

基于 LTE-A 的协同多点传输技术的研究

贾双双

(北京邮电大学信息与通信工程学院, 北京 100876)

摘要: LTE-A (LTE 的演进版本) 系统采用正交频分复用技术 (OFDM), 即把高速率数据流分割成一些低数据流, 通过一些正交的载波发送出去。由于载波间的正交性, 小区内的干扰得到有效的削弱, 但是却不能减弱小区间干扰 (ICI)。协同多点传输技术 (CoMP) 是利用分布式天线原理, 通过多个基站协同以减少干扰, 从而增强数据的频谱效率。CoMP 作为 LTE-A 的一项关键技术, 可以有效提高系统的平均吞吐量以及小区边缘用户的性能。虽然 CoMP 会增加系统的复杂性, 但它在提高系统容量和覆盖增益上的优势使得 CoMP 成为一项值得研究的技术。这篇文章对 MU-MIMO 下的协作技术进行了研究, 并给出了一些系统级的仿真结果, 证明了 CoMP 技术在提高系统平均和小区边缘吞吐量的正确性。

关键词: LTE-A; CoMP; 吞吐量

中图分类号: TN91

Coordinated multi-point transmission for LTE-A

Jia Shuangshuang

(BeiJing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

Abstract: The LTE-A system applies the technology of OFDM, which can reduce the intra-cell interference but the inter-cell interference (ICI). The proposed scheme is Coordinated multi-point transmission (CoMP). This method not only reduces the inter-cell interference (ICI), but also increases the cell average and cell edge user throughput. CoMP will increase the complexity of the system, but the advantage of increasing the system capacity and coverage gain makes CoMP be a technology worth considering. This article studies the CoMP technology under MU-MIMO technology, and gives some system-level simulation results, it shows the correctness of CoMP on improving the system average and cell edge throughput.

Keywords: LTE-A; CoMP; throughput

0 引言

随着 3GPP 组织 LTE 标准制定工作的收尾, 焦点进一步转移到 LTE-A (LTE 的演进版本)。LTE-A 在系统容量, 瞬时峰值数据速率, 频谱, 小区边缘用户吞吐量以及时延等诸多方面有了更高的要求。为了实现 LTE-A 所要达到的要求, 作为一种可以提高小区平均吞吐量以及小区边缘用户吞吐量的技术, CoMP (协同多点通信) 应运而生。CoMP 无论是在上行还是在下行, 都可以提高系统性能, 尤其是改善小区边缘频谱效率及性能。虽然 CoMP 增加了系统的复杂性, 但能显著提高容量和覆盖增益, 有效减小小区间干扰。

1 概述

协作多点 (CoMP, Coordinated Multiple Points) 传输技术是指协调的多点发射/接收技术, 这里的多点是指地理上分离的多个天线接入点。它是利用光纤连接的天线站点协同在一起为用户服务, 相邻的几个天线站或节点同时为一个用户服务, 从而提高用户的数据率。CoMP 技术通过移动网络中多节点 (基站、用户、中继节点等) 协作传输, 解决现有移动蜂窝单跳网络中的单小区单站点传输对系统频谱效率的限制, 更好地克服小区间干扰, 提高无

作者简介: 贾双双, 女, 硕士, 研究方向是: 计算机应用技术. E-mail: jiashuangshuang@gmail.com

线频谱传输效率,提高系统的平均和边缘吞吐量,进一步扩大小区的覆盖。eNodeB 之间的 CoMP 技术采用 X2 接口进行有线传输,eNodeB 与 Relay 之间的 CoMP 技术采用空口进行无线传输^[1]。

目前传统网络拓扑结构的主要问题是:基站的交界部存在干扰和覆盖质量下降的问题,导致终端在小区切换部位的性能较差。而 CoMP 可以使几个小区同时对小区结合部进行覆盖,这样就可以提高小区边缘的通信质量。在半分布式通信系统中,采用集中控制的分布式天线,这样的条件下 CoMP 技术较易于实现。在 CoMP 系统中,通过一个 eNodeB,几个传输点相互联系,每个传输点可能包含一个或多个天线元素。通过相同或不同的 eNodeB 的一个或多个传输点,多个用户可以同时得到服务。

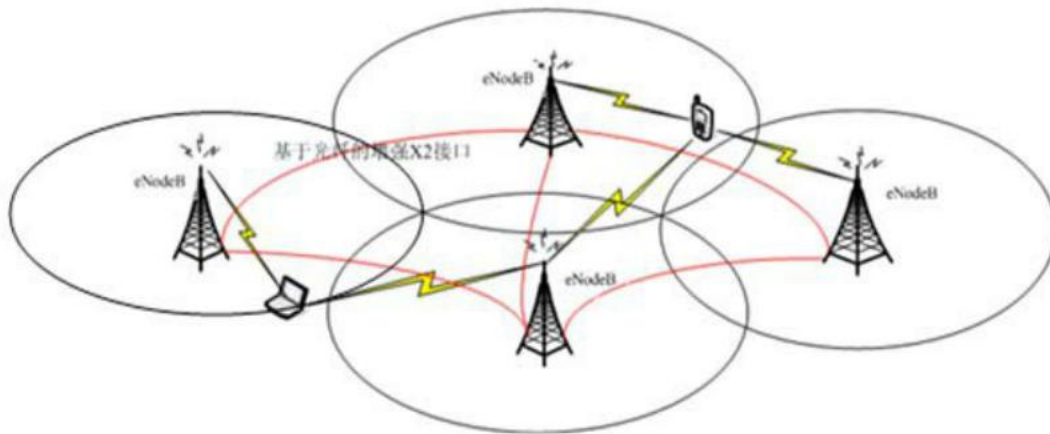


图1 协作多点通信系统示意图

CoMP 的研究分为上行和下行,我的论文主要侧重下行链路方面的研究。

下行 CoMP 中,地理上独立的多个传输点之间采用动态协调。CoMP 的一个重要概念是多个小区合作,来减小小区间干扰,所以应该把研究重点放在小区间合作上面。

天线站点协同在一起为用户服务,相邻的几个天线站或节点同时为一个用户服务,从而在宏分集和空间复用增益的同时提高频谱效率。因此,如何从在地理上分布的站点调度空间、时间和频率资源,来满足小区中心和边缘的高吞吐量和其它的潜在需求,将是 CoMP 中一个重要的议题。

具体来讲,下行 CoMP 按照数据处理方式的不同可分为两类:

(1) 多点联合处理 CoMP (Joint processing/transmission, 简称 JP/JT) 在 JP-CoMP 中,单用户的数据是从多个传输节点同时传输的,多个小区传输相同的信息给目标 UE,进而提高接收信号的质量同时减小对其它用户的干扰。也就是说,一个用户的数据在不同的传输节点共同传输,并且在这些传输点联合预处理。另一方面,在 CoMP-SU-MIMO 模式中,这些传输点服务于一个 UE,在 CoMP-MU-MIMO 模式中,服务于多个 UE。

(2) 多点协调调度 CoMP (Coordinated Scheduling/Beamforming (CS/CB))。在这种模式中,瞬时传输给单个用户的数据是来自单个传输点,同时调度决定是联合操作的。用户的数据由一个基站传送,通过协调调度来控制协作小区间的干扰。也就是,对于一个用户来讲,用户数据并不被多重传输,而信道相关信息是在不同小区间共享的。

JP-CoMP 与 CS/CB-CoMP 的区别如图所示:

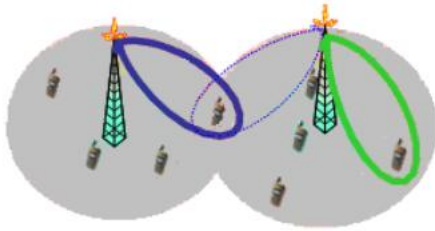


图2 CS-CoMP

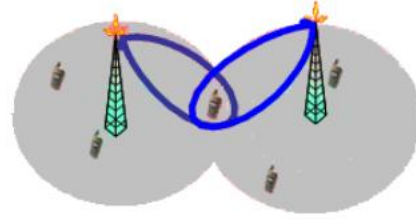


图3 JP-CoMP

2 系统框架

假设每个发送点发送天线个数为有 n_t ，每个 UE 接收天线个数为 n_r 。下行链路中， M 个基站和 M 个用户构成一个虚拟的 $Mn_r \times Mn_t$ MIMO 系统。论文中协作基站和用户的个数为 3。

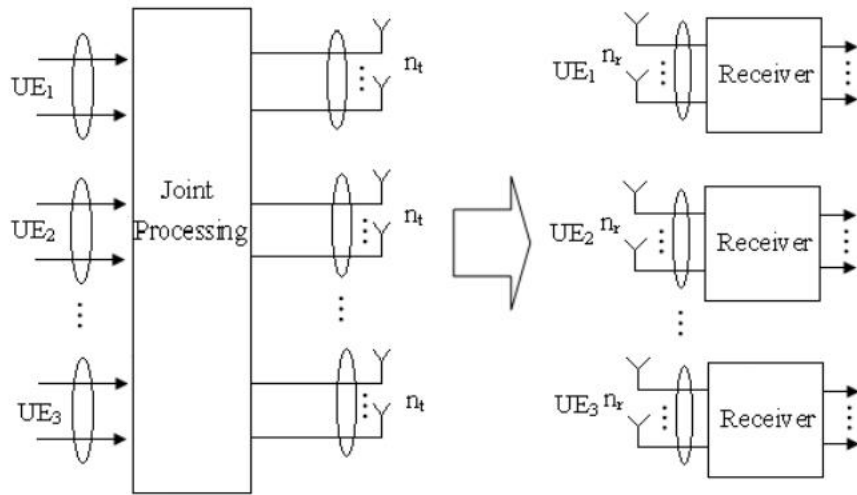


图4 下行多用户 MIMO 系统框图

用

$$H_s[n] = G_s[n]F_s[n]$$

表示第 s , $s \in (0,1,2)$ 个用户在第 n 个载波上的信道矩阵,其中 $G_s[n]$ 是 $n_r \times (Mn_t)$ 维信道增益矩阵, $F_s[n]$ 是 $Mn_t \times Mn_t$ 维对角矩阵, 可以表示为:

$$F_s[n] = \text{diag}\{\sqrt{P_{s,1}[n]}, \sqrt{P_{s,2}[n]}, \dots, \sqrt{P_{s,Mn_t}[n]}\}$$

其中:

$$P_{s,l}[n] = P_{tx_s}[n] \times \text{Pathloss}_{s,l} \times \text{Shadowing}_{s,l} (1 \leq l \leq Mn_t)$$

是 CoMP 中第 s 个 UE 对第 1 个天线的平均接收功率 ($M=3$)。因此, 这个虚拟 MIMO 系统的信道矩阵可表示为:

$$H[n] = \begin{bmatrix} H_1[n] \\ H_2[n] \\ \dots \\ H_M[n] \end{bmatrix}$$

第 s 个 UE 在第 n 个在载波上的数据向量表示为:

$$D_s[n] = [D_{s,1}[n], D_{s,2}[n], \dots, D_{s,i}[n]]^T$$

其中 i 表示层数, 即用户的流数目。第 s 个 UE 的联合预编码矩阵表示为 $P_u[n]$, 则发送向量为:

$$Y[n] = \sum_{s=1}^M P_s[n] D_s[n] = P[n] D[n]$$

其中

$$P[n] = [P_1[n], P_2[n], \dots, P_M[n]]$$

$$D[n] = \begin{bmatrix} D_1[n] \\ D_2[n] \\ \dots \\ D_M[n] \end{bmatrix}$$

因此, 第 s 个用户的接收信号可以表示为:

$$R_s[n] = H_s[n] \sum_{s=1}^M P_s[n] D_s[n] + N[n]$$

$N[n]$ 是一个 $n_r \times 1$ 维的噪声和干扰向量。

3 仿真结果及分析

仿真中采用的是非码本的线性预编码方式, 即预编码矩阵在发射端获得, 发射端利用预测的信道状态信息, 通过对信道矩阵进行奇异值分解 (SVD) 即:

$$H_{rx} = U_u \Sigma_u V_u^H \Rightarrow CSI_u = \sigma_{1u} V_u(:, 1)$$

从而得到预编码矩阵, 这里需要提到的是 ZF(Zero-Forcing Beam-Forming)算法是一种可以有效消除小区内干扰的方法, 本系统中就是采用这种方法消除多用户间干扰的。ZF 算法如下:

$$W_{ZF} = H_{tx}^H (H_{tx} H_{tx}^H)^{-1}$$

W_{ZF} 即为最终的预编码矩阵。实现空间复用, 达到提高用户和系统吞吐量的目的。

3.1 仿真参数

表 1 仿真参数表

参数	值
载频	2.5GHz
带宽	10MHz (600 个子载波, 50 个 PRB)
每个扇区的用户数	10
发送天线数	2
接收天线数	2
UE 速度	3kmph
信道	理想信道
CQI 反馈周期	CQI feedback period
CQI 反馈延迟	CQI feedback delay
链路自适应(26 MCS)	QPSK: 1/5, 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 1/2, 2/3, 3/4 16QAM: 2/5, 9/20, 1/2, 11/20, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 64QAM: 3/5, 5/8, 2/3, 17/24, 3/4, 4/5, 5/6, 7/8, 8/9
链路自适应周期	ITTi=1ms
接收机	MMSE

3.2 仿真结果

系统吞吐量柱状图及分布曲线

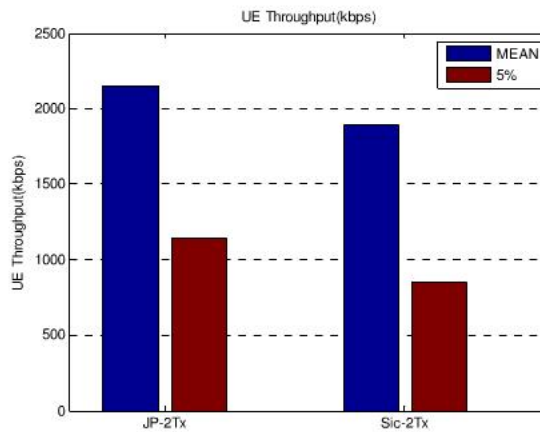


图 6 用户吞吐量柱状图

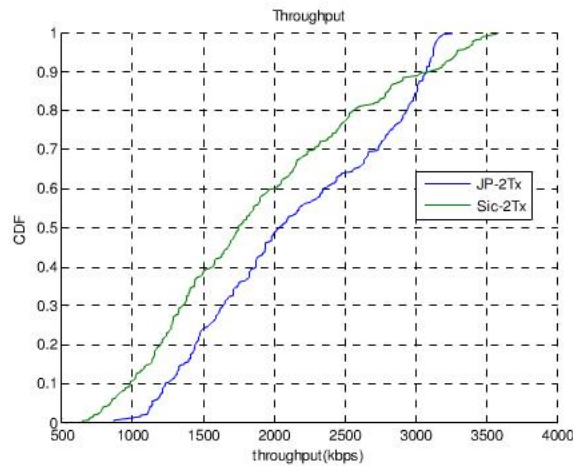


图 7 用户吞吐量分布曲线

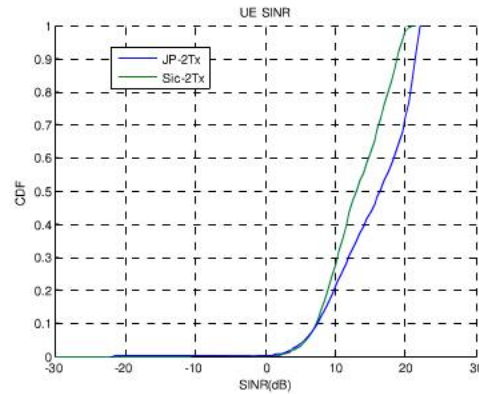


图 8 用户 SINR 曲线

增益统计表如下：

表 2 增益统计表

	Sic	JP-COMP	提高
平均吞吐量	1893kbps	2149kbps	13.8%
边缘用户吞吐量	854kbps	1144kbps	33.9%

5% CDF 指标表征的是系统在 95% 几率下能够提供的最低吞吐量，它能够说明绝大多数用户在绝大多数场景可以保证得到的 稳定用户感受。

从仿真结果可以看出，相对传统非协作模式，CoMP 无论在平均吞吐量还是边缘用户性能方面都有增益。其中，13.8% 的平均性能增益，33.9% 的小区边缘性能增益。由于单小区用户采用了 Rank Adaptation，对于高端性能好的用户可以实用双流传输。所以，用户吞吐量分布曲线上一些高端用户的性能，单小区用户优于 CoMP 用户。对于联合小区的双流传输还有待进一步研究，但这并不影响，我们证明多点协同通信技术能显著提高系统的吞吐量，尤其是对小区边缘低端用户性能的提高。

4 结论

在这篇论文中，通过理论分析及仿真验证，CoMP 能显著提高小区平均及边缘吞吐量，它将是 LTE-A 的一个很好的提高性能的技术。在移动通信产业用户数激增，数据业务比重持续增长及“无处不在”的趋势下，将对下一代移动通信网络提出多重挑战。CoMP 技术可提升 3G 网络及长期演进 (LTE) 无线宽带网络中的数据传输率并保障稳定的服务品质与数据吞吐量。在未来通信的发展中，如果 CoMP 技术能克服困难被有效的利用到实际应用中，这将是通信系统一个巨大的突破。

[参考文献] (References)

[1] 沈嘉. 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
 [2] 3GPP TS 36.211, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation”, 3GPP, www.3gpp.org, 2010.
 [3] 3GPP TR 36.814, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects”, 3GPP, www.3gpp.org, 2010.
 [4] Arogyaswami Paulraj, Rohit naber, Dhananjay Gore. 空时无线通信导论 [M]. 刘威鑫. 北京: 清华大学出版社, 2007.
 [5] 韩小琴. LTE 下行 MIMO 技术的接收算法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009
 [6] Zheng Feng, Wu Muqing and Lu Huixin. Coordinated multi-point transmission and reception for LTE-Advanced [J]. IEEE, 2009.