



基于 5G 无线接入和无线回程一体化的增强技术研究

毕峰^{1,2}

(1. 中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057;
2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 随着通信业务需求日益增长, 在构建 5G 网络时需要重点考虑网络覆盖范围、频谱效率以及运营商的部署运营成本等因素, 网络中引入的中继节点可以解决这些问题。但中继节点存在收发自干扰, 时分复用虽然可以避免自干扰, 但将增加端到端业务时延。为了更好地解决这些问题, 重点从无线接入和无线回程之间的资源复用方式、节点定时、保护频带、性能仿真验证方面进行了一体化增强技术研究。提出的一体化增强技术方案既避免了中继节点自干扰, 也保证了业务时延需求和用户感知吞吐量。

关键词: 中继; 自干扰; 集中单元; 分布单元; 移动终端; 一体化

中图分类号: TN925

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022064

Research on the enhancement technology based on the 5G wireless access and wireless backhaul integration

BI Feng^{1,2}

1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China
2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518055, China

Abstract: With the increasing requirements for communication services, it is necessary to focus on the factors such as the network coverage, the spectrum efficiency and the deployment and operation cost of operators when building 5G networks. The relay node introduced into the network can solve these problems. However, the relay node has self-interference. Although time-division multiplexing can avoid self-interference, it will increase the end-to-end service delay. In order to better solve these problems, the integrated enhancement technology researches were focused on the aspects of the resource multiplexing mode, the node timing, the guard band and the performance simulation verification between the wireless access and the wireless backhaul. The proposed integrated enhancement technology schemes not only avoid the self-interference of relay node, but also ensure the requirement for the service delay and user perceived throughput.

Key words: relay, self-interference, centralized unit, distributed unit, mobile termination, integration

0 引言

随着宽带无线移动通信技术的发展, 人们对

无线移动通信提出越来越高的要求, 这就需要采用有效的技术手段来扩大网络覆盖, 提高频谱效率和系统在各种环境中的鲁棒性。在常规的无线



移动通信中,典型的收发端包括基站和用户设备,基站和用户设备之间的链路被称为无线接入链路,针对上述扩大网络覆盖、提高频谱效率等需求,技术演进和研究大多集中在无线接入链路。然而,基站的选址是运营商结合了地形地貌、周围环境、光缆铺设等因素决定的,另一方面,现在的无线移动通信网络越来越趋于密集型网络,这严重影响了运营商的资本投入和运营成本,运营商不能不计成本地增加基站的数量。第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partner Project, 3GPP)提出在基站和用户设备之间引入中继节点,中继节点和用户设备(user equipment, UE)之间的链路被称为无线接入链路(access link, AL),基站和中继节点之间的链路被称为无线回程链路(backhaul link, BL)。通过引入中继节点,预期目标可以增强拓扑管理、提供路径选择/冗余链接、提高频谱效率。密集型网络导致 BL 也会存在非视距传输,AL 与 BL 使用的频率更加接近,即无论从无线环境还是频率资源来看,AL 和 BL 的特点越来越相似。因此,如何高效地一体化设计 AL 和 BL 成为重点。本文主要集中在 AL 和 BL 之间的资源复用方式、节点定时关系、保护频带和性能仿真验证。

1 一体化设计

在第 5 代新空口(5th generation new radio, 5G NR)系统中,中继节点被称为无线接入和无线回程一体化节点(integrated access and backhaul-node, IAB-node 或记为 IAB),引入 IAB 的一个关键优点是能够灵活且密集地部署 NR 小区^[1-3],支持室外部署、室内部署,甚至支持移动中继(如在公共汽车或火车上安装中继节点)。回程链路包括带内和带外回程,带内回程指 AL 和 BL 存在频率资源重叠从而产生半双工限制或收发自干扰,这意味着 IAB 在两条链路上不能同时进行发射和接收处理,但是带外回程没有这样的限制。所以,

在半双工限制下,研究无线接入和无线回程之间更紧密互通的带内回程解决方案至关重要。节点实体和链路示意图如图 1 所示,典型的 IAB 包括两个逻辑节点:移动终端(mobile termination, MT 或记为 IAB-MT)和分布单元(distributed unit, DU 或记为 IAB-DU)。其中,MT 是 IAB 执行下行接收和上行发射的逻辑节点,DU 是 IAB 执行下行发射和上行接收的逻辑节点,DU 受逻辑节点集中单元(centralized unit, CU)控制^[4-6]。为了便于叙述,定义下行接入(downlink access, DA)表示下行 AL,下行回程(downlink backhaul, DB)表示下行 BL,上行接入(uplink access, UA)表示上行 AL,上行回程(uplink backhaul, UB)表示上行 BL。

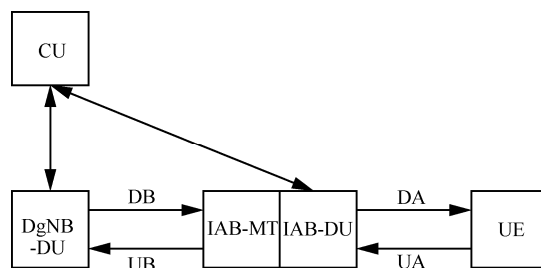


图 1 节点实体和链路示意图

对于带内回程场景,受限于半双工限制,现有 AL 和 BL 之间的资源复用方式采用时分复用(time-division multiplexing, TDM),以避免 IAB 收发自干扰问题^[7]。为了更加合理地协调 AL 和 BL 的资源,CU 负责两路链路的资源配置^[8]。由 CU 统一配置 IAB-DU 资源,配置的资源类型包括 hard、soft、non-applicable。其中,hard 表示 IAB-DU 在该资源上可执行传输,soft 表示 IAB-DU 根据施主基站(donor gNB, DgNB)指示是否允许在该资源上可执行传输,non-applicable 表示 IAB-DU 在该资源上不可执行传输。为了减少节点间相互干扰,全网同步成为优先级较高的需求,即需要保持 DgNB 和 IAB 之间下行发射定时对齐^[9-10]。

1.1 资源复用方式

现有 AL 和 BL 之间的资源复用方式指 DA 和 DB、UA 和 UB 之间的资源复用方式是 TDM, 虽然采用 TDM 避免了 IAB 收发自干扰, 但 TDM 将增加端到端业务时延。所以有必要针对 AL 和 BL 之间的资源复用方式进行进一步研究, 以达到既避免 IAB 收发自干扰、又不增加端到端业务时延的目的。一种直接的方式是 DA 和 DB、UA 和 UB 之间的资源复用方式采用频分复用 (frequency-division multiplexing, FDM) 或空分复用 (spatial-division multiplexing, SDM), 把这种 FDM、SDM 称为常规的频分复用 (conventional FDM, cFDM)、常规的空分复用 (conventional SDM, cSDM), 但是采用 cFDM 或 cSDM 将产生严重的干扰。例如, 假设采用 cFDM, 在 IAB 侧存在未经过空口衰落的 DA 下行发射信号对经过空口衰落的 DB 下行接收信号的边带泄露干扰, 或在 IAB 侧存在未经过空口衰落的 UB 上行发射信号对经过空口衰落的 UA 上行接收信号的边带泄露干扰; 假设采用 cSDM, 在 IAB 侧存在未经过空口衰落的 DA 下行发射波束对经过空口衰落的 DB 下行接收波束的旁瓣泄露干扰, 或在 IAB 侧存在未经过空口衰落的 UB 上行发射波束对经过空口衰落的 UA 上行接收波束的旁瓣泄露干扰。因为未经过空口衰落的信号或波束具有极高的功率, 然而经过空口衰落的信号或波束具有较低的功率, 后者将受到前者严重的泄露干扰, 本质上这种泄露干扰属于收发自干扰^[11-12]。

为了解决上述泄露干扰问题, 本文把资源复用重点转移到 DA 和 UB、UA 和 DB 之间, 即在 DA 和 UB、UA 和 DB 之间采用 FDM 或 SDM, 把这种 FDM、SDM 称为增强的频分复用 (enhancement FDM, eFDM)、增强的空分复用 (enhancement SDM, eSDM)。可以看出, 在 IAB 侧 DA 和 UB 为同时发射 (simultaneous transmission, STx) 状态, 所以不存在干扰问题; 在 IAB

侧 UA 和 DB 为同时接收 (simultaneous reception, SRx) 状态, 但此时的接收信号均是经过空口衰落的接收信号, 接收功率差异不大。所以, 采用 eFDM 时, UA 和 DB 之间的边带泄露干扰不严重, 采用 eSDM 时, 基于波束管理, 则不存在旁瓣泄露干扰。接下来将针对 eFDM/eSDM 共性问题 (如节点定时关系)、eFDM 特有 (如保护频带)、TDM/eFDM/eSDM 性能仿真进行介绍。

1.2 节点定时关系

对于 STx, 如果 IAB 上行发射定时与 IAB 下行发射定时没有对齐, 即正交频分复用 (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM) 符号没有对齐, 则将产生符号间干扰 (inter symbol interference, ISI) 和子载波间干扰 (inter carrier interference, ICI), 所以必须对上述两种发射定时做定时对齐处理, 定时对齐示意图如图 2 所示, 相应地, DgNB 上行接收定时随着 IAB 上行发射定时向右调整。

对于 SRx, 如果 IAB 上行接收定时与 IAB 下行接收定时没有对齐, 即 OFDM 符号没有对齐, 则将产生 ISI 和 ICI, 所以必须采用如图 2 所示对上述两种接收定时做定时对齐处理, 相应地, UE 上行发射定时随着 IAB 上行接收定时向右调整。

1.3 保护频带

NR 的基带调制方式仍然为 OFDM 调制, 所以必须保持子载波正交性, 虽然带内回程的 AL 和 BL 共用重叠的频率资源, 但这并不意味着 AL 和 BL 必须使用相同的子载波间隔 (subcarrier spacing, SCS)。为满足 AL 和 BL 的不同业务调度需求, AL 和 BL 将具有不同帧结构形式, 而帧结构的设计非常依赖 SCS 的选择, 所以需要考虑 AL 和 BL 具有不同 SCS 的情况, 这里分别称为 SCS_AL 和 SCS_BL。但在同一个 OFDM 符号内同时具有 SCS_AL 和 SCS_BL, 这将在 SCS_AL 和 SCS_BL 邻近的频率资源之间产生不同子载波间隔的共存干扰。值得注意的是, 共存干扰和常规的 ICI 有本

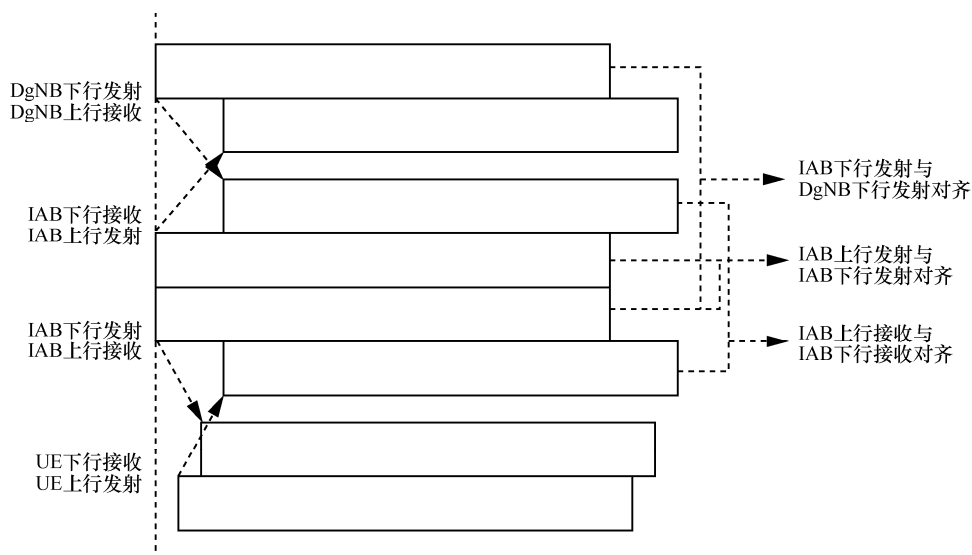
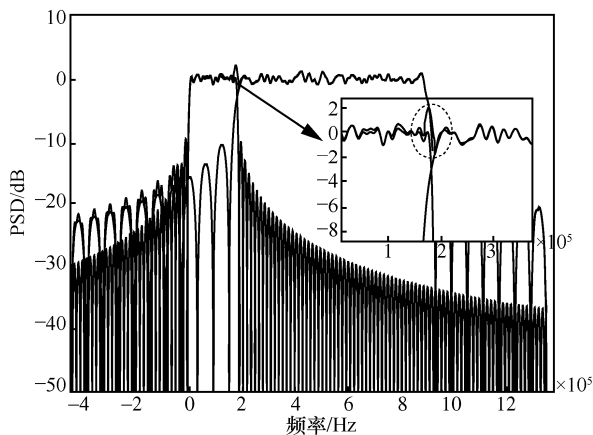


图2 定时对齐示意图

质区别, ICI 主要是子载波正交性遭到破坏, 所以使用克服 ICI 的方法无法解决共存干扰^[13-15]。

本文针对功率谱密度 (power spectral density, PSD) 研究 SCS 共存干扰。不同子载波间隔的共存干扰如图3所示, 15 kHz 和 60 kHz 共存时, 60 kHz 对 15 kHz 产生更严重的共存干扰。



注: 以横坐标180 kHz 为参考, 其右侧 (right) 总的功率谱密度 (total PSD) 与60 kHz SCS的功率谱密度几乎重叠, 说明15 kHz SCS 对60 kHz SCS 产生较小的共存干扰, 其左侧 (left) 总的功率谱密度与15 kHz SCS 的功率谱密度存在差异, 尤其是邻近位置有更高的总的功率谱密度, 说明60 kHz SCS 对15 kHz SCS 产生更严重的共存干扰, 其中总的功率谱密度表示两者功率谱密度的叠加。

图3 不同子载波间隔的共存干扰

从图3 PSD 结果来看, 共存干扰的程度和子载波间隔之间的大小差异有密切关系, 并且观察

到受干扰的子载波位置仅位于邻近的若干个子载波, 这样的现象对设计降低共存干扰的方案提供了有力的依据。在 NR 系统中业务调度的最小单位是资源块 (resource block, RB), 每个资源块包含 12 个子载波。也就是说, 为克服共存干扰需要将整个 RB 作为保护频带, 例如邻近 RB 不调度业务数据, 但是当子载波间隔较大时, RB 所占的频带较宽, 整个 RB 作为保护频带将会浪费较多的频率资源^[16]。因此, 提出一种改进的方案: 一方面使用较小子载波间隔对应的频带资源作为保护频带, 一方面使用更小的颗粒度自适应地调整若干个子载波作为保护频带, 以此保证频谱效率。具体地, SCS_AL 为 15 kHz, 对应 1 个 RB_AL 带宽为 180 kHz; SCS_BL 为 60 kHz, 对应 1 个 RB_BL 带宽为 720 kHz, 采用 RB_AL 作为保护频带可降低 75% 的保护频带, 采用 6 个子载波间隔为 SCS_AL 的子载波作为保护频带可降低 87.5% 的保护频带。

2 性能仿真与分析

如前所述, 尽管 eFDM、eSDM 方式可以减少端到端业务时延, 但也要通过仿真验证 eFDM、eSDM 相对于 TDM 的性能是否存在较大差异, 本文仿真假设见表 1^[17-20]。

表 1 仿真假设

IAB 数目	3/扇区
UE 数目	10/扇区
复用方式	TDM、eFDM、eSDM
资源分配	Full DL: DDDDD DDDDD TDM: DDDDU DDDDU eFDM: STx/SRx eSDM: STx/SRx
业务模型	FTP 包大小: 4 MB

为了便于对比用户感知吞吐量 (user perceived throughput, UPT), 以如图 4 所示的不同复用方式的下行 UPT 性能曲线为基准, 把 90% UPT 统计在表 2 中, 不同复用方式的下行 UPT 性能对比见表 2, 并以实例 1 全下行 (full downlink, Full DL) 资源的性能作为基线。可以看出实例 2 在下行资源与上行资源比例调整为 8:2 条件下, 实例 2 UPT 降低为实例 1 UPT 的 80% 左右, 符合仿真预期, 验证了仿真平台准确性。实例 3 UPT 比实例 2 UPT 有所下降, 这是因为 eFDM 自适应地把部分频率资源调整为上行传输。实例 4 UPT 比实例 3 UPT 有明显上升是因为空域的资源复用增益, 但由于存在同时同频传输时的波束间干扰, 所以实例 4 UPT 相对实例 2 UPT 有少量上升。总体来看, 在保持 UPT 没有严重下降的情况下, eFDM、eSDM 可以作为一种 AL 和 BL 资源复用方案, 并且由于 eFDM、eSDM 可以执行同发/同收操作, 相比于 TDM 而言降低了端到端业务时延。

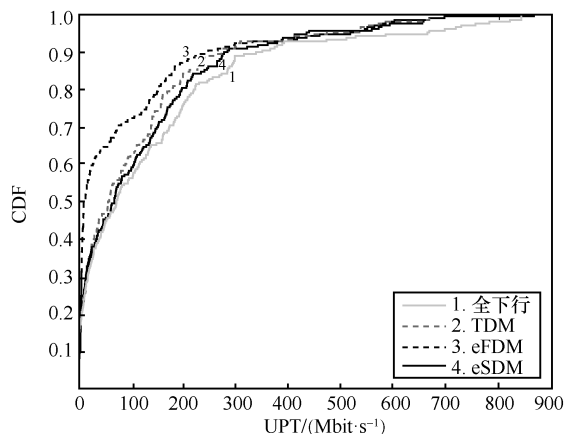


图 4 不同复用方式的下行 UPT 性能曲线

表 2 不同复用方式的下行 UPT 性能对比

仿真实例	90% UPT/ (Mbit·s ⁻¹)
全下行	336.7
TDM	271.1
eFDM	246.2
eSDM	275.9

3 结束语

本文首先分析了无线接入和无线回程一体化设计需求, 识别出 TDM 可以避免自干扰、但增加了业务时延这一问题, 并详细研究了一系列增强技术方案, 如自适应地调整邻近频率资源的保护频带以降低不同子载波间隔引起的共存干扰, 如 eFDM、eSDM, 以达到既避免 IAB 收发自干扰、又降低端到端业务时延的目的。从标准演进角度看, 一体化增强技术研究需求避免了引入新节点类型而使得标准制定更加烦琐重复, 也将进一步加快标准发布, 实现新一代通信标准。同样, 一体化增强技术研究需求也将降低产业对新节点类型的开发要求, 使得网络更加高效环保。另一方面, 本文主要集中在固定的节点类型, 然而对于公共交通场景 (如高铁、汽车、航空、海航等)、临时部署场景 (如大型集会、运动赛事、紧急救援等), 这些场景中的节点共性是移动, 这将对无线回程的可靠性以及无线接入的群移动研究提出更高的要求。对于移动的节点类型研究可以从本文获得一些参考, 从而更好地解决移动节点的引入带来的新的技术问题, 可以预见未来的无线移动通信网络将会是一个更加灵活便捷的网络。

参考文献:

- [1] 杨旭, 肖子玉, 梁冰, 等. 5G 核心网部署及演进方案[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 131-140.
YANG X, XIAO Z Y, LIANG B, et al. 5G core network deployment and evolution scheme[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(9): 131-140.
- [2] 朱雪田. 3GPP R16 的 5G 演进技术研究[J]. 电子技术应用,



- 2020, 46(10): 1-7, 13.
- ZHU X T. Research on 5G evolution technology of 3GPP R16[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 1-7, 13.
- [3] 朱晓丹. 5G IAB 集成接入回传组网架构研究[J]. 通信技术, 2020, 53(10): 2479-2483.
- ZHU X D. 5G IAB integrated access backhaul networking architecture[J]. Communications Technology, 2020, 53(10): 2479-2483.
- [4] 彭雄根, 彭艳, 李新, 等. 5G 毫米波无线网络架构及部署场景研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(1): 70-76.
- PENG X G, PENG Y, LI X, et al. Study on the wireless network architecture and deployment scenario of 5G millimeter wave[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2021, 34(1): 70-76.
- [5] 3GPP. NR; NR and NG-RAN overall description; Stage-2: TS 38.300 V16.8.0[S]. 2021.
- [6] 3GPP. NG-RAN; architecture description: TS 38.401 V16.8.0[S]. 2021.
- [7] 3GPP. NR; background for integrated access and backhaul radio transmission and reception: TR 38.809 V16.5.0[S]. 2021.
- [8] 3GPP. NG-RAN; F1 application protocol (F1AP): TS 38.473 V16.8.0[S]. 2021.
- [9] 3GPP. NR; physical layer; general description: TS 38.201 V17.0.0[S]. 2021.
- [10] 3GPP. NR; physical layer procedures for control: TS 38.213 V17.0.0[S]. 2021.
- [11] 李帅, 吴建军. 异构网络自适应双工中继站组网方案性能评估[J]. 无线电通信技术, 2018, 44(6): 538-543.
- LI S, WU J J. Performance evaluation of adaptive duplex relay station networking scheme in heterogeneous network[J]. Radio Communications Technology, 2018, 44(6): 538-543.
- [12] 徐昌彪, 郭瑞博, 鲜永菊. 异构网络下带内回程基站部署方案[J]. 计算机工程, 2020, 46(1): 150-156, 163.
- XU C B, GUO R B, XIAN Y J. Deployment scheme of in-band backhaul base station in heterogeneous network[J]. Computer Engineering, 2020, 46(1): 150-156, 163.
- [13] 王彬彬, 于贵龙, 袁韵洁, 等. OFDM 系统载波间干扰消除算法研究[J]. 火控雷达技术, 2018, 47(3): 31-35.
- WANG B B, YU G L, YUAN Y J, et al. Study on algorithm of eliminating inter-carrier interference of OFDM system[J]. Fire Control Radar Technology, 2018, 47(3): 31-35.
- [14] 解永生, 周磊磊, 刘建坡. 基于 ICI 干扰消除的 OFDM 线性时变信道估计方法[J]. 信息技术, 2018, 42(1): 67-70.
- XIE Y S, ZHOU L L, LIU J P. Linearly time-varying channel estimation method with ICI mitigation for OFDM systems[J]. Information Technology, 2018, 42(1): 67-70.
- [15] 王孟婕, 冯兴乐, 张德晶, 等. 基于索引调制的 5G 新波形滤波正交频分复用技术[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(29): 166-171.
- WANG M J, FENG X L, ZHANG D J, et al. A novel 5G waveform filtered orthogonal frequency division multiplexing technique based on index modulation[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(29): 166-171.
- [16] 3GPP. NR; Base station (BS) radio transmission and reception: TS 38.104 V17.3.0[S]. 2021.
- [17] 魏贵明, 张翔, 郭宇航, 等. 5G 信道建模与性能测试方法[J]. 电信科学, 2021, 37(2): 15-21.
- WEI G M, ZHANG X, GUO Y H, et al. Channel modeling and performance test method for 5G[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(2): 15-21.
- [18] 3GPP. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies: TR 38.913 V16.0.0[S]. 2020.
- [19] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz: TR 38.901 V16.1.0[S]. 2019.
- [20] 3GPP. NR; Study on integrated access and backhaul: TR 38.874 V16.0.0[S]. 2018.

[作者简介]



毕峰 (1979—), 男, 中兴通讯股份有限公司高级工程师, 主要研究方向为 3G/4G/5G/6G 中继传输、边链路传输、多址、波形、信道/信号设计、资源分配、多天线、导频设计、峰均比等。