

Massive MIMO 技术标准进展 Massive MIMO Technology Standard Progress and Development 及演进方向

韩 潇,邱佳慧,范 斌,陈建玲(中国联通网络技术研究院,北京 100048)

Han Xiao, Qiu Jiahui, Fan Bin, Chen Jianling (China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

摘 要:

Massive MIMO 技术可以通过增加天线数增加系统容量,并利用不同用户间信道的近似正交性降低用户间干扰,实现多用户空分复用。首先总结了 Massive MIMO 技术的 Rel-13 版本标准化内容,分析了面向 5G 系统的 Massive MIMO 技术的主要研究内容,最后结合中国联通现状,分析了该技术的演进方向。

关键词:

大规模多入多出技术;全维度多入多出;5G
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2017.03.001
中图分类号: TN929.5
文献标识码: A
文章编号: 1007-3043(2017)03-0001-04

Abstract:

Massive MIMO technology can adopt increasing number of antennas to improve the system capacity and reduce inter-user interference based on approximate orthogonal channels between different users, which realize multi-user multiplexing in the space domain. It firstly summarizes the standardization contents of Rel-13 FD-MIMO specification, analyzes the key research contents of massive MIMO. Finally, it analyzes the evolution direction of Massive MIMO in combination with the current situation of China Unicom.

Keywords:

Massive MIMO; FD-MIMO; 5G

引用格式: 韩潇,邱佳慧,范斌,等. Massive MIMO 技术标准进展及演进方向[J]. 邮电设计技术, 2017(3): 1-4.

0 前言

Massive MIMO 是传统 MIMO 技术的扩展和延伸,其特征(集中式 Massive MIMO)在于以大规模天线阵的方式集中放置数十根甚至数百根以上天线。Massive MIMO 技术可以直接通过增加天线数增加系统容量。基站天线数量远大于其能够同时服务的终端天线数,形成了 Massive MIMO 无线通信系统,以达到更充分地利用空间维度,提供更高的数据速率,大幅度

提升频谱效率的目的。此外,随着基站天线数的增加,Massive MIMO 可以通过终端移动的随机性以及信道衰落的不相关性,利用不同用户间信道的近似正交性降低用户间干扰,实现多用户空分复用。由于 Massive MIMO 技术的上述特点,近年来在学术界和产业界,Massive MIMO 技术都是极具吸引力的空口关键技术,在 LTE 演进领域和 5G 领域被广泛讨论。

1 Massive MIMO 技术现有标准版本

3GPP Rel-13 版本可以视为对 Massive MIMO 技术标准化的第一个版本。在这一版本中,支持的天线端口数还未达到普遍认为的数量,因此在 Rel-13 中称为

基金项目: 国家重点研发计划(2015AA01A710)

收稿日期: 2017-02-06

FD-MIMO(Full Dimension- MIMO),即全维度 MIMO,实现了波束在垂直维度(Elevation dimension)和水平维度(Azimuth dimension)2个方向上的操作。

Rel-13 版本,FD-MIMO 下行支持 16 发射天线端口与 8 接收天线端口,支持水平方向和垂直方向的波束赋形。上行支持 4 发射天线端口和 4 接收天线端口,且上下行均支持 MU-MIMO。

在 FD-MIMO 中,主要考虑 2 种 CSI-RS 的传输机制,包括对于传统的非编码的 CSI-RS 的扩展和波束成形的 CSI-RS。在第 1 种机制中,UE 需要观察每个天线子阵列传输的非编码的 CSI-RS,通过选择合适的预编码矩阵以获得最优性能并适应信道变化。在第 2 种机制中,eNB 传输多个波束赋形的 CSI-RS(也可以认为是波束),一般采用全连接的天线阵结构,UE 选择合适的波束并反馈其索引值。当 eNB 接收到波束索引时,所选波束的权值将用于数据的传输。

在 CSI 上报中分为 Class A 与 Class B 2 种类型。Class A 上报是基于非编码的 CSI-RS,为 8/12/16 端口天线传输引入新的码本。在该类型中,CSI 上报分为 2 个字段: $W = W_1 W_2$,其中 W_1 表示宽带 PMI,表示信道的长期统计特性,例如波束方向簇等。 W_2 表示子带 PMI,用于波束选择。Class B 上报是基于波束赋形的 CSI-RS。eNB 可以为 UE 配置 K 个波束, $K=1\sim 8$,UE 上报 CRI 来指明要选择的合适波束。每个波束的 CSI-RS 天线端口数是 1、2、4、8。

Class A 和 Class B 的 CSI 上报类型比较如表 1 所示。

表 1 Class A 和 Class B 对比

	Class A CSI 上报	Class B CSI 上报
反馈设计	需要为 2D 天线层设计码本,为适应信道变化设计反馈机制	需要为适应权重变化和信道变化设计一种方法来反馈波束编号
UL 反馈开销	依赖于码本的解决方案和天线数量	依赖于运行的波束数量
CSI-RS 开销	需要 N_t 个 CSI-RS 资源	与波束数量 N_b 成线性变化
后向兼容	支持 TXRU 与天线端口的虚拟化	支持垂直的波束赋形加权
前向兼容	如果 CSI-RS 资源允许,可扩展到较大的 TXRU 系统	如果可以获取长期的信道统计特性,可扩展到较大的 TXRU 系统

一般而言,CSI 是通过对多个子帧的测量进行平均得到的。而在 Rel-13 中,MR 允许 eNB 对 UE 配置,只利用一个子帧进行测量上报。

a) 通过 RRC 信号进行配置。

b) 对于信道 MR:只应用于 Class B。

c) 对于干扰 MR:应用于 Class A 和 Class B。

通过 MR 的配置,eNB 可以在连续子帧中配置不同的波束赋形 CSI-RS 方向,提高 CSI 获取的效率。

综上所述,FD-MIMO 主要由以下 7 个子功能组成。

a) Class A 反馈:新的码本已支持 8、12、16 端口——针对机制 3。

b) Class B 反馈:通过 CRI(CSI-RS 资源指示)反馈选择波束——针对机制 1。

c) SRS 增强:RPF=4 以及在 UpPTS 传输 SRS——针对机制 2,提高 SRS 容量。

d) CSI-RS 在 DwPTS 传输——对于机制 1、2、3 都适用,增加 CSI-RS 容量。

e) DMRS 增强——支持 4 个正交的 DMRS 端口,更多 MU-MIMO 流数,对于机制 1、2、3 都适用。

f) 信道测量限制——适用于机制 2,网络控制的信号测量。

g) 干扰测量限制——适用于机制 1、2、3,网络控制的干扰测量。

其中,机制 1 是指小区特定的波束选择,机制 2 是指 UE 特定的波束成形的 CSI-RS,机制 3 是多发射天线的新码本。

2 面向 5G 的 Massive MIMO 技术

2.1 初始接入

由于 NR 大规模天线的窄波束特性,如果没有低频载波的辅助,小区级的公共信道和信号(例如同步信号、广播信道、系统消息等)无法按照 LTE 的方式进行传输,需由窄波束覆盖,一般可采用在一定时间周期内轮询发送所有波束的方法。具体的周期设置方法,每次传输时间,以及相关信号的设计仍需要评估。

如采用低频辅助发送控制信息,需要支持和低频载波的联合操作。对于终端实现等也有较高要求。

2.2 波束管理相关过程

讨论明确了波束管理相关过程的分类和定义。

波束管理:是指获得和维持一组可用于 DL 和 UL 传输/接收的 TRP/UE 波束,至少包括以下几个方面。

a) 波束确定:对于 TRP 或 UE 选择自己的 Tx/Rx 波束。

b) 波束测量:对于 TRP 或 UE 测量接收到的波束成形信号的特点。

c) 波束上报:对于UE基于波束测量上报波束成形信号的性能/质量信息。

d) 波束扫描:通过预选确定的方法,在一定时间间隔内,使用波束传输和/或接收操作并覆盖一定的空间区域。

在单个或多个TRP间支持的下行L1/L2层波束管理过程包括:

a) P-1:是指UE测量不同的TRP发射波束以支持TRP发射波束/UE接收波束的选择;对于TRP的波束赋形,典型的包括从不同波束集合中进行TRP内和TRP间的发射波束扫描;对于UE的波束赋形,典型的包括从不同波束集合中进行UE接收波束扫描。

b) P-2:是指UE测量不同的TRP发射波束以更改TRP内/TRP间的发射波束;可能比P-1中的波束集合更小。

c) P-3:是指当UE采用波束赋形时,UE测量相同的TRP发射波束以更改UE接收波束。

在波束管理的过程中,需要注意的是发射波束和接收波束的概念,发射波束是指通过多天线采用波束赋形技术发射具有方向性的波束;不同于LTE系统中采用全向性的信号接收,接收波束是指在接收信号的方向上也具有指向性,尽可能指向发射波束的来波方向,以进一步提高接收信噪比并避免用户间的干扰。例如,在波束确定过程,下行传输的波束确定包含TRP的发射波束确定和UE的接收波束确定。

波束调整/对齐是波束管理中的重要环节,一般分为2个步骤。第1步,是波束训练,以达到TRP和UE间的初始波束对齐,UE和系统同步并做好被TRP调度的准备,该步骤可以视为波束确定过程。第2步,是基于波束对齐的先验信息进行波束追踪,UE移动时TRP可以进行波束跟踪,该步骤可以视为波束更改过程。

2.3 传输模式

传输模式的讨论主要包括下行传输模式和上行传输模式。下行传输模式分为单TRP传输和多TRP传输。

单TRP传输主要包括SU-MIMO、MU-MIMO、发射分集、开环/闭环预编码,倾向于支持一种传输模式,其中包含上述多种分集及空间复用方式,与LTE的多个传输模式相比,可以根据调度用户数和信道条件更灵活动态地调整具体的传输方式。

多TRP传输类似于CoMP,是指多个TRP之间通过协调为同一用户提供服务,例如多个TRP可以采用

不同的波束方向对同一用户提供服务。多TRP传输还讨论了QCL的问题,即不同TRP天线端口是否可以视为同一位置,QCL和多TRP间具体采用的传输方式有关。

上行传输模式主要包括基于预编码的传输和基于非预编码的传输。

2.4 信号设计和物理层过程

信号设计是指在NR大规模天线机制下,各物理层过程采用的参考信号的设计,例如同步信号(包括粗同步/精同步)、CSI测量用参考符号、波束参考符号、上行探测信号等等,主要研究LTE FD-MIMO的相关信号是否可以重用,针对NR需要做哪些增强,讨论包括信号序列,RE位置映射等方向。

主要的物理层过程与LTE FD-MIMO类似,除了上述部分提到的初始接入、波束管理外,主要是信道测量和反馈的过程。信道测量反馈需要进一步降低开销,并提高反馈精度,主要讨论增强反馈方案,例如高精度反馈等。

2.5 UE相关

UE移动的影响:UE移动对大规模天线系统的影响较大,除了UE位置变化可能导致的波束改变之外,主要研究UE移动、旋转以及信道/波束阻塞的影响。

UE能力:根据信道互易性特性和校准能力可以分为互易性且校准UE,互易性且非校准UE,以及非互易性/部分互易性UE。

3 Massive MIMO 技术演进方向

目前,立足中国联通现网,FDD和TDD 2种制式的Massive MIMO潜在发展路线如下。

a) FDD:面向FDD频谱重耕或LTE网络持续演进,Massive MIMO技术是重要的使能技术,保证在5G时代FDD制式具有与TDD相当的频谱效率。

b) TDD:基于我国最可能首发的5G频段(3.5 GHz频段),Massive MIMO技术可带来成倍的单用户和小区的峰值速率提升,如64天线端口以上的Massive MIMO技术可带来10 Gbit/s以上的小区吞吐量。

在5G新空口的研究中,Massive MIMO技术也是非常重要的关键技术之一。面向5G新空口(NR——New Radio)系统,Massive MIMO将采用相对于LTE而言更多的天线数量和更窄的波束。

5G NR Massive MIMO技术的显著特点之一是天线数量远高于LTE系统。为了满足NR的性能需求,

发射及接收点 (TRP—Transmission and Reception Point) 考虑支持到 256Tx。在 NR 仿真假设的相关讨论中, 70 GHz TRP 的收发天线数甚至可以达到 1 024 个。虽然高频段的路径损耗和穿透损耗都较大, 但对于减小天线尺寸, 在相同的天线阵平面面积上部署更多的天线数上具有天然的优势。

5G NR Massive MIMO 技术的另一个特点是频率跨度大且带宽大。NR 的载波频率范围从 4 GHz 左右到 6 GHz 以上的高频段, 例如 30、70 GHz, 可能支持的载波带宽也从 80 MHz 到 1 GHz 左右。这些特性将会对实现方案和空口设计带来巨大的挑战。其中一项挑战就是在不显著增加 TRP 发射功率的前提下, 如何提供类似 LTE 的覆盖。可行的解决方法是充分利用数量众多的天线, 一方面利用天线本身的增益, 另一方面采用波束赋形技术, 将发射功率集中在窄波束上, 以提升覆盖性能。可见相对于 LTE 更窄的波束及波束赋形是 NR Massive MIMO 的必然选择, 特别是对于 6 GHz 以上的高频频谱。

4 结束语

下一阶段, 针对 3.5 GHz 以下频段, 重点推进 FDD-Massive MIMO 增强技术及网络规模化升级 FDD 大规模天线方案的研究; 对 3.5 GHz 及以上频段, 全面评估不同场景下的 Massive MIMO 原型机的性能 (包含 3.5 及 6 GHz 以上重点高频频段), 以形成初步部署策略及组网方案。

参考文献:

- [1] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation V13.2.0; 3GPP TS 36.211 [S/OL]. [2016-12-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [2] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding V13.2.0; 3GPP TS 36.212 [S/OL]. [2016-12-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [3] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures V13.2.0; 3GPP TS 36.213 [S/OL]. [2016-12-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [4] ZHANG J, WEN C K, JIN S, et al. On Capacity of Large-Scale MIMO Multiple Access Channels with Distributed Sets of Correlated Antennas [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 31(2): 133-148.
- [5] LU L, LI G Y, SWINDLEHURST A L, et al. An Overview of Massive MIMO: Benefits and Challenges [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2014, 8(5): 742-758.
- [6] HOYDIS J, TEN BRINK S, DEBBAAH M. Massive MIMO: How many antennas do we need? [C]// Communication, Control, and Computing. IEEE, 2011: 545-550.
- [7] LARSSON E G, EDWARDS O, TUFVESSON F, et al. Massive MIMO for next generation wireless systems [J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 52(2): 186-195.
- [8] GAO X, TUFVESSON F, EDWARDS O, et al. Measured propagation characteristics for very-large MIMO at 2.6 GHz [C]// Signals, Systems and Computers. 2012: 295-299.
- [9] FOEGELLE M D. Advances in MIMO over-the-air testing techniques for massive MIMO and other 5G requirements [C]// AMTA 2016 Proceedings, Austin, TX, USA, 2016: 1-5.
- [10] MOLISCH A F, WIN M Z, WINTERS J H. Capacity of MIMO systems with antenna selection [C]// IEEE International Conference on Communications, IEEE, 2001: 570-574.
- [11] Adnan N H M, Rafiqul I M, Alam A H M Z. Massive MIMO for Fifth Generation (5G): Opportunities and Challenges [C]// 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE), Kuala Lumpur, 2016: 47-52.
- [12] Study on elevation beamforming/full-dimension (FD) MIMO for LTE: 3GPP TR 36.897 [S/OL]. [2016-12-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [13] Study on 3D channel model for LTE: 3GPP TR 36.873 [S/OL]. [2016-12-25]. ftp.3gpp.org/Specs/.
- [14] NAM Y H, LI Y, ZHANG J C. 3D channel models for elevation beamforming and FD-MIMO in LTE-A and 5G [C]// Signals, Systems and Computers, 2014, Asilomar Conference on IEEE, 2014: 805-809.
- [15] SADEK M, TARIGHAT A, SAYED A H. A Leakage-Based Precoding Scheme for Downlink Multi-User MIMO Channels [J]. Wireless Communications IEEE Transactions on, 2007, 6(5): 1711-1721.
- [16] BENMIMOUNE M, DRIOUCH E, AJIB W. Joint Antenna Selection and Grouping in Massive MIMO Systems [C]// IEEE/IET International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, IEEE, 2016.
- [17] BJÖRNSON E, SANGUINETTI L, HOYDIS J, et al. Optimal Design of Energy-Efficient Multi-User MIMO Systems: Is Massive MIMO the Answer? [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(6): 3059-3075.
- [18] ZHU J, SCHÖBER R, BHARGAVA V K. Secure Transmission in Multicell Massive MIMO Systems [J]. Wireless Communications IEEE Transactions on, 2014, 13(9): 4766-4781.

作者简介:

韩潇, 毕业于北京邮电大学, 工程师, 硕士, 主要从事 LTE-A/LTE-A Pro 及 5G 的标准化和无线接入关键技术的研究工作; 邱佳慧, 毕业于北京交通大学, 工程师, 博士, 主要从事无线定位技术、Massive MIMO 以及车联网的研究工作; 陈建玲, 毕业于北京交通大学, 工程师, 博士, 主要从事高频技术、射频技术和无线接入关键技术的研究工作; 范斌, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 博士, 主要负责 5G 关键技术研究及标准化工作。