

浅谈降低小小区部署开销的方法

茹新宇 刘 渊

(江苏联合职业技术学院无锡交通分院 无锡 214151) (江南大学数字媒体学院 无锡 214122)

摘要 当今社会对移动数据的需求已呈爆发式增长,有限的资源容量极大地影响了业务量的拓展与提升。考虑到无线数据发生的不均衡性,增加小小区部署无疑成为了应对业务量增长的有效方法。重点研究了降低小小区中上下行参考信号、控制信令开销的可行途径,并提出一种通过部署小小区提高小区密度的方法。与宏小区部署相比,该方法能有效降低小小区的开销,提升资源使用效率。

关键词 小小区,宏小区,子帧,参考信号,控制信令,用户设备,基站

中图分类号 TP929.5 文献标识码 A

Introduction of Overhead Reduction for Small Cell Deployment

RU Xin-yu LIU Yuan

(Wuxi Transportation College, Jiangsu Union Technical Institute, Wuxi 214151, China)

(School of Digital Media, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract The demand for mobile data in today's society grows explosively, but the limited capacity of the resources severely affects the expansion and improvement of business capacity. Taking the imbalance in the occurrence of wireless data into account, increasing the deployment of small-area cells will undoubtedly become the effective approach. By examining the method to reduce the overhead of the uplink and downlink reference signals and control signaling in small cells, this paper introduced a method to improve cell density by deploying small cells. Compared with the macro-cell deployments, this proposed method can effectively reduce the cost of small cells, and enhance the efficiency of resource usage.

Keywords Small cell, Macro cell, Subframe, Reference signal, Control signaling, UE, eNB

1 引言

随着移动互联网时代的到来,未来十年无线数据业务将近千倍增长^[1-2],加之智能终端越发普及,人们对任何时间、地点都能享受宽带多媒体数据业务的需求尤为强烈。移动数据需求的急速增长迫使通信运营商大规模部署设备,但从业务场景来看,50%的语音业务和70%以上的数据业务都是在室内进行的^[3],未来更多的移动数据业务将发生在热点区域与室内场景中。而目前宏小区室内覆盖性差,体验不足,必将造成用户流失。小小区作为缓解流量压力的低功率节点,体积小、部署灵活,可覆盖室内10m至室外2km的空间范围,实现热点区域的业务分流,同时又可改善室内覆盖深度。

本文研究了降低小小区中上下行参考信号、控制信令的可行性方案,对降低解调参考信号、探测参考信号的开销提出了一系列措施和设想。同时,为降低控制信令,又提出了多子帧调度。本文第2节介绍了小小区的基本概念;第3节重点讨论了降低参考信号开销的途径,提出采用子帧绑定的建议;第4节详细阐述了降低控制信令开销的设想,重点讨论了如何降低下行链路控制信令,并给出了多子帧调度办法。同时,

针对多子帧调度问题,给出了相应的解决办法。另外也谈及了降低上行链路控制信令开销的方法。

2 小小区概述

目前由3GPP制定的LTE已成为全球主流无线移动通信标准,但多数部署在2.4GHz频段的LTE信号经建筑物的穿透损耗后已非常微弱,很难承载高速数据传输业务。利用小小区可扩展覆盖范围、提升系统容量、增加单位面积的吞吐量,以提升用户感知并满足终端使用者需求,保障服务质量和用户体验^[4-5]。在同一接入技术下,通过部署小小区提高小区密度是满足未来移动数据需求的主要手段^[6-7],它可实现对宏小区的有效补充。通过宏微混合布网,依靠宏小区提供广泛覆盖,利用小小区增加热点地区的系统容量,以及进行盲区的补充覆盖^[8-9],已成为新的研究热点。

与宏小区相比,小小区呈现出一些不同特征。由于其时延扩展小、相干带宽大,导致参考信号在其频域中冗余,这一特性为其降低频域开销提供了自由度。并且多数连接到小小区的用户设备(UE)的速度相对较低(室内0~3km/h,户外30km/h以下),致使其信道相干时间要大于宏小区,这又为小

本文受国家自然科学基金(61602213),江苏省自然科学基金(BK20151131)资助。

茹新宇(1977-),男,硕士生,讲师,主要研究方向为通信安全、拥塞控制及网络安全, E-mail: ruxinyu21@163.com; 刘 渊(1967-),男,教授,博士生导师,CCF会员,主要研究方向为无线通信管理、网络测量及信息安全。

小区在时域中进一步降低开销提供了额外的自由度。随着部署越发密集,站间距越小,控制信道开销占用的时频资源以及参考信号引入的干扰不断增大,由此导致的资源浪费和系统性能降低也越发明显^[10]。本文提出了一种通过降低小小区在时频域中的部署开销来提升资源使用率的方法^[11]。

小小区产品形态灵活,可分为家用 Femtocell ($2 \times 50\text{mW}$)、室内 Picocell ($2 \times 125\text{mW}$,企业级室内覆盖)、室外 Picocell ($2 \times 1\text{W}$,室外吸热)和 Microcell ($2 \times 5\text{W}$,室外补盲)4种,这些都由运营商统一管理^[12],其覆盖示意图如图 1 所示。

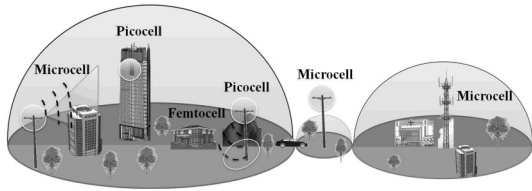


图 1 小小区产品覆盖示意图

3 降低解调参考信号开销

在小小区部署环境下,低速运动用户降低了信道的时频选择性要求,可进一步简化参考信号设计方案。由于上下行链路间的多址接入和信道结构的差异,本文将分别讨论上下行链路中降低解调参考信号(DM-RS)开销的可能解决方案。据文献^[13],对于下行用户特定参考信号,5dB 以上的传输环境可使频谱效率提高 0.9%~3.9%。频谱效率的增益与绑定物理资源块(PRB)的数量、调制模式、发送数据层数及收发机 EVM 要求等参数有关。对于上行用户特定参考信号减少至 1 个符号/PRB 对/子帧,信噪比在 3dB 以上,频谱效率提高约 7%。

3.1 下行解调参考信号

在 LTE 系统中,物理下行链路包含增强型物理下行控制信道(ePDCCH)和物理下行共享信道(PDSCH),DM-RS 主要用于 PDSCH 和 ePDCCH 解码。由于 ePDCCH 携带有 UE 专用的上下行资源分配调度信息、上行功率控制、上行调度许可以及公共控制信息等控制信息,故其可靠性需保持在较高水平上。因此对 ePDCCH 的 DM-RS 开销应谨慎减少。而对于 PDSCH,由文献^[14]可知,DM-RS 端口 7 和 8 的密度为 12REs/PRB 对/子帧。基于小小区的信道特性,在频域中 DM-RS 的密度可减少至 8REs/PRB 对/子帧。而且如果在 PDSCH 性能只受到轻微影响的前提下,DM-RS 的密度甚至可压缩至 4REs/PRB 对/子帧。

图 2 示出降低 DM-RS 频域密度的示例。

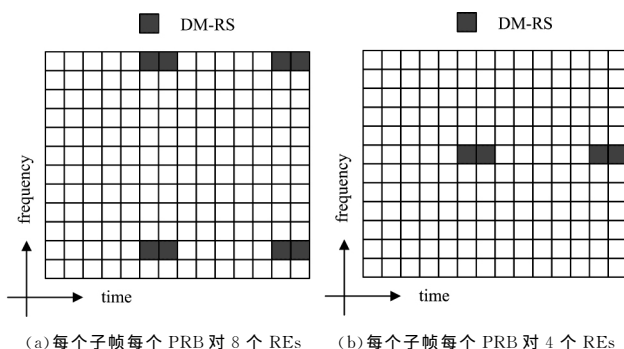


图 2 频域降低 DM-RS 开销的示例

当 DM-RS 的密度降至 8REs/PRB 对/子帧时,DM-RS 开销可减少 30%,相应的频谱效率则提升约 3.7%。而当 DM-RS 的密度降至 4REs/PRB 对/子帧时,DM-RS 开销可减少 30%,相应的频谱效率可提升约 7.4%。

LTE 系统分组调度模块包括频域调度和时域调度两个模块。基站(eNB)依据 UE 反馈的信道质量指示(CQI),采用相应的调度算法给 UE 分配时频资源。其中频域调度是从频域角度分配给被调度的 UE 一定的频域资源块,而时域调度则是在一个调度周期(TTI)上选择应该被调度的 UE。系统的基本调度单位是 PRB,其数目由系统带宽和子载波数量决定。在一个 TTI 内,按相应调度算法,首先选择待传数据的用户,然后分配给用户一定的 PRB。图 3 显示了将两个 PRB 绑定,共用一套 DM-RS 的样式。在该示例中,DM-RS 的密度可降至原来的 50%,频谱效率提升约 5.6%。但从某种意义上讲,采用 PRB 绑定的方式限制了调度的灵活性。例如,其要求两个连续的 PRB 必须被同时分配给一个 UE 使用。

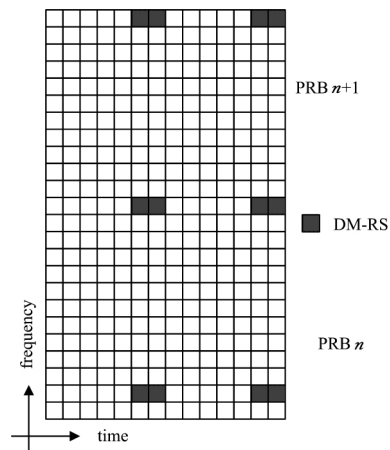


图 3 采用 PRB 绑定方式的 DM-RS 样式示例

在频域中使用的原理可以类似地扩展应用于时域中,DM-RS 的密度同样也可在时域中降低。图 4 给出了两个子帧采用绑定方式,共用一套 DM-RS 样式来降低部署开销的示例,DM-RS 的密度可降至原来的 50%,频谱效率提升约 5.6%。由于采用了多子帧绑定方式,其调度灵活性在某种程度上受到限制,例如其要求两个相邻子帧要分配给同一 UE。同时也应考虑子帧绑定对不同 TDD 上下行子帧配置的影响,例如 HARQ 的时序等,这都是后续要解决的问题。

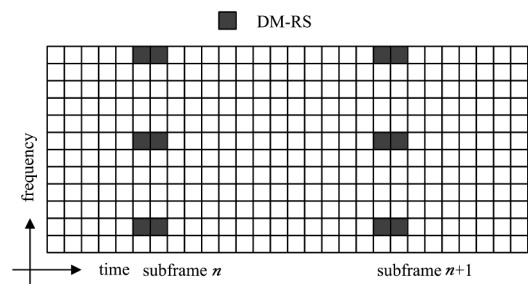


图 4 下行 DM-RS 采用子帧绑定的示例

3.2 上行解调参考信号

对于上行链路,DM-RS 可同时用于物理上行控制信道(PUCCH)及物理上行共享信道(PUSCH)解码。由于 PUCCH 携带 SR, ACK/NACK, RI/PMI/CQI 等 UCI 信息,其可靠性应保持较高水平,因此对 PUCCH 的 DM-RS 开销

的减少暂不涉及,后期做深入研究。而对于 PUSCH,在现行规范中,DM-RS 在一个子帧中占用两个 SC-FDMA 符号,在每一个时隙中占用一个 SC-FDMA 符号。考虑到在相对较大的相干时间条件下,DM-RS 在一个子帧中占用的符号可减少至一个,DM-RS 的开销减少 50%,相应的频谱效率则提升约 7.1%,如图 5(a)所示。与下行链路相似,上行链路采用子帧绑定的方式也可进一步降低 DM-RS 在时域中的开销,如图 5(b)所示。

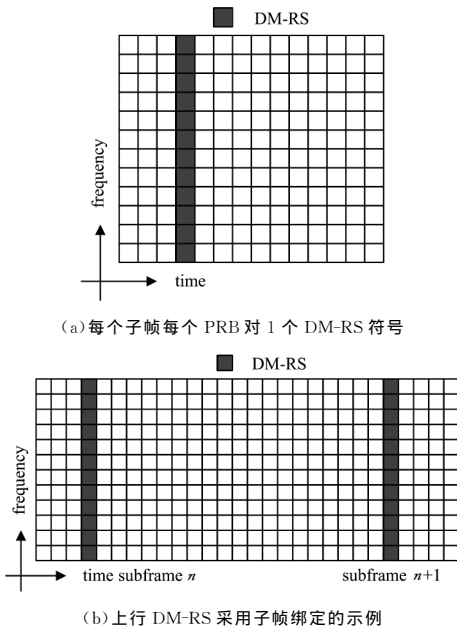


图 5 时域降低 DM-RS 开销的示例

为保持单载波特性,采用 PRB 绑定的方式降低 DM-RS 的方式其实并不适用于上行链路。但是如果“利大于弊”,能明显看到好处,如上行信道质量测量(SRS)的梳状结构可应用于 DM-RS,降低其频域开销。在目前的规范中,对于相同的 SRS 带宽,SRS 的子载波均具有一定的间隔。也就是说,SRS 的传输采用了梳状结构,并且频率梳的数量为两个。如图 6 所示,4 个 SRS 梳状传输需要 2 个符号,例如在一个子帧中,则需要一个符号。考虑到信道平坦的特点,一个 SRS 信号的 SRS REs 之间的间隔可增大,这意味着频率梳的数量可大于 2。

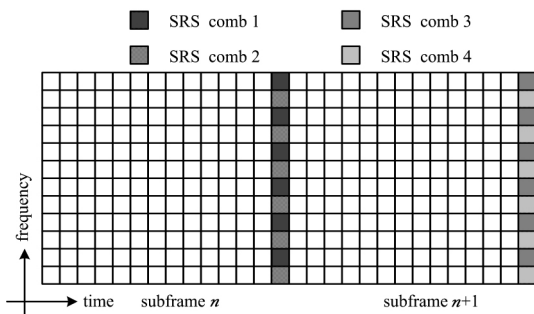


图 6 目前规范中定义的 SRS

图 7 示出了一个 SRS 信号的 SRS REs 之间间隔增大的示例。在该例中,SRS 的子载波被设置成具有 4 个子载波的间隔,SRS 开销可减少 50%,频谱效率提升约 3.6%。在一个 SRS 信号中,随着 SRS REs 间间隔的增加,对于 4 个 SRS 梳状传输,一个符号就足够了,其他信号可用于数据传输。而对

于新引进的 SRS 模式(如 SRS 序列等)应充分考虑其对于规范的影响,并加以修正和兼容。

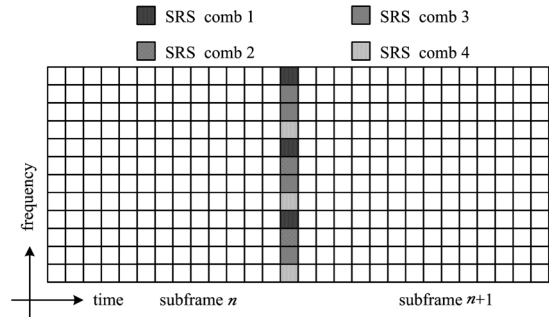


图 7 SRS 频率梳为 4 的示例

4 降低控制信令的开销

4.1 下行控制信令

在现行规范中,物理下行控制信道(PDCCH)和增强型物理下行控制信道(ePDCCH)是用于数据传输的控制信令^[15]。随着小区内用户数量的增长以及 MIMO 技术的引入,控制信令的开销不断增加,导致用于物理下行共享信道(PDSCH)传输的资源逐渐减少,从而降低了其频谱效率。对于具有较大相干时间的小小区,多个子帧可通过一个 PDCCH 进行调度。借此可明显减少下行链路控制信令数量,从而提高频谱利用率。一个正常子帧的 PDCCH 可配置成占有前 1,2 或 3 个 OFDM 符号。除了 PCFICH 与 PHICH 外,能够用来传输 PDCCH 所使用的 REGs/CCEs 的可用资源是非常有限的,尤其是针对 MU-MIMO,其狭小容量将影响它调度的灵敏性。而引入 ePDCCH 的一个重要原因就是它可扩大下行控制信令的容量,此外它还可带来波束赋形增益、干扰规避等多重好处。图 8 示出了多子帧调度的示例,这里一个 PDCCH 可同时调度两个子帧,此时,PDCCH 的开销可减少 50%,频谱效率提升约 8%。同样的原理也可很容易地扩展到 ePDCCH 上。而对于多子帧调度功能,由于实现算法的差异性较大,暂无法分析调度信息开销的降低与实际系统增益的对应关系。

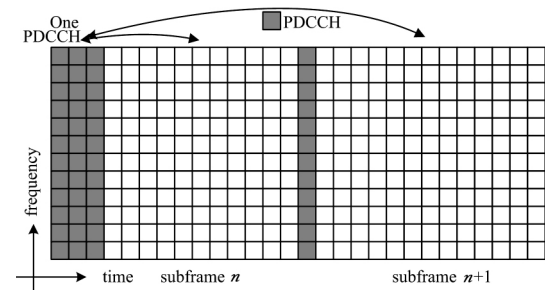


图 8 多子帧调度示例

4.2 多子帧调度与重传

考虑到小小区的信道特性,可采用多子帧调度,相邻子帧使用相同的调制与编码策略(MCS)和资源。除了包含 MCS 和资源分配指标外,PDCCH 也携带其他信息,如 HARQ 进程 ID、TPC、RV、SRS 指令、跳频标示和 CSI 请求等。为支持多子帧调度,需要对 PDCCH 重新设计,使 PDSCH/PUSCH 只能在第一帧携带 PDCCH。而对于其他子帧,则没有相应的 PDCCH 用于 PDSCH/PUSCH 中。因此,如何解释或说明上述这些信息,还需要在后期对没有相应 PDCCH 的 PD-

SCH/PUSCH 进行研究和探讨。此外若引入新的 PDCCH, 则还需要考虑 PDCCH 盲解码的最大数量的问题。

对于多子帧调度, 一个 PDCCH 可调度多个子帧。可被系统调度的 UE 有两类, 分别是重传 UE 和新 UE。对于重传 UE, 其调度优先级要高于首次传输数据的新 UE, 但分配的 PRB 数与上次一致。若有 PDSCH/PUSCH 的一些子帧没被成功解码需要重传, 考虑到资源的有效利用, 没必要对由一个 PDCCH 调度的所有 PDSCH / PUSCH 子帧进行重传, 可采用单子帧传输的方式进行重传。

4.3 ACK/NACK 反馈及多单子帧调度并存

在现行的 LTE 规范中, 用于单子帧调度 SSS PDSCH 的 ACK/NACK 资源可为每个 PDSCH 报告 ACK/NACK, 通过相应 PDCCH 的第一 CCE 索引确定, 或通过相应 ePDCCH 的第一个 ECCE 索引和 DM-RS 序列的循环移位来确定。对于多子帧调度, 在相同的子帧内, 存在不具有 PDCCH 或 ePDCCH 的 PDSCH。如果根据常见的 PDCCH, 所有的多子帧确定 ACK/NACK 资源, 则可能导致用于不带有 (e)PDCCH 的 MSS PDSCH 的 ACK/NACK 资源与用于 SSS PDSCH 或 MSS PDSCH 的 UE 的 ACK/NACK 资源之间发生冲突, 在后期设计实现时应给予足够重视。

对于上行链路 (UL) PUSCH, 由于 ACK/NACK 信息资源由 PUSCH 确定, 其不会发生下行链路 (DL) 传输可能出现的问题。而对于用于 UL 的多子帧调度的 ACK/NACK 信息, PHICH 可重复使用。如果在 NCT 中, PHICH 被遗弃, PUSCH 的重新传输可通过 UL 授权进行标示。

对于多子帧调度, 在 PDCCH 确认时间内, UE 仍可能收到不针对多子帧调度的 PDCCH, 如通过单子帧调度的重传、寻呼以及系统信息。那么, UE 该如何处理单子帧和多子帧调度并存的情况? 这里采用在 MSS PDCCH 的确认时间内, 若 UE 测到 SSS PDCCH, 则将继续检测由 SSS PDCCH 指示的 PDSCH/PUSCH, 并假设没有 MSS PDSCH/PUSCH 传输, 这意味着单子帧调度可以改写多子帧调度。

4.4 上行控制信令

上行控制信令包括 SR、ACK/NACK 以及 RI/PMI/CQI。对于 SR 和 ACK/NACK, 在对其性能没有任何影响的条件下, 减少开销并不合适。而对于具有较大相干时间和带宽的小小区部署, RI/PMI/CQI 报告的粒度并不需要像在宏小区中要求得那么精细。现行规范可同时支持 PUCCH 和 PUSCH 中的多 CSI 报告模式。eNB 可配置 UE 工作在频域粒度较粗的 CSI 报告模式, 例如宽带 CQI。在对规格没有任何影响的情况下, 也可配置 UE 时域较长的报告周期。

结束语 部署小小区是满足未来移动数据需求剧增的主要技术手段之一。它可在传统宏小区覆盖的基础上灵活布置、热点分流以及弱覆盖补盲, 有效解决城市热点、盲区以及孤岛覆盖等场景问题, 使运营商以低代价换取高质量服务。由于小小区的信道相干时间较长, 为其在时域和频域降低开销提供了空间。但当前规范主要为宏小区设计, 这意味着目前的参考信号等在小小小区中并不十分有效。为此, 本文重点

考虑了小小区的传播环境和信道特性, 通过研究降低小小小区中上下行参考信号、控制信令的方法, 提出了一种新的设想和解决方案。为了降低下行链路控制信令, 可采用多子帧调度。同时, 针对多子帧调度中出现的问题, 也提出了相应的解决方案。本文寄希望于通过更加密集的小小区部署, 获得更高的频率复用效率, 在局部热点区域实现百倍数量级的系统容量提升。

参考文献

- [1] 黄韬, 刘江, 霍如, 等. 未来网络体系架构研究综述[J]. 通信学报, 2014, 35(8): 184-197.
- [2] SID M, DOLA S, DIP R. Poster: Cross-Layer MAC/PHY Protocol to Support IoT Traffic in 5G [C]// International Conference on Mobile Computing and NETWORKING. ACM, 2016: 467-468.
- [3] 孙平强. VoLTE 业务的性能分析及优化研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [4] 丰雷, 李文璟, 邱雪松. 面向无线网络容量和覆盖优化的分组调度算法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(9): 2131-2137.
- [5] ENGELS A, REYER M, XU X, et al. Autonomous selfoptimization of coverage and capacity in LTE cellular networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(5): 1989-2004.
- [6] HWANG I, SONG B, SOLIMAN S. A Holistic View on Hyper-Dense Heterogeneous and Small Cell Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(6): 11-19.
- [7] BHUSHAN N. Network Densification: The Dominant Theme for Wireless Evolution into 5G[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 82-89.
- [8] BLANKENSHIP Y W. Achieving high capacity with small cells in LTE-A[C]// 2012 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing. IEEE, 2012: 1680-1687.
- [9] 鲁义轩. LTE 布网加快提升 Small cell 应用规模补盲补热成首选[J]. 通信世界, 2012(27): 27.
- [10] HOYMAN C, LARSSON D, KOORAPATY H, et al. A Lean Carrier for LTE. [J]. Communications Magazine, IEEE, 2013, 51(2): 74-80.
- [11] NGUYEN D H, ANTON P, HARRI S. Enabling synchronous directional channel access on SDRs for spectrum sharing applications [C]// Tenth ACM International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation, and Characterization. ACM, 2016: 57-64.
- [12] 张永健, 邹开璞, 马欣. 基于分组技术的 Small Cell 回程承载方案(中兴通讯)[EB/OL]. [2015-12-11]. http://www.zte.com.cn/cndata/magazine/zte_technologies/2015/2015_12/magazine/201512/t20151211_446662.html.
- [13] 曹亘, 范斌, 贾川, 等. Small Cell 标准化研究进展及长期演进策略[J]. 邮电设计技术, 2015, 9: 1-5.
- [14] 陈铭坤. LTE-Advanced 系统中 Small Cell 干扰协调及其关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [15] 孙波. 云计算无线接入网下的物理下行控制信道增强[J]. 西安邮电大学学报, 2014, 19(5): 71-76.