

MIMO Technology Research and Evolution in HSPA+ System

Xirui Guo

China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing
Email: guoxirui@gmail.com

Received: Jan. 24th, 2013; revised: Jan. 27th, 2013; accepted: Mar. 6th, 2013

Copyright © 2013 Xirui Guo. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In order to further improve the peak data rate and user throughput of HSPA network, MIMO technology is introduced in 3GPP Rel-7. MIMO technology can increase spectral efficiency and data rates without using additional bandwidth. For affordability of mobile broadband services, MIMO is applied to multi-carrier HSDPA in 3GPP Rel-9 and beyond release. Firstly the perspective of future evolution of MIMO technology is presented in this paper, it introduces the principles of HSPA+ MIMO, and finally the effects of non-MIMO UEs in HSPA+ MIMO network are analyzed.

Keywords: MIMO; PCI; CQI; VAM

HSPA+系统中的 MIMO 技术研究及其演进

郭希蕊

中讯邮电咨询设计院有限公司, 北京
Email: guoxirui@gmail.com

收稿日期: 2013 年 1 月 24 日; 修回日期: 2013 年 1 月 27 日; 录用日期: 2013 年 3 月 6 日

摘要: 为了进一步提高 HSPA 系统的峰值数据速率以及用户吞吐量, 3GPP 在 Rel-7 中引入了 MIMO 技术。MIMO 技术能在不增加带宽的情况下提高频谱效率, 提高数据速率。为了满足宽带移动通信业务的需求, 3GPP 在 Rel-9 及后续版本中又引入了 MIMO 结合多载波的 HSDPA 技术。本文首先阐述了 HSPA+ MIMO 技术的演进方向, 然后介绍了 HSPA+ MIMO 的技术原理, 最后分析了 MIMO 对非 MIMO 终端的影响。

关键词: 多输入多输出技术; 主预编码向量; 信道质量指示; 虚拟天线矩阵

1. 引言

无线通信系统中, 信号传输的多径会引起衰落, 使系统的性能恶化。MIMO(Multiple Input Multiple Output, 多输入多输出技术)技术利用了空间复用的原理, 针对多径无线信道, 通过在发射端和接收端分别使用多个发射天线和接收天线, 向一个用户同时传送多个数据流, 达到空间分集的增益, 从而在不增加带宽的情况下提高频谱效率, 提高数据速率, 减少误比特率, 改善无线信号传送质量, 同时还可以增大基站覆盖范围。

HSPA+(高速分组接入演进)是在 HSPA(高速分组接入)技术基础上的演进, 为了使频谱效率进一步提高, HSPA+技术引进了一些新的技术, 如 MIMO、下行 64QAM 调制、上行 16QAM 调制和双载波技术。本文主要对 HSPA+中的 MIMO 技术原理和 MIMO 网络对非 MIMO 终端的影响进行研究。

2. HSPA+ MIMO 技术的演进

HSPA+ MIMO 技术最早在 3GPP R7 版本中引入, MIMO 在 3GPP R7 版本中只能独立使用, 最多传送两

个数据流，每个数据流可以使用 QPSK 或 16QAM 调制方案，将 HSDPA(高速下行链路分组接入)的峰值数据速率提升至 28 Mbps。在 3GPP R8 版本中 MIMO 可以和 64QAM 调制同时使用，每个数据流可以使用 64QAM 调制，从而可以较大的提高下行速率，使小区峰值达到 42 Mbps。3GPP R9 版本中，引入了 DC-HSDPA(双载波高速下行链路分组接入)+MIMO 技术，通过双载波技术、64QAM 及 MIMO 技术的整合使用，HSPA 的下载峰值速率达到 84 Mbps，提高了用户改善^[1]。R10 版本中，将 4 载波与 64QAM、MIMO 技术同时使用，使小区的峰值速率达到 168 Mbps。R11 版本中，在下行将 8 载波与 64QAM、MIMO 技术同时使用，HSPA 的下载峰值速率达到 336 Mbps^[2]。图 1 给出了 HSPA+ MIMO 技术的演进过程。

3. HSPA+ MIMO 工作原理

FDD HSPA+ MIMO(频分双工高速分组接入演进多输入多输出)技术选择了基于双码流发射天线阵 D-TxAA(Double Transmit Antenna Array)的双码字 MIMO(2 × 2 MIMO)，即下行支持两个天线发射，每

天线发送不同的子数据流且承载不同的传输块，并可以根据当前的信道条件更改数据流的数量。同时利用终端的快速物理层闭环反馈来调整发射天线权重；在 UE 侧采用 1 × 2，1 个天线发射，2 个天线接收。图 2 是 FDD HSPA+采用的 MIMO 方案，两路数据首先在非 MIMO 模式下完成编码、扩频和加扰，扩频后的复值传输到 MIMO 的 2 根天线分支中，然后进行加权处理后发送^[3]。

UE 使用 CPICH(公共导频信道)分别估计每个天线。第一个天线采用 P-CPICH(主公共导频信道)的调制样式 1，第二个天线可以采用 P-CPICH 的调制样式 2，也可以采用 S-CPICH(辅公共导频信道)的调制方式 1。即 P/P + STTD(主导频/主导频 + 空时发射分集)方案和 P/S(主导频/辅导频)方案，导频配置由高层确定。UE 确定采用的主预编码向量(PCI)vector (w_1^{pref}, w_2^{pref}) 并通过 HS-DPCCH(高速专用物理控制信道)通知 Node B。具体信息采用 PCI 的向量标识，PCI 和信道质量指示(CQI)同时传送给 Node B，采用 HS-DPCCH 的 CQI/PCI 域完成。

当 UE 配置为 MIMO 模式时，图 2 说明了 HS-

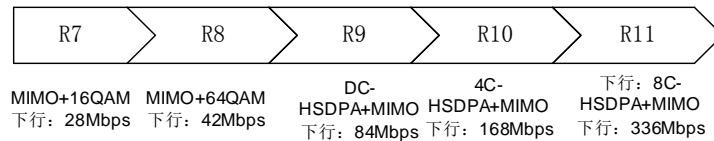


Figure 1. The evolution of HSPA+ MIMO
图 1. HSPA+ MIMO 技术的演进过程

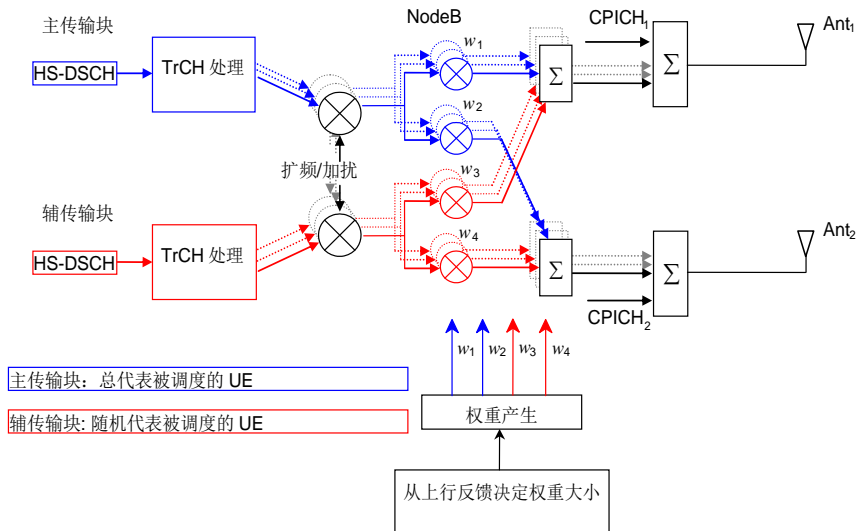


Figure 2. The generic downlink transmitter structure to support MIMO operation for HS-PDSCH transmission
图 2. HSPA+ MIMO 下行发射机结构

DSCH(高速下行共享信道)信道的传输结构。信道的编码交织和扩频与非 MIMO 模式完全相同。Node B 决定在一个 TTI(传输时间间隔)的时间内采用一个还是两个传输块。两个传送天线收到已经扩频的复数信号,然后应用加权值 w_1 , w_2 , w_3 和 w_4 。其中预编码加权值 w_1 和 w_3 为实数常数,加权值 w_2 和 w_4 为可变复数值。具体定义如下:

$$w_3 = w_1 = 1/\sqrt{2}, \quad w_4 = -w_2,$$

$$w_2 \in \left\{ \frac{1+j}{2}, \frac{1-j}{2}, \frac{-1+j}{2}, \frac{-1-j}{2} \right\}$$

由于 w_1 和 w_3 相等且数值固定, w_2 和 w_4 仅符号相反,因此 UE 实际反馈 PCI 时,只需要指明 w_2 的取值即可,基站根据上述原则可计算出 w_4 ,这样设计的好处是 UE 不需要向基站反馈每个预编码权值从而节省了信令开销。

如果 Node B 调度器决定采用一个传输块,将采用预编码向量 (w_1, w_2) 。如果决定采用两个传输块,将采用两个正交的预编码向量。 (w_1, w_2) 叫做主预编码向量应用于主传输块,相应的 (w_3, w_4) 为辅预编码向量应用在第二个传输块。

UE 在接收端同样需要知道预编码向量加权值,Node B 通过 HS-SCCH(高速共享控制信道)发送预编码向量加权值 w_2 给 UE。HS-SCCH 通过 2 bit 的值标记出 w_2 的四种可能值。其他三个加权值可以通过 w_2 推倒得出。

Node B 根据 UE 上报 PCI/CQI 情况,最后确定采用的码块个数,传送块大小和调制方式。Node B 告知 UE 在 HS-PDSCH(高速物理下行共享信道)信道上采用的预编码加权值 w_2 ,通过指示向量完成,具体是采用 HS-SCCH Type 3 信道的预编码加权值(Precoding Weight Information)字段。以子帧为单位对 HS-PDSCH 进行调整。

UE 上报较高的 SNR 时,UE 处于双流模式下,可以获得空间复用增益,提高峰值速率;当 UE 上报的 SNR 较低时,UE 处于单流模式,采用发射分集,获得天线阵列增益。单流/双流根据 PCI 来选择,UE 上报 PCI,Node B 选择合适的 PCI 来进行传输。

由于下行 MIMO 的引入,UE 进行 CQI 反馈时需要支持 Type A 和 Type B 两个类型的 CQI 报告。

type A: CQI 指范围为 0 到 255,支持单流和双流

模式,编码是和 PCI 一起完成的。

type A 格式的 CQI 上报,双流模式下,UE 选择合适的 CQI₁ 和 CQI₂ 上报,这两个 CQI 分别用 2 个 4 bit 的二进制数来表示,用于指示主流和辅流上的传输块大小;单流模式下,上报 CQI_s,CQI_s 用 5 bit 的二进制数表示。

$$CQI = \begin{cases} 15 \times CQI_1 + CQI_2 + 31 & \text{当 UE 推荐两个传输块} \\ CQI_s & \text{当 UE 推荐一个传输块} \end{cases}$$

type B: CQI 范围为 0 到 30,其值和 R5 版本规定的 CQI 值相同。支持单流模式,编码是和 PCI 一起完成的。

UE 上报 type A 或者 type B CQI 是由高层决定的,上报 type A CQI 的比例(MIMO N/M Ratio)可配置。MIMO N/M Ratio 的取值范围为: 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 6/7, 7/8, 8/9, 9/10, 1/1。如果 UE 上报为双流 type A CQI,而此时需传输的资源较少或 Node B 资源较少,Node B 会决定采取单流传输。

4. MIMO 对非 MIMO 终端的影响

根据协议,Node B 可以使用在两根天线上同时发送 P-CPICH 的方式但需要其他控制信道和业务信道配置为 STTD 开环发射分集;也可以使用在一根天线上发送 P-CPICH,在另外一根天线上发送 S-CPICH 的方式。高层可以配置 MIMO 小区采用哪种导频发送方式。

各设备商和运营商在采用 P/P + STTD 的 MIMO 网络中,对 Cat8 类终端进行测试,发现吞吐率会下降,具体性能与无线环境有关,原因是终端芯片厂商在初期进行设计时,出于成本的考虑,在启用 STTD 功能时,均衡接收机将被关闭。在测试中发现,对于 Cat8 类终端,在 P/P + STTD 的情况下 LMMSE 均衡接收机关闭,导致性能相比 R6 小区采用单天线发送下降 21.5%^[4],如表 1 所示。在 P/P + STTD 的情况下只能使用 Rake 接收机。

Table 1. Cat8 UE's performance in different scenarios
表 1. Cat8 终端在各种场景下性能

场景	平均吞吐率	终端接收机使用情况
R6 小区, 采用 P-CPICH	6.5 Mbps	使用 EQ 和 Rake 接收机,根据信道状况选择
MIMO 小区, 采用 P/P + STTD	5.1 Mbps	只能使用 Rake 接收机, EQ 接收机关闭

由于直接采用 P/P + STTD 的方式,不能进行 MIMO 和 HSDPA 终端的混合组网,需要寻找新的 MIMO 和 HSDPA 的混合组网方式。如果 MIMO 采用 P/S 导频的方式,则可以避免对 HSDPA 终端采用 STTD 发送,这也是 3GPP 推荐的一种组网方式。

P/S 方案: MIMO 两个数据流采用主、辅导频进行信道估计和相位参考,其他信道采用单天线进行发射。P-CPICH、SCH 和 P-CCPCH 不工作在 STTD 模式下,非 MIMO 能力的 UE 不工作在 STTD 模式下;MIMO UE 可以在 STTD 模式下接收以下信道:HS-SCCH, F-DPCH, E-AGCH, E-HICH, E-RGCH。采用 P/S 方案,将主要面临以下两个方面的问题。

1) 功率不平衡

由于关闭 STTD 模式后,包括公共信道在内的非 MIMO 信道,只能在主导频所在天线发送,这就导致了图 3 中的 A 点处,两个通道的功率不平衡,从而降低了一个功放的利用率。3GPP 中采用 VAM(虚拟天线矩阵)来平衡功放功率。经过 VAM 矩阵处理后,在图 3 中的 B 点处,两条之路的功率处于平衡状态,从而可以充分利用两条支路上的功率放大器。VAM 矩阵除了要保证两个功放的功率平衡之外,还需要保证双流情况下,两个流的功率平衡。

引入 VAM 矩阵之后,对 MIMO 终端和非 MIMO 终端的性能又将产生影响。MIMO 中原有 4 种可用的预编码向量,由于 VAM 的引入,其中的一些预编码向量(PCI)与 VAM 组合时,在 MIMO 单流时会导致两

条支路上的功率不平衡。如果不对 PCI 进行限集的话,将带来性能明显的下降。文献[5]中高通的仿真显示,UE 在进行单流 PCI 反馈的时候进行限集比不限集带来更少的性能损失。因此 3GPP 建议在 MIMO 单流时需要对部分预编码向量的使用进行限制(即 PCI 限集)。

2) S-CPICH 对非 MIMO 终端的影响

P/S + VAM 方案中,MIMO 与 R99/HSDPA 业务混合载频组网,传统终端只用主导频作为相位参考,辅导频对传统终端来说类似本小区干扰,这样将降低非 MIMO 终端的反馈 CQI,对吞吐量有影响。为了保证对非 MIMO 终端的覆盖,主导频仍然采用 10%总的发送功率,辅导频如果也采用 10%的总功率的话,干扰将更加严重,因此,3GPP 标准中已经允许对辅导频功率进行配置,从而减少干扰。3GPP 标准中允许对辅导频功率进行配置,通过减小 S-CPICH 功率,降低 S-CPICH 对非 MIMO 终端的影响。表 2 是诺西的一个仿真结果,在 S-CPICH 功率与 P-CPICH 功率相同时,对 PB3(3 km/h 步行 B 信道)信道的吞吐量损失 19.08%,PA3(3 km/h 步行 A 信道)信道的吞吐量损失 9.66%。在 S-CPICH 功率比 P-CPICH 功率低 3 dB 时,对 PB3 信道的吞吐量损失 7.29%,PA3 信道的吞吐量损失 5.39%。在 S-CPICH 功率比 P-CPICH 功率低 6 dB 时,对 PB3 信道的吞吐量损失 4.19%,PA3 信道的吞吐量损失 2.85%。由表 2 可知,随着 S-CPICH 功率的降低,对非 MIMO 终端吞吐量的影响也逐渐降低。

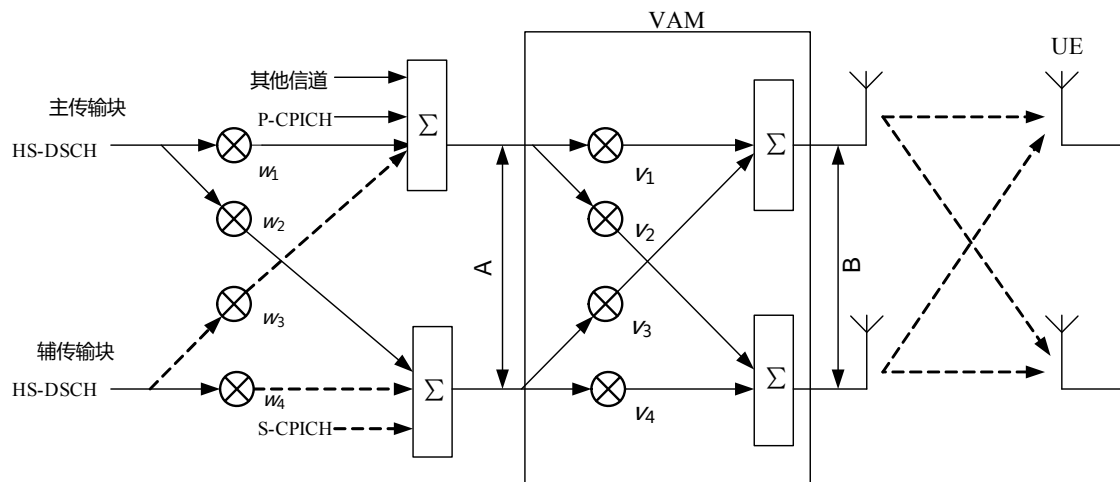


Figure 3. The balance of power problems after the introduction of VAM
图 3. 引入 VAM 后的功率平衡问题

Table 2. Relative degradation of non-MIMO UE throughput due to addition of S-CPICH (compared to case without S-CPICH)^[6]
表 2. S-CPICH 不同的功率偏置对非 MIMO 终端吞吐率的影响^[6]

S-CPICH Ec/Ior	与无 S-CPICH 时吞吐率损失比较	
	PA3	PB3
-10 dB	-9.66%	-19.08%
-13 dB	-5.39%	-7.29%
-16 dB	-2.85%	-4.19%

5. 总结

MIMO 有效利用了频谱资源和码资源, MIMO 对于频谱资源紧张或频谱资源昂贵的运营商来说是个很好的选择。采用双流方案理论上可以将用户峰值速率提升 100%。但是, MIMO 双流的启用会受到信道条件影响, 当用户所处的无线信道条件较差时, 系统依然还会选择单流方案。使用 MIMO 技术还会较大程度的增加硬件成本, 主要是射频单元成本的增加。对

于已部署 HSPA 的运营商, 需考虑对已有系统的改动代价。终端的普及率对 MIMO 性能的影响很大, 非 MIMO 终端在 MIMO 网络中容量会受到影响, 过低的普及率(低于 30%)可能带来网络容量的负作用。

参考文献 (References)

- [1] Qualcomm. HSPA+ R8 and R9, 2009.
- [2] 3GPP TS 25.308 V11.3.0. 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; high speed downlink packet access (HSDPA); overall description; stage 2 (release 11), 2012.
- [3] 3GPP TS 25.214 V10.2.0. 3rd generation partnership project; technical specification group radio access network; physical layer procedures (FDD) (Release 10), 2011.
- [4] 赵先明, 张建国, 郝瑞晶等. HSPA+无线网络性能与实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 22-24.
- [5] 3GPP R1-095068. MIMO codebook restrictions for single stream transmissions. Qualcomm Europe.
- [6] 3GPP R1-093565. Simulation results of reduced S-CPICH transmit power. Nokia Siemens Networks, Nokia Corporation.