

OPTIMIZACION DE RCS DE BLANCOS RADAR MEDIANTE PROCESADO GRAFICO

Luis M. Ramírez, Mercè Vall-llossera, Juan M. Rius, Lluís Jofre
Grupo A.M.R., Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cataluña
Apdo. postal 30002, 08080 Barcelona
Tel. 93-4017219, Fax 93-4017232

ABSTRACT

This document describes the followed methodology to achieve cross section reduction of radar targets via shaping with structural restrictions through the use of a simple workstation with graphical dedicated hardware. Attention is paid to the graphical-processing approximation algorithm selection, surface modification, minimization methods and their numerical analysis software implementations.

1. INTRODUCCION

Las técnicas más utilizadas actualmente para reducir la sección recta radar (RCSR) de blancos radar complejos, como aeronaves, son, por un lado, el uso de materiales absorbentes de radiación radar (RAM) y por otro, la modificación de la forma geométrica de las superficies (shaping). El proceso iterativo de diseño según ésta última, costoso económica y computacionalmente, consistía en modelar estas superficies mediante facetas poligonales planas en una estación de trabajo y predecir su sección recta numéricamente en un ordenador más potente con técnicas asintóticas de alta frecuencia. El desarrollo de los métodos de predicción de RCS a través de procesado gráfico ha permitido aumentar enormemente la eficiencia (en coste temporal y económico) de la modificación y optimización de la forma, permitiendo unificar ambos subprocesos en una sola máquina, concretamente en una estación de trabajo con hardware gráfico dedicado y en un mismo paquete software.

Se ha desarrollado una versión inicial de un software de este tipo -denominado *GRECO*- que, partiendo de un modelo base del objeto creado en un paquete CAD, permite estimar su sección recta radar para cualquier ángulo de incidencia y según varias aproximaciones y modificar manualmente u optimizar automáticamente la forma de sus superficies, en cuyo caso se deben mantener dentro de límites algunas especificaciones estructurales iniciales como pueden ser el área, volumen o longitud en una dimensión.

Se han estudiado los problemas que aparecen al intentar buscar el mínimo absoluto de una función con un número de variables indeterminado y con gran cantidad de mínimos relativos como es la RCS en función de los parámetros que definen las superficies, así como diversos algoritmos de búsqueda de la solución del problema de programación no lineal con restricciones asociado.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

La reducción de RCS sin más puede ser conseguida sencillamente reduciendo las dimensiones espaciales del objeto, lo cual no es de gran utilidad práctica; deben imponerse por tanto algunas restricciones dimensionales, como volumen, área o dimensiones máximas. Sería mejor aún que existieran además restricciones aerodinámicas, dado que la principal aplicación de estas técnicas está en la industria aeronáutica, pero la complejidad de estas medidas convierte al problema en casi imposible para el alcance del trabajo presentado. Es posible entonces que las

soluciones encontradas no sean las más apropiadas aerodinámicamente hablando, pero generalmente esto se considera de importancia secundaria, cuando no es posible mejorar tales características sin empeorar el comportamiento electromagnético mediante el uso de recubrimientos transparentes a la radiación.

A partir de los datos geométricos del modelo contenidos en la base de datos y que pueden considerarse formando un vector $x = x_0$, se halla una función objetivo $f(x)$ -alguna estimación de la RCS- que debe ser minimizada teniendo en cuenta las funciones de restricción $b(x)$ calculadas como medidas estructurales, también a partir de los datos geométricos. Las medidas estructurales implementadas son la dimensión máxima en cualquiera de las tres coordenadas (x, y, z), área y volumen, permitiendo hasta un total de cinco restricciones. La variable x que resuelva el problema proporcionará la geometría optimizada del objeto. El vector x está compuesto por las coordenadas de un número de puntos del modelo. Estos puntos pueden ser los puntos de control de una superficie B-spline, para un modelo que use tal representación, ó bien los vértices de los polígonos en modelos de facetas poligonales planas. No hay restricción en cuanto al número de puntos seleccionados, pero lo más indicado es tomar del orden de 1 a 10, constituyendo por tanto un problema a escala intermedia.

Por simplicidad, se ha decidido tomar todas las restricciones como activas, es decir, mantener constantes las medidas estructurales seleccionadas y no como variables dentro de un cierto margen. La situación puede entonces ser formulada como un problema de programación no lineal con restricciones:

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar:} & f(x) \\ \text{Sujeto a:} & h(x) = 0 \end{array}$$

donde se han tomado las funciones de restricción como $h(x) = b(x) - b(x_0)$. En nuestro caso $f()$ será el valor máximo de RCS al efectuar un barrido sobre el cono de observación de interés. Si sólo se desea reducir para un ángulo, $f()$ será simplemente la RCS vista desde ese ángulo. Al intentar reducir la sección recta de objetos aun de complejidad media según aproximación de óptica física básica, aparecen tremendas oscilaciones espúreas para pequeñas variaciones de la geometría, frecuencia y/o ángulo de incidencia, imposibilitando la búsqueda de una zona de mínimo global. Se consigue una mejora al estimar según óptica física mas aplicación del principio de fase estacionaria. En procesado gráfico esto equivale a ponderar el desfase asociado a cada pixel de la imagen del modelo con la luminancia del pixel, proporcional al coseno del ángulo formado por la normal superficial y la dirección de incidencia. Mejor aún resulta considerar sólo la suma de luminancias de los pixels, es decir, el módulo de la contribución de cada pixel. El valor obtenido es por tanto una cota superior de la RCS por óptica física con aplicación de fase estacionaria, y de variación más suave. La reducción de esta estimación equivale a eliminar en lo posible las zonas más brillantes de la imagen, es decir, las zonas de reflexión especular. La figura 1 muestra dos trazas de la RCS de un objeto sencillo, una estimada por física óptica mas fase estacionaria y la otra, según se ha explicado, sumando las contribuciones de los pixels incoherentemente. Se hallaron en la dirección del gradiente de la segunda estimación en el vector geometría inicial x_0 , desplazándose en ambos sentidos. El programa, sin embargo, ofrece total libertad a la hora de seleccionar el método de estimación de RCS, con el fin de permitir al usuario eliminar primeramente los puntos brillantes, llegando así a la zona del mínimo global y en un segundo paso optimizar según una aproximación más precisa.

3.SOLUCION

Para la resolución del problema se ha optado por un método de penalización, pues lo simplifica convirtiéndolo en un problema sin restricciones. La función de penalización elegida es la de valor absoluto por ser una función de penalización exacta

COMPARACION ENTRE ESTIMACIONES RCS

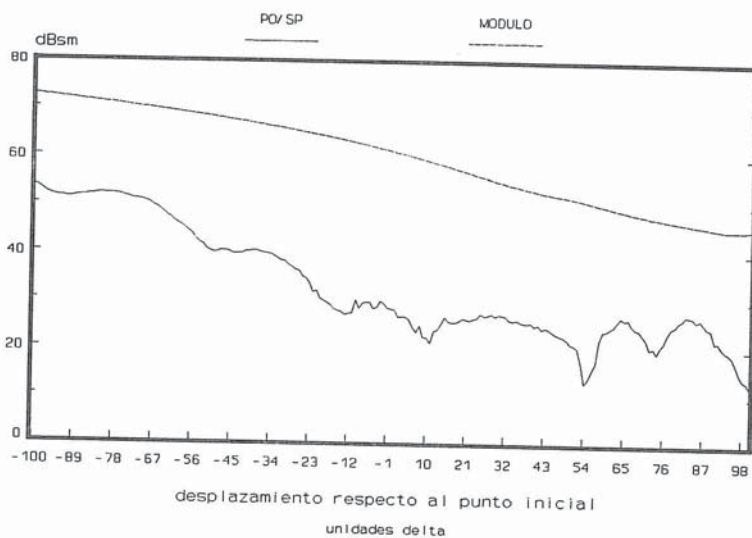


Fig. 1

$$P_i(x) = |h_i(x)| \quad (1)$$

permitiendo alcanzar antes la solución. A causa de la gran disparidad entre los valores que pueden entregar las funciones de restricción $h_i(x)$, se asignará una función y un coeficiente de penalización independiente a cada una, convirtiéndose ambos en vectores. El problema de optimización con restricciones se convierte así en el siguiente problema de minimización sin restricciones:

$$\text{Minimizar: } q(x) \triangleq f(x) + c^T \cdot P(x); \quad c \in \mathbb{R}^m \quad (2)$$

La utilización de funciones de penalización exactas permitirá resolver el problema de minimización para un sólo valor del vector c , en lugar de tener que calcular una sucesión de soluciones. El valor de este vector debe ser proporcionado por el usuario realizando un tanteo.

Para resolver (2) se han implementado dos algoritmos: el método *del descenso de mayor pendiente o del gradiente* y el *de Powell*. El primero es un método iterativo no demasiado eficiente pero sencillo y fiable que halla una sucesión de puntos mejorados de la forma

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k \nabla q(x_k)^T \quad (3)$$

donde $\alpha_k \geq 0$ es un escalar que minimiza $q(x_k - \alpha_k \nabla q(x_k)^T)$ y se halla por un proceso de búsqueda lineal

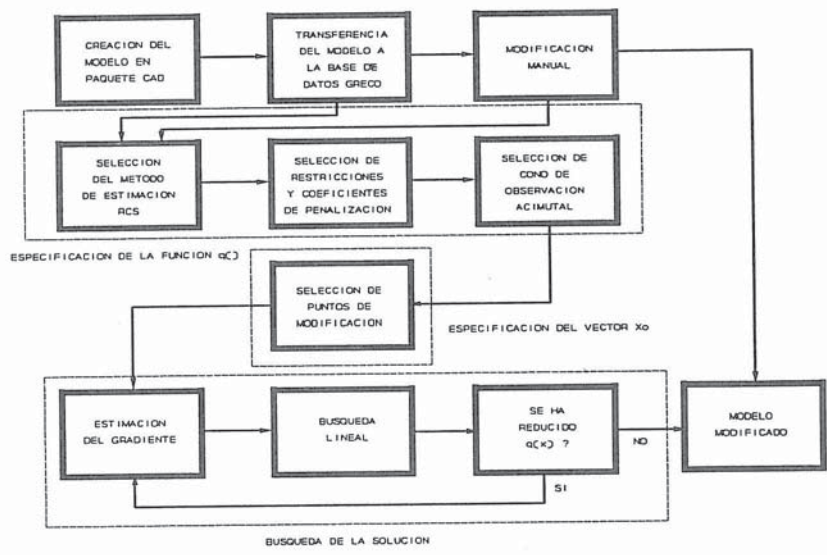


Fig. 2: Esquema de los procesos de modificación y optimización de GRECO

Optimización de RCS con restricción de área y volumen

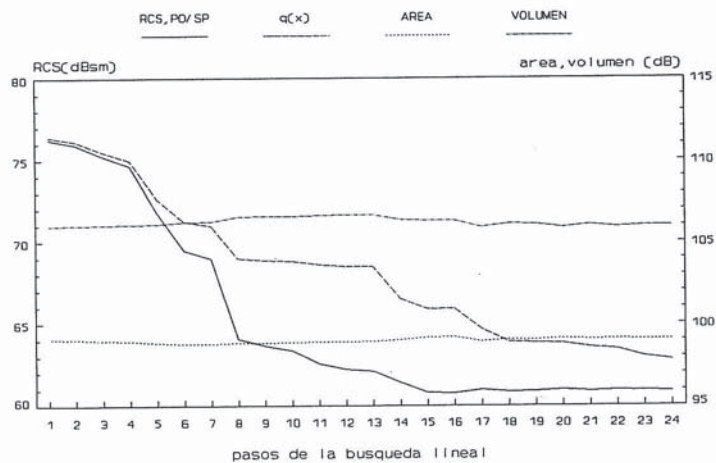


Fig. 3

(unidimensional) en la misma dirección y sentido opuesto del gradiente. Los principales factores que afectan a la velocidad del método son la estimación del gradiente y el proceso de búsqueda lineal. El gradiente se estima numéricamente, aproximando las derivadas parciales por diferencia finitas, mientras que una modificación del método de Newton, entre otros, se ha ensayado con bastante éxito para el proceso de búsqueda lineal. El método de Powell, de mayor velocidad de convergencia, tiene además la propiedad de no necesitar estimación ni cálculo de derivadas.

En la figura 2 se muestra un esquema genérico del proceso completo de modificación/optimización, ésta según el método del gradiente. La figura 3 muestra los valores de RCS según óptica física mas fase estacionaria obtenidos al llevar a cabo una optimización con restricción de área y volumen constantes sobre un objeto inicialmente de forma ovoidal, para un único ángulo de observación. Se escogieron 15 puntos de control de la zona iluminada (el total era de 32), durando el proceso de minimización unos 10 minutos, llevado a cabo mediante el método del gradiente. También se muestra la función minimizada $q(x)$. Cada paso conlleva tres evaluaciones de esta función.

4. BIBLIOGRAFIA

[1] J.M.Rius, M. Vall-Ilosera, M.Ferrando, "Sección recta de blancos radar complejos en tiempo real: aproximación de óptica física", V *Simposium nacional de la URSI*, Vigo, septiembre 1990

[2] J.M.Rius, "Sección recta de blancos radar complejos en tiempo real", tesis doctoral, UPC, julio 1991