

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

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a José Basterrechea por su inestimable ayuda y por haberme brindado la oportunidad de realizar esta tesis. Sus consejos, su apoyo incondicional y su brillante dirección han sido fundamentales para dar forma a este trabajo. En definitiva, deseo dar las gracias, más que a un director, a un compañero y amigo, porque en realidad me he sentido muy a gusto trabajando a su lado.

Deseo hacer extensivo este agradecimiento al resto de los miembros del grupo GISAR. Gracias de forma muy especial a Rafael Torres, porque en los momentos difíciles, que los hubo, apostó inquebrantablemente por este trabajo, prestando desde un segundo plano todo el apoyo que estaba a su alcance para que esta tesis sea hoy una realidad. Gracias a Marta por su trato agradable, por esa facilidad que tiene para hacer ver a los demás el lado positivo de las cosas, y, sobre todo, por haberme dado la oportunidad allá por el año 1997 de comenzar a trabajar con el grupo. A Luis, por todo el apoyo técnico prestado, por sus valiosos consejos y porque siempre está dispuesto a ayudar cuando uno lo necesita. A Óscar, porque cuando he precisado de su ayuda siempre ha estado ahí, dispuesto a echar una mano. A Bea, por esas charlas que hicieron más ameno y llevadero el trabajo diario. En definitiva, gracias a todo el grupo, a los que están y a los que han pasado por aquí durante estos años y que de alguna forma han colaborado en la realización de este trabajo.

Gracias a los proyectandos, porque con sus trabajos han contribuido a esta tesis aportando nuevos enfoques e ideas.

Por encima de todo, gracias a mis padres por ser como son, por inculcarme unos valores y haber procurado siempre lo mejor para mi hermana y para mí. A mi hermana, porque aún siendo tan diferentes, ella me permite ver las cosas desde otro prisma.

Muchas gracias a Merche y a Adrián, el motor de mi vida. A Merche por su apoyo constante, tan necesario en los momentos donde la escritura se tornaba tediosa, por su fe en este trabajo y, sobre todo, por su paciencia durante estos últimos meses en los que el trabajo ha ocupado la mayor parte de mi tiempo. A Adrián porque con una mirada lo dice todo, porque un gesto, una palabra y una caricia suya compensan cualquier esfuerzo.

*A Merche y a Adrián.
A mis padres y hermana.*

Resumen

Durante la última década, los métodos de optimización heurísticos basados en imitar a nivel computacional procesos naturales, biológicos, sociales o culturales, han despertado el interés de la comunidad científica debido a su capacidad para explorar eficientemente espacios de soluciones multimodales y multidimensionales. En este ámbito, esta tesis aborda el desarrollo, análisis y puesta a punto de diferentes métodos de optimización tradicionales y heurísticos. En concreto, se considera un método de búsqueda local basado en simplex y varios métodos heurísticos, tales como el recocido simulado, los algoritmos genéticos y la optimización con enjambre de partículas. Para estos dos últimos algoritmos se investigan diferentes esquemas con el objetivo de superar las limitaciones propias de los esquemas clásicos.

La puesta a punto de los diferentes métodos de optimización se realiza considerando como problema de referencia la caracterización de la radiación de antenas a partir de medidas en campo próximo sobre geometría plana, utilizando un método de transformación de campo cercano a campo lejano basado en corrientes equivalentes. Para cada método de optimización se incluye un análisis paramétrico, en los casos en los que se ha considerado necesario, así como resultados de transformación de campo teóricos obtenidos para diferentes antenas de apertura y antenas de bocina piramidal. Los resultados de un estudio comparativo, realizado utilizando fuentes teóricas y medidas, demuestran la utilidad del método y permiten concluir que la optimización con enjambre de partículas es el algoritmo que proporciona las mejores prestaciones para esta aplicación.

Los métodos de optimización desarrollados e investigados en este trabajo han sido también aplicados a otros problemas como son la síntesis de agrupaciones lineales o el modelado de fuente en aplicaciones de compatibilidad electromagnética.

Abstract

For the last decade, heuristic optimization methods based on imitating natural, biological, social or cultural processes in a computational way have aroused great interest among the scientific community, due to its ability to explore efficiently multimodal and high-dimension solution spaces. On this basis, this thesis tackles the development, analysis and tuning of different traditional and heuristic optimization methods. In short, a local search method based on simplex and several heuristic methods, such as simulated annealing, genetic algorithms and particle swarm optimization are considered. For these last two algorithms different schemes are investigated so as to overcome the typical limitations of classical schemes.

The tuning of the optimization methods is carried out considering as a reference problem the antenna radiation characterization from near-field measurements over a planar geometry, using a near-field to far-field transformation method based on equivalent currents. A parametric analysis is included for each optimization method, in those cases in which it has been considered necessary, as well as theoretical field transformation results obtained with aperture and pyramidal horn antennas. Results of a comparative study, carried out using theoretical sources and measurements, demonstrate the usefulness of the method and make it possible to conclude that the particle swarm optimization is the algorithm that provides the best performance for this application.

Optimization methods developed and investigated in this work have also been applied to other problems, such as the synthesis of linear arrays or the source modelling in electromagnetic compatibility applications.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Contexto y objetivos	1
1.2 Estructura de la tesis	6
1.3 Bibliografía	8
Capítulo 2. Transformación de campo cercano a campo lejano	11
2.1 Introducción	11
2.2 Método clásico: expansión del campo en ondas planas	14
2.3 Método de ecuación integral	19
2.3.1 Formulación	19
2.3.2 Modelo equivalente de fuente utilizando dipolos	24
2.3.3 Mejoras en el diagrama: reconstrucción de la componente E_z	25
2.3.4 Muestreo en campo cercano en cinco planos	28
2.4 Conclusiones	30
2.5 Bibliografía	31
Capítulo 3. Optimización local y global. Método simplex y recocido simulado	35
3.1 Introducción	35
3.2 Optimizador local basado en simplex	36
3.2.1 Reflexión, expansión y contracción	37
3.2.2 Espacio de soluciones infinito	39
3.2.3 Aplicación en algoritmos híbridos	40
3.3 Recocido simulado	41
3.3.1 Esquema de enfriamiento	43
3.3.2 Diagrama de flujo	44
3.4 Resultados	47
3.4.1 Simplex	48
3.4.2 Recocido simulado	51
3.5 Conclusiones	55
3.6 Bibliografía	56

Capítulo 4. Optimización mediante algoritmos genéticos	59
4.1 Introducción	59
4.2 Algoritmos genéticos de codificación binaria	62
4.2.1 Diagrama de flujo	63
4.2.2 Representación, selección, cruce y mutación	64
4.3 Algoritmos genéticos de codificación real	66
4.3.1 Estrategias para el operador de cruce	67
4.3.2 Estrategias para el operador de mutación	69
4.3.3 Control de la presión sobre la convergencia	71
4.3.4 Diferencias entre codificación binaria y real	72
4.4 Algoritmos micro-genéticos	73
4.5 Algoritmos genéticos híbridos	76
4.6 Cancelación de ecos en una cámara apantallada utilizando algoritmos genéticos	78
4.6.1 Modelado de la radiación de una fuente en cámara apantallada	79
4.6.2 Recuperación del diagrama de radiación de dos dipolos eléctricos	83
4.6.3 Recuperación del diagrama de radiación de una antena bicónica	86
4.6.4 Conclusiones	89
4.7 Síntesis de agrupaciones lineales de antenas utilizando GA de codificación real	90
4.7.1 Estudio paramétrico del algoritmo	91
4.7.2 Resultados con restricción de lóbulos laterales e inserción de nulo	99
4.7.3 Conclusiones	100
4.8 Transformación de campo cercano a campo lejano	101
4.8.1 Efecto de la función de fitness	102
4.8.2 Influencia de la geometría de muestreo y del modelo equivalente	106
4.8.3 Apertura con excitación analítica	117
4.8.4 Comparación de los diferentes esquemas de GA	122
4.9 Conclusiones	128
4.10 Bibliografía	129
Capítulo 5. Optimización con enjambre de partículas	137
5.1 Introducción	137
5.2 Fundamentos del movimiento de partículas	139
5.2.1 El comportamiento social como método de optimización global	140
5.2.2 Operador velocidad y parámetros del algoritmo	141
5.2.3 Selección de parámetros	147
5.2.4 Límites en el espacio N -dimensional	149
5.3 Analogías y diferencias entre PSO y GA	150
5.4 Esquemas de PSO	151
5.4.1 Topologías de vecindad global y local	152

5.4.2 PSO con actualizaciones síncronas y asíncronas de la población	154
5.4.3 Convergencia prematura y visualización del desplazamiento	157
5.4.4 Esquemas alternativos para aplicaciones diversas	161
5.5 Estudio paramétrico de PSO	162
5.5.1 Tamaño de la población	163
5.5.2 Estructura social del enjambre	166
5.5.3 Actualizaciones síncronas y asíncronas de la población	168
5.5.4 Velocidad máxima de partícula	169
5.5.5 Modelo de PSO	171
5.5.6 Conclusiones	173
5.6 Síntesis de agrupaciones lineales de antenas	175
5.6.1 Puesta a punto del método de optimización	176
5.6.2 Resultados con restricción de lóbulos laterales e inserción de nulo	182
5.7 Transformación de campo cercano a campo lejano	184
5.7.1 Problema canónico: Antena de apertura	185
5.7.2 Reconstrucción del diagrama de radiación de una antena de bocina piramidal	190
5.8 Conclusiones	195
5.9 Bibliografía	197
Capítulo 6. Estudio comparativo de los métodos de optimización	203
6.1 Introducción	203
6.2 Rendimiento de los métodos de optimización	204
6.3 Reconstrucción de la radiación de una antena de bocina piramidal	207
6.4 Resultados experimentales	210
6.4.1 Medidas en cámara anecóica	210
6.4.2 Resultados de transformación de campo	213
6.5 Conclusiones	219
6.6 Bibliografía	220
Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras de trabajo	221
7.1 Conclusiones	221
7.2 Líneas futuras de trabajo	224
Apéndice 1. Geometrías de muestreo	229
A1.1 Campo cercano sobre geometría plana	229
A1.2 Campo cercano en cinco planos	230
A1.3 Campo cercano en puntos espaciales aleatorios	231
Apéndice 2. Funciones de prueba	233
A2.1 Griewank	234

A2.2 Rastrigin	235
A2.3 Rosenbrock	236
A2.4 Schaffer F6	237
A2.5 Sphere (DeJong F1)	238