

# 中兴自适应多天线技术

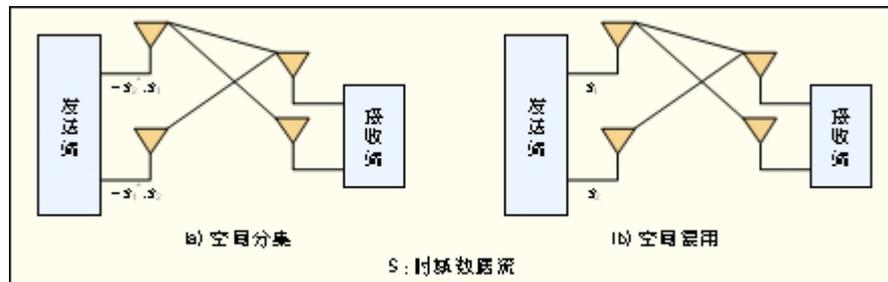
多天线技术，是指在发送端或接收端都采用多根天线的无线通信技术，是近期发展较快的热点研究技术之一。采用多天线技术可获得功率增益、空间分集增益、空间复用增益、阵列增益和干扰抑制增益 [1]，从而可以在不显著增加无线通信系统成本的同时，提高系统的覆盖范围、链路的稳定性和系统传输速率。多天线技术有不同的实现模式，如波束赋形 [2]、循环延迟分集 [3]，空间分集 [4-6]、空间复用 [7]，以及他们之间的结合。

## 1 多天线技术模式介绍

每种多天线技术模式都各有其特点，下面将详细介绍他们的原理和特点。

### (1) 空间分集技术

空间分集是在空间引入信号冗余以达到分集的目的。如图 1 中空间分集所示，发送端通过在两根天线的两个时刻发送正交的信息集合，从而获得分集增益。



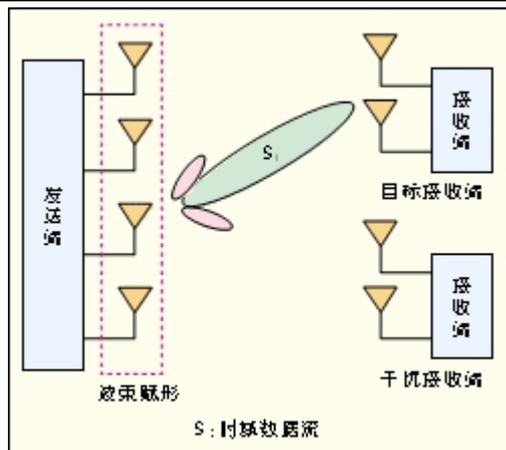
▲ 图1 2发2收的空间分集和空间复用示意图

### (2) 空间复用技术

空间复用是在每根天线上的同一时频资源上，发送不同信息，以达到在不增加频谱资源的情况下成倍提高频谱效率的目的，如图 1 中空间复用所示。通常人们将空间分集和空间复用技术称为多输入多输出（MIMO）技术。

### (3) 波束赋形技术

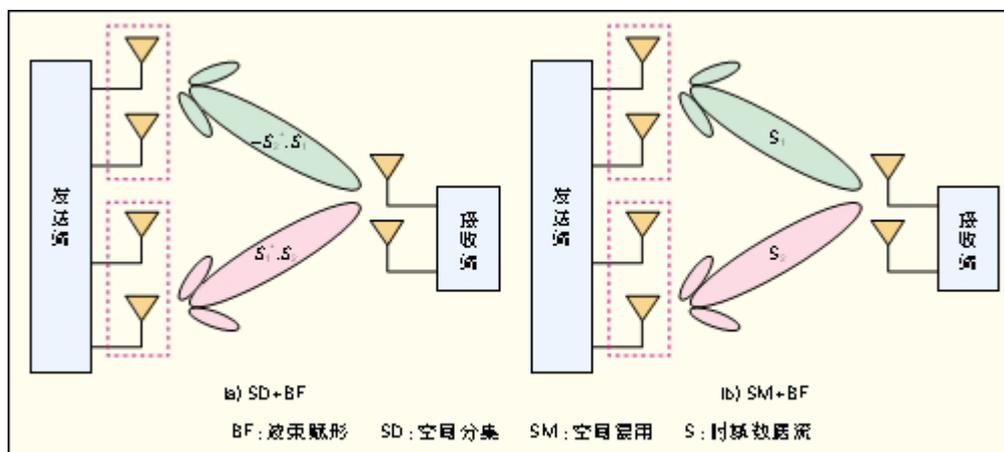
波束赋形（BF）是基于自适应天线原理，利用天线阵列通过先进的信号处理算法分别对各物理天线进行加权处理的一种技术。如图 2 所示，发射端对数据流  $S_1$  进行加权，并发送出去。在接收端看来，整个天线阵列相当于一根虚拟天线。通过加权处理后，天线阵列形成一个窄发射波束对准目标接收端，并在干扰接收端方向形成零点以减小干扰。



▲图2 4发2收的波束赋形系统示意图

#### (4) MIMO+BF 技术

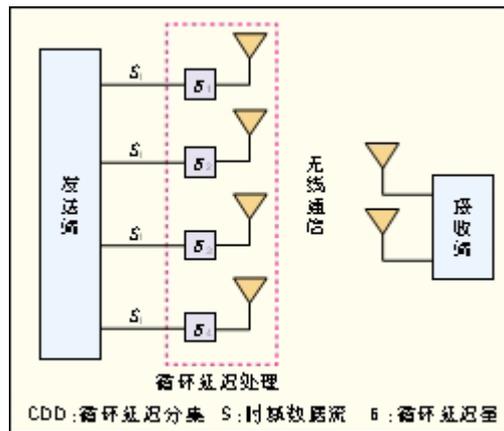
由于BF技术在同一时刻只发射一个数据流，没有复用增益。尤其是当信道质量较好时，使用BF带来的传输速率提升并不明显。因此，为了进一步提高系统传输速率，可将BF技术与MIMO结合起来[8-9]。空间分集与波束赋形的结合，称为空间分集波束赋形（SD+BF）；而空间复用与波束赋形的结合，则称为复用波束赋形（SM+BF）。其中的一种实现方案如图3所示。发送端的4根物理天线被分成2个子阵列，在每个子阵列上利用波束赋形技术，形成一根虚拟天线或者波束，2个波束间构成空间分集或者空间复用。



▲图3 4发2收的空间分集波束赋形和空间复用波束赋形示意图

#### (5) 循环延迟分集技术

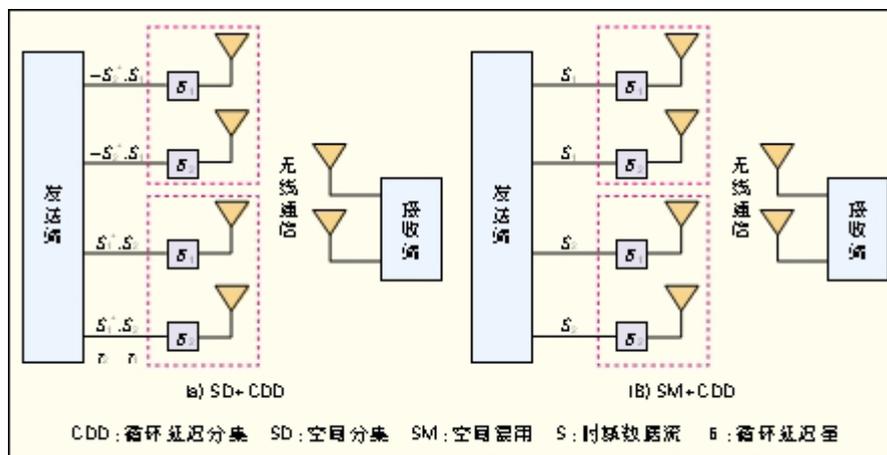
循环延迟分集（CDD）是正交频分复用（OFDM）[10]技术中常用的一种多天线发送分集方案，他在各个物理天线上发送相同的频域数据，并对时域的OFDM符号进行不同的循环延迟，以此来获得频域分集增益。其发送端如图4所示，时域数据流 $S_1$ 在各物理天线上分别进行循环延迟 $\delta_i$ 后再发送出去。其中， $\delta_i$ 为循环延迟量， $i=1, 2, 3, 4$ ， $\delta_1$ 一般为0。经过CDD处理后，整个天线阵列在接收端看来，也相当于一根虚拟天线。



▲图4 4发2收的CDD示意图

### (6) CDD +MIMO 技术

由于CDD技术在同一时刻只发射一个数据流，当信道条件比较好时，可以跟MIMO技术相结合来提升传输速率[11-12]。空间分集与循环延迟分集的结合，称为空间分集循环延迟分集(SD+CDD)；而空间复用与循环延迟分集的结合，称为空间复用循环延迟分集(SM+CDD)。其中的一种实现方案如图5所示，发送端的4根物理天线被分成2个子阵列，每个子阵列做CDD处理，形成一根虚拟天线。



▲图5 4发2收的CDD与MIMO相结合的发送端示意图

## 2 多天线技术比较

### (1) 数据发送格式

每种多天线技术模式在每根物理天线上发送的数据是不一样的。以IEEE 802.16e [4] 4天线为例，在两个相邻的符号内，并在同一个数据子载波上，

每根物理天线发送的频域数据流如表 1 所示。空间复用使用的是 BLAST 编码[7]；空间分集使用的是 Alamouti 编码，他在两个正交频分多址（OFDMA）符号间引入冗余。第  $i$  根发送天线上第  $k$  个数据子载波对应的 BF 权值为  $w_i(k)$ ， $i=1, 2, 3, 4$ 。另外，对时域数据进行的循环延迟，等价于频域数据乘以一个相位旋转

$$D_i(k) = 0.5 \times e^{-\frac{j(2\pi k(\delta_i))}{N_f}}$$

其中，系数 0.5 是功率归一化因子， $N_f$  是 IFFT 的点数， $k$  是子载波索引， $\delta_i$  是 CDD 的循环延迟量， $i=1, 2, 3, 4$ 。数据流为  $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ 。

▼表 1 不同多天线技术模式的数据发送格式

多天线模式	BF		SD + BF		SM + BF	
	符号 2	符号 1	符号 2	符号 1	符号 2	符号 1
发送天线 1	$w_1(k)s$	$w_1(k)s$	$-w_1(k)s^*$	$w_1(k)s$	$w_1(k)s$	$w_1(k)s$
发送天线 2	$w_2(k)s$	$w_2(k)s$	$-w_2(k)s^*$	$w_2(k)s$	$w_2(k)s$	$w_2(k)s$
发送天线 3	$w_3(k)s$	$w_3(k)s$	$w_3(k)s^*$	$w_3(k)s$	$w_3(k)s$	$w_3(k)s$
发送天线 4	$w_4(k)s$	$w_4(k)s$	$w_4(k)s^*$	$w_4(k)s$	$w_4(k)s$	$w_4(k)s$
多天线模式	CDD		SD + CDD		SM + CDD	
	符号 2	符号 1	符号 2	符号 1	符号 2	符号 1
发送天线 1	$D_1(k)s$	$D_1(k)s$	$-D_1(k)s^*$	$D_1(k)s$	$D_1(k)s$	$D_1(k)s$
发送天线 2	$D_2(k)s$	$D_2(k)s$	$-D_2(k)s^*$	$D_2(k)s$	$D_2(k)s$	$D_2(k)s$
发送天线 3	$D_3(k)s$	$D_3(k)s$	$D_3(k)s^*$	$D_3(k)s$	$D_3(k)s$	$D_3(k)s$
发送天线 4	$D_4(k)s$	$D_4(k)s$	$D_4(k)s^*$	$D_4(k)s$	$D_4(k)s$	$D_4(k)s$

BF:波束赋形    CDD:循环延迟分集    SD:空间分集    SM:空间复用

## (2) 特点

一般情况下，BF、SD+BF、SM+BF 需要根据信道状态信息动态调整权值，属于闭环技术，需要对导频进行波束赋形，所以必须支持专用导频；而 CDD、SD+CDD、SM+CDD 可以在发送端并不知晓信道状态信息的情况下完成，属于开环技术。SM+BF、SM+CDD 在不同的虚拟天线上可以发送不同的数据流，在信道条件比较好的情况下，能提升系统的传输能力，满足用户高速率传输数据的需求；而 BF、SD+BF、CDD、SD+CDD 主要依靠在空间维引入冗余以达到分集增益，进而增加链路的稳定性和覆盖范围。另外，SD+BF、SD+CDD 每个虚拟天线可以发送一个数据流，并在时域或频域引入冗余以获得空间分集增益，平均 1 个时刻只发 1 个数据流；BF、CDD 每个时刻只有 1 个数据流，更适合信道相关性高的场景，实现简单，对用户透明，且不要求支持 MIMO 技术。在所有这些多天线技术模式中，比较常见的天线配置是发送端共有 4 根或者 8 根天线，而接收端只有 1~2 根天线。以上这些特点的总结如表 2 中所示。

▼表2 各种多天线技术的特点比较

特点	BF	SD+BF	SM+BF	CDD	SD+CDD	SM+CDD
发送端天线数/个	2/4/8	4/8	4/8	2/4/8	4/8	4/8
接收端天线数/个	1/2	1/2	2	1/2	1/2	2
平均数据速率/个	1	1	2	1	1	2
波束赋形权值	动态调整	动态调整	动态调整	固定	固定	固定
支持MIMO	不用支持	需要支持	需要支持	不用支持	需要支持	需要支持
支持专用导频	需要支持	需要支持	需要支持	不用支持	不用支持	不用支持
同环/异环	同环	同环	同环	异环	异环	异环
主要作用	增加覆盖	增加覆盖	提升速率	增加覆盖	增加覆盖	提升速率

BF:波束赋形 CDD:循环延迟分集 MIMO:多输入多输出 SD:空时分集 SM:空时复用

### (3) 影响因素

CDD、SD+CDD、SM+CDD 靠人为引入信道多径时延来获得频域分集增益，他们可以在未知信道状态信息的情况下完成；而 BF、SD+BF、SM+BF 则需要估算波束赋形的权值，并要求用户反馈信道状态信息，或利用信道的互易性特点，因此其性能会在很大程度上受权值估计的准确性和及时性影响。表 3 总结适合各种多天线技术模式的应用场景 [13]。

▼表3 各种多天线技术模式的应用场景

场景	BF	SD+BF	SM+BF	CDD	SD+CDD	SM+CDD
高信道相关性	适合	比较适合	不适合	比较适合	比较适合	不适合
大移动速度	不适合	不适合	不适合	适合	适合	适合
小区边缘	适合	适合	不适合	适合	适合	不适合
小区中部	适合	适合	比较适合	适合	适合	比较适合
小区内部	不适合	比较适合	适合	比较适合	比较适合	适合

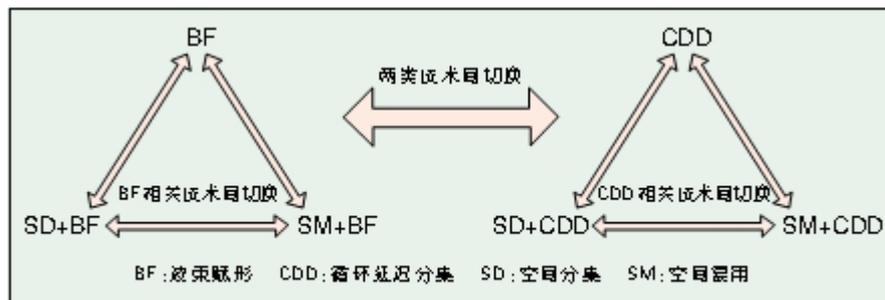
BF:波束赋形 CDD:循环延迟分集 SD:空时分集 SM:空时复用

## 3 自适应模式切换

每种多天线技术模式都有其特点和应用场景。实际通信时，由于用户的物理位置、信道环境、移动速度、业务类型等存在着很大的差异，单独使用哪种技术都不能最佳地发挥系统的性能。无线通信系统需要在不同的模式间自适应地切换，以适应信道环境等因素的改变，从而最大限度地提升系统的性能，满足用户高质量的通信要求 [14]。

实际应用中，实现各种多天线技术模式的自适应切换是一个充满挑战的工作。首先，影响多天线技术模式性能的因素有很多 [15]。所以算法设计时，需要对这些影响因素进行深入分析和研究，并根据情况设计不同的算法以满足系统配置、信道条件、业务类型等多样性要求。

其次，模式切换的类型很多。我们在对多天线技术的性质进行深入分析和大量仿真的基础上，将切换类型分成3类：BF相关技术（BF、SD+BF、SM+BF）之间的相互切换；CDD相关技术（CDD、SD+CDD、SM+CDD）之间的相互切换；BF相关技术与CDD相关技术之间的切换，如图6所示。



▲图6 多天线技术切换的分类

根据接收端的移动速度或者相邻两个权值的相关性，选择使用BF相关技术或者CDD相关技术。如果选择了BF相关技术，那么需要计算SM+BF、SD+BF、BF模式下的频谱效率，并选择频谱效率大的模式为最佳的数据发送模式；如果选择了CDD相关技术，则需要计算SM+CDD、SD+CDD、CDD频谱效率，并选择频谱效率大的模式为最佳的数据发送模式。

#### 4 结束语

文章介绍了各种多天线技术模式的概念，分析比较了各种多天线技术模式的性能、影响因素和应用场景。最后介绍了多天线技术模式切换的算法。

中兴通讯对多天线技术的研究进行了大量的投入，并且取得了显著的成果，是最早掌握该技术的通信设备商之一。不仅实现了各种多天线技术模式，还对影响多天线技术的因素进行了深入的分析、大量仿真和实际系统的验证。可以根据场景或者信道环境灵活地选择多天线技术模式，以最大限度地提高通信系统的性能，从而能够满足客户的高质量通信要求。

#### 5 参考文献

[1] Combination of MIMO and Beamforming Technology for WIMAX[EB/OL]. [http://wwen.zte.com.cn/en/solutions/wireless/wimax/200912/t20091218\\_178788.html](http://wwen.zte.com.cn/en/solutions/wireless/wimax/200912/t20091218_178788.html).

[2] KOBAYASHI M, CAIRE G, GESBERT D. Transmit Diversity Versus Opportunistic Beamforming in Data Packet Mobile Downlink Transmission [J]. IEEE Transactions on Communications, 2007, 55 (1): 151-157.

[3] SADEQUE A, SAQUIB M. Delay Diversity for Correlated MIMO Channel [C] // Proceedings of the 2009 International Waveform Diversity and

Design Conference (WD&D '09), Feb 8-13, 2009, Kissimmee, FL, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2009:302-306.

[4] IEEE Std 802.16e? - Rev2-D8. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems [S]. 2008.

[5] ZHANG Lizhong, TSE D N C. Diversity and Multiplexing: A Fundamental Tradeoff in Multiple Antenna Channels [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2003, 49 (5): 1073-1096.

[6] ALAMOUTI S M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16 (8): 1451-1458.

[7] GOLDEN G D, FOSCHINI C J, VALENZUELA R A, et al. Detection Algorithm and Initial Laboratory Results Using V-BLAST Space-Time Communication Architecture [J]. Electronics Letters, 1999, 35 (1): 14 - 16.

[8] MENG Weixiao, GU Lei, LI Cheng. The Combined Beamforming and Space-Time Block Coding Technique for Downlink Transmission [C] // Proceedings of the 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing (WirelessCom' 05): Vol 1, Jun 13 - 16, 2005 Maui, HI, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2005:481-486.

[9] KIM I, LEE K, CHUN J. A MIMO Antenna Structure That Combines Transmit Beamforming and Spatial Multiplexing [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6 (3): 775-779.

[10] 佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用 [J]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

[11] YUEN C, WU Y, SUN S. Four Transmit Diversity Schemes for Coded OFDM Systems with Four Transmit Antennas [J]. Journal of Communications, 2008, 3 (4): 1-7.

[12] RAHMAN M I, DAS S S, DE CARVALHO E, et al. Spatial Multiplexing in OFDM Systems with Cyclic Delay Diversity [C] // Proceedings of the 65rd Vehicular Technology Conference (VTC-Spring' 07), Apr 22-25, 2007, Dublin, Ireland. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2007:1491-1495.

[13] 侯延昭, 陶小峰. 面向绿色无线通信的基站体系结构 [J]. 中兴通讯技术, 2010, 16 (6): 16-19.

[14] 张武雄, 胡宏林, 杨。基于协同覆盖的绿色无线网络技术 [J]。中兴通讯技术, 2010, 16 (6) : 04-07.

[15] 高培, 陈肖虎, 王军。ZP-CI/OFDM: 一种高功率效率的无线传输技术 [J]。中兴通讯技术, 2010, 16 (6) : 20-23.