

基于物理光学方法二面角反射器 一维距离像特征信号计算*

韩明华 袁乃昌

(国防科技大学电子工程学院 长沙 410073)

摘要 二面角是众多雷达目标中的典型散射结构,是典型的二次散射体,其特征的识别对于复杂目标的识别具有重要的意义。本文中首先在频域内应用 PO 光学计算方法得到二面角的散射信号,通过 IFT 变换得到时域散射信号。采用幅度调制信号与目标的时域散射信号进行卷积,即得到目标的距离像。

关键词 物理光学, 散射截面, 二面角反射器, 一维距离像

分类号 TN953

Physical Optics Approximation to the Range Profile Signature of a Dihedral Corner Reflector

Han Minghua Yuan Naichang

(Institute of Electronic Engineer, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract Dihedral corner reflector is an important geometry because it is a basic canonical shape that exhibits a double-bounce phenomenon. The Inverse Fourier transform is used in conjunction with the frequency-domain description to obtain a high-frequency analytical approximation to the impulse response of the dihedral reflector. An amplitude modulated (AM) pulse is convolved with the impulse response of the target to yield the range profile signature.

Key words physical optics, radar cross section, dihedral corner, range profile

雷达目标特征信号用于目标识别始于 20 世纪 50 年代, D. K. Barton 从雷达回波中发现前苏联卫星 SputnikII 的信号中有角反射器的周期分量, Barton 的推断标志着目标识别进入一个新阶段。雷达目标的一维距离像特征信号是目标的一维径向像,是目标径向散射中心的一维映射,在不同的观测方位,散射中心的分布体现在目标的回波中。通过与目标库中的模板进行匹配,达到识别的目的。该特征已经用于目标识别中,如毫米波精确制导,并取得了良好的效果^[1-5]。

二面角反射器是一种典型的散射结构,存在较强的二次散射,许多复杂目标均含有此类部件,如飞机的垂直尾翼与水平尾翼构成的二面角,舰船的船舷与海面构成的二面角,路边路标与地面之间,因此研究二面角的散射特性具有重要的军事意义。从 RCS 缩减出发,已给出了频域的结果^[6]。本文从物理光学频域结果出发,得到二面角的系统响应。通过与一定带宽的入射波相卷积,直接得到目标的时域响应,即目标的一维距离像。该方法简洁而有效,结果表明它与目标的实际结构吻合很好。

1 二面角散射频域公式

角反射器的结构如图 1 所示,在 x, y, z 方向尺寸分别为 L_x, L_y, L_z 。在文献[6]中, Knott 给出了考虑二次反射情况下的二面角的物理光学场。

假设发射和接收天线位于 $x-y$ 平面内,方位角 $0^\circ < \phi < 90^\circ$; 则二面角的单站散射总场可以表示为

$$E_{\text{tot}} = E_1 + E_2 + E_{12} + E_{21} \quad (1)$$

其中: E_1 表示平板 1 的一次散射场; E_2 表示平板 2 的一次散射场; E_{12} 表示平板 1 镜面反射到平板 2 的二次散射场; E_{21} 表示平板 2 镜面反射到平板 1 的二次散射场。

* 国家部委基金资助项目
1999年3月1日收稿
第一作者: 韩明华,男,1974年生,硕士生

场分量分别表示如下:

$$E_1 = \frac{-jkE_0}{2\pi r} e^{-jkr} L_x L_y e^{jkL_x \cos\phi} \frac{\sin[kL_x \cos\phi]}{kL_x \cos\phi} \sin\phi \quad (2)$$

$$E_2 = \frac{-jkE_0}{2\pi r} e^{-jkr} L_y L_z e^{jkL_y \sin\phi} \frac{\sin[kL_y \sin\phi]}{kL_y \sin\phi} \cos\phi \quad (3)$$

$$E_{12} = \frac{jkE_0}{2\pi r} e^{-jkr} \Delta_y L_z \cos\phi \quad (4)$$

$$E_{21} = \frac{jkE_0}{2\pi r} e^{-jkr} \Delta_x L_z \sin\phi \quad (5)$$

$$\text{其中 } \Delta_x = \min(L_y, L_x \tan\phi), \quad \Delta_y = \min(L_x, L_y \cot\phi) \quad (6)$$

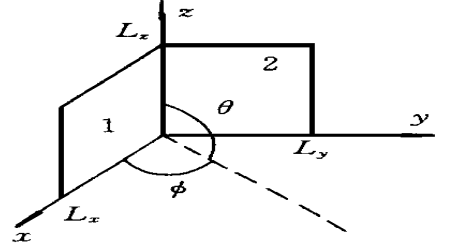


图1 二面角示意图

Fig.1 Sketch map of dihedral corner reflector

2 二面角一维距离像计算

30年前, Kennaugh 和 Moffatt 在其经典的瞬态场散射论文中给出了平板的瞬态散射时域场解析表达式^[7]。通过对(2)(3)式进行逆富里叶变换, 得到一次散射场的冲激响应:

$$E_1(t) = \frac{-E_0}{4\pi r} L_x \tan\phi [\delta(t + 2L_x \cos\phi c - r/c) - \delta(t - r/c)] \quad (7)$$

同样可求出二次反射场的冲激响应:

$$E_2(t) = \frac{-E_0}{4\pi r} L_z \cot\phi [\delta(t + 2L_y \sin\phi c - r/c) - \delta(t - r/c)] \quad (8)$$

$$E_{12}(t) = \frac{E_0}{2\pi r c} \Delta_y L_z \cos\phi \delta(t - r/c) \quad (9)$$

$$E_{21}(t) = \frac{E_0}{2\pi r c} \Delta_x L_z \sin\phi \delta(t - r/c) \quad (10)$$

上面给出了二面角反射器的系统冲激响应, 这是离散的幅度不等的冲激群。实际信号都有一定的带宽, 在此可以通过将拥有一定带宽的时域信号与二面角反射器的系统响应相卷积, 得到目标的一维距离像。幅度调制信号为

$$S(t) = \frac{AB}{\pi} \frac{\sin(Bt)}{Bt} \cos(\omega t) \quad (11)$$

式中的参数 ω 为调制载波频率, B 为调制信号的带宽, A 为比例因子, 保证满足关系式 $A \times B = \pi$ 。该信号的频域特征为将入射信号式(11)与脉冲响应进行卷积, 得到总场的时域散射信号:

$$E^{tot}(t) = S(t) * (E_1(t) + E_2(t) + E_{12}(t) + E_{21}(t)) \quad (12)$$

结果 r/c 时间延迟后后向散射场可以表示为

$$E^{tot}(t) = a(t) \cos(\omega t) + b(t) \sin(\omega t) \quad (13)$$

只要 $a(t)$ 和 $b(t)$ 与 $\cos(\omega t)$ 相比变化较慢, 则散射场可以另写为

$$E^{tot}(t) = R(t) \cos(\omega t - \psi(t)) \quad (14)$$

式中 $R(t)$ 为回波的包络, 即为角反射器一维距离像, 表示为

$$R(t) = \sqrt{a^2(t) + b^2(t)} \quad (15)$$

式中 $a(t)$, $b(t)$ 表示如下

$$a(t) = a^{2b}(t) + a^{1b}(t) + a^{2^b}(t) \quad (16)$$

$$b(t) = b^{2b}(t) + b^{1b}(t) + b^{2^b}(t) \quad (17)$$

二次反射对距离像的贡献通过将式(3)、(4)与入射信号式(11)进行卷积得到

$$a^{2b}(t) = \frac{-L_x}{2\pi r} [\delta_y \cos\phi + \delta_x \sin\phi] \frac{AB^2}{\pi} \frac{Bt \cos(Bt) - \sin(Bt)}{(Bt)^2} \quad (18)$$

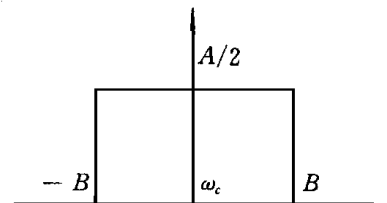


图2 入射信号频谱

Fig.2 Spectrum of incident signal

$$b^{2b}(t) = \frac{L_z \omega}{2\pi r c} [\delta_y \cos \phi + \delta_x \sin \phi] \frac{AB^2}{\pi} \frac{\sin(Bt)}{(Bt)} \tag{19}$$

式(2)与入射信号式(11)进行卷积得到平板1的一次反射对距离像特征信号的贡献

$$a_1^{1b}(t) = \frac{-L_z AB}{4\pi r} \tan \phi \left\{ \frac{\sin(B(t+t_1))}{B(t+t_1)} \cos(\omega t_1) - \frac{\sin(Bt)}{Bt} \right\} \tag{20}$$

$$b_1^{1b}(t) = \frac{L_z AB}{4\pi r} \cot \phi \frac{\sin(B(t+t_1))}{B(t+t_1)} \sin(\omega t_1) \tag{21}$$

式中 $t_1 = 2L_x \cos \phi c$, 同理得到平板2的一次散射对距离像特征信号的贡献

$$a_2^{1b}(t) = \frac{-L_z AB}{4\pi r} \cot \phi \left\{ \frac{\sin(B(t+t_2))}{B(t+t_2)} \cos(\omega t_2) - \frac{\sin(Bt)}{Bt} \right\} \tag{20}$$

$$b_2^{1b}(t) = \frac{L_z AB}{4\pi r} \cot \phi \frac{\sin(B(t+t_2))}{B(t+t_2)} \sin(\omega t_2) \tag{21}$$

式中 $t_2 = 2L_y \sin \phi c$.

3 仿真结果

为了说明上述分析公式的可靠性,给出了具体的数值仿真实例。本文中给出了毫米波段二面角反射器的一维距离像。本文中研究的目标如图1所示,目标尺寸为 $L_x = L_y = L_z = 24\text{cm}$ 。入射信号的带宽为4GHz,载波频率 $\omega = 34\text{GHz}$ 。

图3中给出了入射角度 $\phi = 30^\circ$ 时为二面角的一维距离像。由直观的几何光学分析可知,该目标的三个散射中心的径向距离分别为 $-L_x \cos \phi = -20.78\text{cm}$, $-L_y \sin \phi = -12.0\text{cm}$, $L_z = 0$ 。数值仿真所得结果分别为 -21.3cm , -11.6cm , 0cm ,两者之间的误差分别为2.53%,2.50%。由此可见,通过本文提出的时域瞬态散射场公式仿真得到的目标一维距离像与实物几何结构吻合较好,说明了本文提出方法的正确性与可靠性。

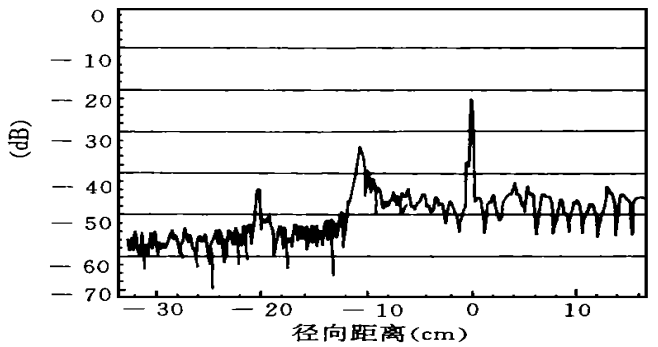


图3 二面角的一维距离像

Fig. 3 Range profile of dihedral corner reflector

4 结论

本文推导了二面角反射器的时域响应公式,通过与入射调制信号时域卷积得到目标的一维距离像。数值结果说明了该方法的正确性。该方法可以用来计算二面角反射器的时域特征信号,用于冲击雷达目标成像算法的研究。

参考文献

- 1 Mensa D L. High Resolution Imaging Radar. Norwood. MA: Artech House. 1981
- 2 Li H J, Yang S H. Using range profiles as feature vectors to identify aerospace objects. IEEE Trans. AP., Mar. 1993, 41: 261 ~ 268
- 3 何松华. 目标一维距离结构成像技术及计算机仿真研究, 系统工程与电子技术, 1993, (1)
- 4 Mohamed N J. Target signature using nonsinusoidal radar signals. IEEE trans. EM C., Nov. 1993, 35: 457 ~ 465
- 5 Mohamed N J. Target course recognition using nonsinusoidal look-down radar. IEEE trans. EMC., May. 1994, 36: 117 ~ 127
- 6 Knott E F. RCS reduction of dihedral corners. IEEE Trans. AP., May. 1977, AP- 25: 406 ~ 409
- 7 Kennaugh E M, Moffatt D L. Transient and impulse response approximations. in Proc. IEEE, Aug. 1965, 53: 893 ~ 901