

# 流量及拥塞控制机制 在5G-NR中的应用和发展趋势

## Application and Development Trend of Flow and Congestion Control Mechanism in 5G-NR

王丽萍,杨立,陈琳,何哲(中兴通讯股份有限公司,广东深圳518055)

Wang Liping, Yang Li, Chen Lin, He Zhe(ZTE Communications Co., Ltd., Shenzhen 518055, China)

### 摘要:

在5G-NR中,流控技术是解决无线新空口数据传输拥塞,提升数据传输性能的关键技术之一。流控技术早在4G-LTE中被引入,随后在5G-NR中被采纳和增强,并被广泛运用到不同的数据传输场景中。重点阐述了流控技术在5G-NR应用的基本原理,进一步分析流控技术在5G-IAB和5G-V2X场景中的具体应用和增强。针对现有流控技术不能满足未来5G-IAB场景和5G-V2X场景中更为灵活的部署方式和传输需求,提出相应解决方案。最后,对流控技术在未来5G-IAB增强场景和5G-V2X场景中的应用和发展趋势作了预测和展望。

### Abstract:

Flow and congestion control technology is one of the key technologies to solve the data transmission congestion in 5G-NR, which is used for improving the data transmission performance. Flow and congestion control technology is firstly introduced in 4G-LTE, then it is adopted and enhanced in 5G-NR and is widely used in different 5G-NR scenarios. Firstly, the basic operation mechanism of flow and congestion control technology in 5G-NR is illustrated, and the specific application and enhancement in 5G-IAB and 5G-V2X scenarios is further analyzed. For the existing flow control technology can not meet the more flexible deployment mode and transmission requirements in the future 5G-IAB and 5G-V2X scenarios, corresponding solutions are proposed. Finally, the application and development trend of flow control technology in 5G-IAB enhanced scene and 5G-V2X scene are predicted and prospected.

### Keywords:

5G-NR; Transmission congestion; Flow and congestion control

### 关键词:

5G新空口;传输拥塞;流控技术

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.07.006

文章编号:1007-3043(2022)07-0025-06

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式:王丽萍,杨立,陈琳,等. 流量及拥塞控制机制在5G-NR中的应用和发展趋势[J]. 邮电设计技术,2022(7):25-30.

## 1 流控技术背景

在蜂窝移动通信发展过程中,4G-LTE中考虑了对非理想回传的宏站微站共同部署场景的支持<sup>[1]</sup>,包括宏站微站同频部署、异频部署、纯微站部署。为了提升该场景下终端用户的移动鲁棒性,以及减少核心网信令开销等问题,3GPP Release12规范了双连接技术(DC)<sup>[2]</sup>。即终端设备(UE)可同时被2个基站调度,

在宏站小区的终端用户既可被宏站调度,也可被微站调度,通过这种方式可以提升用户吞吐量。

在DC架构中,2个基站同时为同一个UE提供服务,其中负责无线资源控制(RRC)功能的基站称为主基站(Master eNB, MeNB),另一个只承担用户业务数据分流的为辅基站(Secondary eNB, SeNB)。DC架构支持基站通过分离的无线承载(Split bearer)向UE发送数据。即数据在主基站进行分流,通过主、辅基站同时空口传输到达UE。如图1所示,从Split DRB下行数据传输的角度看,从核心网的数据到达主基站并经

收稿日期:2022-06-02

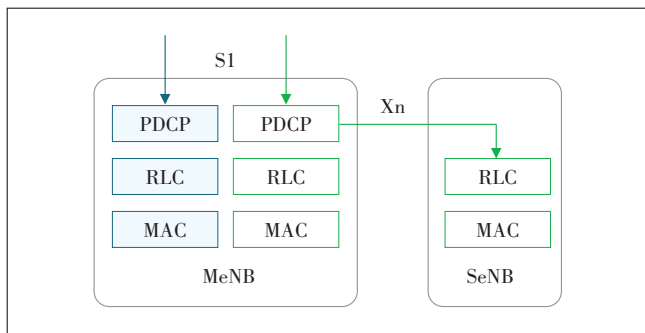


图1 双连接中分离式数据承载数据面协议栈结构图

过主基站PDCP(Packet Data Convergence Protocol)层处理后,通过Xn接口(即最终3GPP标准确定复用X2接口)用户面数据分流到达辅基站SeNB<sup>[3]</sup>。通过这种方式,不同的数据包从2个基站经过各自的空口传输到UE,UE对两边接收的数据包进行汇总和重排序后完成数据包的接收并向上层投递。针对Split DRB的下行数据传输,MeNB需要对下行数据包在MeNB和SeNB间进行有效的分配及处理,以达到最佳的联合传输效果。这便是流控技术在4G系统中的一次关键应用。

5G网络主要有三大特点:极高的速率、极大的容量、极低的时延<sup>[4]</sup>。5G时代对通信性能的要求有极大提升,终端用户对无线空口数据传输流畅度的要求也随之增加。在5G-NR网络架构中,集中单元-分布单元(CU-DU)分离式部署是其最为显著的特点。分离式部署提高了基站的灵活性,但从数据传输的角度来说,由于增加了新接口的交互,将导致数据传输流畅度的降低。为了保证数据的高效传输,流控技术在5G-NR系统中得到进一步的演进和增强,并扩展到多个接口中。

本文首先介绍流控技术在5G-NR网络中的应用和增强,再进一步分析流控技术在5G其他场景,如无线接入回传一体化(Integrated Access and Backhaul, IAB)、车联网(Vehicle to Everything, V2X)场景中的应用和发展情况,并针对现有流控技术中存在的问题缺陷提出可能的解决方案,进一步预测其未来的发展趋势。

## 2 5G-NR中的流控技术应用

图2所示为5G NG-RAN(Next Generation-Radio access Network)的架构图<sup>[5]</sup>,基站gNB(next Generation Node B)采用CU-DU分离式架构,一个gNB-CU(gNB-

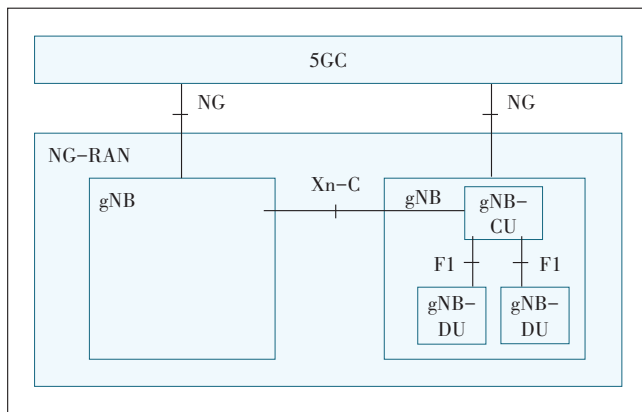


图2 NG RAN整体架构

Centralized Unit)可以管辖多个gNB-DU(gNB-Distributed Unit),gNB-CU和gNB-DU之间通过F1新接口连接。其中,gNB-CU是gNB的唯一集中单元逻辑节点,包含RRC层、SDAP(Service Data Adaptation Protocol)层、PDCP层,gNB-CU还可进一步分离为控制单元CU-CP(CU-Control Plane)和用户面处理单元CU-UP(CU-User Plane)。gNB-DU是基站的分布式单元逻辑节点,包含RLC(Radio Link Control)层,MAC(Media Access Control)层,PHY(Physical layer)层及其增强<sup>[6]</sup>。以下行数据传输为例,下行数据包从核心网5GC(5G Core Network)通过NG接口到达gNB-CU后,数据包经过gNB-CU处理,通过F1接口发送到gNB-DU,再通过空口发送到UE。在这个过程中gNB-CU需要决策发送给每个gNB-DU的数据量大小以及F1接口的流量速率。这便是流控技术在5G-NR系统中的首次关键应用。

图3所示为gNB-CU和gNB-DU之间的流控交互图,下面将具体介绍3GPP Release15中的gNB-CU和gNB-DU之间流控的运行机制<sup>[7]</sup>。总体来说,它包括下行数据传输以及下行数据传输状态上报2个基本过程。下行数据传输过程用于gNB-CU将下行数据包及其对应的序号传输给对应节点gNB-DU。下行数据传

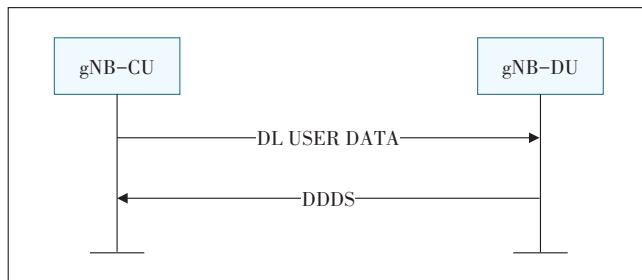


图3 gNB-CU和gNB-DU之间的流控交互图

输状态上报过程是为了让对应节点 gNB-DU 向 gNB-CU 提供反馈以辅助 gNB-CU 控制下行数据的流量<sup>[8]</sup>。下面就2个基本过程的步骤进行详细说明。

a) 初始状态下, gNB-CU 首先以数据无线承载 (Data Radio Bearer, DRB) 为粒度将下行数据包进行编号, 然后按序通过 F1-U 接口发送给 gNB-DU。

b) gNB-DU 从 F1-U 接口上按序接收到下行数据包, 并检测是否有数据包的丢失。

c) 随后, gNB-DU 将收到的数据包经处理后通过空口按序发送给 UE, 并监控统计空口数据包发送情况。对于确认 AM (Acknowledged Mode) 模式的 DRB, gNB-DU 还需要统计 UE 成功接收到的数据包编号。

d) 当 gNB-DU 周期性的向 gNB-CU 上报 DDDS (Downlink Data Delivery Status) 或当收到 gNB-CU 的 Polling 询问指示时, gNB-DU 会向 gNB-CU 反馈当前 DRB 传输状态的 DDDS 帧。DDDS 帧包含当前 DRB 期待的数据包字节量、当前 DRB 期待的传输数据率、当前 DRB 在 F1-U 链路上丢失的数据包编号 (如果 gNB-DU 检测到 F1-U 链路上有包丢失) 和当前 DRB 在空口上传输的最大数据包编号或当前 DRB 在空口上 UE 反馈确认的最大数据包编号。

e) gNB-CU 收到 gNB-DU 的 DDDS 后, 会参考 DDDS 中上报的期待数据量、数据率信息以及空口的传输情况, 再决策后续需要向 gNB-DU 传输的数据量及流量速率。同时对可能需要的重传数据包 gNB-CU 也会进行重传, gNB-DU 会在随后的 DDDS 帧中增加空口对于重传数据包的传输情况。

随着 5G-NR 演进, 流控技术在 3GPP Release 16 得到了进一步的增强<sup>[7]</sup>。由于 5G-NR 支持 PDCP Duplication 复制传输功能, 该功能支持一个 CU 可以同时连接 2 个 DU 并传输相同的数据包给 UE, 通过这种方式可以增加 UE 的接收鲁棒性。与此同时, 该功能可能带来数据包的重复发送。举例说明, 在 UE 同时从 2 个 DU 接收数据包且开启 PDCP Duplication 功能的情况下, 当 UE 从一个 DU 成功接收到数据包后, 极有可能还会从另一个 DU 接收到相同的数据包, 这会带来 UE 重复检测以及进一步删除重复数据包的工作量。在这种情况下, CU-DU 之间的流控技术就显得非常重要。具体来说, 当 CU 收到 UE 的确认接收反馈后, CU 可以通过 F1 接口指示另一侧 DU 丢弃 UE 已经成功接收到的数据包, 从而避免另一侧 DU 的重复发送, 节省空口传输资源。此外, 当 2 个 DU 中的一个 DU 与 UE 之

间的空口传输性能变差时, CU 可指示让另一个空口传输性能好的 DU 重新传输数据包给 UE。在该过程中流控功能起到重要作用, 即通过指示另一个 DU 所传数据为重传数据包, 这样另一侧 DU 会优先考虑传输该重传数据包, 从而减少 UE 等待时间, 提升 UE 接收效率。

### 3 流控技术在 5G IAB 中的应用发展

为了解决偏远地区网络覆盖以及有线回程部署成本问题, 3GPP 在 2017 年通过了无线接入回传一体化 IAB 的立项。即在 5G-NR 架构中通过对无线 backhaul 及中继链路的支持, 实现更为灵活密集的 NR 小区部署, 减少对有线 backhaul 的依赖。图 4 为 3GPP 定义的 IAB 网络架构拓扑图<sup>[9]</sup>, IAB 网络是在 5G-NR 网络架构的基础上引入 1 个或多个无线回传 IAB 节点, UE 可通过中继 IAB 节点接入网络。每一个 IAB 节点包含 2 个部分, 一部分类似 gNB-DU 功能, 称为 IAB-DU, 可服务普通 UE 及 IAB 子节点; 另一部分类似 UE 功能, 可称为 IAB-MT (Mobile Terminal)。IAB-MT 可支持例如 UE 物理层、AS (Access Stratum) 层、RRC 层和 NAS (Non-Access Stratum) 层功能, 可以连接到 IAB 父节点。IAB 网络终结节点称为 IAB-donor, 其通过回传或接入链路为 IAB-MT 或 UE 提供接入。IAB-donor 又进一步分为 IAB-donor-CU 和 IAB-donor-DU。IAB-do-

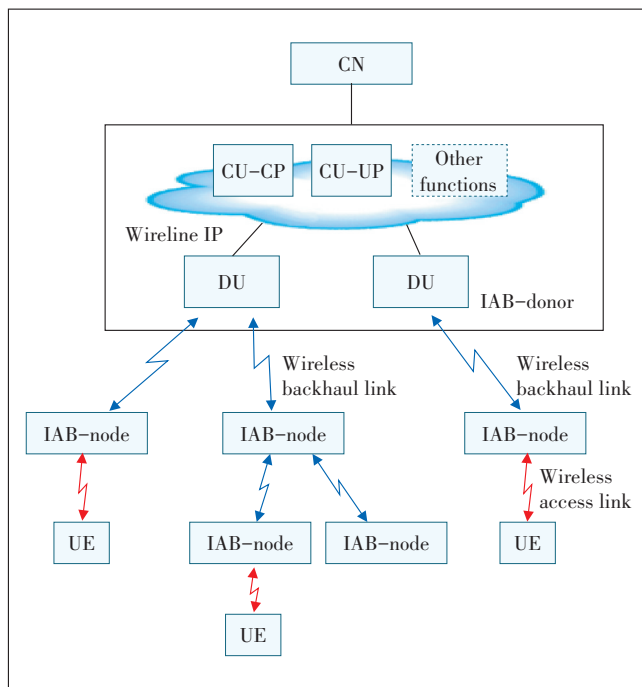


图4 IAB网络示意图

nor-CU 和 IAB-donor-DU 之间通过有线回程连接。无论是 IAB-donor-DU 还是 IAB-DU, 只能通过有线或无线中继方式连接到一个 IAB-donor-CU。

IAB 网络典型特点就是网络侧到终端之间的传输会经历多跳中继节点 IAB Node, 多跳带来的比较大的挑战是中间传输链路可能发生拥塞。而且中继 IAB 节点的跳数越多, 路径拓扑越复杂, 发生拥塞的机率就会越大, 端到端传输的不确定性就越强。当任何中间 IAB 节点 (intermediate IAB-nodes) 的入口链路数据率大于出口数据率, 且持续一段时间之后就会出现节点拥塞。一旦发生节点拥塞, 就可能 IAB 系统的传输效率降低, 甚至出现回程链路失败的情况。因此在 IAB 多跳回传网络中引入流量及拥塞控制机制显得尤为重要。

### 3.1 5G IAB 中的流控技术应用

对于上行数据传输, 由于子节点会定期向 IAB 父节点上报数据缓存状态 BSR (Buffer Status Report), 以向父节点申请上行调度资源。因此父节点能够基于其子节点上报的 BSR 了解到其上行数据缓存情况, 进而动态调整上行资源来控制数据传输。具体来说, 当发现子节点的上行数据充裕时, 可为子节点多分配一些上行传输资源; 反之则为子节点少分配一些上行传输资源。通过这种方式, 上行节点拥塞情况能得到有效的缓解。对于下行数据传输, 由于下行传输资源分配由父节点控制, IAB 父节点无法获得其子节点的下行数据缓存状态信息, 因此无法控制向其子节点发送的下行数据速率。在这种情况下, 极可能出现其子节

点的下行入口链路数据率大于出口链路数据率的情况, 从而导致下行链路拥塞, 影响系统下行传输性能。3GPP Release 16 标准化了 2 种下行流控方案, 用于解决上述 IAB 网络的下行链路拥塞问题。即图 5 所示的端到端流控方案和点到点流控方案<sup>[10]</sup>。

a) IAB 端到端 (End-to-End) 流控方案。该方案沿用了 3GPP Release 15 5G-NR 流控技术。在该方案中, UE 接入 IAB 节点的分布式单元 DU 通过 F1-U 接口向宿主集中式单元 Donor CU 反馈下行数据递交流控状态报告 DDDS。通过这种方式, 宿主集中式单元 Donor CU 可以了解到下行数据的回传链路的传输情况, 进而进行整体的流量及拥塞控制。IAB End-to-End 流控方案本质上和 5G-NR 中 F1 接口的流控技术是一致的, 都是由 DU 单元根据监测 UE 在空口下行数据的接收情况以及自身本地的缓存状态进行流控信息上报。

b) IAB 点到点 (hop-by-hop) 流控方案。该方案是 3GPP Release 16 为 IAB 网络特有的多跳拓扑而专门引入的流控方案<sup>[11]</sup>, 着眼于解决网络中的局部拥塞。在 IAB 网络中, 当任一中间 IAB 节点检测到下行拥塞时, 即某一回传链接的下行入口传输速率高于出口传输速率或收到流控信息上报指示时, 该 IAB 节点立刻向其父节点上报流控反馈信息, 它包含当前 IAB 节点缓存可用的内存余量以及具体的回传链路信息。当其父节点收到流控反馈信息时, 可以及时了解到子节点的下行数据传输情况进而对下行数据传输进行调整, 从而达到下行拥塞缓解的目的。

### 3.2 IAB 潜在的增强流控方案

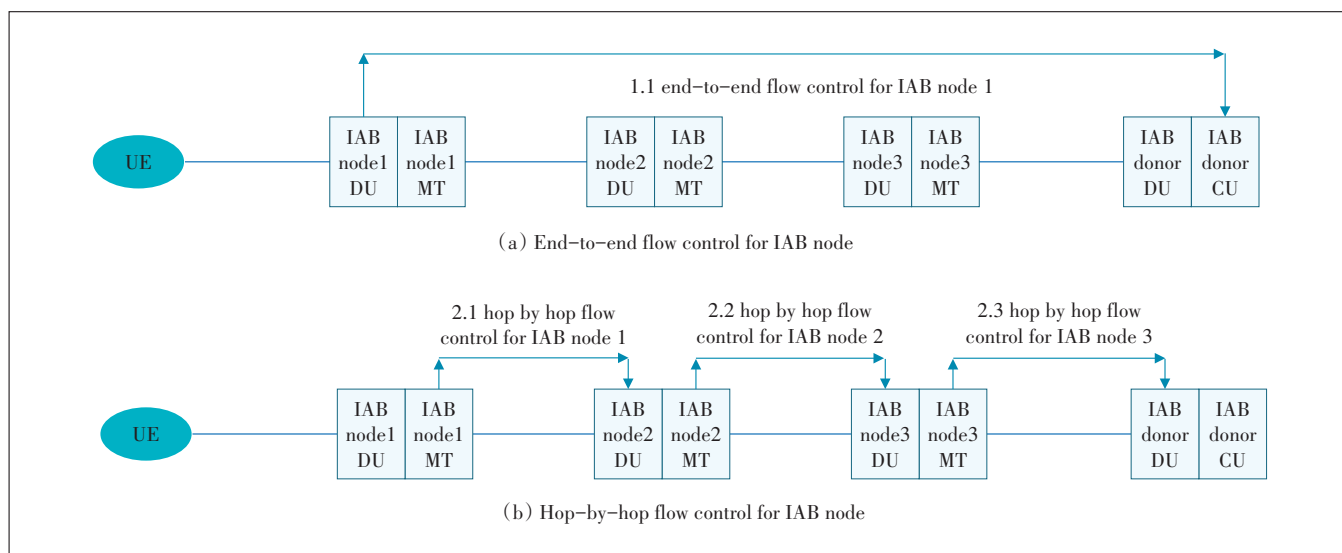


图5 下行端到端流控和节点到节点流控

上述3GPP Release16已经标准化的流控方案能够在一定程度上解决IAB中拥塞问题,但现有的流控方案仍然有一定的缺陷和局限性,需要在未来IAB网络演进中进行增强。

以端到端流控方案为例,UE的接入节点的DU单元(Access-IAB-DU)通过F1-U接口向宿主集中式单元(Donor CU)反馈下行数据递交流控状态报告DDDS。通过这种方式,宿主集中式单元(Donor CU)能够了解到下行数据从UE的Access-IAB-DU到UE之间空口接入链路的传输情况,但实际上真正发生链路拥塞的极有可能是宿主集中式单元(Donor CU)到UE的Access-IAB-DU之间回传链路上而不是接入链路。因此,只反馈接入链路的传输信息显然是不够的,可以考虑在流控反馈信息中加入Access-IAB-DU的下行接收总量信息用于反馈回传链路的传输情况给Donor-CU,如接收的数据总量、接收的数据率等<sup>[12]</sup>。此外,除了采用上述传统的基于用户面的流控方案,基于控制面的流控方案也可被支持(该方案目前在3GPP Release 17中已经被采纳,但方案细节仍在讨论中)<sup>[13]</sup>。例如,在严重的下行拥塞情况下,只有将流控信息及时上报给宿主集中式单元(Donor CU)的控制功能单元,通过宿主集中式单元(Donor CU)对IAB网络拓扑进行重配置才有可能彻底地解决拥塞。在这种情况下需要进一步考虑的是流控信息中所携带的内容以更好地辅助宿主集中式单元(Donor CU)的控制功能单元进行网络调整,如拥塞程度、拥塞路径、缓存情况等。

对于点到点流控方案,感知到下行拥塞的中间IAB节点将流控信息上报给其父节点,父节点可以通过下行调度等方式缓解局部回传链路的拥塞。但在实际场景中,下行拥塞极有可能出现在连续的多个回传链路上,因此可以考虑进一步将流控状态信息上报给其祖父节点,甚至祖父节点的父节点<sup>[14]</sup>,从而从更根源处解决下行局部拥塞的问题。

此外,随着IAB技术演进,未来多连接场景极有可能被支持,即一个IAB子节点可能连接到多个父节点。在这种情况下,上行流控也需要考虑,即感知到上行拥塞的父节点向子IAB节点反馈具体的流控信息,收到流控信息的子IAB节点可以更好地调整向多个父节点传输的数据,从而有效地缓解上行拥塞。除了笔者提到的流控增强方案,业界对流控技术在IAB网络中的应用和增强表现得非常积极,并致力于开发

出更多更好的流控方案<sup>[15-16]</sup>,相信在3GPP Release17/18中会有更多的讨论和进一步的演进<sup>[17]</sup>。

#### 4 5G V2X中的流控技术应用发展

与传统1G到4G单纯的追求数据流量不同,5G更加注重对垂直行业的赋能赋智,包含城市管理、汽车、娱乐、医疗、工业等,以促进各行各业的数字化、智能化的发展<sup>[18-19]</sup>。5G致力于打造全新的生态模式,各行各业相互融合,互利共赢。以5G车联网为例,车联网也叫V2X(Vehicle to Everything),即汽车与万物互联。如图6所示,汽车与汽车、汽车与路边单元、汽车与行人之间都可以进行数据通信和信息共享,这也是5G实现自动驾驶的前提之一。V2X设备与设备之间的通信接口在3GPP中统一称为Sidelink PC5接口,3GPP对Sidelink PC5接口进行了标准化为车联网通信提供了必要的理论基础。

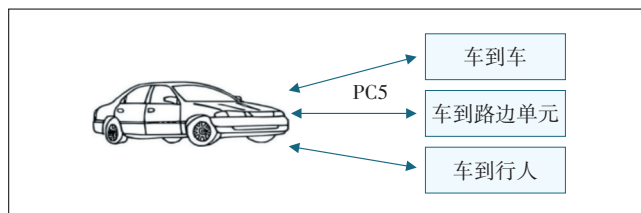


图6 5G-V2X场景

为了支持更广覆盖的V2X通信,3GPP考虑在V2X场景中引入中继节点<sup>[20]</sup>。如图7所示,移动的汽车可以通过中继节点实现和另一个车或路边单元或行人之间的通信。其中中继节点也可能是车或路边单元或行人。中继的引入,一方面可以带来覆盖性能的增加,但同时也可能带来数据传输的拥塞问题。因此,在3GPP 5G Sidelink Relay的讨论中也会引入对应的流控机制。

相比5G IAB中的流控技术聚焦于无线回传链路的拥塞,5G Sidelink Relay中的流控未来主要聚焦于解决PC5链路的拥塞以及空口与PC5接口之间流控和协同处理。此外,不同于传统的基站调度下的数据传输

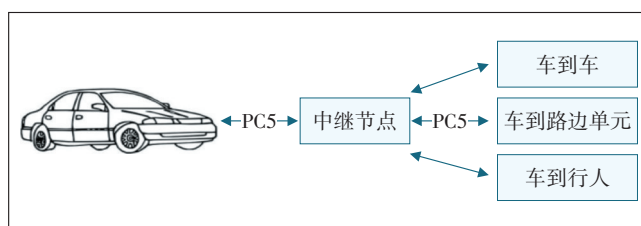


图7 5G-V2X Sidelink Relay场景

过程,流控技术主要关注下行拥塞的处理,在5G Sidelink Relay中,各个设备都是平等的进行数据发送和接收,因此无论是下行还是上行数据传输拥塞都需要有相应的流控处理,而现有的5G 3GPP已经标准化的流控技术中,上行拥塞处理仍是空白的,值得进行深入研究的技术点非常多。因此,在可预见的未来,对5G Sidelink Relay PC5流控的研究会在3GPP Release 17/18中进一步地展开。

## 5 总结和展望

5G“万物互联”的愿景已经逐渐落地并被规模化商用,成为势不可挡的大趋势。在5G丰富的应用场景中,通过引入中继节点实现大覆盖范围已成为一个优选项,本文介绍的IAB场景和V2X-Sidelink Relay场景就是比较好的例证。通过本文分析,在不同的接口上引入流控技术是提升数据传输吞吐量的关键技术,而有中继节点的场景则更离不开流控技术来解决广覆盖下的多跳数据传输拥塞问题。本文从流控技术在蜂窝移动通信系统中的背景展开,进一步分析了流控技术在3GPP 5G-NR网络中的处理机制以及在5G IAB网络中的应用增强。并基于现有流控中存在的局限性,提出流控技术在5G-IAB网络中因地制宜的增强方案。在未来5G-IAB及5G-Sidelink Relay场景或其他5G、6G场景中,流控技术还有很多的增强技术需要突破,如支持双向流控反馈机制、更细粒度或更粗粒度的流控反馈机制、更具代表性的流控反馈内容、基于定时流控触发机制、基于QoS的流控反馈机制等,这些方案都是未来研究中需要关注的内容。且随着场景的扩展和演进,会有更多更丰富的流控增强技术值得进一步去挖掘。

### 参考文献:

[1] Study on small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN; Higher layer aspects: 3GPP TR 36.842 [S/OL]. [2022-03-02]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2543>.

[2] LTE; Evolved universal terrestrial Radio access (E-UTRA) and evolved Universal terrestrial Radio access network (E-UTRAN); Overall description: 3GPP TS 36.300 [S/OL]. [2022-03-02]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2430>.

[3] Evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); X2 interface user plane protocol: 3GPP TS 36.425 [S/OL]. [2022-03-02]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2454>.

[4] 金易. 5G的商业革命[M]. 广州:广东经济出版社,2019.

[5] NG-RAN; Architecture description; 3GPP TS 38.401 [S/OL]. [2022-03-02]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3219>.

[6] 杨立,谢峰,高波. B5G毫米波通信无线接入网络的架构设计[J]. 移动通信,2020,44(8):21-27.

[7] 5G; NG-RAN; NR user plane protocol: 3GPP TS 38.425 [S/OL]. [2022-03-02]. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138400\\_138499/138425/16.01.00\\_60/ts\\_138425v160100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138400_138499/138425/16.01.00_60/ts_138425v160100p.pdf).

[8] 王映民,孙韶辉. 5G移动通信系统设计与标准详解[M]. 北京:人民邮电出版社,2020.

[9] NR; Study on integrated access and backhaul: 3GPP TR 38.874 [S/OL]. [2022-03-02]. <https://itectec.com/archive/3gpp-specification-tr-38-874/>.

[10] R2-1909623, Discussion on flow control in IAB [EB/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

[11] 5G; NR; Backhaul Adaptation Protocol (BAP) specification: 3GPP TS 38.340-g20 [S/OL]. [2022-03-02]. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138300\\_138399/138340/16.01.00\\_60/ts\\_138340v160100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138300_138399/138340/16.01.00_60/ts_138340v160100p.pdf).

[12] R3-201003, Enhancement to DDDS for E2E flow control in IAB [EB/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

[13] R3-200756, CP based E2E flow control for IAB [EB/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

[14] R2-2011061 Report from email discussion [Post111-e] [902] [eIAB] Enhancements to improve topology-wide fairness, multi-hop latency and congestion mitigation [EB/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

[15] Downlink End-to-End flow control in IAB networks: 3GPP TP 38.425 [S/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

[16] R3-200757, E2E flow control for IAB network [EB/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

[17] 杨立. 5G-NR蜂窝系统功能演进趋势分析[J]. 无线电通信技术, 2020,46(3):310-314.

[18] 陆建东. 5G重构未来[M]. 北京:北京大学出版社,2020.

[19] 杨立,赵亚军,方琰威. 从容量和覆盖升级到连接和品质——论未来无线技术的盈利拓展[J]. 信息技术,2020,14(6):57-62.

[20] RP-210904, New WID on NR sidelink relay [EB/OL]. [2022-03-02]. <https://www.3gpp.org/>.

### 作者简介:

王丽萍,毕业于武汉理工大学,工程师,硕士,主要研究方向为5G NR无线空口数据面传输技术、5G无线接入回传一体化技术、5G广播技术等;杨立,高级工程师,长期从事3GPP移动网络技术的标准化研究工作,涉及ICT生态战略、网络系统功能演进、节点功能&接口流程标准化、网络基于大数大维的智能化、卫星通信和垂直行业应用等;陈琳,毕业于上海交通大学,博士,主要从事空口接入层及网络架构的标准研究设计工作;何哲,毕业于华中科技大学,硕士,主要从事3G/4G/5G无线移动通信基站产品研发工作。