

文章编号: 1000-6893(2004)03-0297-03

# 雷达散射截面图形算法加速技巧

李建周, 毛继志, 许家栋

(西北工业大学 电子工程系, 陕西 西安 710072)

The Techniques to Accelerate the Method of Graphical Electromagnetic Computing

LI Jianzhou, MAO Jizhi, XU Jiadong

(Department of Electronic Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**摘要:** 为快速预估飞行器类复杂目标雷达截面, 从 RCS 图形算法计算公式出发, 总结提出了针对该算法的 3 个加速技巧。测试结果表明, 综合使用这些技巧最多可以将图形算法运算速度提高到原来的 4 倍左右, 因而具有较好的工程实用价值。

**关键词:** 电磁散射; 雷达散射截面(RCS); 复杂目标; 图形算法(GRECO); 加速

**中图分类号:** V243 **文献标识码:** A

**Abstract** Three accelerating techniques are summarized to the method of graphical electromagnetic computing (GRECO) from the corresponding formula for fast radar cross section evaluation of aircraft-like complex objects. Tested result is presented, which demonstrates remarkable speed up to 4 times of the old method and promising application value in engineering.

**Key words:** electromagnetic scattering; radar cross section (RCS); complex target; graphical electromagnetic computing (GRECO); speedup

现代飞行器类目标设计中对目标隐身性能的要求越来越高, 这对快速预估目标雷达散射截面(RCS)提出了更高的要求。目前有很多计算这类复杂目标 RCS 的方法, 其中的图形算法(GRECO)自从 J. M. Rius 等人<sup>[1]</sup>提出以来, 得到了很大关注<sup>[2]</sup>, 针对该算法的研究工作也开展了很多<sup>[3~5]</sup>, 取得了不少有价值的成果。该方法已经成为计算飞行器类复杂目标 RCS 的有效方法之一。但是图形算法需要进行多次光照和其它一些较复杂的运算, 因此还有必要寻求进一步加速的方法, 简化处理过程, 更好地满足快速、实用预估要求。本文从图形算法的计算公式入手, 总结提出了 3 个加速技巧, 可以明显加快图形算法的计算速度, 缩短运算时间, 具有较好的工程实用价值。

## 1 图形算法计算公式

按照物理光学(PO)法, 理想导体表面的单站 RCS 可以表示为

$$R = \frac{4P}{K^2} \left| \int_{\text{可见像素}} \cos^m \theta \text{Hinc}(kl \tan \theta) e^{2jkz} ds \right|^2 \quad (1)$$

其中:  $\theta$  为表面法矢与入射波方向之间的夹角;  $z$  为小面元  $ds$  到观察点之间的距离在入射方向上的投影。按像素进行离散化计算, 并考虑掠入射

的影响, 将式(1)修正为<sup>[1]</sup>

$$R = \frac{4P}{K^2} \left| \int_{\text{可见像素}} \cos^m \theta \text{Hinc}(kl \tan \theta) e^{2jkz} ds \right|^2 \\ = \frac{4P}{K^2} \left| \int_{\text{可见像素}} f(\theta, \theta) e^{2jkz} ds \right|^2 \quad (2)$$

其中:  $f(\theta, \theta) = \cos^m \theta \text{Hinc}(kl \tan \theta)$ 。

按照图形算法, 积分面元对应于屏幕上的可见像素, 位置坐标可由像素位置及 Z2Buffer 获得, 法矢量通过光照获得<sup>[1]</sup>。为了获得正确的法矢分量, 必须从正的坐标轴方向和负的坐标轴方向对目标分别进行两次光照。将红、绿、蓝三种单色光源分别置于  $x, y, z$  坐标的正半轴上进行光照, 可得到目标照明表面正的法矢分量; 将红色和绿色光源分别置于  $x$  和  $y$  坐标的负半轴上进行光照, 并规定这次光照所得到的非零颜色值为负值, 可得到负的法矢分量。综合两次光照所得到的颜色值, 即可得到照明面正确的法矢分量。

## 2 图形算法加速技巧

可视化计算的运算速度受到多种因素的影响。分析这些因素, 并采取相应的措施, 可以有效地加快运算速度, 提高 RCS 预估效率。以下主要针对式(2)探讨可视化计算的 3 个加速技巧, 即单次光照技巧、颜色值索引列表和 Z2Buffer 索引列表。其中颜色值索引列表和 Z2Buffer 索引列表

已经在文献[1]中有所提及,为了便于综合使用和对比性能,在此一并列出。

(1) 单次光照技巧

从式(2)可以看出, cosH 和 sinc 函数只依赖于角度 H 而 H 是与目标表面法矢惟一相关的量。当单站雷达位于 z 轴正向时,目标表面法矢与入射波之间的夹角 H 存在关系式  $n_z = \cos H$  按照上节所述的光照方法可知,蓝色光强对应于 z 向法矢分量,即  $I_B = n_z$ ,因而得到

$$I_B = n_z = \cos H \quad (3)$$

这说明只要知道蓝色光分量就可以进行 PO 场的计算。因此可以只用位于 z 轴正向的单一蓝色光源进行光照而省去其它光源,同时由于  $I_B$  的求取与上节所述的第 2 次光照无关,因此整个第 2 次光照都可以省去。这样,在计算时只需用位于单站雷达位置的蓝色光源进行一次光照即可进行后续计算,节省了 4 个光源两次光照所需的大量光照计算时间。

采用一次光照的另一个好处是节省内存,简化了处理过程。若要进行 2 次光照,需要对两次光照后所得到的颜色分量值分别进行存储和处理,以获得正确的表面法矢分量,这需要更多的内存开销和较复杂的处理。只进行一次光照,则仅需较小的内存和简单的处理即可。

(2) 颜色值索引列表

当式(2)中的参数 m 恒定时,颜色分量  $I_B$ 、角度 H 以及式(2)中的项  $f(m, H)$  之间存在一一对应关系。颜色值取 0~ 255 之间的整数,一个颜色值对应一个  $f(m, H)$  值。因此可以将对应于颜色值 0~ 255 的  $f(m, H)$  值事先计算出来,保存在一个 256 个元素的一维数组中,在计算 RCS 时,只需根据颜色缓冲区中读取的颜色值,从该数组中直接索引出  $f(m, H)$  值,从而节省计算时间。尤其当需要重复计算时,所存储的值可以反复使用。

(3) Z2buffer 索引列表

类似于颜色值索引列表, z 坐标和相位项  $e^{2jkz}$  的值一一对应。对于 16 位 Z2buffer,可以事先将每个 z 坐标值所对应的  $e^{2jkz}$  的值计算出来,保存在一个 65536 个元素的一维数组中,计算时按照 Z2Buffer 中读出的 z 坐标索引得出相应的  $e^{2jkz}$ ,也可加快计算速度。

使用上述 2 种索引方法后,计算每个像素的物理光学积分时,只需进行 2 个浮点数的乘法和加法运算,这将显著加快运算速度。

(4) 加速效果

选取圆柱和某型飞机 RCS 计算来测试使用不同加速技巧的计算时间,得到表 1 和图 1 所示的结果。圆柱半径 011m,长度 1m。为综合比较各种加速技巧的性能,计算仅限物理光学散射,不包括圆柱两端、机翼边缘等棱边散射以及其它散射贡献。从图 1 可以看出,单次光照的加速效果最明显,能成倍提高计算速度。其次是 Z2Buffer 索引列表。综合使用各种加速技巧,最多可使运算时间减少到原来的 1/4 左右。

表 1 各种加速技巧运算时间对照表

Table 1 Run time comparison table

加速技巧使用类型	圆柱计算	某型飞机
	时间/s	计算时间/s
1. 不使用加速技巧	56	121
2. 仅使用颜色值索引	55	119
3. 仅使用 Z2Buffer 索引	50	108
4. 颜色值+ Z2Buffer 索引	48	105
5. 仅使用单次光照	23	47
6. 单次光照+ 颜色值索引	21	43
7. 单次光照+ Z2Buffer 索引	16	33
8. 单次光照+ 颜色值索引+ Z2Buffer 索引	15	30

注:测试计算机为 P0 114G, 384M 内存, Windows2000 操作系统。圆柱计算步数为 91 步,某型飞机计算步数为 181 步。

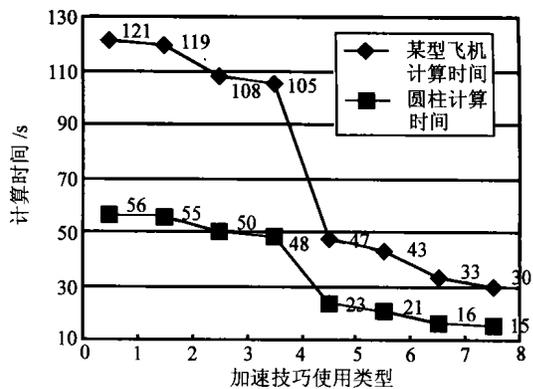


图 1 加速技巧运算时间对照图

Fig1 Run time comparison chart

对于表面散射来说,以上加速技巧都不影响图形算法的计算精度。但是必须指出,加速技巧是有各自的使用条件的。对于金属表面单站物理光学散射,以上技巧都适用。但对棱边散射、双站散射以及涂层散射等,由于需要使用完整的表面法矢信息,单次光照将无能为力,颜色值索引列表也随之失去意义,只能采用 Z2Buffer 索引列表来加速。对于金属复杂目标单站散射,虽然需要考虑棱边等散射机理,但是可以将整个计算分为两步,先计算物理光学散射,再计算并叠加其它散射

机理。在计算物理光学散射时, 仍然可以采用这3种加速技巧。

### 3 结 论

从雷达散射截面图形算法计算公式出发, 总结提出了3个加速技巧, 并对这些加速技巧进行了测试。结果表明, 使用这些加速技巧, 可以简化处理过程, 明显加快运算速度, 减少计算时间, 特别有利于提高飞行器类复杂目标 RCS 的预估效率, 具有很好的工程实用价值。

### 参 考 文 献

- [1] Rius J M, Ferrando M, Jofre L. High2frequency RCS of complex radar targets in real2time [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1993, 41(9): 1308- 1319.
- [2] 朱贤阳, 杨儒贵, 陈益邻. 复杂目标雷达散射截面计算方法的新进展[J]. 电波科学学报, 1998, 13(3): 322- 328. (Zhu X Y, Yang R G, Chen Y L. Recent advances in radar cross section calculating by complex targets[J]. Chinese Journal of Radio Science, 1998, 13(3): 322- 328.)
- [3] 于洋, 曾智勇, 朱劲松, 等. 复杂目标高频区 RCS 的实时计算[J]. 航空学报, 1998, 19(2): 243- 246. (Yu Y, Zeng Z Y, Zhu J S, et al. Computing high2frequency RCS of complex targets in real time[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1998, 19(2): 243- 246.)
- [4] 杨正军, 鲁述. 雷达散射截面预估的可视化技术[J]. 电波科

学学报, 1997, 12(2): 149- 155.

(Yang Z J, Lu S. Visualization in prediction of radar cross section [J]. Chinese Journal of Radio Science, 1997, 12(2): 149- 155.)

- [5] 金灿民, 许家栋, 韦高. 复杂目标近场电磁散射的可视化计算方法[J]. 电波科学学报, 1998, 13(3): 241- 244.

(Jin C M, Xu J D, Wei G. Visual method of near2field EM scattering computation for complex targets[J]. Chinese Journal of Radio Science, 1998, 13(3): 241- 244.)

#### 作者简介:



**李健周**(1972- ) 男, 陕西岐山人, 西北工业大学电子工程系讲师, 电磁场与微波技术专业在读博士, 1995年本科毕业于西北工业大学, 现主要从事目标建模及电磁散射等方面的研究工作。

**毛继志**(1976- ) 男, 湖南株洲人, 1999年本科毕业于西北工业大学, 现为西北工业大学电磁场与微波技术专业博士, 主要从事电磁场与微波技术、电磁散射计算等方面的研究工作。



**许家栋**(1948- ) 男, 安徽芜湖人, 1981年在西北工业大学获硕士学位, 现为西北工业大学电子信息学院院长, 教授, 博士生导师, 主要研究领域包括微波测量系统、电磁波传播、散射与逆散射等。

(责任编辑: 俞 敏)