

云化架构下的5G核心网灰度升级策略应用研究

Research on Application of Gradual Upgrade Strategy for 5G Core Network in Cloud-Based Architecture

郭威, 欣娜, 常艳生, 秦庆伟, 张泽阳 (中国联通河南分公司, 河南 郑州 450007)

Guo Wei, Xin Na, Chang Yansheng, Qin Qingwei, Zhang Zeyang (China Unicom Henan Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

网络技术的迭代演进推动移动核心网全面采用虚拟化技术的云化架构部署。基于商用5GC网络,探索高可靠、高安全的灰度升级策略在通信网络领域中运用的可行性,通过网络运营新技术的创新应用,提升网络运营效率,增强网络运营安全。

关键词:

灰度升级;灰度比例;网络升级

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.04.004

文章编号:1007-3043(2025)04-0019-06

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:

The iterative evolution of network technology is driving the comprehensive adoption of virtualization technology for cloud architecture deployment in mobile core networks. Based on commercial 5GC networks, the feasibility of applying highly reliable and secure gradual upgrade strategies in the field of communication networks is explored. Through the innovative application of new network operation technologies, the network operation efficiency is improved and the network operation security is enhanced.

Keywords:

Gradual upgrade; Gray scale ratio; Network upgrade

引用格式:郭威,欣娜,常艳生,等. 云化架构下的5G核心网灰度升级策略应用研究[J]. 邮电设计技术,2025(4):19-24.

0 引言

随着移动通信技术的飞速发展,5G的商用部署在全球范围内迅速展开。5G不仅标志着数据传输速度的显著提升,还预示着更低的延迟、更大的连接密度以及更广的网络覆盖能力。这些特性为物联网、自动驾驶、远程医疗、虚拟现实等前沿应用提供了强大的技术支持,推动了社会经济的全面数字化转型。

然而,5G网络的部署和升级并非一蹴而就,尤其是在面对庞大而复杂的现有网络关键基础设施时。为加快适配更多的新需求,网络需不断进行版本的迭

代更新,而直接进行全面更新可能会带来高昂的成本、潜在的服务中断风险以及技术实施的复杂性。为了确保网络的平滑过渡,减少对用户服务的影响,“灰度升级”策略应运而生。

作为5G网络“大脑”的核心网,由于其复杂性,升级是一个耗时且成本高昂的过程。每个网元的升级都需要精心规划和执行,稍有不慎就可能影响整个网络的稳定运行。虽然网元已逐步支持相关的灰度升级功能,但鉴于对网络操作安全和技术成熟度的谨慎,当前仍采用传统升级方式,即先对单一网元进行业务隔离并实施版本升级,确认升级成功后,再按批次重复同样的操作,整个升级过程繁琐且耗时,主要存在以下几个方面的弊端。

收稿日期:2025-02-17

a) 运维复杂度高。由于硬件和软件紧密绑定,传统升级通常需要对整个系统进行全面测试和验证,这增加了运维的复杂度和错误风险。5G核心网的虚拟化和云化趋势要求更简洁高效的运维流程^[1-2]。

b) 服务中断风险。传统升级模式往往需要安排网络停机窗口来进行大规模的软件更新,这可能导致服务中断,影响用户体验和客户满意度。在对实时服务和不间断连接的需求日益增长的趋势下,任何服务中断都可能造成重大影响。即使在夜间或低峰时段进行升级,也无法完全避免对用户的影响,尤其是对那些要求极高可用性的业务来说。

c) 升级周期较长。从规划到执行,再到验证和优化,整个升级周期可能长达数月甚至一年以上,这对需要快速响应市场需求和技术变化的现代通信网络而言,是一个重大障碍。

d) 阻碍创新和市场响应速度。在竞争激烈的市场环境下,快速推出新服务和功能是保持竞争力的关键。传统升级模式的缓慢和僵硬,会限制运营商对市场变化的快速响应,影响新业务模型的探索和实施。

为推进核心网运营模式的创新变革,检验灰度升级策略在日常生产应用的可行性,某省联通基于商用5GC网络开展了灰度升级功能试点,通过AMF、SMF网元的灰度升级验证,检验了高可靠、高安全的无损升级的可行性^[3],为下一步灰度升级策略全面投入生产应用提供参考经验。

1 灰度升级的基本概念

灰度升级(Gray Upgrade 或 Gradual Upgrade),也叫灰度发布,是指在黑与白之间,能够平滑过渡的一种发布方式。在灰度升级上可以进行A/B测试,即一部分用户继续用产品特性A,一部分用户开始用产品特性B,如果用户对B没有什么反对意见,那么逐步扩大范围,把所有用户都迁移到B上面来。灰度发布可以保证整体系统的稳定,在初始灰度的时候就可以发现、调整问题,以保证其影响度可控。灰度发布开始到结束期间的这一段时间,称为灰度期。

基于上述特点,灰度升级也可被称为渐进式部署或分阶段升级^[4],一种在保持系统整体稳定性的前提下,逐步引入新功能或更新的技术手段。在5G网络背景下,这意味着网络运营商可以选取部分用户群体或特定区域先行试用升级后的网络服务,通过实际运行来验证新功能的稳定性、兼容性和性能表现。在这一

过程中,运营商能够及时发现并解决可能出现的问题,逐步优化升级方案,然后再将成功的升级经验推广至更广泛的网络范围。

灰度升级不仅可以有效控制风险,还能让用户和企业有时间适应新技术,收集反馈信息,为最终实现全面、高质量的5G网络覆盖打下坚实基础。此外,它也为软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)等先进技术的应用提供了灵活的测试环境,加速了5G创新服务的探索与商用化进程,是5G时代确保网络平稳演进、技术创新与用户体验之间平衡的关键举措。

2 灰度升级与网络安全

在5G网络的迭代与升级中,灰度升级策略与网络安全建设关联密切且互补。灰度升级作为一种渐进式的部署方法,不仅有助于技术的平滑过渡和问题的早期发现,也为全面加强5G网络的安全性提供了宝贵的机会和实践平台。

一方面,通过灰度升级,运营商可以在小规模、可控的环境中先行测试新的安全技术和策略,包括但不限于部署先进的加密算法、实施更精细的访问控制机制以及集成自动化威胁检测与响应系统。在有限范围内验证这些安全措施的有效性与兼容性可以大大降低全面部署时的安全风险,确保新功能和升级在扩大应用前达到最佳的安全状态。

另一方面,灰度升级过程中收集到的安全数据和用户体验反馈,对持续优化网络安全体系至关重要。及时识别并修正实际运行中暴露的安全弱点和潜在威胁有助于形成更加成熟、动态适应的安全防护体系。这种“边升级、边验证、边完善”的模式使5G网络的安全防御不仅仅是静态的配置,还能够不断升级迭代中进化,有效对抗日益复杂多变的网络威胁^[5]。此外,通过分析灰度升级中遇到的安全挑战和解决方案,可以增强整个生态系统的安全意识和应对能力,构建全方位的安全体系。

5G网络的灰度升级策略与安全升级紧密相连,它不仅促进了技术的顺利过渡,也为构建一个更加坚固、可信赖的5G安全环境奠定了基础。灰度升级策略确保了网络在追求技术进步的同时,安全不再是后顾之忧,而贯穿在每一次升级迭代的核心考量中。

3 5GC灰度升级原理

3.1 架构特性

5GC云原生架构为5G核心网实现了“化整为零、由硬变软”的空前变革,可灵活、敏捷地应对5G多样化业务时代。利用NFV将软硬件一体的传统专用网络设备解耦为软件(VNF)和通用硬件,网络功能软件不再受专用硬件的限制,可灵活部署在通用硬件上,从而使运营商通过软件升级即可推出新功能和 new 服务^[6]。软件功能部署采用微服务架构,将大颗粒的软件包分解成相互独立的小软件模块,以微服务的方式进行版本的开发、测试和发布,只升级有变化的微服务,这样即可实现小快灵的增量软件发布。微服务解决了电信软件过于庞大、复杂的问题,但要让网络功能更具弹性和鲁棒性,还需无状态设计和软件三层解耦。

传统电信网元会一直保存相关UE的上下文信息,以确保连接不中断,称为有状态,这种有状态设计是电信软件在虚拟机/容器之间灵活迁移的羁绊。参考IT软件的无状态设计,将上下文信息与服务软件分离,并组成独立的状态数据库层,从而使得服务处理软件(VNF组件)成为敏捷、弹性的无状态服务处理层。有状态和无状态的差异如图1所示。

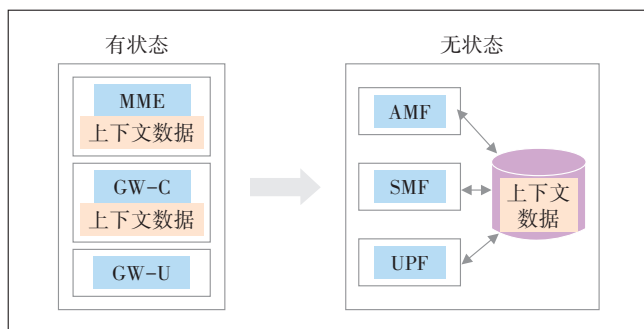


图1 有状态和无状态的差异

通过接口层的独立的负载均衡软件模块,可有效、快速地均衡服务处理软件之间的负载,以支撑整个系统的大吞吐量,从而在软件部署层面实现无状态的三层架构:数据管理层、服务处理层和负载均衡层(见图2)。

基于软件三层解耦及无状态设计原则,实现多个版本会话的数据兼容,多版本服务或微服务实例共存,并通过负载均衡的智能业务分发能力实现外部网络设备无感知。

3.2 关键技术

3.2.1 ISSU

ISSU(In-Service Software Upgrade)是一种旨在减少服务中断并提高业务连续性的升级技术,它允许设

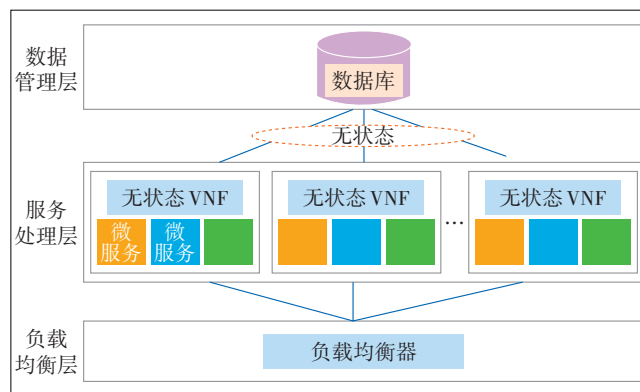


图2 软件部署三层解耦

备在正常运行的同时进行系统软件的升级或回退,业界一般采用rolling Upgrade的方式实现^[7]。ISSU升级的优势在于其在线性,即升级过程中无需中断业务,这减少了流量中断时间,提高了业务可靠性。

ISSU升级主要分为以下几个阶段。

a) 准备阶段。检查系统的ISSU是否具备升级条件。如果条件满足,则开始进行业务迁移。

b) 开始阶段。配置和数据备份,确保在升级过程中数据的完整性和一致性。关闭虚拟机/Pod弹性、自愈等相关功能。

c) 升级阶段。ISSU业务不中断升级主要包含业务迁移、虚拟机/Pod升级、业务迁回3个步骤,循环执行直到全部虚拟机/Pod升级完成(见图3)。

(a) 将待升级的虚拟机/Pod业务迁移到运行老版本的虚拟机/Pod。

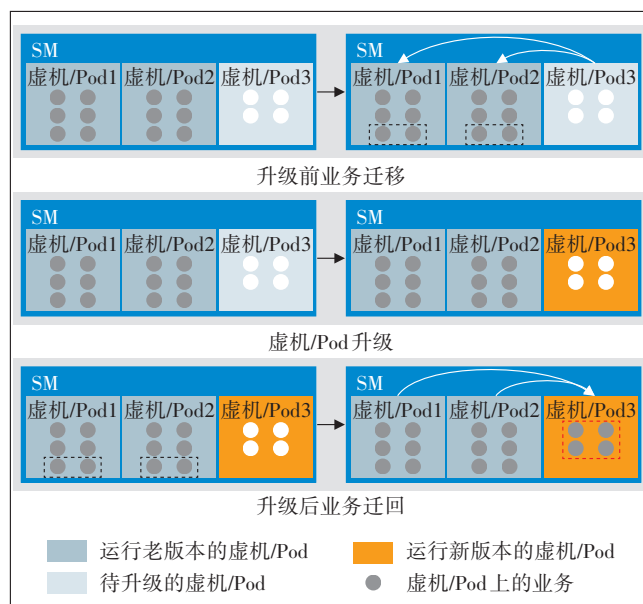


图3 ISSU升级过程

(b) 待升级的虚机/Pod进行版本升级。

(c) 业务迁回升级后的虚机/Pod。

d) 结束阶段。升级后的配置和数据检查,恢复自愈和弹性等功能。

3.2.2 灰度升级

灰度升级,也叫做灰度发布或金丝雀发布,即在软件产品发布时,先将新版本或新功能发布给一小部分用户进行测试,以收集反馈、发现问题并进行修复,然后再逐步扩大范围,直到全部用户都使用新版本的过程。这样可以在不影响大部分用户的情况下,逐步验证新版本的稳定性和性能^[8]。

ISSU和灰度升级都可以保证业务不中断,但灰度升级在此基础上可以使同一个服务单元(SC)类型的多个实例运行不同的版本,并且版本间的比例可控。可以认为ISSU是灰度升级的一种特例,即升级的灰度比例为100%。

3.2.3 A/B测试

A/B测试是一种常用的实验设计方法,主要用于比较2种或多种方案的效果,它通过实验数据来验证哪种方案更优。在灰度升级中,A/B测试可以发挥重要作用。通过同时向用户展示A版本和B版本,收集并分析用户在这2个版本上的行为数据,并根据这些数据来评估哪个版本更优秀、更稳定,从而提高产品质量,优化用户体验。A/B测试的优势在于可以帮助工作人员明确知道某个改变带来的影响,同时通过只向一小部分用户展示新版本,可以限制负面影响,避免新版本全面发布后出现问题。

核心网产品A/B测试主要方式是指定拨测。在升级过程中,为了验证版本的有效性,需要在升级第一个实例后并且业务未迁移到新版本之前,进行指定用户拨测,如果拨测用户业务正常,则可以认为版本正常,此时才可以真正将业务迁移到新版本。在灰度升级后,新业务可在线验证基于新老版本资源比例的随机A/B测试,可长期进行A/B测试验证,性能统计按版本呈现,实时展示新老版本关键KPI指标对比。

3.3 实现机制

软件三层解耦及无状态设计原则为5GC实现灰度升级技术应用提供了架构基础,基于满足电信业务、保障用户体验和版本平滑切换的需求,5GC灰度升级策略本质上是采用ISSU和灰度结合的方式,将要升级的网元切分一部分虚拟资源升级到新版本,新旧版本同时承担业务,同时引入A/B测试,外部无感知,从

而实现业务不中断升级、灰度期内验证新版本可用性的两大核心目标^[9-10]。5GC灰度升级原理如图4所示。

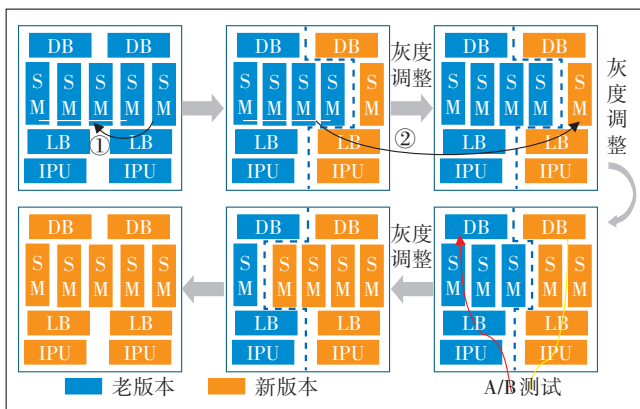


图4 5GC灰度升级原理

在升级过程中,将正在运行的NF网元资源一分为二,1个网元裂分为2个,这2个网元共享资源、业务地址。升级过程逐步将业务从老版本迁移到新版本,整个过程业务不中断,同时2个网元将保持报文互转和数据同步,以便版本间无损回切(见图5)。

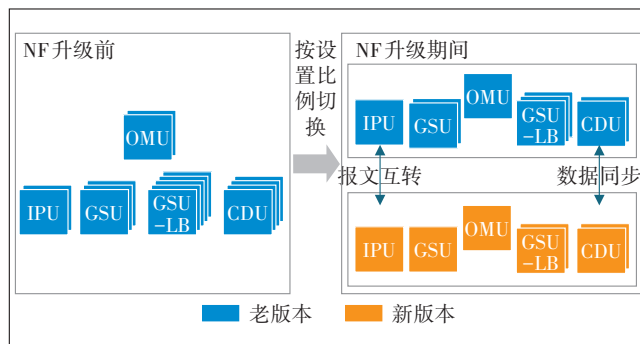


图5 新老版本之间业务保持机制示意

4 5GC灰度升级试点

4.1 升级策略

现网5GC NF能够实现灰度升级的基础是NFS支持ISSU并且含有支持灰度配置的组件;此外要求升级的比例可控,灰度比例应是用户数比例或者会话数比例,不应是资源比例,整个过程遵循分批的基本原则。

a) 主备类型和数据存储类型固定分为2批,新老版本各有一半资源。

b) 负荷分担类型虚机根据系统资源和负荷情况自动计算出每批次升级步长(虚机数量),步长值可人工设置,加快升级速度。

5GC灰度升级主要分为以下几个阶段(见图6)。

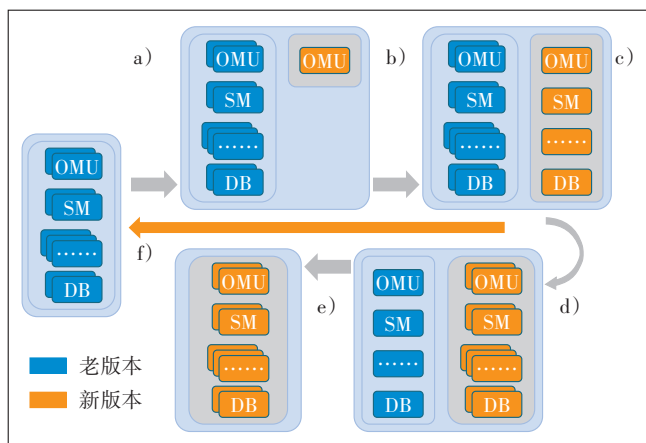


图6 5GC灰度升级步骤

a) 升级开始,加载新版本,隔离资源,然后备用OMU将升级到新版本。

b) 升级至支持完整业务流程的最小比例资源。升级一半的主备类型虚机,升级一半的数据存储类型虚机,升级负荷分担类型虚机的一个实例。

c) 进行业务拨测,成功后开始调整灰度比例(可多次调整),业务虚机以固定的批次分批升级。

d) 继续调整比例,相关资源跟随业务进行迁移。

e) 完成剩余资源的升级。升级另一半的主备类型虚机,升级另一半的数据存储类型虚机。

f) 任意阶段发生失败,均可以回退到老版本;升级完成后亦可回退到老版本。

4.2 试点验证

基于现网商用网元进行测试验证,选取现网AMF一套执行网元进行灰度升级验证,其升级方案如下。

a) 基于对安全和样本量的考虑,设定AMF承载业务量为10万左右。

b) 为实时掌握升级过程以及关键指标变化,引入专用灰度升级监控工具(见图7),提供直观图形化界面,实现全过程可视可控。通过监控工具展示升级期

间用户数和关键指标的变化、当前版本和目标版本虚机的资源迁移变化以及整体升级的进度变化。

c) 灰度比例设置为50%和100%2个阶段,完成50%比例后进行业务观察,确认没有问题后再执行100%比例。

d) 选取4张测试卡进行拨打电话和上网的业务组合验证,2张进行新版本指定拨测,以验证新版本功能,2张不做指定,随老版本业务迁移至新版本。

e) 在升级过程中如果新版本验证出现问题,则立即将业务回退至老版本。升级全部完成后,运行一周观察其稳定性,将网元回退到之前的正式版本。

4.2.1 升级过程

a) 升级开始前,2个非指定拨测号码开始互拨,并保持通话。

b) 执行升级操作(灰度调整前),先划分一部分虚机资源(可承担完整业务流程的资源)到右域并升级到目标版本。用户数指标曲线有3条曲线:总用户数(蓝色)、左域当前版本系统承载用户数(亮蓝色)以及右域目标版本系统承载用户数(棕色)。此时暂未执行业务迁移,新版系统本并未承载业务,总用户数曲线与左域用户数曲线重叠,目标版本系统承载用户数为0。受5G基站节能因素的影响,总用户数呈下降趋势,此为正常现象。

c) 新版本升级完成后首先进行拨测,指定拨测号码接入到新版网元。拨测业务正常,同时在右域网管中可查到该用户,则确认新版本功能可用,可以向新版本迁移现网业务。通过监控屏可以看到,当前版本的虚机亮块减少,目标版本中的虚机亮块增多,业务逐渐向右域目标版本迁移;在用户数指标栏中,当前版本系统承载用户数下降,目标版本系统承载用户数上升;在注册成功率和PDU建立成功率指标栏中,左右域关键指标曲线一直保持平稳,表明在达到50%灰度比例的过程中网络运行平稳,此时左右域各有50%的虚机资源,各承载50%的业务(见图8)。

d) 观察15 min,关键业务指标均正常,再次执行灰度调整,目标灰度比例为100%。此时,新版本承载100%的业务,虚机资源已大部分升级到新版本,仅剩少量虚机还在运行老版本。

e) 继续执行升级操作(灰度调整后),剩余老版本虚机都升级到新版本,灰度升级结束。在此过程中,注册成功率和PDU建立成功率的指标曲线在灰度升级期间保持平稳(见图9)。



图7 灰度升级可视化监控大屏示意



图8 目标版本灰度比例50%

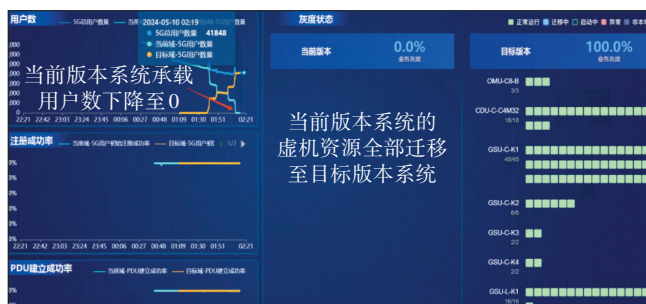


图9 目标版本承载全部业务

f) 检查非指定测试号码,发现号码在升级过程中保持通话2个多小时未中断。将通话挂断后再次进行业务验证并采集相关数据,均无异常。通过信令跟踪可以看到,在灰度调整之前,测试号码的业务是在容器33上处理的,在灰度调整完成后则换到了容器12处理,完成了业务无损迁移。

4.2.2 升级效果

在灰度调整过程中,通过左右域关键KPI的对比可以看出整个升级过程基本上是平滑的(见表1),业务整体运行平稳。

5 结束语

5G网络作为关键基础设施,不仅是当前信息社会的基础支撑,也是未来社会发展的重要驱动力,网络的安全运行不仅是保证技术本身正常工作的基础,更是关乎国家经济发展、社会稳定、个人权益乃至国家安全的重大问题。当前运营商高度重视网络稳定性、可维护性以及服务连续性,面对日益复杂的网络安全运营态势挑战,需要不断探索并引入更加先进的运营技术来确保网络安全稳定运行。灰度升级策略应用的成功验证,打破了传统运维模式思维,为5G核心网网络的安全升级提供了新的运营模式视角。未来,灰度升级在5G核心网中的应用将朝着更智能、更自动

表1 AMF灰度升级期间指标变化

AMF灰度升级期间性能指标对比	0%		50%		100%	
	左域	右域	左域	右域	左域	右域
4G附着用户数	3 259	0	1 696	1 608	0	3 320
排除用户原因的附着成功率/%	99.66	100.00	99.68	99.69	100.00	99.71
4G位置更新成功率/%	99.98	100.00	99.98	99.97	100.00	99.97
PDN连接请求成功率/%	99.57	100.00	99.51	99.53	100.00	99.59
5G附着用户数	27 359	0	13 856	13 961	0	27 950
AMF 4G切5G成功率/%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
AMF 5G切4G成功率/%	92.15	100.00	92.67	92.29	100.00	92.34
AMF PDU建立成功率/%	99.98	100.00	99.99	99.97	100.00	99.98
AMF寻呼成功率/%	99.33	100.00	99.41	99.30	100.00	99.35
AMF初始注册成功率(去除用户原因)/%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
AMF寻呼成功率/%	99.33	100.00	99.41	99.30	100.00	99.35

化、更安全、更高效的方向发展,以满足业务发展需求和用户体验要求。

参考文献:

- [1] 童彦翔. 5G移动核心网虚拟化探讨[J]. 信息通信技术, 2020(10):221-223.
- [2] 石磊, 文斌, 张志钰, 等. 面向未来的移动核心网发展探讨[J]. 计算机产品与流通, 2018(6):56.
- [3] 张学良, 王颖. 电信云网络设备无损升级方法[J]. 中国新通信, 2020, 22(16):76.
- [4] 宋阳, 董庆杰, 果福明. 网络通信中oracle数据库无损迁移技术研究[J]. 长江信息通信, 2023, 36(2):122-124.
- [5] 黄将. 数据中心光纤通信网络传输非平稳数据无损检测技术研究[J]. 激光杂志, 2019, 40(4):131-135.
- [6] 张敏狄, 郭裕顺. 分布式网络设备的业务不中断软件升级系统设计[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(6):40-43.
- [7] 杜秀芳. ISSU过程中的不兼容升级[J]. 电子世界, 2016(4):24-26.
- [8] 朱峰, 王平, 徐东兵, 等. 产业协同, 融合创新助力通信网络智能化升级[J]. 通信世界, 2024(2):17-18.
- [9] 宋玉泉. 虚拟化技术在信息化系统升级改造中的应用[J]. 天津冶金, 2014(1):35-37.
- [10] 张超, 刘学军, 王国环, 等. 基于云化架构金融服务系统业务不间断升级改造实践[J]. 中国信息化, 2023(7):44-46.

作者简介:

郭威, 高级工程师, 硕士, 主要从事移动核心网运营管理工作; 欣娜, 高级工程师, 硕士, 主要从事网络数字化运营管理工作; 常艳生, 高级工程师, 硕士, 主要从事网络安全运营管理工作; 秦庆伟, 工程师, 硕士, 主要从事移动核心网运营维护工作; 张泽阳, 工程师, 硕士, 主要从事移动核心网运营维护工作。