METODOS HIBRIDOS PARA ANALISIS DE LA DIFRACCION Y SECCION RECTA RADAR DE CUERPOS METALICOS COMPLEJOS

J.M.Rius*, M.Ferrando*, A.Broquetas*, L.Jofre*

ABSTRACT

A set of algorithms and procedures to compute radar cross section (RCS) of aircraft are presented. The aircraft will be defined by a solid modelling data base. The hardware capabilities of a 3-D graphics accelerator will be used to obtain high-frequency approximation to RCS in real time. We are also developing new algorithms to approach efficiently the electromagnetic problem of scattering by large conducting bodies.

INTRODUCCION

En este artículo se presentan los algoritmos que deben llevar a la realización de un paquete de software capaz de calcular de forma eficiente los campos difractados por cuerpos metálicos complejos de dimensiones eléctricas muy grandes. La aplicación más inmediata será el cálculo de la sección recta radar (RCS) de aviones reales, con un esfuerzo computacional acorde con los recursos informaticos disponibles en la actualidad.

El procesado global se divide en tres partes claramente diferenciadas:

1 - Modelado geométrico del avión real a partir de los planos que lo definen.

2 - Estimación en tiempo real de la RCS con aproximación de óptica geométrica, utilizando el procesado hardware del acelerador gráfico 3-D de una estación de trabajo de altas prestaciones.

3 - Análisis electromagnético de la difracción, combinando técnicas de baja frecuencia con el nuevo algoritmo de propagación espectral sobre superficies conductoras.

1. MODELADO GEOMETRICO

Se modelará el avión real utilizando un paquete software comercial para modelado geométrico de sólidos. El avión quedará definido en dos bases de datos, siendo modelado diferentemente en cada una de ellas:

Modelado por medio de facetas: superficies planas triangulares y cuadrangulares, que pueden aproximarse a la superficie real tanto como sea necesario. A la información de esta base de datos accederán los algoritmos para el análisis electromagnético de la difracción.

Modelado preciso: superficies modeladas por B-splines racionales no uniformes (NURBS). Permite una representación casi exacta de las superficies y curvas de intersección. Se utilizará para obtener una aproximación de la RCS por óptica geométrica.

La geometría tridimensional del avión se introduce en la base de datos a partir de los planos que lo definen. La técnica del "skinning" permite construir una superficie compleja, como el fuselaje, a partir de un esqueleto formado por cortes transversales. Cada parte del avión se modela como un objeto independiente, y se realiza el montaje de todas las partes en un sistema único de forma jerárquica.

Estas bases de datos son además compatibles con otros paquetes de software para modelado de sólidos o análisis por elementos finitos.

B-splines: Modelan una curva arbitraria a trozos utilizando polinomios paramétricos distintos en cada trozo. La suavidad de las transiciones entre polinomios se controla definiendo el número de derivadas continuas deseado. Los B-splines racionales no uniformes (NURBS) son cocientes de polinomios, y, a diferencia de los no racionales, permiten representar exactamente las cónicas cerradas.

Los parámetros que definen un B-spline son: orden de los polinomios, vector de nodos (valor del parámetro de los polinomios en las transiciones), y puntos de control (definen la forma de la curva entre transiciones). Las superficies se modelan por "parches" con superficies B-spline de dos parámetros.

* Grupo A.M.R., Departamento Teoría de la Señal y Comunicaciones
E.T.S.I.Telecomunicación, Universidad Politécnica de Cataluña

Hardware del acelerador gráfico: La estación de trabajo dispone de un acelerador gráfico de altas prestaciones, que dibuja a gran velocidad imágenes fotorealistas, realizando por hardware los calculos necesarios para transformaciones tridimensionales de punto de vista, representación de superficies NURB, reflexion de las fuentes de luz en las superficies, etc.

El hardware del acelerador gráfico dibuja directamente las superficies modeladas por NURBS bidimensionales de hasta grado 6, a partir de las coordenadas 3-D de los puntos de control, dos vectores de nodos y el punto de vista 3-D desde el que se observa la superficie. Las facetas triangulares y cuadrangulares también son representadas por hardware a partir de las coordenadas 3-D de los vértices y el punto de vista. La posición del punto de vista se puede variar en tiempo real por medio de 3 potenciómetros, así como realizar "zoom" y "panning".

Terminal shading es una capacidad del acelerador gráfico que permite obtener por hardware la reflexión de la luz en las superficies, a partir de la definición de la posición y direccionalidad de las fuentes de luz, atenuación de la luz en el medio, iluminación ambiental, posición del observador, etc. Para cada superficie se definen los coeficientes de reflexión de luz ambiental, difusa y especular, esta última con direccionalidad $\cos^n\theta$, donde Θ es el ángulo entre la dirección de reflexión especular y la de observación, y n el parámetro de direccionalidad.

La posibilidad de calcular por hardware la reflexión especular de la luz en un objeto muy complejo, variando el punto de vista en tiempo real, nos permitirá detectar las superficies del objeto perpendiculares a la dirección de observación, haciendo coincidir la posición de la fuente de luz con el observador. Estos puntos de reflexión especular a frecuencia óptica, serán también los puntos brillantes de máxima contribución a la RCS a frecuencias de microondas.

Frame buffer y **Z-buffer** son una porción de menoria RAM que constituye la salida del acelerador gráfico. Para cada pixel de la pantalla gráfica, el frame buffer contiene la información de color y el Z-buffer la profundidad, o distancia al observador del punto 3-D asociado al pixel. Esta coordenada Z, que se utiliza habitualmente para no visualizar superficies ocultas por otras más proximas al observador, nos servirá para obtener la fase con que contribuye a la RCS cada punto brillante del objeto.

2. APROXIMACION DE LA RCS POR OPTICA GEOMETRICA EN TIEMPO REAL

Con objeto de proporcionar una herramienta eficiente para el diseño interactivo de aviones con baja RCS, se presenta un algoritmo capaz de obtener en tiempo real una estimación de la RCS en función del ángulo de vista, utilizando al máximo el procesado hardware del acelerador gráfico.

Según la aproximación de óptica geométrica, la RCS de una superficie es

$$\sigma = \pi \rho_1 \rho_2$$

donde ρ_1 y ρ_2 son los radios de curvatura en el punto de reflexión especular.

Se aprovecha el "terminal shading" por hardware del acelerador gráfico para calcular las reflexiones de luz en las diversas superficies que forman el avión. Para obtener una estimación de la RCS, se coloca una fuente luminosa de color blanco sobre el observador, que ilumine el avión con una onda plana. Se asigna a la superficie del avión el color negro y un 100 % de reflexión especular. No se utilizan fuentes de luz ambiental.

El brillo de cada pixel de la pantalla será proporcional a $\cos^n\theta$, donde Θ es el ángulo formado por la normal a la superficie y la dirección del radar. Puede demostrarse muy fácilmente que la suma de los brillos de todos los puntos de la superficie es proporcional al producto de los radios de curvatura de la misma, y a una función del parámetro de direccionalidad n. Debe tomarse un valor de n suficientemente grande para que la reflexión sea muy directiva y sólo tengan brillo apreciable pixels muy proximos al punto de reflexión especular, en los que pueda suponerse que los radios de curvatura son constantes.

De esta forma, la suma de los brillos de los pixels próximos al de reflexión especular es proporcional a la RCS de esta superficie. La contribución de las demás superficies se realizaría teniendo en cuenta la fase debida a la distancia de cada punto de reflexión especular al radar, la cual se obtiene a partir de las coordenadas z (Z-buffer) y xy (posición en pantalla).

La implementación eficiente del algoritmo recorre el frame buffer pixel a pixel, y, para cada conjunto de pixels contiguos cuyo brillo supere un cierto umbral, suma sus brillos. Al resultado le añade la fase correspondiente al pixel más brillante, y lo suma a la RCS. Este proceso puede realizarse en tiempo real, moviendo el punto de vista con los potenciómetros y trazando la curva RCS en función de los ángulos de vista.

En la figura 1 se muestra una vista de un avión, modelado de la forma indicada, en la que pueden observarse los puntos brillantes sobre superficies de gran radio de curvatura normales a la dirección del radar.

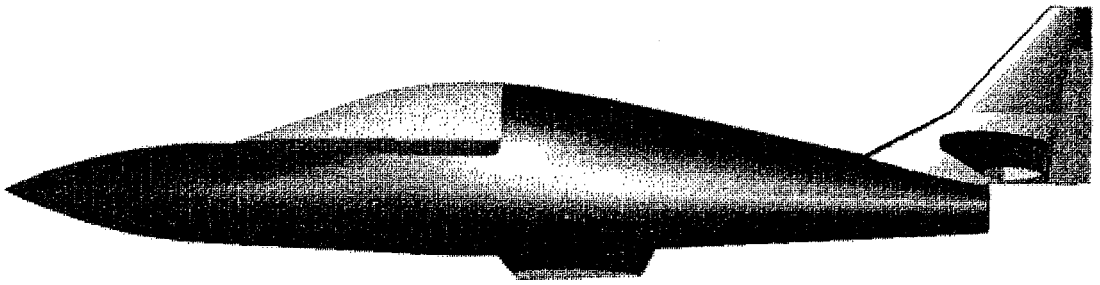

Figura 1: Reflexión especular en el fuselaje y estabilizador vertical

3. ANALISIS ELECTROMAGNETICO DE LA DIFRACCION

Los métodos de baja frecuencia para el análisis de la difracción, tales como elementos finitos, momentos, elementos de contorno, proporcionan muy buenos resultados, pero no pueden aplicarse a objetos eléctricamente grandes por generar unas matrices de tamaño excesivo para los ordenadores actuales.

Este tipo de objetos puede analizarse por técnicas de alta frecuencia, como óptica geométrica, física óptica, o teoría geométrica de la difracción. Sin embargo, las técnicas de alta frecuencia no proporcionan buena aproximación cuando el objeto presenta irregularidades eléctricamente pequeñas, como sucede en un avión real. Además, están basadas en las soluciones conocidas para formas canónicas, y su aplicación a objetos muy complejos e irregulares se hace difícil.

Por ello, ha sido necesario desarrollar un nuevo algoritmo para el cálculo eficiente de la reflexión radar de objetos eléctricamente muy grandes y complejos: el algoritmo de propagación espectral sobre superficies conductoras. Los resultados proporcionados por este algoritmo son óptimos cuando se combina con técnicas de baja frecuencia.

La aplicación de los algoritmos para el cálculo de la difracción se realizará siempre sobre el modelo de avión real, definido en la base de datos de modelado geométrico de sólidos. Los métodos de baja frecuencia se aplicarán sobre puntos brillantes del avión, de tamaño eléctricamente pequeño, que produzcan reflexión no especular, como por ejemplo puntas, esquinas y vértices.

Se obtendrá una matriz modal de excitación/respuesta para las componentes vectoriales del campo difractado por cada uno de éstos puntos brillantes, de forma conceptualmente similar al método de la matriz S generalizada para análisis de discontinuidades en guías. La interacción entre puntos brillantes se tendrá en cuenta propagando de unos a otros los desarrollos modales del campo. Esta propagación de modos debe hacerse cumpliendo en todo momento las condiciones de contorno sobre la superficie metálica del avión, por lo que debe utilizarse el nuevo algoritmo de propagación espectral sobre superficies metálicas.

Propagación espectral sobre superficies metálicas: Este algoritmo está inspirado en una idea original del Prof. Anderson: el algoritmo de propagación espectral incremental (SIP) [1]. Ambos se basan en propagar sucesivamente el espectro de ondas planas entre dos planos paralelos entre los cuales las condiciones de contorno sean suficientemente uniformes. En el caso general de campo eléctrico vectorial, basta propagar las dos componentes del campo perpendiculares a la dirección de propagación (teorema de unicidad). En el SIP, después de cada propagación, se hace el campo

igual a cero dentro del conductor, forzando así la condición de contorno en el interior del mismo. Sobre la superficie se hace cero únicamente el campo tangencial, depolarizando así adecuadamente el campo.

El gran inconveniente del SIP es que, al hacer cero el campo en el conductor, sólo impone la condición de contorno puntualmente. Según el teorema de equivalencia, está considerando la contribución de las corrientes equivalentes sobre el conductor utilizando la función de Green del espacio libre, lo cual no es correcto en presencia de un conductor. Ello se traduce en que precisa propagaciones incrementales muy pequeñas, del orden de $\lambda/50$, y falla en direcciones perpendiculares a la superficie. Además, no tiene en cuenta las interacciones entre puntos difractantes contenidos en el mismo plano de propagación.

Nuestro algoritmo de propagación espectral sobre superficies metálicas obtiene la contribución de las corrientes equivalentes utilizando la función de Green en un semiespacio, en presencia de un plano conductor infinito. Esto se consigue sustituyendo el campo en el interior del conductor por la imágen antisimétrica del campo en el exterior respecto de la superficie del mismo. Cuando el plano metálico no es perpendicular a los planos de propagación, se realiza un giro adecuado de las coordenadas espectrales K_x, K_y, K_z antes y después de la propagación del espectro.

Para superficies generalizadas, se utiliza la modelación en facetas planas. Para cada faceta, se hace el campo antisimetrico en dirección perpendicular a la misma. En puntos interiores al conductor, se suman las contibuciones antisimétricas de todas las facetas. De esta forma pueden conseguirse saltos incrementales en la propagación tan largos como las facetas: sobre una superficie bastante uniforme se avanza muy rápido, mientras que sobre una superficie muy irregular se siguen todas las variaciones con incrementos pequeños.

Cuando la intersección de la superficie con los planos de campo que se propagan está formada por curvas no conexas, deben propagarse por separado los modos que viajan en el exterior de las curvas y entremedio de ellas. Estos últimos utilizarán el campo antisimétrico a ambos lados. De esta forma se evitan las interacciones "a través" del conductor, y se tienen en cuenta las ondas estacionarias debidas a interacciones entre puntos difractantes en el mismo plano de propagación. En el momento en que la intersección vuelva a ser conexa, se sumarán en cada punto de campo las contribuciones que llegan por separado.

Utilizando únicamente éste algoritmo puede obtenerse una solución aproximada para el cálculo de la RCS sin recurrir a métodos de baja frecuencia. Para ello, basta propagar la onda plana incidente sobre el avión a través del mismo, y posteriormente hacia atrás en dirección al radar. En ésta segunda propagación, habría que sumar las contribuciónes de las corrientes equivalentes sobre la superficie del conductor, almacenadas previamente en la propagación anterior sobre los puntos de intersección con la superficie. Así se tienen en cuenta todas las interacciones de primer orden entre todos los puntos difractantes del avión.

Las interacciones de orden superior se tienen en cuenta realizando sucesivas propagaciones de ida y vuelta a través del avión, sumando siempre en cada una de ellas la contribución de las corrientes equivalentes sobre la superficie debida a todas las anteriores propagaciones. La RCS es finalmente la amplitud de la componente del espectro angular que viaja en dirección al radar.

La eficiencia de éste algoritmo reside en no precisar más operaciones complicadas que transformadas de Fourier (FFT), en adaptar la longitud de los saltos incrementales a la uniformidad o irregularidad del objeto, y, sobre todo, a utilizar matrices bidimensionales de tamaño moderado para analizar un objeto tridimensional. Respecto a los métodos de baja frecuencia, se ha conseguido evitar la inversión de matrices tridimensionales de gran tamaño.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) TIC 88-288E.

REFERENCIAS

[1] G.G.Cook, A.P. Anderson, A.S. Turnbull: 'Spectral incremental propagation (SIP) procedure for fast calculation of scattered fields from conducting bodies', IEE Proceedings, Vol. 136, Pt. H, No. 1, February 1989