

基于AWE技术的宽角度与宽频带RCS的快速计算

李翠花^{1,2} 李南南²

(1. 合肥学院电子信息与电气工程系 2. 安徽大学电子工程与信息科学系)

摘要: 目标的雷达散射截面(RCS)与照射角度和照射频率都有关系,采用渐近波形估计(AWE)技术在角度域和频域上预测任意形状的理想导体的单站RCS,通过Padé逼近求出给定角度域内任意角度及给定频带内任意频点的表面电流密度分布,进而计算出给定目标的散射场及雷达散射截面。对数值结果与矩量法逐点求解的结果进行了比较,两者吻合较好,而且提高了计算效率。

关键词: 矩量法; 渐近波形估计; 宽角度宽频带; 雷达散射截面

Fast Computation of Wide-angle and Wide-band RCS Based on AWE Technique

Li Cuihua^{1,2} Li Nannan²

(1. Department of Electronic Information and Electrical Engineering, Hefei University 2. Department of Electronic Engineering and Information Science, Anhui University)

Abstract: The radar cross section (RCS) of a target is related to both illumination frequency and observation angle. The asymptotic waveform evaluation (AWE) technique is applied to predict the mono-static RCS of an arbitrarily shaped two-dimensional cylinder in both frequency and angular domains. In the AWE technique, the surface current on the perfect electric conductor is expanded in a rational function via the Padé approximation. Using the function, the current density distribution can be obtained at any angle and frequency within given angle and frequency range, which is used to compute the wide-angle and wide-band RCS. The numerical results are in good agreement with those obtained by the method of moments at each frequency.

Key words: moment method; asymptotic waveform evaluation (AWE); wide-angle and wide-band; radar cross section(RCS)

0 引言

应用矩量法求解电场积分方程和磁场积分方程时可精确地预估任意形状导体目标的RCS。但是每次只能计算某一角度某一个频率点的RCS。要获得目标的宽角度及宽频带的RCS时,必须在不同角度或者频率点逐点重复求解矩阵方程才能得到整个范围内的RCS。要想获得精确的角度或频率响应,必然要求扫描间隔很小,这必将导致计算工作量十分巨大。为了克服这些缺点,引入AWE技术非常重要。

国际上,AWE技术在电磁领域中的应用是90年代初从静态电磁场开始的,如求解VLSI电路互连结构和微波器件宽带频率响应的快速计算等;90年代后期被初步应用到电磁场的全波分析中,如内无源线性电磁系统的电磁场分析和RCS方向图的快速计算等。本文先用矩量法计算理想导体宽角度与宽频带的RCS,然后应用AWE技术来计算理想导体的宽角度与宽频带的电流分布与RCS。

1 本理论

在多数情况下,用Taylor级数表示系统函数能得到相当好的结果,不过由于Taylor级数的收敛半径小,使得其精度有限。在这种情况下,一般采用有理函数逼近的办法来改进精度,即通过Taylor级数的系数与Padé逼近匹配,将其转化为有理函数的形式。这就是AWE技术。求解导体目标的RCS,根本上也就是求解导体表面的散射电流I,无论是宽角度还是宽频带通过MOM都能离散出统一的矩阵方程

ZI=V (1)

其中,Z是散射体上离散单元之间场的耦合矩阵,和入射角度没有关系;V是电磁波的激励向量。

1.1 AWE用于计算宽角度RCS

$$I_n(\theta) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{I_n^{(i)}(\theta_0)}{i!} (\theta - \theta_0)^i \quad (2)$$

$$I_n^{(i)}(\theta_0) = Z_{mn}^{-1} V_m^{(i)}(\theta_0) \quad (3)$$

式中, $V_m^{(i)}(\theta_0)$ 是 $V_m(\theta)$ 在 θ_0 处的第*i*阶导数,在平面波入射下,为了能用Taylor级数正确地表示表面电流分布,必须在展开点计算足够多高次矩量 $I_n^{(i)}(\theta_0)$ ($i=0,1,2,\cdots$),即*i*应足够大,为了扩大Taylor级数的收敛半径,最好是将式(2)转化成Padé有理函数,即

$$\sum_{i=0}^{\infty} \frac{I_n^{(i)}(\theta_0)}{i!} (\theta - \theta_0)^i = P_n(L/M) + Q(\theta^{L+M+1}); I_n(\theta) \approx P_n(L/M) = \frac{\sum_{i=0}^L a_i'(\theta - \theta_0)^i}{\sum_{m=0}^M b_m''(\theta - \theta_0)^m}$$

式中,整数L和M分别为Padé有理逼近函数P(L/M)的零、极点阶数。系数 a_n^j 和 b_n^m 由矩量 $I_n^{(i)}(\theta_0)$ 相应确定如下:

$$a_n^j - \sum_{i=0}^{j-1} \frac{I_n^{(i)}(\theta_0)}{i!} b_n^{j-i} = \frac{I_n^{(j)}(\theta_0)}{j!} \quad (4)$$

1.2 AWE用于计算宽频域RCS

$$I(f) = I(f_0) + \sum_{n=1}^{\infty} I'(f_0)(f - f_0)^n$$
$$I(f_0) = Z(f_0)^{-1} V(f_0) \quad (5a)$$

其中, $I^{(i)}(f_0) = Z(f_0)^{-1} \left[\frac{V^{(i)}(f_0)}{i!} - \sum_{p=1}^i \frac{Z^{(p)}(f_0)}{p!} I^{(i-p)}(f_0) \right]$ (5b)

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。将上式转化为Padé有理函数,即

$$\sum_{i=0}^{\infty} I_n^{(i)}(f_0)(f - f_0)^i = P_n(L/M) + Q(f^{L+M+1}); I_n(f) \approx P_n(L/M) = \frac{\sum_{i=0}^L a_i'(f - f_0)^i}{\sum_{m=0}^M b_m''(f - f_0)^m}$$

其中，整数L、M分别为Pade有理函数 $P_n(L/M)$ 的零、极点阶数。系数 a_n' 和 b_n'' 由 $I_n^{(0)}(f_0)$ 确定为

$$a_n' - \sum_{j=0}^{L-1} I_n^{(j)}(f_0) b_n^{j-1} = I_n^{(L)}(f_0) \quad (6)$$

在式(4)与式(6)中
$$\begin{cases} a_n' = 0(j > L) \\ b_n' = 0(j > M)(j = 0, 1, \dots, L+M) \\ b_n'' = 1 \end{cases}$$

根据最佳一致性逼近理论。L和M应满足如下关系：

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

通过以上的基本原理可以看到，与矩量法相比，AWE还需要求解电压矩阵的各阶导数，逼近公式还需要求解方程组，如果对激励矩阵求导，运算的复杂度随导数次数的增加成幂次增加。而且，渐近波形估计技术还要解方程，求解逼近函数表达式的系数，以及每段上的电流密度。在整个计算过程中，矩阵的求逆是最费时的。当AWE技术用于计算宽角度RCS时，阻抗矩阵Z与入射角度无关。因此它的逆阵并不随每次选取角度的变化而变化。但是在宽频域中，阻抗矩阵Z与频率点有关，因此它的逆阵随每次选取频率点的变化而变化。而且导体的宽频域RCS随观察频率点的变化曲线一般比较复杂，所以在观察范围内，频率点必须很密才能估算出RCS的图形，因此，和矩量法相比，应用AWE技术节省的时间就相当可观。

2 算例

下面给出一个具体实例来验证理论分析的正确性。为具有可比性，我们选取一导体圆柱来分别计算它的宽角度与宽频域RCS。导体方柱的半径为0.01m，如图1所示，计算宽角度RCS时方向图范围 $0-\pi/2$ ，展开角度是 $\pi/4$ ，MOM耗时1.393s，AWE耗时1.8146s。MOM的计算速度是AWE的1.303倍。如图2所示，计算宽频域RCS方向图时，步进是0.08GHz，入射波的照射方向为 0° ，AWE按照 $f_0=3\text{GHz}$ 的频率点展开，MOM耗时67.2258s，AWE耗时23.1359s。AWE的计算速度是MOM的2.9056倍。

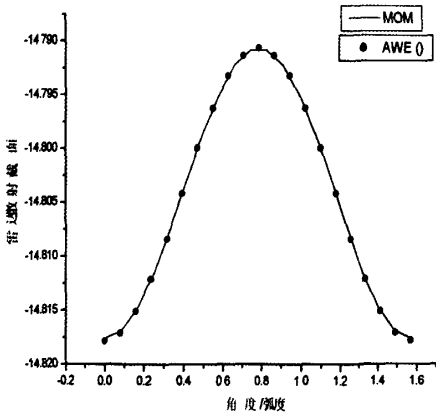


图1 导体方柱的宽角度RCS

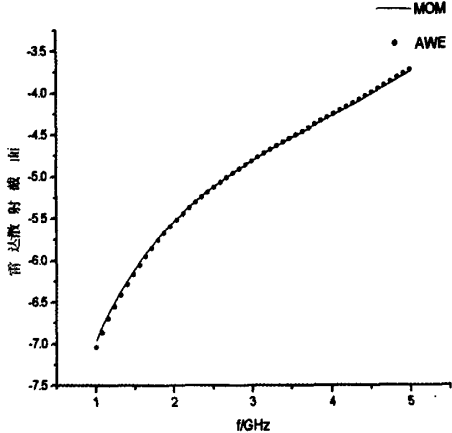


图2 导体方柱的宽频域RCS

时候还不如MOM。但是如果能对求解过程进行改进，能进一步提高AWE的效率。

参考文献：

[1] Harrington R F. Field Computation by Moment methods [M]. New York: The Macmillian Company, 1968.
[2] Newman E H. Generation of wide-band data from the method of moments by interpolation the impedance matrix[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1988, 36:1820-1824.
[3] Lutterodt C H. A two-dimensional analogue of Pade approximant theory[J]. J Phys A, 1974 22(7):1027-1037.
[4] Reddy C J, Deshpande M D. Fast RCS computation over a frequency band using method of moments in conjunction with asymptotic waveform evaluation technique[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1998, 46(8):1229-1233.
[5] Tong Chuangming, Hong Wei, Yuan Nai-Chang. Simultaneous extrapolation of RCS in both angular and frequency domains based on AWE technique[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2002, 32(4):290-293.
[6] Sun Yu-fa, Xu Shan-Jia. Fast computation of wide-band radar cross section using Asymptotic Waveform Evaluation technique[J]. Infrared Millim. Waves, 2002, 21(6):469-472.
[7] Sun Yu-Qian. Li An-Ping. Tong Chuang-Ming. Analysis of the method of AWE used in calculating conductor wide angle and broad band mono-static RCS[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2006, 7(1): 53-55.

作者简介：

李翠花：安徽大学在读硕士研究生；合肥学院教师。

基金项目：合肥学院教研项目2008jyyb36

3 结论

由于阻抗矩阵Z与取样点的相关度及RCS图像的复杂性不同，AWE用于计算导体宽角度及宽频域的RCS有完全不同的效果。后者的效果要远远好于前者，前者的效果有

雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

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, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、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。

雷达散射截面 (Radar Cross Section, 简称 RCS) 是雷达隐身技术中最关键的概念, 也是电磁理论研究的重要课题, 使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起, 系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授, 边操作边讲解, 直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程, 其中: 《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程, 帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用; 《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面, 包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义, 实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程, 专家讲授, 从零讲起, 直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

更多培训课程:

- HFSS 培训课程

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- CST 培训课程

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- 天线设计培训课程

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>