

Optimización del Diagrama de Radiación de una Agrupación Lineal y Rectangular de Antenas

Aplicaciones de Optimización por Cúmulo de Partículas

Guillermo Galaviz Yáñez, Miguel García Andrade
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Mexicali, México
[ggalaviz, miguel_grc]@uabc.edu.mx

Armando Arce Casas, Martín Luna Rivera
Facultad de Ciencias
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, México
[armando.arce, mlr]@ciencias.uaslp.mx

Resumen— En este trabajo se aborda el problema de optimización del diagrama de radiación de agrupaciones lineales y rectangulares de antenas. Para resolverlo se utiliza Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO) y su versión Multi-Objetivo (MOPSO). En ambos casos se obtiene un frente de Pareto que considera el ancho de haz principal entre los primeros nulos (FNBW) y el nivel de lóbulos laterales (SLL) del diagrama de radiación generado. Los resultados indican que la optimización Multi-Objetivo utilizando MOPSO logra reducir el compromiso entre el FNBW y el SLL, sin embargo no logra explorar un espacio de soluciones tan amplio como PSO.

Palabras Clave—Agrupación de antenas, Síntesis de antena, Optimización, PSO, MOPSO.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación inalámbricos son cada vez más comunes. La cantidad de dispositivos que se conectan inalámbricamente y el número de usuarios que los aprovechan han crecido exponencialmente en los últimos 10 años [1]. La coexistencia de múltiples estándares, dispositivos y usuarios trae consigo problemáticas tales como interferencia que deteriora de la calidad del servicio (QoS). Las principales causas de niveles altos de interferencia son una mala administración del espectro radioeléctrico y la utilización de antenas omnidireccionales.

Como una contramedida al problema de interferencia se ha propuesto el uso de antenas inteligentes con capacidad de adaptar su diagrama de radiación para establecer el enlace deseado sin causar interferencia a otros usuarios del sistema [2]. Una forma de implementar una antena inteligente es utilizando agrupaciones de antenas que trabajan simultáneamente, de forma tal que sus diagramas de radiación se mezclan para llegar a un diagrama de radiación de la agrupación. Existen distintas estructuras de agrupaciones de antenas, tales como lineales, rectangulares y circulares. Dependiendo de la estructura de la agrupación se tendrá un diagrama de radiación natural específico.

Sin embargo, el diagrama de radiación natural de una agrupación de antenas puede optimizarse para mejorar el

desempeño de la antena inteligente. Este desempeño generalmente se determina a partir de dos parámetros: El ancho de haz principal y el nivel de lóbulos laterales.

Optimizar el diagrama de radiación de una agrupación de antenas es un problema de optimización combinatorio que se ha resuelto en la literatura de diferentes formas. Algunos autores han utilizado exitosamente algoritmos bio-inspirados [3]. En este trabajo se evalúan los algoritmos de Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO) para minimizar el nivel de lóbulos laterales de una agrupación lineal y una rectangular de antenas. Se evalúa también el algoritmo de Optimización por Cúmulo de Partículas Multi-Objetivo (MOPSO) para encontrar un frente Pareto optimizado tomando en cuenta el ancho de haz principal y el nivel de lóbulos laterales.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una antena inteligente es capaz de adaptar su diagrama de radiación. Con esto, tiene la posibilidad de controlar su directividad, incrementar su alcance, reducir la interferencia provocada o recibida, y proporcionar nuevos servicios [2]. En la Fig. 1 se observa un ejemplo de un diagrama de radiación de una agrupación lineal de antenas.

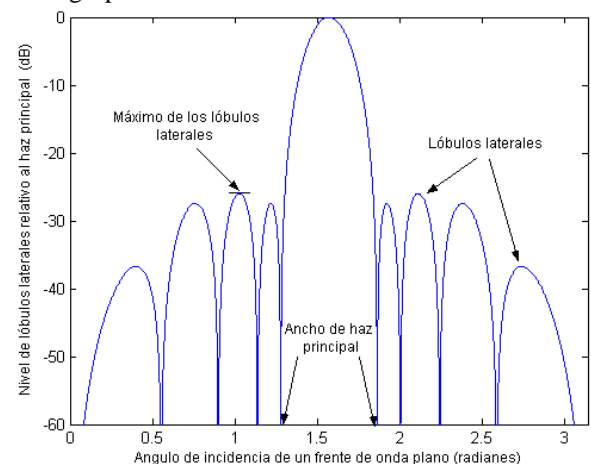


Fig. 1. Ejemplo de un diagrama de radiación de una agrupación lineal de antenas.

El objetivo de la optimización del diagrama de radiación es en general minimizar el ancho de haz principal entre primeros nulos (FNBW) y minimizar el nivel de lóbulos laterales (SLL) tomando en cuenta el compromiso entre estas métricas. La Fig. 2 muestra una agrupación lineal de antenas. El problema de diseño de agrupaciones de antena consiste en encontrar un conjunto de:

- 1) Excitaciones de amplitud y fase y
- 2) Separación entre elementos que genere un diagrama de radiación para satisfacer dos objetivos en conflicto:

La minimización del ancho de haz principal y la minimización del nivel de lóbulos laterales

Las funciones objetivo utilizadas para evaluar la aptitud de una agrupación de antenas se basan en el Factor de Agrupación (AF):

$$AF_{Lineal}(\theta) = \sum_{i=1}^N I_i e^{jkd_i \sin(\theta)} \quad (1)$$

$$AF_{Rec}(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^N I_i \left[\sum_{j=1}^N I_j e^{jkd_j \sin(\theta) \sin(\phi) + j\gamma_j} \right] e^{jkd_i \sin(\theta) \cos(\phi) + j\gamma_i} \quad (2)$$

donde:

- AF = Factor de Agrupación
- θ, ϕ = Ángulo de incidencia
- I_x = Corriente de excitación
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
- λ = Longitud de onda
- d_x = Distancia entre elementos
- γ_x = Fase progresiva

En (1) se muestra la expresión para el cálculo del AF para una agrupación lineal. En (2) se muestra la expresión para el cálculo del AF para una agrupación rectangular. Dado un conjunto de corrientes de excitación y un conjunto de distancias entre elementos, es posible calcular el AF resultante. A partir del AF se obtiene el diagrama de radiación de la agrupación correspondiente para evaluar el SLL y el FNBW. El objetivo es entonces minimizar el SLL y el FNBW obtenidos a partir de la evaluación del AF.

Para lograr lo anterior, en este trabajo se utiliza el algoritmo básico PSO [4] propuesto por Kennedy y Eberhart, y una variación del algoritmo MOPSO propuesto por Coello et. Al en [5]. Trabajo relacionado con el uso de PSO para la síntesis de agrupaciones lineales de antenas se ha enfocado en la utilidad y las limitaciones de utilizar distintos esquemas de PSO [6] y en aplicar la síntesis para el control de nulos y la minimización de lóbulos laterales como una sola función

objetivo [7], y tratando la misma problemática pero para el caso multi-objetivo en [8]. Adicionalmente, los avances recientes con el algoritmo PSO en su versión binaria, real, con un solo objetivo y multi-objetivo en el diseño de antenas han sido abordados y sintetizados en [9]. Investigación reciente para el caso de la síntesis de agrupaciones de antenas en dos dimensiones es abordada en [10] haciendo variaciones menores al PSO básico y aplicada en agrupaciones no uniformes en [11].

III. EXPERIMENTOS REALIZADOS

A. *Obtención de frente pareto no optimizado a partir de la aplicación del algoritmo PSO a una agrupación lineal de antenas.*

Para tener un frente pareto de referencia para comparar los resultados del algoritmo de Optimización por Cúmulo de Partículas Multi Objetivo (MOPSO) se realizó un número grande de ejecuciones (350 iteraciones) del programa de prueba para PSO para encontrar un conjunto no dominado de soluciones que represente un frente pareto. El frente obtenido no está optimizado ya que se minimizó solamente el nivel de lóbulos laterales (SLL), variando solo la distancia entre elementos. El experimento se realizó para una agrupación lineal de 17 elementos de antena.

B. *Obtención del frente pareto optimizado a partir de la aplicación del algoritmo MOPSO a una agrupación lineal de antenas*

Este experimento se realizó para determinar la utilidad del algoritmo MOPSO para obtener un frente pareto óptimo considerando la minimización del ancho de haz principal (FNBW) así como del nivel de lóbulo lateral (SLL) del diagrama de radiación de una agrupación lineal de antenas. El experimento se realizó para agrupación de 17 antenas variando solo la distancia entre elementos.

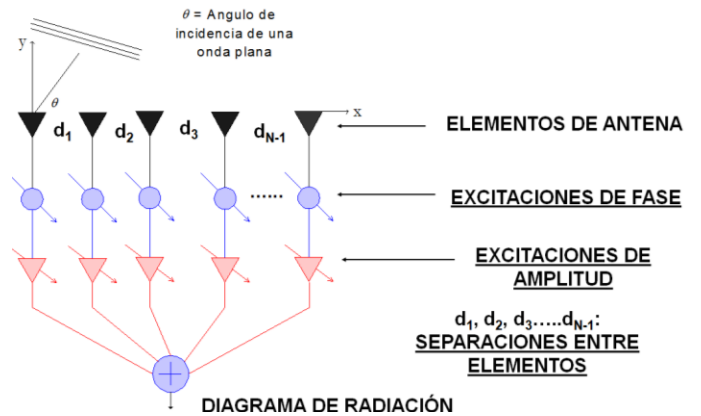


Fig. 2. Agrupación lineal de antenas

C. Obtención del frente pareto optimizado a partir de la aplicación del algoritmo MOPSO a una agrupación rectangular de antenas

En este experimento, se buscó el frente pareto para la optimización del nivel de lóbulo lateral y ancho de haz principal de una agrupación rectangular de antenas. El propósito es optimizar directamente las características del diagrama de radiación de una agrupación rectangular considerando como variable la distancia entre elementos de antena. El experimento se realizó para una agrupación de 17 x 17 antenas, variando la distancia entre elementos en las dos dimensiones de la agrupación.

IV. RESULTADOS

A. Obtención de frente pareto no optimizado a partir de la aplicación del algoritmo PSO a una agrupación lineal de antenas.

La Fig. 3 muestra el frente pareto no optimizado para una agrupación lineal de 17 antenas. Puede observarse que se alcanzan niveles de aislamiento SLL considerablemente bajos, comparables con los obtenidos por Rocha Alicano en [3]. El frente pareto muestra un conjunto de soluciones no dominadas pertenecientes a la población de partículas, y puede observarse que se distribuyen con cierta uniformidad en el espacio de búsqueda explorado. Cabe resaltar que dado que en este experimento nunca se buscó minimizar el ancho de haz, este parámetro no puede considerarse optimizado. Aún así, es evidente el compromiso que existe entre el ancho de haz principal y el nivel de los lóbulos laterales para una agrupación de antenas.

B. Obtención del frente pareto optimizado a partir de la aplicación del algoritmo MOPSO a una agrupación lineal de antenas

El frente pareto obtenido con este experimento se muestra en la Fig. 4. Puede observarse al comparar este frente con el

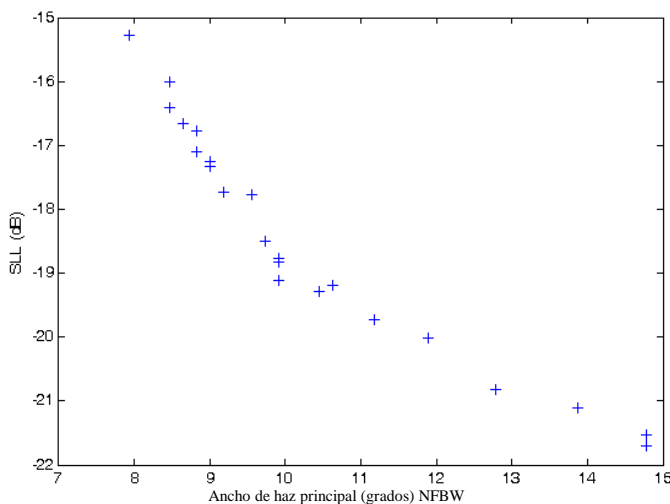


Fig. 3. Frente pareto no optimizado obtenido para una agrupación lineal de antenas de 17 elementos.

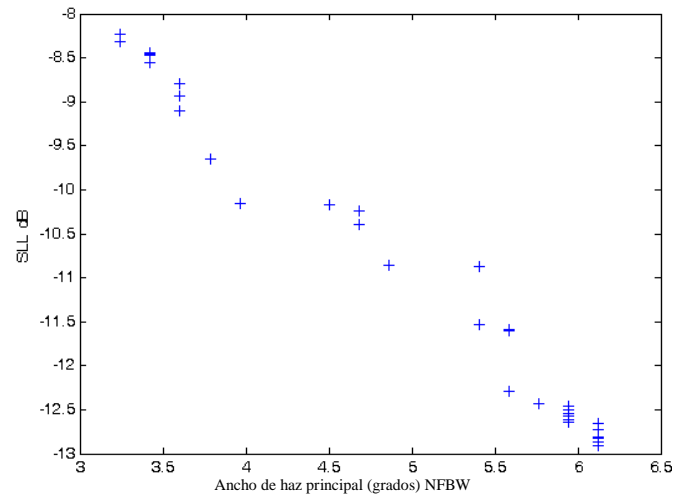


Fig. 4. Frente pareto obtenido mediante el algoritmo MOPSO al optimizar el nivel de lóbulo lateral y el ancho de haz principal en una agrupación lineal de antenas de 17 elementos.

obtenido utilizando optimización mono objetivo que el espacio de búsqueda explorado no es el mismo. El mínimo nivel de SLL alcanzado fue de -13 dB mientras que al optimizar solamente el SLL se alcanzaron niveles por debajo de -20 dB.

C. Obtención del frente pareto optimizado a partir de la aplicación del algoritmo MOPSO a una agrupación rectangular de antenas

El algoritmo MOPSO fue también aplicado a la optimización multi-objetivo de una agrupación rectangular de antenas, en este caso, de 17 x 17 elementos. La Fig. 5 muestra el frente pareto obtenido.

En general se puede observar que no se alcanzó a explorar un espacio de soluciones lo suficientemente grande. Esto se presentó también en el caso de la aplicación del algoritmo MOPSO para la agrupación lineal de antenas. Las soluciones encontradas en el caso de la agrupación de 17 x 17 elementos son inclusive de menor calidad que las encontradas para la agrupación lineal de 17 elementos.

En la Fig. 6 se muestra el Factor de Agrupación (AF) para la partícula que mostró la mejor aptitud en términos de SLL (nivel de lóbulo lateral). Para comparación se muestra en la Fig. 7 el diagrama de radiación de una agrupación de antenas con elementos equidistantes. Puede observarse que el algoritmo logra optimizar dependiendo de la función objetivo que se desee minimizar.

Se puede observar que a pesar de que la agrupación sin optimizar cuenta con un mejor SLL, su parámetro ancho de haz es el doble que el de la agrupación optimizada.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo corresponden a valores de aptitud que se encuentran entre los obtenidos por algoritmos genéticos y los alcanzados por Evolución Diferencial. Se identificó la necesidad de incrementar el espacio de búsqueda para lograr aprovechar las prestaciones de la optimización multi-objetivo. Para esto, se considera como área de oportunidad la optimización combinada de las corrientes de excitación y la distancia entre elementos.

Además, se requiere mayor experimentación para la sintonización fina de los parámetros del algoritmo de optimización (peso inercial, aceleración, etc.).

REFERENCIAS

- [1] D. Gilstrap, "Traffic and market report," Ericsson Report, 2012, retrieved from: http://www.ericsson.com/res/docs/2012/traffic_and_market_report_june_2012.pdf
- [2] Haupt, R.L., "The development of smart antennas," *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2001. IEEE , vol.4, no., pp.48,51 vol.4, 8-13 July 2001 doi: 10.1109/APS.2001.959397
- [3] Rocha-Alicano C., "Síntesis del Diagrama de Radiación de Agrupamientos de Antenas Mediante Técnicas de Cómputo Evolutivo", Tesis de Maestría en Ciencias, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE, 2006.
- [4] Kennedy J. y Eberhart R.C., "Particle swarm optimization", *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks-ICNN'95*, 1995, 4:1942-1948 p
- [5] Coello Coello, Carlos A; Lechuga, M.S., "MOPSO: a proposal for multiple objective particle swarm optimization," *Evolutionary Computation*, 2002. CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on , vol.2, no., pp.1051,1056, 2002 doi: 10.1109/CEC.2002.1004388
- [6] Perez Lopez, J.R.; Basterrechea Verdeja, J., "Synthesis of linear arrays using particle swarm optimisation," *Antennas and Propagation, 2006. EuCAP 2006. First European Conference on* , vol., no., pp.1,6, 6-10 Nov.2006 doi: 10.1109/EUCAP.2006.4584909
- [7] Khodier, M.M.; Christodoulou, C.G., "Linear Array Geometry Synthesis With Minimum Sidelobe Level and Null Control Using Particle Swarm Optimization," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* , vol.53, no.8, pp.2674,2679, Aug.2005 doi: 10.1109/TAP.2005.851762
- [8] Roy, Subhrajit; Martinez, S.Z.; Coello Coello, Carlos A; Sengupta, S., "A Multi-Objective Evolutionary approach for linear antenna array design and synthesis," *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on* , vol., no., pp.1,8, 10-15 June 2012 doi: 10.1109/CEC.2012.6252989
- [9] Nanbo Jin; Rahmat-Samii, Y., "Advances in Particle Swarm Optimization for Antenna Designs: Real-Number, Binary, Single-Objective and Multiobjective Implementations," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* , vol.55, no.3, pp.556,567, March 2007 doi: 10.1109/TAP.2007.891552
- [10] Mussetta, M.; Pirinoli, P.; Selli, S.; Zich, R.E., "Multi-objective Meta-PSO techniques for optimization of antenna arrays," *Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference on* , vol., no., pp.503,505, 23-27 March 2009
- [11] Mussetta, M.; Pirinoli, P.; Selli, S.; Zich, R.E., "Meta-PSO techniques for multi-objective optimization of non-uniform planar arrays," *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI '09. IEEE* , vol., no., pp.1,4, 1-5 June 2009 doi: 10.1109/APS.2009.5171519

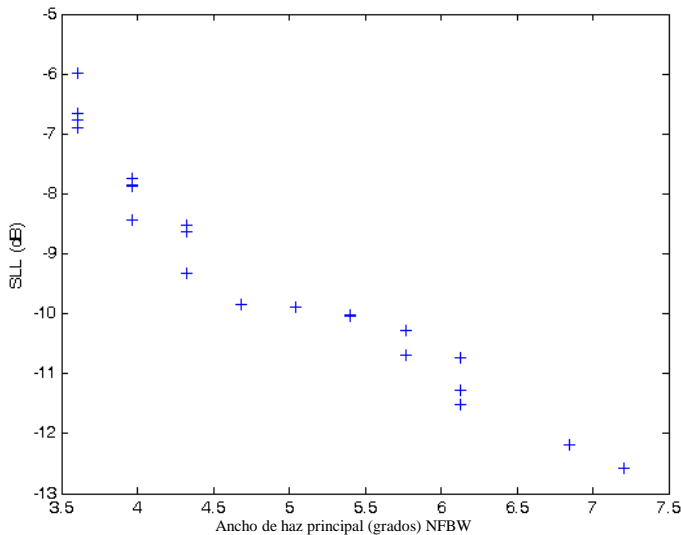


Fig. 5. Frente Pareto para agrupación rectangular de antenas de 17 x 17 elementos obtenido utilizando el algoritmo MOPSO.

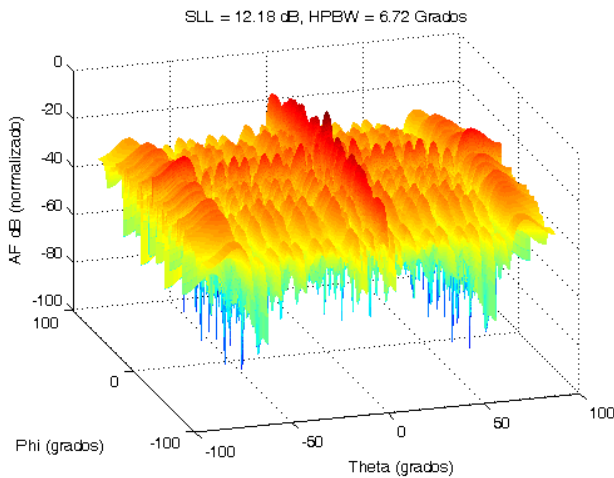


Fig. 6. Factor de agrupación para la partícula con mejor SLL optimizada en frente Pareto, agrupación de 17 x 17 elementos de antena.

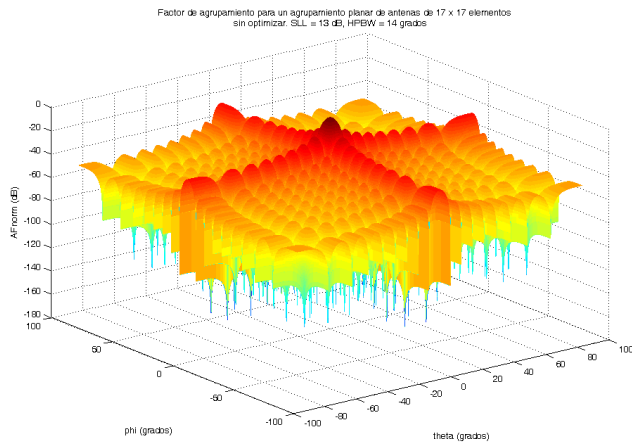


Fig. 7. Factor de agrupación de una agrupación de antenas con distancia uniforme entre elementos, sin optimizar, con 17 x 17 elementos de antena.