

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE COMUNICACIONES



TESIS DOCTORAL

**Contribución a los métodos de optimización basados
en procesos naturales y su aplicación a la medida de
antenas en campo próximo**

Jesús Ramón Pérez López

Santander, Octubre de 2005

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE COMUNICACIONES



TESIS DOCTORAL

**Contribución a los métodos de optimización basados
en procesos naturales y su aplicación a la medida de
antenas en campo próximo**

Autor: Jesús Ramón Pérez López

Director: José Basterrechea Verdeja

**Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Cantabria para la
obtención del título de Doctor por la Universidad de Cantabria**

Santander, Octubre de 2005

Capítulo 7

Conclusiones y líneas futuras de trabajo

7.1 Conclusiones

En este trabajo se han investigado el potencial y las limitaciones de diferentes métodos de optimización aplicados a la medida de antenas en campo próximo. Para llevar a cabo este estudio se ha utilizado un método de transformación de campo cercano a campo lejano sobre geometría de medida plana que combina el teorema de equivalencia con un método de optimización para obtener las corrientes equivalentes de la fuente, utilizando como referencia las muestras de campo cercano radiado por la antena bajo prueba (ABP), previamente sintetizadas o medidas en una región alejada varias longitudes de onda de la apertura de la antena. Frente al método clásico de la FFT para la geometría de medida plana, el método es más versátil, sin restricciones aparentes en lo que respecta a la geometría de medida. De hecho, los resultados que se incluyen demuestran la capacidad del método al manejar muestras distribuidas sobre uno y cinco planos, e incluso sobre una geometría de medida arbitraria, con muestras espaciales distribuidas de forma aleatoria.

Para obtener el modelo equivalente se han utilizado diferentes métodos de optimización local y global, tales como el método de Nelder Mead basado en simplex, el recocido simulado (RS), varios esquemas basados en algoritmos genéticos (GA) y diferentes implementaciones de un método que está adquiriendo en la actualidad una notable aceptación entre la comunidad científica, como es la así

denominada optimización con enjambre de partículas (PSO). Gran parte de los algoritmos de optimización fueron desarrollados en el marco de esta tesis doctoral y para la gran mayoría se ha incluido un análisis y puesta a punto del método, con el objetivo de detectar posibles carencias de los esquemas de optimización y encontrar una tendencia respecto a la configuración óptima de cada método para el problema objeto de estudio.

Los resultados teóricos obtenidos del modelado de diferentes antenas de apertura y antenas de bocina piramidal, así como los resultados de transformación de campo con resultados experimentales, permiten concluir que el PSO global con actualizaciones asíncronas de la población es el método más eficiente, al aunar sencillez en su puesta a punto con una calidad aceptable de los resultados finales.

Puesto que en cada capítulo se han expuesto de forma pormenorizada las conclusiones correspondientes a cada método de optimización, a continuación se resumen aquellas que se consideran más importantes:

- El método de Nelder Mead no admite la búsqueda en espacios de soluciones acotados y, aunque puede alcanzar soluciones aceptables, comparables con las del resto de métodos investigados, éstas no dejan de ser soluciones locales. Aunque la función de fitness utilizada resulta ser la más indicada, parece no penalizar lo suficiente a las soluciones locales, lo cual puede llegar a justificar el éxito ocasional de este método.
- La selección del esquema de enfriamiento juega un papel decisivo en el método de RS. El esquema utilizado perturba uno a uno cada parámetro a optimizar, lo cual se traduce en cambios inapreciables en el valor del fitness. Con el esquema de RS utilizado se hace necesario utilizar temperaturas iniciales muy bajas, típicamente dentro del rango 0.025 a 0.1, para así acelerar la convergencia.
- Los GA presentan como principal aval su capacidad para afrontar cualquier tipo de problema inverso con cierta garantía. Sin embargo, en problemas multidimensionales complejos debe recurrirse a utilizar esquemas híbridos que mejoren el rendimiento de los esquemas clásicos. Los algoritmos microgenéticos (μ GA) con codificación binaria de los parámetros, en conjunto con el método local basado en simplex, se erigen en la opción más atractiva al aplicar los GA a problemas de transformación de campo. El menor tamaño de la población en los μ GA unido a la rapidez de convergencia del método local, justifican el rendimiento superior de esta versión híbrida. Sin embargo, el principal problema de cualquier esquema basado en GA radica en la dificultad para sintonizar el algoritmo, dado el gran número de parámetros que condicionan su rendimiento. Para un problema concreto, la selección de las

estrategias de selección, cruce y mutación, del tamaño de la población, de la aplicación o no de elitismo, del número de hijos que surgen en la reproducción por cada par de padres, así como de las propias probabilidades de cruce y mutación, condicionan severamente la utilidad del método. Si a esto se le añade la naturaleza estocástica de los GA, que hace necesario ejecutar varias realizaciones independientes para poder extraer conclusiones objetivas acerca de la idoneidad o no de una configuración concreta, se puede afirmar que la puesta a punto del algoritmo puede resultar una tarea extremadamente laboriosa.

- El PSO ofrece resultados directamente comparables a los obtenidos con los GA, con el añadido de su fácil puesta a punto. El PSO con topología global y actualizaciones asíncronas de la población, pared absorbente, un tamaño del enjambre comprendido entre una y dos veces el número de parámetros del problema a optimizar, una velocidad máxima de partícula que coincida con el rango dinámico de cada variable y unos valores para el peso inercial y para las constantes de aceleración de 0.729 y 1.49445, respectivamente, establecen la configuración más adecuada para una gran variedad de problemas analizados. Para problemas con centenares de incógnitas debe recurrirse al peso inercial como herramienta clave para acelerar la convergencia. Así por ejemplo, valores del peso inercial del orden de 0.4, junto con velocidades máximas de partícula entorno al 35% del rango dinámico de cada parámetro, resultaron útiles en problemas excesivamente complejos.

Los métodos de naturaleza heurística investigados, RS, GA y PSO, ofrecen resultados aceptables en problemas de corte teórico y en aplicaciones experimentales. Sin embargo, la principal limitación de estos métodos está relacionada con el coste computacional, pudiendo precisar varias horas de cómputo para alcanzar una solución aceptable. La naturaleza del problema hace que más del 99% del tiempo de CPU se dedique al cálculo de la función de fitness. Si a este hecho se le une la naturaleza de búsqueda estocástica de dichos métodos, se puede afirmar que el uso eficiente del método de transformación de campo propuesto en este trabajo queda limitado al modelado de la radiación de antenas de tamaño medio, con aperturas de unas pocas longitudes de onda.

Al margen de las múltiples ABP teóricas tomadas como referencia en el análisis de las diferentes técnicas de optimización, también se demostró la utilidad y validez del método con resultados experimentales de campo cercano plano. Los resultados obtenidos son realmente satisfactorios si se consideran todas las limitaciones inherentes al sistema de medida. Los errores de posicionamiento de la antena de bocina de piramidal y de la sonda se trasladan al diagrama de radiación e inciden negativamente sobre los métodos de optimización. Como causa adicional, debe añadirse a los errores de posicionamiento el reducido tamaño del plano de

medida, en consonancia con las dimensiones del recinto anecóico. Adicionalmente, con las ABP teóricas se comprobó que al distribuir la información de campo cercano en varios planos los resultados de campo lejano mejoraban sensiblemente. Sin embargo, en las medidas se utilizaron muestras distribuidas en un único plano, destacando este hecho como un factor más que contribuye a justificar la falta de precisión obtenida para las direcciones de observación $|\theta| \geq 40^\circ$.

Como extensión a la transformación de campo, algunos esquemas basados en GA y PSO fueron también aplicados a la caracterización de la radiación de equipos en compatibilidad electromagnética (CEM) y a la síntesis de agrupaciones lineales. En materia de CEM, los GA de codificación binaria fueron aplicados a la optimización de modelos equivalentes de fuente formados por dipolos, en un intento por predecir la radiación de una fuente a partir de muestras de campo tomadas en el interior de un recinto apantallado. Si bien los resultados teóricos resultaron esperanzadores, al medir en un entorno real, con una efectividad de apantallamiento finita, se encontraron ciertas limitaciones asociadas con la propia medida, con el modelo equivalente de fuente y con el modelado de la propagación en el interior de la cámara, revelando que el método es demasiado exigente en términos de tiempo de CPU y, como es de esperar, sensible a las imperfecciones del modelado y de la medida. En lo que respecta a las agrupaciones lineales, los GA reales y el PSO fueron aplicados con éxito en problemas de síntesis de agrupaciones lineales, considerando únicamente fuentes isotrópicas. A diferencia de la transformación de campo, la mayor sencillez de este tipo de problemas hace mucho más atractivo el uso de estos métodos heurísticos, pudiendo obtener en unos pocos minutos soluciones para agrupaciones formadas por varias decenas de elementos, con máscaras muy exigentes.

7.2 Líneas futuras de trabajo

A continuación se enumeran algunas de las posibles líneas futuras de trabajo, de acuerdo con los resultados alcanzados durante el desarrollo de la tesis:

- En lo que respecta a los métodos de optimización, GA y PSO fundamentalmente, el estudio realizado ha sido tan profundo que no quedan muchas alternativas para mejorar las herramientas software. En la literatura aparecen de forma casi continua propuestas de mejoras para estos métodos de optimización. Sin embargo, todos estos mecanismos novedosos como el hecho de aplicar, por ejemplo, mutación, selección o incluso fuerzas de atracción y repulsión entre partículas en el PSO, no dejan de introducir una sobrecarga sobre el método que en muchos casos puede llegar a ser contraproducente. De hecho, y en línea con lo que proponen otros autores, al introducir excesivas

mejoras se pierde el atractivo y la sencillez del propio método de optimización, sin una garantía de que las supuestas mejoras que introducen estas variantes sean extrapolables a otros problemas. En esta dirección, la investigación futura debe ir más encaminada a automatizar la puesta a punto de los algoritmos, en línea con algunos trabajos recientes que promueven la configuración adaptativa de GA y PSO durante el transcurso de la optimización. Dada la dificultad que entraña la sintonización de estos algoritmos, este avance sería fundamental, dotando así al método de una cierta independencia del problema a optimizar.

- A la vista de los resultados teóricos se puede dar por concluida la validación del método, pero resta aún profundizar en la mejora de éste para su uso práctico. En este sentido y con los recursos de que se dispone, puede optarse por realizar medidas en cinco planos, como ya se anticipó en el capítulo previo. Acercando el posicionador rol-acimut al escáner plano puede implementarse la medida en cinco planos, utilizando el posicionador para girar la ABP y el escáner para realizar las medidas en cada plano.
- En múltiples medidas realizadas en el recinto anecóico se observó que la principal fuente de errores en la medida estaba relacionada con los errores de posicionamiento de antena y sonda. Evidentemente, la utilidad de bajo precio no es compatible con la utilización de sofisticados sistemas de posicionamiento de antena, por otro lado excesivamente caros, pero sí puede optarse por introducir mejoras en lo que atañe al anclaje y posicionamiento mecánico de antena y sonda. Si se sustituyeran los anclajes de madera de sujeción de la sonda por otros más robustos que, por ejemplo, mezclando metal y metacrilato permitiesen dos grados de libertad en el ajuste de posición, se podría mejorar el alineamiento inicial. En la misma línea, se sugiere adaptar al plato superior del posicionador rol-acimut un mecanismo similar que compense los desequilibrios de dicho posicionador.
- Como alternativa a la transformación de campo, los métodos de optimización han sido depurados hasta tal extremo que con mínimas modificaciones pueden ser aplicados a otras líneas de investigación. Así por ejemplo, se deja abierta la posibilidad de profundizar en la síntesis de agrupaciones lineales, planas o circulares, la optimización de geometrías de antenas y otras aplicaciones en las que los procesos de optimización puedan aportar mejoras significativas.
- Naturalmente, queda abierta la posibilidad de afrontar el problema de transformación de campo utilizando otras geometrías de muestreo como la cilíndrica y la esférica.

