

基于目标图形电磁计算的复杂模型棱边识别

张 君, 鞠智芹, 金凤杰, 崔 晶
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:为了克服传统方法存在的无法对所有棱边进行精确识别的弊端,采用了一种图形电磁计算与模型分析相结合的新型计算目标 RCS 的方法,从而改善了 RCS 计算的精度,算例结果表明该方法可行。

关键词:图形电磁计算;棱边识别;等效电磁流

中图分类号: TN823 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)06-0034-03

GRECO (Graphical Electromagnetic Computing)^[1]是一种快速计算目标 RCS (Radar Cross Section) 的新型方法。GRECO 利用计算机的硬件加速器可以自动完成消隐;通过读取计算机的深度缓存区中的信息,可以获得可视面上任一点的深度值;物体成像于计算机屏幕上,物体的可视面以屏幕像素为单位自动完成剖分;利用开放图形库 OpenGL (Open Graphical Library) 中的 API 函数中的光照函数设置合适的光照,通过读取计算机的颜色缓存区的数据,可以读出可视面上任一点的法向量;基于上述优点, GRECO 得到了很广泛的应用^[2]。

图形电磁计算虽然有诸多优点,但是,对于目标上存在的棱边是无法进行精确识别的。文献[1]中没有给出棱边识别的方法。为了精确计算目标雷达散射截面,对棱边进行精确的识别,并且获得其相关信息是很重要的^[3]。物理光学法通过对表面感应场的近似积分而求得散射场,但是,当散射方向偏离反射方向的角度太大时,仅考虑物理光学场是不准确的,并且,在棱边处产生了电流的不连续,这是物理光学法无法解决的问题^[4],所以,考虑利用棱边产生的散射场是非常必要的。基于此,本文提出一种与目标建模结合起来的方法。通过此方法,模型的所有的棱边都可精确的识别出来,并同时可获得用于计算绕射场棱边的相关信息。

1 理论基础

雷达散射截面的定义式为^[5]

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|E_r|^2}{|E_i|^2} \quad (1)$$

1.1 物理光学计算散射场

文献[2]中给出了在高频条件下,电场和磁场积分方程的近似公式。在空间中的任意位置的雷达接收站处的磁场强度为

$$H^s = jkH_0 \frac{e^{jkr}}{2\pi r} \int_S (\hat{n}' \times \hat{h}_i) \times \hat{k}^s e^{jk(\hat{k}^s - \hat{k}^i) \cdot r'} ds' \quad (2)$$

式中: r 是目标所在位置距接收站的距离; \hat{n}' 是物体表面的法向量; \hat{h}_i 是入射场磁场的方向; \hat{k}^s 是散射场方向的单位向量; \hat{k}^i 是入射场方向的单位向量。

1.2 绕射场的计算

收稿日期:2006-06-06

基金项目:国家“863”创新基金资助项目(2003AA005044)

作者简介:张 君(1983-),男,山东淄博人,博士生,主要从事图形电磁计算微波电路、天线研究。

本文利用文献[2]中给出的计算公式计算绕射场。

$$E_s^d = \frac{jkZ_0}{4\pi} \int_{\lambda} [\hat{R} \times \hat{R} \times \bar{I}_l(l') \hat{l}' + Y_0 \hat{R} \times \bar{M}_l(l') \hat{l}'] \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \quad (3)$$

$$H_s^d = \frac{jk}{4\pi} \int_{\lambda} [\hat{R} \times \bar{I}_l(l') \hat{l}' - Y_0 \hat{R} \times \bar{R} \times \bar{M}_l(l') \hat{l}'] \frac{e^{-jkR}}{R} dl' \quad (4)$$

式中

$$\bar{I}_l(Q) = \left(-\frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{8\pi}{k}} e^{-j\pi/4} \right) \frac{[\hat{e} \cdot E^i(Q)]}{\sqrt{\sin\beta_0 \sin\beta}} \bar{D}_s(\phi, \phi'; \beta_0, \beta) \quad (5)$$

$$\bar{M}_l(Q) = \left(-\frac{1}{Y_0} \sqrt{\frac{8\pi}{k}} e^{-j\pi/4} \right) \frac{[\hat{e} \cdot H^i(Q)]}{\sqrt{\sin\beta_0 \sin\beta}} \bar{D}_h(\phi, \phi'; \beta_0, \beta) \quad (6)$$

$$\bar{D}_{s,h}(\phi, \phi'; \beta_0, \beta) \equiv \frac{\sin\beta_0 D_{s,h}(\phi, \phi'; \beta_0)}{\sqrt{\sin\beta_0 \sin\beta}} \quad (7)$$

$$D_{s,h}(\phi, \phi'; \beta_0, \beta) = \frac{e^{-j\pi/4}}{\sqrt{2\pi k \sin\beta_0}} f \quad (8) \quad D_h(\phi, \phi_0; \beta_0) = \frac{e^{-j\pi/4}}{\sqrt{2\pi k \sin\beta_0}} g \quad (9)$$

$$f = \begin{cases} (X - Y) - (X_1 - Y_1) & 0 \leq \psi_i \leq \alpha - \pi \\ (X - Y) - (X_1 - Y_1) - (X_2 - Y_2) & \alpha - \pi \leq \psi_i \leq \pi \\ (X - Y) - (X_1 - Y_1) & \pi \leq \psi_i \leq \alpha \end{cases} \quad (10)$$

$$g = \begin{cases} (X + Y) - (X_1 + Y_1) & 0 \leq \psi_i \leq \alpha - \pi \\ (X + Y) - (X_1 + Y_1) - (X_2 + Y_2) & \alpha - \pi \leq \psi_i \leq \pi \\ (X + Y) - (X_1 + Y_1) & \pi \leq \psi_i \leq \alpha \end{cases} \quad (11)$$

$$X = \frac{(1/n) \sin(\pi/n)}{\cos(\pi/n) - \cos[(\psi_s - \psi_i)/n]} \quad (12) \quad Y = \frac{(1/n) \sin(\pi/n)}{\cos(\pi/n) - \cos[(\psi_s + \psi_i)/n]} \quad (13)$$

$$X_1 = -1/2 \tan[(\psi_s - \psi_i)/2] \quad (14) \quad X_1 = -1/2 \tan[(\psi_s - \psi_i)/2] \quad (15)$$

$$X_2 = -1/2 \tan[(\psi_s - \psi_i)/2] \quad (16) \quad X_2 = -1/2 \tan[\alpha - (\psi_s - \psi_i)/2] \quad (17)$$

β_0 为入射方向与棱边的夹角, β 为散射方向与棱边的夹角。 ψ_s, ψ_i 分别是入射平面和散射平面与组成棱边的两个平面之一所成的夹角。等效电磁流法是本文研究的重点,其中涉及到棱边的识别和棱边相关信息的获得。

2 棱边的识别及棱边详细信息的获得

利用等效电磁流法计算棱边散射场需要棱边的长度,组成棱边两个面的法向量,棱边的内劈角,棱边在绝对坐标系下的表达式等。很明显,仅仅利用光照是无法得到这么多信息的^[6-8]。本文采用的模型是基于AutoCAD建模生成的,并且通过输出文件的转换,最终输出3ds文件。本文设计软件可以读取模型的相关信息,并存储在内存中。由于这些信息是索引值而不是实际对应的向量值,所以可以节约大量的内存空间。软件进行棱边识别的步骤为:①设组成此模型的面共有 n 个,选定基准面,设此基准面的索引值是 i ,遍历 $i+1$ 到 n 的其他的面;②如果面 i 与索引值 $i+1$ 到 n 的面有两个共用的顶点,则记录此两个面的所有信息;③设定一个角度阈值 α ,对刚记录的两个面的所有信息进行操作,如果所得棱边的内劈角与 π 的差值小于此阈值则认为不存在棱边,如果内劈角大于此阈值则认为存在棱边,记录此棱边的索引值,并记录与棱边相关的面的所有信息及内劈角的值;④选定下一个基准面,重复同样的步骤。利用本文软件生成的棱边模型如图1所示。

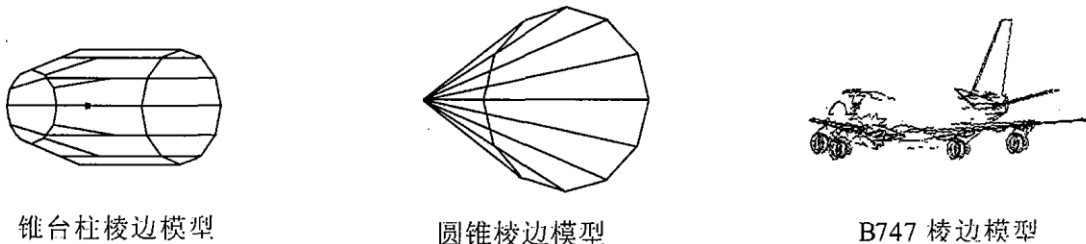


图1 目标的棱边模型

为了清楚的显示本文设计软件的准确性, 阈值取得较大, 所以棱台柱及圆锥的两个面之间的所有棱边都显示出来。通过选取合适的阈值并且精确的建模, 所有能产生噪声的棱边都可以剔除。

3 计算结果

算例 1: 圆柱半径 0.1 m, 长 1 m, 用 AutoCAD 建造的模型, 入射频率为 1.5 GHz, 90° 对应端面, 计算结果如图 2 所示。

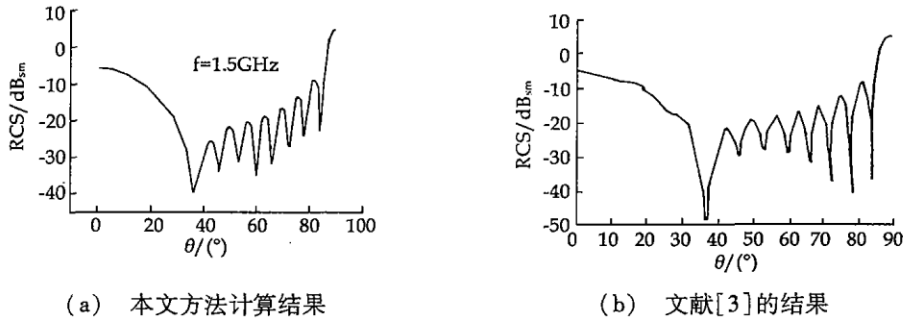


图 2 圆柱的计算结果

从上面两个计算结果的比较中可以看出, 利用本文方法计算的结果与文献给出的结果吻合很好。

算例 2: 尖锥 - 圆柱体的圆柱半径 8.03 cm, 圆柱段长 26.7 cm, 锥角 $11^\circ 8'$, 入射频率为 5.975 GHz, 方向为 z 轴正向, 计算结果如图 3 所示。

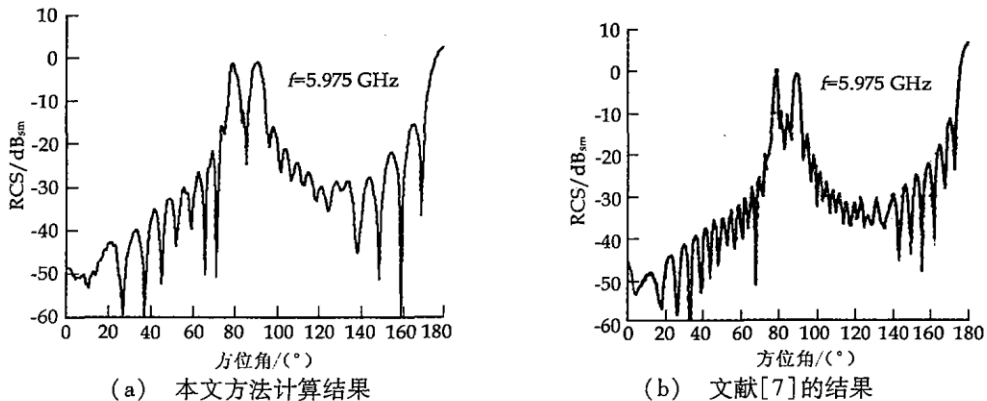


图 3 尖锥 - 圆柱体的计算结果

两个计算结果比较一致, 从而, 证明此方法的可行性。

4 结论

本文提出的方法是计算机图形电磁计算与物体建模相结合的新型方法, 对物体的平滑面部分实行经典的单站图形电磁计算的方法, 此方法的正确性已经在很多文献中都给予了详细的描述; 对于模型中的不连续部分, 本文采用了基于模型信息的识别不连续部分的方法, 计算实例证明本文方法是可行的。由于对棱边的识别要连续对不同的面进行遍历, 有必要对棱边识别的加速技术做进一步的研究。

参考文献:

- [1] Juan M, Rius, Miguel Ferrando, et al.: High - Frequency RCS of Complex Radar Targets in Real - Time[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1993, 41(9): 1308 - 1319.
- [2] 张君, 鞠智芹. 一种直接计算目标双站 RCS 的图形电磁计算方法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(1): 69 - 72.
- [3] 严靖峰, 徐鹏根. RCS 预估中图形电磁学方法的改进[J]. 电波科学学报, 1998, 13(3): 313 - 317.
- [4] Jin J M, Ni S S, Lee S W. Hybridization of SBR and FEM for Scattering by Large Bodies with Cracks and Cavities[J]. IEEE Trans. On AP, 1995, 43(10): 1130 - 1139.

(下转第 63 页)

系化测评体系,计算分析表明,建立的测评体系符合实际,对于防空武器装备体系化建设,具有较强的现实意义,对于其它兵种武器装备体系化评估,也具有一定参考价值^[7,8]。

参考文献:

- [1] 防空兵指挥学院. 防空兵作战效能分析与计算[M]. 北京:军事科学出版社,2005.
- [2] 储婷婷,田建锋. 基于系统动力学的防空装备体系化模型[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2007,8(5):41-42.
- [3] 郝强,孔健. 防空兵武器装备信息化程度测评体系研究[J]. 指挥控制与仿真,2006,28(5):6-11.
- [4] 徐学文,王寿云. 现代作战模拟[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [5] 韩俊杰,李为民. 多通道防空导弹武器系统作战效能分析的排队模型研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2005,6(3):20-22.
- [6] 朱雪平. 防空武器和空袭兵器作战效能标准化研究[J]. 现代防空,2005,7(1):102-104.
- [7] 朱荣昌. 初议体系对抗和装备体系化建设[J]. 世界空军装备,2006,2(1):6-11.
- [8] 李永华,申之明. 武器装备体系研究的方法论[J]. 军事运筹与系统工程,2004,18(1):17-19.

(编辑:田新华)

The System Evaluation of Weapon Equipment for Air - Defence

HU Xu - jie, ZHANG Zhi - feng, CHENG Zhi - feng

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: Linking the practical deployment of the air force with the requirement of informationization of the air - defence weapons, this paper presents the evaluation index set, and builds an evaluation model with power exponent and linear weight. The model reflects the reality of the weapon informationization of the brigade, and the computation result verifies its correctness and feasibility.

Key words: weapon equipment for air - defence; system; system evaluation

(上接第36页)

- [5] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [6] Richard S Wright, Benjamin Lipchak Jr. OpenGL 超宝典(第三版)[M]. 徐波,译. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [7] 李建周. 复杂目标一体化电磁散射计算与优化研究[J]. 西安:西北工业大学,2005.
- [8] 宋昭海,高频,黄卫红. 采样数据含高频有色噪声的连续模型辨识[J]. 海军航空工程学院学报,2007,22(1):145-147.

(编辑:田新华)

The Research of Identifying Edge Based on Graphical Electromagnetic Computing

ZHANG Jun, JU Zhi - qin, JIN Feng - jie, CUI Jing

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: A new method of computing RCS of targets is presented, based on combining the Graphical Electromagnetic Computing with model analysis together, to overcome the disadvantage of the traditional method by which not all the edges of the model can be identified accurately. By using this method, the accuracy of RCS is improved.

Key words: graphical electromagnetic computing; edge identifying; equivalent electromagnetic current