



TD-LTE 系统 MU-MIMO 外场测试性能分析 *

旷靖华,龙紫薇,邓 伟

(中国移动通信有限公司研究院 北京 100053)

摘 要: TD-LTE 系统可在 TM7 单流模式及 TM8 双流模式的基础上进一步引入增强的多天线技术,包括上行 MU-MIMO 和下行 MU-MIMO 算法。MU-MIMO 算法将空间隔离度较好的一对用户进行配对,使两用户采用同一时频资源进行上行或下行传输,从而大幅提升上行或下行可用资源数量,提高双终端或小区的吞吐量性能。详细结合目前 TD-LTE 上行和下行 MU-MIMO 的设备实现,分析上行及下行 MU-MIMO 算法在外场测试的性能表现。

关键词: TM8; MU-MIMO; 多用户复用

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.05.011

Performance Analysis on MU-MIMO Field Test in TD-LTE System

Kuang Jinghua, Long Ziwei, Deng Wei

(China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China)

Abstract: Based on TM7 single-stream and TM8 dual-stream transmission mode, multiple antenna enhancement technology can be introduced in TD-LTE system, including uplink MU-MIMO and downlink MU-MIMO. In MU-MIMO algorithm, two terminals with space division can be paired to share the same downlink resource blocks for uplink or downlink transmission. Due to the multiplexing of time-frequency resource, the valid transmission resource can be increased remarkably, thus the gain on dual-terminal throughput and the cell overall throughput performance can be obtained. Detailed analysis on field test of uplink and downlink MU-MIMO was given, based on the algorithm implement of TD-LTE network equipment vendors.

Key words: TM8, MU-MIMO, multiple user multiplexing

1 引言

TD-LTE 系统中,基站侧广泛采用 8 天线配置,而终端侧的发射天线目前只有 1 根,因而上行无法进行多天线传输,获得多天线复用增益。如能将空间隔离度较好的两个终端的发射天线配对进行上行传输,则可与基站的多根接收天线进行多天线传输,这种上行信号传输算法被称为上行多用户复用 MIMO(上行 MU-MIMO)。

上行 MU-MIMO 传输方式从单一用户的角度看,由于用户配对前后可用的最大资源数量不变,因而对单用户吞吐量没有提升。但由于两个配对用户在上行 MU-MIMO 传输模式下可复用同一时频资源进行上行传输,并通过空间隔离予以区分,因而用户配对后,整个小区可用的最大资源数将有大幅提高,小区吞吐量资源将有显著提高。

下行传输中,基站侧 8 根发射天线可实现 3GPP R9 规范^[1]中定义的 TM8 双流波束成形传输。当 TM8 工作在单用

* “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项基金资助项目(No. 2010ZX03002-009)



户双流时,基站对要发射的两个数据流进行下行成形^[2],实现单用户双流传输,同时获得成形增益和空间复用增益,较单流波束成形而言,双流波束可以获得更高的传输速率。单用户双流 TM8 传输模式如图 1 所示。但由于单用户的双流间存在一定程度的干扰,将会影响系统性能。且由于目前终端仅有 1 根发射天线,终端通过该天线发送上行 sounding 信号后,基站仅能获得下行单流的信道质量信息,另一个流的信道质量信息无法获得,只能近似处理为与第一个流正交。基站对双流波束成形的信道信息估计困难,将会影响双流波束成形的效果。

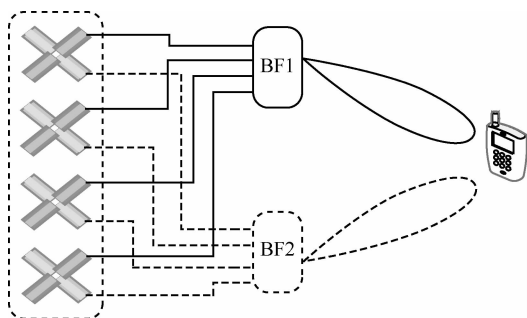


图 1 单用户双流 TM8 传输模式示意

针对下行 TM8 单用户双流模式存在的缺陷,可进一步引入下行多用户复用 MIMO 传输方式(下行 MU-MIMO,或称 MU-BF),基站利用波束方向性,将 TM8 的双流分配给空间隔离度较好的两个配对用户,用户之间的干扰利用波束成形算法删除,使两流间的干扰大幅减小^[3,4]。同时,两个配对用户采用正交的导频端口,可共用下行的时频资源进行空分多址传输,进一步获得多用户复用增益,提升小区吞吐量。TM8 两用户双流传输模式如图 2 所示。

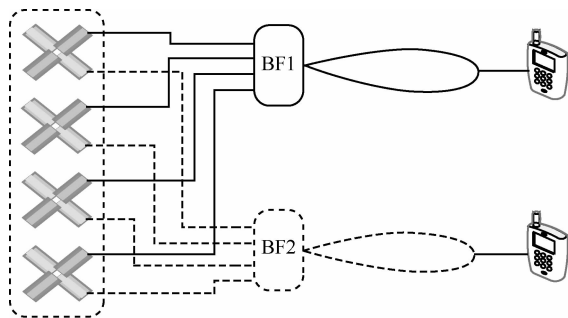


图 2 TM8 两用户双流传输模式示意

前期针对上行和下行 MU-MIMO 的性能仿真评估中,上行 MU-MIMO 算法预计能够提升小区上行平均吞吐量 40%左右,较 TM3/8 自适应传输模式而言,下行 MU-MIMO 可提升小区下行平均吞吐量 7%左右。在 TD-LTE 规模试

验网中,上行/下行 MU-MIMO 算法实现时用户配对基于什么准则,配对后性能提升到什么程度,这都将是上行/下行 MU-MIMO 算法测试验证的重点,也是本文阐述的重点。

2 性能评估

为验证上行/下行 MU-MIMO 技术在 TD-LTE 系统中的性能,已在 TD-LTE 扩大规模试验网中的两处测试地点开展了相关外场测试,测试场景均为密集城区。

2.1 上行 MU-MIMO 外场测试验证

对上行 MU-MIMO 性能的测试主要包含双终端吞吐量和小区吞吐量两方面内容。对双终端吞吐量指标的考察,意在针对上行 MU-MIMO 技术开展定点测试,探究技术的优势区间;对小区吞吐量指标的考察,意在小区整体性能的基础上评估上行 MU-MIMO 的增益。

在双终端吞吐量测试中,两个终端分别按测试条件放置在小区中的极好点($SINR > 22$ dB)、好点($15 \text{ dB} \leq SINR \leq 20 \text{ dB}$)、中点($5 \text{ dB} \leq SINR \leq 10 \text{ dB}$)和差点($-5 \text{ dB} \leq SINR \leq 0 \text{ dB}$)等不同地理位置,分别考察双终端在上行 MU-MIMO 功能开启前后的双终端定点吞吐量,以便评估上行 MU-MIMO 技术的优势区间。测试过程中,为便于考察双终端配对时的信道条件,两个终端将分别同时放置在极好点+极好点、好点+好点、中点+中点、差点+差点以及好点+中点、好点+差点、中点+差点,如图 3 所示。下面将分别介绍这些测试条件下的测试结果。

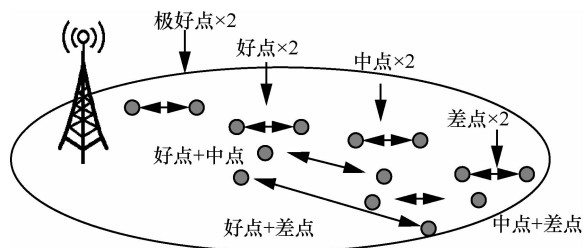


图 3 上行 MU-MIMO 双终端吞吐量测试条件

测试地点 A 开展的上行 MU-MIMO 双终端吞吐量性能测试结果如图 4 所示。由结果可见,位于极好点、好点、中点的用户增益明显,上行 MU-MIMO 开启后双终端吞吐量性能增益可达 43%~69%;而位于差点的用户(包含双终端中其一位于差点的用户),上行 MU-MIMO 开启后双终端的吞吐量性能增益较小。

不同地理位置的用户所表现出的增益差异的根本原因在于上行 MU-MIMO 配对算法。上行 MU-MIMO 算法中以用户为配对单位,当两个用户配对成功后,基站将根据

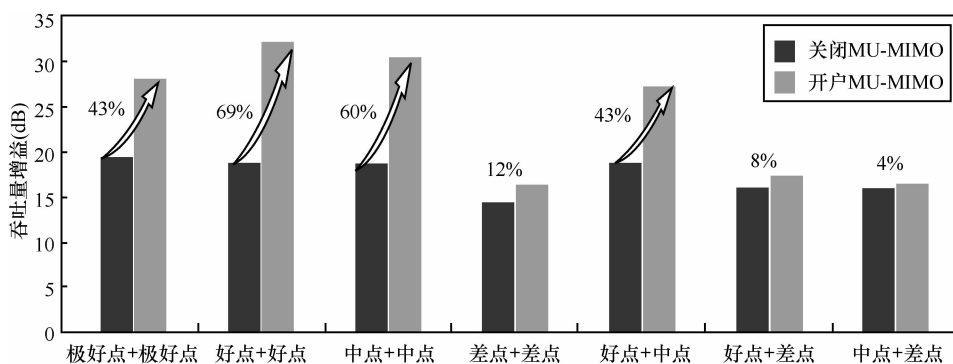


图4 测试地点A上行MU-MIMO双终端吞吐量性能

配对用户整体的信道质量进行调度,两配对用户的上行资源得到完全复用。当且仅当两个潜在配对用户同时达到以下配对条件时,基站才会对双终端进行配对。配对条件介绍如下:

- 潜在配对用户的信道质量达到一定门限;
- 潜在配对用户之间的空间隔离度(天线角度)达到一定要求;
- 基站评估潜在配对用户,确认两个用户配对后频谱效率或吞吐量能够得以提升,才予以配对。

对位于极好点、好点及中点的用户,由于信道条件较好,因而较易达到配对所需的信道质量门限要求,此时如果配对用户间空间隔离度较好,基站则会进行配对。配对用户在空间维度对同一时频资源进行复用,使得双终端吞吐量呈现大幅增长;对差点用户或者有一个位于差点的两个用户而言,达到配对所需的信道质量门限要求较难,或配对后受限于信道条件,难以获得更多的调度资源,基站评估双终端配对后反而会导致频谱效率或吞吐量下降,从而配对成功率将大大下降。因而对差点用户而言,上行MU-MIMO算法开启后双终端吞吐量没有明显增益。

测试地点B开展的上行MU-MIMO双终端吞吐量性能测试结果如图5所示。测试地点B的测试结果与测试地点A的结果呈现出相似的趋势,原因是采取的上行MU-MIMO算法基本一致,对位于极好点、好点及中点处空间隔离度较好的用户而言,由于信道条件利于用户成功配对,因而上行MU-MIMO算法开启后双终端吞吐量会获得较为明显的增益;对差点用户或有一个位于差点的两个用户而言,受限于信道质量,配对成功率较低,双终端吞吐量并没有明显增益。

为评估上行MU-MIMO对小区整体吞吐量性能的影响程度,需进一步开展小区吞吐量测试。在小区吞吐量测试中,共8部终端均匀分布在一个小区的极好点、好点、中点和差点等不同地理位置,如图6所示,测试中需分别考察在上行MU-MIMO功能开启前后的小区吞吐量性能。

测试地点A及测试地点B的小区吞吐量测试结果如图7所示,在上行MU-MIMO算法开启后,由于部分用户进行上行多用户复用配对,小区整体可用资源得到大幅提升,小区平均吞吐量增益在40%以上,与前期性能仿真预期基本一致。

综合两个测试地点的测试结果,上行MU-MIMO算法

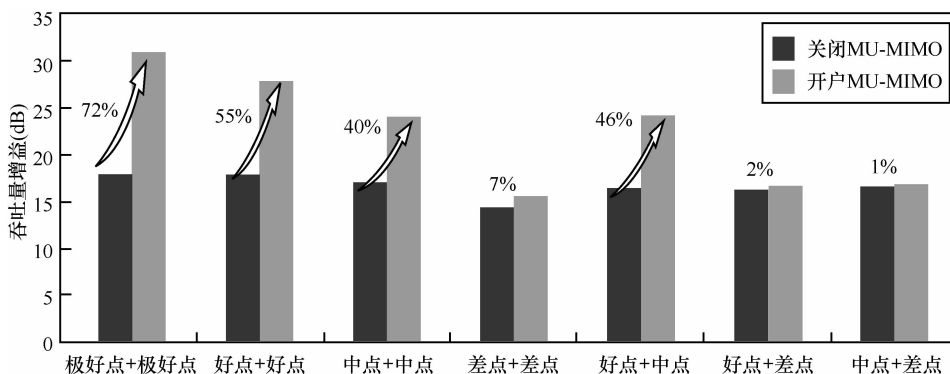


图5 测试地点B上行MU-MIMO双终端吞吐量性能

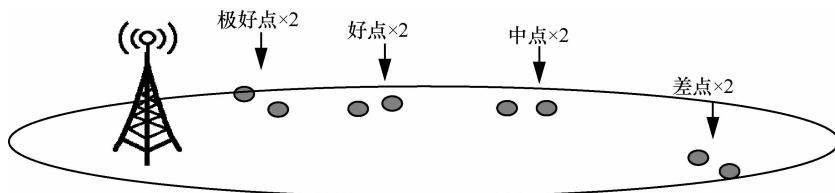


图6 上行 MU-MIMO 小区吞吐量测试条件

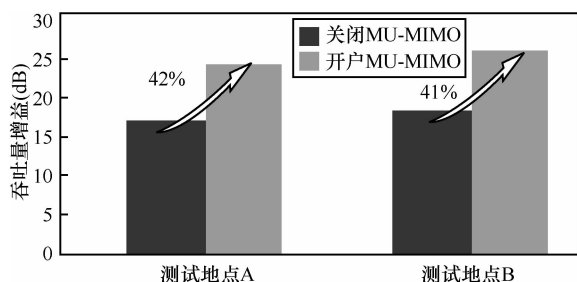


图7 上行 MU-MIMO 小区吞吐量性能

的优势区间主要在于极好点、好点和中点。处于这些位置的终端在 MU-MIMO 开启后配对成功率较高，得益于配对用户对时频资源的复用，瞬时可用资源数量急剧增加，双终端吞吐量增益可达 39%~71%；从上行 MU-MIMO 对小区整体吞吐量性能的影响方面，上行 MU-MIMO 算法开启后小区吞吐量增益在 40%以上。

2.2 下行 MU-MIMO 外场测试验证

因下行 MU-MIMO 功能需基于 TM8 模式开启，而 TM8 模式的优势区间已形成明确结论，主要位于小区中点，因而下行 MU-MIMO 算法的定点吞吐量测试无需单独开展，对下行 MU-MIMO 算法的性能评估将主要侧重于小区吞吐量性能。

下行 MU-MIMO 小区吞吐量性能测试中，20 部测试终端按照 1:2:4:3 的比例放置在小区内信道质量条件不同的测试点，在极好点放置 2 部终端，在好点放置 4 部终端，在中点放置 8 部终端，在差点放置 6 部终端，测试条件如图 8 所示，考察在 TM3/8 自适应传输模式的基础上下行 MU-MIMO 算法开启前后的小区吞吐量性能。

测试地点 A 及测试地点 B 在空扰及邻区业务 70%加

扰下的小区吞吐量性能测试结果如图 9 所示。不论是在空扰还是在加扰情况下，下行 MU-MIMO 算法对下行小区吞吐量性能的提升程度都较为有限，在 5%~8%，基本符合前期性能仿真预期，中点处用户的下行吞吐量增益在 14%~19%。下面就下行 MU-MIMO 算法实现方案和其中存在的问题做一简单分析。

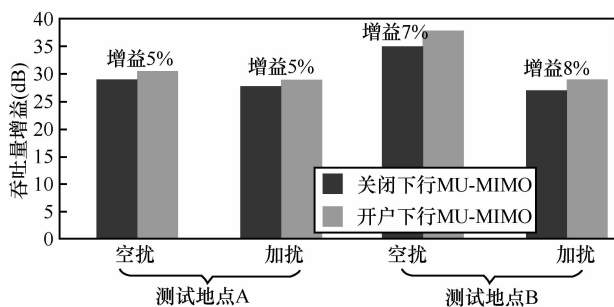


图9 下行 MU-MIMO 小区吞吐量性能

下行 MU-MIMO 算法中，用户配对条件与上行 MU-MIMO 算法基本一致，除需考察配对用户各自的信道条件及用户间的空间隔离度外，基站还将评估潜在配对用户在配对后频谱效率或吞吐量是否能够得以提升，如不能则不予配对。因而与上行 MU-MIMO 算法类似，信道质量条件较差的用户将难以成功配对。

与上行 MU-MIMO 算法不同之处在于，下行 MU-MIMO 算法的配对单位不是用户，而是 PRB 级别的。因而在理想的算法实现方案中，某一个用户下行所使用的不同 PRB 资源将可分别与其他符合配对条件的用户的该部分下行 PRB 资源进行配对，因而从某一个用户的下行资源使用角度而言，该用户将根据各 PRB 的瞬时信道质量，与多个用

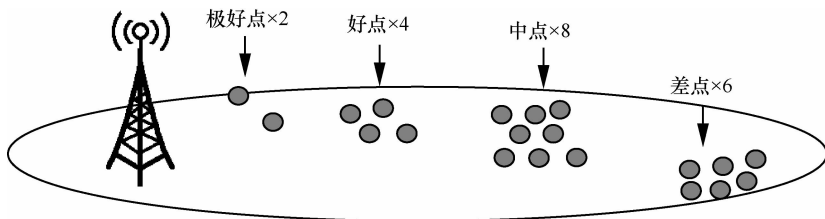


图8 下行 MU-MIMO 小区吞吐量测试条件

户存在动态的下行资源配对关系。但基于目前主流系统设备实现算法的测试结果,仅有部分算法能够达到以 PRB 为颗粒度的配对要求,其余部分算法仍以用户为下行 MU-MIMO 配对单位,导致配对成功率降低,算法实现方案还有待优化。

目前下行 MU-MIMO 算法产品实现中还存在一个问题,配对时筛选潜在用户还仅限于在 TM8 单流用户范围内,即基站目前仅能对 TM8 单流用户进行下行 MU-MIMO 配对,使两个 TM8 单流用户复用同一下行时频资源进行数据传输。在此情况下,下行 MU-MIMO 算法配对增益将受限于小区中 TM8 单流传输模式的比例。小区中 TM8 单流用户主要位于中点和差点,但是差点用户受限于信道质量,配对成功率较低,因而主要的增益区间位于中点,这也正是测试中中点用户下行吞吐量存在增益的原因。

但是目前设备实现中仅将 TM8 单流用户作为下行 MU-MIMO 潜在配对用户的方法是非常局限的,算法应能将采用 TM8 双流传输的用户也纳入潜在配对用户范围。因单用户双流用户的两流之间存在一定的干扰,且由于终端上行传输仅采用单一发射天线,无法对双流信道条件进行准确估计,因而较单用户双流而言,下行双流服务于空间隔离度较好的两个用户的 MU-MIMO 传输模式将存在一定的潜在增益。应进一步优化下行 MU-MIMO 算法实现方案,将 TM8 双流单用户情况也纳入下行 MU-MIMO 潜在配对用户范围。

综合而言,下行 MU-MIMO 算法对下行小区吞吐量性能的提升程度较为有限,下行小区吞吐量增益为 5%~8%,算法的实现方案还存在以下局限性,仍需进一步优化,如下:

- 下行 MU-MIMO 算法配对颗粒度和相应的下行预编码颗粒度还有待提升,以便根据瞬时下行 PRB 资源的信道条件进行动态的配对选择;
- 下行 MU-MIMO 算法对潜在配对用户的筛选还较为局限,应将使用 TM8 双流的用户也纳入潜在配对用户范围,可根据信道条件将双流拆分为符合配对条件的两个单用户单流。

3 结束语

本文分别介绍了上行 MU-MIMO 算法和下行 MU-MIMO 算法在 TD-LTE 规模试验网中的外场测试性能和算法实现,并指出了目前 TD-LTE 系统中 MU-MIMO 算法的实现

问题。

上行 MU-MIMO 算法的优势区间位于小区信道质量条件较好的极好点、好点和中点,算法开启后双终端定点吞吐量可提升 39%~71%;当用户平均分布在小区信道质量不同的测试点时,小区上行吞吐量增益在 40%以上。由分析可见,上行 MU-MIMO 算法应重点部署在信道质量条件较好的区域,通过引入多用户对上行资源的复用,有效提升小区吞吐量。

与 TM3/8 自适应模式相比,下行 MU-MIMO 算法对小区下行吞吐量的提升程度较为有限,小区吞吐量增益在 5%~8%。目前下行 MU-MIMO 算法的实现方案还不够完善,在配对资源颗粒度和配对用户的筛选方面还存在算法优化的空间,需要进一步完善实现方案。

参考文献

- 1 3GPP TS 36.211. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation, 2008
- 2 Zhou S L, Giannakis G B. Optimal transmitter eigen-beamforming and space-time block coding based on channel correlations. IEEE Transactions on Information Theory, 2003, 49 (7): 1673 ~ 1690
- 3 Jia Liu, Krzymien W A. A novel nonlinear joint transmitter-receiver processing algorithm for the downlink of multiuser MIMO systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4): 2189~2204
- 4 Spencer Q H, Swindlehurst A L, Haardt M. Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(2): 461~471

[作者简介]



旷靖华,女,中国移动通信有限公司研究院项目经理,主要研究方向为 LTE 系统 RRM 关键算法。

龙紫薇,女,中国移动通信有限公司研究院项目经理,主要研究方向为 LTE 系统 RRM 关键算法。

邓伟,男,中国移动通信有限公司研究院项目经理,主要研究方向为 LTE 系统关键技术。

(收稿日期:2013-04-16)