

SECCION RECTA DE BLANCOS RADAR COMPLEJOS EN TIEMPO REAL APROXIMACION DE OPTICA FISICA

Juan M. Rius, M. Vall-Ilosera, M. Ferrando

Grupo A.M.R., Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona
Apdo. 30002, 08080 Barcelona

Abstract

Radar cross section (RCS) of complex targets can be obtained in real time using the hardware capabilities of a high performance graphic workstation. Target geometry is modelled by a computer-aided design package. RCS is computed under physical optics high-frequency approximation.

Introducción

Los retornos de señal radar producidos por blancos complejos, grandes en términos de la longitud de onda, son debidos a multitud de mecanismos de difracción electromagnética, como reflexión especular, difracción en aristas, múltiples reflexiones, zonas de sombra, reflexión en las discontinuidades de las superficies, creeping waves, etc. Las técnicas numéricas clásicas para el cálculo de difracción tienen en cuenta todos estos efectos, proporcionando resultados de gran precisión, pero a costa de un esfuerzo computacional muy elevado.

El objetivo de esta comunicación es demostrar que se puede obtener la sección recta radar (RCS) en tiempo real con una estación de trabajo gráfica de altas prestaciones. La integral de superficie de óptica física se calcula utilizando el hardware del acelerador gráfico 3-D de la estación.

Aunque no se consideren los efectos de segundo orden, se demuestra que la RCS de blancos radar en alta frecuencia puede predecirse adecuadamente con la aproximación de óptica física, que tiene en cuenta únicamente la contribución principal.

Modelado del blanco

Para modelar la geometría del blanco se utiliza un paquete de software comercial [1]. Los objetos están definidos por un conjunto de superficies y curvas de intersección paramétricas: B-splines racionales no-uniformes bidimensionales (NURBS) [5].

Las técnicas clásicas para el cálculo de RCS modelan las superficies del blanco aproximandolas con facetas [2]. Este método tiene una limitación importante en el número de facetas que se pueden procesar, con requerimientos de memoria y tiempo de CPU prohibitivos cuando el tamaño del objeto es muy grande en términos de la longitud de onda. Por el contrario, el modelado a base de superficies paramétricas no precisa almacenar gran cantidad de datos, y permite aproximar la superficie del blanco real con mucha mayor precisión.

Aproximación de óptica física

Los campos difractados por un objeto arbitrario pueden obtenerse a partir de las ecuaciones integrales de Stratton-Chu [3].

$$\vec{E} = \oint_S [jK\eta(\hat{n} \times \vec{H})G + (\hat{n} \times \vec{E}) \times \nabla G + (\hat{n} \cdot \vec{E})\nabla G] ds$$
$$\vec{H} = \oint_S \left[-jK \frac{1}{\eta} (\hat{n} \times \vec{E})G + (\hat{n} \times \vec{H}) \times \nabla G + (\hat{n} \cdot \vec{H})\nabla G \right] ds$$

donde \hat{n} es el vector unitario normal a la superficie, K el número de onda, η la impedancia de onda del vacío y G la función de Green en el espacio libre.

El método de óptica física se basa en la aproximación del plano tangente [4]: si el radio de curvatura de una superficie conductora es mayor que la longitud de onda, la componente tangencial del campo magnético sobre la superficie puede aproximarse por el doble de la incidente, sobre la superficie iluminada, y cero en las superficies ocultas. Por ello, la integral de superficie se extiende únicamente sobre la región iluminada del objeto.

La aproximación resultante para la RCS monoestática es:

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left[\int_S \cos\theta e^{-2jKz} ds \right]^2$$

donde θ es el ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de observación, y z la distancia del observador al diferencial de superficie ds proyectada sobre la dirección de observación.

Debido a su gran simplicidad, la aproximación de óptica física es muy utilizada para el cálculo de sección recta monoestática, a pesar de sus limitaciones [4]:

- Obtiene sólo la reflexión en las superficies, pero no la difracción en las aristas.
- No es válida para direcciones de observación muy alejadas de la normal a la superficie.
- No proporciona resultados dependientes de la polarización.
- Produce falsas contribuciones de la región oculta, debido a la discontinuidad artificial en la frontera entre regiones iluminada y oculta. Este efecto genera oscilaciones en el valor de la integral, que pueden evitarse aproximando esta última por el método de fase estacionaria.

Procesado gráfico de la sección recta

La principal dificultad para el cálculo de la integral de superficie mediante las técnicas numéricas clásicas es la detección de regiones ocultas. La solución más eficiente consiste en procesar directamente la imagen del blanco presente en la pantalla gráfica de la estación de trabajo, pues el hardware se encarga de eliminar las superficies ocultas. El algoritmo utilizado es el siguiente: cada vez que se va a dibujar un pixel, se compara la distancia al observador con la del pixel que ya está dibujado en la misma posición de pantalla, que se encuentra almacenada en una porción de memoria denominada "z-buffer" [5]. De esta forma, una imagen del blanco desde el punto de vista del radar no presenta las regiones de sombra que deben excluirse de la integral de óptica física, por lo que basta realizar la integral sobre los pixel visibles.

Se define una fuente de luz direccional en la misma dirección que la onda plana incidente. Si se modela la superficie del blanco con reflexión difusa, resulta que la luminosidad de cada pixel es igual a $\cos\theta$, donde θ es el ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de observación [5]. Entonces, podemos calcular la integral de óptica física como la suma coherente de la luminosidad de todos los pixels de la pantalla. La fase de cada contribución se obtiene a partir de la distancia al observador almacenada en el z-buffer.

El procesado gráfico tiene las siguientes ventajas sobre las técnicas numéricas clásicas:

- Cálculo de la integral de superficie independiente de la complejidad de blanco.
- Eliminación de superficies ocultas por hardware.
- Tiempo de CPU independiente del tamaño y complejidad del blanco.
- Cálculo en tiempo real utilizando un acelerador gráfico hardware.
- Requerimientos de memoria RAM moderados, e independientes de la complejidad del blanco.
- El blanco se modela con superficies paramétricas NURB, requiriendo menos memoria de almacenamiento masivo que el modelo por facetas, y ajustandose mejor a la superficie del blanco real.

Tiempo de CPU

En una estación de trabajo HP-370 serie 9000, con acelerador gráfico turbo SRX, el tiempo de CPU es de unos 30 microseg. por pixel y ángulo de vista. Las técnicas numéricas clásicas requieren tiempos mucho mayores: el paquete RECOTA, desarrollado por Boeing Aerospace [2], precisa unos 11 miliseg./faceta/ángulo para cada polarización, en un VAX 11/785, incluyendo difracción en aristas, reflexiones múltiples y otros efectos de segundo orden.

Resultados

Se ha utilizado un modelo de misil genérico para validar los resultados de la aproximación de óptica física con blancos radar complejos en alta frecuencia. La fig. 1 muestra los resultados del procesado gráfico, los calculados por RECOTA [2] teniendo en cuenta efectos secundarios, y la sección recta medida [2]. La aproximación de óptica física detecta los picos de RCS en 10° (-20 dBsm), 30° (-11 dBsm), 90° (8 dBsm), and 140° (-16 dBsm), así como el nulo a 120° . Obsérvese que algunos de estos valores se detectan con mayor precisión por medio del procesado gráfico, debido a la mejor resolución en la discretización de las superficies y en la determinación de regiones ocultas.

En la fig. 2 se comparan los resultados obtenidos para un Boeing 727 con medidas a escala real, con polarización horizontal y vertical. Puede observarse que los picos de RCS medidos con ambas polarizaciones aparecen en los resultados de óptica física. Ello es debido a que el avión carece de aristas con radio de curvatura muy pequeño, cuya contribución a la polarización paralela sería mucho mayor que la calculada por óptica física.

Es de destacar la importancia de obtener en tiempo real la sección recta de un objeto de tamaño 128 longitudes de onda, excesivo para los métodos numéricos clásicos.

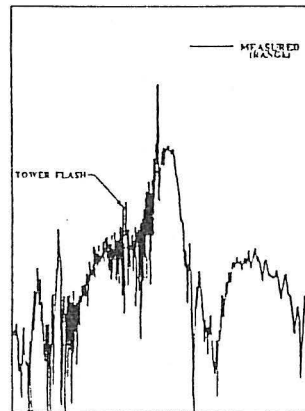
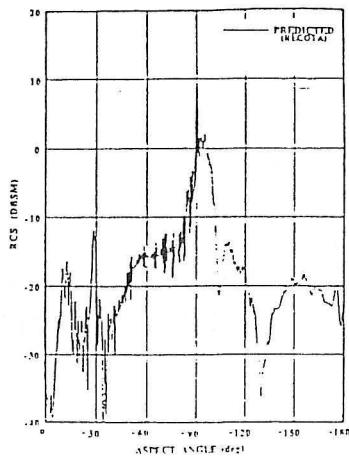
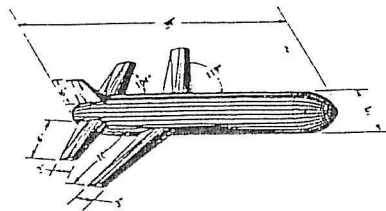
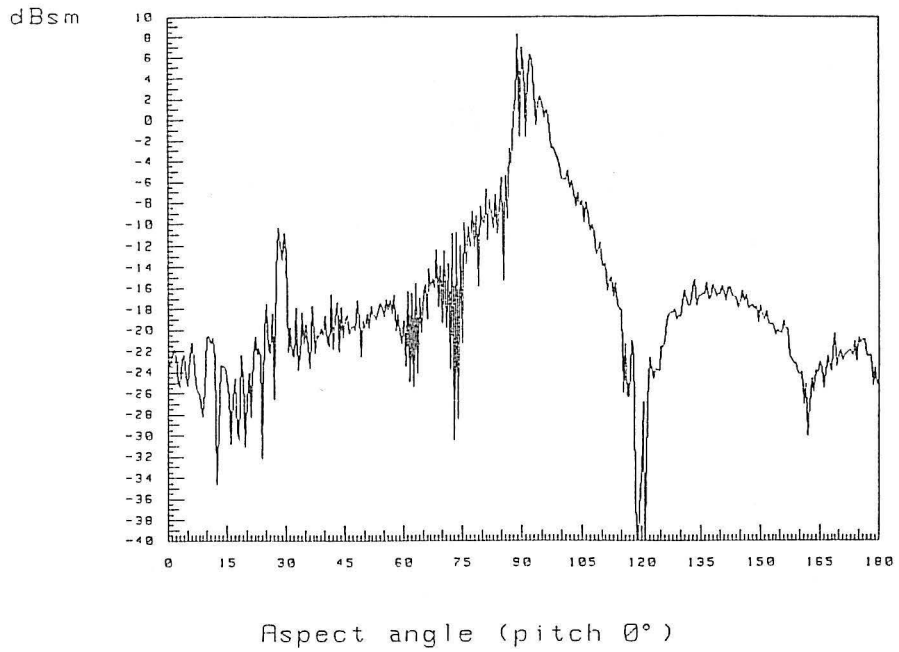
Conclusiones

- La aproximación de óptica física obtiene una buena estimación de la sección recta de blancos radar reales en alta frecuencia.
- No se obtiene una respuesta dependiente de la polarización. Sin embargo, se incluyen las contribuciones de aristas en ambas polarizaciones, cuando el radio de curvatura de las mismas no es excesivamente pequeño.
- No se tienen en cuenta las dobles reflexiones. Para incluir los efectos de difracción múltiple en el procesado gráfico deben emplearse modelos de iluminación global.
- Los resultados pueden obtenerse en tiempo real si se realiza procesado gráfico por hardware. Una posible aplicación, de gran interés para la industria aeronáutica, es el diseño interactivo de aviones de baja sección recta.

Referencias

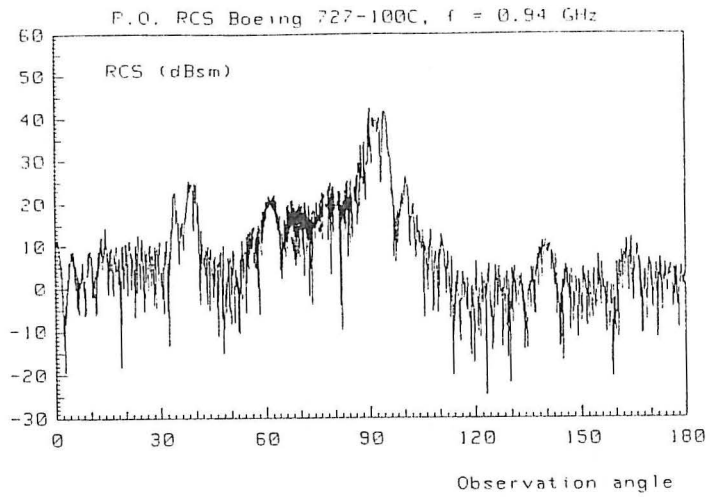
- [1] "IDEAS Geomod user's guide", Structural Dynamics Research Corp. (SDRC), Milford, OH 45150.
- [2] "Radar Cross Section of Complex Targets", Nazih N. Youssef, IEEE Proc., vol. 77, no. 5, may 1989, pp. 722-734
- [3] "Electromagnetic Theory", J.A. Stratton, McGraw-Hill, New York, 1941
- [4] "Radar Cross Section", E.F. Knot et al., Artech House, Inc. 1985
- [5] "Computer Graphics for Engineers", B.R. Dewey, Harper & Row Inc., 1988

P.O. RCS of missile (length = 1 m, f = 12 GHz)

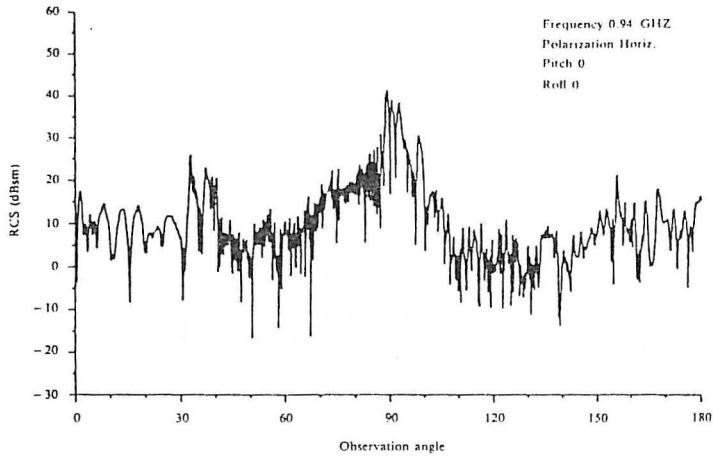


RECOTA predictions and measured RCS for generic missile. Frequency 12 GHz, pitch 0° , roll = 0° , vertical polarization.

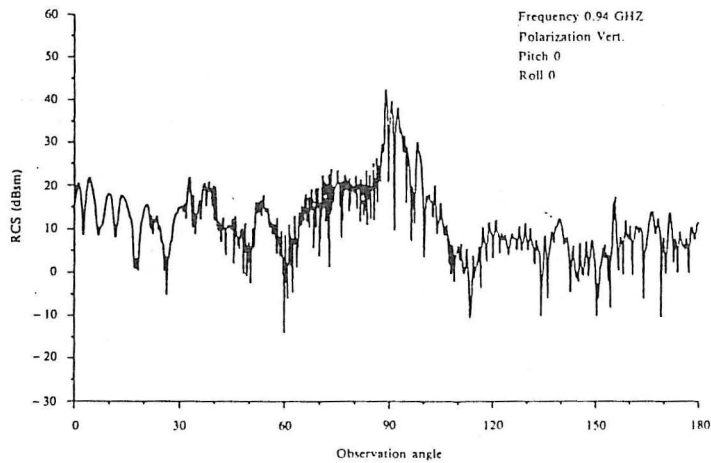
figura 1



THE 727-100C



Boeing 727-100C monostatic full-scale RCS (measured) for horizontal polarization at 0.94 GHz.



Boeing 727-100C monostatic full-scale RCS (measured) for vertical polarization at 0.94 GHz.