

# 智能天线增加 CDMA 移动通信系统容量分析

黎英云, 覃团发

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 阐述影响 DS-CDMA 移动通信系统性能的主要因素, 以及智能天线原理和信号模型。从理论上分析采用智能天线技术提高通信系统抗多址干扰、多径衰落的机制。计算机仿真结果表明, 在基站采用智能天线技术后, 通信系统容量成倍增加。

**关键词:** 智能天线, CDMA, 多径衰落

## Analysis of Smart Antenna Increase the Capacity of CDMA Mobile Communications System

LI Ying-yun, QIN Tuan-fa

(College Of Computer and Electronic Information, University of Guangxi, Nanning 530004, China)

**Abstract:** The main factor that affect DS-CDMA mobile communications system and principle of smart antenna and signal model are described. Smart antenna efficiently restrains multi-path fading and multiple access interference (MAI) for CDMA mobile communications system is investigated. Computer simulation results demonstrate that the capacity of DS-CDMA system can be increased several times.

**Key words:** smart antenna, CDMA, multiple path fading

### 1 引言

近年来, 移动通信产业得到了飞速发展, 同时人们对移动通信系统提供服务质量和类型的要求也不断增加。通信容量的增加、通信质量的改善等一系列问题已成为目前移动通信系统亟待解决的问题。智能天线技术可有效地改善通信质量和增加系统容量。

智能天线技术不同于常规的扇区天线和天线分集方法<sup>[1]</sup>, 通过在基站使用全向收发智能天线, 可以为每个用户提供一个窄的定向波束, 使信号在有限的方向发送和接收, 充分利用信号发射功率, 降低信号全向发射带来的电磁污染和相互干扰。因而在移动通信领域引入智能天线技术可减少干扰改善通信质量。

不同于传统的时分多址 (TDMA)、频分多址 (FDMA) 或码分多址 (CDMA) 方式, 智能天线引入了第四维多址方式——空分多址 (SDMA) 方式。在相同时隙、相同频率或相同地址码的情况下, 智能天线仍可以根据用户信号不同的空间传播路径而区分开来。因而在移动通信领域引入智能天线技术可成倍增加通信系统容量。

DS-CDMA 移动通信系统的性能和容量主要受三个因素的影响: 多径干扰、延迟扩展、多址干扰。本文通过计算机仿真, 分析智能天线抑制多径干衰落、多址干扰和延迟扩展, 提高通信系统容量的机制。

## 2 影响移动通信系统性能的主要因素<sup>[2]</sup>

移动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、多址干扰。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, 如图 1 所示。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, 就必须提高所需信号的发射功率。第二个不利因素是延迟扩展。由于多径信号在传播中存在不同的时延造成的。当延迟扩展超过扩频码片周期的 10% 时就会产生明显的码间干扰( ISI), 这将限制数字通信的最大传输速率。第三个不利因素是多址干扰。CDMA 系统采用不同的扩频码字来区分用户, 这就要求各用户的扩频码具有强的自相关性和弱的互相关性。但实际上各用户间的互相干扰不可能完全消失, 所以 CDMA 系统是干扰受限系统, 就是说来自本小区和邻近小区用户的干扰成了决定系统容量和性能的主要因素。多址干扰 CDMA 系统所特有的一种干扰。

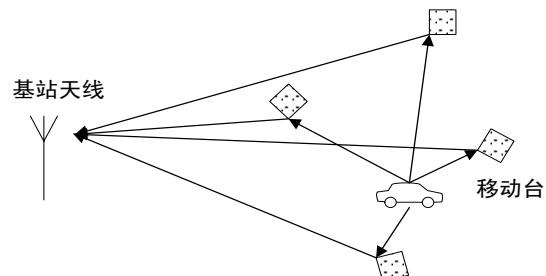


图 1 多径时延示例

## 3 智能天线技术<sup>[3]</sup>

智能天线原名自适应天线阵列, 天线阵列由若干个(无方向性的)天线阵元按一定排列方式组成, 组成方式可设置成不同的几何阵型, 智能天线利用天线阵列中天线阵元空间位置的不同实现对用户信号进行空间采样。从不同方向到达天线阵列的信号有不同的阵列响应, 在接收系统中利用某种自适应算法把不同到达方向的信号区分开来。图 2 是智能天线系统结构框图。

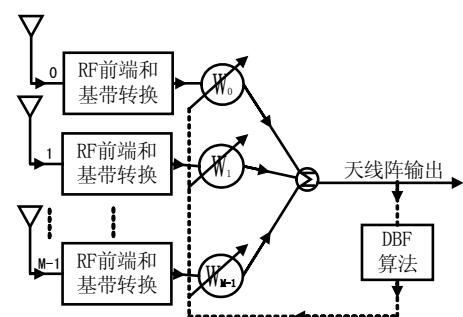


图 2 智能天线系统结构示意图

在图 2 中, 各天线阵元接收到的射频信号分别经下变频、转换成基带信号后分别与天线阵加权向量(复数, 即调节相位又调节幅度)相乘, 相乘结果直接相加作为天线阵的输出结果。图 2 中加权向量  $W_0^*, W_1^*, \dots, W_{M-1}^*$  由自适应控制器调整。在自适应控制器中用于调整加权向量的方法称为数字波束形成(DBF)算法。DBF 算法是按一定的性能准则进行调整加权向量, 使天线阵方向图的主瓣指向期望信号的到达方向, 零陷对准干扰信号到达方向, 副瓣对准期望信号的相干多径(由于期望信号的多径分量与期望信号相关, 因而无法为多径分量形成零陷, 这是一种不利的影响), 如图 3 所示, 从而实现对期望信号的最佳接收或发射。

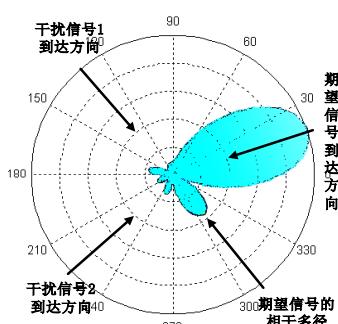


图 3 定向波束抑制干扰示意图

## 4 智能天线阵列响应及信号模型

### 4.1 均匀圆环阵列响应

假设智能天线阵由  $M$  个无方向性的天线阵元组成, 天线阵元均匀分布在圆环周围(均匀圆环阵), 圆环半径为  $R$ 。则用户信号到达方向为  $\theta$  时, 天线阵列响应为:

$$A(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp\left\{j\frac{4\pi R}{\lambda}\sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\sin\left(\theta - \frac{\pi}{M}\right)\right\} \\ \vdots \\ \exp\left\{j\frac{4\pi R}{\lambda}\sin\left(\frac{(M-1)\pi}{M}\right)\sin\left(\theta - \frac{(M-1)\pi}{M}\right)\right\} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $\lambda$  为载波波长。天线阵列响应又称为天线阵导引向量, 反映各天线阵元接收到信号的相位差别。

### 4.2 智能天线信号模型<sup>[4]</sup>

设 CDMA 系统内共有  $Q$  个激活用户从不同位置发送信号, 第  $q$  个用户发送第  $i$  个符号的信号可表示为:

$$s_q(t) = \sqrt{2P_q}b_q(i)C_q(t - iT_b) \quad (2)$$

式中,  $P_q$  为第  $q$  个用户信号的功率;  $b_q(i)$  为第  $q$  个用户发送的符号经信源编码器编码输出的第  $i$  个信息比特, 周期为  $T_b$ ;  $C_q(t)$  为第  $q$  个用户的扩频码:

天线阵接收到的基带信号可表示为:

$$x(t) = \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^{L_q} \sqrt{2P_{q,l}} \alpha_{q,l} A(\theta_{q,l}) b_q(i - \tau_{q,l}) C_q(t - iT_b - \tau_{q,l}) + n(t) \quad (3)$$

式中,  $L_q$  表示第  $q$  个用户信号的多径数,  $P_{q,l}$  表示第  $l$  条路径的信号功率;  $\alpha_{q,l}$  表示第  $l$  条路径的衰落;  $\theta_{q,l}$  表示第  $l$  条路径信号的到达方向,  $\tau_{q,l}$  表示第  $l$  条路径的时延。

由式(3)我们可以看到, 在 DS-CDMA 系统中, 由于多个用户信号在时域和频域上是混叠的, 接收时需要将各个用户的信号进行分离。理想情况下, 利用扩频码的正交特性可保证无偏差地解调用户数据。而在实际系统中, 由于同步不准确及空间信道的多径特性等造成的影响, 导致各用户信号之间无法维持理想的正交特性。这时对某一特定用户而言, 所有工作在同一频段的其他用户信号都是干扰信号(称为多址干扰 MAI), 随着用户数增加, 干扰逐渐增大, 当系统用户数增加到一定数量时, 干扰会使系统无法将期望信号提取出来, 因此, DS-CDMA 系统是一种干扰受限系统, 任何消除干扰的方法都可以提高 DS-CDMA 系统的容量。在基站端采用智能天线接收/发射定向波束, 实现空分多址(SDMA), 可有效地减少 MAI, 增加 CDMA 系统的容量。

以下我们将通过仿真验证采用智能天线技术可成倍地提高 CDMA 系统的容量。

## 5 计算机仿真结果

为了说明智能天线抑制干扰, 提高系统容量, 我们用仿真求解小区激活用户数与系统解调误码率(BER)的关系。

本文仿真环境假定: 智能天线系统采用 Z.Rong 提出的 Ls-DRMTCMA 算法<sup>[5]</sup>调节天线阵的加向量。天线阵由  $M = 8$  个全向天线阵元组成的均匀圆环阵, 圆环阵覆盖 360 度小区。用户数据用 Walsh 序列扩频, 扩频增益为 16, 用升余弦滚动降信号作扩频波形, 码片周期为  $T_c$ , 每码片采样 5 次。激活用户均匀分布在小区周围, 各用户接收信号的多径数均为 2, 延时扩展分别为  $\tau_1 = 0.2T_c$  和  $\tau_2 = 0.4T_c$ , 功率分别为  $P_1 = 0dBW$  和  $P_2 = -3dBW$ , 夹角为 30 度。

因而, 仿真中期望用户信号的质量将受多径衰落、多址干扰和时延扩展影响。

图 4 是由蒙特卡罗模拟得到的 BER 与用户数的关系。从图中我们可看出 BER 随激活用户数增加而增加。采用智能天线后, BER 得到很大改善。当用全向天线时, 在  $BER < 10^{-2}$  情况下, 小区最多能容纳 40 个激活用户; 当采用智能天线时, 在相同 BER 情况下, 小区内激活用户数可达 140 个, 提高两倍多。这是由于智能天线将天线方向图主瓣指向期望信号到达方向, 将零陷对准干扰信号到达方向, 用副瓣对准期望信号的相干多径, 如图 3 所示, 因而能有效地减轻多址干扰和多径衰落对期望信号接收质量的影响。

## 6 结束语

从本文的分析可看出, 智能天线在抑制多径衰落、多址干扰和延迟扩展, 增加系统容量和改善通信质量等方面都有很大的作用。将智能天线和多载波调制(CM)、RAKE 接收、多用户检测等技术相结合, 可以进一步提高通信系统抑制码间干扰、多址干扰和多径衰落的能力。正是基于此, 各国都非常重视智能天线在第三代移动通信(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。我国将智能天线的研究列入了 863 项目中, 我国提出的 3G 标准 TD-SCDMA 把智能天线作为该标准的关键技术之一。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] 黄开枝, 陈国安, 王京. 智能天线和空间分集接收技术[J]. 电讯技术, No. 4, 2002.
- [2] 梅辉, 罗文茂. 移动通信环境中的智能天线系统[J]. 数据通信, No. 3, 2003
- [3] 李世鹤. 智能天线的原理和实现. 电信建设, No. 4, 2001
- [4] Martinez R. delcacho A. Comparative study of LMS and RLS adaptive algorithms in the optimum combining of uplink W-CDMA. IEEE TCOMS, 2002(2):2258~2262.
- [5] Rong Z, P. Petrus, TS Rappaport, and JH Reed. Despread-Respread Multi-Target Constant Modulus Array for CDMA Systems. IEEE Communications Letters, July, 1997, pp. 114-116.

**作者简介:** 黎英云(1974-), 男, 广西人, 广西大学计算机与电子信息学院硕士生, 研究方向: 移动通信。

## 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>