

5G 核心网健壮性创新技术研究

Research on Robustness Innovation Technology of 5G Core Network

张晨, 韦国锐(中国联通广东分公司, 广东 广州 510623)

Zhang Chen, Wei Guorui (China Unicom Guangdong Branch, Guangzhou 510623, China)

摘要:

通过增强5G核心网网元功能, 有效提高网络中网元的稳定性、业务连续性以及应急响应能力, 构建健壮性5G网络。重点针对SMF无损升级、AMF动态流控和UDM Bypass 3个增强功能展开研究, 基于实验数据进行分析论证。初步验证了以上3个功能的可行性与有效性, 为进一步在现网测试及正式上线提供参考。

关键词:

5G核心网; 增强功能; SMF无损升级; AMF动态流控; UDM Bypass

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.04.003

文章编号: 1007-3043(2025)04-0013-06

中图分类号: TN915

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

By enhancing the functions of 5G core network, the stability, business continuity and emergency response ability of the network are effectively improved, and a robust 5G network is constructed. The research focuses on three enhanced functions: SMF lossless upgrade, AMF dynamic flow control and UDM Bypass, and the analysis and demonstration are carried out based on experimental data. The feasibility and effectiveness of the above three functions are preliminarily verified, which provides a reference for further testing and official online of the live network.

Keywords:

5G core network; Enhanced function; SMF lossless upgrade; AMF dynamic flow control; UDM Bypass

引用格式: 张晨, 韦国锐. 5G核心网健壮性创新技术研究[J]. 邮电设计技术, 2025(4): 13-18.

0 引言

随着通信网络的IP化和云化演进, 5G多样化的业务需求和极致的能力指标要求给网络带来了严峻的挑战^[1], 网络故障的影响范围扩大。当发生网络故障时, 故障点可能对大量用户业务形成“堰塞湖”效应, 并在故障解除时触发瞬间的信令冲击。当网元进行升级时也会导致业务中断。为了降低网络故障、网元升级的影响, 减少信令风暴的产生, 助力5G核心网向开放、高效、简约、智能的方向演进^[2], 本文针对SMF

无损升级、AMF动态流控和UDM Bypass 3个增强功能展开研究, 并基于实验数据进行分析论证。

1 理论分析与解决方案

1.1 相关概念

1.1.1 5G核心网

作为移动通信网络的核心部分, 核心网主要负责处理终端用户的移动性管理、会话管理及数据传输功能。5G核心网采用服务化架构设计, 实现用户面和控制面的分离, 提高网络的灵活性、可扩展性和可靠性^[3], 同时降低了网络复杂性和运维成本。5G核心网还支持网络切片、边缘计算等先进技术, 以满足不同

收稿日期: 2025-03-17

业务场景的需求^[4]。

1.1.2 相关网元

相关网元包括接入与移动性管理功能(Access Mobility Management Function, AMF)网元、会话管理功能(Session Management Function, SMF)网元和统一数据管理(Unified Data Management, UDM)网元。AMF是5G核心网中的功能网元,负责从用户设备(UE)侧接收所有连接和会话相关信息,处理连接和移动管理任务,并转发与会话管理相关的所有消息^[5];SMF是5G核心网中进行会话管理的功能网元,负责与分离的数据面交互,创建、更新和删除分组数据单元(PDU)会话,并管理与用户平面功能(UPF)的会话环境;UDM是5G核心网中完成统一数据管理的功能网元,负责用户标识、签约数据、鉴权数据的管理、用户的服务网元注册管理。

1.2 现网问题分析

1.2.1 网元升级导致业务中断

以往对现网网元进行升级时,均采用整局升级、整局重启的方法,无过渡阶段,存在较大风险。以SMF为例,人网侧SMF在升级时需要卸载用户,业务会短期中断,在网元完成升级后,用户重新上线;物网侧SMF升级完成后需要人工干预,用户才能重新上线。整局升级的方法升级时间较短,却面临较大风险,卸载用户和用户重新上线都会对其他网元造成性能冲击,会产生大量告警,对运维人员的维护及监控工作造成干扰。

1.2.2 静态流控策略难以应对信令风暴

网络异常或者容灾切换时,会产生信令风暴,正

常用户无法接入,且网络恢复缓慢,带来极差的用户体验;在极端场景下,还会导致大规模长时间的网络中断,对社会生活造成恶劣影响,导致无法挽回的经济损失。

1.2.3 统一数据管理应急响应机制不完善

在与AMF对接的所有UDM全部故障的极端场景下(例如链路不通或者UDM本身故障),该区域下用户业务将大范围受损。如果短时间无法恢复,会造成大量用户无法接入网络,极大影响现网用户体验。

1.3 创新解决方案

1.3.1 SMF无损升级

借鉴蓝绿部署的方法,利用虚拟化的优势,从当前局切分一半的VM资源建立新版本的局。2个局完全隔离,有独立的版本。局间的用户数据由2个局的内容上下文数据库(Context Database, CDB)完成同步。网元管理系统(Element Management System, EMS)和虚拟化网络功能管理器(Virtualized Network Function Manager, VNFM)同时只看到1个局点,升级工具可以见到2个局点,方案示意如图1所示。

无损升级功能使整个升级过程中用户无感知,相比传统升级方式减少了人工干预和业务影响,二者的对比如下。

a) 人网用户感受。无损升级方式用户无感知。普通升级方式需要卸载用户,业务短期中断后,用户需要重新上线。

b) 对物网设备的影响。无损升级方式不踢用户下线,对于需要人工干预才能重新上线的设备不再需要人工干预。而普通升级方式需要人工干预才能重

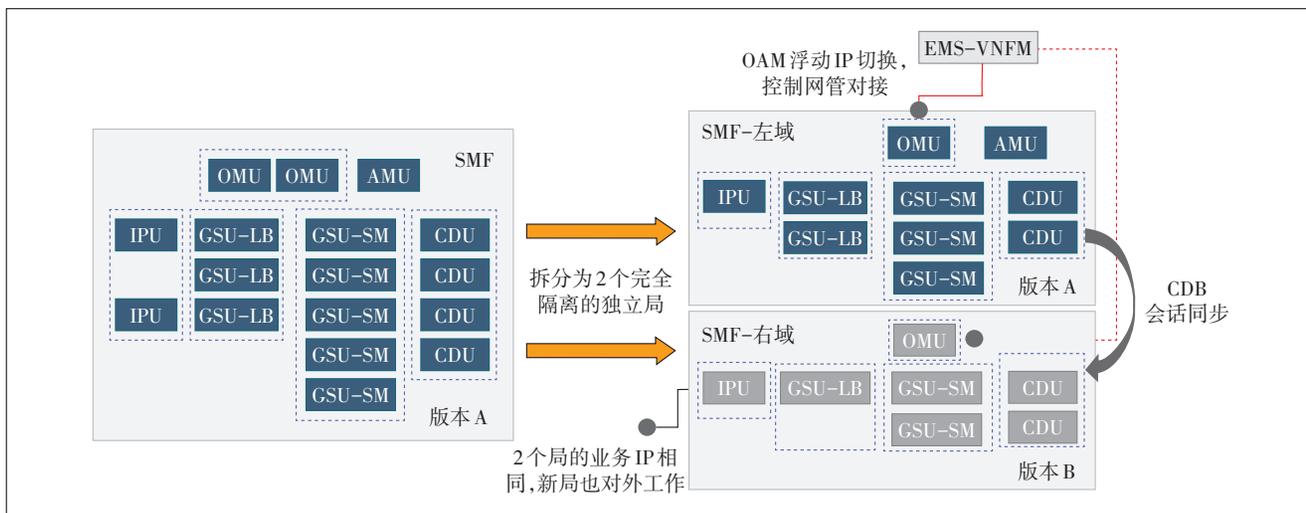


图1 SMF无损升级方案示意

新上线。

c) 风险。无损升级采用左右域分别升级, 逐步重启, 双域并行运行, 风险小。普通升级是整局升级, 整局重启, 无过渡阶段, 风险大。

d) 对周边网元的影响。无损升级方式无话务冲击, 无大量重启、断链告警。普通升级中卸载用户和用户重新上线都会对其他网元造成性能冲击, 会产生大量告警, 对运维及监控工作带来困扰。

e) 升级时间。无损升级时间较长, 普通升级时间较短。现网百万级用户 SMF 进行普通升级, 耗时约 1 h。根据本测试, 在模拟 16 个用户上线的情景下, 完

成无损升级耗时约 1 h。而升级时长并不随用户数呈简单的线性增长趋势, 现网无损升级时间需要以现网实际情况为准。

1.3.2 AMF 动态流控

AMF 动态流控是指在 AMF 周边网元 (AUSF/UDM/PCF/SMSF/SMF/NSSF) 存在过载风险时, AMF 根据周边网元返回的响应消息, 计算到周边网元的业务成功率, 判断周边网元拥塞程度, 通过自动调节 N2 口的注册和业务请求的接入速率等, 减少到周边网元的信令, 控制向周边网元放通的业务数, 最终达到保护周边网元的目的 (见图 2)。

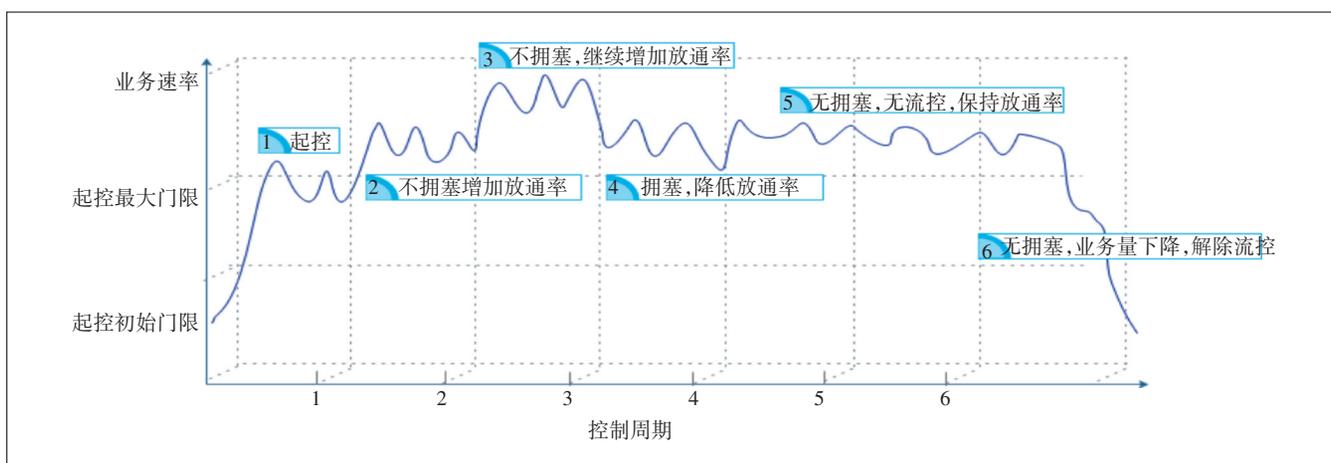


图2 AMF 动态流控原理示意

在系统升级重启、重大节假日活动、容灾、周边网元故障等情况下, 大量用户短时间内接入到 AMF, 导致 AMF 各周边接口网元的请求消息快速增加, 可能会导致接口拥塞或周边网元设备过载。为了保证周边网元安全以及用户接入成功率和接续时长, 通过动态流控功能, 自动调节 N2 接口的初次接入本局业务 (包括初始注册, GUTI 号码非本局的注册, 业务请求) 的接入速率, 从而避免周边接口拥塞或网元过载。以保护 UDM/AUSF 为例, AMF 动态流控方案和流程如图 3 和图 4 所示。

a) 由于系统升级或异常重启、重大节假日等场景, 大量用户发起到新 AMF 的重选接入。

b) AMF 接收大量非本局的业务, 即初次接入本局业务 (包括初始注册、GUTI 号码非本局的注册和业务请求), 导致业务速率达到动态流控的起控初始门限, AMF 开始判断周边网元处理能力, 并进行如下处理。

(a) 周边网元业务成功率低于门限, 开始动态流控, 限制部分用户接入, 防止周边网元拥塞过载。

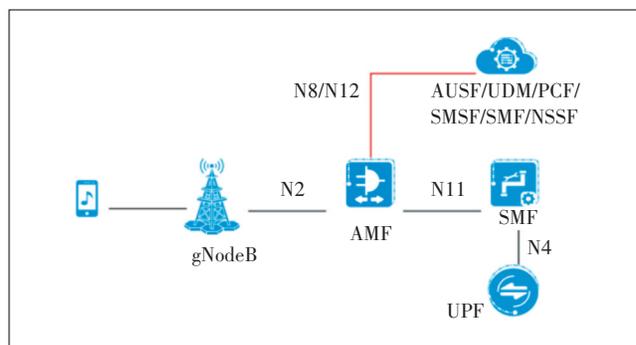


图3 AMF 动态流控方案示意

(b) 周边网元业务成功率高于门限, 不限制用户接入, 随着业务量上升, 超过系统允许的起控最大门限, 则开始限制超过门限的用户接入, 将业务放通率控制在一定范围之内, 防止周边网元拥塞。

c) 对于被限制接入的初次接入本局的业务 (包括初始注册、GUTI 号码非本局的注册和业务请求), 系统根据配置策略选择丢弃或拒绝。

d) 允许通过的业务, 则被系统按标准流程正常处

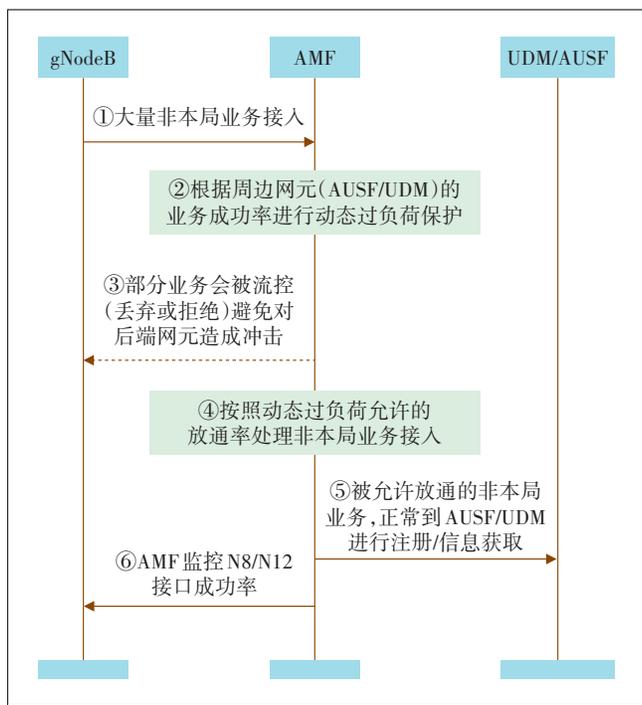


图4 AMF动态流控流程

理。

e) 被允许放通的非本局业务,正常到 AUSF/UDM 进行注册/信息获取。

f) AMF 继续监控 N8、N12 接口的成功率,用于下一周期的判断。

1.3.3 UDM Bypass

如图5所示,UDM Bypass 主要指 UDM 全部故障的极端场景下,最大程度保证数据业务惯性运行。AMF 支持 UDM Bypass 是指当与 AMF 对接的所有 UDM 均故障时,AMF 使用本地保存的安全上下文进行完整性校验,实现本地鉴权,或者使用本地保存的签约数据或本地配置的最小签约数据,完成移动性管理和会话管理流程,最大程度保证用户数据业务惯性可用、业务不受影响。

1.3.3.1 检测故障后判断触发 UDM Bypass 状态

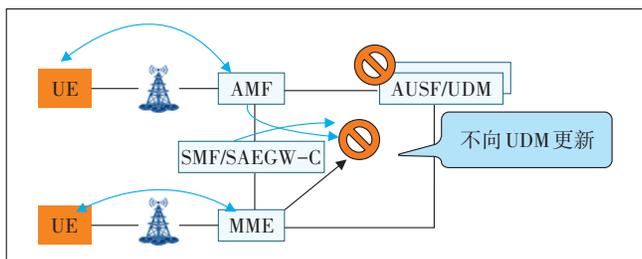


图5 UDM Bypass 方案示意

AMF 支持如下方式自动检测 UDM 是否出现了故障。

a) 向 NRF 订阅 UDM 状态通知。

b) 进行本地 NF 链路检测。

c) 根据响应的状态码以及本地策略,判断 UDM 是否故障。

d) 等待 UDM 响应超时,依据本地策略判断 UDM 是否故障。

AMF 支持手动配置故障 UDM 列表,当检测到 UDM 全故障后,AMF 使用本地缓存的签约或者本地配置的签约数据,继续用户的信令业务,并触发用户进入 UDM Bypass 状态,跳过和 UDM 的交互过程。

1.3.3.2 故障恢复后用户重新上线

AMF 可通过如下方式探测 UDM 是否已恢复。

a) 向 NRF 订阅 UDM 状态通知。

b) 进行本地 NF 链路检测。

c) 根据 SCP 返回的状态码以及本地策略,判断 UDM 是否全故障。

当 AMF 检测到 UDM 故障恢复后,触发用户下线,或者在后续用户发起信令业务时通过拒绝信令业务,触发用户重新注册。在重新注册流程中,AMF 重新向 UDM 请求签约数据、注册以及订阅。

2 实验论证

实验论证采用真实网元和模拟网元搭建环境,利用现网资源池的虚拟资源构建部分真实网元,利用网元模拟工具 TNF 模拟部分设备及终端用户。使用的虚拟机资源如表1所示。

表1 测试环境虚拟机资源列表

| 网元 | AMF | | SMF | | UDM | | TNF | |
|-----|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| | VM count | vCPU |
| OMU | 3 | 24 | 2 | 16 | 2 | 16 | 1 | 4 |
| CDU | 2 | 8 | 2 | 8 | 7 | 40 | - | - |
| GSU | 16 | 128 | 8 | 48 | 4 | 32 | - | - |
| IPU | 2 | 16 | 2 | 16 | 2 | 8 | - | - |
| AMU | - | - | 1 | 8 | 1 | 8 | - | - |
| IAU | 2 | 8 | 2 | 8 | - | - | - | - |
| PFU | - | - | - | - | - | - | 1 | 2 |
| 总计 | 25 | 184 | 17 | 104 | 16 | 104 | 2 | 6 |

2.1 SMF 无损升级

在网元的传统升级过程中,需要将被升级网元的

用户迁出到其他备份网元,待升级完成后,再将迁出的用户重新迁入到本网元。整个升级过程相当于进行了一次网元级别容灾倒换,无法做到业务无损。无损升级方案可以在保证业务无损的前提下控制升级业务虚机比例和会话数,在验证业务功能正常后将网元全部虚机升级到目标版本。相比传统升级模式,无损升级不会消耗更多的资源,同时提高了网络升级时的安全性。

2.1.1 测试环境

在实验环境下进行各场景的验证测试,记录测试结果、升级时长和升级期间对业务的影响等数据。实验环境如下:使用真实的AMF、SMF、UDM、UPF进行测试,采用TNF模拟UE、RAN。采用手动升级方式,手动TNF跑上线流程。在拨测前上线16个用户,拨测3个用户。

零点开始进行升级操作。监测指标包括监控大屏监控会话数、激活成功率、CPU平均利用率。

2.1.2 测试手段

测试场景1(模拟升级完成):无损升级拨测+无损升级完成;包括将目标版本包上传到EM软件仓库、创建网元级无损升级任务、执行升级。

测试场景2(模拟升级失败场景):无损升级拨测+人工触发无损升级回退(拨测时);包括将目标版本包上传到EM软件仓库,创建网元级无损升级任务,执行升级直到拨测步骤,执行回退等操作。

2.1.3 测试结果

2.1.3.1 无损升级拨测+升级完成

在升级前,执行拨测,拨测用户全部可成功接入到最新版本;升级期间,通过监控大屏观察虚机资源迁移情况以及新、老版本业务KPI指标(业务成功率、会话数)和CPU利用率;升级完成后,通过监控大屏观察到新版本承担100%的业务(会话数),老版本不再承担业务(会话数)。

2.1.3.2 无损升级拨测+人工触发无损升级回退

创建升级任务后,首先执行升级前检查,执行拨测,假设拨测失败,并回退到老版本。回退完成后,新接入业务能够被成功处理。

2.2 AMF动态流控

本实验中的AMF动态流控功能研究是基于保护UDM的机制展开的。在一个评判周期内,当AMF收包速率达到某一阈值,或N8和N12接口消息的成功率低到一定程度时,将反压入向收包,通过限制入向报

文放通量的方式降低向UDM发送的请求数,从而达到降低UDM负荷,保护UDM的作用。

进入流控的条件阈值有2种配置方式,一种是人工静态配置,一种是动态自动学习;进入流控状态后,会再根据每个评判周期内的成功率,以固定步长或动态二分法方式,对放通量进行调整,低于起控成功率(默认80%)时调低放通量,高于目标成功率(默认90%)时调高放通量,在二者之间时不调整放通量。本文以静态配置+动态二分法方式为例进行说明。

动态二分法与传统二分法的区别在于,动态二分法的取值是经过一套保护性算法得来的。考虑到传统二分法过于简单,粗暴的流控策略可能带来流控效果不佳,甚至造成负面影响的反作用,保护性算法会根据上一个周期的放通量、成功率等指标,叠加前几期放通量的上升下降趋势,计算得出当期放通量的高值和低值,将高值与低值加总取平均值得到动态二分的参数数值。

2.2.1 测试环境

使用TNF工具模拟UE和RAN,其他网元使用真实网元,循环执行初始注册及去注册流程。通过调整TNF工具打流速度及构造UDM过负荷等,实现N8/N12成功率变化,触发AMF流控功能。

2.2.2 测试手段

为了增加N8/N12消息数量,在AMF上关闭去注册保留上下文功能;为了方便触发,可以采用关闭虚机、闭塞服务组件(Service Component, SC)等手段,在AMF、UDM上只保留少量SC承载业务;UDM流控构造方法:全局CPU过负荷或者针对某种消息限速。

2.2.3 测试结果

如表2所示,当成功率满足小于等于80%的条件时,使用动态二分法调低通过量,50→32;当成功率保持在80%~90%时,不进行调整;当成功率满足大于等于90%时,使用动态二分法调高通过量,32→41→45;若持续多个周期内初始业务请求数量大于周期允许通过速率,则处于流控状态中;若持续多个周期内初始业务请求数量小于周期允许通过速率,且周期允许通过速率等于初始限制接入速率,可以认为当前不处于流控状态。

2.3 UDM Bypass

当UDM全部故障时,AMF/SMF通过保存的安全上下文完成终端认证免鉴权,使用缓存的签约数据,完成注册;使用老侧签约、免更新位置,完成移动性流

表2 AMF动态流控效果

| 周期开始时间 | 评判周期/s | 触发拥塞的接入业务通过数量 | 初始限制的接入业务最大数量 | 触发提升通过业务数量的业务成功率/% | 周期内初始业务每秒请求数 | 周期内每秒允许通过速率 | 发出到UDM的请求数 | 收到的UDM成功响应数 | 收到的UDM失败响应应当做成功响应的数量 | 发送给UDM的请求消息的成功率/% |
|---------------------|--------|---------------|---------------|--------------------|--------------|-------------|------------|-------------|----------------------|-------------------|
| 2023-07-06 16:20:54 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 45 | 144 | 127 | 0 | 88 |
| 2023-07-06 16:20:51 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 45 | 133 | 120 | 0 | 90 |
| 2023-07-06 16:20:48 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 41 | 121 | 109 | 0 | 90 |
| 2023-07-06 16:20:45 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 32 | 131 | 112 | 0 | 85 |
| 2023-07-06 16:20:42 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 32 | 144 | 118 | 0 | 81 |
| 2023-07-06 16:20:39 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 32 | 163 | 132 | 0 | 80 |
| 2023-07-06 16:20:36 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 50 | 177 | 149 | 0 | 84 |
| 2023-07-06 16:20:33 | 9 | 15 | 50 | 90 | 50 | 50 | 184 | 164 | 0 | 89 |
| 2023-07-06 16:20:30 | 9 | 15 | 50 | 90 | 40 | 50 | 152 | 142 | 0 | 93 |
| 2023-07-06 16:20:27 | 9 | 15 | 50 | 90 | 23 | 50 | 87 | 84 | 0 | 96 |
| 2023-07-06 16:20:24 | 9 | 15 | 50 | 90 | 7 | 50 | 26 | 26 | 0 | 100 |
| 2023-07-06 16:20:21 | 9 | 15 | 50 | 90 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2023-07-06 16:20:18 | 9 | 15 | 50 | 90 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2023-07-06 16:20:15 | 9 | 15 | 50 | 90 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |

程,最大程度保证用户数据业务惯性可用。本次测试主要对UDM Bypass功能进行验证。

2.3.1 测试环境

核心网侧设备包括AMF/MME、SMF/GW-C、UPF/GW-U、UDM/AUSF/HSS,全部采用真实网元(未带现网用户),并使用现网承载。5G基站及5G SA终端通过TNF进行模拟。

2.3.2 测试手段

UDM双故障下,用户移动注册更新成功,GUTI初始注册和会话激活成功;UDM故障恢复后,AMF支持强制用户下线退出UDM Bypass状态。

2.3.3 测试结果

未开启UDM Bypass时,由于AMF无法从AUSF获取鉴权数据,新用户接入失败;开启UDM Bypass时,AMF探测到AUSF/UDM双故障后,判定用户进入UDM Bypass状态;用户移动注册更新流程成功;用户PDU激活会话不受影响,数据业务正常。

UDM故障恢复后,AMF支持强制用户下线退出UDM Bypass状态。当AMF扫描到用户后,寻呼用户并发起去注册流程;在AMF上查询用户上下文,用户退出UDM Bypass状态。

3 结束语

通过应用SMF无损升级、AMF动态流控、UDM Bypass逃生等新技术,增强核心网网元功能、提升网络健

壮性,由此降低网络升级和故障的影响、减少信令风暴的产生,有助于保障通信网络的稳定运行,提高网络可靠性、性能和安全性。测试结果表明:SMF无损升级、AMF动态流控、UDM Bypass等新技术完全具备优化传统升级、流控、故障处理模式的能力,为现网运维操作提供更简洁、更智能、更人性化的升级模式,标志着一个运维新时代即将到来。

参考文献:

- [1] 马洪源,肖子玉,卜忠贵,等.面向5G的核心网演进[J].电信科学,2019,35(9):135-143.
- [2] 杨炼,王悦,蒲浩杰,等.5G核心网关键技术与网络云化部署[M].北京:人民邮电出版社,2022:101-104.
- [3] 陈俊杰,李洪均,曹张华.性能感知的核心网控制面资源分配算法[J].浙江大学学报(工学版),2021,55(9):1782-1787.
- [4] 江小平.基于智慧家庭应用的组网方案[J].物联网技术,2021,11(1):39-41.
- [5] 戴翰,黄俊文,岑加文等.5G终端用户面IP地址分配技术分析[J].广播电视网络,2021,28(10):70-72.

作者简介:

张晨,工程师,硕士,主要从事移动通信网络维护优化工作;韦国锐,工程师,硕士,主要从事移动通信网络维护优化管理工作。

