

---

## CONCLUSIONES

---

El objetivo fundamental de esta tesis ha sido el desarrollo de un conformador de haz adaptativo para la recepción de señales con modulación de saltos frecuenciales "Frequency Hopping" (FH). La aplicación de esta modulación al procesado de arrays resulta en una mejora de las prestaciones propias de un array de sensores: directividad y capacidad de rechazo de interferencias. Por una parte, la aleatorización introducida por la secuencia de frecuencias utilizada en la modulación FH de la señal evita el aliasing espacial que aparece al incrementar el tamaño de la apertura manteniendo fijo el número de sensores. En consecuencia, resulta posible un aumento de la directividad de un array sin incremento de su coste y sin la presencia de lóbulos de difracción en su diagrama de radiación promediado a lo largo de los diferentes saltos frecuenciales. Por otra parte, la diversidad frecuencial introducida con la modulación FH, añadida a la diversidad espacial propia del procesado de arrays, proporciona una elevada capacidad de rechazo frente a señales interferentes.

El conformador de haz para señales FH propuesto se basa en el conocimiento de la secuencia de frecuencias utilizada en la modulación, siendo, por tanto, un conformador de referencia por código "Code Reference Beamformer" (CRB). Este conformador se compone de dos procesadores paralelos, denotados como procesador anticipado y procesador directo, a partir de los cuales, es posible la implementación del vector de enfoque óptimo en dos etapas.

La primera etapa consiste en el producto por la inversa de la matriz de covarianza de ruido más interferencias, la cual puede estimarse para cada salto frecuencial en el procesador anticipado durante el salto anterior. Esta matriz, ortogonal al espacio correspondiente a las interferencias de potencia muy superior a la de ruido, produce un elevado nivel de cancelación de todas las señales interferentes radiando a la frecuencia del salto antes de que éste ocurra. La supresión instantánea de estas interferencias al inicio de cada uno de los saltos reduce

considerablemente la caída de la SINR en los instantes de cambio frecuencial, propia de los sistemas previos de conformación de haz para FH.

La estimación de la segunda etapa, igual al vector de dirección de incidencia "steering" de la señal deseada, puede realizarse adaptativamente mediante la minimización del error cuadrático medio "Mean Square Error" (MSE) entre la señal a la salida del array y una señal de referencia extraída de la propia señal recibida, o bien mediante la maximización directa de la relación señal a ruido más interferencias "Signal to Interference plus Noise Ratio" (SINR). Esta última resulta en la estimación del autovector generalizado principal del par: matriz de covarianza de la señal recibida y preprocesada por la primera etapa e inversa de la matriz de covarianza de ruido más interferencias, no requiriendo la regeneración de la señal de referencia del método de MMSE. En ambos casos, la velocidad de convergencia de los algoritmos adaptativos utilizados en la estimación del vector de dirección que constituye la segunda etapa es superior a la que presentaría un sistema de conformación clásico de una única etapa. Además, esta velocidad puede incrementarse focalizando el vector estimado al final de cada uno de los saltos a la frecuencia del salto siguiente, suprimiéndose, prácticamente, la caída de la SINR en los instantes de salto.

A fin de poder eliminar las posibles señales interferentes de aparición posterior al salto, las cuales no se cancelan con la primera etapa del conformador, se ha propuesto la generalización del CRB de dos etapas mediante la aplicación del criterio de mínima varianza "Minimum Variance" (MV), dando lugar al conformador de referencia por código generalizado "Generalized Code Reference Beamformer" (GCRB). A diferencia de los conformadores clásicos de MV, que necesitan conocer de forma precisa la dirección de incidencia de la señal deseada así como disponer de una adecuada calibración del array, el GCRB no requiere información alguna sobre las direcciones de incidencia de las fuentes deseada e interferentes, ni sobre el array (geometría, ganancias y fases de las respuestas frecuenciales de sus sensores, acoplamiento entre los distintos elementos, etc).

Finalmente, tomando como base la estructura del CRB desarrollado, esta tesis concluye con el diseño de un conformador de haz de dos etapas, de aplicación general y totalmente autocalibrado. Para la implementación de este conformador se han propuesto dos alternativas diferentes: la primera, derivada directamente de la modulación FH, consiste en un incremento del ancho de banda de transmisión; mientras que la segunda, se basa en un aumento de la potencia de transmisión mediante inyección de la señal portadora a la señal de información modulada. En consecuencia y dado el gran interés que presenta la autocalibración en el procesado de arrays, sería interesante continuar esta línea de investigación, evaluando las prestaciones del conformador de haz autocalibrado propuesto según los diferentes parámetros de diseño y comparándolas con las obtenidas con los distintos métodos clásicos de conformación de haz.