

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 $\Delta l_n(n=0, N)$ 。

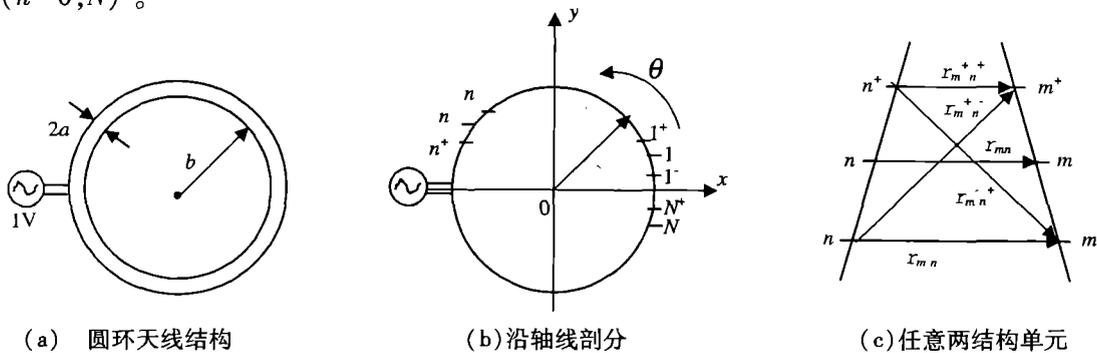


图1 圆环天线结构及其剖分

由文献[2]知:天线上电流分布的矩阵方程为

$$[Z(f)][I(f)] = [V(f)] \tag{1}$$

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

$$Z_{mn}(f) = \eta [k^2 \Delta \vec{l}_m \cdot \Delta \vec{l}_n \phi(m, n) - \phi(m^+, n^+) - \phi(m^-, n^-) + \phi(m^+, n^-) + \phi(m^-, n^+)] \tag{2}$$

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。

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

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

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

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 级数的系数或矩量与 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 技术可快速扫描计算天线上的宽带电流分布。即

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

其中, 有:

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

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

式中, 向量 $[V^{(i)}(f_0)]$ 是向量 $[V(f)]$ 在 f_0 处对频率 f 的第 i 阶导数向量, 矩阵 $[Z^{(p)}(f_0)]$ 是矩阵 $[Z(f)]$ 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:

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

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

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 由矩量 $I_n^{(i)}(f_0)$ 确定如下:

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

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

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描计算, 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 \star 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。

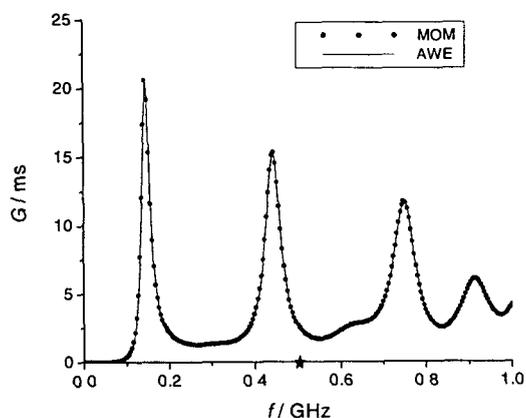


图 2 圆环天线输入阻抗的实部

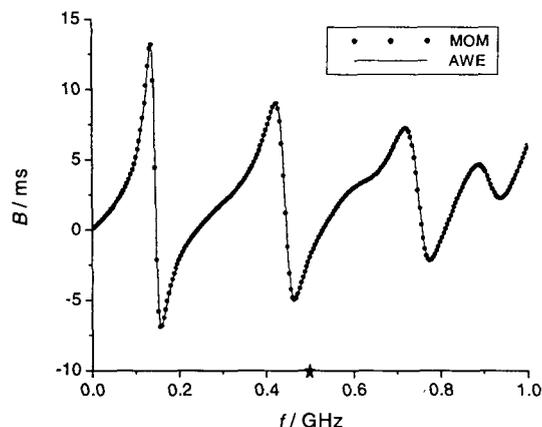


图 3 圆环天线输入阻抗的虚部

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 Microwaves [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 Circle 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 circle 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 circle 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