

5G核心网网络 健壮性增强方案研究

Research on Network Robustness Enhancement Scheme for 5G Core Network

张欣¹, 朱晓林¹, 滕佳欣¹, 刘凡栋² (1. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)

Zhang Xin¹, Zhu Xiaolin¹, Teng Jiaxin¹, Liu Fandong² (1. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

网络故障容易引起信令风暴, 进而对网络的稳定运行造成冲击。通过增强 5GC 网元功能可降低网络故障的影响、减少信令风暴的产生, 提升网络健壮性。重点研究了 AMF 主备网元用户动态数据热备和 5GC 免 UDM 惯性运行增强功能, 并基于实验室环境进行了测试验证。初步验证了该功能的有效性和可行性, 为进一步开展现网测试验证提供了参考依据。

关键词:

5GC; AMF 用户动态数据热备; 免 UDM 惯性运行
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.05.011
文章编号: 1007-3043(2023)05-0064-07
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:

Network failures easily cause signaling storm and affect the stability of network. By enhancing the capabilities of 5GC functions, it can reduce the influence of network failures and the occurrence of signaling storm and improve network robustness. It focuses on user dynamic data hot standby on master/slave AMF and UDM bypass, and tests the solution with laboratory environment. These experiments preliminarily verify the validity and feasibility of the proposed solution, and provide reference for the future tests on existing network.

Keywords:

5GC; AMF SET; UDM bypass

引用格式: 张欣, 朱晓林, 滕佳欣, 等. 5G核心网网络健壮性增强方案研究[J]. 邮电设计技术, 2023(5): 64-70.

0 引言

随着通信网络的 IP 化和云化演进, 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。为了降低网络故障的影响、减少信令风暴的产生, 需进一步增强网元功能, 提升网络健壮性。本文主要对 AMF 主备网元用户动态数据热备功能和 5GC 免 UDM 惯性运行功能进行研究, 提出 5GC 网元功能增强方案。

收稿日期: 2023-03-22

1 网络功能增强解决方案

1.1 AMF 主备网元用户动态数据热备功能

AMF 主备网元之间保持用户动态数据的同步, 发生主备倒换后, 备用网元有用户动态数据, 用户无需重新注册, 无注册浪涌信令, 减少对各网元的信令冲击。

正常工作状态, AMF 将用户上下文状态数据同时保存到其备份 AMF 中。当 AMF 故障后, 周边网元把用户消息发送给备份 AMF, 备份 AMF 查询用户上下文状态数据, 继续处理用户业务流程, 从而保障了业务连续性。同时, 由于 UE 不用重新注册就能使业务继

续,无注册浪涌信令,减少了对各网元的信令冲击。
周边网元发送至AMF的消息包括从RAN发起和

其他5GC网元发起2类,其中RAN侧主动发起的业务流程如图1所示。

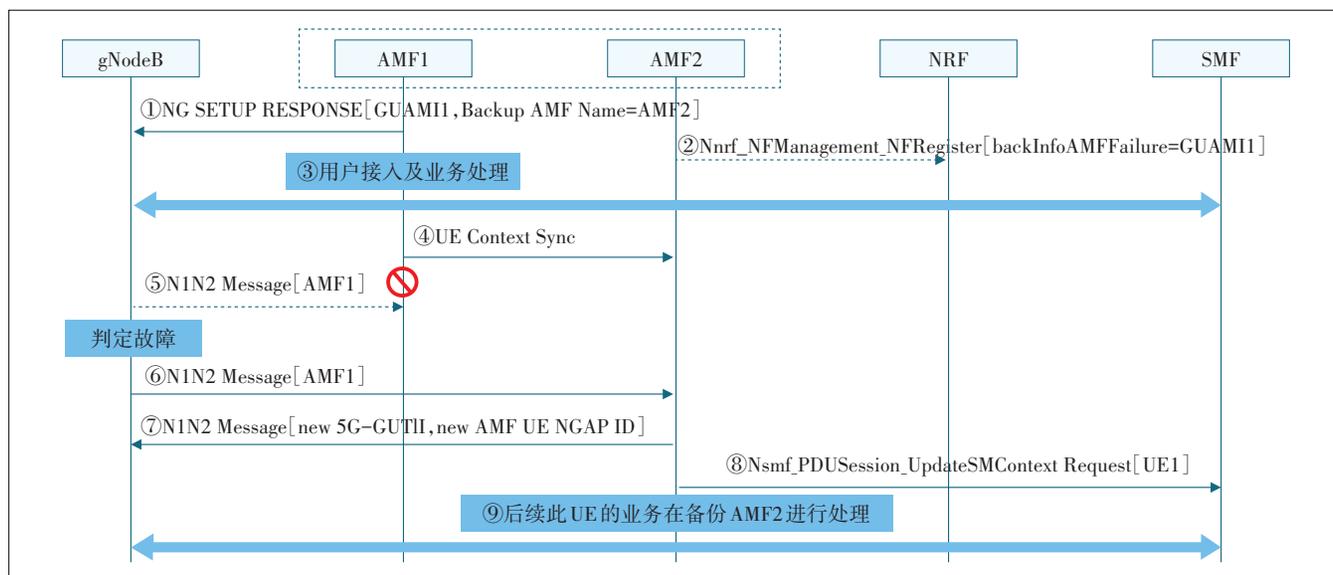


图1 RAN主动发起的业务流程

a) 为AMF1(原AMF)配置备份的AMF2(备份AMF),AMF1将Served GUAMI以及Backup AMF信息下发给gNodeB。AMF2通过NF注册流程将其备份的GUAMI保存到NRF中,供其他NF获取。

b) 用户接入网络并进行业务流程处理。AMF1在业务处理流程中,将用户上下文状态数据同步到AMF2中,AMF2保存同步数据。

c) 当AMF1发生故障时,UE发起业务请求,gNodeB发送消息无响应,gNodeB识别并判定AMF1故障,将用户的请求消息发送给AMF2。AMF2接收用户请求后,判断其原为AMF1所处理的,从保存数据中获取用户上下文状态数据,并继续处理此用户的相关业务流程。AMF2为用户重新分配5G-GUTI,向gNodeB发送更新5G-GUTI及AMF UE NGAP ID的消息,后续此用户业务由AMF2进行处理。AMF2与其他NF交互,其他NF接收消息后,识别AMF1故障,后续与AMF2交互处理此用户相关业务流程。

d) 后续此UE的业务将在AMF2正常处理。

周边5GC网元主动发起的业务流程如图2所示。

a) 正常业务处理流程中,UE1用户的业务由AMF1处理。业务流程处理完毕,AMF1将用户上下文状态数据同步到为其备份的AMF2中,AMF2保存同步数据。

b) 当AMF1发生故障时,无法正常向NRF发送

Heartbeat保活机制的更新消息,NRF识别并判定AMF1故障。NRF向订阅了原AMF状态的NF发送状态变更通知消息(原AMF故障)。周边NF如SMF、PCF等在本没有备份AMF信息的情况下,可向NRF执行AMF发现流程,用于获取原AMF的备份AMF信息。

c) 周边NF如SMF、PCF等在需要主动发起业务流程的情况下,选择故障AMF1(即原AMF)的备份AMF(AMF2),将业务消息发送给AMF2。AMF2接收业务消息后,判断其原为AMF1所处理的,从保存的数据中获取UE1用户上下文状态数据,并继续处理此用户的相关业务流程。AMF2为用户重新分配5G-GUTI,向gNodeB发送消息更新5G-GUTI及AMF UE NGAP ID的消息,后续此用户业务由AMF2进行处理。AMF2与其他NF(如PCF)交互,继续处理此用户业务流程。其他NF接收消息后,识别AMF1故障,后续与AMF2交互处理此用户相关业务流程。AMF2与UDM交互,通知AMF2成为此用户的服务AMF,UDM保存相关信息,同时与备份AMF交互处理此用户相关业务流程。

d) 后续UE1的业务由AMF2进行处理。

1.2 5GC免UDM惯性运行功能

5GC免UDM惯性运行功能主要针对AMF和SMF网元,包含4个部分,即故障检测、故障后处理、故障恢复检测、故障恢复处理。

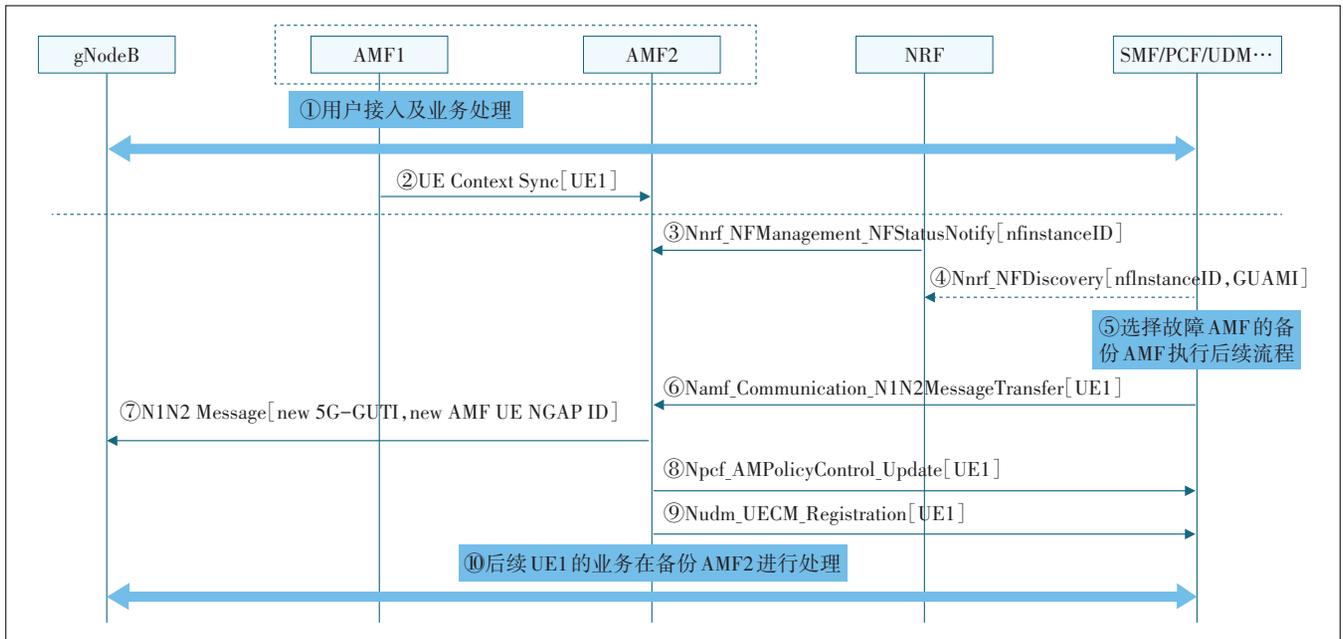


图2 周边5GC网元主动发起的业务流程

1.2.1 故障检测

AMF、SMF支持如下方式检测UDM是否故障:基于NRF状态通知、本地NF状态检测、基于响应状态码和错误码。

1.2.1.1 基于NRF状态通知

基于NRF状态通知适用于直连组网、SCP C组网模式。如图3所示,AMF、SMF向NRF订阅UDM状态变更通知,当NRF检测到UDM状态由正常状态变换为故障状态后,触发NF状态通知,告知AMF、SMF新的UDM状态。AMF、SMF故障检测机制相同,以AMF为例进行说明,流程如下:

步骤1:AMF向NRF发送订阅请求Nnrf_NFManagement_NFStatusSubscribe Request,携带需要订阅的UDM。

步骤2:NRF保存订阅信息,并返回响应Nnrf_

NFManagement_NFStatusSubscribe Response。

步骤3:NRF检测到UDM状态变为故障态,比如通过本地NF检测。

步骤4:NRF触发NF状态通知NnrfNF_Management_NFStatusNotify给AMF,携带UDM最新状态。

1.2.1.2 本地NF状态检测

本地NF状态检测仅适用于直连组网模式。通过定时向目标NF发起HTTP PING检测消息,以确认目标NF是否正常,如图4所示。

步骤1:AMF定时向UDM触发HTTP PING检测。

步骤2:AMF等待HTTP PING响应超时次数超过门限,判定UDM故障,将对应UDM加入到故障列表中。

1.2.1.3 基于响应状态码和错误码

基于响应状态码和错误码适用于SCP D组网模

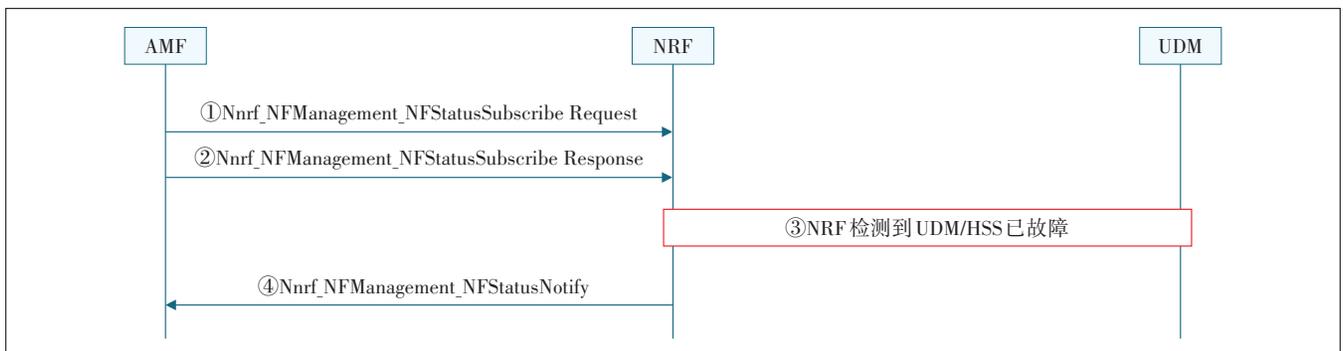


图3 基于NRF状态通知



图4 本地NF状态检测

式。如图5所示,AMF基于SCP/UDM返回响应的HTTP状态码以及应用错误码,判断UDM是否故障。UDM bypass是一个定制功能,为了防止该功能对原有功能产生影响,建议SCP检测到UDM故障时,返回状态码502以及应用错误码bypass。其中,bypass为自定义的应用错误码。流程如下:

步骤1:SCP通过本地状态检测或者NRF状态通知,检测到UDM已经故障。

步骤2:AMF收到用户业务且需要和UDM交互,比如向UDM请求签约数据,则发送用户业务请求消息给SCP。

步骤3:SCP根据本地已保存的UDM状态信息,判定用户归属的UDM已全部故障,则回复用户业务失败响应,携带已经规划的指示UDM全故障的状态码或应用层错误码。AMF收到该失败响应后,判断用户归属的UDM故障。

1.2.2 故障后处理

如图6所示,AMF、SMF检测到UDM故障,则启用



图5 基于响应状态码与应用错误码图

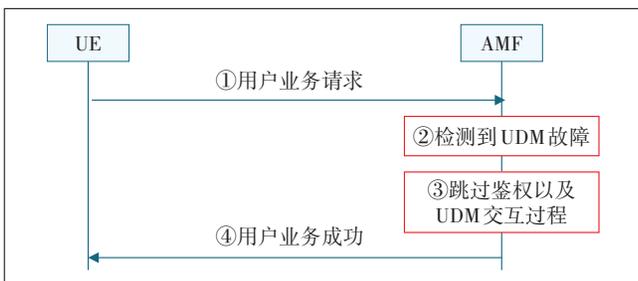


图6 故障后处理流程图

本地缓存的用户签约数据或本地配置的签约数据,跳过UDM注册、订阅以及请求签约数据过程,继续用户当前信令业务,触发用户进入bypass状态。AMF、SMF故障后处理机制相同,以AMF为例进行说明,流程如下:

步骤1:UE触发业务请求,比如用户从4G移动到5G,或者从其他AMF回到本AMF,或者本局重新初始注册等。

步骤2:AMF已通过本地NF检测、NRF状态通知等方式,检测到用户归属的UDM全部故障。

步骤3:若AMF根据步骤2判断用户归属UDM全部故障后,触发用户进入bypass状态,跳过用户鉴权、UDM注册、UDM订阅、向UDM请求签约数据。若AMF本地未缓存用户签约数据,则启用本地配置的签约数据。

步骤4:用户信令业务继续,给UE回复成功响应。

1.2.3 故障恢复检测

AMF、SMF支持3种方式检测UDM是否故障恢复:基于NRF状态通知、本地NF状态检测、基于响应状态码和错误码。

1.2.3.1 基于NRF状态通知

如图7所示,AMF、SMF向NRF订阅UDM状态变更通知,当NRF检测到UDM状态由正常状态变换为故障状态后,触发NF状态通知,告知AMF、SMF新的UDM状态。AMF、SMF故障恢复检测机制相同,以AMF为例进行说明,流程如下:

步骤1:AMF已经检测到UDM故障,且AMF已经向NRF订阅了UDM状态。

步骤2:UDM从故障状态恢复为正常状态。

步骤3:NRF通过本地NF检测或者UDM主动触发更新流程,判定UDM已经从故障状态恢复为正常状态。

步骤4:NRF触发NF状态通知NnrfNF_Manage-

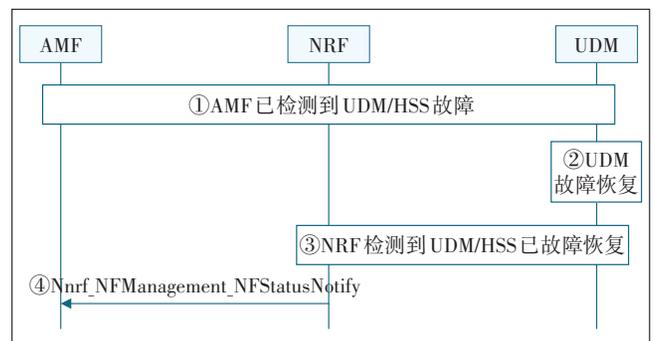


图7 基于NRF状态通知

ment_NFStatusNotify给AMF,携带UDM最新状态。

1.2.3.2 本地NF状态检测

如图8所示,通过定时向检测到的故障NF发起HTTP PING检测消息,以确认目标NF是否正常。本地NF状态检测流程如下。

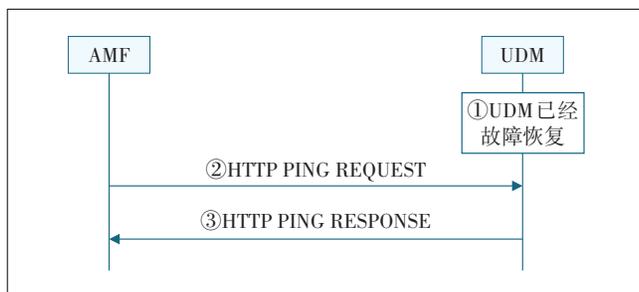


图8 本地NF状态检测

步骤1:UDM已经从故障态恢复。

步骤2:AMF定时向检测到的故障UDM触发HTTP PING REQUEST。

步骤3:UDM回复响应HTTP PING RESPONSE。AMF判定UDM已经恢复,从NF故障列表中将对应UDM移除。

1.2.3.3 基于响应状态码和错误码

如图9所示,AMF基于SCP返回响应的HTTP状态码以及应用错误码,判断UDM是否恢复。流程如下:

步骤1:UDM已经从故障态恢复。

步骤2:SCP已通过故障检测机制,比如本地NF检测机制,检测到UDM已经恢复。

步骤3:AMF定时扫描bypass状态用户,触发用户级检测请求消息,该请求消息经过SCP转发给UDM。

步骤4:UDM回复响应消息,经过SCP转发给AMF。若为成功响应,或者虽然为失败响应但消息中未携带指示UDM故障的状态码以及应用层错误码,则AMF判定用户归属的UDM已经恢复。

1.2.4 故障恢复处理

AMF定时扫描bypass状态用户,通过故障恢复检测机制,判定UDM已经恢复后,触发用户下线并重新注册。在用户重新注册时,恢复用户鉴权以及和UDM交互过程。故障恢复处理流程如图10所示。

步骤1:AMF定时扫描bypass用户。

步骤2:AMF通过故障恢复检测机制,比如NRF状态通知、本地NF通知或者用户级检测消息,判定UDM已经恢复。

步骤3:AMF触发用户下线,下发Deregistration

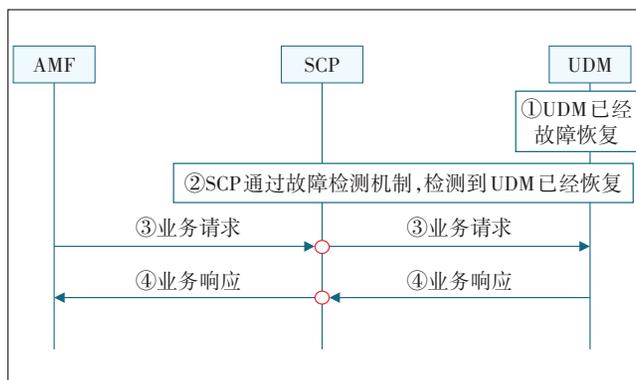


图9 基于响应状态码和错误码

Request,携带re-registration required,请求用户重新注册。若用户处于空闲态,需要先触发用户寻呼。

步骤4:UE触发注册过程,发送Registration Request给AMF。

步骤5:AMF根据本地策略判定需要鉴权用户,则触发鉴权过程。

步骤6:AMF判断用户为bypass用户,则触发向UDM注册过程。

步骤7:AMF判断bypass用户且用户签约数据为本地配置的签约数据,则触发向UDM请求用户签约数据。

步骤8:AMF判断用户为bypass用户,则触发向UDM订阅用户签约数据变更。

步骤9:AMF将用户退出bypass状态,继续用户注册流程。

2 测试验证

为了进一步验证本文方法的有效性,组织5G核心网主设备厂家基于实验环境进行了相关功能测试。

2.1 AMF主备网元用户动态数据热备功能测试

2.1.1 测试内容

如表1所示,针对AMF主备网元用户动态数据热备功能测试,设计了4个测试用例。

2.1.2 测试结果

AMF主备网元用户动态数据热备功能测试情况如表2所示。

2.2 5GC免UDM惯性运行功能测试

2.2.1 测试内容

如表3所示,针对5GC免UDM惯性运行功能测试,设计了10个测试用例。

2.2.2 测试结果

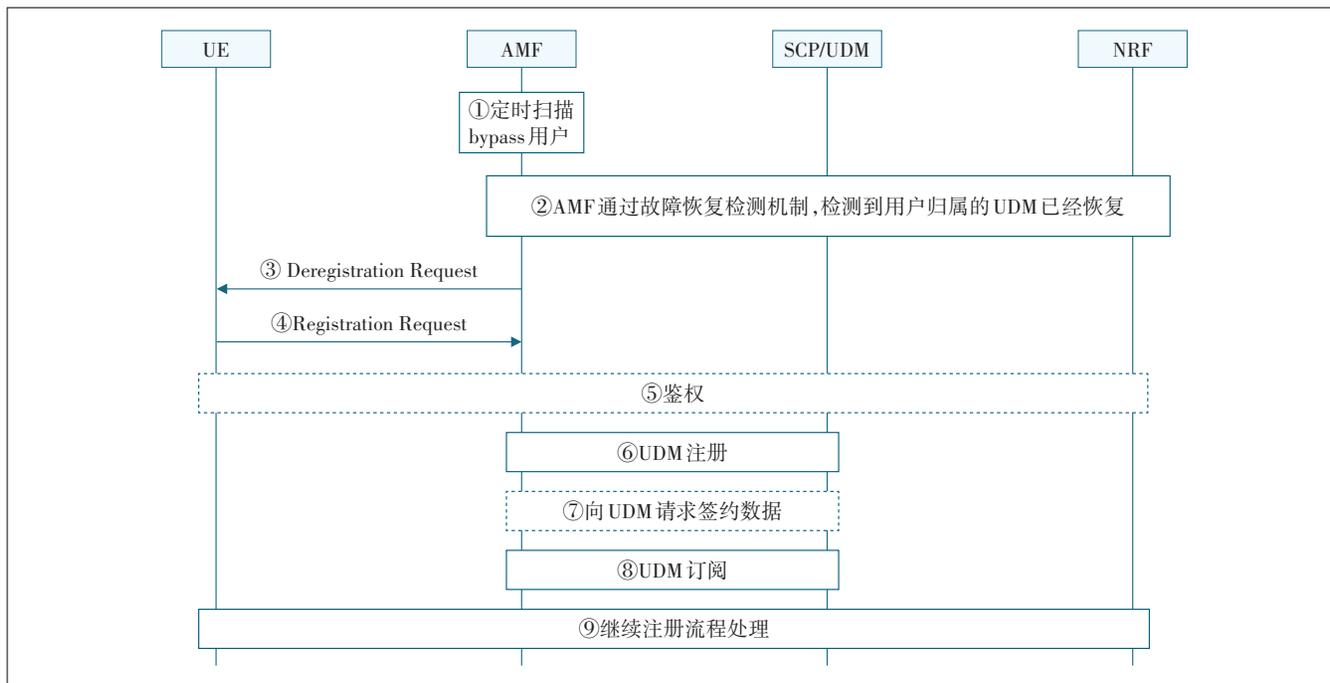


图 10 故障恢复处理流程图

表 1 AMF 主备网元用户动态数据热备功能测试表

序号	测试用例	测试目的
1	AMF 故障, 上行移动注册更新先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	验证 AMF 故障时, 备用 AMF 能够接管上行业务
2	AMF 故障, 上行 Service Request 先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	验证 AMF 故障时, 备用 AMF 能够接管上行业务
3	AMF 故障, 用户面下行业务先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	验证 AMF 故障时, 备用 AMF 能够接管下行业务
4	AMF 故障, 信令面下行业务先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	验证 AMF 故障时, 备用 AMF 能够接管下行业务

表 2 AMF 主备网元用户动态数据热备功能测试结果表

序号	测试项目	A 厂家测试结果	B 厂家测试结果	备注
1	AMF 故障, 上行移动注册更新先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	√	√	-
2	AMF 故障, 上行 Service Request 先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	√	√	-
3	AMF 故障, 用户面下行业务先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	√	√	-
4	AMF 故障, 信令面下行业务先至, 备用 AMF 能够正常接管业务	√	√	-

测试情况如表 4 所示。

因测试环境原因, 2 个厂家都未进行用例 4、用例 7 测试。因 A 厂家 AMF、SMF 目前暂不支持手动进入 UDM bypass 状态, 暂未测试用例 9。

2.3 测试结论总结和局限性说明

通过实验室测试验证, 基本验证了 AMF 主备网元用户动态数据热备功能和 5GC 免 UDM 惯性运行功能的有效性和可行性, 为进一步开展现网测试验证提供了参考依据。但受限于测试环境和测试版本, 部分测试用例未完成测试, 且异厂家的兼容性测试未进行, 有待进一步测试验证。

3 结束语

面对网络故障或业务异常导致的信令风暴, 通过引入 AMF 主备网元用户动态数据热备、5GC 免 UDM 惯性运行等功能, 可进一步提升网络业务保障能力, 规避用户大量下线、业务中断导致的信令风暴, 降低信令风暴对网络的冲击, 进一步提升网络的健壮性。

参考文献:

[1] 邢燕霞, 毛聪杰, 杨静雯. 移动网信令风暴产生原因及解决方案分析[J]. 电信科学, 2014, 30(12): 134-138.

表3 5GC免UDM惯性运行功能测试表

序号	测试用例	测试目的
1	UDM双故障下,新用户接入失败	验证主备UDM双故障下,新用户接入失败
2	UDM双故障下,用户移动注册更新成功	验证主备UDM双故障下,用户移动注册更新流程成功
3	UDM双故障下,用户4G到5G移动注册更新成功	验证主备UDM双故障下,用户4G到5G移动注册更新流程成功
4	UDM双故障下,用户4G到5G切换成功	验证主备UDM双故障下,用户4G到5G切换流程成功
5	UDM双故障下,用户GUTI初始注册和会话激活成功	验证主备UDM双故障下,用户GUTI初始注册和会话激活成功
6	UDM双故障下,用户inter AMF初始注册和会话激活成功	验证主备UDM双故障下,用户inter AMF初始注册和会话激活成功
7	UDM双故障下,用户AMF局间切换	验证主备UDM双故障下,用户AMF局间切换成功
8	UDM故障恢复,AMF支持强制用户下线退出UDM bypass状态	验证主备AUSF/UDM故障恢复后,AMF能通过强制用户下线的方式退出UDM bypass状态
9	UDM正常运行,AMF和SMF支持手动进入UDM bypass状态	验证能通过AMF和SMF支持手动进入UDM bypass状态
10	UDM故障恢复,AMF和SMF支持手动退出UDM bypass状态	验证AMF和SMF能通过手动退出UDM bypass状态

表4 5GC免UDM惯性运行功能测试结果表

序号	测试项目	测试结果		备注
		A厂家	B厂家	
1	UDM双故障下,新用户接入失败	√	√	-
2	UDM双故障下,用户移动注册更新成功	√	√	-
3	UDM双故障下,用户4G到5G移动注册更新成功	√	√	-
4	UDM双故障下,用户4G到5G切换成功	×	×	2个厂家都不具备测试条件,未测试
5	UDM双故障下,用户GUTI初始注册和会话激活成功	√	√	-
6	UDM双故障下,用户inter AMF初始注册和会话激活成功	√	√	-
7	UDM双故障下,用户AMF局间切换	×	×	2个厂家的实验环境不具备测试条件,未测试
8	UDM故障恢复,AMF支持强制用户下线退出UDM bypass状态	√	√	-
9	UDM正常运行,AMF和SMF支持手动进入UDM bypass状态	×	√	A厂家暂不支持,未测试
10	UDM故障恢复,AMF和SMF支持手动退出UDM bypass状态	√	√	-

- [2] 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.
- [3] 穆佳, 王勇, 马瑞涛, 等. 面向3GPP R16的5G核心网演进策略研究[J]. 邮电设计技术, 2022(2): 1-8.
- [4] 孔令义, 常艳生, 闫艳芳, 等. 大区化5G核心网部署研究[J]. 邮电设计技术, 2022(8): 79-82.
- [5] 孔珍. 5G核心网关键技术布局及应用[J]. 中国信息化, 2022(6): 57-58.
- [6] 赫罡, 苗杰, 童俊杰. 5G核心网技术演进及挑战[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 23-26.
- [7] IMT-2020(5G)推进组. 5G核心网云化部署需求与关键技术白皮书[R/OL]. [2022-12-17]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201806/P020180621513752479196.pdf>.
- [8] 赵慧玲. 5G核心网技术与挑战专题导读[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 1-2.
- [9] 韦国锐, 霍晓歌. 5G时代虚拟化核心网组网架构演进[J]. 移动通信, 2018, 42(12): 37-41.
- [10] 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.
- [11] 韦国锐, 陈立栋, 于秋思, 等. 跨DC的虚拟化核心网容灾体系研究[J]. 邮电设计技术, 2019(9): 78-81.
- [12] 刘召阳. 基于漏斗型流控算法的5G容灾策略研究[J]. 计算机产品与流通, 2021(7): 110-112.
- [13] 杨雯, 王琴, 席晓乾, 等. 5G核心网元UDM垂直容灾可靠性研究[J]. 信息技术时代, 2022(12): 122-124.
- [14] 李延斌. 5G核心网容灾方案及部署策略研究[J]. 邮电设计技术, 2020(9): 79-82.
- [15] 钟橙. 5G核心网容灾方案探析[J]. 数据通信, 2020(1): 1-2, 12.
- [16] 刘赢, 胡旋, 侯磊磊, 等. 关于5G核心网高可靠性及容灾能力的研究[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2022(9): 29-31.
- [17] 陈俊杰, 李占武, 陶晓明, 等. 一种核心网信令处理装置: CN109495855A[P]. 2019.
- [18] 周奇, 谢晓军, 陈长怡, 等. 信令监测方法, 系统和存储介质: CN202111533372.7[P]. 2022.

作者简介:

张欣, 毕业于西安邮电学院, 高级工程师, 学士, 主要从事5GC网络的维护工作; 朱晓林, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事移动核心网建设与维护工作; 滕佳欣, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事5GC网络的建设工作; 刘凡栋, 毕业于南京邮电大学, 高级工程师, 学士, 主要从事移动核心网咨询规划和设计工作。