

基于多层快速多极子方法的车载天线计算

徐晓飞 曹祥玉 张健

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

fly206@163.com

摘要 阐述了多层快速多极子方法(MLFMA)的基本原理, 利用MOM、MLFMA分别计算了车载天线的方向图。数据表明MLFMA较传统矩量法可以大幅度的提高计算效率, 减少计算所需内存和时间, 对快速分析车载天线的性能有一定意义。

关键词: 多层快速多极子方法, 矩量法(MOM), 车载天线

Vehicular Antennas' Calculation Based on MLFMA

Xu xiaofei, Cao xiangyu, Zhang jian

(Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710077, China)

Abstract: The principle of multilevel fast multipole algorithm(MLFMA) is described. The radiation pattern of vehicular antenna is computed using MOM and MLFMA respectively. The results show the accuracy and efficiency of the method which has a certain significance for the rapid analysis and the calculation of the vehicular antennas' performance.

Keywords: MLFMA; MOM; Vehicular antennas

1 引言

金属载体上的线天线问题长久以来得到关注。大到飞机、舰船, 小到手机等移动通信设备上的线天线。基于积分方程方法的矩量法(MOM), 对于各类载体上的线天线问题能够准确分析。但是当计算车载天线等较大的目标时, 未知量很多, 传统的矩量法消耗的时间就会很长。为改进算法, 加快计算速度, 引入了多层快度多极子算法(MLFMA)^[1,2], 多层快速多极子算法(MLFMA)可以把迭代法中的矩阵向量乘积运算降为 $O(N \log N)$, 进而整个求解过程的计算量降为 $O(N^{iter} N \log N)$, 存储量降为 $O(N \log N)$, 其中 N^{iter} 为迭代法收敛需要的迭代次数。可以有效的加快计算速度。本文采用多层快度多极子方法(MLFMA)算法对传统矩量法进行了改造和加速, 并针对车载天线问题, 进行了计算, 计算时间较传统矩量法大幅度减少, 并利用Ansoft HFSS软件对计算结果进行了仿真验证, 数据吻合良好, 说明方法的正确性。对快速分析、计算车载天线的性能有一定意义。

2 问题描述

对于车载天线问题, 由于车体尺寸较大, 采用传统矩量法将耗费较长的时间, 采用MLFMA算法则可以大大提高计算效率。本文算例模型如图1所示, 车体

长4.6m, 宽2m, 高度为1.2m, 一单极子天线安装在车体上方, 单极子长度为0.25m, 工作频率为300MHz。关于采用矩量法分析线面连接问题的基本原理已有较多文献^[3-8]解释, 本文就不赘述了。重点阐述多层快度多极子算法(MLFMA)的具体实现步骤。

3 多层快速多极子算法(MLFMA)

多层快速多极子方法是基于树型结构的数值算法。因此, 其一个重要的特点就是逐层处理, 逐层聚合、逐层转移、逐层配置、以及嵌套递推。其具体步骤如下:

首先用一个恰好的大的长方体覆盖整个目标, 然后对该长方体在xyz三个方向上均匀划分, 使之分解成数个子长方体(如三维目标分解成8个); 每个子长方体又可分解成数个更小的长方体, 一直分解, 直到所有的目标最小的子长方体的各个边长不大于半个波长, 然后将所有长方体编号。找出并且确定每个基函数所对应的最低层子长方体, 并记录每个子长方体中的基函数的个数, 建立非空子长方体的树型结构。对于最底层的邻近单元间的互作用仍采用传统矩量法计算, 而对于非邻近组的贡献则采用如下的步骤。

最底层聚合, 首先对基函数进行多极子展开, 具体计算公式如快速多极子方法中的聚合:

$$S_{m'}^{\omega}(\hat{k}) = \sum_i V_{sm'i}^{\omega}(\hat{k}) a_i \quad (1)$$

其中 m' 为最底层组中心。 $S_{m'}^{\omega}(\hat{k})$ 、 $V_{sm'i}^{\omega}(\hat{k})$ 分别

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60671001); 空军工程大学电讯工程学院博士创新基金资助项目(200706)。

是最底层组的聚合量和聚合因子。

向上聚合。从最底层开始，把子层组中心的聚合量逐层的进一步向上聚合到其父层组的中心，直到第二层（一般的讲，第二层是可区分邻近组和非邻近组并应用FMM的最粗层级），从而建立树状聚合量表。在这个树状表格的建立过程中，除了需要进行一般的平移外，还要进行内插运算。

在 l 层， $\hat{V}_{sm',i}^{\omega}(\hat{k})$ 可取 K_l 个方向值，但在 $l-1$ 层， $\hat{V}_{sm',l-1,i}^{\omega}(\hat{k})$ 则需要取 K_{l-1} 个值，这里 $K_{l-1} > K_l$ ，因此，对于 K_l 个 $\hat{V}_{sm',i}^{\omega}(\hat{k})$ 就需要插值以获得 K_{l-1} 个 $\hat{V}_{sm',l-1,i}^{\omega}(\hat{k})$ ：

$$\hat{V}_{sm',l-1,i}^{\omega}(\hat{k}) = e^{ik \cdot r_{m'l'm'l-1}} \sum_{n=1}^{K_l} W_{n'n} \hat{V}_{sm',i}^{\omega}(\hat{k}) \quad (2)$$

其中 $W_{n'n}$ 为内插值矩阵，它是一个稀疏矩阵。

转移和逐层向下配置。这个过程是一个下行过程，在第二层，即可区分邻近组和非邻近组并应用FMM的最粗层级，由于没有父层的贡献，仅需计算同层多极转移，计算公式同前面的快速多极子算法。但从第三层开始，一直到最低层，由于多层多极子树的作用，在计算本层的远区组转移的贡献外，还必须考虑其父层组的贡献。和前面的逐层聚合相似，在计算父层组的贡献时，需要进行平移和伴随内插值处理，从而使得第 $l-1$ 层的 K_{l-1} 个 $\hat{V}_{sm',l-1,i}^{\omega}(\hat{k})$ 可插值得到第 l 层的 K_l 个 $\hat{V}_{sm',i}^{\omega}(\hat{k})$ 值。

最底层多极子配置。对于最底层的每个非空组 m ，在其组中心进行部分场展开，得到 m 的所有非附近组对组内场点 j 的贡献。

$$I_{mj} = \int d\hat{k}^2 \hat{V}_{fmj}^{\omega}(\hat{k}) \cdot \hat{B}_m^{\omega}(\hat{k}) \quad (3)$$

其中 $\hat{V}_{fmj}^{\omega}(\hat{k})$ 为最底层的配置因子， $\hat{B}_m^{\omega}(\hat{k})$ 是所有非附近组对组 m 贡献在组中心的集中表示。

直接采用矩量法计算的矩阵矢量相乘中近区场的贡献，最终得到和实现矩阵和矢量的相乘运算。

从上述步骤可看出采用MLFMA求解矩阵和矢量相乘，其关键就是逐层向上聚合和多层次转移和逐层向下配置。

4 数值计算

本文采用传统MOM、MLFMA、ANSOFT HFSS对图1中的天线模型进行了计算与仿真。图2为分别采用MOM、MLFMA的计算和Ansoft HFSS软件仿真所得到的远场方向图，图形吻合较好，说明本文方法的正确性。

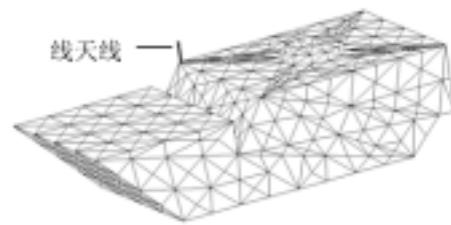


图1 车载天线模型

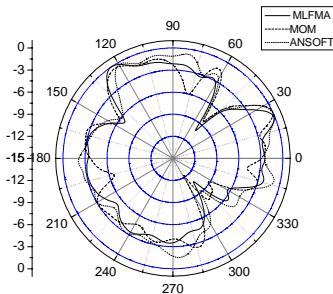


图2 XOY 面归一化方向图

表1 MOM与MLFMA计算方法比较

采用的方法	MOM	MLFMA
所需内存(Kb)	278161 (100%)	33715 (12.1%)
计算时间(S)	258.0781 (100%)	32.43750 (12.6%)

表1为分别采用传统矩量法（MOM）和多层次快速多极子方法（MLFMA）对车载先天线模型进行计算的比较，数据表明MLFMA较传统矩量法可以大幅度的提高计算效率，减少计算所需内存和时间。

5 结论

采用多层次快速多极子方法（MLFMA）的计算结果与Ansoft HFSS仿真结果一致，说明方法的正确性，通过比较可以看出MLFMA可以大幅度减少所需内存和计算时间，提高计算效率，对快速分析车载天线的性能有一定意义。

参考文献

- [1] J. M. Song, C. C. Lu, W. C. Chew, Multilevel fast multipole algorithm for electromagnetic scattering large complex objects [J], IEEE Trans Antennas Propagat, 1997, 45(10): 488 ~ 1493
- [2] X. F. Que, Z. P. Nie, Analysis of wire antennas mounted on large perfectly conducting platforms using MLFMA [J], IEEE Trans. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2007, 18(4):679 ~ 683
- [3] E. H. Newman, D. M. Pozar, Considerations for Efficient Wire/Surface Modeling [J], IEEE Trans. Antenna Propagat, 1980, 28: 121 ~ 125

- [4] D. M. Pozar, E. H. Newman, Analysis of a monopole mounted near an edge or a vertex [J], IEEE Trans. Antennas and Propagat, 1982 , 30(3):401 ~ 408
- [5] J. C. G. Matthews, G. G. Cook, An efficient method for attaching thin wire monopoles to surfaces modeled using triangular patch segmentation [J], IEEE Trans Antenna Propagat, 2003, 51 (7):1623 ~ 1629
- [6] S. M. Rao, D. R. Wilton, A. W. Glisson, Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape[J], IEEE Trans Antenna Propagat , 1982, 30 (5) : 409 ~ 418
- [7] 宗卫华, 万继响, 梁昌洪, 导体线面连接问题中奇异函数积分的计算[J], 微波学报, 2004,20:6 ~ 9
- [8] 阙肖峰, 聂在平, 宗显政, 复杂金属载体上线天线的MOM分析[J], 微波学报, 2006, 22 (5):16 ~ 20

作者简介：徐晓飞，男，博士，主要研究领域为电磁场高效数值计算；曹祥玉，女，教授、博士生导师，主要研究领域为电磁场数值计算、EBG结构研究等；张健，男，硕士，主要研究领域来波方向估计

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>