

# 用 MoM-UTD 混合方法求解电大导体上天线间的隔离度

刘子梁, 张 玉, 梁昌洪

(西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室 陕西 西安 710071)

**摘要:** 电大系统影响下的天线间的隔离度单纯由矩量法(MoM)很难解决,一致性几何绕射理论(UTD)虽是高频方法,但其精度不够.将 MoM 和 UTD 相结合,并结合互易定理,有效解决了电大物体的问题,计算了电大导体圆柱面影响下的天线间的隔离度问题,给出了用单纯 MoM 难以得到的频率较高的扫频结果.

**关键词:** 矩量法;一致性几何绕射理论;隔离度;线天线;电大物体

**中图分类号:** TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2005)06-0861-04

## A hybrid MoM-UTD method for analyzing isolation between antennas on an electrically large conductive surface

LIU Zi-liang, ZHANG Yu, LIANG Chang-hong

(Key Lab. of Antenna and Microwave Technology, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

**Abstract:** A hybrid MoM-UTD technique is employed to accurately calculate the isolation between wire antennas mounted on a complex electrically large conductive surface combined with the reciprocity theorem. It is difficult to analyze the isolation of antennas influenced by the electrically large system only by using the method of moment (MoM). The uniform geometrical theory of diffraction (UTD) is a kind of high frequency method, and however, it has poor accuracy. The combination of MoM and UTD takes the advantages of both the methods and efficiently solves the problem of an electrically large object. The isolation between wire antennas is computed with the influence of the electrically large cylindrical surface being considered and sweep-frequency results are obtained, which can not be computed only by MoM.

**Key Words:** method of moment; UTD; isolation; wire antenna; electrically large object

矩量法(MoM)<sup>[1]</sup>是一种精确而有效的解决电磁问题的计算方法,分域基以其适应性强的特点得到广泛应用.然而对于电大系统,分域基则要消耗大量的计算机内存,使问题在一般 PC 机上难以解决.一致性几何绕射理论(UTD)<sup>[2]</sup>是以几何光学为基础的一种高频方法,对于电大系统,它需要的内存少、计算速度快,因而成为解决电大问题的主流方法.由于 UTD 是一种近似解,所以其计算精度相对 MoM 较低. MoM-UTD 混合方法<sup>[3,4]</sup>结合了 MoM 和 UTD 两种方法的优点,能解决电大系统问题,计算精度高、速度快.

实际工程中,多部天线在很小的区域内同时工作十分常见,天线间的电磁兼容就成为迫切需要解决的问题.对于复杂电大导体表面上的多部天线,由于电大导体表面的存在,其影响下的天线间的隔离度单纯用 MoM 很难解决,只用 UTD 方法虽然能够解决,但精度较低<sup>[5-7]</sup>.文献[5]只给出了接收天线处的场值,与隔离度相比,它没有考虑接收天线的接收性能,不能严格说明收发天线间电磁兼容的好坏.文献[6,7]也只是单纯用 UTD 方法得到了天线间的互导纳  $Y_{21}$ ,与真正的隔离度  $S_{21}$  还有一定差距.

笔者采用 MoM-UTD 混合方法计算了复杂电大导体表面上线天线间的隔离度,得到了对实际工程有指导意义的结果,与美国电磁兼容软件(IEMCAP)的结果一致<sup>[8]</sup>.

### 1 MoM-UTD 方法的基本原理

假设线天线表面电流为  $J(z') = \sum_{n=1}^N I_n f(z'_n)$ , 则 MoM 的阻抗

矩阵元素为

$$Z_{mn} = \langle \omega_m, [J(z'_n)] \rangle \quad (1)$$

其中  $[J(z'_n)] = \int_{\Delta z_n} f(z'_n) G(z_m, z'_n) dz' = -E_z^i(z_m)$  . (2)

由此得到的方程为

$$\sum_{n=1}^N I_n \langle \omega_m, [J(z'_n)] \rangle = \langle \omega_m, -E_z^i(z_m) \rangle \quad (3)$$

其矩阵形式为

$$Z I = V \quad (4)$$

对于天线位于金属凸曲面上且与金属表面垂直的情况, 如图 1 所示.

$J(z'_n)$  在  $z_m$  处产生的场由直接场矢量  $E_1(z_m)$  和间接场  $E_2(z_m)$  两部分构成, 保持 MoM 的基本思想不变, 仅将式 (3) 中的  $[J(z'_n)]$  替换为  $E_1(z_m) + E_2(z_m)$ , 则

$$Z'_{mn} = \langle \omega_m, E_1(z_m) \rangle + \langle \omega_m, E_2(z_m) \rangle \quad (5)$$

即  $Z'_{mn} = Z_{mn} + Z^U_{mn}$  , (6)

上式中, 当  $z'_n$  和  $z_m$  互相可见时,  $Z_{mn}$  为传统 MoM 的阻抗矩阵元素, 当  $z'_n$  和  $z_m$  互相不可见时,  $Z_{mn}$  为零,  $Z^U_{mn}$  的求解在下面给出.

间接场  $E_2(z_m)$  是  $J(z'_n)$  发出的场经金属凸曲面反射和绕射到达  $z_m$  的场, 即由反射场  $E^{ref}(z_m)$  和绕射场  $E^{dif}(z_m)$  叠加组成<sup>[9]</sup>. 对于天线 1 和天线 2 不可见的情况  $E_{ref}(z_m)$  为零, 所以

$$E_2(z_m) = E^{dif}(z_m) \quad (7)$$

如果金属凸曲面为圆柱表面, 如图 2 所示.

$$d E^{dif}(Q | Q') = -jk/(4\pi) \cdot d p_e(Q') \cdot [2Z_0(\hat{n}' \cdot \hat{n})\{F_h(\xi) - (j/(kt)) \cdot F_h(\xi) + (j/(kt))^2 F_h(\xi) + T_0^2(j/(kt)) \cdot [F_h(\xi) - F_h(\xi)]\}] \cdot G_0(kt) \quad (8)$$

其中  $Z_0$  为自由空间中的波阻抗,  $dp_e = I dl$  绕射弧长  $t = [(a\phi)^2 + z^2]^{1/2}$ ,  $\xi = mt/\rho_g$ ,  $m = (k\rho_g/2)^{1/3}$ , 沿  $t$  方向的曲率半径  $\rho_g = a/\sin^2 \delta$ ,  $T_0 = \cot \delta$ <sup>[10]</sup>. 格林函数  $G_0(kt) = \exp(-jkt)/t$ ,  $F_s(\xi)$  和  $F_h(\xi)$  在文献 [2] 中给出.

因此

$$Z^U_{mn} = \langle \omega_m, E^{dif}(z_m) \rangle \quad (9)$$

由式 (6) 得到  $Z'$ , 进而求出电流分布

$$I = Z' V \quad (10)$$

### 2 导体圆柱面上线天线间的隔离度

实际工程中, 很多天线平台都可近似等效为圆柱、尖劈、圆锥等典型的几何体来分析, 例如飞机的机身可等效为圆柱, 而有些飞机的头部可近似等效为圆锥. 图 3 所示为垂直于圆柱体表面放置的单极子天线 1 和 2.

隔离度的定义为<sup>[2]</sup>

$$I = 20 \lg |S_{21}| \quad (11)$$

根据网络思想, 将图 3 中的天线系统等效成二端口网络, 对应的  $Z$  矩阵表达式为

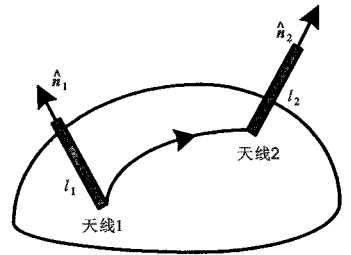


图 1 位于金属凸曲面上的线天线

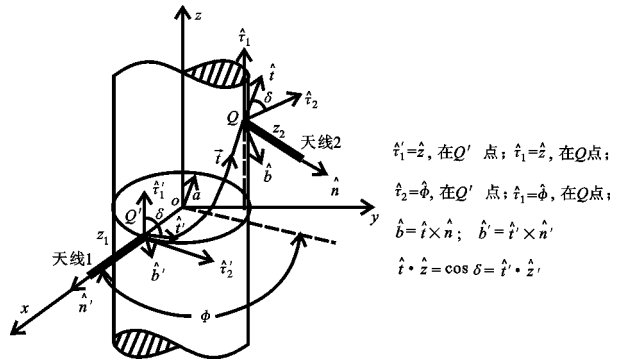


图 2 导体圆柱表面的绕射射线

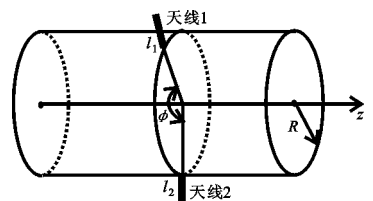


图 3 导体圆柱上的线天线系统

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

根据互易定理  $Z_{12} = Z_{21} = -\frac{1}{I_1(0)I_2(0)} \int_0^{l_2} E_{21}(\xi) I_2(\xi) d\xi$  , (13)

其中  $I_1(0)$  ,  $I_2(0)$  分别表示天线 1 和天线 2 馈电点处的输入电流  $E_{21}(\xi)$  表示天线 1 在天线 2 的位置上任意一点产生的电场  $I_2(\xi)$  表示天线 2 的电流分布. 最后根据  $Z$  到  $S$  参数的转换关系得到

$$S_{21} = 2Z_{21} / (\det(\mathbf{Z}) + Z_{11} + Z_{22} + 1) \quad (14)$$

### 3 数值结果

对于图 3 中的天线系统 ,当天线 1 和天线 2 位于导体圆柱同一横截面内 ,图 4 ~ 图 6 分别给出了频率为 300 MHz ,圆半径  $R = 3\lambda$  ,  $5\lambda$  ,  $10\lambda$  时  $20 \lg |S_{21}|$  随两天线的夹角  $\phi$  的变化曲线 ,与 IEMCAP 有很好的 consistency.

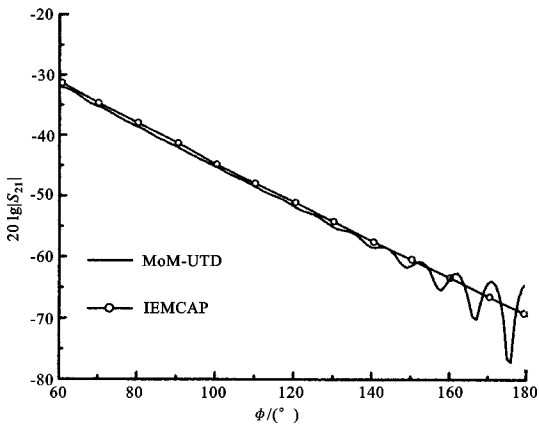


图 4  $R = 3\lambda$  时  $20 \lg |S_{21}| \sim \phi$  曲线

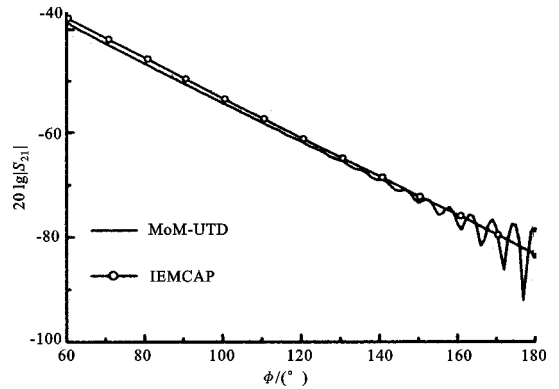


图 5  $R = 5\lambda$  时  $20 \lg |S_{21}| \sim \phi$  曲线

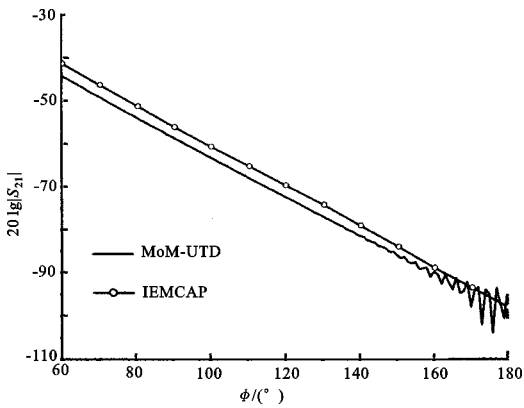


图 6  $R = 10\lambda$  时  $20 \lg |S_{21}| \sim \phi$  曲线

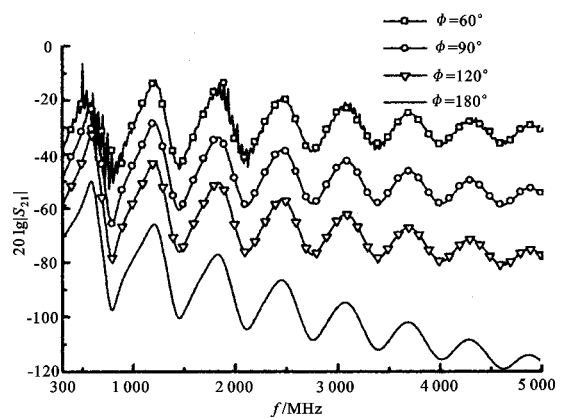


图 7  $R = 3 \text{ m}$  时  $20 \lg |S_{21}| \sim f$  曲线

由于计算机资源的限制 ,电大金属圆柱表面上的线天线系统在频率较高时单纯用 MoM 很难处理 ,用 MoM-UTD 混合方法既能克服计算机资源的限制 ,又能达到很好的精度. 图 7 给出用 MoM-UTD 混合方法得到的  $R = 3 \text{ m}$  时不同  $\phi$  值的情况下 ,位于导体圆柱同一横截面内的两个单极子天线的隔离度从 300 MHz 到 5 GHz 的扫频曲线. 扫频频带很宽是 MoM 难以得到的.

### 4 结束语

从以上结果可看出 ,文中所采用的 MoM-UTD 混合方法的计算结果与美国的 IEMCAP 软件的结果有很好的

一致性,并给出了传统 MoM 难以得到的频率较高的扫频结果,这充分说明了 MoM-UTD 混合方法在处理电大金属凸曲面上天线间的隔离度问题的有效性,解决了金属圆柱表面上天线间隔离度的典型工程问题。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Harrington R F. Field Computation by Moment Methods[ M ]. Indiana : Macmillan , 1968.
- [ 2 ] Pathak P H , Wang M N. Ray Analysis of Mutual Coupling Between Antennas on a Convex Surface[ J ]. IEEE Trans on AP , 1981 , 29( 6 ) : 911-922.
- [ 3 ] Thiele G A , Newhouse T H. A Hybrid Technique for Combining Moment Methods with the Geometrical Theory of Diffraction [ J ]. IEEE Trans on AP , 1975 , 23( 1 ) : 62-69.
- [ 4 ] Burnside W D , Yu C L , Marhefka R J. A Technique to Combine the Geometrical Theory of Diffraction and the Moment Method [ J ]. IEEE Trans on AP , 1975 , 30( 6 ) : 551-558.
- [ 5 ] 李伟明 , 高本庆. 圆柱体上爬行波场分析及电磁兼容性设计应用[ J ]. 电波科学学报 , 2003 , 18( 1 ) : 82-85.
- [ 6 ] 柴舜连 , 姚德森 , 毛钧杰 , 等. 旋转抛物面共形阵单元互耦的计算[ J ]. 电子学报 , 1998 , 26( 9 ) : 78-81.
- [ 7 ] 苏力 , 朱守正. 圆柱导体上天线间相互耦合的时域分析[ J ]. 华东师范大学学报(自然科学版) , 2000 , ( 3 ) : 68-73.
- [ 8 ] Pathak P H , Wang M N. An Analysis of the Mutual Coupling Between Antennas on a Smooth Convex Surface. AD-A065591 [ R ]. Pennsylvania : Department of the Navy , 1978.
- [ 9 ] Liang Changhong , Tan Yuanyang , Zong Weihua. Determination of Second-order Reflection Points in the System of Cylinder and Cone Using Fermat's Principle[ J ]. Journal of Xidian University , 2004 , 31( 4 ) : 497-500.
- [ 10 ] Zong Weihua , Liang Changhong , Cao Xiangyu , et al. Diffraction Ray Tracing of GTD on the Cone and Cylinder[ J ]. Journal of Xidian University , 2002 , 29( 4 ) : 482-489.

(编辑:齐淑娟)

(上接第 847 页)

## 5 结束语

具有循环相关特性的酉空时星座的产生、优化相对比较简单,利用这种星座结构的特点对星座进行分组检测避免了对整个星座的遍历搜索,因而能有效降低译码复杂度。分组的方式对检测性能与复杂度有重要影响。一般情况下分组交叠信号越多则差错性能越好,而且计算复杂度也会相应提高。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Emre T. Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels[ J ]. European Transactions on Telecommunications Italiana : Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana , 1999 , 10( 6 ) : 585-595.
- [ 2 ] Wolniansky P W , Foschini G J , Golden G D , et al. V-BLAST : an Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich-scattering Wireless Channel[ A ]. Proc 1998 Int Symp Sig Sys Elec( ISSSE'98 ) [ C ]. Pisa : IEEE , 1998. 295-300.
- [ 3 ] Alamouti S M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications[ J ]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications , 1998 , 16( 8 ) : 1451-1458.
- [ 4 ] Vahid T , Hamid J , Robert C A. Space-time Block Coding for Wireless Communications : Performance Results[ J ]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications , 1999 , 17( 3 ) : 451-460.
- [ 5 ] Wang Chao , Liao Guisheng , Zhang Linrang. Overview of Space-time Coding and Its Prospect[ J ]. Journal of Xidian University , 2003 , 30( 5 ) : 634-639.
- [ 6 ] Hochwald , Bertrand M , Marzetta T L. Unitary Space-time Modulation for Multiple-antenna Communications in Rayleigh Flat Fading[ J ]. IEEE Trans on Information Theory , 2000 , 46( 2 ) : 543-564.
- [ 7 ] Hochwald B M , Marzetta T L , Richardson T J , et al. Systematic Design of Unitary Space-time Constellations[ J ]. IEEE Trans on Information Theory , 2000 , 46( 6 ) : 1962-1973.

(编辑:齐淑娟)

