

第三代移动通信的关键技术——智能天线

苗 强, 毛玉泉, 黄 凯

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要 智能天线是第三代移动通信系统的主要关键技术之一。本文在简要介绍智能天线的基本原理、系统组成的基础上, 详细论述了智能天线的自适应算法和技术优势。

关键词 智能天线; 自适应天线阵列; 自适应波束形成算法; 盲算法; 常数模算法

中图分类号 TN83

1 绪 论

随着移动通信产业的高速发展及其用户的飞速增长, 市场对移动通信技术的改进和更新提出了更高的要求。而如何提高无线频谱的使用效率成为近年来各种新技术所面临解决的核心问题。

第三代移动通信系统是正在全力投入开发的系统, 其最基本的特征是智能信号处理技术。智能信号处理模块将成为它的基本功能模块, 实现基于话音业务为主的多媒体数据通信。目前最典型的智能天线技术是实现移动通信扩大通信容量的关键技术之一。智能天线技术作为有效解决这一问题的新技术已成功应用于移动通信系统, 并通过对无线数字信号的高速时空处理, 极大地改善了无线信号的传输, 成倍地提高了系统的容量和覆盖范围, 从而极大地改善了频谱的使用效率。

2 智能天线的基本原理

智能天线即自适应天线, 由多个天线单元组成, 每一个天线后接一个复数加权器, 最后用相加器进行合并输出 (图 1 所示)。这种结构的智能天线只能完成空域处理, 同时具有空域、时域处理能力的智能天线在结构上要相对复杂些, 每个天线后接的是一个延时抽头加权网络 (结构上与时域 FIR 均衡器相同)。自适应或智能的主要含义是指这些加权系数可以根据一定的自适应算法进行自适应更新调整。

智能天线利用现代数字信号处理技术, 选择合适的自适应算法, 动态形成空间定向波束, 使天线

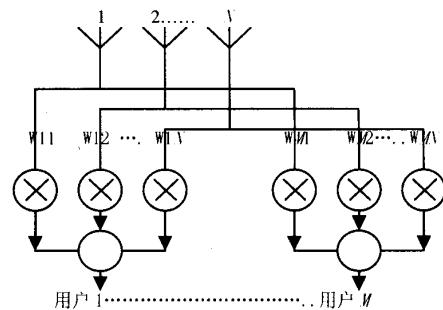


图 1 智能天线方框图

阵列方向图主瓣对准用户信号到达方向, 旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向, 从而达到充分利用移动用户信号并抵消或最大程度地抑制干扰信号的目的。

假设天线满足窄带传输条件, 即入射信号在天线各单元的响应输出只有相位差, 且入射信号为平面波 (即只有一个入射方向), 则这些相位差由载波波长、入射角度、天线位置分布惟一确定。给定一组加权值, 一定的入射信号强度, 不同入射角度的信号由于在天线间的相位差不同, 合并器后的输出信号强度也会不同。理想情况下, 可以做到将天线方向图主瓣对准有用信号, 而把副瓣或零陷对准干扰。但实际的无线通信环境很复杂, 干扰信号很多, 存在多径效应, 有限的自由度限制 (由天线阵元数决定), 有用信号和干扰信号在入射方向上只有很小的夹角等因素都使得实际情况达不到理想的要求。但是追求最大的信噪比仍然是最终目标。

3 智能天线的系统组成

智能天线的布阵方式一般有直线阵、圆阵和平

面阵，阵元间距 $1/2$ 波长（若阵元间距过大会使接收信号彼此相关程度降低，太小则会在方向图形成不必要的瓣瓣，故一般取半波长）。智能天线采用数字信号处理技术判断用户信号到达方向（即 DOA(Direction of arrival) 估计），并在此方向形成天线主波束，它根据用户信号的不同空间传输方向提供不同的信道，等同于有线传输时的线缆，从而可以有效的抑制干扰。

考虑到软件无线电系统要求在中频进行采样，然后用软件完成中频处理。每秒几十兆的采样速率要求 DSP 必须有足够快的速度完成操作。但是粗略的计算表明，即使采用最快的器件，在 DSP 上用软件实现下变频功能还是不现实的，因为 DSP 只能完成基带处理的功能。一个比较实用的方案是采用专业的可编程逻辑器件来完成高速的滤波和处理，以减轻 DSP 的压力。由于实时处理时对处理速度的需求很高，仅靠单 DSP 系统性能的提高已经不能满足要求。而并行通用浮点 DSP 将片间并行功能集成在单片 DSP 内部，可以获得很高的并行处理能力和并行效率，因此在实际系统中都是采用并行 DSP 阵列来提高处理能力。理论上， N 个 DSP 并行可以提供 N 倍的处理能力，但在实际系统中必须在算法设计上付出很大的代价。一个好的算法应该能够尽量并行而且适合多个 DSP 同时实现，同时还要使得处理器之间的数据交换应尽可能少和尽可能快。

4 智能天线采用的自适应波束形成算法

智能天线技术研究的核心是自适应算法。从是否需要参考信号（导频序列或导频信道）的角度来划分，这些算法可分为盲算法、半盲算法和非盲算法三类。非盲算法是指须借助参考信号的算法。由于发送时的参考信号是预先知道的，对接收到的参考信号进行处理可以确定出信道响应，再按一定准则（如著名的迫零准则）确定各加权值，或者直接根据某一准则自适应地调整权值（也即算法模型的抽头系数），以使输出误差尽量减小或稳定在可预知的范围内。常用的准则有最小均方误差 MMSE (Minimum mean square error)、最小均方 LMS(Least mean square) 和递归最小二乘等等；

而自适应调整则采取最优化方法，最常见的就是最大梯度下降法。盲算法则无须发送参考信号或导频信号，而是充分利用调制信号本身固有的、与具体承载信息比特无关的一些特征（如恒包络、子空间、有限符号集、循环平稳等）来调整权值以使输出误差尽量小。

常见的算法有常数模算法 CMA (Constant module arithmetic)、子空间算法、判决反馈算法等等。常数模算法利用了调制信号具有恒定的包络这一特点，具体又分最小二乘 CMA 算法、解析 CMA 算法、多目标 LS-CMA 算法等；子空间算法则将接收端包含有其它用户干扰及信道噪声的混合空间划分为信号子空间和噪声子空间，对信号子空间进行处理；判决反馈算法则由收端自己估计发送的信号，通过多次的迭代，使智能天线输出向最优结果不断逼近。非盲算法相对盲算法而言，通常误差较小，收敛速度也较快，但发送参考信号浪费了一定的系统带宽。为此，学者们又发展了半盲算法，即先用非盲算法确定初始权值，再用盲算法进行跟踪和调整。这样做一方面可综合二者的优点，一方面也是与实际的通信系统相一致的，因为通常导频信息不是实时发送而是与对应的业务信道时分复用的。

波束赋形的目标是根据系统性能指标，形成对基带信号的最佳组合与分配。具体说，波束赋形的主要任务就是补偿无线传播过程中由空间损耗和多径效应等引起的信号衰落与失真，同时降低用户间的共信道干扰。软件无线电系统均采用数字方法实现波束合成，即数字波束形成 DBF(Digital bind form)，从而可以使用软件设计完成自适应算法更新，在不改变系统硬件配置的前提下增加系统的灵活性，根据波束形成的不同过程，实现智能天线的方式又分为两种：阵元空间处理方式和波束空间处理方式。阵元空间处理方式直接对各阵元按接收信号采样并进行加权处理后，形成阵列输出，使天线方向图主瓣对准用户信号到达方向，天线阵列各阵元均参与自适应调整；波束空间处理方式实际上包含两级处理过程，第一级对各阵元信号进行固定加权求和，形成指向不同方向的波速率，第二级对第一级输出进行自适应加权调整并合成，此方案不是

对全部阵元都从整体最优计算加权系数，而是只对部分阵元作自适应处理，它的特点是计算量小，收敛快，并且有良好的波束保形性能。

5 智能天线的技术优势

智能天线在移动通信系统中的广泛应用无疑将明显改善移动通信系统的整体性能提高系统的容量。具体体现在下列方面：

(1) 提高频谱利用率。采用智能天线技术代替普通天线，提高小区内频谱复用率，可以在不新建或尽量少建基站的基础上增加系统容量。

(2) 迅速解决稠密市区容量瓶颈。未来的智能天线应能允许任一无线信道与任一波束配对，这样就可按需分配信道，保证呼叫阻塞严重的地区获得较多信道资源，等效于增加了此类地区的无线网络容量。

(3) 抑制干扰信号。智能天线对来自各个方向的波束进行空间滤波。它通过对各天线元的激励进行调整，优化天线阵列方向图，将零点对准干扰方向，大大提高阵列的输出信噪比，改善了系统质量，提高了系统可靠性。对于软容量的 CDMA 系统，信噪比的提高还意味着系统容量的提高。

(4) 抗衰落。高频无线通信的主要问题是信号的衰落，普通全向天线或定向天线都会因衰落使信号失真较大。如果采用智能天线控制接收方向，自适应地构成波束的方向性，可以使得延迟波方向的增益最小，降低信号衰落的影响。智能天线还可用于分集，减少衰落。

(5) 实现移动台定位。采用智能天线的基站可以获得接收信号的空间特征矩阵，由此获得信号的功率估值和到达方向。通过此方法，用两个基站就可将用户终端定位到一个较小区域。

6 结语

虽然智能天线技术带给软件无线电系统的优勢是其他技术都难以取代的，但是它也产生一些新的问题，如：智能天线的实时自动校准和波束赋形的速度问题，以及由于智能天线的引入带来的设备复杂性问题等。因此，使用智能天线时，必须结合其他基带数字信号处理技术，如：干扰抵消、联合检测和 Rake 接收等。智能天线系统未来将向着数字化、集成化，适合宽带高速传输并能抑制多个干扰的方向发展。

参考文献

- 1 李世鹤，康绍莉. TD-SCDMA 系统中基于上行参数的下行波束赋形算法. 通信学报. 2002, (8):67~71.
- 2 汪纪锋. 基于软件无线电的智能天线技术. 邮电学院学报(自然科学版), 2001,(6): 83~85.
- 3 桑怀胜. 智能天线的原理、自适应波束形成算法的研究进展与应用. 国防科技大学学报, 2001, (6): 83~85.
- 4 美. Clint Smith Daniel Collins. 第三代移动通信网络. 北京: 人民邮电出版社. 2003, 307~318.
- 5 美. Wang Jiangzhou. 第三代移动通信系统无线增强技术. 北京: 电子工业出版社. 2003, 29~35.
- 6 美. Ramjee Prasad. 第三代移动通信: 欧洲的先进技术. 北京: 电子工业出版社. 2002, 308~325.

作者简介

苗强 (1981—), 男, 空军工程大学电讯工程学院硕士研究生。研究方向: 无线定位技术。

毛玉泉 (1957—), 男, 空军工程大学电讯工程学院副教授, 硕士生导师。研究方向: 航空数据链。

黄凯 (1979—), 男, 空军工程大学电讯工程学院硕士研究生。研究方向: 航空数据链。

The Smart Antenna—a Key Technology of the Third Generation

Miao Qiang, Mao Yuquan, Huang Kai

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract The smart antenna is one of the main key technologies of the third generation mobile communication. This paper first gives an introduction to the principle and system components of the smart antenna and then discusses its self-adaptable arithmetic and technological advantages.

Keywords Smart antenna; self-adaptable antenna array; self-adaptable beam forming arithmetic; blind arithmetic; constant module arithmetic

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>