
INTRODUCCIÓN

La recepción de señal mediante la utilización de arrays adaptativos ofrece importantes ventajas frente a las limitaciones de un único sensor. Básicamente, estas ventajas se refieren a la directividad y a la capacidad de rechazo de interferencias.

En primer lugar, la directividad de un array de sensores depende de su tamaño total y no del número de elementos que lo componen. En consecuencia, a partir de un número determinado de sensores puede incrementarse la directividad del conjunto aumentando la separación entre los mismos. Sin embargo, si la localización de los elementos del array es equiespaciada, la distancia entre ellos debe limitarse a la mitad de la longitud de onda de la señal recibida. En caso contrario, el diagrama de radiación del array presentará lóbulos de difracción que derivarán en un aumento de la potencia de ruido recibida así como en la imposibilidad de cancelación de posibles señales incidentes desde las direcciones de dichos lóbulos; es decir, el array experimentará un decremento de la relación señal a ruido más interferencias "Signal to Interference plus Noise Ratio" (SINR) a su salida. Por otra parte, una distribución no uniforme o aleatoria de los elementos del array produce un incremento del nivel de los lóbulos laterales que redundará, por consiguiente, en una disminución de la SINR. No obstante, el valor esperado del diagrama de radiación resultante de una adecuada aleatorización de las posiciones de los sensores será proporcional al diagrama de radiación de la correspondiente apertura continua, el cual no presentará lóbulos de difracción ni niveles elevados de lóbulos secundarios. En esta tesis se propone una alternativa a la aleatorización de las localizaciones de los sensores, basada en la aleatorización de la frecuencia portadora de la señal transmitida, que permitirá un aumento de la directividad del array. Esta alternativa consiste en la utilización de la modulación de espectro ensanchado por saltos frecuenciales "Frequency Hopping" (FH).

En segundo lugar, la capacidad de rechazo de interferencias de un array adaptativo se basa en la diversidad espacial que utiliza, la cual permite el diseño de diagramas de radiación enfocados a la dirección deseada con nulos en las direcciones de incidencia de las señales interferentes. A fin de conseguir el diagrama de radiación óptimo para cada escenario, el vector de pesos del array o vector de enfoque se estima adaptativamente mediante las distintas técnicas de conformación de haz "Beamforming", de forma que la SINR en recepción sea máxima. Esta estimación necesita el conocimiento a priori de alguna información acerca de la señal deseada que permita discernir ésta de las interferentes. Según sea el carácter de esta información se distingue entre los conformadores de haz de referencia temporal "Time Reference Beamformer" (TRB), en los que se precisa de alguna secuencia de entrenamiento o señal correlada con la información, y los conformadores de referencia espacial "Spatial Reference Beamformer" (SRB), que requieren la dirección de incidencia de la fuente deseada así como una correcta calibración del array. La aplicación de la modulación FH al procesado de arrays, además de permitir un aumento de la directividad del array, derivará en un incremento de la capacidad de rechazo de interferencias de éste mediante combinación de la diversidad frecuencial, propia de la modulación, con la diversidad espacial, propia del array. Los conformadores de haz para la recepción de señales con modulación FH existentes se basan en la adaptación de las técnicas clásicas de conformación por referencia temporal o espacial. Estos sistemas presentan, como inconveniente principal, una fuerte reducción de la SINR al inicio de cada uno de los saltos frecuenciales debida a las discontinuidades en la estimación del vector de enfoque que producen los cambios frecuenciales de la señal recibida, equivalentes a las que producirían cambios en la dirección de incidencia de la señal a frecuencia fija. En esta tesis se plantea un doble objetivo en la combinación del procesado de arrays con la modulación FH: por una parte, la eliminación de la caída de la SINR en los instantes de salto; por otra parte, el aprovechamiento de la secuencia de frecuencias utilizada en la modulación de saltos frecuenciales, conocida en el receptor, a fin de evitar la necesidad de ninguna otra referencia temporal ni espacial. Ambos objetivos se cumplirán con el desarrollo de un nuevo conformador de haz, el cual ha sido denominado como conformador de haz de referencia por código "Code Reference Beamforming" (CRB).

Finalmente, una vez evaluadas las ventajas del CRB propuesto, surge la siguiente cuestión: ¿Es posible el diseño de un conformador de haz de aplicación general que, a diferencia de los TRB y SRB, no requiera conocimiento previo de la señal de información ni de su dirección de incidencia?. Una respuesta afirmativa implicaría la viabilidad de un conformador de haz totalmente autocalibrado, ya que no precisaría del conocimiento de las posiciones de los sensores ni de las ganancias y fases de sus respuestas frecuenciales. Este conformador de haz autocalibrado se derivará a partir de la estructura del CRB propuesto en esta tesis.

ESTRUCTURA DEL TEXTO

En el Capítulo 1 se analiza la no existencia de lóbulos de difracción en los diagramas de radiación de arrays que muestreen el espacio aleatoriamente: en primer lugar, se revisan el teorema de muestreo en los dominios temporal y espacial y las técnicas de muestreo aleatorio que permiten la supresión del aliasing; a continuación, se presentan los distintos tipos de arrays existentes según la distribución de sus sensores: arrays uniformes, no uniformes y aleatorios. Finalmente, se introduce la aleatorización de las frecuencias de las señales incidentes en el array como alternativa a la modificación de las posiciones de los sensores.

En el Capítulo 2 se describe la modulación de espectro ensanchado por saltos frecuenciales y se realiza una presentación de los distintos sistemas de combinación de esta modulación y del procesado de arrays existentes, cada uno de los cuales se basa en alguna de las técnicas clásicas de conformación de haz para arrays adaptativos que proporcionan la máxima SINR. Seguidamente, se propone un nuevo conformador de haz por referencia de código (CRB), el cual se divide en dos etapas: la primera, igual al producto por la inversa de la matriz de covarianza de ruido más interferencias; la segunda, consistente en el producto escalar de la señal a la salida de la etapa anterior por el vector de dirección de la señal deseada. La implementación de estas dos etapas es posible gracias a los dos procesadores que componen el sistema receptor: el procesador anticipado que se dedica a la estimación de la matriz de covarianza de ruido más interferencias presentes en la banda frecuencial del siguiente salto y el procesador directo que es el encargado de la conformación de haz.

Posteriormente, en el Capítulo 3, se estudian los algoritmos adaptativos propuestos para la aplicación de los criterios de mínimo error cuadrático medio "Minimum Mean Square Error" (MMSE) y de máxima relación señal a ruido más interferencias "Maximum Signal to Noise plus Interference Ratio" (MSENR) a la salida del array, considerando los procesadores anticipado y directo perfectamente sincronizados con la señal recibida. A continuación, se evalúa el comportamiento del CRB ante posibles errores de sincronismo del procesador anticipado, en cuyo caso, la matriz inversa estimada a la salida de este procesador no es idénticamente igual a la inversa de la matriz de covarianza de ruido más interferencias, sino que contiene un residuo de la señal deseada. Finalmente, se propone una posible Inicialización para la estimación de la segunda etapa del CRB a partir de la focalización del vector de enfoque estimado durante el salto anterior, permitiéndose un incremento en la velocidad de convergencia y una reducción de la caída de la SINR en los instantes en los que se producen los saltos frecuenciales.

En el Capítulo 4, se presenta el conformador de haz de referencia por código generalizado "Generalized Code Reference Beamformer" (GCRB) que cancelará las posibles interferencias de aparición posterior a cada uno de los saltos frecuenciales "follower jammers", cuyas contribuciones no aparecen en la matriz que constituye la primera etapa del conformador. Además, se analiza su robustez frente a los distintos errores de calibración que pueda presentar el array.

Finalmente, en el Capítulo 5, se describen las diferentes alternativas en el diseño de un conformador autocalibrado que no requerirá ninguna información a priori acerca del array ni del escenario, consistentes en el incremento del ancho de banda de transmisión o de la potencia transmitida.