

一种天线近/远场简易算法的计算时间研究

吴冠南 高本庆

(北京理工大学 信息科学技术学院电子工程系, 北京 100081)

摘要:本文对一种天线近/远场简易计算方法的计算时间进行了研究, 简易方法利用单元辐射场叠加法对天线近/远场进行计算。通过与另外一种口面积分技术^{[3]-[4]}的比较可以看到, 简易方法的计算过程节省了大量计算时间, 可以在实际的天线分析中得到广泛应用。

关键词:天线 近场 远场 计算时间

Study of the Computing Time of a Simple Calculation of Antenna Near/Far Field

Wu Guannan Gao Benqing

(Department of Electronic Engineering, School of Information Science and Technology,

Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: the computing time of a simple method of antenna near/far field calculation is studied. The simple method is carried through by the additivity of the radiation filed due to each element. The comparison between the simple method and the method of aperture integral^{[3]-[4]} shows that the simple method can save much computing time. It can be widely used in antenna analysis.

Key words: antenna, far field, near field, computing time

一、引言

对于天线近/远场计算来说, 计算时间是一个很重要的考量因素, 尤其是在涉及到天线分析和天线计算的实际应用中, 能否快速准确的计算出天线场会影响到整个系统的工作效率。对于天线的远场, 计算技术已经比较成熟, 很多典型天线的方向图已有简单的公式可以利用, 但是对于天线近场, 还没有如此成熟的体系。天线近场的计算有解析技术和数值技术两大类算法, 用数值技术进行天线近场计算, 可以对很复杂的天线结构进行建模和分析, 但与解析技术相比, 缺点是计算时间较长。

本文针对一种计算天线近/远场相对比较简单的方法, 以口径天线为研究对象, 对其计算时间进行了研究, 主要通过和另外一种天线近/远场计算方法^{[3]-[4]}进行比较, 从而验证了简易算法的简便性。

二、简易算法原理

简易算法是以等效源理论、采样原理和场叠加原理为依据建立起来的。口径天线可以被分割成 $N \times M$ 个离散的小单元，每个小单元都可以看成一个独立的辐射源，各辐射单元均在场点处产生场强，天线总场可以通过对所有单元辐射场进行叠加而得到。辐射单元可以等效为偶极子进行计算，对于天线远场，场点既然位于天线的远场，也就处于辐射单元的远场，而对于天线近场，虽然场点处于天线近场区，但由于天线尺寸一般远大于辐射单元尺寸，所以天线近场区内的场点对于辐射单元来说是位于其远场区的，偶极子的远场可以由一个已知的、简单的公式得到。所以，用简易方法求解天线场的过程仅仅是一个把已知公式进行叠加的过程。但在叠加过程中，由于辐射单元产生的场是在以单元中心为坐标原点的坐标系中得到的，所以为了能在以天线中心为坐标原点的坐标系中将单元辐射场进行叠加，必须对其进行适当的坐标变换，以达到叠加的要求。

以矩形口径为例，简易方法的具体计算过程如下所述。

在计算中需要建立两套坐标系，一是以口径中心为坐标原点的总坐标系，二是以阵元中心为坐标原点的单元坐标系，总坐标系的单位矢量为 $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}, \hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\phi}$ ，场点坐标为 $P(x, y, z; r, \theta, \varphi)$ ，单元坐标系的单位矢量为 $\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3, \hat{e}_r, \hat{e}_\theta, \hat{e}_\varphi$ ，场点坐标为 $P(e_1, e_2, e_3; e_r, e_\theta, e_\varphi)$ ，单元坐标系的选取如图 1 所示。

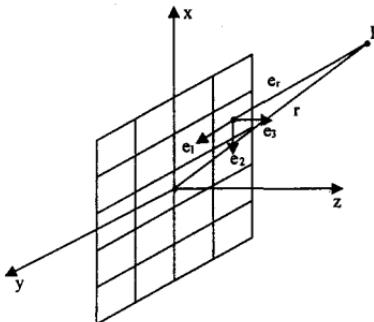


图 1 矩形口径及其坐标系

假设矩形口径的单元数为 $N \times M$ ，每个单元坐标系的原点在总坐标系中的坐标为 $(x_0, y_0, z_0)(\rho_0, \phi_0, z_0)$ 。

单元坐标系的单位矢量为

$$\hat{e}_1 = \hat{y}, \hat{e}_2 = -\hat{x}, \hat{e}_3 = \hat{z} \quad (1)$$

坐标为

$$e_1 = y - y_0, \quad e_2 = x_0 - x, \quad e_3 = z \quad (2)$$

$$e_2 = e_r \sin e_\theta \cos e_\phi$$

$$e_3 = e_r \sin e_\theta \sin e_\phi \quad (3)$$

$$e_1 = e_r \cos e_\theta$$

阵元远场 \bar{E}_e 和 \bar{H}_e 一般来说是已知的，仅需根据以上公式通过坐标变换将所有单元的远场叠加起来即获得天线阵的总场。

$$\bar{E} = \sum_{n \times m} \bar{E}_e, \quad \bar{H} = \sum_{n \times m} \bar{H}_e \quad (4)$$

$$n = 1, 2, \dots, N, \quad m = 1, 2, \dots, M$$

三、计算时间比较

本文中将该简易方法与另一种计算天线近远场的方法^{[3]-[4]}（即口径积分技术）的计算时间比较来说明该方法的简易性。

文献[4]中的方法也是把口径分割成小的辐射单元来计算，与简易方法的不同之处在于，对于单元辐射场的计算，后者是把单元等效成偶极子进行计算，而前者是利用一个已知的矩形口径的远场积分进行计算，此积分如下所示^{[3]-[4]}

$$E(P) = \frac{1}{4\pi} \int G(x', y') \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot [(jk + \frac{1}{r}) \cos(n, r) + jk \cos(n, s)] dx' dy' \quad (5)$$

其中， $E(P)$ 为点 P 处的标量场， $G(x', y')$ 为口径场函数， (n, r) 时口径面法线与 r 之间的夹角， (n, s) 是口径面法线与口径照度之间的夹角，此夹角一般情况下近似为零，所以 $\cos(n, s) \approx 1$ ， A 是口径面。通过引入远场近似条件，可将(5)式化简为^[4]：

$$E(P) = \frac{j(1 + \cos \theta)}{2\lambda} \frac{e^{-jkr}}{R} \int G(x', y') e^{jk \sin \theta |x' \cos \varphi + y' \sin \varphi|} dx' dy' \quad (6)$$

此式仅适用于求解口径天线的远场，对于小辐射单元，其远场公式为：

$$E_{nm}(P) = \frac{j(1 + \cos \theta_{nm})}{2\lambda} \frac{e^{-jkr}}{R_{nm}} \int_{A_{nm}} G(x'_{nm}, y'_{nm}) e^{jk \sin \theta_{nm} |x'_{nm} \cos \varphi_{nm} + y'_{nm} \sin \varphi_{nm}|} dx'_{nm} dy'_{nm} \quad (7)$$

带有下标 nm 的量均是针对第 nm 个小单元而言的。

用上述方法计算天线场时，每计算一个单元辐射场就需要计算一次双重积分，计算时间取决于积分的次数，即场点数和单元数。也就是说，如果一个口径被分割成 $N \times M$ 个单元，则计算一个场点处的场强，需要进行 $N \times M$ 次双重积分计算，计算 P 个场点则需要进行 $P \times N \times M$ 次双重积分。对于双重积分的编程计算，是已经很成熟的，而且已有许多计算模块，但从计算时间上来说，一个双重积分的计算时间要远大于一个简单代数式的计算时间，而简易方法的单元辐射场就是一个很简单的代数式，所以简易方法的计

算时间要比按表面积分的方法^{[3]-[4]}的计算时间少的多。对于两种方法计算时间的比较如表1所示。

表一 计算时间比较

天线类型	天线尺寸	单元数	场点数	计算时间	
				简易方法	文献[3][4]
圆口径	$d = 10\lambda$	41×41	80	2s	475s
矩形口径	$a = 0.072\lambda$ $b = 0.072\lambda$	19×19	73	1s	8s

四、结论

本文对一种计算天线近远场的简易方法和另外一种方法^{[3]-[4]}的计算时间进行比较。通过比较可以看到简易方法在计算过程中不用进行任何积分计算，节省了大量计算时间，这一点使简易方法在具体的实际应用中占据一定的优势，可以提高工作效率。该简易方法还可以应用于其他天线例如天线阵的场强、增益的求解，对于这一点将在以后的工作中做进一步的研究。

参考文献

- [1] 崔正勤, 陈重. 场论基础 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [2] 康行健. 天线原理与设计 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993.
- [3] M.I.Skolnik, editor in chief, Radar Handbook, USA, 1970
- [4] Donggan.Song , Ligao.liu and Qiong.Huang, Using simplex algorithm to calculate the near-field power densities of aperture antennas, Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, 1998
- [5] Gao Benqing, Wu Jian, Ma Lin et al, A generalized algorithm for antenna near-field computation in EMC prediction, Proc. of Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics, Hangzhou, China. Oct., 2003

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>