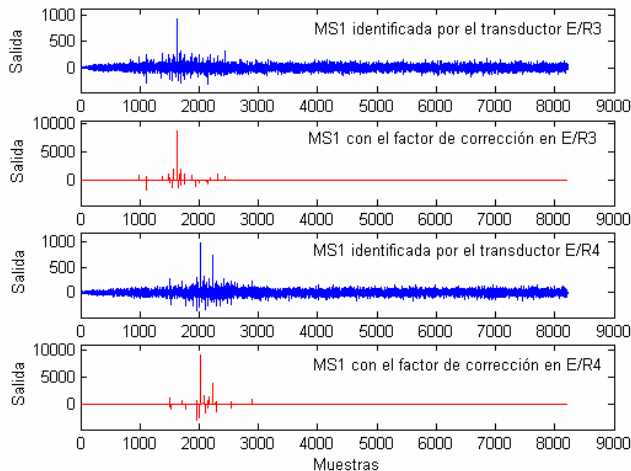


Fig. 8. Técnica de factor de corrección o post-proceso aplicada a las señales recibidas por los transductores E/R₃ y E/R₄. La señal identificada en E/R₄ muestra el *multipath* ($h_{14}[k]$) y un ruido gaussiano de -3 dB aplicado a la señal transmitida.

VI. CONCLUSIONES

En este documento se presenta una técnica tanto para estimar la respuesta impulsiva del canal y como para localizar y estimar la posición de un objeto al obtener información más detallada del entorno mediante un array ultrasónico.

Para aprovechar las características de los Conjuntos Complementarios de M Secuencias (M -CSS), se construye con cada conjunto una macro-secuencia M_S , para que esta sea asignada a un único transductor. Dado que las M_S creadas no interfieren entre ellas porque que son mutuamente ortogonales, estas pueden ser transmitidas simultáneamente mediante un sistema ultrasónico conformado por 4 ($\mu=4$) transductores. Así mismo, la recepción se realiza en forma simultánea y el sistema descrito en el apartado 3 logra discriminar entre las 4 M_S transmitidas. Con la recepción simultánea se logran obtener 16 tiempos de vuelo y con ello 16 respuestas impulsivas. A través de las diferencias entre los retardos de cada una de las deltas que corresponden a las respuestas impulsivas calculadas se logra realizar una estimación de la localización del reflector ultrasónico que esta frente a la estructura sensorial.

Mediante la técnica de factor de corrección es posible mejorar la detección de las respuestas impulsivas aplicadas a los canales de transmisión y hace más fácil la localización de las deltas transmitidas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al Ministerio de Ciencia y Tecnología Español (proyecto PARMEI, ref. DIP2003-08715-C02-01) y a la Comunidad de Madrid (proyecto ANESUS, ref. CAM-UAH2005/016).

REFERENCIAS

- [1] R. Jeffers, B. Breed, B. Gallemore, "Passive range estimation and range rate detection", 2000 IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. 16-17 March 2000 Page(s):112 – 116.
- [2] T. Someya, T. Ohtsuki, "SAGE algorithm for channel estimation and data detection with tracking the channel variation in MIMO system", IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '04), Volume 6, 29 Nov. - 3 Dec. 2004, Page(s):3651 - 3655.
- [3] M.F. Siyau, P. Nobles, R.F. Ormondroyd. "Channel estimation for layered space-time systems". 4th IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC 2003). 15-18 June, 2003. Page(s):482 – 486.
- [4] F.J. Álvarez, J. Ureña, M. Mazo, A. Hernandez, J.J. Garcia and J. A. Jiménez, "Efficient Generator and Pulse Compressor for Complementary Set of Four Sequences", IEE Electronics Letters, Vol. 40, No. 11, pp. 703-704, May 2004.
- [5] Xianbin Wang, Y. Wu, B. Caron, "Transmitter identification using embedded pseudo random sequences", IEEE Transactions on Broadcasting, Volume 50, Issue 3, Sept. 2004 Page(s):244 – 252.
- [6] C. De Marziani, J. Ureña, M. Mazo, A. Hernández, F. Álvarez, J. J. García, J. M. Villadangos, "Use of orthogonal sets of eight complementary sequences for asynchronous DS-CDMA", International Conference on Telecommunications and Computer Networks 2004 (IADAT), San Sebastián, Spain, December 2004.
- [7] C. De Marziani, J. Ureña, A. Hernández, M. Mazo, F. Alvarez, J. J. García, J. M. Villadangos, A. Jiménez, "Simultaneous Measurement of Times-of-Flight and Communications in Acoustic Sensor Networks", IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP 2005), Faro, Portugal, September 2005.
- [8] F. Simoens, H. Wymeersch, H. Bruneel, M. Moeneclaey, "Multidimensional mapping for bit-interleaved coded modulation with BPSK/QPSK signaling", IEEE Communications Letters, Volume 9, Issue 5, May 2005 Page(s):453 – 455.
- [9] J. Jesús García, J. Ureña, Á. Hernández, M. Mazo, F. Álvarez*, J. M. Villadangos, C. De Marziani, C. Losada, "Sensor codification with mutually orthogonal complementary set of sequences", IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP 2005), Faro, Portugal, September 2005. Sept. 1, 2005 Page(s):116 – 121.