

5G 专网核心网

Design and Research on High Reliability
Core Network of 5G Private Network

高可靠组网设计与研究

周 旸,吕艳芳,傅俊锋,王 杉(中国联通智网创新中心,北京 100048)

Zhou Yang,Lü Yanfang,Fu Junfeng,Wang Shan(Intelligent Network & Innovation Center of China Unicom,Beijing 100048,China)

摘 要:

运营商已在垂直行业进行了大量的5G应用场景探索和实践。介绍了5G专网发展情况和关键技术,分析了特殊行业和应用场景对5G网络的安全性、高可靠性、业务连续性的需求,重点阐述5G专网业务保活、应急恢复、高可靠性部署方案。

关键词:

5G 专网;核心网;高可靠性组网

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.09.016

文章编号:1007-3043(2021)09-0077-05

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:

Operators have carried out a lot of exploration and practice of 5G application scenarios in vertical industries. It introduces the development situation and key technologies of 5G private network, analyzes the requirements of special industries and application scenarios for 5G network security, high reliability and business continuity, and focuses on the deployment scheme of 5G private network business maintenance and high reliability of emergency recovery.

Keywords:

5G private network; Core network; High reliability networking

引用格式:周旸,吕艳芳,傅俊锋,等. 5G 专网核心网高可靠组网设计与研究[J]. 邮电设计技术,2021(9):77-81.

0 引言

5G 技术由于通信性能指标的大幅提升,将在工厂、能源、矿山、电力、交通、医院、教育等领域,以专属网络的形态赋能行业数字化应用场景创新及信息化业务演进,推动生产要素的数字化智能化转型。行业应用对5G专网提出了更高的要求,要求系统能实现独立组网、独立运行,在外部网络故障或断开时,系统应能实现安全、独立、稳定运行,保证无线通信及数据传输的可靠性、稳定性。

1 5G 专网需求和应用情况

据 GSMA 预测,2030 年 5G 赋能全球行业市场规模

将达到 7 000 亿美元,国内外运营商都在加速布局 5G 行业专网,从 2019 年 11 月工业和信息化部办公厅印发《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》以来,“5G+工业互联网”在建项目超过 1 500 个,覆盖 20 多个重要行业,包括钢铁、采矿、电力、电子设备制造业和装备制造业五大行业,远程设备操控、机器视觉质检、无人机智能巡检、生产现场监测、设备故障诊断、现场辅助装配、柔性生产制造、设备协同作业、协同研发设计等典型应用场景。

根据覆盖范围,5G 专网分为广域专网和局域专网,广域专网应用行业包括公安、交通、电力、车联网、无人机、B2C 游戏等,而局域专网是矿山、港口、工厂、园区等专用的 5G 移动网络,主要包括共享或专用的 5G 基站,边缘 UPF 以及应用,如 IT 支撑、5G AR/VR 创新场景、工业互联网等场景 E2E 解决方案。本文重点

收稿日期:2021-08-16

分析和探讨 5G 局域专网场景。

大带宽、低时延、安全(隔离、数据不出园区)、高可靠,自主可控是行业客户对 5G 局域专网的几大关键需求,其中不同应用场景对网络的可靠性和业务可连续性要求不同,有些场景影响到企业的人员安全和持续生产,一旦停产对港口、矿山等企业可能造成巨大损失。

应用场景:依赖 5G 大带宽、低时延能力实现对矿山机械的远程操控,从而实现矿山现场减人、无人的目标。可操控的设备包括露天矿山的挖掘机、井下的掘进机械、机器人的远程操控,井下轨道运输车辆的远程驾驶以及露天矿卡的远程辅助驾驶。设备远控上行传输视频监控信号,带宽为 30~50 Mbit/s,时延为 50~80 ms,可靠性为 99.9%;下行传输设备控制信号,对时延更敏感,要求 20~50 ms,带宽为 50~100 kbit/s,可靠性为 99.999%。

2 5G 专网技术

5G 网络演进的趋势是向网元虚拟化、架构开放化、编排智能化方向发展,这为 5G 专网服务能力的灵活化、定制化提供了有力的技术保障。

2.1 服务化架构(SBA)

为了适应未来业务应用对于网络的需求,5G 网络架构被寄予了非常高的期望。业界专家结合 IT 的 Cloud Native 的理念,将 5G 网络架构中控制面功能抽象成为多个独立的网络服务,以软件化、模块化、服务化的方式来构建网络。

每个网络服务和其他服务在业务功能上解耦,并且对外提供服务化接口,可以通过相同的接口向其他调用者提供服务,将多个耦合接口转变为单一服务接口,从而减少了接口数量。

基于服务化架构,5G 网络资源更加开放,网络基础能力灵活可定制,能够最大限度发挥 5G 网络的潜能,适应创新业务发展。

2.2 网络切片

网络切片(Network Slicing)是通过切片技术在一个通用硬件基础上虚拟出多个端到端的网络,每个网络具有不同网络功能,适配不同类型服务需求。虽然垂直行业中各行各业对网络功能的需求多种多样,但是这些需求都可以解析成对网络带宽、连接数、时延、可靠性等网络功能的需求。5G 标准也将不同业务对网络功能的需求特点归纳为三大典型场景,相应的这

三大典型场景对应的网络切片的类型分别为 eMBB 切片、mMTC 切片和 uRLLC 切片。

2.3 5G LAN

基于 L2 以太协议栈的应用和组网在工业制造、港口码头、矿山、电力等行业中普遍存在,例如:机器视觉、PLC 远程控制等应用由于布线困难等原因,企业会选择使用 5G 替代原有的有线方式,5G LAN 技术不需要叠加 AR 路由器即可以实现 L2 和 L3 层本地交换功能。

另外,5G LAN 支持 N19 接口跨域私网互联,替代 Wi-Fi 和专线满足大型企业个分支机构互联互通和出差员工随时随地接入企业内网的需求,且通信网络由运营商提供,可得到更好的安全和体验保障。

5G LAN 相对传统局域网和广域网具备以下优势。

a) 5G LAN 间按需通信,更灵活。

b) 数据转发路径由核心网统一控制,业务连续性更优。

c) 支持与 QoS/切片相结合,端到端保障业务质量。

2.4 边缘计算(MEC)

边缘计算是一种在相比中心 DC(Data Center)更靠近终端用户的边缘位置提供用户所需服务和云端计算功能的网络架构,将应用、内容和 MBB 核心网部分业务处理和资源调度的功能一同部署到靠近终端用户的网络边缘,通过业务靠近用户处理,以及应用、内容和网络的协同,来提供可靠、极致的业务体验。

MEC 的 UPF 分为 ULCL 分流和主锚点下沉 2 种部署方式,矿山、钢铁等生产型企业要求数据不出园区,采用主锚点下沉的部署方式,通过专门的 DNN 选择到专网 UPF,即下文探讨的 5G 专网部署场景。

3 5G 专网核心网高可靠组网部署方案

3.1 概述

煤矿、钢铁、港口等特殊行业场景,对 5G 专网有着极高的可靠性要求,比如安标国家中心 2020 年 6 月 17 日发布的《煤矿 5G 通信系统安全技术要求(试行)》中明确要求:5G 系统应能实现独立组网、独立运行,在外部网络故障或断开时,系统应能安全、独立、稳定运行,保证无线通信及数据传输的可靠性、稳定性。因此,5G 专网需要通过高可靠性部署方案保障由于传输故障造成专网 gNB/UPF 和运营商 2B 大网控制面之间的 N2/N4 接口同时中断场景的业务连续性。按照行业

用户的业务可用性需求不同,可分为以下2类业务。

a) 对中断敏感型业务。会造成设备停机、产线停线等严重生产事故。如:采煤机、掘进机的远程控制、天车远程控制、5G 视觉质检等。

b) 对短暂中断不敏感型业务。可接受业务短暂中断后快速重连。如:视频监控、AGV 管理等。

针对上述不同业务诉求,在 5G 专网与运营商大网控制面失联场景下,网络侧可提供多种部署方案,提供差异化的业务高可靠性保障。

a) 对稳态业务提供保活功能。在与大网失联后,专网 gNB 和边缘 UPF 继续传输数据至故障恢复。例如:远控系统 100 ms 周期性发送控制信号的天车,能不间断平稳运行。

b) 对在线用户和新接入用户。在大网断连后,提供移动性切换和快速重连功能。

3.2 系统架构

高可靠专网方案系统逻辑架构遵从 3GPP 5GC 非漫游架构(见图 1)。

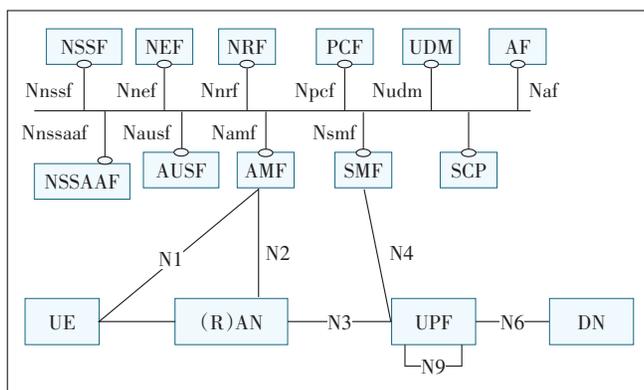


图 1 3GPP 5GC 非漫游架构

5G 专网主要包括以下几种部署方案。

方案 1: 专网只部署 1 套 UPF(见图 2)。

a) 通过运营商大网 5GC 控制面提供专网 5G 用户接入和移动信令处理,专网部署 1 套边缘 UPF,提供专网用户的数据面转发功能。

b) 专网与大网失联后,专网 gNB 和 UPF 对处于连接态且不发生移动性切换的业务可提供保活功能,且故障恢复后业务继续,不会中断。

c) 专网与大网失联后,空闲态、连接态发生移动性切换等业务中断,重新接入失败。

该方案仅能有条件地保活少量业务,仅适用于对容灾无要求,业务中断容忍度高的企业,不推荐。

方案 2: 专网部署双 UPF 容灾。根据专网用户对

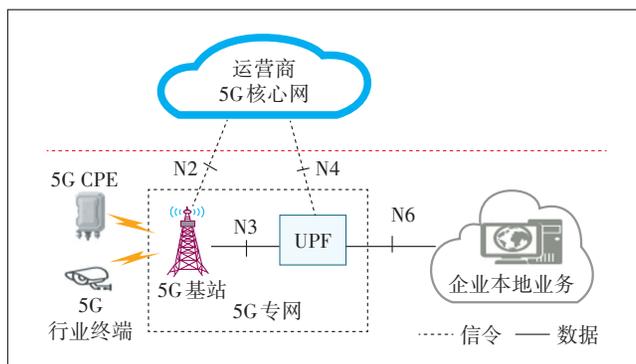


图 2 专网只部署 1 套 UPF 架构

容灾能力的要求程度不同,下沉的 UPF 可部署双 UPF 进行容灾,如图 3 所示。

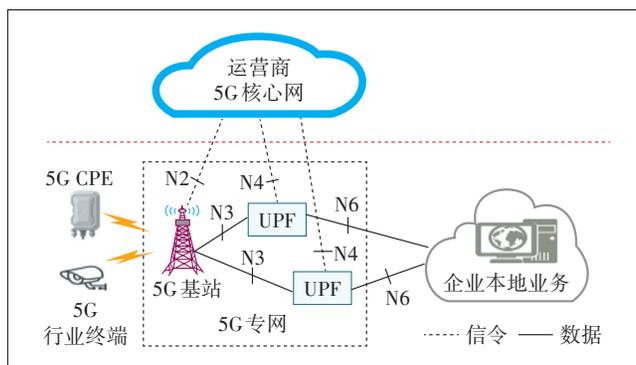


图 3 专网部署双 UPF 容灾架构

a) 通过运营商大网 5GC 控制面提供专网 5G 用户接入和移动信令处理,专网部署双 UPF,提供专网用户的数据面转发功能。

b) 单 UPF 故障场景,连接态用户中断一次,选择到另外一个 UPF 重建会话;空闲态和新接入用户选择到另外一个 UPF。

c) 专网与大网失联后,专网 gNB 和 UPF 对处于连接态且不发生移动性切换的业务可提供保活功能,且故障恢复后业务继续,不会中断。

d) 专网与大网失联后,空闲态、连接态发生移动性切换等业务中断,重新接入失败。

相比方案 1,专网在保活在线业务的基础上增加 UPF 容灾能力,但是大网失联场景下,空闲态、连接态发生移动性切换等业务中断,且无法快速恢复。适用于传输故障后短时间内能够恢复,且能容忍一定时间业务中断的企业,推荐度低。

方案 3: 专网部署 1 套 UPF 和应急 AMF/SMF/UDM 控制面功能(见图 4)。

a) 正常情况,通过运营商大网 5GC 控制面提供专

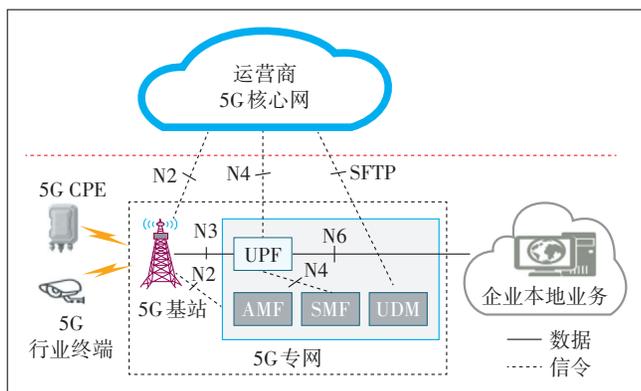


图4 专网部署1套UPF和应急AMF/SMF/UDM控制面功能

网5G用户接入和移动信令处理,应急控制面定时从大网UDM同步专网用户签约数据;专网部署1套边缘UPF提供专网用户的数据面转发功能,同时部署应急AMF、SMF和UDM功能。

b) 专网与大网失联后,专网gNB和UPF对处于连接态且不发生移动性切换的业务可提供保活功能,且故障恢复后业务继续,不会中断。

c) 专网与大网失联后,空闲态、连接态发生移动性切换的用户通过本地应急控制面重新接入,数据面由专网UPF转发。

相比方案1,大网失联场景下,既可以保持定期发送控制信号的天车业务不中断,同时对短暂中断不敏感型业务,如视频监控、AGV管理等业务快速重连。适用于煤矿、钢铁、港口等对5G专网在外部网络故障或断开时,无线通信及数据传输的可靠性高的企业,推荐部署。

该方案的限制在于专网UPF故障,所有业务包括对中断敏感的业务会中断,UPF故障恢复后才能重新接入。

方案4:专网部署1套主用UPF和备用UPF含应急AMF/SMF/UDM控制面功能(见图5)。

a) 正常情况,通过运营商大网5GC控制面提供专网5G用户接入和移动信令处理,应急控制面定时从大网UDM同步专网用户签约数据;专网部署1套边缘UPF提供专网用户的数据面转发功能。

b) 专网与大网失联后,专网gNB和UPF对处于连接态且不发生移动性切换的业务可提供保活功能,且故障恢复后业务继续,不会中断。

c) 专网与大网失联后,空闲态、连接态发生移动性切换的用户通过本地应急控制面重新接入,数据面由备用UPF转发。

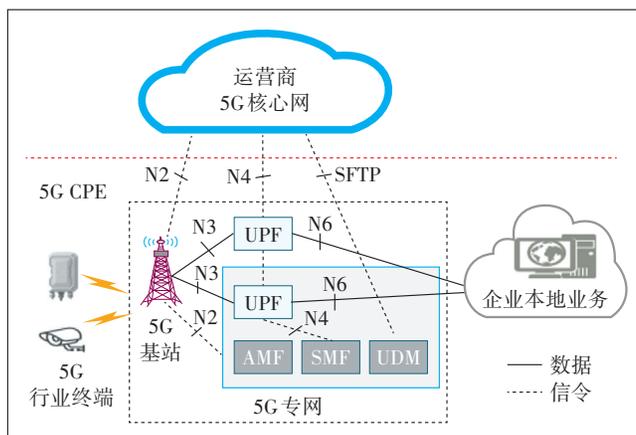


图5 专网部署1套主用UPF和备用UPF含应急AMF/SMF/UDM控制面功能

该方案适用场景和限制同方案3,该方案虽然部署了备用UPF,但是在网连接正常,只是主用UPF故障场景下,所有业务即使对中断不敏感的业务也无法通过备用UPF重连恢复业务。

方案5:部署双UPF及应急AMF/SMF/UDM控制面功能,超高可靠专网(见图6)。根据用户对容灾能力的需求,方案3中下沉的UPF和应急控制面功能均可支持负荷分担容灾能力。

a) 正常情况,通过运营商大网5GC控制面提供专网5G用户接入和移动信令处理,应急控制面定时从大网UDM同步专网用户签约数据;专网部署双UPF负荷分担模式提供专网用户的数据面转发功能。

b) 单UPF故障场景,连接态用户中断一次,选择到容灾UPF重建会话;空闲态和新接入用户选择到容灾UPF。

c) 专网与大网失联后,专网gNB和UPF对处于连接态且不发生移动性切换的业务可提供保活功能,且故障恢复后业务继续,不会中断。

d) 专网与大网失联后,空闲态、连接态发生移动性切换的用户通过本地应急控制面重新接入。

该方案适用场景同方案3和4。相比方案3和4,该方案增加了专网数据面、应急控制面容灾,优点在于正常情况2套UPF负荷分担,单个UPF故障场景,对短暂中断不敏感型业务,如视频监控、AGV管理等业务可以通过另外1套UPF快速重连恢复。

3.3 关键技术

3.3.1 业务保活

专网gNB检测到N2故障后,不闭锁小区,保持连接态用户的N3会话隧道,收到NAS信令或切换信令

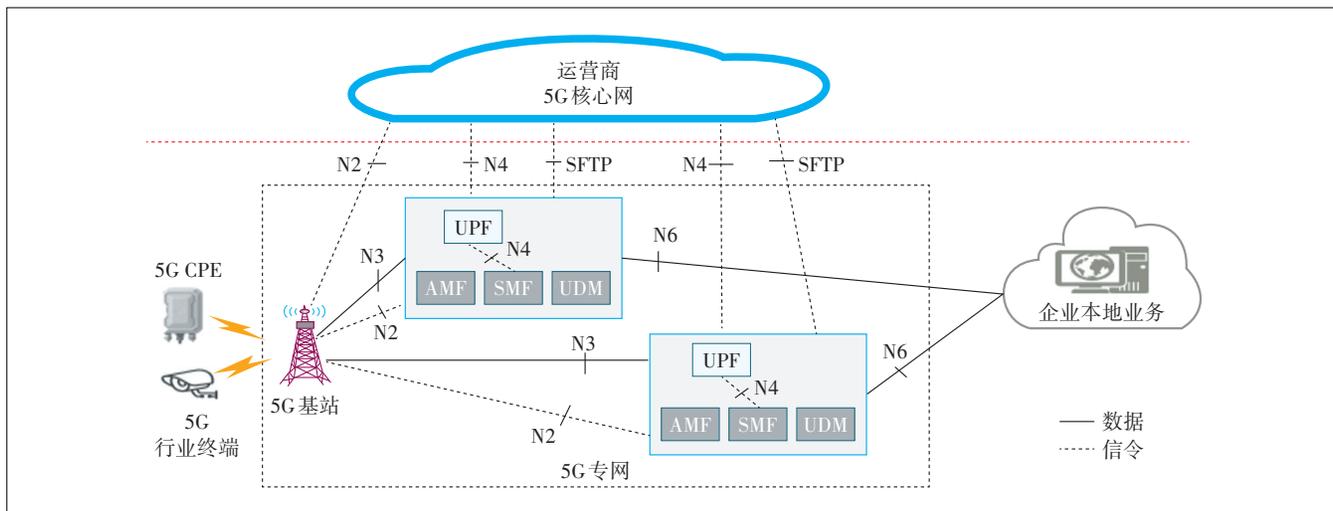


图6 部署双UPF及应急AMF/SMF/UDM控制面功能,超高可靠专网

失败/超时,不释放用户连接。

专网UPF检测到N4故障,不释放PDU会话,继续转发用户数据;计费阈值到不触发N4上报,本地累计流量待N4恢复后上报;PCC如新业务触发专网创建,不触发N4上报,维持原规则。

大网AMF和SMF,检测到专网N2、N4故障后,不释放PDU会话,连接态用户不进入空闲态,N2/N4恢复后连接态业务不中断。

3.3.2 数据同步

大网UDM定期导出专网用户卡的签约数据文件,并通过SFTP安全传输通道将文件上传到文件服务器。

专网UDM定期通过SFTP安全传输通道从文件服务器下载专网用户数据文件到本地并加载生效。专网UDM不支持对数据进行修改,在大网失联场景,提供对专网用户进行5G鉴权/注册/接入等基本业务功能。

3.3.3 应急接入

专网gNB同时连接大网和专网AMF,专网AMF固定GUAMI,和大网2B AMF规划相同的SET, Capacity设置为0。

专网AMF只选择本地的SMF和UDM,专网SMF缺省配置仅本地UPF,专网UPF需同时连接大网和本地SMF。

大网失联场景,所有Capacity非0的AMF都不可达时,专网gNB选择Capacity Value为0的AMF接入专网。由专网AMF、SMF以及UDM提供5G用户注册、接入鉴权、服务请求、切换、注销,PDU会话的建立、更新和删除等业务流程。

3.3.4 业务回迁

大网AMF/SMF连接恢复后,避免自动回迁导致的业务受损,采用有计划的人工方式将用户迁移至大网控制面:关闭专网AMF的N2接口,删除用户会话,连接态用户进入空闲态;空闲态的用户UE触发Service-Request消息或周期性TAU信令,专网gNB将用户信令发送给大网控制面。

大网失联期间,专网UPF保活的稳态业务,不受回迁影响。

4 结束语

针对不同行业、不同业务场景业务连续性的特点,对5G专网gNB和UPF同运营商大网控制面失联场景,提供了不同的5G专网高可靠性部署方案,满足垂直行业用户对高安全、高可靠的专网的需求。随着产业的不断发展和成熟,未来5G专网将提供更加丰富和安全的组网模式,进一步为行业数字化转型赋能。

参考文献:

- [1] 5G; System architecture for the 5G system; 3GPP TS 23.501 [S/OL]. [2021-05-15]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.
- [2] 5G; Procedures for the 5G System; 3GPP TS 23.502 [S/OL]. [2021-05-15]. <https://www.3gpp.org/ftp/Specs>.

作者简介:

周畅, 硕士, 主要从事5G移动通信新技术研究工作; 吕艳芳, 学士, 主要从事5G核心网设计工作; 傅俊锋, 硕士, 主要从事5G专网平台研发、5G专网网络技术研究等工作; 王杉, 硕士, 主要从事5G专网、5G核心网关键技术研究工作。