

ANTENAS ADAPTIVAS: APLICACIONES NAVALES Y AEREAS

Juan L. Hernández S.
Ph. D.

Introducción

En sistemas de comunicación es muy conocido el uso de antenas omnidireccionales o direccionales para transmitir y recibir ondas electromagnéticas, en diversos rangos de frecuencia, hacia o desde puntos fijos o cuerpos móviles, tales como buques, aviones u otros vehículos terrestres o espaciales.

Pero el empleo de antenas omnidireccionales, necesario para lograr amplia cobertura, hace que el sistema de comunicación sea muy vulnerable a interferencias naturales o artificiales (*jamming*) direccionales. Por otra parte, en el caso de antenas receptoras direccionales, el lóbulo principal del diagrama de radiación es orientado hacia la señal o fuente de señal deseada, pero aun así puede ocurrir que la interferencia sea captada con apreciable ganancia directiva, aunque su dirección no coincida con la orientación de la señal deseada. Situaciones como éstas pueden surgir en aplicaciones tales como radar, televisión, radiodifusión y sistemas de comunicación diversos.

Una solución para estos problemas consiste en diseñar un arreglo o conjunto de antenas convencionales que tenga una fuerte directividad en la orientación deseada, y que al mismo tiempo presente ganancia cero o mínima (nulos) hacia la dirección de la señal interferente. Pero esta solución no es factible, en general, si se desea gran profundidad del nulo de radiación o si hay que anular interferencias múltiples o variables en dirección aparente, como las de barcos y aviones.

Lo expuesto ha conducido –desde hace unos veinte años– al desarrollo de antenas adaptivas, las que ofrecen una excelente solución a los problemas citados. En años recientes se ha intensificado el ritmo de desarrollo y aplicación de arreglos adaptivos de antenas, en diversas áreas, gracias a rápidos avances en la tecnología de sistemas electrónicos y microcomputadores.

Este artículo presenta una breve y sucinta introducción no matemática a las antenas adaptivas, principalmente desde el punto de vista de recepción de señales en cuerpos móviles, tales como buques y aviones.

Anulación de interferencias con antenas convencionales

Para eliminar el efecto de una señal interferente direccional se trata de modificar el diagrama o patrón omnidireccional de intensidad de campo, de modo que esté presente un mínimo o nulo hacia dicha interferencia. Esto se puede lograr usando una distribución adecuada de los elementos de antena, como es bien sabido, y alimentándolos con corrientes eléctricas de magnitud y fase apropiadas, si se trata de transmitir. Si la interferencia va cambiando su dirección aparente de llegada se puede ir rotando mecánicamente la antena para continuar contrarrestando la interferencia, lo que –en general– iría también alterando la directividad hacia la señal deseada.

Pero este método convencional no es aplicable cuando se desea un mínimo muy profundo hacia la interferencia direccional, puesto que los elementos y componentes mecánicos y eléctricos usuales de montajes de antenas no permiten tal precisión en la ganancia directiva. Tampoco es posible lograr así una gran precisión en la orientación del mínimo hacia la interferencia. Lo anterior se complica más si la dirección de la interferencia varía en el tiempo, debido a movimientos relativos de barcos y aviones, cambios en las condiciones de propagación u otras causas. Si hay interferencias simultáneas y desde direcciones distintas, los problemas citados son, por supuesto, más complejos.

Arreglos adaptivos de antenas

Las dificultades antes citadas pueden ser resueltas con antenas adaptivas. Por antena adaptiva se entiende un arreglo o conjunto de elementos de antena que son

capaces de ajustarse automática y electrónicamente para lograr determinados objetivos, sujetos a restricciones dadas. Un objetivo típico es la minimización de interferencias naturales o artificiales (*jamming*), o la maximización de la razón señal/ruido en la salida del arreglo de antenas.

Una antena adaptiva típica consta de un arreglo de elementos de antena, de un sistema de acoplamiento electrónico y de un procesador adaptivo.

Los elementos de antena son análogos a los usados convencionalmente, por ejemplo, dipolos u otros, y no necesariamente iguales o separados uniformemente entre sí. Naturalmente, el caso más simple para comprensión, pero poco útil prácticamente, es el de dos antenas paralelas iguales e isotrópicas separadas entre sí en una fracción de la longitud de onda de la señal de interés. Los elementos más apropiados son los que dan un patrón omnidireccional en el plano horizontal, tales como antena de bucle, dipolo plegado sobre superficie plana, cilindro ranurado u otras. Como es sabido, cada uno de estos tipos de antenas básicas cubre un determinado rango de frecuencia, para el cual es más apropiado. Así, dependiendo de sus elementos básicos, las antenas adaptivas se pueden usar en un rango global de frecuencias entre unos pocos megahertzios hasta decenas de gigahertzios, en subrangos apropiados se entiende.

El sistema de acoplamiento electrónico consta de circuitos de desfaseamiento y amplificadores de ganancia controlada y de un circuito de suma global. La ganancia controlada constituye un factor de ponderación, que más adelante llamaremos peso. La señal de cada elemento de antena es ramificada por dos vías, una normal y

otra desfasada (atrasada, por ejemplo, en un cuarto de longitud de onda, o noventa grados eléctricos) y cada señal así obtenida es multiplicada por el peso o ganancia de su respectivo amplificador. La salida del arreglo adaptivo es la suma fasorial de estos pares de señales ponderadas provenientes de todos los elementos de antena.

El procesador adaptivo es, en el estado actual del arte, un computador digital que, trabajando en tiempo real, compara la señal de salida del arreglo con una señal de referencia y ajusta automáticamente los pesos para optimizar la razón señal/ruido en la salida del arreglo, de acuerdo con un determinado algoritmo. Por computador digital se debe entender un minicomputador o microcomputador de capacidad, velocidad y costo compatible con el objetivo y ubicación de la antena adaptiva.

La minimización de la señal de error, de la señal de salida del arreglo respecto a la de referencia, equivale – si la referencia es igual a la señal deseada – a minimizar la respuesta de la antena a señales no deseadas, y dará como resultado un diagrama de intensidad de campo que presenta un nulo hacia la dirección de llegada de la interferencia. Surge sí el problema práctico de que la señal deseada no es conocida exactamente, por lo cual no se la puede usar como referencia. Por consiguiente, el algoritmo de minimización del error entre la referencia y la salida del arreglo debe considerar y solventar esta dificultad, como se explicará más adelante.

Empleo de microcomputadores como procesadores adaptivos

El procesador adaptivo debe ser un computador digital que trabaje en tiempo

real, y esto envuelve problemas tecnológicos y económicos que han conspirado contra la difusión y mayor empleo de las antenas adaptivas. En la actualidad, el desarrollo de mini y microcomputadores de mayor velocidad de proceso y bajo costo y tamaño permite aplicar antenas adaptivas favorablemente.

Un microcomputador consta de un microprocesador que implementa o computa el algoritmo de control adaptivo, entre otras funciones, y de unidades de interconexión o interfaz, con el sistema de acoplamiento electrónico de la antena antes descrito. El microcomputador recibe así información para computar los nuevos valores de los pesos o ganancias de los amplificadores, de acuerdo con el algoritmo o procedimiento de cálculo elegido para la minimización, y efectúa el ajuste de dichos pesos en el sistema de acoplamiento electrónico.

Por razones tecnológicas y económicas, usualmente se ha implementado el algoritmo de minimización y el ajuste de pesos con circuitos electrónicos, sin uso de microcomputadores. Pero el rápido avance de éstos en velocidad, capacidad y reducción de tamaño y costo, ha establecido una tendencia hacia un mayor empleo en este campo de antenas adaptivas. Para compatibilizar la velocidad de las señales deseadas en comunicación con la menor rapidez de los actuales microcomputadores hay que recurrir, en general, a técnicas apropiadas, una de las cuales es trabajar con una frecuencia intermedia en vez de la frecuencia de la señal deseada.

Algoritmos de adaptación

Existen varios métodos de optimización para la adaptación de los pesos o

ganancias en antenas adaptivas, los que son aplicables en diversas situaciones. Si fuera posible distinguir entre interferencia y señal deseada se podría autoajustar los pesos, de modo de minimizar la suma de los cuadrados de las señales indeseadas correspondientes a las diversas interferencias. Si no se dispone de la frecuencia de la señal deseada, como referencia, se puede usar un método de minimización de la potencia total a la salida del arreglo.

Un método muy usado en antenas adaptivas se basa en la búsqueda de gradiente, que presenta ventajas de rapidez y de favorecer la razón señal/ruido. De entre los posibles algoritmos basados en búsqueda del gradiente es muy empleado el de mínimo error cuadrático medio, por sus propiedades de convergencia global hacia los pesos más apropiados.

Ventajas de las antenas adaptivas

Los arreglos adaptivos presentan diversas ventajas sobre las antenas convencionales, frente a interferencias naturales o intencionales (*jamming*). Básicamente, las antenas adaptivas permiten el ajuste automático del diagrama de radiación para minimizar interferencias direccionales, eludiendo o evitando problemas de montaje y tolerancias mecánicas y eléctricos. No requieren de un conocimiento

previo de la dirección de llegada de la interferencia y pueden minimizar múltiples interferencias. Estas propiedades le permiten, además, minimizar o anular nuevas fuentes de interferencia no previstas con antelación. Poseen capacidad para seguir (traquear) cambios de dirección aparente de las interferencias, como las que resultan de alteraciones de propagación o de movimientos relativos de barcos, aviones o vehículos.

Conclusiones

Se han descrito en forma introductoria no técnica y breve las características básicas de las antenas adaptivas. Este tipo de antenas presenta diversas ventajas, respecto a las antenas convencionales, en la minimización de interferencias naturales o intencionales, múltiples y variables en el espacio y el tiempo. Esto las hace especialmente útiles para aplicaciones en barcos, aviones y móviles en general. Su costo adicional respecto a las convencionales va disminuyendo a medida que decae el costo de los componentes y sistemas electrónicos y microcomputadores. La creciente rapidez de operación de estos últimos hace cada vez más compatibles las antenas adaptivas microcomputarizadas, con la alta velocidad de los sistemas de comunicación, radar y otros.

