

无线通信中的多天线技术

朱礼勇

南京熊猫汉达科技有限公司,南京,210002

摘要 本文介绍了无线通信中通常采用的三类多天线技术,即智能天线技术、分集技术、MIMO技术。首先阐述三类技术的基本原理并对其进行比较分析,而后介绍目前研究的热点及未来发展的趋势与面临的挑战。

关键词 无线通信,智能天线,分集,MIMO

无线通信的一个突出的特点就是信号传播环境复杂,如何消除多址干扰(MAI)、码间串扰(ISI)、同道干扰(CCI)及多径衰落的影响,在有限的频谱资源上传输大容量、高速率的无线数据业务,是无线通信系统中亟待解决的问题。多天线技术为解决上述问题提供了一种新的思路,其作为一种能有效提高频谱利用率、增加系统容量、抵抗和抑制各种干扰的技术引起了广泛研究,被视为未来无线通信中的关键技术之一。

1 智能天线技术

1.1 智能天线的优势

在不同时间抵达接收机的多个信号路径所造成的时延散布和符号间干扰(ISI)会对通信链路质量产生重大影响,另一方面,同信道干扰也是限制无线系统容量的一个主要因素,它是由众多的用户复用现有的网络资源(例如频率、时间)造成的。智能天线系统可以通过对抗多径传输效应或建设性地利用不同的路径来改善链路质量,并且可通过减轻干扰和允许以不同的天线发送不同的数据流来提高容量。智能天线的好处归纳如下:

增大距离/覆盖范围:由于天线单元接收信号的相干组合,天线阵或波束形成增益造成了信号功率的平均增加,其增加量与接收天线的数量成正比。

较低的功率要求和降低成本:对指向目标用户的发送的优化(发射波束形成增益)达到了降低功率消耗和放大器成本的作用。

改善链路质量/可靠性:通过接收独立衰落信号分量的信号独立样本,获得了分集增益。衰落是高度随机的,至少有一个以上的信号分量不会是深度衰落的。基于这一事实,独立多维原理的使用降低了信号的有效起伏。当用智能天线在空间域取样时,可以得到时间、频率、码和空间等形式的分集。一个非频率选择性衰落的多输入多输出信道的最大空间分集量级等于接收和发射天线数量的乘积。通过特定的调制编码制式,也可以利用具有多个发射天线的发射分集,而接收分集则要依靠独立多维衰落信号的合成。

提高频谱利用率:精确控制发射和接受功率,以及利用训练序列的知识和/或接收信号的

其他特性(比如恒定包络、周期稳定性),使干扰减弱,并增加同一可用资源(比如时间、频率、码)用户的数量,增加由同一个基站用户对这些资源的复用。

1.2 智能天线技术面临挑战和发展趋势

目前智能天线面临的挑战主要有:智能天线和其他抗干扰技术的结合、波束赋形的速度问题、设备复杂性的考虑、共享下行信道及不连续发射、帧结构及有关物理层技术等。

在未来一代无线系统中采用智能天线技术,应要求智能天线特性成为系统设计不可分割的一部分,以便能提高频谱利用率,最大限度降低建设新无线网络的成本,提高服务质量,实现可重新配置的、强健和透明的跨多种技术无线网络操作等产生所期望的有益影响。为达到此目标,该领域未来的研究工作将集中于下列关键问题:

- (1) 设计和开发先进的智能天线处理算法,使其适应变化的传播和网络条件,具有对抗网络损伤的顽强性。
- (2) 为了优化系统性能,实现跨不同无线系统及平台的透明操作,开创新的智能天线开发和设计战略。
- (3) 在建立精确信道和干扰模型并引入合适的性能度量标准和模拟方法的基础上,对所建议的算法和战略进行实际性能的评估。

2 分集技术

2.1 分类与比较

分集技术是通过对同一个发射信号的不同副本进行综合接收,以此来减少信号在传输过程中可能产生的深度衰落的技术。从分集技术接收的副本所在的不同领域来说,可以分为4大类^[1],即时间分集、频率分集、角度分集和空间分集。

每一种分集技术在带来一定的分集增益的同时,也要付出一些资源的代价。时间分集以降低传输速率作为代价,所以不适合高速通信情形和对延时敏感的业务。频率分集的代价是频谱利用率的降低和发射功率的增加,虽然可以使用扩频技术增加可用的带宽,但是在频谱日益紧张,可用频率已经成为一种稀缺资源的情况下,使用频率分集作为一种主要的分集方法也是不明智的。角度分集也是多天线分集的一种方式,不过它使用的是特殊的定向天线,角度分集面对的问题是由于天线阵不可能覆盖所有多径方向,因此必然会带来发射功率的损失,严重的情况甚至会带来性能的下降。从总体上说,空间分集是这几类分集技术中最佳的,它不产生功率的额外损失,或者以频率或者传输速率的牺牲为代价,它所需要付出的代价是增加设备的成本和复杂性。随着技术的发展,硬件和软件的成本是可以不断降低的,而其他的天然资源却是不可再生的。因此,从整体性能和发展趋势上看,空间分集具有其他几种分集技术的优势而避免了它们的劣势,在目前而言是最为可取的。

2.2 分集技术的发展趋势

从分集技术的发展看,随着多天线技术在通信中的应用,空间分集成为主要的分集技术,因为与时间和频率分集相比,它无需牺牲带宽和传输速率,而能够得到分集增益,较好对抗多

径衰落^[2]。多天线分集(空间分集)又分为发射分集和接收分集,相对来说接收分集的实现较为简单。在基站与移动终端通信中,基站对移动终端发射的多径信号实现接收分集是比较容易地,但是在移动终端一方,由于受体积、成本的限制,要对基站发射的信号实现接收分集是不太现实的。于是发射分集的技术就显得更加重要。在发射分集技术的研究中,也经过了从时间分集到空时编码的空间分集技术的演进。采用空时编码的空间分集技术无需信道信息的反馈而且计算量比较小。在目前使用的多天线系统中,混合的分集技术——空间/时间分集以及空间/频率分集也是经常被使用的技术。对于空间分集来说,使用空时编码时不光要考虑分集增益(分集度)的最大化,还要考虑到分集度与空分多路(自由度)的最大化。总之,分集技术的研究重点趋向于空间分集技术的细化以及空间分集与其他分集技术乃至多路复用技术的结合。

3 MIMO 技术

多入多出技术由来已久,早在 1908 年马可尼就提出用它来抵抗信号的衰落。然而直到 20 世纪 90 年代才由贝尔实验室对此项技术做出重大推动作用。1995 年 Teladar 给出了衰落情况下的 MIMO 容量;1996 年 Foschini 给出了一种多入多出处理算法——对角 - 贝尔实验室分层空时(D-BLAST)算法^[3];1998 年 Tarokh 等讨论了用于多入多出的空时码;1998 年 Wolniansky 等人采用垂直 - 贝尔实验室分层空时(V-BLAST)算法建立了一个 MIMO 实验系统,在室内试验中达到了 20bit/s/Hz 以上的频谱利用率,这一频谱利用率在普通系统中极难实现。这些工作受到各国学者的极大注意,并使得 MIMO 技术的研究工作得到了迅速发展。

3.1 MIMO 工作原理

多入多出(MIMO)技术要求空间传播的信号在发射端和接收端都要使用这种技术^[4]。它是在不增加传输带宽的情况下,将要发射的信号通过不同的空间路径尽可能快的发送出去,进而提高系统的频谱利用率。理论研究已经证明,此技术能在不增加带宽的情况下成倍地提高通信系统的容量和频谱利用率,是新一代无线通信系统采用的关键技术。这项技术突破了传统的理论认为多径信号是系统的干扰必须加以抑制的局限,使得多径信号变废为宝,是对通信理论的重大贡献。具体原理见图 1。实质上,这种技术是一种“空分复用”技术。

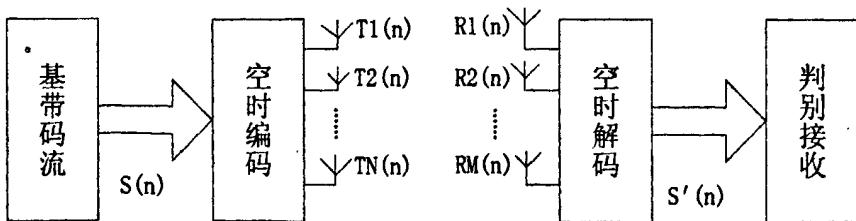


图 1 MIMO 系统框图

MIMO 技术实质上是为系统提供空间复用增益和发射分集增益。目前针对 MIMO 信道所进行的研究也主要围绕这两个方面。MIMO 通信中,空时编码将数据分成多个数据子流在多个天线上同时发射,建立空间分离信号和时间分离信号之间的关系,通过在发射天线间的时域

引入编码冗余得到分集增益;空间复用则是将输入数据分成多个子流,每个子流从不同的天线发送出去,在同一频带上使用多个数据通道(MIMO子信道),从而使得容量随着天线数量的增加而线性增加。空间分集增益可以提高信道的可靠性,降低系统误码率;空间复用增益可以大大提高信道容量,而且不需要占用额外的带宽和发射功率。

3.2 MIMO 技术研究现状与趋势

(1) 与正交频分复用(OFDM)技术的结合

许多研究人员认为,MIMO + OFDM 是未来的 4G 移动通信系统的主要核心技术。因为,单一的多入多出(MIMO)系统虽然在一定程度上可以利用多径信号分量,但是对于深频率选择性衰落依然无能为力。而单一的 OFDM 技术虽然通过相邻的彼此正交的子信道相互部分重叠的方法提高了频谱利用率,但是距离 4G 系统要求的极高频谱利用率仍有一定差距。而如果将两种技术实现有机结合,就可以在 OFDM 技术较高频谱利用率的基础上进一步利用空间资源,从而可以将频谱利用率进一步提高。

(2) 空时编码技术

目前,空时编码基本上有空时网格码(STTC)、空时分组码(STBC)和空时分层码(BLAST)。发射分集主要通过空时编码来实现。空时编码的主要思想是利用空间和时间上的编码,实现一定的空间分集和时间分集,从而降低信道误码率。在延时发射分集的基础上,Tarokh 等提出了空时网格码,它具有卷积码的特征,并将格形编码、调制与发射分集结合在一起,在不增加带宽的情况下,可以同时获得满分集与高编码增益。它利用某种格形图,将同一信息从多副天线发射出去,在接收端采用基于欧式距离的 Viterbi 译码,其复杂度很高,且随传输速率呈指数增加,但是其性能较好,抗衰落能力强。随后伴随着空时分组码的发现,空时编码开始盛行,802.16d 标准中采用两根发射天线的发射分集,主要依据的就是 Alamouti 方案中的正交空时码编码,该方案的关键之处是两根发射天线的两个序列之间的正交性。

空间复用是在发射端发射相互独立的信号,接收端用干扰抑制的方法解码,主要是为了提高系统的传输速率。空间复用的传输方案主要是分层空时码结构(BLAST)。BLAST 不是通过信号变换(编码、调制、映射等)引入符号间的正交性,而是充分利用了信道的多径特点,解除了信号之间的相关性。BLAST 结构主要分为垂直 BLAST(V-BLAST)和对角 BLAST(D-BLAST)。接收端的相关技术包括最大似然检测、最小均方误差、迫零、球形译码等。

(3) 多用户 MIMO 研究

多用户 MIMO 与单用户 MIMO 的区别主要在于:在多用户 MIMO 系统中,用户组的数据占用相同的时频资源,即用户组的数据在相同的子载波上传输。因此,多用户 MIMO 能有效提高系统吞吐量。但是随之而来的问题是多用户 MIMO 系统中如何消除用户之间的共信道干扰。消除用户间干扰的最优的多用户 MIMO 方案是采用“脏纸理论”的预编码方案,该方案要求发送端完全已知各用户之间的干扰,然后通过脏纸理论的预编码方法完全消除用户之间的干扰。但是该方案复杂度极高,无法在实际系统中应用,如何设计有效方案消除用户间干扰,有待进一步研究。

考虑实际网络的应用将引出很多与调度相关的问题。对于多用户 MIMO 下行系统的广播信道,当大量用户通过快速时变信道共享一个网络的时候,基站通过采用智能调度算法改进传输质量。一种方法就是利用多用户分集思想进行最大化调度。系统的多用户分集是假设各用

户的信道衰落是不相关的,调度器便可根据各用户的瞬时信道质量来分配资源,获得多用户分集增益和更高的系统吞吐量。多用户分集的一种方式是在每个时隙里基站的全部发射天线都向最好的一个用户发送数据。

(4) 移动终端的 MIMO 研究

真正的 MIMO 系统要发挥它的优势必须在发射端和接收端同时使用 MIMO 技术。但是移动终端由于本身的几何尺寸和使用上的限制,使得 MIMO 技术在移动终端目前难以实现,因此今后必须对在移动终端如何使用 MIMO 技术进行深入研究。

4 结束语

多天线技术是一门综合性的学科,涉及到天线技术、无线电波传输技术、数字信号处理技术和信号检测等多门学科。未来的移动通信支持高速率、大容量的数据业务,而多天线技术中的智能天线和 MIMO 技术能够较大程度的提高频谱利用率,增大系统容量,提高传输速率和消除同频干扰、多址干扰等,是未来移动通信中的关键技术。多天线技术发展前景十分广阔,虽然目前在理论研究和应用上已取得了一些成果,但是距离多天线技术的理想情况还相差很远,今后需要研究和解决的问题还很多。

参 考 文 献

- [1] Andrea. Goldsmith, Wireless Communications[M]. Cambridge University Press, 2005
- [2] 顾佩彬,韩军峰. 无线通信中分集技术的演进[J]. 邮电设计技术, 2008
- [3] Foschini GJ. Layered Space - time architecture for wireless communications in a fading environment[J]. Bell Labs Technical Journal, 1996, (2) : 41 - 59
- [4] 陈长英,杨秀红,杜龙安. 无线通信系统的多天线技术[J]. 山东科学, 2004, 17(4) : 29 - 33

Multiple Antennas in Wireless Communication

ZHU Liyong

Nanjing Panda – Handa technology Co. ,Ltd. ,Nanjing 210002

Abstract In this paper, three categories of multiple antenna technique which used in wireless communication namely smart antenna, diversity and MIMO are introduced. Firstly the basic principles, the comparative analysis of the three kinds of technique are introduced. Then the important research topic, future development trends and challenges are given as well.

KeyWords wireless communication, smart antenna, diversity, MIMO

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>