

一种增加图形电磁计算通用性的新方法

张君¹, 鞠智芹¹, 王晓莉², 崔晶¹

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军装备研究院, 北京 100086)

摘要:采用了一种增强图形电磁计算通用性的新方法,克服了传统的图形电磁计算中要根据实际目标的尺寸不断调整可视空间尺寸的弊端,从而在视口中完全显示物体和对物体完成尽可能细密剖分的目的,大大增强了软件的通用性。计算结果表明,本文方法计算结果与文献[10]结果一致,证明本文方法的可行性。

关键词:图形电磁计算; 物理光学法; 等效电磁流法; 归一化

中图分类号: TN823 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2008)01-0030-03

GRECO(Graphical Electromagnetic Computing)是一种新型的计算目标雷达散射截面最有效、最方便的方法之一^[1-5]。GRECO方法具有很多的优点^[6],GRECO是与OpenGL结合的计算方法,在OpenGL中设置的裁剪区域是实际空间中可以显示在屏幕上的区域^[7],它一般是固定的,一旦可视区域一定,可见空间也相应的确定下来。如果可视区域设置较小,在屏幕上仅能看到一部分物体;反之则使小目标的计算精度大打折扣。为了获得物体的利用GRECO计算目标RCS的通用性,本文提出了一种新方法,较好地解决了上述问题。

1 理论基础

本文计算雷达散射截面时,利用定义式^[8-9]

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

采用物理光学法和等效电磁流法求出观察点处的总场。之后,根据发射站和接收站的极化情况求得接收站接收的场强。

1.1 物理光学法

利用Maxwell方程组可得到电场积分方程和磁场积分方程求得观察点处的电场和磁场为

$$E_s(r) = - \int_s [(\hat{n} \times E) \times \nabla' \phi_0 - j\mu(\hat{n}' \times H)\phi_0 + (\hat{n}' \cdot E) \nabla' \phi_0] ds' \quad (2)$$

$$H_s(r) = - \int_s [(\hat{n} \times H) \times \nabla' \phi_0 + j\mu(\hat{n}' \times E)\phi_0 + (\hat{n}' \cdot H) \nabla' \phi_0] ds' \quad (3)$$

在高频条件下,电场积分方程和磁场积分方程可近似。在空间中的任意位置的雷达接收站处的磁场强度为

$$H^s = jkH_0 \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \int_s (\hat{n}' \times \hat{h}_i) \times \hat{k}^s e^{jk(\hat{k}^s - \hat{k}^i) \cdot r'} ds' \quad (4)$$

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}' 是入射场磁场的方向; \hat{k}^s 是场散射方向的单位向量; \hat{k}^i 是场入射方向的单位向量。

1.2 等效电磁流法

收稿日期:2006-06-13

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,天线及微波电路研究. E-mail: zhangJunPengLiying@126.com

等效电磁流就是把二维劈分别用等效的二维线电流源或磁流源代替,计算公式为

$$E^d = -jk\psi_0 \int [Z_0 I^e \hat{s} \times (\hat{s} \times \hat{t}) + I^m (\hat{s} \times \hat{t})] e^{jkr \cdot \hat{s}} dt \quad (5)$$

$$H^d = -jk\psi_0 \int [I^e (\hat{s} \times \hat{t}) - Y_0 I^m \hat{s} \times (\hat{s} \times \hat{t})] e^{jkr \cdot \hat{s}} dt \quad (6)$$

式中: ψ_0 是自由空间的远场格林函数; \hat{t} 是劈边上任意一点的切向单位矢量; r 是微元 dt 的位置矢量; Z_0 为自由空间波阻抗; I^e 和 I^m 分别为等效电流和等效磁流,由绕射系数和入射电磁场确定。

2 缩放因子的引入

图 1 说明了缩放因子引入的必要性。设置的可视空间是固定不变的,屏幕的像素设置是 $1\,024 \times 768$ 。

当物体很大时,在屏幕上仅能显示物体的一部分,所以对物体进行剖分不全,从而限制了 GRECO 方法的应用;当物体很小时,对物体的剖分很稀疏,影响积分结果的精度;当物体归一化之后,物体尽可能大的显示在屏幕上,即限制了大物体超出屏幕的情况,又避免了较小物体在屏幕中很小显示、剖分不是很精密的问题,充分利用了计算机硬件自动完成剖分的功能。

GRECO 的自动剖分功能是以像素为剖分单元的。当物体剖分越密时,积分结果越精确,所以,使物体最大的呈现在屏幕上才可对物体进行最密剖分。本文采用的模型是用 AutoCAD 建模生成的,通过本文软件,模型的所有顶点的坐标及对应的索引值、所有面对应顶点的索引值和面的索引值、面的法向量的值、棱边对应顶点的索引值、棱边对应的两个面法向量的值、棱边内劈角的值可以读出来。所以,物体对应的所有顶点位置矢量模的最大值可知。以此值为基础对模型对应的所有顶点坐标进行归一化处理,则此物体可以最大的呈现在屏幕上,完成对物体的最密剖分。表 1 列出了以积分单元像素为对象引入缩放因子 k 前后相应量的改变。

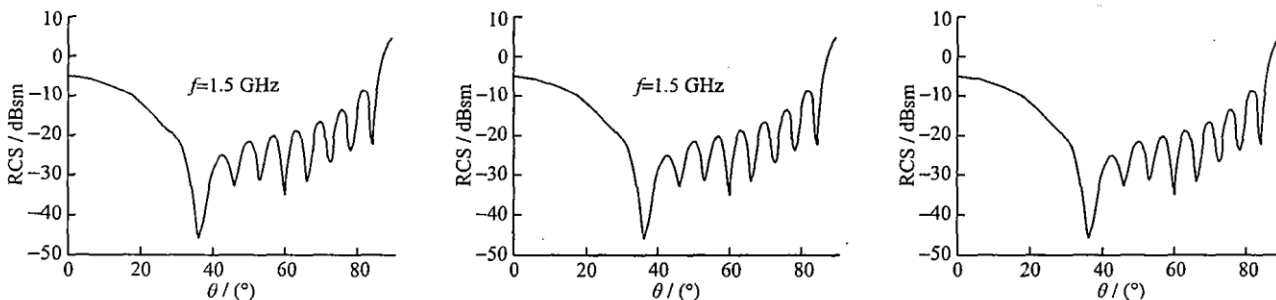
表 1 物理光学积分式像素单元中对应量的改变情况

Tab. 1 Changing of part corresponding pixel element in the integral formula of PO

	引入缩放因子前	引入缩放因子后
实际坐标矢量	(x, y, z)	(kx, ky, kz)
对应的法向量	(nx, ny, nz)	(nx, ny, nz)
对应磁场矢量	(hx, hy, hz)	(hx, hy, hz)
积分面积	ds	$k^2 ds$

3 计算结果

算例 1:圆柱。圆柱半径 0.1 m,长 1 m,入射频率为 1.5 GHz,对应圆柱端面,计算结果如图 2 所示。



(a) 使用缩放因子

(b) 未用缩放因子

(c) 文献[10]结果

图 2 圆柱的计算结果

Fig. 2 Computing result of cylinder

从以上 3 个结果的比较可以看出,引入缩放因子后结果和未引入缩放因子以及文献给出的结果是相当

吻合的,证明引入缩放因子是可行的。

算例2:尖锥-圆柱体。模型用 AutoCAD 建模,圆柱半径是 8.03 cm,圆柱段长是 26.7 cm,锥半角是 $11^{\circ}18'$,入射频率是 5.975 GHz,方向为 z 轴正向,计算结果如图 3 所示。

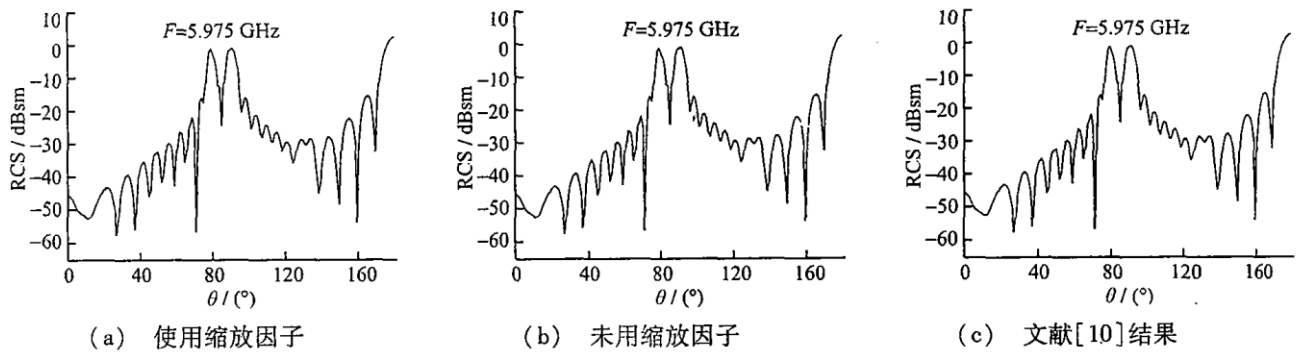


图3 尖锥-圆柱体的计算结果

Fig. 3 Computing result of awl - cylinder

由图 3 可知 3 个结果比较吻合,引入缩放因子在精度上是满足要求的。

4 结论

本文提出的方法大大增加了图形电磁计算的通用性,方便了软件的应用者,并且计算结果满足工程要求,与文献提供的结果相吻合。本文方法还有待于进一步改进,可以通过对物体进行分割的方法,使得物体分块呈现在屏幕上,从而,完成对物体更细密的剖分。本文方法对于引入大规模并行散射计算,对于引入一体化设计与优化等具有一定的意义。

参考文献:

- [1] Rius Juan M, Miguel Ferrando. High - Frequency RCS of Complex Radar Targets in Real - Time[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1993, 41(9): 1308 - 1319.
- [2] 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, 1995, 43(10): 1130 - 1139.
- [3] Velampasambll S, Chew W C, Song J M. Million Unknowe: Is It That Big[J]. IEEE Antena Propagat Mag, 2003, 45(2): 43 - 58.
- [4] Wu Fang, Zhang Yaojiang. Parallel Fast Algorithm for Large - scale Electromagnetic Scattering[J]. IEEE Proceedings of Seventh International Conference on High Performance Computing and Grid in Asia Pacific Region (HPCAsia 04), 2004: 188 - 194.
- [5] Andersh D, Moore J. XPATCH4: the Next Generation in High Frequenay Electromagnetic Modeling and Simulation Software [J]. IEEE International Radar Conference. 2000: 844 - 849.
- [6] 张 君, 鞠智芹, 金凤杰, 等. 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.
ZHANG Jun, JU Zhiqin, JIN Fengjie, et al. A Method of Computing the Bistatic RCS of Targets Directly by Using Graphical Electromagnetic Computing Method[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(1): 69 - 72. (in Chinese)
- [7] Wright Richard S. Benjamin Lipchak Jr. Open GL Super Bible[M]. New York: Sam Publishing, 2005.
- [8] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
RUAN yingzheng. Radar Section and Stealthy Technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998. (in Chinese)
- [9] Bowman J C. Metods for Rapid Computation of RCS in Airaraft Design[J]. National Aerospace and Electronics Conferen IEEE Proc, 2000: 118 - 125.
- [10] Turner S D. RESPECT: Rapid Electromagnetic Scattering Prediction for Extremely Complex Targets[J]. IEE Proc. 1990, 137(4): 214 - 220.

(编辑: 田新华)

(下转第 45 页)

- CUI Xiaobao. Introduction Aviation Force Battle Simulation[M]. Beijing: Lan Tian Press, 2001. (in Chinese)
- [5] (俄) 萨布林. 侦察 - 打击一体化系统和雷达对地观测系统[M]. 吴飞, 译. 北京: 国防工业出版社, 2005.
Sabulin. Reconnaissance - attack System and Radar Surveillance to Ground System[M]. WU Fei, Translate. Beijing: National Defense Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [6] 武文军. 美军空袭作战研究[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.
WU Wenjun. Research on US Raid [M]. Beijing: Military Science Press, 2005. (in Chinese)
- [7] Mahnken, Thomas G. The American Way of War in the Twenty - First Century [J]. Review of International Affairs, 2003, 3 (2): 97 - 103.
- [8] 陈治亚. 巴尔姆流在交通运输中的应用[J]. 铁道学院学报, 2000, 18(4): 26 - 33.
CHEN Zhiya. Application of Palm Flow in Transportation[J]. Journal of Changsha Railway University, 2000, 18(4): 26 - 33. (in Chinese)
- [9] Darilek R, Perry W, Bracken J, et al. Ni - chiporuk, Measures of Effectiveness for the Information - Age Army[R]. MK - 1155 - A Santa Monica, Calif: RAND Corporation, 2001.
- [10] 王剑飞. 美军航母战斗群空袭火力及其效能分析[J]. 火力指挥与控制, 2006, 31(6): 23 - 30.
WANG Jianfei. Analysis on Effectiveness of Airforce Firepower of US Carrier Battle Group[J]. Fire Control and Command Control, 2006, 31(6): 23 - 30. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

The Analysis of Time Characteristic of Air - raid Target Stream for Air - defence

GAO Shan, LI Xiao - jun, CHEN Jie - sheng

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

Abstract: On the basis of analysing the characteristic of Air - raid target stream, a conclusion is reached that the Air - raid stream can be taken as flow - Palm in research. For the different air - raid modes, relevant models about the interval distributing of air - raid formation are introduced. That provides the basis for quantitative analysis of the air defence deployment and simulation.

Key words: air - raid target stream; time characteristic; flow - Palm

(上接第 32 页)

A New Method of Increasing the Versatility of the Graphical Electromagnetic Computation

ZHANG Jun¹, JU Zhi - qin¹, WANG Xiao - li², CUI Jing¹

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Radar and Electric Antagonize Department, Air Force Equipment Research Institute, Beijing 100086, China)

Abstract: A new method of increasing the versatility of the Graphical Computing Method is presented. The disadvantage of changing the size of the viewing volume according to the size of the targets is overcome, the aim that the targets can be shown in the view port absolutely and divided as small as possible is realized, and the versatility of the software is improved. The computation result by using the method presented in this thesis is consistent with the result in the literature, which shows that the method presented in this thesis is feasible.

Key words: graphical electromagnetic computing; physical optics; equivalent current method; normalization