

无线通信智能天线技术的未来发展趋势

作者: 赵绍刚 来源: 中国联通网站 发布时间: 2007-03-01

摘要 介绍了智能天线收发机结构的最新进展及其优点, 探讨了无线通信智能天线技术的未来发展趋势以及所面临的问题。

关键词 智能天线 无线通信 分集 波束成形

1、引言

智能天线原名自适应天线阵列(AAA, Adaptive Antenna Array)。最初智能天线技术主要用于雷达、抗干扰通信、定位及军事通信等方面, 完成空间滤波和定位功能。近年来, 随着移动通信的发展以及对移动通信电波传播、组网技术、天线理论等方面的研究逐渐深入, 智能天线开始用于具有复杂电波传播环境下的移动通信。为此, 移动通信研究者给应用于移动通信的自适应天线阵起了一个较吸引人的名字——智能天线 (英文名为Smart Antenna或Intelligent Antenna)。

智能天线系统在无线链路的发射端和/或接收端带有多根天线, 为了利用移动无线信道的空间特征, 智能天线系统中的信号都进行了自适应处理。根据信号处理是位于通信链路的发射端还是接收端, 智能天线技术被定义为多入单出(MISO, Multiple Input Single Output)、单入多出(SIMO, Single Input Multiple Output)和多入多出(MIMO, Multiple Input Multiple Output)。充分利用空间维数可以增加无线网络的容量。

在无线通信技术的发展中, 智能天线已成为一个最活跃的领域, 近年内, 几乎所有先进的无线通信系统都将采用此技术。智能天线技术对无线通信系统所带来的优势是目前任何技术难以替代的。智能天线技术已经成为无线通信中最具有吸引力的技术之一。

到目前为止, 无线系统中的智能天线都被作为增强技术, 在它们的设计阶段都没有考虑复杂度和性能折衷的优化; 而在下一代无线系统中, 智能天线技术将是系统设计固有的部分。目前对于智能天线的研究主要集中在下列几个方面:

- (1) 高级智能天线处理算法的设计和开发, 该算法对变化的传播特性和网络条件具有适应性和健壮性。
- (2) 系统性能的优化策略和不同无线系统、平台之间的透明操作。
- (3) 根据信道和干扰模型对提出的算法和策略进行实际性能的评估, 研究合适的性能度量和仿真方法。

2、智能天线收发机结构

在如图1所示的一个多发射多接收天线系统中，发送的数据块需要进行编码和复星座图的映射。在空时加权后，每个符号被映射到一个发射天线；信号通过无线信道后，在接收天线中首先进行解复用，然后通过加权、解调、解码来恢复最初的发送数据。

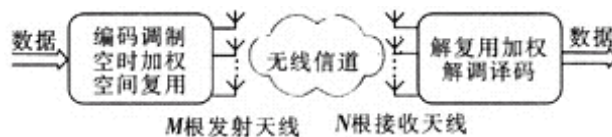


图1 智能天线收发机结构

对于MISO或者MIMO信道，一些文献中给出了大量的发射机制，这些机制分别可以使频谱效率最大、速率最高、信噪比最大(SNR, Signal to Noise Ratio)，它们都依赖信道状态信息(CSI, Channel State Information)在发射端和接收端的已知程度。CSI在接收端通过信道估计可以获得，然后通过反馈可以通知发射端。然而，对于频分双工(FDD, Frequency Division Duplex)系统则必须考虑到信道的互易性。信道估计可以通过发射训练序列方法或者盲估计来获得。盲估计通常是利用接收到的信号的一些特性，比如恒定包络和有限字符等进行估计。

对于发射端不需要CSI的发射机制，可以通过引入空域编码或者采用空间复用增益来利用空间维数。空域编码方法是通过增加空间和时间的冗余度；空时编码则是在不同的天线上发射同一信号的编码冗余形式。接收到的信号通过最大似然(ML, Maximum Likelihood)译码器进行检测。最早的空时编码是空时格码(STTC, Space-Time Trellis Code)，在这种方式下，接收端需要多维维特比算法。STTC可以提供的分集等于发射天线的数目，提供的编码增益取决于码字的复杂度而无需牺牲带宽效率。空时分组编码(STBC, Space-Time Block Code)可以提供与STTC相同的分集增益，但是它没有编码增益。又由于STBC在译码时只需要线性处理，因此通常都使用STBC。用于两根发射天线的STBC码(由Alamouti提出的)已经被第三代移动标准采纳。空时编码技术一般假设CSI在接收端是完全已知的，当CSI在两端都未知时，人们提出了酉空时编码和差分空时编码。

分层空时结构通过在水平层上或者对角层上发送独立的编码数据流来获得空间复用增益。所谓的垂直贝尔实验室分层空时(V-BLAST, Vertical Bell Labs Layered Space-Time)编码就是这种结构。为了检测出发送的数据，接收机必须对空间信道进行解复用，为此出现了各种不同的方法，如迫零(ZF, Zero Forcing)方法、最小均方误差(MMSE, Minimum Mean Square Error)方法和最大似然(ML, Maximum Likelihood)方法。ZF方法利用了矩阵的逆，算法比较简单，但是性能通常不好；MMSE算法的性能要优于ZF，而且具有健壮性；ML方法是最优的，但是复杂度也最高，尤其是当收发天线数目很大时。

在大多数情况下，假设CSI的部分信息在发射端已知是合理的，因而就此提出了空时编码和波束成形相结合的混合机制。这些预编码在优化某个标准时都利用了有效的CSI。

在SIMO或者MIMO通信链路的接收端，接收机或者均衡器利用多径信号重构发射信号。在非频率选择SIMO信道下，最优接收机制是进行最大比合并(MRC, Maximum Ratio Combining)；而对于频率选择SIMO信道，最优接收机制是ML检测，但它是非线性的，其复杂度与天线数目成指数关系(可以用线性译码器来代替，但是性能会有所下降)。ZF均衡器通过信道的逆可以消除符号间干扰(ISI, InterSymbol Interference)，但是其代价是对噪声产生了放大。MMSE接收机可以在噪声放大和ISI消除之间进行折衷。基于判决反馈的一种次优非线性机制判决反馈均衡(DFE, Decision Feedback Equalizer)可以用于

改善线性均衡器的性能，它通过反馈滤波器将以前符号产生的部分ISI从目前的符号中消除。ML和线性均衡都可以扩展到MIMO信道中，与MIMO接收机相关的问题就是多流干扰(MSI, Multistream)的存在。MSI会导致多个数据流之间的相互干扰。非线性连续抵消均衡器或者V-BLAST均衡器可以将MIMO信道转换成一些并行信道，但是该机制可能存在差错传播现象。

在多用户情况下，由于基站与共享有效资源(频率、时间、码字等)的多个用户进行通信，因而此时设计智能天线是有一定难度的，因为它的目的是要优化干扰的影响，而这些干扰主要依赖采用特定的多址方式。

下面介绍在多用户MIMO系统中，CSI在基站已知时的几种线性和非线性处理技术。Tomlinson-Harashima预编码是一种非线性预编码机制，它最初应用于SISO多径信道，用于克服DFE产生的差错传播问题。

块对角化(BD, Block Diagonalization)是多用户MIMO系统中的一种线性预编码技术。它把多用户MIMO下行信道分解为多个并行独立的单用户MIMO下行信道。对于信道估计差错，BD比非线性技术具有更好的健壮性。在发射端发射的每个用户的信号都用一个调制矩阵表示，该矩阵是其他用户信道矩阵的零空间，这样该用户对其他用户的干扰就是零。在每个用户获得任意速率的约束下，为了得到所需发射功率最小解的封闭形式，零干扰条件可以放宽，这种算法称为连续优化(SO, Successive Optimization)算法，它比在低SNR时任何其他BD解的性能都好。

描述智能天线收发机特征的性能度量为均方误差(MSE, Mean Square Error)、SNR、误比特率(BER, Bit Error Rate)、可达吞吐量、需要的发射功率和信道容量。发射和接收机制都是根据这些标准进行优化的。

总之，设计MIMO收发机要特别关注以下4个关键参数：

- (1) 在发射端和接收端CSI的可靠性。
- (2) 发射信号的特征(调制、复用和训练信息)。
- (3) 要优化的性能度量。
- (4) 计算复杂度的大小。

3、智能天线的优点

在移动通信系统中，由于障碍物的反射，信号会在发射机和接收机之间多次传播从而形成多径传播。这是移动通信中存在的主要问题，被称为时延扩展(delay spread)。由于多径信号到达接收机的时间不同，因此多径传播将导致符号间干扰，这将会严重地影响通信链路的质量。另一方面，共信道干扰是无线系统容量的主要限制因素，它将影响用户对有效网络资源(频率、时间)的重用。

智能天线通过利用多径可以改善链路的质量，通过减小相互干扰来增加系统的容量，并且允许不同的天线发射不同的数据。总之，智能天线的优点可以归纳如下：

- (1) 增加覆盖范围。在接收端由于天线阵列对信号进行相干接收，这样就会产生阵列或波束成形增益，该增益与接收天线的数目成正比。这样也会延长电池的使用时间。

(2)降低功率/减小成本。智能天线可以对特定用户的传输进行优化,这样就会使发射功率降低,从而降低放大器的成本。

(3)改善链路质量/增加可靠性。由于通过独立的衰落路径可以接收到独立的信号副本,而在这些信号副本中一般会有一个或者多个副本没有受到衰落,这样多个独立的维数就会减小信号波动的影响,产生分集。分集的形式包括时间分集、频率分集、码分集和空间分集等。当用智能天线对空间域进行抽样时就会产生空间分集。在非频率选择性衰落的MIMO信道中,最大的空间分集阶数等于发射天线数目和接收天线数目的乘积。多个发射天线通过采用特殊的调制和编码机制就可以产生发射分集,而多个接收天线的接收分集取决于对独立衰落信号的合并。

(4)增加频谱效率。通过不同方法精确地控制发射功率就会减小干扰,从而增加使用同样资源的用户数目。通过波束成形技术可以产生一种新的多址接入方式——空分多址(SDMA, Space-Division Multiple Access)。SDMA可以实现资源的重用,增加数据速率,从而增加频谱效率。该增益也被称为空间复用增益。通过利用多个独立的空维数来同时传送数据,在MIMO系统中这种独立的空维数被称为MIMO信道特征模式。在不相关瑞利衰落MIMO信道中,其信道容量与收发天线数目的最小值成正比。

通常设计智能天线主要集中在上面提到的某一种增益,如波束成形、分集增益、复用增益。最近这些增益之间的相互折衷已经成为研究的焦点。

4、未来无线系统中的智能天线技术

未来无线系统需要可以适用于各种通信环境的信号处理技术,因此未来智能天线设计的初始阶段必须认真地考虑在性能和复杂度之间折衷地优化。下面,我们将介绍未来无线通信中智能天线的发展趋势和会遇到的问题。

4.1 物理层的可重配置性

为了使无线通信收发机可以工作在多参数连续改变的环境中,需要在收发机中采用可重新配置的自适应技术来调节结构,从而获得最好的性能。

智能天线收发机中的可重配置性可以看作是在各种不同环境中收发机结构的智能切换。例如,已经有专家提出了在MIMO信道中用于空间分集和复用相互折衷的算法。

4.2 不同层之间的优化

通过由OSI(Open System Interconnection, 开放系统互连)模型定义的高层之间的相互作用可以提高整个系统的性能。可以通过结合物理层、链路层、网络层的参数来设计智能天线,也就是说要考虑到各层之间相互关系来设计,而不是单独考虑某一层。实践表明,单独考虑一层的设计方法所得到性能评估是低效的。例如,当引入调度后,通过空时编码所得到的增益将会减小,甚至会消失。

在OSI不同层之间交换的信息可以归类如下:

(1)CSI: 需要估计出信道脉冲响应、定位信息、车载速度、信号强度、干扰强度、干扰模型等。

(2)QoS相关的参数：包括时延、吞吐量、误比特率、分组差错率(PER, Packet Error Rate)等。

(3)物理层资源：包括空间处理机制、天线阵列的数目、电池电量的损耗等。

考虑层之间的优化准则是非常重要的。在实际系统中，使用智能天线的链路质量不仅取决于采用的数据检测方法，而且还取决于特定的编码机制以及在链路层采用的媒体接入控制(MAC, Medium Access Control)功能，甚至取决于高层采用的协议栈性能。因此，在设计时应该综合考虑上述因素，而不是单独考虑某一个因素。对于时延不敏感业务，将智能天线技术如V-BLAST同混合自动请求重复(H-ARQ, Hybrid Automatic Repeat Request)机制结合的前景是非常看好的。

4.3 多用户分集

在多用户通信中，一种叫作机会机制的通信方式得到了人们的重视。其基本思想是通过把信道分配给那些最有可能完成连续传输的用户来复用。这样可以使系统的吞吐量最大化。对于反射空间信道，机会波束成形方法会指向具有最高SNR的用户；另一方面，在充分散射情况下，机会机制会把信道分配给那些具有最高瞬时容量的用户。

机会机制可以产生多用户分集，多用户分集可以是码分集、时间分集、频率分集或者空间分集的补充。但是这样也会带来新的问题，即影响MAC协议的设计，MAC将放弃冲突检测机制而转向多用户机制。

4.4 实际的性能评估

在未来无线系统中，采用智能天线主要依赖下面两种研究的结果：

(1)在未来系统的设计阶段就要考虑到智能天线的特性，保证兼容性；

(2)根据与未来系统相关的关键参数来评估智能天线的实际性能。

最新发展趋势比较偏向前者，后者的研究结果要基于具有准确建模的仿真方法，因此若要实现还有一定的难度。

4.4.1 仿真方法

链路级仿真可以提供智能天线收发机在各种传播、干扰、调制编码情况下单通信链路的误帧率(FER, Frame Error Rate)性能评估，但是无法考虑多用户多小区的影响，此时高层的参数将作为关键角色。另一方面，系统级仿真利用某种业务图样通过容量、吞吐量、SNR分布来提供整个系统的性能。为了对链路级和系统级的仿真进行折衷优化，需要在两者之间有个接口，选择的接口参数一定要惟一地描述链路级和系统级的性能。

4.4.2 建模

智能天线的效率取决于通信环境的特征，比如传播特性、天线阵列配置、业务模式、干扰情况、信号带宽的有效性。因此，建立一个可行的MIMO信道模型来描述通信环境的特征是非常重要的。

干扰模型通常被用于分析智能天线收发机的性能。最近的研究表明，干扰模型应当基于系统级的仿真结果来建立，其中，必须考虑智能天线技术对小区内、小区间的影响，还必须考虑到业务的非一致性和混合的业务环境。

最后，实现损耗模型的建立，该模型包括信道估计差错、反馈量化误差、时延、互耦合等关键参数，该模型有利于系统的进一步改进。

5、小结

本文给出了智能天线收发机的结构，讨论了智能天线的优点和未来智能天线的发展趋势，如可重配置性、层间优化和多用户分集技术等。另外也阐述了设计中会遇到的问题，比如准确的建模、恰当的仿真方法等。总之，合理地使用智能天线技术将大大地提高未来无线通信系统的性能。

Copyright©2002- 中国通信标准化协会版权所有 [联系我们](#)

网站维护: [通信标准化推进中心](#) (010)82054513, [webmaster](#)