



专题：5G 演进技术

NR MIMO 增强演进及标准化进展

李南希, 朱剑驰, 郭婧, 尹航, 佘小明
(中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

摘要: 大规模多输入多输出 (multiple-input multiple-output, MIMO) 技术作为 5G 的关键使能技术之一, 在 5G 网络的商用部署中发挥了重要的作用。结合 5G 系统的演进与实际部署经验, 3GPP Release 17 在 MIMO 增强演进方面做了一系列标准化工作。聚焦 3GPP 标准化工作, 介绍并分析了 MIMO 增强的标准化进展, 并重点阐述了多波束增强与多传输点传输增强。最后对 3GPP Release 18 MIMO 增强标准化工作进行了展望。

关键词: 3GPP; MIMO; 多波束增强; 多传输点传输增强

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022038

Evolution and standardization progress for NR MIMO enhancement

LI Nanxi, ZHU Jianchi, GUO Jing, YIN Hang, SHE Xiaoming
Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: As one of the key technologies of 5G, massive multiple-input multiple-output (MIMO) has played an important role in the commercial deployment of 5G networks. Based on the deployment experience of 5G systems, 3GPP Release 17 has done a series of standardization work on MIMO evolution enhancement. Focusing on 3GPP standardization work, the standardization progress of related MIMO enhancement schemes, especially for multi-beam enhancement and multi-TRP enhancement, was introduced and analyzed. In the end, potential future work of 3GPP Release 18 MIMO enhancement was summarized.

Key words: 3GPP, MIMO, multi-beam enhancement, multi-TRP enhancement

0 引言

第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 从 Release 15 (Rel-15), 即新空口 (new radio, NR) 的第一个版本便引入了多输入多输出 (multiple-input multiple-output, MIMO) 技术的标准化工作, 旨在

使能多天线技术、高精度信道状态信息 (channel state information, CSI) 获取、波束管理等新特性^[1-4]。随后, 在 Rel-16 及 Rel-17 的 NR 演进版本中, 对 MIMO 的功能及特性做了进一步增强, 主要聚焦发射接收点 (transmission-reception point, TRP) 传输增强、波束管理增强等^[5-6]。总体来说, Rel-15 NR 系统引入了一系列支持

MIMO 技术的特性以更好地发挥大规模天线的优势,搭建好了基础框架。Rel-16 及 Rel-17 MIMO 则在其基础上,结合 5G 系统的演进与实际部署经验,进一步分析了多方面的增强需求并完成了相关增强方案标准化工作。

回顾 Rel-17 MIMO 的标准化历程,该项目立项工作于 2019 年 12 月完成,从 2020 年 8 月的 RAN1 第 102 次会议开始,直到 2021 年 11 月的 RAN1 第 107 次会议为止,历经一年半的时间,已完成核心部分标准化工作,预计于 2022 年 6 月前完成性能部分的标准化工作。本文聚焦 Rel-17 MIMO 增强演进及标准化进展,着重阐述了多波束增强与多 TRP 部署增强及相关标准化工作,最后展望了 Rel-18 MIMO 的增强演进方向。

1 Rel-17 MIMO 增强标准化进展

3GPP Rel-17 NR MIMO 的多波束增强与多 TRP 增强的标准化工作主要包括以下 2 个目标^[7]。

(1) 多波束增强目标频段为 FR2^[8] (frequency range 2, 一般指毫米波频段),但适用时也可用于 FR1 (frequency range 1, 一般指 sub-6 GHz 频段),主要完成以下标准化工作。

小区内/小区间用户高速移动的场景下,识别更有效的上、下行波束管理方案,包括上、下行的公共控制与数据波束传输及接收,用于上、下行波束指示的统一传输配置指示 (transmission configuration indicator, TCI) 框架设计,使能动态控制信令以降低时延等。

针对配置多天线面板 (panel) 的用户设备 (user equipment, UE),识别上行波束选择以及上行快速天线面板切换增强方案。

(2) 多 TRP 部署的相关增强目标频段包括 FR1 和 FR2,主要完成以下标准化工作。

多 TRP/多天线面板场景下,提升物理下行控制信道 (physical downlink control channel, PDCCH)、物理上行共享信道 (physical uplink

shared channel, PUSCH) 和物理上行控制信道 (physical uplink control channel, PUCCH) 可靠性与鲁棒性的增强方案。

波束管理增强,以使能多天线面板同时接收多 TRP 传输的信息。

单频点网络高铁 (high speed train-single frequency network, HST-SFN) 部署场景增强,包括识别解调参考信号 (demodulation reference signal, DMRS) 的准共址 (quasi co-location, QCL) 假设解决方案及频率偏移与补偿方案等。

本节主要针对上述增强进行详细的阐述及分析,以便读者可以更深入地了解标准化工作进展。

1.1 多波束增强

通过使能波束成形技术, NR 网络的覆盖性能及传输性能获得了有效的提升,尤其对于 FR2 频段,性能提升更加显著。为了能高效地执行与波束相关的处理, NR 标准设计了一整套波束管理流程^[9],包括初始波束对的建立、波束测量/上报/指示和波束失败恢复。简单来说,波束管理主要围绕收发波束对的建立与波束信息指示定义了一系列机制以及相关资源配置信息,以便 UE 能够选择合适的空间滤波器参数,执行相关的波束发送及接收。在波束管理流程中,波束指示主要通过 TCI 与 QCL 实现,一个 TCI 状态可以包括最多两个下行参考信号以及相应的 QCL 类型^[10],具体格式如式 (1) 所示。

TCI 状态: <下行参考信号 1| QCL 类型 1,

下行参考信号 2| QCL 类型 2> (1)

其中, QCL 关系用于指示两个天线端口的具体准共址情况,共有如下 4 种类型。

QCL-Type A: {多普勒频移, 多普勒扩展, 平均时延, 时延扩展}。

QCL-Type B: {多普勒频移, 多普勒扩展}。

QCL-Type C: {多普勒频移, 平均时延}。

QCL-Type D: {空间接收参数}。

QCL-Type A、QCL-Type B 和 QCL-Type C



用于指示当前传输历经的信道与相应参考信号所历经信道的大尺度参数的一致性假设，以 QCL-Type A 为例，它表示两个天线端口传输的符号所历经信道具有相同的多普勒频移、多普勒扩展、平均时延和时延扩展。QCL-Type D 用于波束管理，如果当前传输与某一参考信号具备 QCL-Type D 的准共址关系，则 UE 可使用与接收该参考信号的相同空间滤波参数来接收当前传输，即采用相同的接收波束。

基于上述基础框架，Rel-17 MIMO 在多波束增强方面主要开展了如下标准化工作。

(1) 用于波束指示的统一 TCI 框架

NR Rel-15/Rel-16 版本协议中，默认存在上行和下行波束对应性，因此可以使用一个公共的源参考信号用于上行和下行的波束指示。但是在某些特定情况下，可以选择不遵循波束对应性，此时则需要分别指示上行和下行的波束信息^[11]。针对该情况，Rel-17 支持如下两种上、下行波束指示方法。

上、下行联合 TCI：一个联合 TCI 状态内分别包含用于上、下行波束指示的源参考信号。

上、下行单独 TCI：上、下行波束指示采用各自的 TCI 状态，每个 TCI 状态内只包含一个用于指示上行或下行波束信息的源参考信号。

上述波束指示遵循统一的 TCI 框架^[12]，首先，由无线资源控制（radio resource control, RRC）信令为 UE 配置一个至多包含 128 个 TCI 状态的列表，用于确定下行传输的 QCL 信息以及上行传输的空间滤波器（用于确定上行发送波束）；然后，由媒体接入控制-控制单元（media access control-control element, MAC-CE）激活至多 8 个 TCI 状态或 8 个 TCI 状态对，其中每个 TCI 状态对包含一个下行信道或信号的 TCI 状态以及一个上行信道或信号的 TCI 状态；最后，由下行控制信息（downlink control information, DCI）的 TCI 字段选择其中一个 TCI 状态/状态对用于相关传输

的 QCL 指示。可以看出，Rel-17 整体的 TCI 指示沿用了 Rel-15/Rel-16 的流程，新增了上行传输的空间相关信息指示，其中可用于上行 QCL-Type D 指示的源参考信号包括信道状态信息参考信号（channel state information reference signal, CSI-RS）、探测参考信号（sounding reference signal, SRS）和同步信号块（synchronization signal block, SSB）。此外，Rel-17 定义了波束指示的生效时间，当 UE 成功解码用于波束指示的 DCI 后，如果所指示的波束与原先的波束不同，则新波束生效于波束指示确认后间隔至少 Y 个符号的第一个时隙，其中， Y 的值由基站基于 UE 能力配置，Rel-17 波束生效时间示意图如图 1 所示。

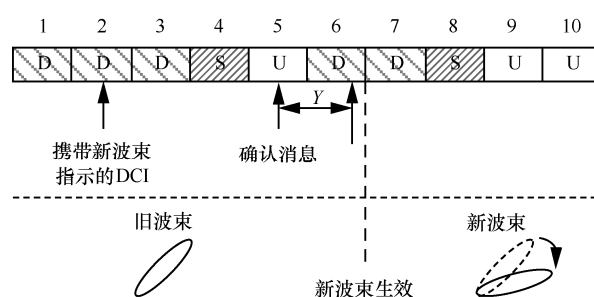


图 1 Rel-17 波束生效时间示意图

(2) 针对小区间移动性及小区间多 TRP 的多波束测量上报增强

Rel-17 在针对小区间移动性的多波束测量上报增强方面，主要考虑如下用例假设^[13]：在网络架构方面，同时考虑非独立（non-standalone, NSA）组网与独立（standalone, SA）组网架构，其中 NSA 考虑 EN-DC（EUTRA-NR dual connection, 4G 为主节点，5G 为辅节点）；在载波聚合（carrier aggregation, CA）方面，主要考虑带内 CA；在切换方面，仅考虑无线接入技术内部（intra-radio access technology, intra-RAT）切换，即同系统间切换，不考虑无线接入技术间切换；在同频场景方面，考虑非服务小区的 SSB 与服务小区的 SSB 有相同的中心频率与子载波间隔，以及非服务小区的 SSB 相关联的物理小区标识（physical cell

identity, PCI) 与服务小区的 PCI 不同两种情况。

Rel-17 多波束测量上报增强主要基于上述用例假设, 实现非服务小区信息与 TCI 及测量上报信息的结合, 以便于非服务小区参考信号的测量上报以及通过服务小区的 RRC 为非服务小区配置 SSB 信息。具体来说, UE 可以在一次 CSI 报告中上报至多 K 个与非服务小区相关联波束的测量结果, 其中 K 的最大值与 UE 能力相关, 目前至少支持 $K=4$, 且当 $K>4$ 时, 与一个非服务小区关联的最大波束数目为 4。对于上述每个波束, UE 上报的测量结果包括: 测量参考信号的指示; 与测量参考信号指示相关联的波束度量, 即波束的层一参考信号接收功率 (layer-1 reference signal received power, L1-RSRP)。

(3) 上行天线面板选择增强

对于具备多天线面板的 UE, 每个天线面板包含一组能够产生一个模拟波束的射频链路, 并且每个天线面板可以具备相同或不同的天线端口数、波束数和等效全向辐射功率 (equivalent isotropically radiated power, EIRP), 不同的 UE 天线面板不具备波束对应性关系。使能上行天线面板选择有助于提升 UE 传输性能、上行干扰管理等。

为了方便讨论, Rel-17 引入了天线面板激活以及天线面板选择两个概念, 其中天线面板激活指激活部分或全部天线面板用于下行和上行波束测量; 天线面板选择指从激活的天线面板中选择一个用于上行传输。目前, Rel-17 仅支持 UE 发起的上行天线面板激活与选择, 当 UE 由于移动、旋转等因素出现当前天线面板的传输性能下降时, 可以发起天线面板激活/选择, 以便选择更合适的天线面板进行传输。

1.2 支持多 TRP 部署的相关增强

多 TRP 传输是提升系统鲁棒性的一种有效方法, 一方面, 多 TRP 为 UE 提供了多条通信链路, 可以通过重复传输额外获得信道分集, 也可以解决由遮挡导致的单路径中断问题; 另一方面, 多

TRP 可以解决某些信道的拥塞问题, 比如对于小区边缘 UE, 通常需要采用较高的 PDCCH 聚合等级以保证 PDCCH 的传输性能, 然而单 TRP 在某些情况下可能难以为 UE 分配足够的传输资源, 此时通过协调多 TRP 的资源, 为 PDCCH 拥塞问题提供了一种有效的解决方案^[14]。Rel-16 主要支持物理下行共享信道 (physical downlink shared channel, PDSCH) 的多 TRP 重复传输方案, 包括基于空分、频分及时分的 PDSCH 重复传输。Rel-17 借鉴 Rel-16 的设计思路, 将基于多 TRP 的重复传输增强扩展到更多的信道上, 包括 PDCCH、PUCCH 和 PUSCH。在波束管理方面, Rel-15/Rel-16 的波束管理流程主要考虑单 TRP 场景, Rel-17 针对多 TRP 传输场景, 将波束及资源配置与 TRP 关联, 从而使能多 TRP 的测量上报及波束管理流程。此外, Rel-17 还针对高铁场景进行了相应增强, 支持频域预补偿以对抗高速移动带来的多普勒频偏。

(1) 基于多 TRP 的 PDCCH、PUCCH 和 PUSCH 增强

在多 TRP 的 PDCCH 可靠性增强方面, Rel-17 引入了使能承载两个 TCI 状态的 PDCCH 传输, 分别用于指示两个 TRP 相关传输的 QCL 参考。对于单频点网络 (single frequency network, SFN), 通过将给定搜索空间集中的一个候选 PDCCH 与相应控制资源集 (control resource set, CORESET) 中两个 TCI 状态相关联, 实现承载两个 TCI 状态的 PDCCH 传输。对于非单频点网络, Rel-17 主要研究了以下 3 种方案。

无重复传输方案: 每个 TRP 传输部分编码/速率匹配后的 PDCCH。该方案可以获得更高的编码增益, 但是如果 UE 与某一 TRP 间的链路中断 (如 FR2 频段的遮挡), 将导致 PDCCH 难以被正确解码。

重复传输方案: 每个 TRP 分别重复传输编码/速率匹配后的 PDCCH, 其中每次重复传输具有



相同数量的控制信道元素 (control channel element, CCE) 和编码比特, 并对应相同的 DCI 有效载荷。该方案具有更好的鲁棒性, 但是编码增益较低。

多次传输机会方案: 即采用多次独立的 DCI 调度、相同的 PDSCH 接收或 PUSCH 传输, 其中多次 DCI 传输可位于相同时隙或不同时间隙。以 4 次 PDCCH 重复传输调度 4 次 PDSCH 接收为例, 分别记作 PDCCH1~4 与 PDSCH1~4, 则 PDCCH1 调度 PDSCH1~4 的接收, PDCCH2 调度 PDSCH2~4 的接收, 以此类推。该方案中, 由于 PDCCH 的 DCI 载荷不同, 难以对 PDCCH 进行软合并^[15], 但是由于 PDCCH 可以位于相同的时间隙内传输, 因此具有更低的时延。

最终, 基于各公司仿真分析和讨论, 选择上述重复传输方案作为非单频点网络的多 TRP 场景下 PDCCH 传输方案, 该方案在传输性能和对标准化的影响两方面可以达到更好的平衡^[16-17]。

在多 TRP 的 PUSCH 可靠性增强方面, Rel-17 支持基于单 DCI 的多 TRP PUSCH 重复传输方案, 整体方案基于 Rel-16 的 PUSCH 重复传输。另外, 为支持多 TRP PUSCH 重复传输, 至多需要支持两个波束, 因此, 需要定义 PUSCH 重复传输与波束的映射方式。PUSCH 重复传输与波束映射方式示意图如图 2 所示, Rel-17 主要研究了以下 3 种映射模式。

循环映射模式: 即第 1 个、第 2 个波束分别应用到第 1 个和第 2 个 PUSCH 重复传输上, 以此类推, 完成剩余 PUSCH 重复传输与波束的映射。

顺序映射模式: 即第 1 个波束应用到第 1 个和第 2 个 PUSCH 重复传输, 第 1 个波束应用到第 3 和第 4 个 PUSCH 重复传输, 以此类推。

对半映射模式: 即第 1 个波束应用到前半 PUSCH 重复传输, 第 2 个波束应用到后半 PUSCH 重复传输。

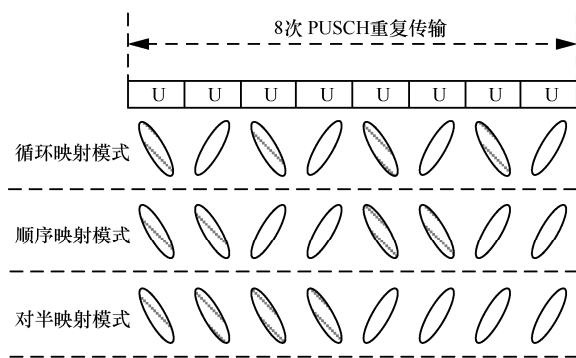


图 2 PUSCH 重复传输与波束映射方式示意图

Rel-17 最终采纳了循环映射与顺序映射模式, 并且当 PUSCH 重复传输次数大于 2 时, 循环映射对 UE 来说是可选项。除波束映射外, 为使能多 TRP 的 PUSCH 重复传输, 还需要支持通过 DCI 格式 0_1/0_2 指示两个探测参考信号资源指示 (SRS resource indicator, SRI) 和两个传输预编码矩阵指示 (transmitted precoding matrix indicator, TPMI), 并且 SRS 资源集的最大数量需要增加至两个, 以为 UE 向两个 TRP 的上行传输分别配置相关资源及传输信息。对于基于码本 (codebook based) 的 PUSCH 重复传输方案, DCI 格式 0_1/0_2 中包含两个 SRI 字段与两个 TPMI 字段, 其中两个 SRI 字段分别对应两个 SRS 资源组, 每个 SRI 字段指示一个 TRP 的 SRI 信息, 并沿用 Rel-15/Rel-16 框架; 两个 TPMI 字段中, 第 1 个 TPMI 字段沿用 Rel-15/Rel-16 的 TPMI 设计, 第 2 个 TPMI 字段只包含 TPMI 索引, 两个 TPMI 采用相同的传输层数, 由第 1 个 TPMI 字段指示。对于非码本 (non-codebook based) PUSCH, DCI 格式 0_1/0_2 中包含两个 SRI 字段, 与基于码本的 SRI 字段类似, 但是仅第 1 个 SRI 字段沿用 Rel-15/Rel-16 框架, 第 2 个 SRI 字段指示的 SRS 资源索引基于第 1 个 SRI 字段指示的传输层数确定。

在多 TRP 的 PUCCH 可靠性增强方面, Rel-17 支持时分多 PUCCH 传输, 且每个 PUCCH 传输可采用不同的发送波束。对于多 PUCCH 传输,

Rel-17 研究了如下 3 种方案。

多 TRP 时隙间重复传输：一个 PUCCH 资源携带上行控制信息 (uplink control information, UCI)，另一个或更多的 PUCCH 资源或者相同的 PUCCH 资源在另一个或多个时隙携带 UCI 的重复传输。

多 TRP 时隙内跳波束 (beam hopping) 传输：UCI 在一个 PUCCH 资源内传输，其中不同的符号集合使用不同的波束进行传输。

多 TRP 时隙内重复传输：一个 PUCCH 资源携带 UCI，另一个或更多的 PUCCH 资源或者相同的 PUCCH 资源在另一个或多个子时隙携带 UCI 的重复传输。

目前协议支持了时隙间重复传输以及时隙内重复传输，且均支持所有 PUCCH 格式。对于多 TRP 时隙间重复传输，可配置上行波束的循环映射或者顺序映射，并且当重复传输次数大于 2 时，循环映射对 UE 来说是可选的；对于多 TRP 时隙内重复传输，携带 UCI 的相同 PUCCH 资源在一个时隙内重复传输两次。

(2) 基于多 TRP 的波束管理增强

Rel-15/Rel-16 支持非组波束上报 (non-group-based beam reporting) 和组波束上报 (group-based beam reporting) 两种上报模式。对于非组波束上报，UE 对网络配置的多个参考信号进行测量，并上报一个或多个测量结果 (包括波束指示信息及对应的 L1-RSRP 信息)；对于组波束上报，需要 UE 具备同时接收多个下行波束传输的能力，UE 在一次报告中基于不同的组分别上报一个或多个测量结果。Rel-17 沿用 Rel-15/Rel-16 的上述波束上报模式，对多 TRP 间波束配对的测量上报进行增强，以使能多天线面板 UE 同时接收来自多 TRP 的下行传输；另外，针对 TRP 的波束失败恢复 (beam failure recovery, BFR) 进行增强，实现 BFR 流程的优化，以尽可能早地检测到一个或多个 TRP 的波束失败事件并采取相应波束

恢复策略。

对于多 TRP 测量上报增强，Rel-17 支持一个单独 CSI 上报中包含 N 个波束对/波束组 (N 的最大值可以为 {1,2,3,4}，具体决于 UE 能力)，其中每波束对/波束组包含 M ($M=2$) 个波束，且 UE 可以同时接收同一波束对/波束组内的不同波束。网络侧通过将不同的 TRP 与同一波束组内的不同波束相关联，从而使能 UE 同时接收多个 TRP 发送的不同波束。UE 同时接收多个 TRP 发送的不同波束示意图如图 3 所示，波束 1 和波束 2 由 TRP1 传输，波束 3 和波束 4 由 TRP2 传输，且波束 2 与波束 3 属于同一波束组，则 UE 可以同时接收波束 2 与波束 3。

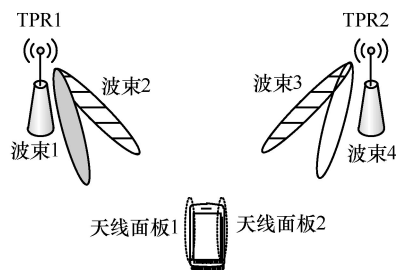


图 3 UE 同时接收多个 TRP 发送的不同波束示意图

对于针对 TRP 的 BFR 增强，Rel-17 支持为每个 TRP 分别配置波束失败检测参考信号 (beam failure detection-reference signal, BFD-RS) 集合以及新波束指示参考信号 (new beam indication-reference signal, NBI-RS) 集合，从而使能了针对 TRP 的波束失败检测。针对 TRP 的波束恢复示意图如图 4 所示，当 TRP2 发生波束失败时，UE 可以针对该 TRP 执行单独的 BFR 流程，而无须等到所有波束链路全部失败时才启动 BFR，有效地提升了传输鲁棒性。

(3) 基于多 TRP 的 HST-SFN 部署增强

HST 是 NR 部署的一个重要场景，其关键特性在于保障 UE 的一致性体验以及高移动速度 (500 km/h^[18]) 下的通信可靠性。HST-SFN 是高铁场景中的一种重要部署方式，HST 场景示意图如图 5

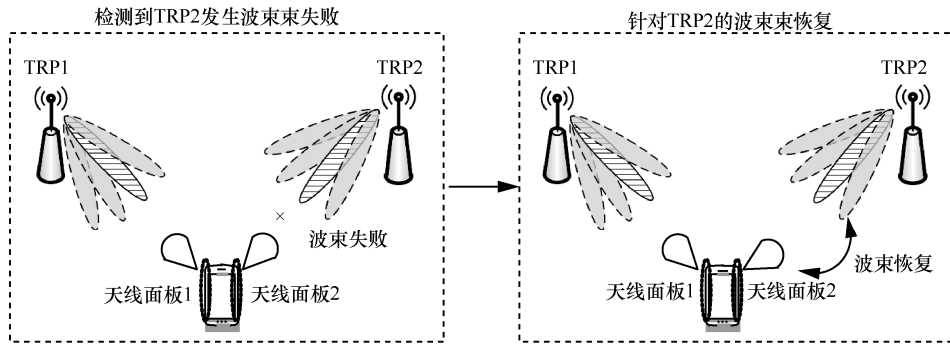
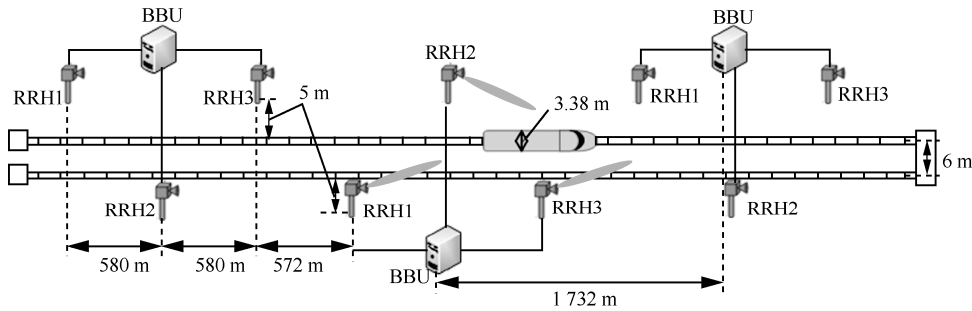


图4 针对 TRP 的波束恢复示意图

图5 HST 场景示意图^[19]

所示^[19]，其特点在于多个射频拉远头（remote radio head, RRH）通过光纤连接到一个基带处理单元（baseband unit, BBU）并共享相同的 PCI，以尽可能减少切换频次，从而改善用户体验^[20]。

HST-SFN 场景下，高移动性带来了非常大的多普勒偏移，以 500 km/h 为例，3.5 GHz 频段的多普勒频偏高达 1.6 kHz^[21]。为提升 HST-SFN 场景下的性能，需要研究频率预补偿方案并进行频率校准。Rel-17 在相关标准化工作中，基于如下频率偏移预补偿方案开展研究讨论^[22-23]。

步骤 1 TRP 传输无预补偿的跟踪参考信号（tracking reference signal, TRS）。

步骤 2 UE 基于接收到的 TRS 确定相应的载波频率，并在该载波频率上传输 SRS/PUSCH。

步骤 3 TRP 基于步骤 2 接收到的 SRS/PUSCH 确定预补偿的频率偏移。

基于上述步骤，频率偏移预补偿方案示意图如图 6 所示，TRP1 与 TRP2 连接至同一 BBU 且它们之间具有理想回程。首先，TRP1 与 TRP2 分

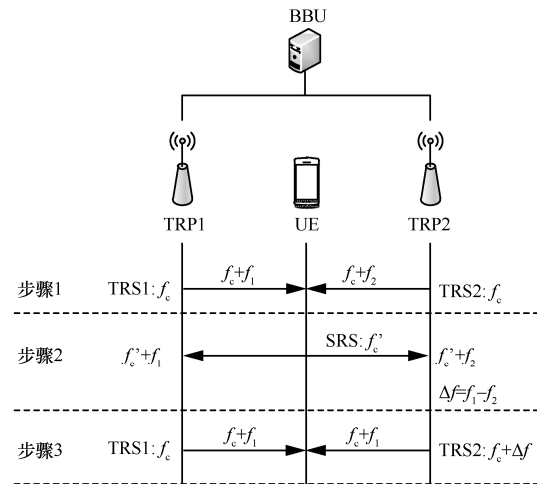


图6 频率偏移预补偿方案示意图

别向 UE 传输 TRS1 与 TRS2，中心频点为 f_c ，则 UE 检测到的 TRS 频点分别为 $f_c + f_1$ 与 $f_c + f_2$ ，其中， f_1 、 f_2 分别表示两个 TRS 的频率偏移。随后，UE 基于接收到的 TRS 确定 SRS 的载波频率为 f'_c ，并向两个 TRP 发送 SRS。此时，TRP1 接收到的 SRS 频点为 $f'_c - f_1$ ，TRP2 接收到的 SRS 频点为 $f'_c + f_2$ ，

假设以 TRP1 作为频率预补偿的锚点,则通过将上述两频点相减便可以得到 TRP2 的预补偿值为 $\Delta f = f_1 - f_2$ 。最后,TRP2 将 TRS2 的频点调整为 $f_c + \Delta f$,则两个 TRP 到 UE 的 TRS 的频率便实现了对齐,进而可以完成频率预校准。

2 Rel-18 MIMO 增强展望

传统无线通信业务的容量需求以下行为主,如刷视频、下载等,因此,5G 系统在前期指标设定上对下行容量、速率提出了远高于上行的指标要求。但是随着人们娱乐、工作、生活方式的改变,逐渐出现了以上行速率为主要诉求的新型业务,如高清视频直播、安全监控、机器视觉以及扩展现实等^[24-25]。为解决这些以上行为中心的业务需求,推动无线通信系统的持续发展,2021 年 12 月的 3GPP RAN 第 94 次全会上,通过了 Rel-18 MIMO 演进增强项目立项^[26],着重聚焦上行 MIMO 增强及下行 MIMO 的持续演进。

在上行容量增强方面,Rel-18 MIMO 主要聚焦 3 个方面工作,包括研究扩展正交 DMRS 端口数目的方案,以使能更多数据流的上、下行传输;针对特定 UE 类型,如客户终端设备(customer premise equipment, CPE)、固定无线接入设备、车载及工业设备,研究使能 4 流或更多流数的上行传输增强;针对上述特定 UE 类型,研究多天线路面同时进行上行传输的增强方案。

在 MIMO 的持续演进方面,相关标准化工作主要包括:CSI 上报增强,主要针对 FR1 中/高速场景下的 UE,利用时域相关或多普勒域信息辅助下行预编码;相干联合传输场景下 CSI 获取增强;基于 Rel-17 上、下行统一 TCI 框架下进一步扩展,以支持多 TRP 场景的 TCI 状态指示。

根据目前的时间计划安排,Rel-18 MIMO 的标准化工作预计于 2023 年 12 月完成核心部分的

标准化工作,2024 年 6 月完成性能部分的标准化工作。

3 结束语

伴随着无线通信系统的发展,大规模 MIMO 技术及相关标准化工作也在持续演进。从 Rel-15 到 Rel-17, MIMO 在 CSI 设计/上报、多 TRP 传输、波束管理等方面完成了一系列增强工作,在提升无线系统的传输性能、可靠性及鲁棒性方面发挥了重要作用。面向 Rel-18, MIMO 在持续演进的同时,更加关注新型业务对上行容量的需求,致力于为 5G 多样化的业务发展打造好坚实的无线通信技术基础。

参考文献:

- [1] 童辉. 5G 新空口设计:如何从 LTE 拓展与创新[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 17-26.
TONG H. 5G new radio design: why/how to extend/innovate from LTE[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 17-26.
- [2] 刘晓峰, 孙韶辉, 杜忠达, 等. 5G 无线系统设计与国际标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
LIU X F, SUN S H, DU Z D, et al. 5G wireless system design and international standard[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019.
- [3] 林泓池, 孙文彬, 郭继冲, 等. 5G 先进技术研究进展[J]. 电信科学, 2018, 34 (8): 34-45.
LIN H C, SUN W B, GUO J C, et al. Research progress of 5G advanced technologies[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(8): 34-45.
- [4] 王庆扬, 谢沛荣, 熊尚坤, 等. 5G 关键技术与标准综述[J]. 电信科学, 2017, 33 (11): 112-122.
WANG Q Y, XIE P R, XIONG S K, et al. Key technology and standardization progress for 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(11): 112-122.
- [5] 3GPP. Revised WID: enhancements on MIMO for NR: TSG RAN #82. RP-182863[S]. 2018.
- [6] 3GPP. New WID: further enhancements on MIMO for NR: TSG #RAN 86. RP-193133[S]. 2019.
- [7] 3GPP. Revised WID: further enhancements on MIMO for NR: TSG #RAN 92. RP-211586[S]. 2021.
- [8] 3GPP. User equipment (UE) radio transmission and reception (Release 17): TS 38.101-1. V 17.4.0[S]. 2021.
- [9] 沈嘉, 杜忠达, 张治, 等. 5G 技术核心与增强:从 R15 到 R16[M]. 北京: 清华大学出版社, 2021.
SHEN J, DU Z D, ZHANG Z, et al. 5G NR and enhancements



- from R15 to R16[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2021.
- [10] 3GPP. Physical layer procedures for data (Release 17): TS 38.214. V 17.0.0[S]. 2021.
- [11] 3GPP. Multi-beam enhancements: TSG RAN1 #104-e. R1-2101186[S]. 2021.
- [12] 3GPP. Change request: Introduction of further enhancements on MIMO for NR: TSG RAN1 #107-e. R1-2112949[S]. 2021.
- [13] 3GPP. Moderator summary#2 for multi-beam enhancement: TSG RAN1 #103-e. R1-2009499[S]. 2020.
- [14] 3GPP. Enhancements on multi-TRP for reliability and robustness in Rel-17: TSG RAN1 #102-e. R1-2006391[S]. 2020.
- [15] 3GPP. Multi-TRP enhancements for PDCCH, PUCCH and PUSCH: TSG RAN1 #103-e. R1-2007764[R]. 2020.
- [16] 3GPP. Enhancements on multi-TRP for PDCCH, PUCCH and PUSCH: TSG RAN1 #103-e. R1-2008149[S]. 2020.
- [17] 3GPP. On PDCCH, PUCCH and PUSCH enhancements with multiple TRPs: TSG RAN1 #103-e. R1-2009223[S]. 2020.
- [18] ITU-R Report M.2083. IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond[R]. 2015.
- [19] 3GPP. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies (Release 16): TR 38.913. V 16.0.0[S]. 2020.
- [20] 3GPP. Enhancements on HST-SFN: TSG RAN1 #102-e. R1-2006132[S]. 2020.
- [21] 3GPP. Enhancements on HST-SFN deployment: TSG RAN1 #102-e. R1-2006204[S]. 2020.
- [22] 3GPP. Enhancements on HST-SFN: TSG RAN1 #105-e. R1-2105294[S]. 2021.
- [23] 3GPP. Enhancements on HST multi-TRP deployment in Rel-17: TSG RAN1 #106-e. R1-2106467[S]. 2021.
- [24] YASTREBOVA A, KIRICHEK R, KOUCHERYAVY Y, et al. Future networks 2030: architecture & requirements[C]//Proceedings of 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-8.
- [25] SAAD W, BENNIS M, CHEN M Z. A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems[J]. IEEE Network, 2020, 34(3): 134-142.
- [26] 3GPP. New WID: MIMO evolution for downlink and uplink: TSG RAN #94. RP-213598[S]. 2021.

[作者简介]



李南希（1990- ），男，博士，中国电信股份有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为大规模天线系统、5G 物理层技术等。



朱剑驰（1981- ），男，中国电信股份有限公司研究院高级工程师，长期从事无线通信技术研究和标准化工作，主要研究方向为 5G 标准化、物理层技术等。



郭婧（1992- ），女，中国电信股份有限公司研究院工程师，主要研究方向为无线通信、物理层技术、大规模天线等。



尹航（1994- ），男，中国电信股份有限公司研究院工程师，主要研究方向为 5G 物理层技术、定位技术等。



余小明（1977- ），男，博士，中国电信股份有限公司研究院教授级高级工程师，长期从事无线通信技术研究和标准化工作，发表文章 50 余篇，拥有授权专利 120 余项，主要研究方向为 5G/6G 无线技术与标准化。