

5G 系统切换场景中的数据转发机制研究

黄增先

(锐捷网络股份有限公司, 福建 福州 350108)

摘要: 5G 系统切换场景中的实时性与数据转发性能直接关乎用户体验与网络服务质量。针对现有数据转发机制在切换过程中存在的高数据丢失率与高时延的问题, 提出了一种无损的数据转发与自适应配置机制。该机制通过优化源基站的数据发送缓存队列的转发处理逻辑, 并根据不同场景灵活选择配置策略, 实现了无损的数据转发。经实测验证, 使用该机制, 切换过程中数据丢失率降至 0%。

关键词: 5G 系统; 切换; 数据转发; 无损

中图分类号: TP391; TN929.5

文献标志码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2097-1788.2026.01.005

中文引用格式: 黄增先. 5G 系统切换场景中的数据转发机制研究 [J]. 网络安全与数据治理, 2026, 45(1): 29-34.

英文引用格式: Huang Zengxian. Study on data forwarding mechanism for handover scenarios in 5G systems [J]. Cyber Security and Data Governance, 2026, 45(1): 29-34.

Study on data forwarding mechanism for handover scenarios in 5G systems

Huang Zengxian

(Ruijie Network Co., Ltd., Fuzhou 350108, China)

Abstract: Real-time performance and data forwarding performance in 5G system handover scenarios directly impact user experience and network service quality. To address the issues of high data loss rate and high latency in existing data forwarding mechanisms during handover processes, this paper proposes a lossless data forwarding and adaptive configuration mechanism. The mechanism achieves lossless data forwarding by optimizing the forwarding processing logic of the data transmission buffer queue in the source base station and dynamically selecting configuration strategy based on different scenarios. Practical testing shows that with this mechanism, the data loss rate during handover is reduced to 0%.

Key words: 5G system; handover; data forwarding; lossless

0 引言

随着 5G 网络向高速率、低延迟、大连接的演进, 车联网、AR/VR、工业物联网等新兴应用对网络的实时性和可靠性提出了极致要求。然而, 5G 系统中终端的高移动性与网络的异构性, 导致终端需在不同厂商、不同类型的小区频繁切换, 切换过程中的基站间互操作兼容性与数据转发性能已成为制约用户体验的关键瓶颈^[1]。

为解决异构网络中不同厂商基站间的互操作兼容性问题, 切换过程中通常采用全量配置 (Full Configuration) 策略^[2]。具体而言, 目标基站通过全量配置流程, 先完全清空终端在源基站侧的配置信息 (如无线资源分配、QoS 参数等), 再重新加载自身的完整配置参数 (包括接入参数、安全上下文等)。这一方式可

从根本上规避因厂商间协议实现差异导致的互操作问题, 确保终端能顺利接入目标基站。然而, 全量配置虽有效解决了兼容性问题, 却引入了数据转发丢失的关键问题。在现有处理流程中, 源基站在收到目标站的全量配置后, 会立即停止向终端传输数据, 并丢弃缓存中未完成传输的下行数据分组。这种“一刀切”的处理方式, 导致切换过程中出现数据断流, 直接影响 5G 网络对高实时性应用的支持能力, 严重降低用户体验与网络可靠性。此外, 全量配置并非适用于所有场景, 比如站内切换的场景, 站内小区之间都是同厂商, 不存在互操作兼容性问题, 此时如果也采用全量配置的形式无疑是极大的逻辑浪费, 同时还会引入多余的时延, 因此站内切换的场景下通常使用增量配置的形式。

针对异构网络移动性挑战，现有研究主要聚焦移动性参数的自适应优化^[3-4]，虽显著提升了异构网络下的切换成功率，却未能解决数据转发丢失的核心缺陷。同时，切换配置领域研究主要集中于增量配置的实现机制^[5-6]，虽阐明了其实现细节，但仍缺失全量/增量配置的动态自适应机制。

针对全量配置策略下数据转发丢失这一核心痛点，本文聚焦 5G 网络全量配置切换场景中的数据转发问题，提出一种适配全量配置场景的无损数据转发机制。该机制通过优化源基站数据发送缓存队列的转发处理逻辑，实现全量配置切换场景下数据的无损转发。该机制的研究，有效解决了全量配置场景下“数据断流”的行业痛点，能够进一步提升网络服务质量并增强用户体验。针对站内切换场景使用全量配置会引入时延的问题，本文提出了一种增量配置与全量配置自适应的机制，该机制能够根据不同的场景灵活启用不同的配置。

1 5G 系统切换信令流程

- 如图 1 所示，5G 系统切换的信令流程如下：
- (1) 源基站通过向目标基站发送切换请求触发切换；
 - (2) 目标基站在接纳判决后确认源基站的切换；
 - (3) 在源基站收到目标基站的确认后，将缓存的

数据转发给目标基站，并通过空口发送带有目标小区配置信息的切换命令给终端；

- (4) 在应用了无线资源控制重配消息中的目标小区配置后，终端向目标小区发起随机接入，完成切换。

2 协议实体配置与数据转发

增量配置场景下，网络在切换过程中会根据无线承载类别对不同的协议实体执行不同的配置动作与不同的数据转发行为。具体而言，信令无线承载（Signalling Radio Bearer, SRB）无需进行数据转发，而数据无线承载（Data Radio Bearer, DRB）需要进行转发。具体的行为如表 1 所示，根据 3GPP 规范，SRB 相关的 PDCP（Packet Data Convergence Protocol，包数据聚合协议）实体重建，需要重置所有的状态变量并清空缓冲区；UM（Unacknowledged Mode）DRB 相关的 PDCP 实体重建需要重置所有的状态变量，但无需清空缓冲区；AM（Acknowledged Mode）DRB 相关的 PDCP 实体重建，所有的状态变量维持不变，且不清空缓冲区^[7-8]。

根据规范协议，在全量配置场景下终端将清空所有协议实体的配置、重置所有无线承载的状态变量并清空收发缓冲区队列，为了对齐终端的行为，源基站在收到目标站的全量配置后，同样会重置所有无线承载的状态变量并清空收发缓冲区队列，如果不做特殊处理会造成数据转发丢失^[9]。

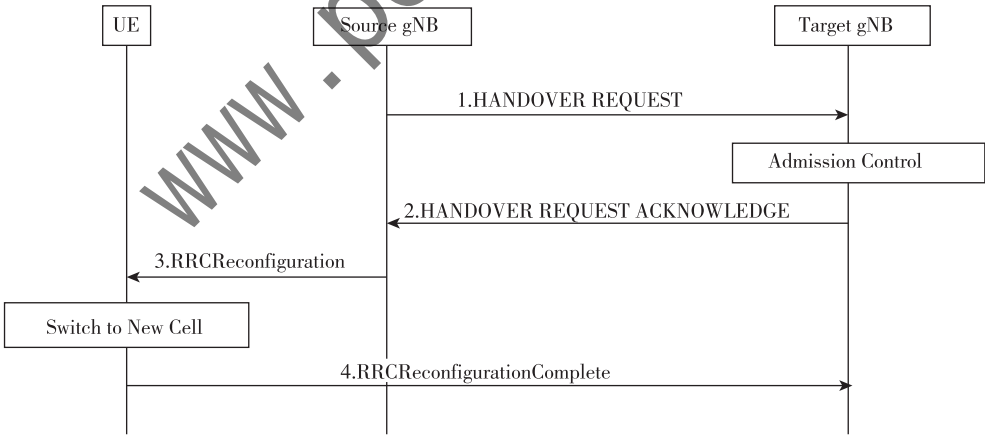


图 1 5G 系统切换信令示意图

表 1 切换配置下协议实体配置与数据转发

无线承载类别	配置形式	PDCP 配置	RLC 配置	MAC 配置	源基站是否转发数据
AM DRB	增量配置	重建立	重建立	重置	无损转发
	全量配置	全量刷新配置	全量刷新配置	全量刷新配置	不转发
UM DRB	增量配置	重建立	重建立	重置	无缝转发
	全量配置	全量刷新配置	全量刷新配置	全量刷新配置	不转发
SRB	增量配置	重建立	重建立	重置	不转发
	全量配置	全量刷新配置	全量刷新配置	全量刷新配置	

3 站内切换增量配置与数据转发

站内切换不涉及异厂商间的互操作，不存在兼容性问题，因此一般使用增量配置的形式进行切换，以加快切换的速度。但在 5G 新型网元架构下^[10-11]，只有集中单元（Central Unit, CU）可以感知到切换的场景，而分布式单元（Distributed Unit, DU）往往难以感知到切换场景，因此有必要进行针对性设计以让 DU 感知到是站内切换从而启用增量配置。站内切换的信令流程图如图 2 所示。具体流程如下：

（1）源 DU 将收到的测量报告转发给 CU；

（2）CU 向目标 DU 发送 UE（User Equipment）上下文建立请求消息，用于创建 UE 上下文并建立一个或多个数据承载；

（3）目标 DU 通过 UE 上下文建立响应消息回复 CU；

（4）CU 向源 DU 发送 UE 上下文修改请求消息，其中包含生成的 RRC 重配置消息，并指示停止该 UE 的数据传输；

（5）源 DU 将收到的 RRC 重配置消息转发给终端；

（6）终端根据配置接入到目标 DU。

目标 DU 通过图 3 流程来确认是否启用增量配

置。CU 单元感知到是站内切换的场景时，在给目标 DU 建立 UE 上下文的同时将源 DU 的配置信息下发给目标 DU，目标 DU 通过 UE 上下文信息中是否有携带源 DU 的配置来判断是否需要启用增量配置，即如果 UE 上下文中携带有源 DU 的配置信息，则目标 DU 在源 DU 配置的基础上执行增量配置，否则执行全量配置。

由于是同厂商并且是站内切换，采用增量配置的形式可以最大化保持源小区的配置，只需要做部分与目的小区强相关的配置更新，因此可以降低终端的配置时延。在数据转发处理上，由于站内切换场景下 CU 没有发生变更，因此只需在切换发起的同时停止 CU 下行数据转发并缓存住发送队列中的数据，在站内切换结束之后再启用下行数据发送，从而做到了数据的无损转发。

4 站间切换全量配置与数据转发

站间切换的信令流程图如图 4 所示。具体流程如下：

（1）源基站配置终端的测量流程，终端根据测量配置上报测量结果；

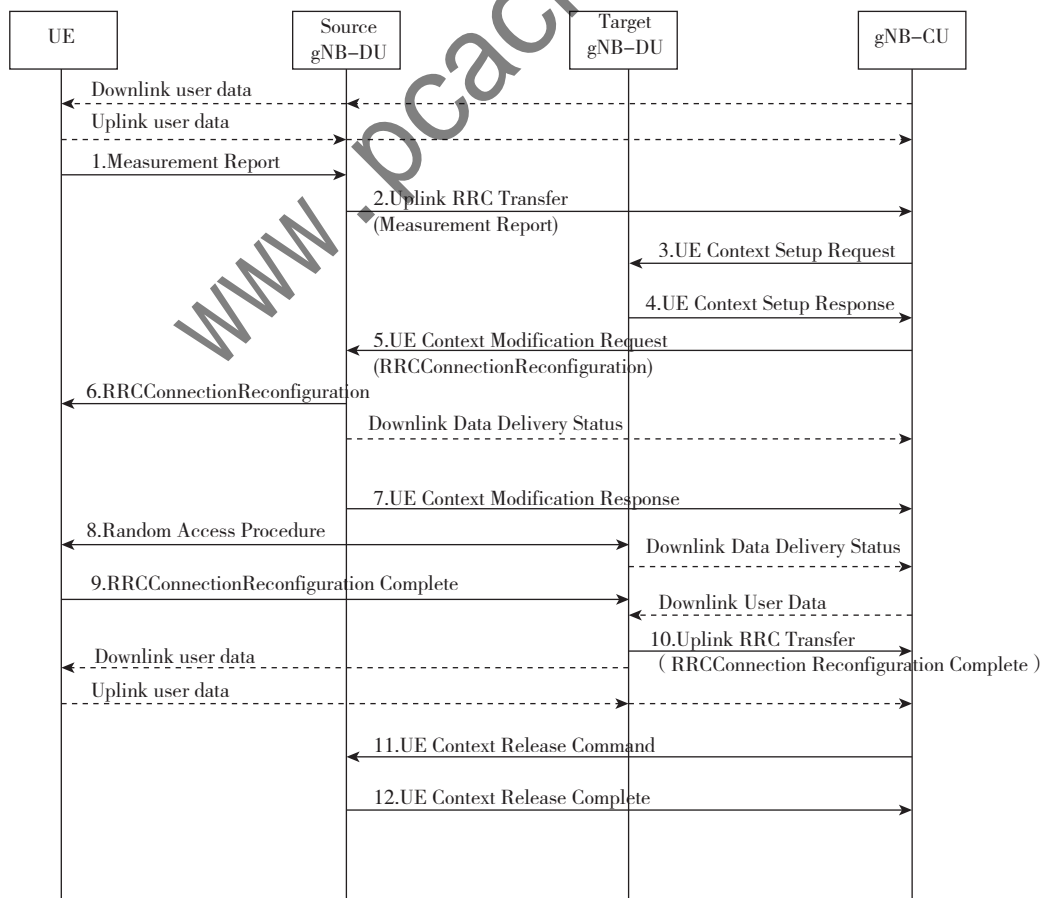


图2 5G 系统站内切换信令流程图

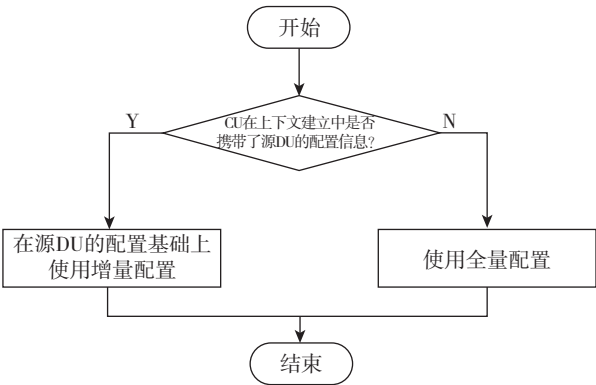


图3 5G系统站内切换增量配置启用判断流程图

- (2) 源基站基于测量报告决定执行切换；
- (3) 源基站向目标基站发送切换请求消息；
- (4) 目标基站执行准入控制；
- (5) 目标基站通过 L1/L2 进行切换准备，并向源

- 基站发送切换请求确认消息；
- (6) 源基站通过向终端发送 RRC 重配置消息触发空口切换；
- (7) 源基站向目标基站发送 SN 状态转移消息；
- (8) 终端与目标小区同步，并通过向目标基站发送 RRC 重配置完成消息结束 RRC 切换流程；
- (9) 目标基站向核心网发送路径切换请求消息，触发核心网将下行数据路径切换至目标基站；
- (10) 核心网将下行数据切换至目标基站；
- (11) 核心网通过路径切换请求确认消息响应步骤(9)的信令；
- (12) 目标基站收到核心网的路径切换请求确认后，发送 UE 上下文释放消息通知源基站切换成功。源基站随后可释放与 UE 上下文相关的无线资源及控制面资源，对于正在进行的数据转发可继续执行。

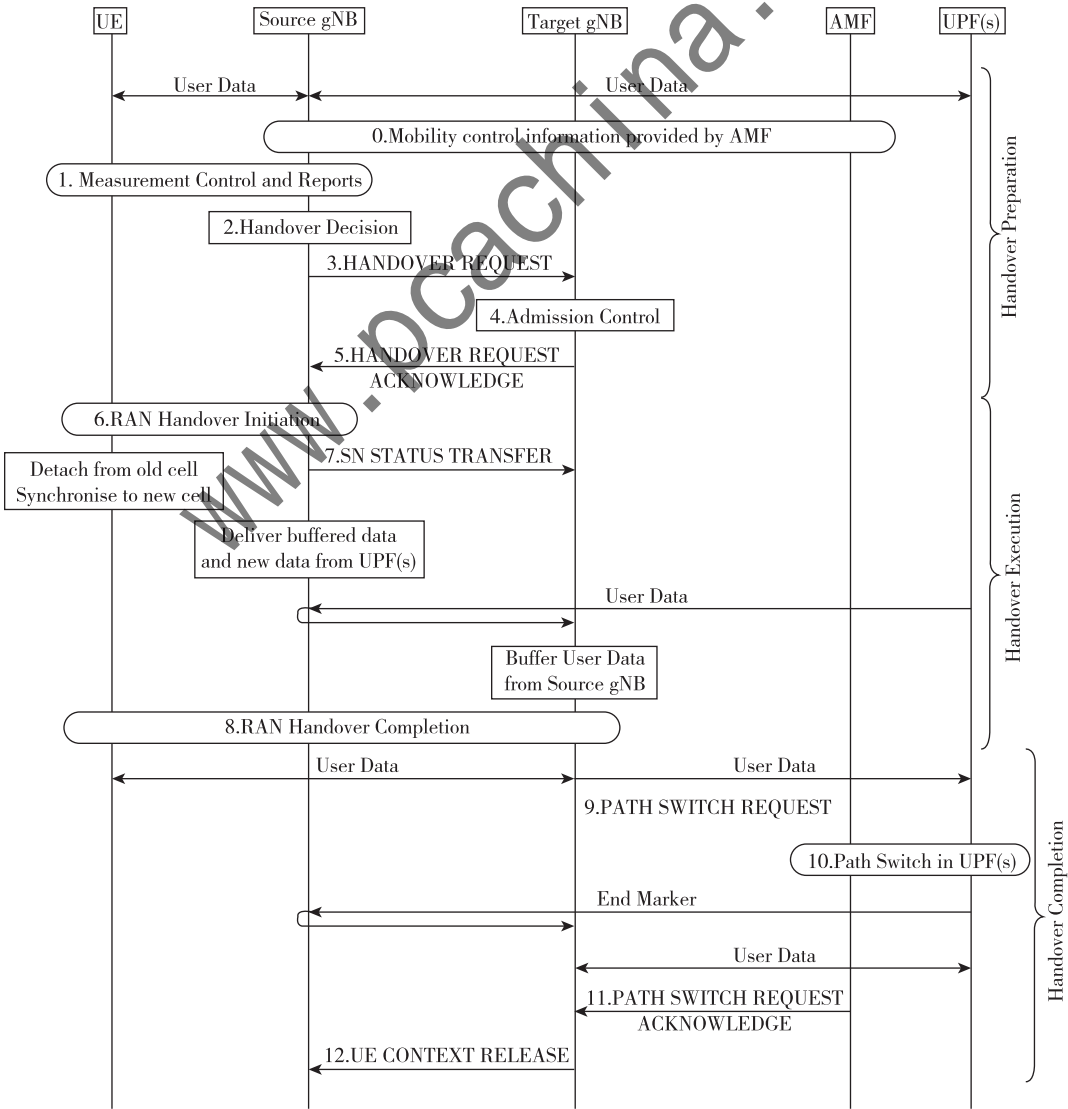


图4 5G系统站间切换信令流程图

根据前述, 全量配置场景下源基站会立即停止向终端传输数据, 并丢弃缓存中未完成传输的下行数据

分组, 这会造成数据转发损失, 因此有必要进行重新设计。全新设计的数据转发处理示意图如图 5 所示。

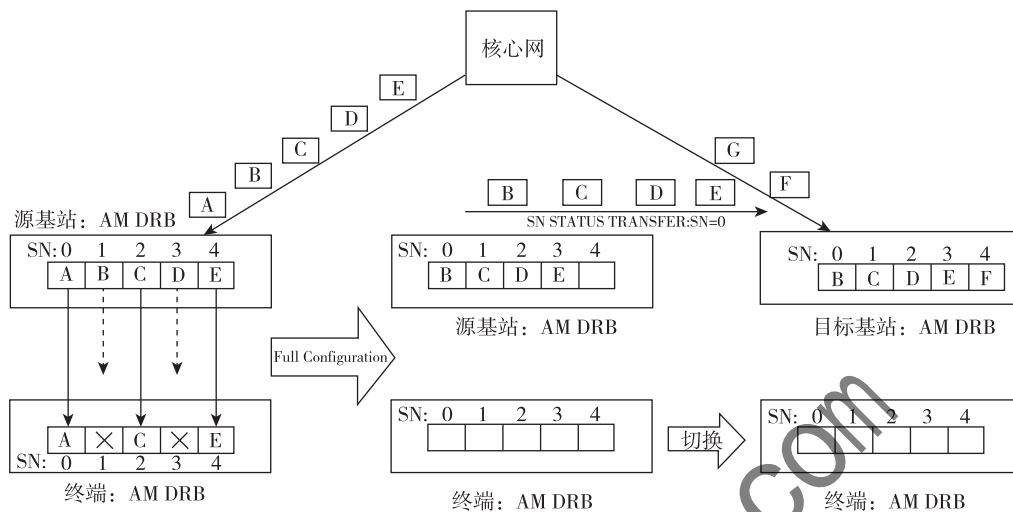


图 5 AM DRB 在全量配置下的数据转发示意图。

图 5 中数据转发处理的具体流程为:

(1) 源基站从核心网接收到数据 A、B、C、D、E, 在切换发起过程中 B 和 D 发送失败, A、C、E 发送成功;

(2) 源基站在全量配置情形下, 不清空发送缓冲区队列, 继续缓存 B、C、D、E (虽然 C 和 E 已经成功发送, 但为了最大化保障转发的数据序号连续, 避免产生序号间隙, 因此仍继续缓存), 同时重置 PDCP 相关的状态变量;

(3) 终端收到全量配置之后清空了接收队列, 并将 PDCP 的状态变量重置;

(4) 源基站将步骤 (2) 中缓存的数据 B、C、D、E 转发给目标基站, 由于终端已经将 PDCP 的状态变量重置, 且步骤 (2) 中源基站也已经将 PDCP 的状态变量重置, 因此需将 SN STATUS TRANSFER 与状态变量相关的数值设置为 0;

(5) UE 切换到目标基站之后, 目标基站继续将 B、C、D、E 转发给终端, 从而实现全量配置下的数据无损转发。

在上述机制下, 源基站没有清空发送缓冲区, 但为了最大化保持 PDCP 相关的状态变量与终端的状态变量同步, 因此将 PDCP 相关的状态变量重置。在数据处理上, 虽然 C 和 E 已经成功发送, 按照规范此时应该释放 C 和 E, 但为了最大化保障原始数据无损且按序投递, 因此在实现上仍旧缓存住 C 和 E, 在后续数据转发的过程中也一并将 C 和 E 转发给目的站, 从

机制上保障了全量配置情形下也能实现数据的无损。

5 验证结果

表 2 为增量配置与全量配置的切换时延比较, 增量配置对比于全量配置, 在时延上优化了 50% 左右。由此可见增量配置极大缩短了切换时延, 优化了用户体验。

表 2 增量配置与全量配置切换时延比较 (ms)

实验	全量配置时延	增量配置时延
1	62.23	31.59
2	63.33	33.4
3	60.58	30.83
4	61.32	32.12
5	62.11	34.11

由表 3 可知, 保持终端 Ping 业务在不同点位不同报文长度下来回切换, 没有出现丢包, Ping 包成功率 100%, 由此可见切换过程中没有数据损失。

表 3 不同点位下带业务切换实验结果

点位	Ping 包大小/B	Ping 次数	Ping 成功率/%
好点	32	20	100
好点	2 000	20	100
中点	32	20	100
中点	2 000	20	100
差点	32	20	100
差点	2 000	20	100

注: 好点: $-80 \text{ dBm} \leq \text{SS-RSRP} < -70 \text{ dBm}$ 且 $15 \text{ dB} \leq \text{SS-SINR} < 20 \text{ dB}$; 中点: $-95 \text{ dBm} \leq \text{SS-RSRP} < -80 \text{ dBm}$ 且 $-5 \text{ dB} \leq \text{SS-SINR} < 10 \text{ dB}$; 差点: $-110 \text{ dBm} \leq \text{SS-RSRP} < -95 \text{ dBm}$ 且 $-10 \text{ dB} \leq \text{SS-SINR} < -5 \text{ dB}$

6 结论

本文针对 5G 切换场景中全量配置导致的数据断流、增量配置的场景适配不足等问题,提出了无损数据转发机制与自适应配置策略,通过优化源基站缓存逻辑与场景智能决策,实现了切换过程中的无损传输与配置效率平衡。

参考文献

[1] TASHAN W, SHAYEA I, ALDIRMAZ-COLAK S, et al. Mobility robustness optimization in future mobile heterogeneous networks: a survey [J]. IEEE Access, 2022, 10: 45522 – 45541.

[2] GUO H, ZHAO X, CAI B, et al. Research on handover technology in 5G NSA and SA hybrid network [C]//2022 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2022: 1 – 5.

[3] MBULWA A I, YEW H T, CHEKIMA A. et al. Handover performance analysis in 5G ultra-dense networks using self-optimizing hysteresis and time-to-trigger [C]//2024 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), 2024: 352 – 357.

[4] ZHANG Y, DENG R H, BERTINO E, et al. Robust and universal seamless handover authentication in 5G HetNets [J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2021, 18 (2): 858 – 874.

[5] 瑞典爱立信有限公司. 拆分 CU – DU RAN 架构中的增量配置: CN201880086189.7 [P]. 2024 – 02 – 06.

[6] 张子扬. 5G 异构网络中终端越区切换与接入算法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2022.

[7] 3GPP. Radio Resource Control (RRC) protocol specification: TS 38. 331 [S]. 2024.

[8] 3GPP. Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification: TS 38. 323 [S]. 2024.

[9] 3GPP. NR and NG-RAN overall description: TS 38. 300 [S]. 2024.

[10] 3GPP. Architecture description: TS 38. 401 [S]. 2024.

[11] 3GPP. System architecture for the 5G system: TS 23. 501 [S]. 2024.

(收稿日期: 2025 – 09 – 06)

作者简介:

黄增先 (1990 –), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 5G 通信系统。

版权声明

凡《网络安全与数据治理》录用的文章，如作者没有关于汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权等版权的特殊声明，即视作该文章署名作者同意将该文章的汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权授予本刊，本刊有权授权本刊合作数据库、合作媒体等合作伙伴使用。同时，本刊支付的稿酬已包含上述使用的费用，特此声明。

《网络安全与数据治理》编辑部

www.pcachina.com