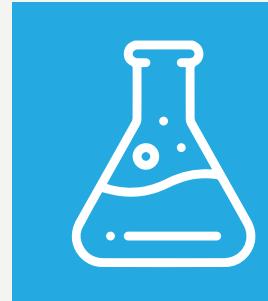
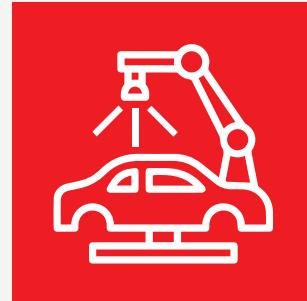


Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



9 789874 050083



Rendimiento de algoritmos de beamforming en antenas adaptativas

Schlesinger, P.L.^a; Valdez, A. D.^a, Chiozza, J.A.^a, Miranda, C.V.^a, Valdez, F^a, Grela, A.^a, Bava, J.A.^b

a Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. UNNE

b Facultad de Ingeniería. UNLP

paolas@exa.unne.edu.ar

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis del rendimiento de algoritmos para generación de beamforming o formación de haces de arreglos de antenas adaptativas, mediante el cálculo y verificación del funcionamiento de los mismos. Las antenas adaptativas presentan una tecnología que mejora la tasa de transmisión de datos en telecomunicaciones, como así también, la cobertura y potencia transmitida al usuario. Analizaremos el principio de funcionamiento de las mismas centrandonos en las técnicas de desarrollo e implementación de las antenas de haz adaptativo.

Para un arreglo de antenas de haz adaptativo, la salida de cada elemento del arreglo se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, y así se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal. Para concretar el objetivo propuesto se revisaron alternativas algorítmicas propuestas hasta el momento para los sistemas de formación de haces.

Una vez realizada la simulación con un caso hipotético se compararon los resultados, obteniéndose los mejores rendimientos de los algoritmos utilizados para la técnica de formación de haces de un arreglo ponderando distintas magnitudes como ser cantidad de elementos del arreglo y distancias entre ellos. De la simulación de los diversos algoritmos utilizando software específico, se concluye, que el algoritmo basado en redes neuronales presentó resultados óptimos para la técnica de conformación de haz adaptativo, como así también el SMI.

Palabras clave:

Arreglos, frecuencia, interferencia, lóbulo principal

Abstract

The objective of this work is to analyze the performance of algorithms for the generation of beamforming of adaptive antenna arrays, by calculating and verifying their operation. Adaptive antennas present a technology that improves the data transmission rate in telecommunications, as well as the coverage and power transmitted to the user. We will analyze their operating principle, focusing on the development and implementation techniques of adaptive beam antennas.

For an adaptive-beam antenna array, the output of each array element is weighted with a weighting factor whose value is dynamically assigned, thus shaping the radiation pattern to maximize some signal parameter. To achieve the proposed objective, algorithmic alternatives proposed so far for beamforming systems were reviewed.

Once the simulation was carried out with a hypothetical case, the results were compared, obtaining the best performance of the algorithms used for the beamforming technique of an array, weighting different magnitudes such as the number of elements of the array and the distances between them. From the simulation of the various algorithms using specific software, it is concluded that the algorithm based on neural networks presented optimal results for the adaptive beamforming technique, as well as the SMI.

Key Words

Array, frequency, interference, main lobe.

INTRODUCCIÓN

Los servicios de comunicación inalámbrica se implementan por radio enlaces, donde la información tal como voz, datos e imagen son transmitidos por

ondas electromagnéticas moduladas. Por lo tanto, los servicios de telecomunicaciones están sujetos a la interferencia de propagación del medio ambiente y el efecto de interferencia.

Para la transmisión de señales electromagnéticas se utiliza el espacio libre como medio de propagación, para que esto sea posible se requiere de un elemento capaz de transformar señales de tensión y corriente en señales electromagnéticas, este elemento es conocido como antena. La antena transforma la energía de un campo electromagnético estacionario compuesto de cargas y corrientes producido por la señal, en energía de un campo electromagnético el cual es radiado hacia el espacio circundante en diferentes direcciones.

Los primeros sistemas inalámbricos se desarrollaron usando sistemas radiantes fijos con patrones de radiación diseñados para adaptarse a las características de cobertura posibles pero que no son capaces de adaptarse dinámicamente a cambios en la densidad de flujo de datos y sus requerimientos [1].

Las antenas inteligentes dan un paso más y constituyen un sistema que utiliza un conjunto fijo de elementos en un arreglo donde las señales son combinadas para formar un haz de radiación que se controla utilizando procesamiento digital de señales de radiofrecuencia en direcciones determinadas por el desplazamiento y la distancia del sistema móvil o el receptor, reduciendo al mínimo los fenómenos degradantes de la señal como el ruido y sus diferentes formas, como ser la disminución de la interferencia cocanal, mejora la relación C/I (Carrier to Interference), el desvanecimiento multirayecto, que degrada las prestaciones del canal de comunicación y la dispersión temporal de la señal recibida [2]. Se utiliza el Acceso múltiple por división espacial SDMA (Spatial Division Multiple Access), en antenas inteligentes para aprovechar al máximo las propiedades de selectividad espacial de las antenas y así ubicar simultáneamente a varios usuarios en el mismo canal [3].

DESARROLLO

Algoritmos adaptativos

Una agrupación de antenas adaptativas trabaja utilizando diferentes algoritmos, uno de ellos es un algoritmo de conformación de haz para ajustar el diagrama de radiación para que radie haces más estrechos hacia las fuentes de interés direcciones de nulos en la trayectoria de las señales interferentes.

Se observa en la Fig. 1 un esquema de antenas inteligentes con la implementación del algoritmo formador de haces.

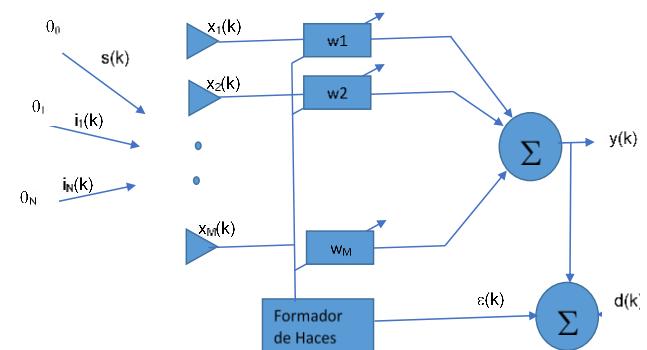


Figura 1: Esquema en bloque de un sistema de antenas inteligentes con algoritmo de formación de haces.

Estimación de dirección de arriba DoA

Un sistema de antenas inteligentes requiere determinar las características de las señales incidentes, es decir, las direcciones de arriba, DoA (Direction of arrival), tanto de los usuarios de interés como de los interferentes. El objetivo es excluir en lo posible, las no deseadas en el diagrama de radiación hacia el usuario. La estimación de DoA implica un análisis de las señales en una matriz de correlación, seguido de un análisis de la relación señal a interferencia C/I, más la razón de ruido SINR. El principio de DoA se basa en el cálculo de los retardos de tiempo en el que la señal arriba a cada elemento del arreglo, dependiendo de su ángulo de llegada y el tiempo. Si la fuente de la señal que arriba está en movimiento, los vectores del arreglo variarán en el tiempo al igual que los ángulos de llegada correspondientes. Así, los esfuerzos para optimizar DoA se centran en minimizar tanto como sea posible los instantes de tiempo en el que arriba la señal, así como en la capacidad de adaptarse rápida y dinámicamente al desplazamiento de sus fuentes de origen [4].

La importancia de que el arreglo de antenas conozca las direcciones de arriba, DoA, es que se conozca tanto las señales de los usuarios de interés como de los interferentes, con el fin de discriminarlos en lo posible en el diagrama de radiación. En este caso no desarrollaremos el algoritmo MUSIC para determinar las direcciones de arriba, tomaremos la señal deseada con dirección angular de 0° y una señal interferente en la dirección de 20° .

Algoritmos de formación de haces

Un formador de haz de peso fijo es una antena inteligente en la que el peso fijo (w_i) de cada elemento se utiliza para estudiar la señal que llega desde una dirección específica a cada elemento de antena del

arreglo (x_i). Dado que optimiza la señal que llega desde una dirección específica mientras se atenúan las señales de otras direcciones se denomina filtro espacial.

La formación de haz es una técnica general de procesamiento de señales utilizada para controlar la direccionalidad de la recepción o transmisión de una señal en un conjunto de transductores. La formación del haz crea el diagrama de radiación del arreglo de antenas agregando las fases de las señales en la dirección deseada y anulando el diagrama en la dirección no deseada. Las fases y amplitudes se ajustan para optimizar la señal recibida.

Si una señal deseada llega al arreglo desde el ángulo θ y N interferentes que lleguen desde los ángulos $\theta_1, \dots, \theta_N$. La señal y las fuentes de interferencia son recibidas por un arreglo de M elementos con M posibles ponderaciones de pesos. Cada señal recibida en el elemento M también incluye ruido gaussiano aditivo. Por lo tanto, los pesos a la salida del arreglo se pueden expresar de la siguiente forma [5][6]:

$$y(k) = \bar{w}^H \cdot \bar{x}(k) \quad (1)$$

Donde:

$y(k)$ es la salida del arreglo.

\bar{w}^H : es la matriz hermítica de pesos del arreglo de antenas.

$\bar{x}(k)$: es el vector de señal incidente.

$$\bar{x}(k) = \bar{x}_s(k) + \bar{x}_i(k) + \bar{n}(k)$$

$$\bar{x}(k) = \bar{a}_0 s(k) + [\bar{a}_1 \bar{a}_2 \dots \bar{a}_N] \cdot \begin{bmatrix} i_1(k) \\ i_2(k) \\ \vdots \\ i_N(k) \end{bmatrix} + \bar{n}(k) \quad (2)$$

$\bar{x}_s(k)$: es el vector de señal deseada

$\bar{x}_i(k)$: es el vector de señal interferente

$\bar{n}(k)$: es el ruido gausiano con media cero para cada canal

\bar{a}_i : es el vector de dirección de arriba θ_i al elemento M del arreglo.

La salida del arreglo de pesos de la señal deseada es:

$$\sigma_s^2 = \bar{w}^H \cdot \bar{R}_{ss} \cdot \bar{w} = E[|\bar{w}^H \cdot \bar{x}_s|^2] \quad (3)$$

Como R_{ss} es hermítica, puede descomponerse y tiene valores propios reales. La matriz de correlación de la señal es:

$$\bar{R}_{ss} = E[\bar{x}_s \cdot \bar{x}_s^H] \quad (4)$$

Donde el vector de la señal deseada aparece elevada a H debido a que es hermítica. La salida del arreglo de pesos de la señal indeseada es:

$$\sigma_u^2 = \bar{w}^H \cdot \bar{R}_{uu} \cdot \bar{w} = E[|\bar{w}^H \cdot \bar{u}|^2] \quad (5)$$

$$\bar{R}_{uu} = \bar{R}_{ii} + \bar{R}_{nn} \quad (6)$$

Donde

\bar{R}_{ii} es la matriz de correlación de señales interferentes.

\bar{R}_{nn} es la matriz de correlación de ruido.

La relación señal interferencia SIR se define en función de los parámetros citados anteriormente como:

$$SIR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_u^2} = \frac{\bar{w}^H \cdot \bar{R}_{ss} \cdot \bar{w}}{\bar{w}^H \cdot \bar{R}_{uu} \cdot \bar{w}} \quad (7)$$

La conformación del haz óptimo se realiza utilizando una señal de referencia para obtener los pesos. Para minimizar el error se puede utilizar el mínimo error cuadrático medio MSE (Minimun Mean Square Error).

Los pesos son ajustados por la señal de error:

$$\varepsilon(k) = d(k) - \bar{w}^H \cdot \bar{x}(k) \quad (8)$$

Donde

$\varepsilon(k)$ es el error cuadrático medio.

$d(k)$ es la señal de referencia que se compara con la señal de salida del conformador de haces.

La principal restricción para calcular los pesos es minimizar el error cuadrático medio entre la salida del arreglo y la señal de referencia.

$$MSE = |\varepsilon(k)|^2 = |d(k)|^2 - 2\bar{w}^H \cdot \bar{x}(k) + \bar{w}^H \cdot \bar{x}(k) \cdot \bar{x}^H(k) \cdot \bar{w} \quad (9)$$

Operando con la expresión anterior:

$$E|\varepsilon|^2 = E|d|^2 - 2\bar{w}^H \cdot \bar{r} + \bar{w}^H \cdot \bar{R}_{ss} \cdot \bar{w} \quad (10)$$

Donde la denominación E representa los valores propios reales. La correlación está definida como:

Correlación entre la salida del arreglo y la señal de referencia $\bar{r} = E[d^* \cdot \bar{x}]$

Correlación de la señal $\bar{R}_{ss} = E[\bar{x} \cdot \bar{x}^H] = \bar{R}_{ss} + \bar{R}_{uu}$

Los pesos son:

$$\bar{w}_{MSE} = \bar{R}_{ss}^{-1} \cdot \bar{r} \quad (11)$$

Clasificación de algoritmos adaptativos

Algoritmos basados en la señal de referencia: Se basa en la minimización del error mínimo cuadrado entre la señal recibida y la señal de referencia. Por lo tanto, se requiere que la señal de referencia esté disponible. La señal de referencia tiene una alta correlación con la señal deseada, por ejemplo, el algoritmo SMI (Simple Matriz Inversion) y su mejora, LMS (Least Mean Square) y RLS (Recursive Least Squares).

Algoritmos adaptativos ciegos: Estos algoritmos no requieren señal de referencia, generan por sí mismos la señal de referencia requerida desde las señales recibidas, para obtener así la señal deseada. Por ejemplo, el algoritmo CMA (Constant Module Algorithm) [7].

Comparación de algoritmos

En este sección presentaremos las expresiones generalizadas de los algoritmos de formación de haces y las simularemos utilizando el software MatLab. Compararemos los mismos con una aproximación de los mismos por redes neuronales.

Algoritmo de mínimo cuadrado medio LMS

Expresión de los pesos del algoritmo LMS:

$$\bar{w}(k+1) = \bar{w}(k) + \mu \cdot e^*(k) \cdot \bar{x}(k) \quad (12)$$

A esta expresión se la denomina la forma generalizada del algoritmo LMS o función de control del algoritmo LMS.

Algoritmo cuadrado mínimo recursivo RLS

En el algoritmo RLS los pesos se actualizan mediante la ecuación (13):

$$\bar{w}(k) = \bar{w}(k-1) + \bar{g}(k) [d^*(k) - \bar{x}^H(k) \bar{w}(k-1)] \quad (13)$$

Algoritmo matriz de muestra de inversión SMI

Los pesos del algoritmo SMI se pueden calcular por la expresión (14):

$$\begin{aligned} \bar{w}_{SMI}(k) &= \bar{R}_{xx}^{-1}(k) \bar{r}(k) = \\ [\bar{x}_K(k) \bar{x}_K^H(k)]^{-1} d^*(k) \bar{x}_K(k) &\dots \dots \quad (14) \end{aligned}$$

Algoritmo adaptativo de módulo constante CMA

Los pesos se actualizan por la ecuación (15):

$$\bar{w}(k+1) = \bar{w}(k) + \mu \cdot e^*(k) \cdot \bar{x}(k) \quad (15)$$

Algoritmo basado en una red neuronal de funciones de base radial RBFNN (Radial Base Function Neuronal Network)

Los algoritmos de redes neuronales se utilizan ampliamente en aplicaciones de procesamiento de señales. Las redes neuronales NN (Neural Network) tienen un buen desempeño, y pueden ser fácilmente implementadas en estas aplicaciones. La idea principal de las aplicaciones NN es definir pares de entrada y salida para la fase del entrenamiento. Las entradas de la fase de entrenamiento deben elegirse cuidadosamente, ya que la red neuronal hace una optimización de valores para un nuevo par de entrada y salida.

La red neuronal con función de base radial RBFNN (Radial Basic Function Neural Network) se estudia como una aplicación para la formación de haces con red neuronal, con un arreglo lineal de antenas. Es una red de alimentación de tres capas. Dado que la red RBFNN tiene una velocidad rápida de aprendizaje, necesita menos iteraciones para converger a los valores deseados.

La idea principal es analizar un formador de haz y dirigir los patrones del arreglo de antenas en la dirección de la señal deseada y poner nulos en las direcciones de interferencias. Las entradas se eligen como matrices de correlación de las señales entrantes. Las entradas están dadas por las distintas posibilidades de la dirección de llegada DoA. Las salidas son los pesos de los elementos de antena con respecto a cada matriz de correlación, estos pesos se utilizan para dirigir y dar forma al patrón de antena. Se toma como dato para la simulación de un solo objetivo en las direcciones dadas, el algoritmo tiene el conocimiento de la DoA. En la fase de entrenamiento se da la dirección de la señal deseada e interferente como entrada a la red. Los pesos óptimos se obtienen entrenando la red neuronal. Las salidas del arreglo se reprocesan, es decir las señales de llegada al conjunto de antenas y luego se aplican al RBFNN. La muestra de la matriz de covarianza R se presenta a la capa de entrada, y el vector w_{RBF} se obtiene en la capa de salida. El RBFNN está diseñado para realizar un mapeo de los parámetros entrada-salida, entrenada con ejemplos (R ; w_{RBF}) [8]. Presentamos a continuación la expresión del vector peso hallado resolviendo la matriz de covarianza por el método de Newton:

$$w_{RBF} = \frac{\bar{R}^{-1}((\lambda \bar{R} + I)^{-1} - I) \bar{a}}{\bar{a} - H \bar{R}^{-1}((\lambda \bar{R} + I)^{-1} - I)^2 \bar{a}} \quad (16)$$

Pruebas y resultados

En esta sección presentamos los resultados de las simulaciones de los algoritmos estudiados. Mostrando las ventajas y desventajas de cada uno en la técnica de formación de haz adaptativo.

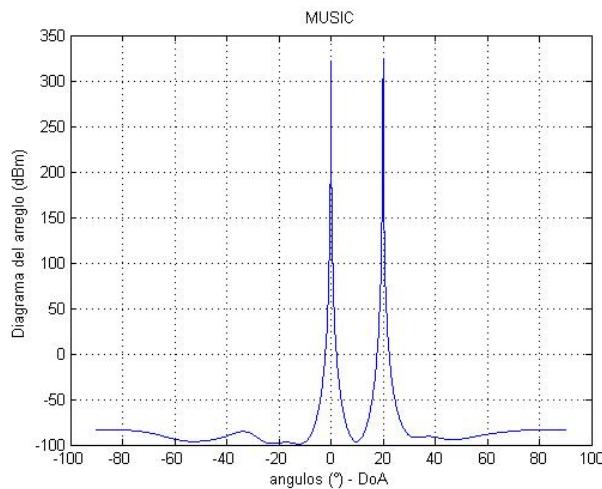


Figura 2: Simulación del algoritmo MUSIC para DoA.

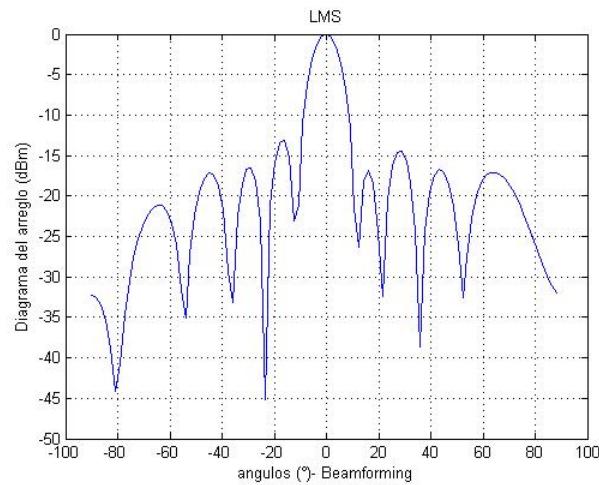


Figura 3: Simulación del algoritmo LMS para un arreglo de 10 antenas y $d=0.5\lambda$.

La simulación se realizó con el software Matlab. Para realizarla precisamos definir varios parámetros del arreglo de antenas que definen la conformación del haz de radiación, como ser el espaciado entre elementos del arreglo d y cantidad de fuentes. De la simulación surgen los valores óptimos del análisis de los diagramas obtenidos.

Como valor inicial elegimos $d = 0.5\lambda$ de un arreglo lineal de 10 elementos de antena. Se variaron estos parámetros para obtener los valores óptimos de distancia entre fuentes y cantidad de fuentes del arreglo. Se implementó para un rango de interés angular de $[-90^\circ, 90^\circ]$.

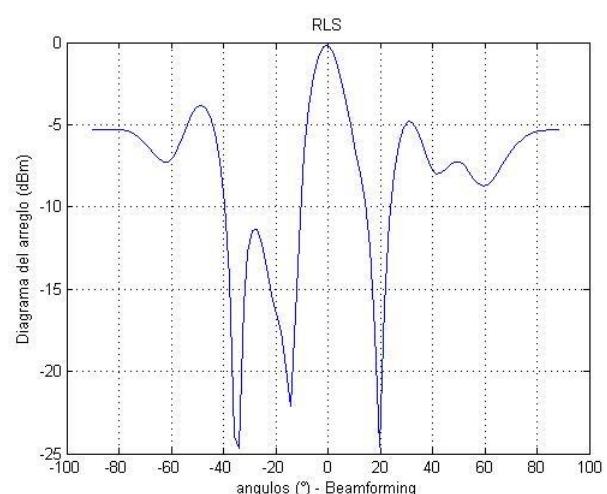


Figura 4: Simulación del algoritmo RLS para un arreglo de 10 antenas y $d=0.5\lambda$.

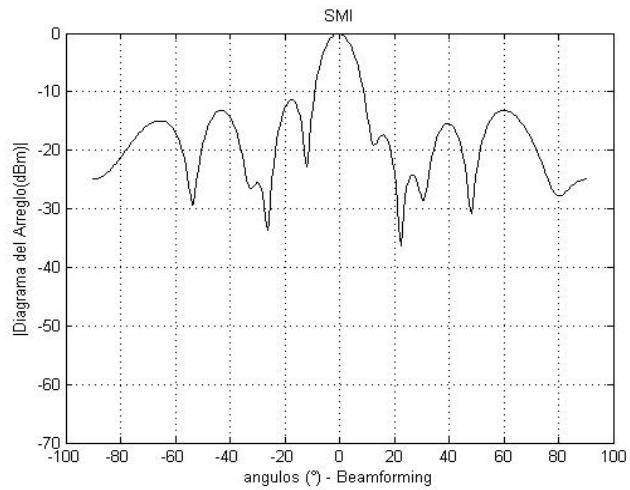


Figura 5: Simulación del algoritmo SMI para un arreglo de 10 antenas y $d=0.5\lambda$.

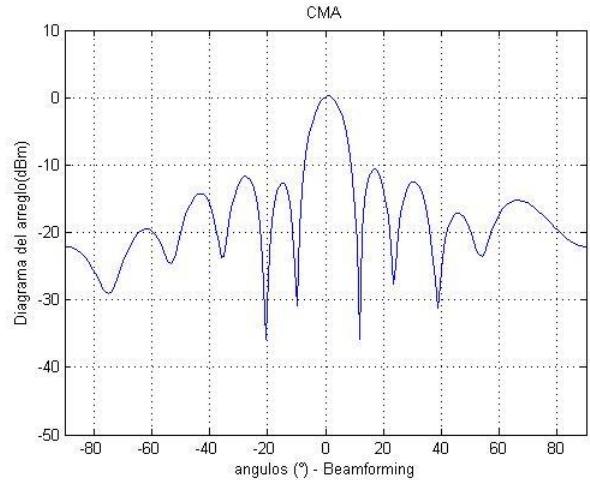


Figura 6: Simulación del algoritmo CMA para un arreglo de 10 antenas y $d=0.5\lambda$.

En la Fig. 2 podemos observar la simulación del algoritmo MUSIC para determinar las direcciones de arriba, donde se observan la señal deseada que es la que se presenta para la dirección angular de 0° y una señal interferente en la dirección de 20° .

De la Fig. 3 a la Fig. 7 se muestran las simulaciones de los rendimientos de los algoritmos LMS, RLS, SMI, CMA y RBF respectivamente, con las condiciones iniciales de simulación.

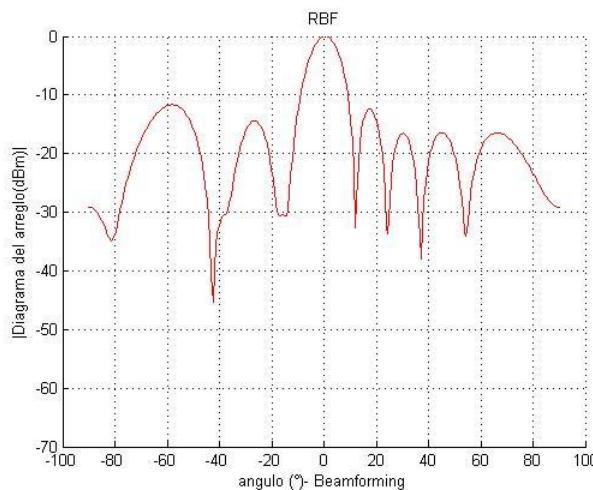


Figura 7: Simulación del algoritmo RBF para un arreglo de 10 antenas y $d=0.5\lambda$.

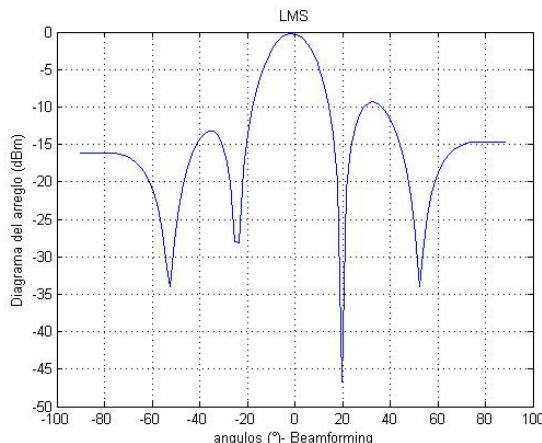


Figura 8: Simulación del algoritmo LMS para un arreglo de 10 antenas y $d=0.25\lambda$.

El algoritmo RLS, aunque presenta una buena respuesta a la conformación del haz en la dirección deseada de la señal, en las distintas simulaciones realizadas, su lóbulo principal no siempre cumple esta condición, a diferencia del algoritmo LMS, que en cada simulación mostraba una notoria direccionalidad hacia el usuario deseado a 0° .

En la Fig. 8 se varía la distancia entre fuentes a 0.25λ para el algoritmo LMS y en la Fig. 9 se modificó la

cantidad de fuentes del arreglo, tomando el valor de 20. Se realizó la simulación de todos los algoritmos mencionados en el presente trabajo para estas condiciones. Se presentan los resultados del algoritmo LMS, debido a que los demás presentan resultados similares.

En el caso de la Fig. 8 debido a las nuevas condiciones, se observa un ensanchamiento del lóbulo principal y secundarios, además de una disminución en la cantidad de los últimos. Al aumentar la cantidad de fuentes del arreglo se produce un estrechamiento del lóbulo principal y secundarios. Esta condición es conveniente para obtener haces más directivos, pero produce el aumento en la cantidad de lóbulos secundarios, condición no recomendada en un diagrama de radiación.

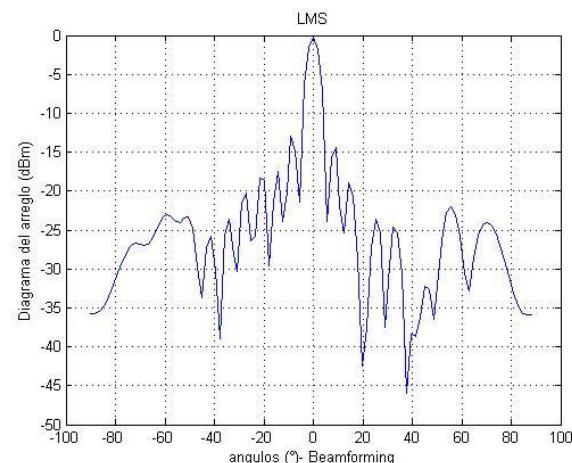


Figura 9: Simulación del algoritmo LMS para un arreglo de 20 antenas y $d=0.5\lambda$.

CONCLUSIONES

En la Tabla 1 se listan los resultados del análisis del rendimiento de los algoritmos.

Se verifica la condición de todos los algoritmos estudiados y simulados para la conformación del haz hacia el usuario presentan para la dirección angular de $\theta = 0^\circ$ la señal deseada incidente en el arreglo.

Se puede llegar a la conclusión que, del estudio y análisis del sistema de antenas inteligentes, se pudo verificar la utilización de cada uno de los algoritmos para la conformación de un haz adaptativo con un buen rendimiento.

La señal interferente se configuró para la dirección angular de 20° , se pudo verificar esta condición en las simulaciones realizadas, con niveles de atenuación listados en la Tabla 1. El que presenta mayor atenuación

es el algoritmo SMI, le siguen los algoritmos LMS y RBF.

Tabla 1: Rendimiento de algoritmos simulados

Algoritmo	Simulación		
	Ángulo de haz principal (°)	Atenuación de señal interferente (dBm)	Nivel de lóbulos secundarios (dBm)
LMS	0	-33	-13
RLS	0	-25	-5
SMI	0	-36	-12
CMA	0	-28	-11
RBF	0	-33	-12

Realizamos las simulaciones con diferentes espaciados entre elementos del arreglo, como se observa en la Fig. 3 a la Fig. 7, utilizamos una distancia $d=0.5\lambda$, para la Fig. 8 utilizamos una distancia $d=0.25\lambda$, para el algoritmo LMS. Se presenta este algoritmo, pero se realizó la simulación para los restantes respectivamente. Concluimos que el espaciado óptimo entre los elementos es la mitad de la longitud de onda y que a medida que disminuye la distancia entre fuentes, el ancho de haz del lóbulo principal aumenta, o disminuye en el caso contrario. Esto es crucial para la aplicación de antenas inteligentes cuando se requiere un haz más estrecho para generar un haz directivo hacia el usuario que establece la comunicación.

Otro factor a tener en cuenta es que, si el número de lóbulos laterales aumenta, la potencia radiada o recibida se propaga en direcciones potencialmente no deseadas. Por lo tanto, en un sistema de comunicación inalámbrica, los lóbulos secundarios contribuirán al nivel de las interferencias propagadas en la celda o sectores de otros sistemas de comunicación. En la Tabla 1 se observan los niveles de los lóbulos secundarios, presentando menor nivel los algoritmos LMS y RBF.

Observamos que el algoritmo de conformación de haz adaptativo basado en RBFNN puede adaptar el patrón de radiación de la antena para dirigir el haz estrecho a la señal deseada y anula las fuentes de interferencia. Las simulaciones en todos los casos se realizaron para una SNR fija = 10 dB.

Del análisis del rendimiento de los algoritmos podemos concluir que el algoritmo LMS presenta simplicidad y robustez en su desempeño en las sucesivas iteraciones. A diferencia de los algoritmos

RLS y CMA, que presentan distintos resultados cada vez que se procede a su simulación, teniéndose que buscar su resultado óptimo. En el caso de los algoritmos SMI y RBFNN presentan resultados con una capacidad de aprendizaje mejorada y mejor performance. Además, que convergen con mayor rapidez y adaptabilidad.

Como último método de conformación de haz se utilizó el entrenamiento realizado a un tipo de red neuronal RBF, que se puede utilizar con buen rendimiento como conformador de haz adaptable basado en RBFNN y puede superar a otros algoritmos de conformación de haz. Este algoritmo adaptativo está basado en el mapeo de la respuesta del arreglo de antenas que reciben las señales deseada e interferente por una red neuronal de función de base radial de tres capas, trata el problema de calcular el peso de cada una de las señales como salida de un sistema de antenas inteligentes.

REFERENCIAS

- [1] Á. A. Cardama, L. Jofre Roca, J. Rius Casals M., R. Jordi Romeu, B. S. Blanch, M. Bataller, “Antenas” UPC – UPV. Edicion UPC. 2002.
- [2] A. Balanis, “Antenns theory analysis and desing”, 3º edition, USA, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] M. Cooper, M. Goldburg, “Intelligent Antennas: Spatial Division Multiple Access”. 1996 Annual review of communications. 1996.
- [4] E. Avendaño Fernández, W. Rincón Hernández, “MUSIC Algorithm Simulation for Uniform Linear Array of Smarts Antennas”. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.
- [5] H. Wang, M. Glesner, “Hardware implementation of smart antenna systems”. Advance in Radio Science. 2006.
- [6] A. Sallomi, A. Sulaiman, “Multilayer Fedd Forward Neural Network. Application in Adaptative Beamforming of Samrt Antenna System”. AIC-MITCSA. 2006.
- [7] S. Imtiaz K., I. S. Misra. , R. Biswas. “A comparative Study of Beamforming Techniques Using LMS y SMI Algorithms in Smart Antennas”. IEEE, 2012.
- [8] Bin Pei, Hui Han, Ying Sheng, Binyi Qiu, “Research on Smart Antenna Beamforming by generalized Regresion Neural Network”, IEEE. 2013.