

# 移动通信环境中的智能天线系统

梅 辉 罗文茂

(南京邮电学院)

**摘 要:** 智能天线技术是第三代移动通信中的关键技术之一。本文从移动通信环境传播的特点出发,分析了智能天线如何克服恶劣的移动环境以及它对提高系统覆盖范围,减少干扰,提高系统容量等方面所起的作用。本文还介绍了智能天线技术中的自适应算法。

**关键词:** 智能天线 多波束天线 自适应天线阵列

TN8 B

天线阵列可以用来对抗无线环境中的多径衰落并且用于抑制干扰信号,因此可以提高系统的性能和系统容量。当前在我国应用的数字蜂窝系统主要有全球通移动通信系统(GSM)和码分多址(CDMA)-IS95 系统,在这些系统中,应用具有空分信号处理的天线阵列都可以提高系统的性能。本文对智能天线如何提高无线数字蜂窝系统作了描述,主要对系统覆盖范围和系统容量的提高做了介绍。

## 一、恶劣的无线传播环境

无线通信系统的性能和容量主要受三个因素的影响:多径衰落、延迟扩展、同频干扰。其中多径衰落是由于发射机发出的信号会经过直射、反射、绕射和衍射等路径到达接收机。由于电波通过各个路径的距离不同,到达接收机的幅度和相位也不同。多个不同幅度和相位的信号在接收端叠加,有时同相叠加而增强,有时反相叠加而衰落。这样接收信号的幅度将急剧变化而产生衰落,这种衰落是由于多径现象引起的,所以称为多径衰落。例如在 2G 频率,移动台运动速度为 60 公里/小时将导致 175Hz 的衰落率。为了达到给定的比特误码率,就必须提高所需的接收功率。无线通信的第二个不利现象是延迟扩展,由于多径信号在传播中存在不同的时延造成的。当延迟扩展超过码元周期的 10% 时就会产生码间干扰(ISI),这将限制数字通信的最大传输速率。第三种现象是同频干扰。蜂窝系统把可用的频率分成几个频率集,每个小区使用一个频率集,为了获得较高的容量,给定的频率集在相隔一定距离后重复使用。

例如在大多数 FDMA 系统中频率复用因子为 7,这将产生同频干扰。

## 二、智能天线技术

当前蜂窝系统普遍在基站使用三扇区基站天线,每 120° 一个扇区。每个扇区中,采用两根接收天线作分集用。因为每个扇区使用了不同的频率,所以不同小区间通信要采用切换,尤其是为了获得更高的性能,扇区的天线波束需要更小,这样将导致更多的切换而增加系统的负荷。这促使我们使用智能天线(Smart Antenna)。智能天线系统的基本原理如图 1 所示。

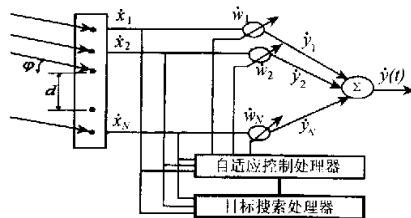


图 1 智能天线系统

智能天线系统一般由三部分组成:阵列天线、波束形成网络、目标搜索网络。根据不同的复杂程度和结构,智能天线主要分为两类:多波束切换天线阵列和自适应天线阵列。

### 1. 多波束切换天线阵列

多波束切换天线阵列是具有多个固定波束的天线阵,一定数量的波束覆盖一定的扇区,例如采用四个 30° 角的波束就可以覆盖 120° 的扇区, C/I 可提高

收稿日期:2003-03-24

6dB,提高了服务质量。多波束切换天线的特点是采用波束合成技术,预先设置好多个波束来覆盖服务小区,通过检测所需信号的来波方向来选择一个波束来跟踪移动台,使移动台的接收信号达到最大。

多波束天线的缺点是:由于多径和干扰,天线可能锁定在错误的波束上,并且提供有限的干扰抑制。

## 2. 自适应天线阵列

自适应天线阵列通过满足一定预先设定好的准则,自我调节天线单元接收到的信号的加权系数,从一些干扰信号和热噪声中提取所需的信号。它引入了空分多址的概念(SDMA),使用空间滤波和反馈控制,提高了所需信号的信号干扰比(SINR),减少了干扰。自适应天线包括  $M$  根相同辐射单元的线性阵或平面阵。这些单元经过幅度和相位控制单元把收到的信号合成在一起输出,这些幅度和相位控制单元涉及到一套加权系数。对每个天线单元接收到的信号进行自适应加权。使阵列天线方向图的主瓣方向对准所需的信号,而零点对准干扰方向抑制干扰。即使在干扰和信号同频的情况下也能很好地抑制干扰。如图2所示。

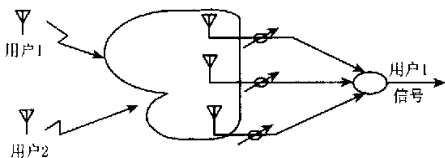


图2 视距情况下自适应阵列波束图

自适应天线阵列可以产生  $M$  倍的天线增益,而且可以得到天线间信号相关性很低的分集增益。理论上对于  $M$  个天线单元的自适应天线阵列可以克服  $N(N < M)$  个干扰信号,并且获得  $M-N$  倍的分集增益。

## 3. 两种天线的比较

计算权值的复杂度:自适应天线阵列的加权是通过某种自适应算法计算得到的,而多波束天线的权值是通过一些预先设置好的权值矢量,所以自适应天线权值的计算比多波束天线要更加费时间。这种缺点尤其体现在移动台的运动速度很快的时候。最差的情况是当权值的计算刚完成时,移动台已经离开了刚才的位置。

抗干扰性能:自适应天线阵列在载干比和系统容

量的改善方面都比多波束天线强。对于阵列天线而言,  $M$  根天线单元的阵列天线最多能产生  $M-1$  个零点,所以对于自适应天线,当同时通话的移动台数量小于天线单元数时将产生比多波束天线更优的性能。

## 三、智能天线的作用

### 1. 增大覆盖范围

对于具有  $M$  根天线单元的自适应天线和多波束天线,由于信号的小角度扩展,将得到  $M$  倍的天线增益。这使得覆盖范围会增加  $M^{1/\gamma}$ , 其中  $\gamma$  为路径传播损耗(典型值为4),并且减少对于给定覆盖范围的基站数目到  $M^{2/\gamma}$ 。自适应天线还能提供分集增益,并随着角度扩展增加(衰落信号的相关性减小),分集增益将增大,这样也就增加了覆盖范围。对于多波束天线,当波束宽度小于角度扩展时,由于它可那把信号排除在波束内,将不能提供额外的天线增益。

以上对于覆盖范围的增加只是针对基站的上行链路(移动台→基站)。对于下行链路(基站→移动台),因为在我国现有的蜂窝系统中(例如 GSM 和 IS-95CDMA),上下行链路使用不同的频率,上行链路的自适应天线技术不能用于下行链路中基站的发射。对于多波束切换天线为了获得分集增益,应该采用发射分集或在移动台使用多根天线。

在 CDMA 系统中,RAKE 接收机一般提供三倍的分集接收效果。不同的波束可以用于 REKE 接收机的不同“指峰”(Finger),因为多波束天线比自适应天线复杂度低,所以多波束天线更适合于 CDMA 系统中,而自适应天线阵列适合于 TDMA 系统中,特别是在有较大角度扩展的无线移动环境中。

### 2. 提高系统的容量

CDMA 系统的容量(这里主要考虑  $E_b/N_0$ , 其中  $E_b$  是每比特能量,  $N_0$  是每赫兹干扰功率)主要取决于扩频增益和本小区及别的小区对所需信号的干扰总和。在自适应天线阵列中,干扰信号的数量通常比天线的单元数多,所以它只能提供有限的干扰抑制。由于多波束天线的复杂程度比自适应天线简单,在 CDMA 系统中选用多波束天线。

另一方面,在 FDMA 系统中的容量是由一些主要的干扰决定,如同频干扰、邻频干扰。多波束天线减少了同一波束内干扰信号对所需信号的概率,通过增加更大的频率复用因子,增加系统的容量。对于

自适应天线可以通过天线阵列消除这些干扰,得到更大的系统容量。

### 3. 提高数据通信的速率

在多径环境中,自适应天线可以从相邻的天线阵单元中分离出信号,相当于利用空间滤波,减少了信号的延迟扩展,进而提高数据速率的传输速率。

## 四、智能天线的自适应算法

波束的形成主要依赖于自适应算法的实现。自适应天线阵列在载干比和系统容量的提高方面都比多波束天线高,所以自适应天线阵列是未来智能天线发展的方向,而自适应算法的优劣又是其中的关键。根据系统中是否利用参考信号,自适应的算法可分为三类:非盲算法、盲算法和半盲算法。

### 1. 非盲算法

非盲算法是指对信号的处理需要借助参考信号(例如在CDMA系统中,采用导频信号)的算法。接收端根据参考信号,按照一定的准则确定或调整加权系数,使智能天线的输出与输入信号最大相关。较常用的准则有:MMSE(最小均方误差)和MLSE(最大概率序列估计)。在MMSE准则中,一个参考信号应该预先知道,通过调整加权系数使接收到的信号和参考信号误差最小。这种准则特别适用于预先知道导频信号和预先确定信号的系统中。

### 2. 盲算法

盲算法不需要发送端预先发射参考信号或导频信号,利用调整信号本身固有的、与具体承载的信息比特无关的一些特征,例如对于常包络调制(FSK、GMSK、PSK),可以使用常模算法(CMA)。这种算法中,每个天线单元的加权系数根据接收到的信号

包络是一个常数而加以调整,使引起信号包络波动的干扰信号和延迟信号可以去掉。

其它常用的盲算法还有:子空间算法(Subspace)、循环平稳方法(Cycle-stationary)等。与非盲算法相比,盲算法无需发送预先知道的导频信号,故频谱利用率高,但它的缺点是收敛速度比较慢,且存在相位模糊。

### 3. 半盲算法

这种算法结合以上两种算法,先利用非盲算法确定初始加权值,这样收敛比较快,然后再用盲算法跟踪和调整加权系数,结合了两者的优点。

## 五、结束语

智能天线在提高天线增益,扩大覆盖范围、增加系统容量和提高数据传输率等方面都有很大的作用。另外智能天线和多载波调制(CM)、RAKE接收等技术相结合,可以达到克服码间干扰,抵消多址干扰和抗多径衰落的目的。正是基于此,各国都非常重视智能天线在未来第三代移动通信(3G)中的应用。例如在北美的3G标准cdma2000中就加入了辅助导频信号以支持智能天线在3G中的应用。我国对智能天线的研究列入了863项目中,TD-SCDMA标准也把智能天线在3G中的应用作为了一关键技术之一。随着数字信号处理技术和微电子技术的发展,智能天线将在第三代移动系统中发挥巨大的作用。

## 参考文献

- 1 Ramakrishna Janaswamy, Radiowave propagation and Smart antennas for wireless communications, Kluwer Academic Publishers, 2001
- 2 W. L. Weeks, Antenna Engineering, McGraw Hill, 1968 ■

(上接第39页)

后将提供所有的3G服务。3G融合计划结构如图5。

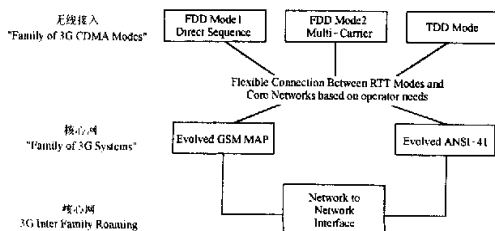


图5 3G融合计划架构

## 参考文献

- 1 Narayan Parameshwar, Ramki Rajagopalan, A Comparative Study of cdma2000 and W CDMA, IEEE IELibrary No. 0-7803-5554-7
- 2 OHG, Harmonized Global 3G(G3G) Specification Framework for ITU IMT-2000 CDMA Proposal, January 1999
- 3 M. Zeng, et al, Harmonization Global Third-Generation Mobile Systems, IEEE Communications, December 2000, 94~104
- 4 C. Perkins, Mobile IP Joins Forces with AAA, IEEE Personal Communications, August 2000, 59061
- 5 Prodip Chaudhury, et al, The 3GPP Proposal for IMT-2000, IEEE Communications, December 1999, 72~81 ■

## 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,一直致力和专注于微波、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>