



专题:4G&5G

LTE-Advanced MIMO 增强技术研究

张翔,李文宇,宋丽娜,李星

(工业和信息化部电信研究院通信标准研究所 北京 100191)

摘要:针对 LTE-Advanced 中的 5 个关键技术,选择 MIMO 增强技术进行深入研究和阐述。从技术原理、算法实现、测试验证、网络兼容性多个维度讨论了 LTE-Advanced 下行传输模式 9(TM9),分析了 TM9 的使用范围、性能优势和兼容性问题;并在此基础上,横向对比了 LTE 和 LTE-Advanced 的所有天线模式,给出布网建议。

关键词: LTE-Advanced; MIMO; 传输模式; 波束成形

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.008

Study on LTE-Advanced MIMO Enhancement

Zhang Xiang, Li Wenyu, Song Lina, Li Xing

(Research Institute of Telecommunications Transmission, China Academy of
Telecommunication Research of MIIT, Beijing 100191, China)

Abstract: MIMO enhancement was studied and investigated out of five key technologies in LTE-Advanced system. Based on the technique theory, algorithm implement and test trail of transmission mode 9 were well discussed. The utilization method, performance advantages and network compatibility of transmission mode 9 were also analyzed. Furthermore, all downlink transmission modes of LTE and LTE-Advanced were compared, and some suggestions were provided for network planning.

Key words: LTE-Advanced, MIMO, transmission mode, beamforming

1 引言

随着移动互联网的发展,人们更加重视无线数据业务的体验,运营商对无线网络的关注重点逐渐从语音覆盖转向数据频谱效率。国内的 3 家运营商采用 3 种不同的 3G 移动通信制式,其中以中国联通采用的宽带码分多址接入(WCDMA)技术传输速率最高,下行峰值速率高达 42 Mbit/s。但因为大数据多媒体业务对数据传输的要求越来越高,3G 网络已经不能满足运营商的需求。从 2009 年建造第一个长期演进(LTE)网络开始,韩国、日本和美国等国家已经全面商用 4G 系统^[1]。2013 年 12 月 4 日,工业和信息化部向中国移动、中国联通和中国电信同时颁发时分双工 LTE(TD-LTE)的运营牌照^[2]。TD-LTE 作为 4G 技术的重要分

支,不需要成对的频谱资源,能够适应不对称的上下行业务特性,且时分双工方式可以充分利用信道传播的上下行互异性,采用波束成形技术获得分集增益和阵列增益,提升网络频谱效率和边缘覆盖^[3]。TD-LTE 的下行峰值速率能达到 110 Mbit/s。

LTE-Advanced 从 3GPP R10 版本协议开始,形成了载波聚合(CA)、多点协作(CoMP)、中继(relay)、增强的小区间干扰协调(eICIC)和 MIMO 增强 5 个关键技术。由于物理层基本传输技术并没有改变,相比从 CDMA 到 LTE 的“革命”,LTE 到 LTE-Advanced 的发展可以认为是平滑“演进”。

载波聚合通过使用多个载波段的时频资源,能够成倍地提升系统的传输速率,特别是在频谱资源日益紧张的今

天,通过将一些频谱碎片聚合,有效地利用这些频谱传输数据。为了增加LTE系统的覆盖半径,改善小区边缘用户的使用体验,3GPP从R10版本开始引入CoMP技术,并在R11版本进行了完善。CoMP技术将多个基站的天线进行联合处理,在上行和下行获得多天线增益。但经过国际国内运营商和设备商的多轮研究和讨论,目前CoMP最适合使用的场景是上行基站天线较少的场景。为了增强覆盖,中继技术在LTE基站和终端之间引入了新的节点,通过对基站和终端传输信号的转发增强,提升接收端有用信号的接收功率。随着网络拓扑的日益复杂,同一区域内可能有宏小区、小小区、微小区等,同频组网时小区间的干扰变得异常严重,eICIC技术可以优化终端移动性和协调相邻小区间的传输资源,减少同频小区间干扰。

LTE-Advanced对MIMO的增强主要体现在针对上行和下行分别增加1种传输模式,下行最大支持4流传输,上行最大支持2流传输。目前韩国运营商的发展最为迅速,2014年已经率先把LTE网络升级到LTE-Advanced,支持两载波聚合技术,下载峰值速率提升至150 Mbit/s,通过实际商用网络展示了LTE-Advanced系统的巨大优势。

2 下行MIMO增强

2.1 LTE下行MIMO技术对比

LTE阶段定义了8种下行多天线MIMO传输模式(transmission mode, TM): 单天线发送(TM1); 发射分集(TM2); 循环时延分集(TM3); 闭环空间复用(TM4); 多用户MIMO(TM5); 单层闭环空间复用(TM6); 单流波束成形(TM7); 双流波束成形(TM8)。发展历程如图1所示。

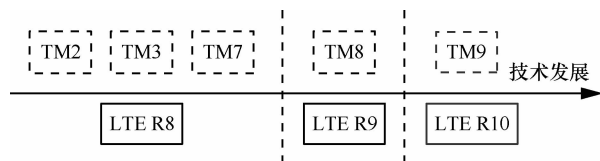


图1 下行MIMO传输模式发展历程

其中,TDD实际网络中使用最多的是TM2、TM3、TM7和TM8这4个模式。对于R8版本的LTE网络,一般配置为TM2/TM3/TM7自适应;而对于R9版本的LTE网络,一般配置为TM2/TM3/TM8自适应。信道条件较好的终端,网络配置为TM3双流复用传输,获得下行传输峰值速率。

作为LTE R9版本引入的新传输模式,TM8通过对上行信道估计进行奇异值分解获得下行预编码,采用波束成

形技术传输双流。因为TM8需要更多的控制和参考信号,峰值速率会略低于TM3,但在信噪比区间中段,TM8的传输速率高于TM3。当终端移动到信道条件较差的环境中时,双流传输的流间干扰会引入较大的误块率(BLER),所以基站会把下行传输从双流降至单流,传输模式从TM3或TM8变为TM2或TM7。在有直射径、终端运动速度较慢的场景,因为波束成形增益,TM7的性能优于TM2。当终端与基站间存在较多遮挡或终端的运动速率较快、多普勒频移较大时,分集增益大于波束成形增益,TM2的性能优于TM7。

从预编码方式区分,TM2和TM3采用基于码本的方式,TM7和TM8采用基于非码本的方式。不同于TM4,这4种传输模式都不需要终端反馈预编码序号。TM2和TM3使用小区公共参考信号(CRS)进行信道测量和数据解调,但CRS不经过波束成形预编码,所以在TM7和TM8波束成形场景,CRS传输增益明显小于数据部分,不能作为终端解调数据的依据。因此,引入经过波束成形预编码的用户专用参考信号(DRS),用于TM7和TM8的数据解调。LTE阶段的终端能力等级分为5级,最高支持下行4层并行传输,LTE阶段MIMO的传输端口数最大为4。目前绝大多数基带芯片仅支持能力等级3,少数芯片支持能力等级4,所以现有LTE基带芯片的MIMO传输模式最大仅支持2端口。

2.2 LTE-Advanced下行MIMO技术增强

LTE-Advanced阶段,3GPP在下行引入了一种新型的MIMO传输模式——TM9。TM9可以采用基于非码本和码本两种预编码方式。

- 基于非码本的TM9,使用与TM8相同的波束成形技术,即利用TDD系统上下行信道的互异性,通过上行信道估计得到下行预编码,无需UE反馈预编码矩阵。在下行2层和4层传输的配置下,TM9和TM8的性能完全相同。但作为LTE-Advanced新增的MIMO模式,TM9支持最大8层传输(能力等级8),峰值速率远高于TM8。
- 基于码本的TM9,与TM4类似,通过测量下行参考信号,终端侧从协议规定的码本中选择预编码增益最大的码本,然后反馈给基站。TM4测量的参考信号为CRS,CRS跟天线端口相关,当天线数增加时,用于承载CRS的RE数量也要增加。

4天线情况下,每168个资源元素(resource element, RE)(每个物理资源块(PRB)内资源元素的总数)中要有



24个用作CRS。在LTE-Advanced系统中,若仍使用CRS进行信道探测,8天线的导频开销升至每个物理资源块内占用48个RE,占用资源高达28.5%,所以CRS的方式在LTE-Advanced中是不可取的,需要设计新的导频以支持更高阶的MIMO。在3GPP RAN#55次会议上,各公司分享了高阶MIMO情况下的下行参考信号设计方案,一致同意在LTE-Advanced R10版本协议中增加一种新的参考信号——信道状态指示参考信号(CSI-RS)。类似于CRS,CSI-RS也是全带宽周期性发送,但发送密度要远远低于CRS,每个天线端口下每个PRB内只占用1个RE的资源。

不同于TM4,基于码本的TM9因为要支持8个天线端口,使用CSI-RS进行下行信道测量并计算预编码。当基站配置为2天线或4天线端口时,基于码本的TM9相比TM4并没有性能增益,并且由于TM9需要下行发送CSI-RS而占用了物理资源,TM9的下行平均吞吐量甚至可能低于TM4。当基站天线端口数增加到8根时,基于码本的TM9支持CSI-RS 8天线端口测量,可以计算并反馈比TM4更精细的8天线码本,因此基于码本的TM9的平均吞吐量优于TM4。

3 链路级仿真

3.1 仿真假设

为了更好地评估新引入的下行TM9的传输性能,根据3GPP协议规范^[3-5],搭建链路级仿真平台,评估基于码本和非码本的TM9在扩展空间信道模型(SCME)下的平均吞吐量。2013年12月4日工业和信息化部发布4G牌照,中国移动获得频段39和频段40的全部频谱资源以及频段41(190 MHz)中的60 MHz(2 575~2 635 MHz)^[6]。其中,频段40因为与其他系统存在干扰,仅在室内使用;频段39的部分频谱资源已经用于3G网络,即时分双工—码分多址接入(TD-SCDMA)系统。因此室外覆盖主要使用频段41,仿真中假设系统的中心频点为频段41的2 600 MHz,系统带宽为20 MHz。

为了复用TD-SCDMA系统的8天线阵列,基站配置8根天线,在采用基于非码本的TM9时,天线端口数为2;在采用基于码本的TM9时,天线端口数为8。终端因为设备体积和成本,上行采用单天线发送。基于非码本的TM9需要利用上行8×1的信道冲激响应,根据参考文献[7]提出的方法映射为下行8×2的信道,然后对此信道进行矩阵奇异值分解,得到下行波束成形预编码矢量。仿真中假设上下行

配置1,特殊子帧配置7,即上下行子帧比例为2:2。基站下行发送数据使用自适应编码调制技术,根据当前的信道质量选择相应的调制编码方式,提升频谱效率。如果物理层传输出现错误,使用混合自动重传应答请求(HARQ)中的Chase合并(CC)方式对传输错误的分组进行重传和合并。终端侧采用线性最小均方误差算法估计下行信道冲激响应,并利用估计出的信道通过经典的最小均方误差(MMSE)算法检测有用信号、消除干扰并抑制噪声。

仿真场景选择参考文献[8]定义的城市宏小区场景,空间传播模型服从SCME非视距(NLoS)信道和增强国际移动通信(IMT-Advanced)技术视距(LoS)信道定义的概率分布。SCME信道一共存在6个主径,每个主径包含3个中径,20条子径按照一定顺序分布在这些中径中。IMT-Advanced LoS信道增加了直射路径,适用于与发射端和接收端之间没有遮挡的情况。两种信道模型的每条子径都建模了快速衰落,能够体现无线信号空间传播过程中的时间相干性、频率相关性和空间相关性。具体的仿真参数见表1。

表1 LTE-Advanced 链路级仿真参数

参数	参数设置
基站天线数	8根
终端天线数	2根
终端类型	4
传输模式	基于码本/非码本的TM9
带宽	20 MHz
上下行配置	1
特殊子帧配置	7
信道模型	SCME NLoS/ IMT-Advanced LoS
终端移动速度/(km·h ⁻¹)	3、30、120

3.2 仿真结果

SCME信道模型和IMT-Advanced信道模型TM9平均下行吞吐量仿真如图2和图3所示。可以看出,在低速(3 km/h)时,高信噪比区间基于非码本TM9的吞吐量明显高于基于码本TM9的吞吐量。这是因为使用波束成形技术的非码本TM9基站根据上行信道冲激响应,计算得到最适合的下行预编码向量,多天线增益高于基于码本TM9。随着运动速度的上升,两种预编码之间的差异变小,在高速(120 km/h)时,SCME NLoS信道下的两种预编码方式的吞吐量基本一致,IMT-Advanced LoS信道下基于非码本TM9的吞吐量甚至会低于基于码本TM9。

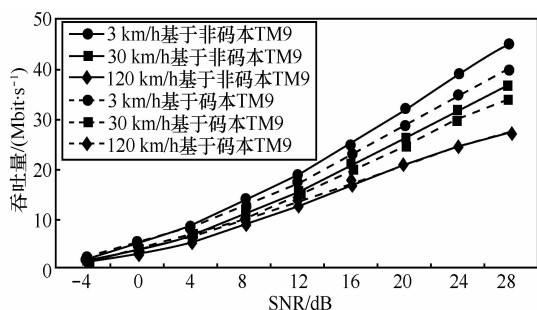


图2 SCME信道模型TM9下行平均吞吐量

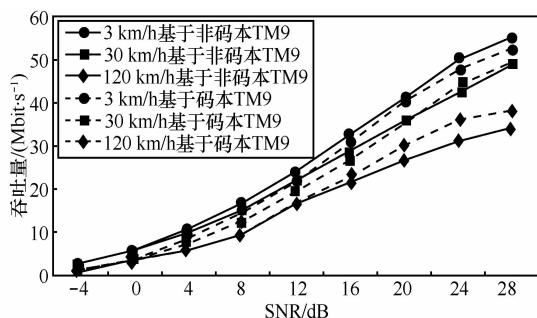


图3 IMT-Advanced信道模型TM9下行平均吞吐量

高速对基于非码本TM9的性能影响较大,速度越快,多普勒效应越大,致使基站上行信道估计与下行传输之间信道冲激响应的变化越显著,所以基于非码本TM9的天线成形方向不准确,下行传输平均吞吐量明显下降。因为IMT-Advanced LoS信道发送端和接收端之间存在直射路径,两种TM9预编码方式的传输性能都高于SCME NLoS信道模型。在低信噪比区间,不同的基于码本TM9和基于非码本TM9都会降低为单流传输,采用空频块码,下行平均吞吐量趋于一致。

4 结束语

首先简要介绍了LTE-Advanced阶段相对LTE阶段的技术增强,回顾LTE下行8种MIMO模式的编码原理和适用场景,选择LTE-Advanced中的关键技术——下行MIMO增强TM9进行了详细研究。搭建了链路级仿真平台,针对TM9两种预编码方式在SCME NLoS和IMT-Advanced LoS两种信道模型下进行了仿真评估,对比分析了不同速度时的TM9下行平均吞吐量。仿真结果表明,TM9在高信噪比区间增益明显,并且因为可以重用TD-SCDMA的8端口天线和射频设备,能够更好地兼容载波聚合、CoMP等新特性,在时分双工LTE-Advanced阶段有十分重要的意义。

参考文献

- 1 Evolution to LTE Report. GSM/3G Market/Technology Update. <http://www.gsacom.com/>, Nov 2012
- 2 <http://www.lte-tdd.org/>, 2013
- 3 The 3rd Generation Partnership Project(3GPP) TS 36.211. Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>, Mar 2011
- 4 The 3rd Generation Partnership Project(3GPP) TS 36.212. Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>, Mar 2011
- 5 The 3rd Generation Partnership Project(3GPP) TS 36.213. Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedure. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>, Mar 2011
- 6 GTI News. 4G TD-LTE licenses officially issued by MIIT. <http://www.lte-tdd.org/news/>, Dec 2013
- 7 The 3rd Generation Partnership Project (3GPP) R1-092848. Dual Layer Beamforming Based on Partial Channel Information. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/wg1_r1/TSGR1_57b/Docs/, Jun 2009
- 8 The 3rd Generation Partnership Project(3GPP) TR 25.996. Spatial Channel Model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) Simulations. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>, Dec 2008

[作者简介]



张翔,男,博士,工业和信息化部电信研究院通信标准研究所工程师,主要研究方向为LTE/LTE-Advanced物理层关键技术。



李文宇,男,博士,工业和信息化部电信研究院通信标准研究所主任工程师、高级工程师,主要研究方向为新一代宽带无线移动通信。

宋丽娜,女,工业和信息化部电信研究院通信标准研究所工程师,主要研究方向为无线芯片基带及射频关键技术。

李星,男,工业和信息化部电信研究院通信标准研究所高级工程师,主要研究方向为无线通信系统侧关键技术。

(收稿日期:2014-02-20)