

AWE 技术加速计算圆环天线的宽带响应

李 成 , 曹 毅 , 童创明 , 王光明

(空军工程大学 导弹学院 , 陕西 三原 713800)

摘要 将函数有理逼近方法运用到电磁散射领域中 , 基于矩量法 (MOM) 并结合渐近波形估计 (AWE) 技术快速预测圆环天线的宽带响应。首先由 MOM 求得给定频率下的电流分布 , 然后利用 AWE 技术外推 , 从而快速预测出任意频率下的电流分布 , 最后计算出圆环天线的宽带响应。结果表明 AWE 技术不但能准确地逼近 MOM 的精确数值解 , 还可几倍甚至几十倍地提高计算速度 , 大大地节约 CPU 时间。

关键词 : 有理逼近 , 矩量法 , 渐近波形估计技术 , 宽带响应

中图分类号 : TN011 文献标识码 : A 文章编号 : 1009-3516(2003)02-0031-03

在数值计算问题中 , 矩量法 (MOM) 是一种行之有效的方法。然而 , 在其求解过程中 , 需要求解矩阵方程 , 而矩阵方程中的系数矩阵是满阵或稠密阵 , 解方程的计算量又正比于矩阵阶数的三次方^[1] , 而且 在计算宽带响应时 , 必须在多个频率点处重复求解矩阵方程。特别地 , 当响应随频率变化剧烈时 , 为了获得精确的计算结果 , 频率扫描间隔必须很小 , 势必导致计算量十分巨大。本文基于渐近波形估计 (Asymptotic Waveform Evaluation , 简称 AWE) 技术和矩量法计算了圆环天线的输入导纳 , 有效地减少了求解的工作量。

1 基本理论

1.1 圆环天线上电流分布的矩量法解

对于圆环天线 , 建立相应的直角坐标系和极坐标系 (如图 1) , 沿天线轴向将其剖分为 ($N + 1$) 段 , 各段长度为 Δl_n ($n = 0, \dots, N$) 。

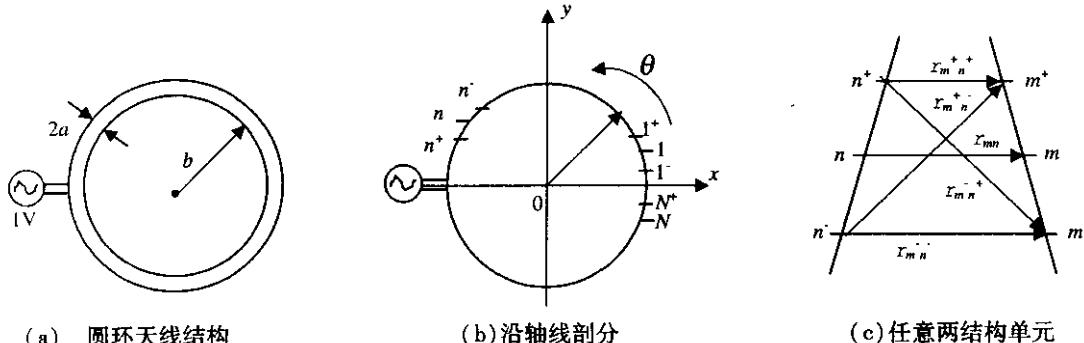


图 1 圆环天线结构及其剖分

由文献 2 知 : 天线上电流分布的矩阵方程为

$$[Z(f)] [I(f)] = [V(f)] \quad (1)$$

其中 , $[Z(f)]$ 是 $N \times N$ 阶的稠密阻抗矩阵 , $[I(f)]$ 为待求电流系数向量 , $[V(f)]$ 为激励电压向量 , 设 M 为激励单元的编号 , 矩阵 $[Z(f)]$ 和向量 $[V(f)]$ 的各元素可表示为

$$Z_{mn}(f) = \eta [k^2 \Delta l_m \cdot \Delta l_n \phi(m, n) - \phi(m^+, n^+) - \phi(m^-, n^-) + \phi(m^+, n^-) + \phi(m^-, n^+)] \quad (2)$$

$$V_m(f) = \begin{cases} 0 & m \neq M \\ 1 & m = M \end{cases} \quad (3)$$

式中 , η 、 k 分别表示自由空间的波阻抗、波数 , 而元素 $\phi(s, t)$ ($s = m, m^\pm$; $t = n, n^\pm$) 为

① 收稿日期 2002-04-01

作者简介 李成 (1978-) , 男 , 重庆合川人 , 硕士生 , 主要从事电磁散射与辐射、天线研究 .

$$\varphi(s, t) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} + \frac{j}{2k\Delta l_n} \ln\left(\frac{\Delta l_n}{a}\right) & s = t \\ \end{cases} \quad (4)$$

显然,要得到天线的宽带电流分布。必须在多个频率点重复求解矩阵方程(1),特别地,为了获得精确的计算结果,频率扫描间隔必须很小,计算量势必很大。

1.2 用 AWE 技术快速外推

基于 AWE 技术,可将系统函数按其某一特征参量展开为 Taylor 级数,该特征参量为给定频率。然而,Taylor 级数的收敛半径小,使得其精度有限,而有理函数逼近的方法可以改进精度^[3],即通过 Taylor 级数的系数或矩阵与 Pade 逼近匹配将其转化为有理函数的形式,Pade 有理逼近与 Taylor 级数相比,具有较大的收敛半径,因此可以进行较大范围的外推,AWE 技术可快速扫频计算天线上的宽带电流分布。即

$$[\mathbf{I}(f)] = [\mathbf{I}(f_0)] + \sum_{i=1}^{\infty} [\mathbf{I}^i(f_0)] \mathbf{I}(f - f_0)^i \quad (5)$$

其中,有:

$$[\mathbf{I}(f_0)] = [\mathbf{Z}(f_0)]^{-1} [\mathbf{V}(f_0)] \quad (6)$$

$$[\mathbf{I}^i(f_0)] = [\mathbf{Z}(f_0)]^{-1} \left[\frac{[\mathbf{V}^i(f_0)]}{i!} - \sum_{p=1}^i \frac{[\mathbf{Z}^{(p)}(f_0)]}{p!} [\mathbf{I}^{(i-p)}(f_0)] \right] \quad (7)$$

式中,向量 $[\mathbf{V}^i(f_0)]$ 是向量 $[\mathbf{V}(f)]$ 在 f_0 处对频率 f 的第 i 阶导数向量,矩阵 $\mathbf{Z}^{(p)}(f_0)$ 是矩阵 $\mathbf{Z}(f)$ 在 f_0 处对频率 f 的第 p 阶导数矩阵。将式(4)转化成 Pade 有理函数,即:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \mathbf{I}_n^i(f_0) \mathbf{I}(f - f_0)^i = P_n(L/M) + O[(f - f_0)^{L+M+1}] \quad (8)$$

$$\mathbf{I}_n(f) \approx P_n(L/M) = \frac{\sum_{l=0}^L a_n^l (f - f_0)^l}{\sum_{m=0}^M b_n^m (f - f_0)^m} \quad (9)$$

其中,整数 L, M 分别为 Pade 有理逼近函数 $P(L/M)$ 的零、极点阶数。系数 a_n^l 和 b_n^m 由矩阵 $\mathbf{I}_n^i(f_0)$ 确定如下:

$$a_n^j - \sum_{i=0}^{j-1} \mathbf{I}_n^i(f_0) b_n^{j-i} = \mathbf{I}_n^j(f_0) \quad (10)$$

$$\begin{cases} a_n^j = 0 & (j > L) \\ b_n^j = 0 & (j > M) \\ b_n^0 = 1 & \end{cases} \quad (j = 0, 1, \dots, L + M) \quad (11)$$

根据最佳一致性逼近理论^[4], L 和 M 应满足如下关系:

$$\begin{cases} |M - L| = 1 & (L + M = \text{奇数}) \\ M = L & (L + M = \text{偶数}) \end{cases} \quad (12)$$

此外,随着 Pade 有理逼近函数 $P(L/M)$ 的零、极点阶数 L 和 M 的提高,相应的 Taylor 级数的展开项数 I ($I = L + M$) 也增多,AWE 逼近 MOM 的精度也提高了,但是当 Pade 有理逼近函数阶数提高到一定值后,精度则不再改变。一般选择 Pade 有理逼近展开点为参数变化范围的中点,若不能达到逼近精度,则需考虑采用多点逼近,在函数(曲线)关系复杂时,多点逼近尤其重要。

2 计算结果

AWE 计算得到的数值结果与逐点计算的 MOM 数值结果进行了比较,MOM 和 AWE 均按频率间隔步进扫频计算,中心频率为 0.5 GHz 其中, $N = 15$ 。结果表明:MOM 耗时 16.76 s,AWE 耗时 2.27 s,Pade 有理逼近函数为 $P(15/15)$,AWE 计算速度约是 MOM 的 8 倍。如图 2、3 所示,横坐标上的★表示 AWE 展开频点,星形线为矩量法计算结果,实线为 AWE 计算结果。可以看出,两条曲线重合得很好。

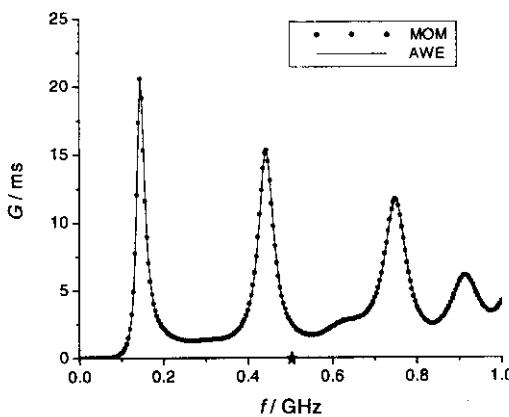


图 2 圆环天线输入阻抗的实部

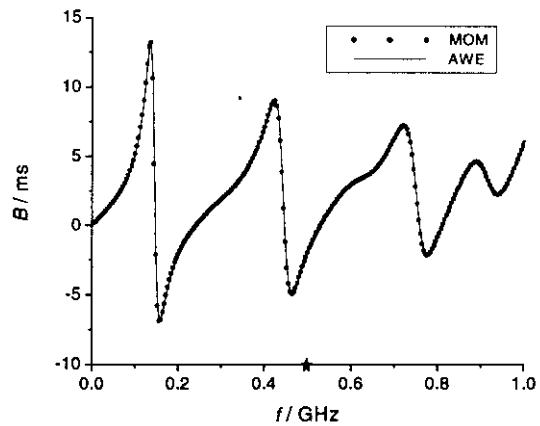


图 3 圆环天线输入阻抗的虚部

3 结论

计算结果表明,AWE 能很好的逼近 MOM 的精确数值解,同时还能成倍地提高计算速度,节约 CPU 计算时间。此外,AWE 技术同样适用于很多宽带或宽角电磁问题的数值计算。尽管本文是以 MOM 法为例的,同样它也能用在其它数值方法的计算中,如有限元法(FEM)、有限差分法(FDM)等。

参考文献:

- [1] Harrington R F. 计算电磁场的矩量法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [2] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法[M]. 北京: 电子工业出版社, 1985.
- [3] Chuangming Tong, Jian Liang, Wei Hong. A Fast Frequency Sweeping Method for RCS Computation Based on AWE Technique [A]. 2000 China – Japan Joint Meeting on Microwave[C]. 2000, 234–237.
- [4] 冯存前, 韩英臣, 张永顺. DRFM 采样过程的频谱分析仿真, 空军工程大学学报(自然科学版) 2001, 2(2): 45–47.

(编辑:田新华)

A Fast Calculating Method for the Cirque Antenna Broad Band Responses Based on Asymptotic Wave Evaluation Technique

LI Cheng, CAO Yi, TONG Chuang-ming, WANG Guang-ming

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

Abstract The method of moments (MOM) and the asymptotic waveform evaluation (AWE) technique are adopted to make quick prediction of the broadband responses of the cirque antenna in this paper. The main steps are as follows: first get the current distribution over a given frequency with MOM, then adopt AWE technique to achieve the current distribution over a random band, and finally calculate the broadband responses of the cirque antenna. The results indicate that the AWE technique not only can well approximate the exact numerical value solution of MOM, but also can improve the velocity of calculation by several times which saves the calculation time of CPU.

Key words rational approximation; MOM; AWE technique; broad band responses

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>