

项目基金号：国家自然科学基金项目 NSF60172029

引入智能天线的 CDMA 系统性能分析

孔俊霞 楼朝霖 袁杰萍 李贺冰

解放军信息工程大学信息工作学院 450002

The Capability Analysis of CDMA System With
Smart Antenna Technology

摘要

众所周知智能天线在提高移动通信系统性能方面表现出许多优良的特性，并已经被列为 3G 和 4G 的关键技术。然而智能天线在提高系统性能方面究竟表现如何？本文以 CDMA 系统为例，详细分析了使用智能天线对增加系统覆盖距离所带来的好处，并从单小区和多小区两个方面分别阐述了智能天线对提高系统信噪比的影响，最后根据实际情况计算出智能天线所能提高的具体系统容量。

关键词

智能天线 CDMA 系统 CINR

Abstract

We all know that smart antenna has many excellent speciality and it's the key technology in 3G and 4G system. But how does smart antenna improve the capability of a system? The paper labors the benefits that smart antenna brings to CDMA system on overlay distance. It indicate that smart antenna can improve the CINR of CDMA system not only in single cell but also multicell conditions. Lastly, the paper calculate the capability of a CDMA system with smart antenna technology.

Key words

smart antenna CDMA system CINR

扰、扩大系统的覆盖范围。

一、CDMA 的距离扩展

智能天线的一个显著优势在于距离扩展。距离扩展可以使手机在离基站更远处进行操作，而不必提高手机上行发射功率或基站发射机的下行功率。

假设系统在无干扰或多径的加性高斯白噪声 (AWGN) 环境下，在不使用阵列天线的情况下，单个阵元上的信号 $u_0(t)$ 的信噪比为

$$\gamma_u = \frac{E[s(t)]^2}{\sigma_n^2} \quad (1)$$

其中 $s(t)$ 为发射信号， σ_n^2 为噪声方差。

现在假设来自用户发射机的一个平面波入射到 M 阵元的阵列上，则天线的输出为

$$\begin{aligned} z(t) &= w^H u(t) \\ &= M s(t) + \alpha^H(\theta, \phi) n(t) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $\alpha(\theta, \phi)$ 为天线阵列在 (θ, ϕ) 方向上的导引向量，则 $z(t)$ 的信噪比为

$$\gamma_z = M \frac{E[s(t)]^2}{\sigma_n^2} \quad (3)$$

由此可看到 M 阵列将 SNR 提高了 $10\log(M)$ dB。

按一般经验，如果某个地区需要 N_c 个常规基站才能覆盖，则该地区只需 $N_s = N_c M^{\frac{2}{n}}$ 个智能天线基站就可完全覆盖。当路径损耗指数 $n=4.5$ 、使用 8 阵元阵列时，理想情况下覆盖该地区所需的基站数比使用常规天线系统的基站减少了 60%。由此可见使用智能天线可以在很大程度上提高基站的覆盖范围，减少移动通信系统中的基站数量。

二、CDMA 系统信噪比的提高

在基于 IS-95 的 CDMA 系统中，量度上行链路性能的一个关键指标是用户所能达到的载干噪比 (CINR)，解扩后的 CINR 为期望信号与干扰、噪声之和的比值。

1、单小区系统

在单小区 CDMA 系统中，假设系统是干扰受限的，信道为加性高斯白噪声，采用理想功率控制，基站使用全向天线，小区中 K 个手机同时向一个基站发

射信号, 语音激活因子为 v 。用户 0 的信号为期望信号, 则用户的 CINR 为

$$\begin{aligned} CINR &= \frac{P_0}{\frac{v}{N} \sum_{k=1}^{K-1} P_k + \sigma_n^2} \\ &= \frac{P_0 T_b}{\frac{v}{N} \sum_{k=1}^{K-1} P_k T_b + \sigma_n^2 T_b} \\ &= \frac{E_b}{v \frac{I_0 \cdot T_b}{N} + N_0} = \frac{E_b}{N_0} \end{aligned} \quad (4)$$

式中 P_0 是基站解扩器输入端的期望信号功率, P_k 是其他各个用户的功率, D_b 为比特宽度, N_0 为热噪声的功率谱密度, N 为扩频因子。

当基站使用智能天线时, 假设系统中 K 个用户均匀分布于二维的小区中 (天线仰角 $\theta = \pi/2$), 每个用户入射到基站天线上的功率均为 P_c , 用户在半径为 R 的圆形区域内独立同分布, 则基站接收机在接收阵列输出端测得的用户 0 所受的总干扰功率的均值为

$$I_0 = G_m P_c E \left\{ \sum_{i=1}^{K-1} F_a(\phi_i) \right\} = \frac{G_m P_c (K-1)}{G_a} \quad (5)$$

其中 ϕ_i 为第 i 个用户在水平面上与 x 轴的夹角, G_a 为方向图水平部分的最大增益。假设系统设定 $P_c \gg \sigma_n^2$, 则平均 CINR 为

$$\begin{aligned} CINR &= \frac{G_m P_c}{v G_m P_c (K-1)} \\ &= \frac{NG_a P_c}{v P_c (K-1)} = \frac{NG_a}{v (K-1)} \end{aligned} \quad (6)$$

即 CINR 与天线方向图的水平分量的增益成正比。

2、多小区系统

这里采用的小区结构为楔形小区形状, 围绕中心小区有 8 个楔形小区, 它们的面积与中心小区的面积相等。

当基站和手机都使用全向天线时, 中心基站反向链路上的总干扰是中心小区用户的干扰 $(K-1)P_c$ 与相邻小区用户的干扰 $8K\beta P_c$ 之和。其中

$$\begin{aligned} \beta &= \int_{R-\pi/8}^{3R\pi/8} \int_{-\pi/8}^{\pi/8} f_{r,\phi}(r, \phi) \\ &\quad \left(1 + \left(\frac{2R}{r} \right)^2 - \frac{4R}{r} \cos \phi \right)^{\frac{n}{2}} dr d\phi \end{aligned} \quad (7)$$

基站加入定向天线后, 中心基站阵列输出端的总干扰功率为全向天线基站接收到的干扰功率的 $1/G_a$ 。

$$I_0 = \frac{(K-1)P_c + 8KP_c\beta}{G_a} \quad (8)$$

因此多小区、基站使用智能天线情况下的信噪比为

$$\begin{aligned} CINR &= \frac{NG_a P_c}{v(K-1)P_c + 8KP_c\beta} \\ &= \frac{NG_a}{vK(1+8\beta)-1} \approx \frac{NG_a}{vK(1+8\beta)} \\ &= \frac{fNG_a}{vK} \end{aligned} \quad (9)$$

式中 f 为复用因子, 是所有小区内干扰源的接收功率与来自所有用户的总干扰功率的比值, 式 (9) 表明期望用户的 CINR 是由方位角的天线方向图和复用因子联合确定的, 相对于全向天线而言, 系统的 CINR 得到了提高。

三、CDMA 的系统容量

分别考察基站使用全向天线、扇区天线和智能天线时 CDMA 的系统容量。其中扇区天线的覆盖范围为 120° , 即每个基站使用 3 个扇区, 覆盖范围分别为 $30^\circ \sim 150^\circ$ 、 $150^\circ \sim 270^\circ$ 和 $-90^\circ \sim 30^\circ$, 天线的方位角增益 G_a 为 4.8 dB 。智能天线的主波束宽 30° , 主瓣内各点增益相等, 旁瓣内各点增益也相等, 且比主瓣增益低 10 dB , 波束的方位角增益为 9.3 dB 。

假设 E_b/N_0 要求为 9 dB , 语音激活因子 $v=0.6$, 则由式 (9) 知所支持的用户数为

$$K \leq \frac{fNG_a}{v(E_b/N_0)} \quad (10)$$

当处理增益 N 为 128, 路径损耗指数 $n=3$, 复用因子 $f=0.60$ 时, 三种情况下基站所能够激活的用户数分别为

$$\begin{aligned} K_1 &\leq \frac{0.60 \cdot 128 \cdot 10^{\frac{9}{10}}}{0.6 \cdot 10^{\frac{9}{10}}} = 16.2 \\ K_2 &\leq \frac{0.60 \cdot 128 \cdot 10^{\frac{4.8}{10}}}{0.6 \cdot 10^{\frac{9}{10}}} = 48.9 \\ K_3 &\leq \frac{0.60 \cdot 128 \cdot 10^{\frac{9.3}{10}}}{0.6 \cdot 10^{\frac{9}{10}}} = 137.8 \end{aligned} \quad (11)$$

因此, 使用全向天线的系统每个小区在反向链路能同时支持 16 个用户, 使用 1200 分扇区时能支持 48 个用户, 而使用智能天线的系统最多可支持 137 个用户。由此可见智能天线技术使 CDMA 系统所支持的用户数得到了成倍的提高。

四、小结

通过上面的分析我们看到使用智能天线的 CDMA 系统性能取得了显著的提高, 智能天线技术在增大 CDMA 基站覆盖范围、提高系统信噪比方面都有非常好的表现, 可使现有或今后的 CDMA 技术以最小的频谱资源支持更大的容量, 是解决现有移动通信系统存在的频谱资源不足的一个有效途径。“山重水复疑无路, 柳暗花明又一村”, 在未来的 3G 和 4G 标准中引入智能天线技术必将给移动通信系统的发展带来新的契机。

参考文献

- [1] Joseph C. Liberti Theodore S. Rappaport. 天线通信中的智能天线: IS-95 和第 3 代 CDMA 应用. 北京: 机械工业出版社
- [2] T. S. Rappaport and L. B. Milstein, Effects of Radio Propagation Path Loss on DS-CDMA Cellular Frequency Reuse Efficiency for the Reverse Channel, IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 3, Aug. 1992
- [3] T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall, NJ, 1996
- [4] 张功国等. 下一代移动通信中的多天线技术. 无线通信技术. 2004, (1)
- [5] 李晖等. 智能天线在第 3 代移动通信中的应用. 电子工程师. 2004, (10)
- [6] 肖杰, 荆雷. 智能天线在移动通信中的应用. 邮电设计技术. 2004, (4)

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>