

# 一种均匀直线阵智能天线波束方向图仿真

曾庆栋,肖永军,童菊芳

(孝感学院 物理与电子信息工程学院,湖北 孝感 432000)

**摘要:**分析了一种均匀直线阵智能天线模型,研究了其工作原理及波束形成技术,并用 MATLAB 软件对波束方向图进行仿真,结果表明,通过调整加权因子,可以使主波束指向水平面任何方向。

**关键词:**智能天线;阵列因子;波束形成;方向图

**中图分类号:**TN820.1   **文献标识码:**A   **文章编号:**1671-2544(2008)06-0050-03

随着移动通信技术的发展,与日俱增的移动用户数量和日益丰富的移动增值服务使无线通信的业务量迅速增加,无线电波有限的带宽远远满足不了通信业务需求的增长。另一方面,电磁干扰现象使信号在无线传输过程中产生多经衰落和损耗,这些因素严重地限制了移动通信系统的容量和性能<sup>[1-4]</sup>。因此,为了适应通信技术的发展,迫切需要新技术的出现来解决这些问题。这样,智能天线技术就应运而生了。智能天线为解决频谱资源不足、提高移动通信系统容量和系统服务质量提供了一个有效的解决途径<sup>[5]</sup>。

## 1 智能天线原理

智能天线为多天线技术,由一组天线阵列及相连的收发信机和数字信号处理模块构成,利用天线各个阵元的位置以及系统对各个阵元的加权关系来改变天线的指向,从而接收或抑制某一方向的信号<sup>[5-6]</sup>。智能的主要含义是指它根据外界用户信号波达方向的变化,通过信号处理技术和自适应滤波算法对这些波束加权因子的幅度和相位自适应调整,使发射和接收方向图动态的跟踪用户,使波束准确的指向用户。为使天线波束指向可控,甚至形状可控,往往采用多根天线组成阵列的形式,每一根天线就是一个阵元。智能天线具有增加通信容量和速率、减少电磁干扰、减少手机和基站发射功率,并具有定位功能的优点<sup>[7]</sup>。

## 2 智能天线的信号模型

天线阵元的排列方式可以是任意的,目前,智能天线的阵元排列分为四种情况<sup>[8]</sup>:线状排列、圆周排列、面状排列和立体结构排列。这四种情况又可分为均匀排列和非均匀排列。本文中作者将进行均匀直线阵列的波束形成研究。直线形天线阵可以用在水平方向平面波在  $0-\pi$  扇区的方位角  $\varphi$  估计和波束形成<sup>[7]</sup>;由于均匀直线排列天线的结构和信号处理量相对简单,且能普遍满足移动通信系统的应用要求。下面通过对均匀直线阵智能天线的理论模型进行分析,图 1, 图 2 分别是均匀直线阵列的空间模型和平面模型<sup>[7,9,10]</sup>。

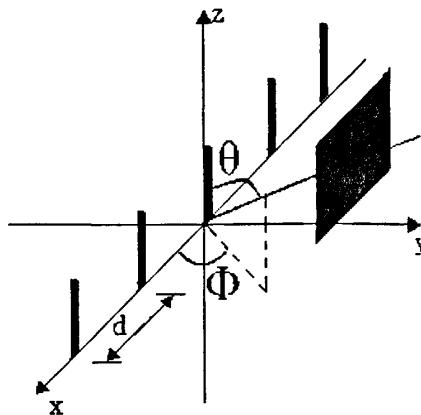


图 1 智能天线三维空间原理图

收稿日期:2008-09-04

作者简介:曾庆栋(1982—),男,湖北广水人,孝感学院物理与电子信息工程学院教师。

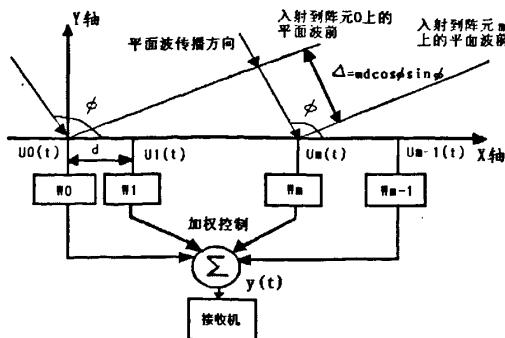


图 2 智能天线二维原理图

在距离信号源足够远的空间里,可以将到达的电磁波视为平面波。对于均匀直线阵,由于调制在载波上的基带信号码元宽度与波束的乘积远大于天线阵列的尺寸,因此到达各个天线元上的信号幅度可以视为不变,而到达它们的载波存在相位差,且相位差取决于各个阵元的空间位置,尺寸,波长和波达方向(仰角  $\theta$ ,方位角  $\varphi$ )。其中从远场的信号源来说,仰角  $\theta = \pi/2$ 。

图 1 中有  $M$  个阵元,均匀排列于  $x$  轴,从 0 到  $M-1$ 。假设第  $k$  个信号以仰角  $k$  (与  $z$  轴的夹角),方位角  $\varphi_k$  (与  $x$  轴的交角)入射到阵列 0 号参考阵元上的信号为  $S_k(t)$ ;第  $m$  个阵元上接收的信号为  $U_{mk}$ ,它与 0 号阵元的波程差为  $\Delta_{mk} = md \sin \theta_k \cos \varphi_k$ ,对于远场  $\theta_k = \pi/2$ ,其相位差为:

$$\Delta \psi_{mk} = \frac{2\pi}{\lambda} md \sin \theta_k \cos \varphi_k \\ = \beta nd \sin \theta_k \cos \varphi_k \quad (1)$$

其中,  $\lambda$  和  $d$  分别是入射波的波长和阵元间距,  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$  为相位传播因子,则阵元  $m$  上产生的信号是:

$$u_{mk} = s_k(t) \exp(-j\Delta \psi_{mk}) \\ = s_k(t) \exp(-j\beta nd \sin \theta_k \cos \varphi_k) \quad (2)$$

为了使天线阵的输出满足需要,在每个阵元上用相应的加权因子  $W_m$  进行控制。这样阵元  $m$  的输出为  $W_m U_m$ ;若到达天线阵的信号数是  $N$ ,天线阵的输出是  $N$  个信号在  $M$  个阵元上输出的叠加。将问题简化为  $xy$  平面的二维问题并用解析式表达如下:

$N$  个信号在  $m$  个阵元上的输出为:

$$u_m = \sum_{k=0}^{N-1} u_{mk} \\ = \sum_{k=0}^{N-1} S_k(t) s_k(t) \exp(-j\beta nd \sin \theta_k \cos \varphi_k) \quad (3)$$

则阵列的输出可以表示为:

$$y(t) = \sum_{m=1}^M W_m S_k(t) \exp(-j\beta md \cos \varphi_k) \\ = S_k(t) f(\theta, \varphi) \quad (4)$$

这里  $(\theta, \varphi)$  称为接收平面波的波达方向 (Direction Of Arrival, DOA),除非特别说明,认为多经分量以水平面方向  $\theta = 0^\circ$  到达基站,因此由方位角  $\varphi$  就可以完全确定波达方向 DOA。

$f(\theta, \varphi)$  称为阵列因子 (array factor),阵列因子是波达方向的函数,通过调整权集  $\{W_m\}$ ,可以将阵列因子的最大主瓣对准任意方向  $(\theta_0, \varphi_0)$ 。在阵列的输出端接收到的功率为

$$P_r = \frac{1}{2} |y(t)|^2 \\ = \frac{1}{2} |s(t)|^2 |f(\theta, \varphi)|^2 \quad (5)$$

调整权集  $\{W_m\}$  可以改变天线阵的方向图<sup>[11]</sup>,令第  $m$  个权因子为

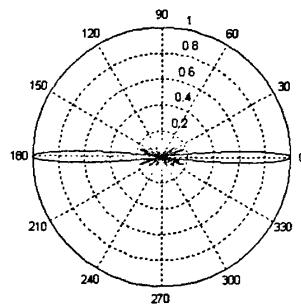
$$W_m = e^{-j\beta md \sin \theta_0} \quad (6)$$

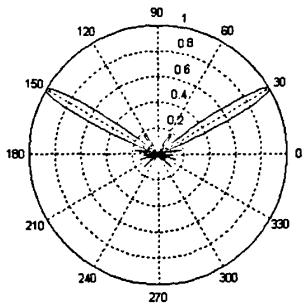
于是阵列因子为

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{m=0}^{M-1} e^{-j\beta md (\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0)} \\ = \frac{\sin \left[ \frac{M\beta d}{2} (\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0) \right]}{\sin \left[ \frac{\beta d}{2} (\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0) \right]} \times \\ e^{j \frac{(M-1)\beta d}{2} (\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0)} \quad (7)$$

### 3 MATLAB 仿真

考察  $x-z$  平面波入射到图 2 所示阵列上的情况(即  $\varphi = 0^\circ$ ),用 MATLAB 软件仿真得到均匀直线阵智能天线的波束方向图,图 3 和图 4 分别给出当  $\theta_0$  为  $0^\circ$  和  $30^\circ$  时的阵列因子,只须调整  $\theta_0$  这一参数,就可以把波束指向水平面任何希望的方向。从图 3 和图 4 中可以看出,与全向天线相比,智能天线的波束方向图具有较窄的主瓣,较灵活的主副瓣大小,位置关系和较大的天线增益。

图 3  $\theta_0$  为  $0^\circ$  时的阵列方向图

图 4  $\theta_0$  为 30° 时的阵列方向图

## 4 结论与展望

通过计算机仿真可以看出,智能天线的波束方向图具有较窄的主瓣,较灵活的主副瓣大小、位置关系和较大的天线增益,并具有自适应调整波束方向等功能。为了最大限度的放大有用信号,抑制干扰信号,最直观的方法是将主瓣对准有用信号的入射方向,而将方向图中的最低增益点(被称之为零陷)对准干扰信号方向。当然,这只是理想情况,实际的无线通信环境比较复杂,干扰信号较多,存在多径传输,有用信号和干扰信号入射方向差异不大等问题使得智能天线不能达到理想的效果。如何选择更优的波束形成算法,自适应调整加权因子,将是今后研究的一个方向。

### [参考文献]

[1] Zekavat S A, Nassar C R. A chieving high-capacity

wireless by merging multicular Technology. *IEEE Transactions on*, 2003, 52(4):772-778.

- [2] Seungwon Choi, Donghee shim. A novel adaptive beamforming algorithm for a smart antenna system in a CDMA mobile communication environment[J]. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 2000, 49(5):1793-1806
- [3] Jinho Choi. Pilot channel-aided techniques to compute the beamforming vector for CDMA system with antenna array [J]. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 2000, 49(5):1760-1775.
- [4] Liu Jian, Yuan Yun, Xu Luzhou. Research on smart antenna technology for terminals for the TD-SCDMA system[J]. *Communications Magazine, IEEE*, 2003, 41(06):116-119.
- [5] 赵勇,李桂花,徐永胜.智能天线技术及其在军事上的应用[J].*电子科学技术评论*,2005(5):18-23.
- [6] 龚耀寰.自适应滤波(第二版)——时域自适应滤波和智能天线[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [7] 杨波.智能天线的波束方向估计[D].昆明:昆明理工大学,2005.
- [8] 李金锁.无线移动通信中的智能天线技术——信号波束方向估计研究[D].昆明:昆明理工大学,2004.
- [9] 张贤达,保铮.通信信号处理[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [10] 郭梯云,郭国扬,李建东.移动通信[M].西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [11] 钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.

## Simulation for Beam Pattern of a Smart Antenna of Uniformly-Spaced Linear Array

Zeng Qingdong, Xiao Yongjun, Tong Jufang

(School of Physics and Electronic-information Engineering, Xiaogan University, Xiaogan, Hubei 432000, China)

**Abstract:** On the basis of the discussion of a smart antenna model of uniformly-spaced linear array and studying of its working principle and beam forming, the simulation for beam patterns have been performed through the MATLAB software. The result shows that the mainlobe can point to any direction in horizontal plane through the adjustment for complex weight.

**Key Words:** smart antenna; array factor; the beam forming; antenna pattern

(责任编辑:陈 鑫)

## 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](http://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](http://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](http://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>