



NR 中集中式网元和分布式网元架构现状与进展

Current Status and Process of CU-DU Architecture in NR

摘要: 在新空口 (NR) 接入技术中, 无线接入网络架构被分割成 2 种实体: 集中式网元 (CU) 和分布式网元 (DU)。认为在这种分离的架构中, 通过一个 CU 控制多个 DU 的方式, 可以同时实现基带集中控制功能和针对用户的远端服务功能。介绍了 CU-DU 分离架构的基本特性, 包括分割方式、接口功能 (控制面功能和用户面功能)、移动性场景以及其他 CU-DU 相关特性和最新进展, 为下一代无线接入网络技术研究提供参考。

关键词: 新空口 (NR); 集中式网元 (CU); 分布式网元 (DU); F1 接口

Abstract: In New Radio (NR) access technology, the wireless access network architecture is divided into two entities, including Central Unit (CU) and Distributed Unit (DU). In this divided architecture, the baseband centralized control function and the remote users service can be realized simultaneously by controlling multiple DUs through one CU. In this paper, the basic characteristics of the CU-DU architecture, including segmentation methods, interface functions (control plane functions and user plane functions), mobility scenarios, and other related features, as well as their latest progress are introduced, which can be the reference of next generation radio access network.

Keywords: NR; CU; DU; F1 interface

高音 /GAO Yin, 韩济任 /HAN Jiren,
刘壮 /LIU Zhuang

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202001016

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20191209.1539.004.html>

网络出版日期: 2019-12-09

收稿日期: 2019-11-05

为了应对未来剧烈的移动数据流量增长、海量的通信设备连接和不断涌现的新业务新场景, 下一代通信技术新空口 (NR) 应运而生。无线接入网不仅是通信网络的重要组成部分, 还是用户设备 (UE) 和核心网之间的重要纽带。基站系统是无线接入网的最主要部分, 可谓是重中之重。在传统的长期演进 (LTE) 网络架构中, 基站被分成了室内基带处理单元 (BBU)、射频拉远单元 (RRU) 和天线共 3 个模块。其中, BBU 主要负责基带处理, RRU 主要负责射频处理。每个基站都有一套 BBU, 并通过 BBU 与核心网相连。在 NR 网络架构中, 基站进行了重构, 其中, BBU 的一部分物理层处理功能下沉到了 RRU, 而 RRU 和天线一起做成了新的实体, 即动态天线单元

(AAU)^[1]。剩余的 BBU 则被拆分成了 2 种实体, 即集中式网元 (CU) 和分布式网元 (DU)。本文中, 我们将要重点讨论 CU-DU 分离的特性和场景。

1 高层分割方案

1.1 高层分割方案选择

在实际部署中, 存在着多种从高通传输时延到低传输时延的传输网络。为了兼顾这些不同的传输网络已经实现多供应商之间的协同操作, 时延敏感度低的网络功能被放在了 CU 侧, 时延敏感度高的功能则被放在 DU 侧。对于时延敏感度高的网络来说, 高层分割方案是比较适合的; 而对于时延敏感度低的网络来说, 底层分割方案则更加合适。图 1 展示了 CU-DU 分离

的几种方案, 其中, 方案 1—5 是高层分割方案的场景, 方案 6—8 是底层分割方案的场景。

在 5G 无线接入网架构中, 如何进行功能分割取决于能否为用户服务提供良好的性能。第三代合作伙伴计划 (3GPP) 决议针对高层分割方案 (方案 2 或方案 3) 制订一套独立的标准。其中, 方案 2 被选为最终方案, 原因是方案 2 比方案 3 有更大的吞吐量和更低的时延限制。在此种方案中, 把对实时性要求较高的物理层 (PHY)、媒体接入控制 (MAC) 和无线链路控制 (RLC) 放在 DU 上处理, 有利于信息的及时处理和传输; 而把对实时性要求较低的分组数据汇聚协议 (PDCP) 和无线资源控制 (RRC) 放在 CU 上处理, 便于 CU 发挥统一

调度的功能。

1.2 高层分割方案评估

为了评估不同的高层分割方案（方案2或方案3），针对数据传输的传输控制协议（TCP）吞吐量效率，我们仿真并对比了高层分割方案2和方案3的性能。

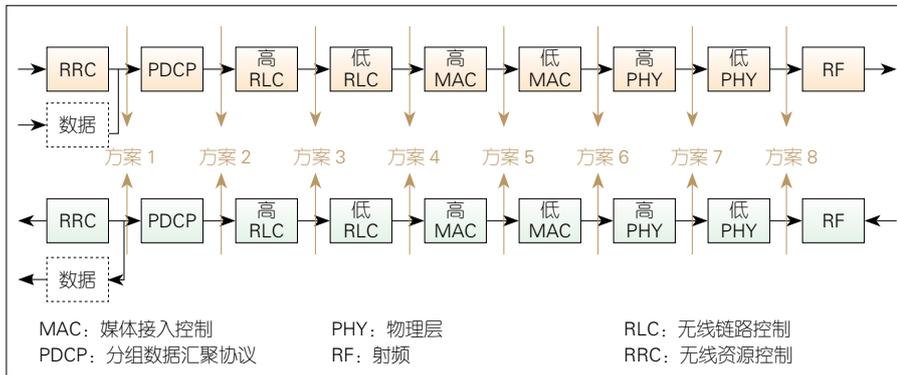
对于方案2，RRC和PDCP位于

CU；DU包括RLC、MAC、PHY和射频单元。对于方案3，底层RLC（RLC的部分功能，主要包括分段相关的功能）、MAC、PHY和射频单元在DU中；RRC、PDCP和高层RLC（RLC的另一个部分功能，主要包括自动重发请求（ARQ）相关功能）位于CU。

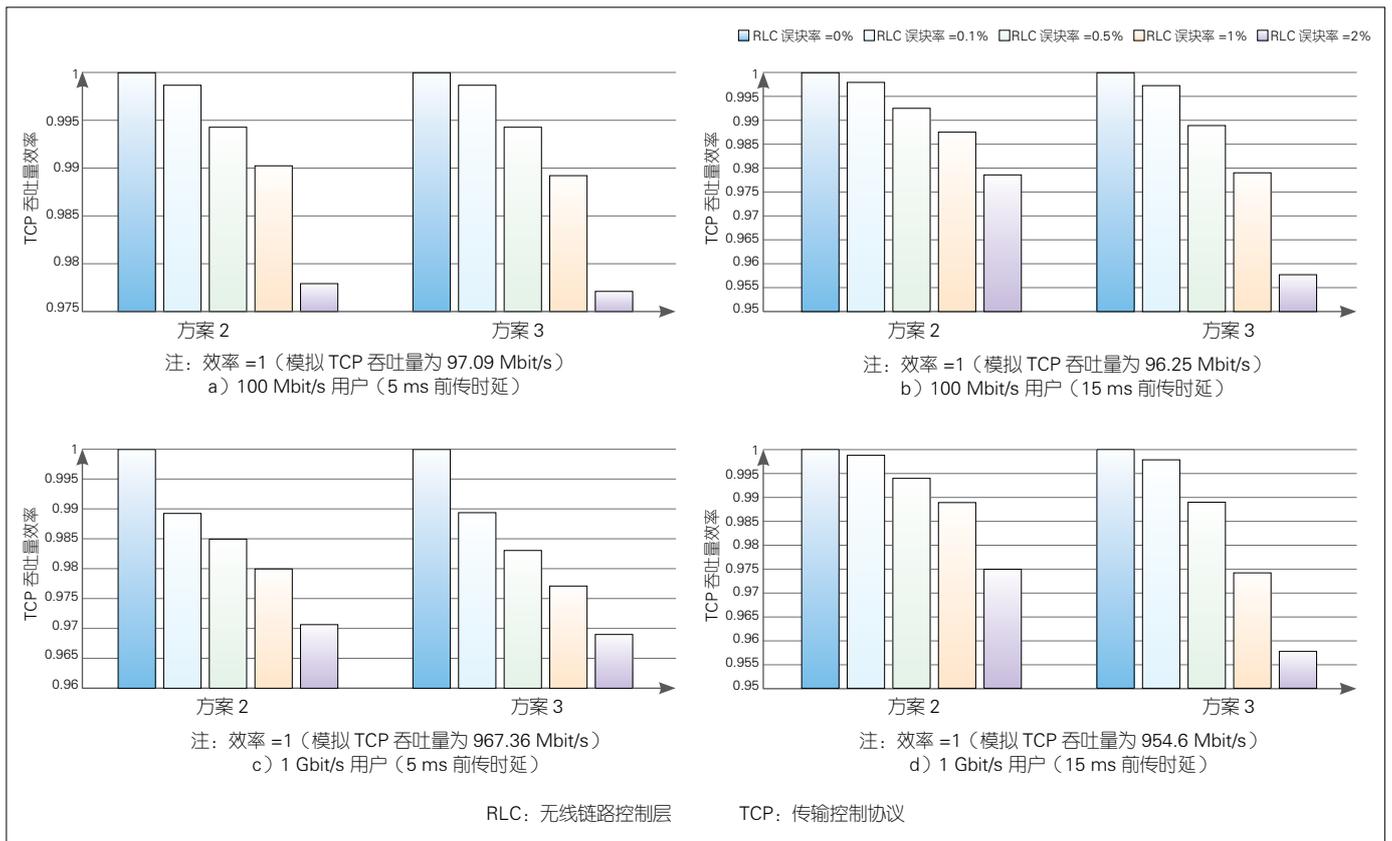
对于方案3，由于ARQ功能位于CU中，RLC重传会引入更多的CU和

DU接口上的时延，包括接口上RLC状态报告的时延和RLC数据重传的时延。相关时延的增加会对TCP吞吐量产生一定的负面影响。

不考虑TCP慢启动阶段，针对高层分割方案2和方案3，在考虑不同空口质量对应的RLC误块率（BLER）条件下，TCP吞吐量效率仿真结果如图2所示。导致TCP吞吐量差异的主要原因是RLC ARQ在方案2和方案3中位于不同的位置（方案2中位于DU，方案3中位于CU）。对于方案2和方案3，当RLC BLER为0%时，空口数据不会丢失，RLC数据不需要重传，RLC ARQ位于不同的位置对TCP吞吐量没有影响。我们对不同CU和DU之间接口时延进行设置，当RLC BLER为0%时，对应的TCP吞吐量的效率设置为1，然后仿真并给出其他RLC BLER条件下的TCP吞吐量效率。根据仿真结



▲图1 集中式网元和分布式网元之间的功能划分^[2]



▲图2 方案2和方案3中TCP吞吐量效率的仿真结果（不考虑TCP慢启动）

果可以看出,随着 CU 和 DU 之间接口时延的增加, TCP 吞吐量效率会降低。而方案 3 中由于 ARQ 位于 CU, 重传数据增加了额外的 CU 和 DU 之间的时延(包括接口上 RLC 状态报告的时延和 RLC 数据重传的时延), 从而导致 TCP 吞吐量效率比方案 2 更低。

慢启动是 TCP 拥塞控制策略的一部分。在慢启动阶段, TCP 发送窗口首先是按照指数增长, 一旦达到慢启动阈值, TCP 发送窗口大小就会从指数增长变为线性增长(拥塞避免)。如果 TCP 服务时间很短的话, 那么慢启动阶段对于整个传输时间的占比则不能忽略。例如, 如果使用 100 MB 文件大小和 1 GB 文件大小这样的文件传输协议(FTP)流量模型, TCP 慢启动对 100 MB 文件下载的性能影响更大, 这是因为其所需下载时间更短。图 3 中的仿真结果表明, 考虑到 TCP 慢启

动效应(初始 TCP 慢启动阈值设置为 65 535), 对于短时间 TCP 服务, 方案 2 的性能明显优于方案 3。

从以上仿真可以看出, 高层分割方案 3 引入了额外的 RLC 重传时延。这种额外的时延可能会对 TCP 吞吐量产生负面影响, 特别是当考虑到 TCP 慢启动效应的短时 TCP 服务时, 这种负面影响更加明显。与高层分割方案 3 相比, 高层分割方案 2 提供了更好的性能。

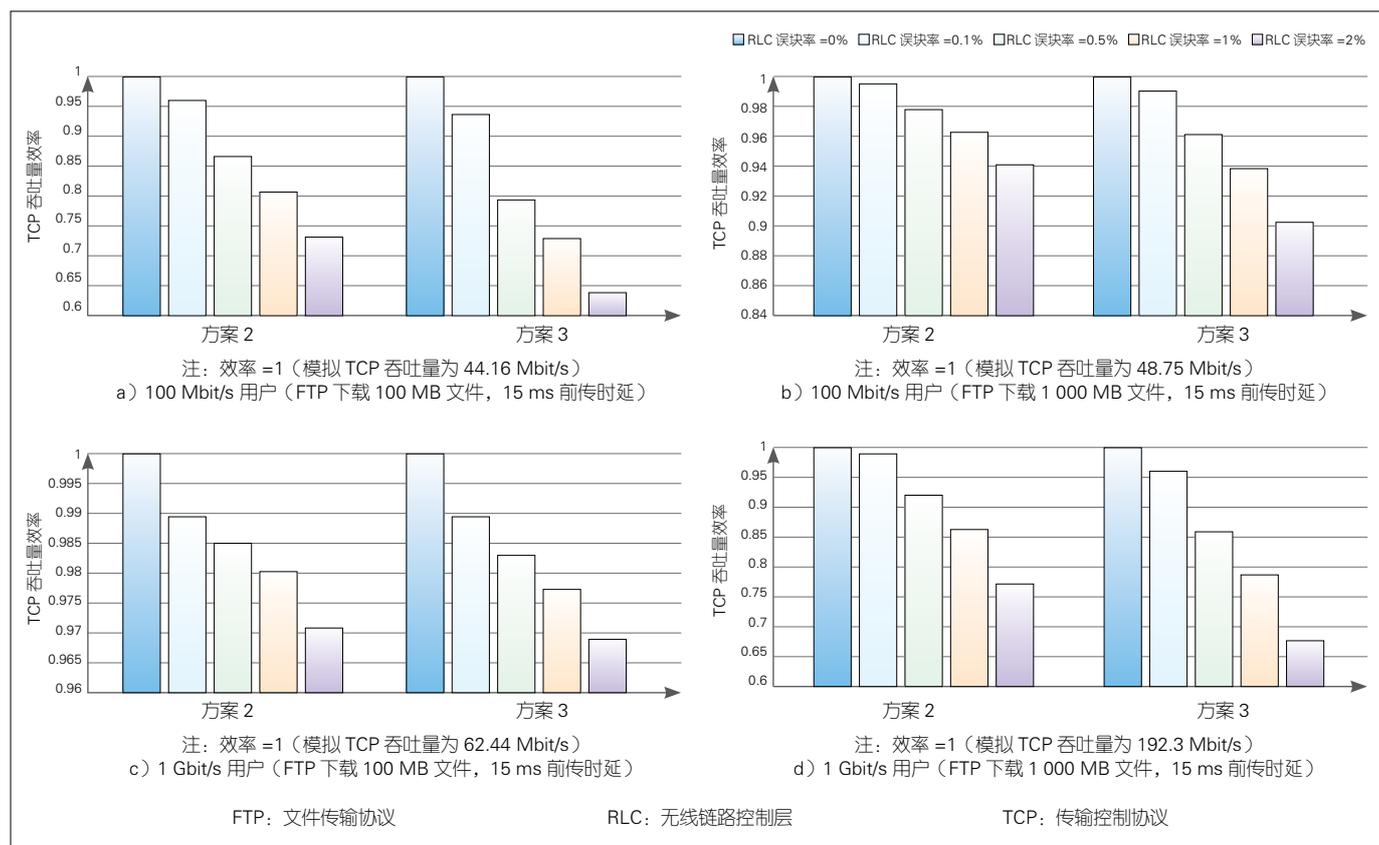
2 CU-DU 分离整体架构

如图 4 所示^[3], 下一代无线接入网(NG-RAN), 会采用 5G 基站(gNB)作为主要节点。gNB 通过 NG 接口连接到 5G 核心网, 同时 gNB 之间通过 Xn 接口相连。在分离的场景下, 一个 gNB 可以包含一个 gNB-CU 和一个或多个 gNB-DU。gNB-CU 和 gNB-DU

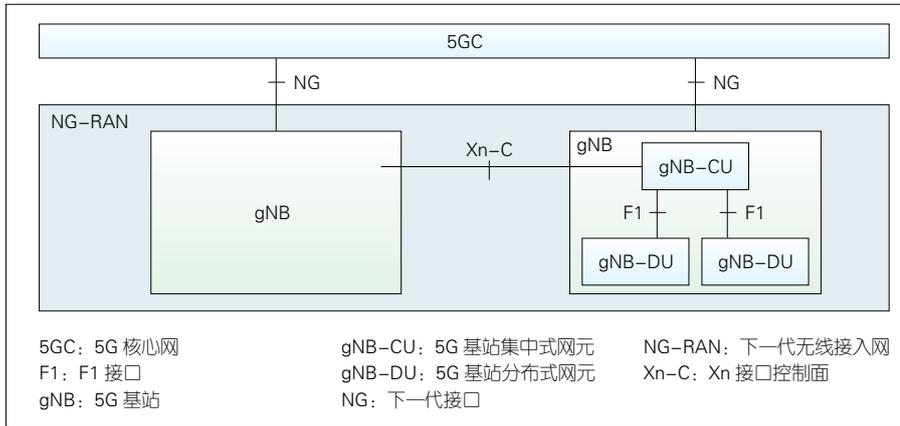
之间的接口被命名为 F1 接口。与 gNB 相关的 NG 接口和 Xn 接口都终结于 gNB-CU。一个 gNB-CU 可以同时连接多个 gNB-DU(所连接 gNB-DU 的最大数量取决于具体实现情况)。

在 3GPP 标准中, 同一个 gNB-DU 原则上只能连接一个 gNB-CU; 然而通过恰当的方法, 一个 gNB-DU 也可以连接多个 gNB-CU。同时, 一个 gNB-DU 可以支持一个或多个小区。gNB 的内部结构对核心网和其他无线接入网节点是不可见的。对于核心网和其他 gNB 来说, gNB-CU 和它所连接的 gNB-DU 被视为一个整体, 即一个单独的 gNB。通过以上分析, 可以得到 gNB-CU 和 gNB-DU 的如下定义:

gNB-CU 是一个包含 RRC、服务数据适应协议层(SDAP)和 PDCP, 并控制一个或多个 gNB-DU 行为的逻辑节点。gNB-CU 通过 F1 接口和



▲图 3 方案 2 和方案 3 中 TCP 吞吐量效率的仿真结果(考虑 TCP 慢启动)



▲图4 下一代无线接入网的整体架构

gNB-DU 相连。

gNB-DU 是一个包含 RLC、MAC 和 PHY，并被 gNB-CU 控制的逻辑节点。一个 gNB-DU 支持一个或多个小区，但一个小区只能从属于一个 gNB-DU。gNB-DU 通过 F1 接口和 gNB-CU 相连^[9]。

3 F1 接口准则

gNB-CU 和 gNB-DU 之间的接口称为 F1 接口。与 5G 核心网中的 NG 接口或者 Xn 接口相似，F1 接口支持端点之间信令交换和数据传输。此外，F1 接口将无线网络层和网络传输层分开，不仅支持 UE 相关信令和非 UE 相关信令的交换，还支持控制面和用户面的功能分离；因此，F1 接口功能可以分为 F1 控制面功能和 F1 用户面功能。

3.1 F1 接口控制面功能

F1 接口控制面功能主要包括：

(1) F1 接口管理功能。F1 接口管理功能主要包括 F1 接口建立、gNB-CU 配置更新、gNB-DU 配置更新、错误指示、重启、F1 接口资源协调和 gNB-DU 状态指示功能。F1 接口建立功能负责 gNB-CU 和 gNB-DU 之间应用级别数据的交换，并激活 gNB-DU 下的小区。F1 接口建立流程由 gNB-DU 发起。gNB-CU 配置更新和 gNB-DU 配置更新负责 gNB-CU 和 gNB-DU

之间应用级别数据的配置更新。gNB-DU 配置更新也可以激活或者去激活 gNB-DU 下的小区。此外，F1 接口建立和 gNB-DU 配置更新功能可以报告 gNB-DU 支持的切片功能。错误指示功能负责指示已经发生的错误。重启功能负责在节点建立和失败事件发生之后，对对端实体进行初始化。F1 接口资源协调功能用于在 gNB-CU 和 gNB-DU 之间传递频率资源进行信息共享。gNB-DU 状态指示功能则是允许 gNB-DU 向 gNB-CU 指示负载状态。

(2) 系统消息管理功能。在系统信息管理中，gNB-DU 负责系统广播信息的调度和系统信息的传输。针对系统信息广播，gNB-DU 负责对 NR 主信息模块（MIB）和系统信息模块 1（SIB1）的编码。而其他系统信息模块的编码则由 gNB-CU 执行。由于缺少 UE 节能功能，F1 接口需要引入按需式的系统信息发送功能。在这种情况下，CU 负责处理来自 UE 的按需式系统信息请求，并发送系统信息和命令消息来通知 gNB-DU 广播所需的系统信息。由此可见，UE 可以在需要的时候从 gNB-DU 获取所需的系统信息，而不是自始至终监测着广播信道。

(3) UE 文本管理功能。F1 接口的 UE 文本管理功能负责对必要的 UE 文本进行建立和修改。F1 接口的 UE

文本建立由 gNB-CU 触发。gNB-DU 可以根据准入控制标准接受或者拒绝 UE 文本的建立。F1 接口的 UE 文本修改可以由 gNB-CU 或 gNB-DU 触发。同样地，对应的接收节点可以选择接受或者拒绝 UE 文本修改。同时，F1 接口的 UE 文本管理功能还支持 gNB-DU 侧的 UE 文本释放。文本的释放可以由 gNB-CU 侧直接触发，也可以通过 gNB-DU 侧请求来触发。当 UE 进入 RRC 空闲态（RRC_IDLE）或者 RRC 非激活态（RRC_INACTIVE）时，gNB-CU 会请求 gNB-DU 释放 UE 文本。此外，F1 接口的 UE 文本管理功能还可以用于管理数据无线承载（DRB）和信令无线承载（SRB），即建立、修改和释放 DRB 和 SRB 资源。DRB 资源的建立和修改由 gNB-CU 触发，而 gNB-DU 会根据资源预留信息和服务质量（QoS）信息，来决定接受或拒绝 DRB 的建立或修改。对于每一个即将被建立或修改的 DRB，gNB-CU 可以通过 UE 文本建立或修改流程，将网络切片选择辅助信息传递给 gNB-DU。QoS 流和无线承载之间的承载由 gNB-CU 来执行，而 F1 接口上的承载管理粒度也是承载级别的。为了支持 DU 内部载波聚合的 PDCP 复制功能，需要在 gNB-CU 和 gNB-DU 之间的 2 条通用分组无线业务隧道协议（GTP）用户面隧道上配置 DRB。通过 UE 文本管理功能，gNB-CU 可以请求 gNB-DU 建立或者修改 UE 服务的主小区和主辅小区，也可以请求 gNB-DU 建立或者删除 UE 服务的辅小区。当然，gNB-DU 可以接受或者拒绝这些请求。此外，gNB-CU 还可以通过 UE 文本管理功能，将上行 UE 的聚合最大比特速率限制通知给 gNB-DU，让其执行该限制。

(4) RRC 消息传递功能。RRC 消息传递功能用于 gNB-CU 和 gNB-

DU 之间的 RRC 消息传递。普通的 RRC 消息通过 F1 接口的控制面传递，而 UE 相关的 RRC 消息则在空口 (Uu) 上传递。

(5) 寻呼功能。gNB-DU 根据所提供的调度参数来传输寻呼信息。gNB-CU 可以为 gNB-DU 提供寻呼信息，并为其计算准确的寻呼时机和寻呼帧。gNB-CU 负责决定寻呼区域；gNB-DU 会针对特定的寻呼时机、寻呼帧和寻呼区域合并所有的寻呼记录，并针对寻呼区域中对应的寻呼时机和寻呼帧，进行最终 RRC 消息的编码和广播。

(6) 告警信息传递功能。告警消息信息传递功能和 NG 接口上的告警消息传输流程相互协同。gNB-CU 负责告警相关系统信息的编码，连同其他告警相关信息一起发送给 gNB-DU，并进一步在空口上进行广播。

F1 接口也支持 multiple 流控制传输协议 (SCTP) 功能。在配置更新流程中，CU 将需要添加或者删除的 SCTP 连接的自身 IP 地址发送给 DU。如果某个传输网络层 (TNL) 地址对应的用途 (用于 UE 信令还是公共信令传输) 发生变更，也可以在配置更新流程中通知给 DU。在 DU 侧，也允许一个或多个 DU 自身的 IP 地址来建立对应的 SCTP 连接。当 DU 触发 SCTP 连接需要迁移的时候，DU 会发送一条 DU 配置更新消息给 CU，并携带自身的 DU 身份标识 (ID)，用于通知 CU 当前 SCTP 连接发生了迁移^[4]。

网络共享对 F1 接口产生一定影响。在网络共享的场景下，DU 可能被多个不同公用陆用移动网 (PLMN) 下的 CU 共享，这种共享模式有多种：一种是 CU 和 DU 间的传输通道针对 PLMN 是独立的，在每个传输通道上进行各自 PLMN 下的信令传输；一种是 CU 和 DU 之间的传输通道是共享的，

在这个共享的传输通道里各自 PLMN 下的信令独立传输；最后一种是 CU 和 DU 之间的传输通道是共享的，在这个共享的传输通道里只有一套信令传输，包含所有 PLMN 下的信息^[5]。

根据 TS38.401，在独立 PLMN 信令情况下，UE 初始接入流程如图 5 所示^[3]。

步骤 1: UE 发起 RRC 连接建立请求 (消息 3 (MSG3))。

步骤 2: gNB-DU_{A/B} 收到 UE 的 RRC 请求消息，通过 F1 接口的初始上行 RRC 直传消息随机发给 gNB-DU_{A/B} 所连接的任一个 CU，图示中标记为 gNB-CU_A。

步骤 3—4: gNB-CU_A 收到消息后建立 UE 文本信息、生成 RRC 建立消息 (MSG4) 并发送给 gNB-DU_{A/B}。gNB-DU_{A/B} 随后通过空口将消息发送给 UE。

步骤 5: UE 发送 RRC 连接建立完成消息 (MSG5)，其中携带 UE 选

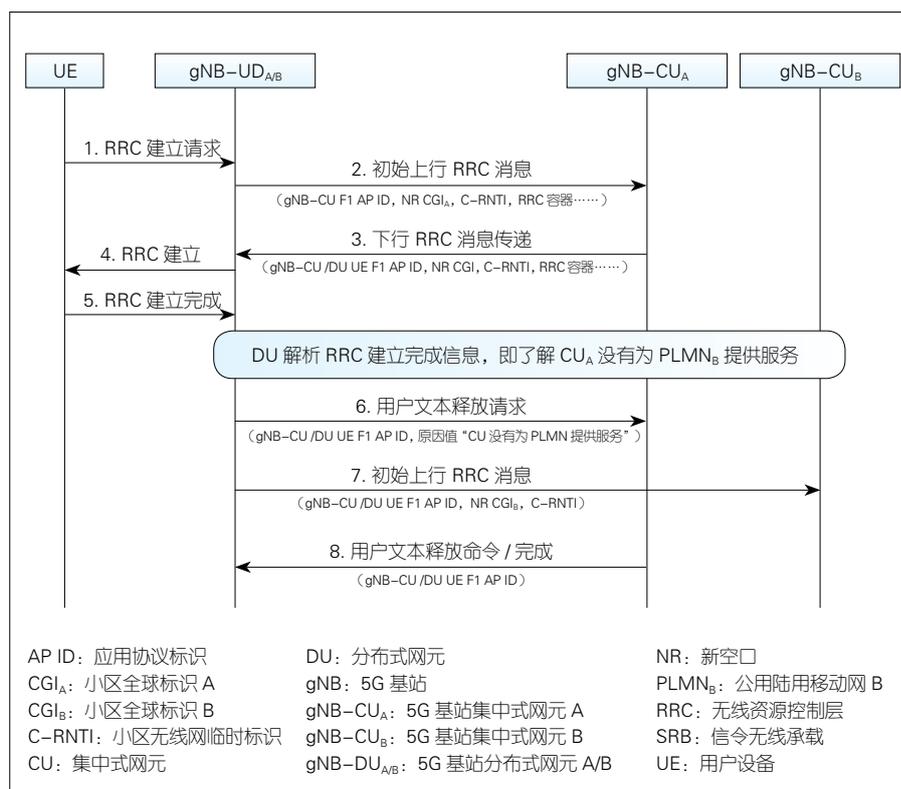
择的 PLMN 信息。

步骤 6: gNB-DU_A 解析 MSG5 消息，发现 UE 上报选择的 PLMN (PLMN_B)，便通过 F1 接口发送 UE 文本释放请求消息给 gNB-CU_A，其中包含释放原因为“非该 CU 服务的 PLMN”。

步骤 7: 同时，gNB-DU_B 会发送初始上行 RRC 消息给 gNB-CU_B，其中包含和 PLMN_B 关联的 NR CGI、在步骤 2 中 gNB-DU_A 为 UE 分配的 C-RNTI 和步骤 5 中收到的空口 RRC 消息。

步骤 8: gNB-CU_A 通过 F1 接口流程释放 UE 文本。

需要注意的是，由于 PLMN 只能由 MSG5 携带上来 (即图 5 中的步骤 5)，因此当 DU 收到 UE 的 RRC 请求消息时，DU 会随机发给 DU 所连接的任一个 CU。当 DU 收到 MSG5 之后，会根据 UE 携带的 PLMN 信息找到对应的 CU，并向旧的 CU 触发 UE 文本释放消息。并且，在 DU 收到 MSG5



▲图 5 UE 初始接入流程图

的时候，也可以并发向不同的 CU 发起初始上行 RRC 直传流程。

根据 TS 38.401，在独立 PLMN 信令情况下，UE 的 RRC 重建流程如图 6 所示^[3]。

步骤 1：UE 发送 RRC 重建请求消息。

步骤 2A—5A：描述了新 gNB-CU_A 没有找到 UE 文本的情况。在步骤 2A 中，和 PLMN_A 关联的 NR CGI_A 上报给新 gNB-CU_A。在步骤 5A 中，gNB-CU_A 在 UE 文本没有找到的情况下，会将当前的 RRC 重建流程回退到 RRC 建立流程。在 F1 接口的下行 RRC 直传消息中，会指示 UE 文本没有找到，并包含步骤 1 中收到的 RRC 消息以要求重定向发给新的 gNB-CU，并且可选携带建议的下次尝试的 PLMN 信息。随后触发步骤 2B，同时 gNB-CU_A 释放

UE 文本（图 6 中未显示）。

步骤 2B—5B：描述了新 gNB-CU_B 找到了 UE 文本。在步骤 2B 中，和 PLMN_B 关联的 NR CGI_B 上报给新 gNB-CU_B，同时包含了步骤 1 中 gNB-DU_A 为 UE 分配的 C-RNTI。

步骤 6—8：后续的 RRC 重建流程在 UE、gNB-DU_B 和 gNB-CU_B 之间进行。

与 UE 初始接入类似，当 DU 收到 RRC 重建请求消息后，DU 串行或者并行向不同的 CU 发起初始上行 RRC 流程。得到其中一个 CU 反馈找到该 UE 文本的指示后，DU 空口回复 RRC 重建消息。在串行发起的情况下，CU 在没有找到相应 UE 文本的时候，会向 DU 指示 UE 文本未找到，将收到的 UE RRC 重建请求消息重新传递给 DU，并且可选携带建议的下次尝试的

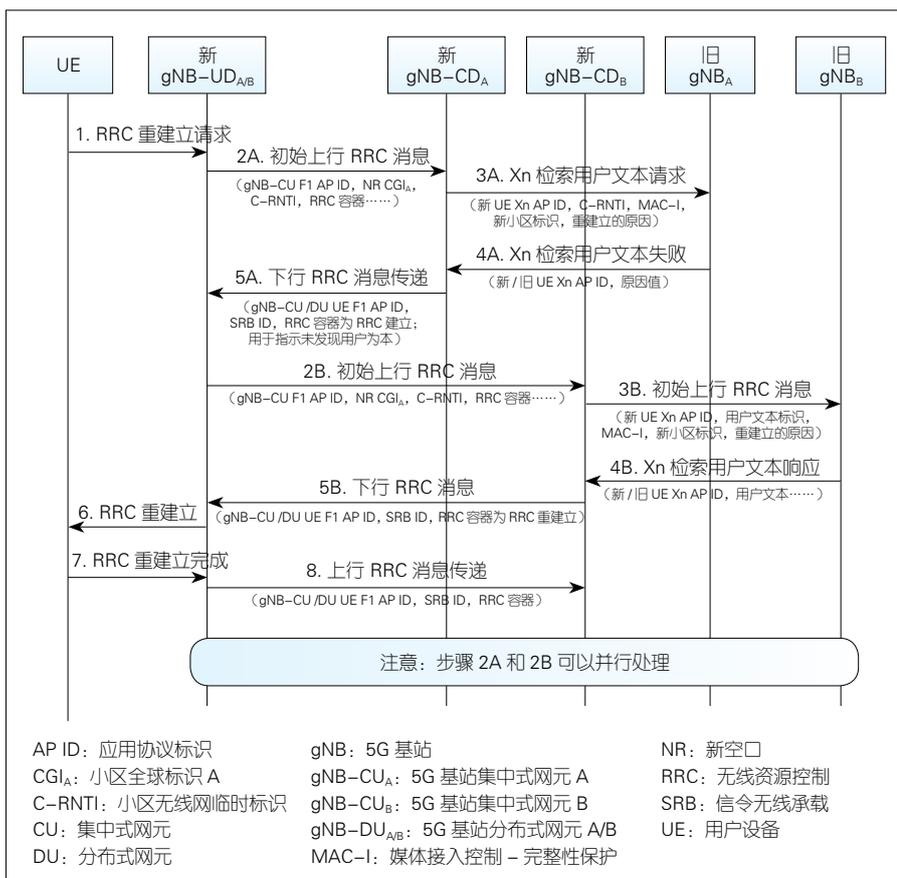
PLMN 信息。

如果 DU 所连接的所有 CU 都无法找到 UE 文本，RRC 连接重建会回退到 RRC 建立流程。

3.2 F1 接口用户面功能

F1 接口的用户面功能包括用户数据传递和流控功能。其中，用户数据传递是指 gNB-CU 和 gNB-DU 之间的用户数据传递。F1 接口用户面协议使用 GTP 用户面（GTP-U）传输网络层的服务，将用户数据即 PDCP 协议数据单元（PDU）封装在 GTP-U 报文中，并在 gNB-CU 和 gNB-DU 之间传递。而流控功能则是针对传递到 gNB-DU 的下行用户数据的流量控制，该功能包含下行用户数据扩展信息的传递、辅助扩展信息的传递和下行数据发送状态扩展信息的传递流程。其中，下行用户数据扩展信息（DL USER DATA PDU）、辅助扩展信息（ASSISTANCE INFORMATION DATA PDU）和下行数据发送状态扩展信息（DL DATA DELIVERY STATUS PDU）都封装在 GTP-U 报文的扩展头中，可以在用户数据封装成 GTP-U 报文传输时携带传输。

下行用户数据扩展信息传递流程的目的，在于当从 gNB-CU 通过 F1 接口的用户面携带用户下行 PDCP PDU 的 GTP-U 报文传递到 gNB-DU 时，可以在下行 GTP-U 报文扩展头中携带 DL USER DATA PDU，用以提供扩展信息以完成 F1 接口的丢包检测和其他功能。由于 DL USER DATA PDU 中提供了 F1 接口用户面当前报文的序列号，gNB-DU 可以通过接收到的报文序列号的连续性来判断在 F1 接口上是否丢包。此外，当下行 PDCP duplication 功能开启，gNB-CU 可以传输相同的 PDCP PDU 数据并拷贝到 2 条预先配置的 F1 用户面通道上。其中某条路径上的数据已经成功递交给



▲图 6 UE RRC 重建流程图

UE 后, 其他路径上的对应数据就可以丢弃以避免传输资源浪费。为了丢弃由于 PDCP 复制产生的冗余 PDU, gNB-CU 可以在 DL USER DATA PDU 中加入丢弃标记以及起始和终止范围内丢弃的 PDCP PDU 信息。对于重传的 PDCP 数据包, gNB-CU 可以在 DL USER DATA PDU 中设置“重传标记”, 用于指示 gNB-DU 识别和处理重传数据包。gNB-CU 还可以在 DL USER DATA PDU 中设置对应的上报轮询标记, 来请求 gNB-DU 侧的下行数据发送状态扩展信息和辅助扩展信息。当 gNB-CU 存在后续数据传输时, gNB-CU 可以在 DL USER DATA PDU 中设置“数据存在标识”, 以用于避免 gNB-DU 在后续有数据传输的时候不恰当地进入非连续性发送(DTX)状态。

在收到来自 gNB-CU 侧的用户数据之后, gNB-DU 需要根据其中携带的 DL USER DATA PDU 中的报文序列号信息是否连续, 来检测 F1 接口上的用户面数据包是否丢失。在确认用户面数据包在接口上丢失之后, 记录其对应的序列号。同时, gNB-DU 需要将接收到的 PDCP PDU 发送给 UE, 并记录成功按序递交给 UE (针对确认模式(AM) RLC) 的 NR PDCP PDU 的最高序列号以及传输给底层 NR PDCP PDU 的最高序列号。此外, gNB-DU 需要根据 DL USER DATA PDU 中的丢弃信息, 删除对应的 PDCP PDU、识别重传数据, 并以高优先级调度同时识别 gNB-CU 侧是否还有后续数据传输以用于 DTX 状态判决。

下行数据发送状态扩展信息传递流程的目的在于, 通过 gNB-DU 侧反馈的下行数据发送状态, gNB-CU 可以针对特定的 DRB, 完成下行用户数据流量控制和其他功能。gNB-DU 通过 F1 接口的用户面发送上行 GTP-U 报文到 gNB-CU 时, 可以在上行

GTP-U 报文扩展头中携带 DL DATA DELIVERY STATUS PDU, 用以提供下行数据发送状态扩展信息。gNB-DU 需要在 DL DATA DELIVERY STATUS PDU 反馈针对 DRB 的期待缓存数据大小和期待速率; gNB-CU 根据其反馈进行流量控制。此外, DL DATA DELIVERY STATUS PDU 需要携带成功按序递交给 UE (针对 AM RLC) PDCP PDU 的最高序列号以及传输给底层 PDCP PDU 的最高序列号, 用于帮助 gNB-CU 获取在 gNB-DU 侧更准确的数据发送状态, 以移除 gNB-CU 缓存的已经成功发送的 PDCP PDU。用于快速重传功能时, gNB-CU 可以将未成功递交(传输)的 PDCP PDU 在另一条传输路径上(如果有的话)向 UE 快速重传。如果 gNB-DU 检测到当前 F1 接口存在下行用户数据包丢失, DL USER DATA PDU 要上报对应的丢包信息, 同时 gNB-CU 可以在当前 F1 接口上重传在接口上丢失的下行数据包。高频部署链路质量波动较大, 容易因障碍物遮挡导致无线链路传输短中断。如果无线链路中断, DL DELIVERY STATUS PDU 应该设置链路网络中断(OUTAGE)标识, 从而避免 gNB-CU 继续发送数据到一个 OUTAGE 的链路上, 这还可以用于 gNB-CU 的快速重传功能的触发。当无线链路恢复后, DL DELIVERY STATUS PDU 中需要包含无线链路恢复指示, gNB-CU 从而可以恢复该链路上的数据传输。

辅助扩展信息传递流程的主要目的在于进行下行 PDCP 重复数据传输控制。如果 PDCP 配置了重复功能, gNB-DU 需要在上行 GTP-U 报文扩展头中携带 ASSISTANCE INFORMATION DATA PDU, 以提供辅助扩展信息给 gNB-CU 用于 PDCP 重复功能的激活和去激活。当 gNB-DU 根据下行数据传递给 UE、空口链路传输质量判断是

否激活或者去激活下行 PDCP 重复功能后, gNB-DU 可以在 ASSISTANCE INFORMATION DATA PDU 携带 PDCP 重复激活或者去激活的建议。gNB-CU 根据建议信息判断是否激活或者去激活 PDCP 重复功能。此外, ASSISTANCE INFORMATION DATA PDU 还可以携带链路质量辅助信息, 包括信道质量指示(CQI)信息、混合自动重传请求(HARQ)失败次数信息、HARQ 重传信息、下行链路质量等级信息和上行链路质量等级信息等。

gNB-DU 基于事件来触发或者周期触发 DL DATA DELIVERY STATUS PDU 和 ASSISTANCE INFORMATION DATA PDU 的反馈。如果 gNB-DU 接收到的 DL USER DATA PDU 中设置了针对下行数据发送状态扩展信息的上报轮询标记, gNB-DU 应该立即触发 DL DELIVERY STATUS PDU 的反馈; 如果 gNB-DU 接收到的 DL USER DATA PDU 中设置了针对辅助扩展信息的上报轮询标记, gNB-DU 应该立即触发 ASSISTANCE INFORMATION DATA PDU 的反馈^[6]。

4 移动性场景

该部分会考虑在独立情况和多连接情况下的 gNB-CU 内的移动性。

4.1 相同 gNB-CU 下 gNB-DU 之间的移动性

在本场景中, 源小区和目标小区属于相同 gNB-CU 下不同的 gNB-DU。

gNB-CU 根据 UE 测量报告, 选择合适的目标 gNB-DU 用于切换。之后, gNB-CU 触发 UE 文本建立流程来为一个或多个无限承载安排空口和 F1 接口上的资源, 并为目标 gNB-DU 上的指定 UE 建立相应文本。目标 gNB-DU 会执行所请求的无线承载配置, 同时如果可能的话, 会存储 UE 文本。接下来,

gNB-CU 发送至少包括目标 gNB-DU 上小区群组配置信息的 RRC 重配置消息给 UE。此后，UE 建立与目标 gNB-DU 的 RRC 连接，并回复 RRC 重配置完成消息。在 UE 接入到目标 gNB-DU 之后，gNB-CU 触发 UE 文本释放流程来释放源 gNB-DU 上的 UE 文本。具体的信令流程如图 7 所示^[3]。

4.2 演进型全球陆地无线接入网 (E-UTRAN) 和 NR 的双连接移动性

在本场景中，源小区和目标小区属于辅节点下不同的 gNB-DU。

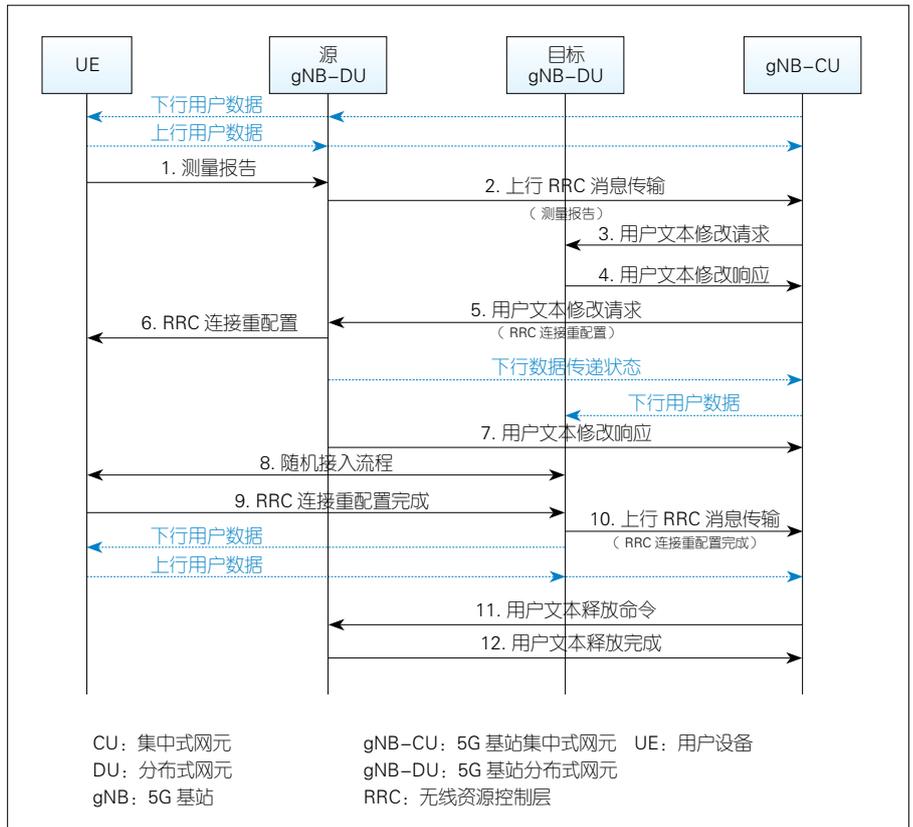
主节点 (MeNB) 根据 UE 测量报告，选择合适的目标 gNB-DU 用于切换。在接收来自主节点的含有辅小区群组配置的辅节点修改请求消息之后，gNB-CU 触发 UE 文本建立流程来为一个或多个无限承载安排空口和 F1 接口上的资源，并为目标 gNB-DU 上的指定 UE 建立相应的文本。目标 gNB-DU 会执行所请求的无线承载配置，同时如果可能的话，会存储 UE 文本。此后，gNB-CU 发送确认后的辅小区群组配置消息给主节点，并由主节点转发给 UE。UE 和与目标 gNB-DU 建立 RRC 连接。在目标 gNB-DU 上的 UE 文本建立完成之后，gNB-CU 触发 UE 文本释放流程来释放源 gNB-DU 上的 UE 文本。具体的信令流程如图 8 所示^[3]。

5 其他 CU-DU 的相关课题

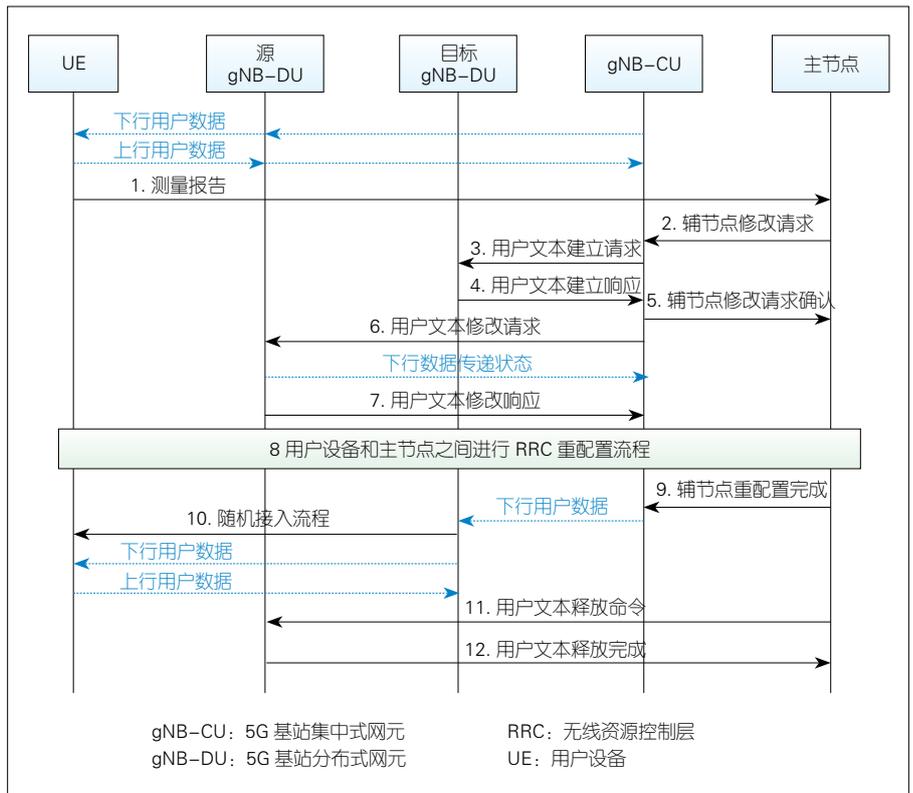
5.1 CU-DU 底层分割 (LLS)

除了 CU-DU 高层分割方案之外，底层分割方案也可以用于增强低延时传输网络的网络性能。在本方案中，物理层被分割为 LLS-CU 和 LLS-DU。图 9 展示了几种可能的底层分割方案^[7-8]。

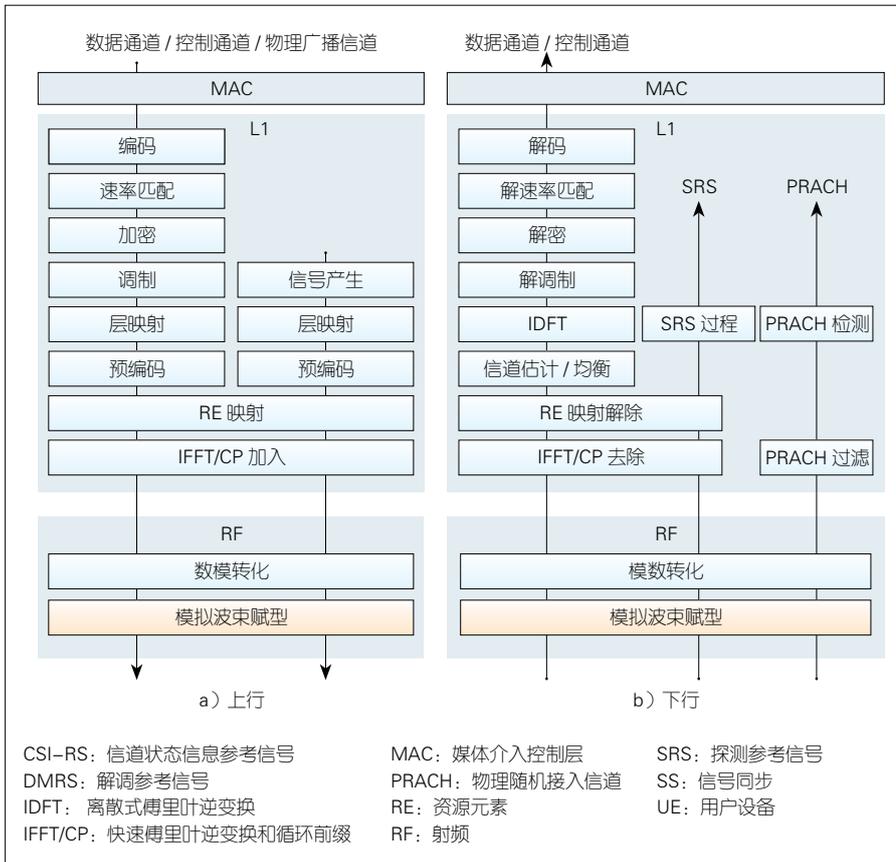
对于上行和下行的功能分割方案如下：



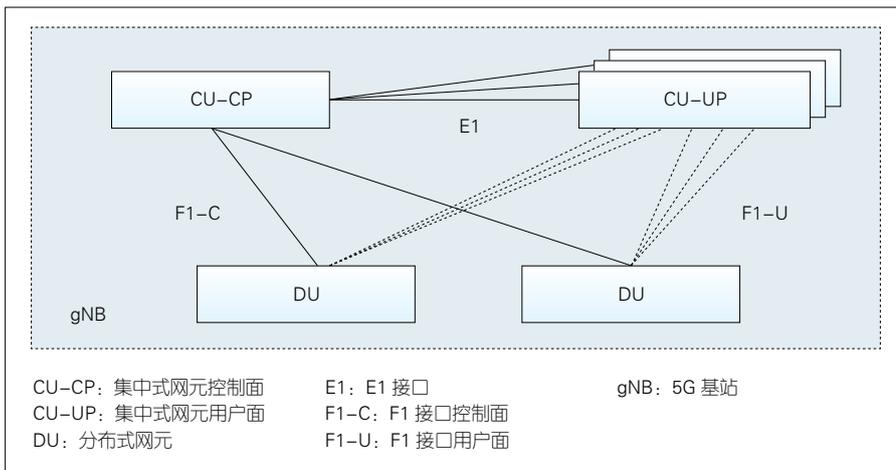
▲ 图 7 NR 内部 gNB-DU 之间的移动性



▲ 图 8 演进型全球陆地无线接入网 (E-UTRAN) 和新空口 (NR) 的双连接下 gNB-DU 之间的移动性



▲图9 针对上行和下行，5G基站（gNB）物理层处理链的一种可能实现方式



▲图10 CU-CP和CU-UP分离情况下的整体无线接入网架构

(1) 方案6

所有的物理层功能安排在DU。

(2) 方案7-1

在上行中，快速傅里叶变换和循环前缀移除功能被安排在LLS-DU；其他的物理层功能被安排在LLS-CU。

在下行中，快速傅里叶逆变换和循环前缀添加功能被安排在LLS-DU；其他的物理层功能被安排在LLS-CU。

(3) 方案7-2

在上行中，快速傅里叶变换、循环前缀移除和资源解映射功能被安排

在LLS-DU；其他的物理层功能被安排在LLS-CU。在下行中，快速傅里叶逆变换、循环前缀添加以及资源映射和预编码功能被安排在LLS-DU，其他的物理层功能被安排在LLS-CU。

(4) 方案7-3（只针对下行）

编码器被安排在LLS-CU；其他的物理层功能被安排在LLS-DU。

除了以上方案外，还存在其他的潜在功能分割方案。针对上行，在离散傅里叶变换和信道估计（均衡）功能之间分割。针对上行和下行，方案7-1和方案7-2之间的分割可能性是基于波束赋型的^[8]。

5.2 控制面（CP）和用户面（UP）分离

为了根据不同场景和所需的性能来优化不同无线接入网功能的位置分布，gNB-CU可以基于高层分割方案被进一步分割成CU-CP和CU-UP。gNB-DU掌控RLC、MAC和PHY的控制面实例；而CU-UP掌控PDCP和SDAP协议的用户面实例。CU-CP和CU-UP之间的接口被命名为E1接口。包含控制面和用户面分离的无线接入网的整体架构如图10所示^[9]。

一个gNB可能包含一个CU-CP、多个CU-UP和多个DU。CU-CP通过F1接口的控制面和DU相连，并通过F1接口的用户面和DU相连。CU-CP和CU-UP通过E1接口相连。原则上，一个gNB-DU只能连接一个CU-CP，一个CU-UP也只能连接一个CU-CP；但通过恰当的方法，一个gNB-DU或者一个CU-CP可以连接多个CU-UP。一个gNB-DU可以连接同一个CU-CP控制下的多个CU-UP，而一个CU-UP可以连接同一个CU-CP控制下的多个gNB-DU。

E1接口支持的基本功能包括E1接口管理功能、承载文本管理功能等

等。和 F1 接口相似, E1 接口管理功能也包括 E1 接口建立、gNB-CU-UP 配置更新、gNB-CU-CP 配置更新、E1 接口释放、重启、失败指示和 gNB-CU-UP 状态指示功能。其中, E1 接口的建立既可以由 gNB-CU-CP 触发, 又可以由 gNB-CU-UP 触发^[10]。

5.3 E-UTRAN 的 CU-DU 高层分割方案

为了实现演进型基站 (eNB) 和 gNB 的整合, LTE 和 NR 的会聚架构被引入进来。即基于 PDCP 和 RLC 的分离 (方案 2), 在 E-UTRAN 中引入集中式网元 (LTE-CU) 和分布式网元 (LTE-DU)^[11]。该架构可以高效地使用传输网络, 并尽可能减少对 LTE 传输网络的影响。部署 LTE-CU 和 LTE-DU 在运营商网络中, 以便于后续的网络更新。

目前, 3GPP 中 E-UTRAN 的 CU-DU 高层分割方案只支持连接到 5GC 的 eNB 分割, 拥有 NR 中的功能分割架构和接口功能。与 NR 中的 gNB 类似, eNB 被分割成 2 种实体: NB-CU 和 eNB-DU。eNB-CU 和 eNB-DU 之间的接口为 W1 接口。除了一些满足运营商需求的 LTE 特性之外, W1 接口所支持的接口功能与 F1 接口基本一致, 包括 F1 接口管理功能、系统消息管理功能、UE 文本管理功能、RRC 消息传递功能、寻呼功能和告警信息传递功能。其区别表现在以下 3 个方面: 第一, 对于 SIB 的划分, 在 E-UTRAN 中 CU-DU 分离的情况下, SIB1、SIB2、SIB3、SIB8 和 SIB16 由

eNB-DU 进行编码, 而其他的 SIB 则由 eNB-CU 进行编码; 第二, 由于 E-UTRAN 系统中没有按需式的系统信息请求方式, W1 接口上不存在相关的流程; 第三, 由于 EPC 不支持网络切片功能, 切片功能仅限于连接到 5GC 的场景。

6 结束语

在本文中, 我们介绍了 CU-DU 架构的进展, 展示了下一代无线接入网络的基本结构, 讨论了 CU-DU 接口的功能和基本移动性场景, 并提出了应对相应挑战的解决方案和潜在的优化方案。我们对 CU-DU 相关的其他议题的进展也做了相应介绍, 这包括 CU-DU 底层分割、CP 和 UP 分离以及 eNB 的高层分割。

参考文献

- [1] WONG K. CU-DU Split[EB/OL]. (2019-03-19) [2019-11-18]. https://blog.csdn.net/Rong_Toa/article/details/88674488
- [2] 3GPP. Study on New Radio Access Technology: Radio Access Architecture and Interfaces: 3GPP TR38.801[S]. 2017
- [3] 3GPP. NG-RAN; Architecture Description (Rel 15): 3GPP TS 38.401[S]. 2019
- [4] 3GPP. NG-RAN; F1 General Aspects and Principles (Rel 15): 3GPP TS 38.470[S]. 2019
- [5] ZHANG H J, LIU N, CHU X L, et al. Network Slicing Based 5G and Future Mobile Networks: Mobility, Resource Management, and Challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(8): 138-145. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600940
- [6] 3GPP. NG-RAN; NR User Plane Protocol (Rel 15): 3GPP TS38.425[S]. 2019
- [7] ZHANG H J, JIANG C X, CHEN J L, et al. Cooperative Interference Mitigation and Handover Management for Heterogeneous Cloud Small Cell Networks[J]. IEEE Wireless Communica-

- tions, 2015, 22(3): 92-99. DOI: 10.1109/MWC.2015.7143331
- [8] 3GPP. Study of CU-DU Low Layer Split for NR (Rel 15): 3GPP TS 38.816[S]. 2018
- [9] Ericsson. New WID on Separation of CP and UP for Split Option 2[Z]. RP-173831
- [10] 3GPP. NG-RAN; E1 General Aspects and Principles (Rel 15): 3GPP TS 38.460[S]. 2019
- [11] China Unicom, Orange, China Telecom, et al. Revised SID: Study on eNB(s) Architecture Evolution for E-UTRAN and NG-RAN[Z]. RP-172707

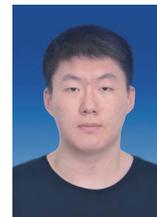
作者简介



高音, 中兴通讯股份有限公司上海算法部标准预研资深专家、3GPP RAN3 工作组副主席; 研究领域为 4G、5G 技术研究和标准推进工作; 已递交数百项 3GPP 会议技术提案, 若干技术被 3GPP 标准采纳; 撰写了百余篇技术专利。



刘壮, 中兴通讯股份有限公司上海算法部 5G 预研高级技术工程师; 从事 5G 无线通信和信号处理研究; 撰写过近百篇技术专利。



韩济任, 中兴通讯股份有限公司上海算法部 5G 预研技术工程师; 从事下一代无线接入网研究, 主要研究方向为接口协议。