

用于 CDMA 中的智能天线技术研究

李克 宋福晓 张尔扬

(国防科技大学电子工程学院)

【摘要】本文讨论了应用于 CDMA 中的智能天线技术，并且利用高阶统计量和累积分布函数的概念，分析了在多径干扰条件下智能天线的性能。

【关键词】智能天线 多径干扰 CDF 高阶统计量

1 序言

在移动通信系统中，在不显著增加系统复杂情况下，使用智能天线能够在多径环境中减少衰落和同道干扰，满足扩充系统容量的需要。通过在基站使用全向收发智能天线，可以为每一个用户提供一个窄的定向波束，使信号在有限的方向区域发送和接收，充分利用了信号的发射功率、降低了信号全向发射带来的电磁污染与相互干扰。

具体而言，智能天线将在以下几个方面提高未来移动通信系统性能：(1)扩大系统的覆盖区域；(2)提高系统容量；(3)提高频谱利用率；(4)降低基站发射功率，节省系统成本，减少信号间干扰与电磁环境污染。

智能天线技术之所以比较适宜于 CDMA 移动通信系统中，一个重要的原因是在 CDMA 系统中能够比较容易的产生与期望信号密切相关的参考信号，这是许多智能算法实现时所必须的。

智能天线可以通过模拟电路来实现，但是随着阵元数目的增加，电路的复杂度也随着增大，因此就有必要利用数字方法实现波束成形，即 DBF(Digital Beam-forming)天线。使用软件设计完成自适应算法更新，可以在硬件配置固定的情况下，增加系统的灵活性。

对用于 CDMA 的智能天线阵和阵列的性能分析，本文将分两部分进行探讨。

2 CDMA 中的智能天线阵

结构

CDMA 中的智能天线阵的结构如图 1 所示，它采用 N 元直线阵或 N 元圆环阵。小区内存在 M 个用户，每个用户对应一套权值，根据设定的接收准则和智能算法，使天线阵产生定向波束指向移动用户，减少了多址干扰的影响、达到空间滤波的目的。智能处理器所起的作用是自动地调整权值以便实现所需的空间和频率滤波，它

是任何智能天线阵处理系统的心脏部分。如果每一阵元加上若干抽头延时线，同时送入智能

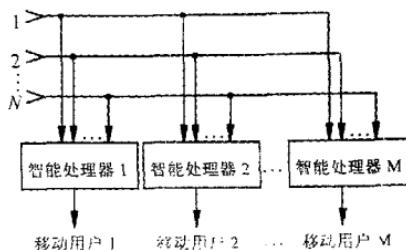


图 1. CDMA 智能天线结构框图

处理器，则还可以抑制多径干扰，使基站的接收信号的信干噪比得到更大程度的提高，降低了系统误码率，从而可以增加小区容量或提高系统的服务质量。

智能天线在三个方面使接收信号衰落程度有所降低：(1)利用智能天线所形成的具有较强定向性的主瓣，减少接收到的多径信号的数量，降低衰落；(2)在智能天线阵中采用抽头延迟线技术，对接收到的多径信号进行最佳合并，充分利用多径信号的信息能量；(3)利用智能天线的较强的抑制多径干扰的能力，提高系统性能。

在 CDMA 系统中，由于移动台处于运动状态，周围的多径反射信号使基站、移动台接收到的信号幅度服从瑞利分布，产生快衰落特性。当信号衰落过大时，就会影响接收质量。利用分离多径接收机如 RAKE 接收机是减少多径干扰的一种比较有效的方法，但它只能分离时延大于一个码片的多径信号。抽头延迟线智能天线处理器可以合成输入信号和延迟输入信号的复制品，以形成天线阵总的输出。因此抽头延迟线处理器具有多径补偿的能力，因为多径信号也是由直达信号经延迟和加权的复制信号组成的。

在 CDMA 系统中应用智能天线技术，必须根据不同的信号环境和性能要求采用不同的智能算法，软件无线电技术的发展，使得这种要求的实现成为可能，图 2 是基于软件无线电的结构框图。

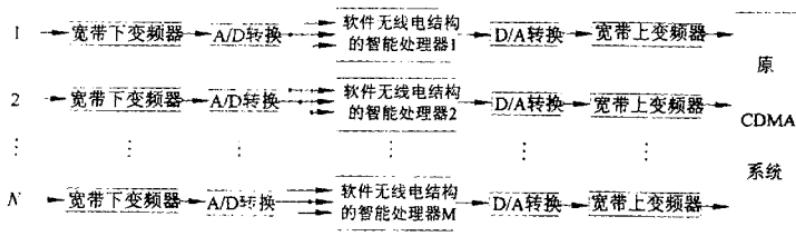


图 2. 基于软件无线电的智能天线在 CDMA 移动通信系统中的应用

3 多径干扰条件下的智能天线性能分析

在 CDMA 系统中，多径反射信号的存在使信号接收问题更加复杂。需要考虑到的不仅包括不同的传播路径和在接收点上不同的源分布，还要了解对于任一个所需信号和干扰噪声的任意支路相关和支路增益。智能天线阵输出信干噪比的 CDF(累积分布函数)是一个非常有用的统计量。对于不同的调制方式，在多干扰和相干平坦衰落存在情况下，对其作出近似分析，在概率密度函数已知的情况下，可以得到天线阵最佳合成器的 BER 性能分析。

对 CDF 进行分析，如果在天线支路之间只有一个干扰和独立的衰落时，分析结果比较容易取得。但在多干扰和相干衰落的多径环境下，就需要借助于蒙特卡洛仿真方法，这需要满足各种限制条件(如过多的计算时间和在小概率水平时不精确的结果)。

传送一个需要的信号和 L 个干扰信号，设这些信号都为窄带信号，在天线的各个单元上都为平坦的瑞利衰落，在对信号进行各阶期望分析的时候，可认定期望周期都远小于衰落周期。信号于是独立传输，在一个给定单元收到的不同的信号经历独立的衰落，而在不同的

大线支路收到的出自同一信号源的信号不必是独立的，这是由于相互耦合和天线单元间有限空分的缘故。

3.1 CDF 的推导过程

智能天线阵输出 SINR(信干噪比)的 CDF 的取得，首先要求出 CDF 的概率密度函数 PDF，而 PDF 是特征函数 $\psi(z)$ 的拉普拉斯变换的反变换。特征函数的取得可以通过对天线阵接收信号的协方差矩阵进行分析而取得。下面，对这一过程做简要的公式推导。

天线阵结构如图 3 所示：

设 $\mathbf{u}_j = \{u_{j,1}, \dots, u_{j,M}\}$ ， $0 \leq j \leq L$ 是

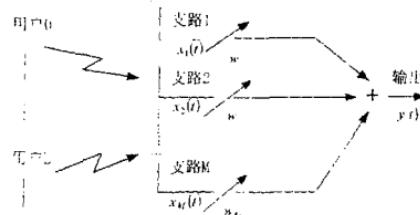


图 3 (L+1)用户 M-Tx 智能天线系统简图

第 j 个信号的复传播矢量。阵列收到的信号为： $\mathbf{x} = \sum_{j=0}^L \mathbf{x}_j + \mathbf{n} = \sum_{j=0}^L \mathbf{u}_j s_j + \mathbf{n}$, \mathbf{x}_j 和 \mathbf{n} 是收到的

第 j 个信号和噪声矢量。互协方差矩阵为： $\Phi = E\left[\left(\sum_{j=1}^L \mathbf{x}_j + \mathbf{n}\right)\left(\sum_{l=1}^L \mathbf{x}_l + \mathbf{n}\right)^H\right]$ ，当求均值的时间

要远小于衰落周期时，化简得： $\Phi = \sigma^2 I - \sum_{j=1}^L \mathbf{u}_j \mathbf{u}_j^H$ ，当处于最佳合并时，输出 SINR 为

$\gamma = \mathbf{u}_j^H \Phi^{-1} \mathbf{u}_0$ ， \mathbf{u}_j 的高斯概率密度函数为： $p_j(\mathbf{u}_j) = \frac{1}{\pi^M |\mathbf{R}_j|} \exp(-\mathbf{u}_j^H \mathbf{R}_j^{-1} \mathbf{u}_j)$ ， $0 \leq j \leq L$ 。

$\mathbf{u}_0, \dots, \mathbf{u}_L$ 的联合概率密度函数为： $p_u(\mathbf{u}_0, \dots, \mathbf{u}_L) = \prod_{j=0}^L p_j(\mathbf{u}_j)$

特征函数 $\psi(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p_u(\mathbf{u}_0, \dots, \mathbf{u}_L) \cdot \exp(-z \mathbf{u}_0^H \Phi^{-1} \mathbf{u}_0) d\mathbf{u}_0 \cdots d\mathbf{u}_L$ ，CDF 的概率密度函数 PDF 为

$\psi(z)$ 的拉普拉斯反变换： $p(\gamma) = \delta^{-1} \psi(z)$ ，即输出 SINR 的 CDF 为： $P(\gamma) = \int_{-\infty}^{\gamma} p(\gamma) d\gamma$ 。

CDF 通常用于 M 个相关支路和 L 个噪声情况下的最佳合并，由此确定了整个分布。和蒙特卡洛仿真相比，利用 CDF 方法有显著的优点：确定平均特征值需要的只样数较少，一旦找到了平均特征值，就可以完全了解分布情况，得到在任何输出水平上的概率分布。

3.2 智能天线阵输出的高阶统计量分析

移动通信系统中的基站如果使用智能天线阵单元接收信号，我们可以利用信号的高阶统计量进行分析，降低由于多径RF射频传播造成的性能衰退。

在基站信号接收的处理过程中，空分处理方法并不是有效的，因为利用传统的波束形成技术并不能补偿 ISI(符号间干扰)。对于由多径衰落引起的 ISI 问题，合并在一起的空时滤波器是一个非常有效的解决方法。空时滤波器的方法导出了一个离散时间的 SIMO(单输入、多输出模型)，需要对其进行均衡处理。标准的均衡技术是基于一个等价的 MP(最小相位)系统模型的基础上的，这是因为它只对信号的二阶统计特性进行处理。例如：最小均方误差准则就是基于二阶统计特性的。但是真实的信道并不具备 MP 特性，所以对于非最小相位系统进行均衡，就需要找寻别的方法，而利用信号的高阶统计特性进行分析是一个引人注目的问题。

基于高阶统计累积量的均衡方法对于高斯噪声不敏感，高阶累积量估计需要比传统相关估计更多的采样点，所以使 HOS(高阶统计量)的方法应用于实践的难度较大。在它的实际应用中，唯一的盲算法是 CMA(固定模算法)，这个算法需要的条件是：累积量是线性的以及对过程的采样是统计独立的。它的优点在于以下两个方面：

- (1) 不需要任何训练序列和信号来获得信号检测。
- (2) 不需要估计到达角度，因为天线阵对定标误差不敏感。

增加天线阵单元的数目(空间处理架构的阶数)，相对于增加支路滤波器的长度(时间处理架构的阶数)，更为复杂。实际上，时域处理只要求 DSP 处理满足要求即可。当利用高阶统计量时，因为需要更大的采样数目来获得连续的累积估计，造成跟踪速度降低。所以性能的提高是以增加计算的复杂度为代价来获得的。

4 结论

本文对应用于 CDMA 的智能天线技术进行了介绍和分析，并提出了利用阵列处理信号的累积分布函数结合高阶统计量的方法来对天线阵性能进行分析。得出性能的提高是以天线阵的复杂度的增大为代价的，这个复杂度的提高包括天线阵结构的复杂度增大和计算量的增大，所以在实际应用中，要综合考虑到影响性能的因素的各个方面，使智能天线阵的性能达到最佳。

参考文献

- [1] 喻军.CDMA 移动通信系统中智能天线技术应用的研究.北方交通大学博士论文.1998
- [2] 李小强，胡健栋.未来移动通信系统中的智能天线技术.移动通信.1999(1)
- [3] Cumulant-Based Adaptive Multichannel Filtering For Wireless Communication Systems With Multipath RF Propagation Using Antenna Arrays. Massimiliano(Max) Martone . IEEE Transaction on Vehicular Technology .vol.47.No.2.may.1998
- [4] Multipath Performance of Adaptive Antennas With Multiple Interfers and Correlated Fadings.Tien D.Pham and Keith G.Balmain. IEEE Trans on Vehir Technology .vol.48.No.2.March 1999

邮政编码： 410073

通信地址： 湖南省长沙市国防科技大学四系研究生队九八博 (李克收)

联系电话： 0731—4553549—138

作者简介：

李克： 博士研究生、现于国防科技大学电子工程学院从事移动通信和智能天线技术研究。

宋福晓： 通信专业工程师，现于国防科技大学攻读硕士研究生，专业研究方向为计算机数据通信网。

张尔扬： 国防科技大学电子工程学院通信专业博导，国家 863 专家。

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>