

# 基于5G聚合回传小基站的 应急通信研究

## Research on Emergency Communication of Portable 5G Station Based on Aggregation Back-haul

汪保友,姚赛彬,李智旻,徐立,曾毅(中国联通上海分公司,上海200080)

Wang Baoyou, Yao Saibin, Li Zhimin, Xu Li, Zeng Yi (China Unicom Shanghai Branch, Shanghai 200080, China)

### 摘要:

在一些特殊场景或应急抢险场合,基站部署要求具有良好的移动性。提出基于5G聚合回传小基站的应急通信方案,深入分析系统新增网元的工作机理和信令交互协议。该方案基于5G一体化小基站,实现无线覆盖和信道扩容;内置高功率锂电池组支撑整机长时间工作;通过宏站小区信道聚合技术,支持弱覆盖区域大带宽数据回传;采用网络切片技术,实现低成本的虚拟化应急专网平台;具有方便携带、灵活组网、快速开通的优势,非常适于抢险救灾、防疫检测等特殊场景的应急通信保障。

### 关键词:

5G小基站背包;应急通信;聚合回传;网络部署  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.09.008  
文章编号:1007-3043(2024)09-0044-07  
中图分类号:TN929.5  
文献标识码:A  
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

In some special scenarios or emergency rescue situations, the deployment of base stations are required good mobility. Through in-depth analysis of the working mechanism and signaling interaction protocols of the newly increased network elements, it proposes an emergency communication scheme of portable 5G station based on aggregation back-haul. This scheme achieves wireless coverage and channel expansion by using portable 5G stations, and adopts built-in high-power lithium battery pack to support long-term operation. It can support back-haul with large bandwidth in weak coverage areas through channel aggregation of macro-stations, and it can achieve a low-cost deployment of virtualization emergency private network platform by utilizing network slicing technology. Due to the advantages of portability, flexibility, and speedily, it is very suitable for emergency communication in some special scenarios such as rescue and disaster relief, epidemic prevention and testing, etc.

### Keywords:

Portable 5G station; Emergency communication; Aggregation back-haul; Network deployment

引用格式:汪保友,姚赛彬,李智旻,等. 基于5G聚合回传小基站的应急通信研究[J]. 邮电设计技术,2024(9):44-50.

## 1 概述

5G作为“新基建”之首,是促进经济社会向数字化、网络化、智能化转型的重要引擎,工信部2022年通信业统计公报显示:目前我国5G基站总量已达到231.2万个,全球占比超过60%。与5G宏站、5G室分系统的基站位置相对固定不同,在一些特殊场景或应

急抢险场景,5G应急基站的部署要求具有良好的移动性,不能依赖于光纤、宽带等有线介质安装开通。比如:

- 在船舶、移动直播等移动场景,需要提供灵活、可移动的通信网络。
- 事故灾难发生时车辆不便到达场景,需要第一时间恢复现场通信、快速部署应急通信系统,辅助救援人员开展救援行动。
- 公共卫生防疫等突发通信高负荷场景,由于时

收稿日期:2024-07-29

间突发、地点不确定、业务紧急和过程短暂,需要快速敏捷且经济的方式来部署应急通信保障网络。

如何选择可靠、便捷的无线回传技术,将无规则敷设的5G应急基站接入到5G核心网,是5G应急通信网络部署运营的难点问题。目前可选的无线回传技术,包括E-Band微波中继、卫星中继、CPE中继、5G接入回传一体化等。

a) E-Band微波工作在71~76 GHz/81~86 GHz高频段,具有民用通信频带最宽的可调制波道间隔,在城区场景容易实现1~5 Gbit/s的高容量空口传输,是目前5G微波承载的主力方案。但是E-Band微波点对点传输需要视距内直瞄、高桅杆天线、一体化单元需要车载安装、地形地貌、交通条件等因素限制了E-Band微波传输的普适性。此外,自然界的大气(氧气)吸收和雨衰也会对E-Band微波通信系统产生一定的影响。

b) 5G CPE内嵌4G/5G无线通信模组,兼容支持NSA/SA组网,提供移动无线网络与本地LAN、Wi-Fi之间的协议转换和路由处理功能,提供低成本的无线宽带接入能力,是社会化基站回传开通的主要方案之一。但是5G CPE依赖宿主基站的覆盖质量和信道容量,只能提供小容量、单链路、不太稳定的回传能力,在弱网区域回传带宽会显著下降。

c) 卫星中继设备已经是应急抢险现场的重要配置。3GPP R17引入非地面通信网(NTN),即卫星通信,用于无蜂窝网络覆盖区域的通信连接。面向NTN的5G NR包含2个项目:一个是面向CPE的卫星回传通信和面向手持设备的直接低数据速率服务;另一个是支持eMTC和NB-IoT运行的卫星通信。总体来看,目前5G卫星通信还只能提供倾向物联网的低速率回传,不太适合5G应急基站的高带宽需求;且只支持室外覆盖,不适用GNSS卫星信号不能抵达的室内场景。

d) 5G接入回传一体化(IAB)技术充分利用5G大带宽频谱以及Massive MIMO、多波束系统特性,实现无线小区接入链路/回传链路的集成、复用和切换,回传频点可选带内中继或带外中继,3GPP Rel 16~Rel 17版本对双链路无线资源的时分复用、频分复用、空间干扰管理、移动性增强等技术要求进行了标准化。但是5G IAB技术主要应用在5G毫米波基站,多个5G毫米波基站互为中继节点,自组网多跳回传到核心网,适用于室内、高铁、山区、海岛等无光纤场景下部署。由于国内5G Sub6公网、专网基站以光纤回传为主,设

备厂商对5G IAB技术的研发投入不足。

本文提出基于5G聚合回传小基站的应急通信部署策略,5G聚合回传小基站具备“方便携带、灵活组网、快速开通”等优势,同时兼有5G无线通信技术的高速率、低延时的优点。与传统高桅杆通信保障车的应急通信方案相比,虽然覆盖范围及并发用户数不及后者,但前者优势在于不需要敷设光纤、宽带等传输线路,也不需要敷设供电线缆,可以为一些特殊场景或应急通信提供高速度、高稳定、高安全的5G通信业务保障。

## 2 系统总体架构

基于5G聚合回传小基站的应急通信系统的逻辑架构如图1所示,包括5G小基站背包、4G/5G公网基站、5G小基站融合网关以及公网5GC、5G应急业务平台等。

a) 5G小基站背包由一体化小基站单元和聚合回传单元等组成。支持5G专网终端、5G单兵图传装备等展开各项应急业务。其中,一体化小基站单元用于应急救援现场的5G无线信号覆盖。一体化小基站单元与4G/5G公网基站之间,需异频配置,以避免自干扰。通过聚合回传单元,接入周边4G/5G公网基站小区。

b) 5G小基站融合网关由聚合网关、安全网关、信令网关等组成,用于5G应急小基站的聚合协议处理、安全隧道接入、控制面收敛以及用户面路由等。

c) 5G应急业务平台由行业UPF、行业应用服务器等组成,用于专网应用流量收发,支持应急抢险的调度指挥、视频监控、集群通信、语音对讲、视频会议、视频对讲、电子地图、移动OA等多种应用功能。

## 3 新增网元技术分析

### 3.1 5G小基站背包

5G小基站背包是一种轻量化的应急通信基站系统,包括无线聚合回传单元、一体化小基站单元、内置电源单元等。无线聚合回传单元支持集中部署和拉远部署2种模式;一体化小基站单元与无线聚合回传单元接入的宏基站之间按异频配置,避免自干扰。通过无线聚合回传单元接入宏站小区,搭建多路聚合、带宽叠加的回传通道,解决回传资源;基于一体化小基站技术提供应急通信现场的4G/5G无线覆盖和信道扩容;内置高功率锂电池组,为一体化小基站单元及

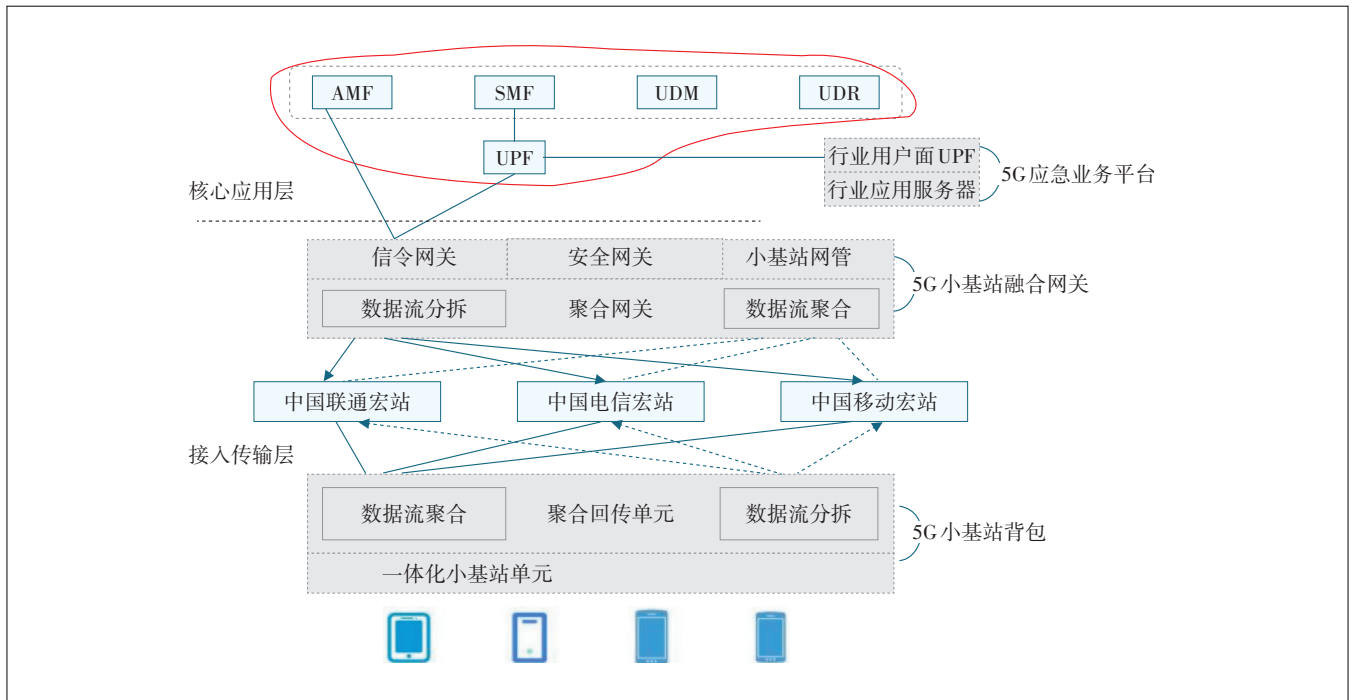


图1 基于5G聚合回传小基站的应急通信系统架构

无线聚合回传单元稳定供电,支撑整机长时间工作;因此不需要敷设光纤、宽带等传输线路,也不需要敷设供电线缆。避免了传统应急通信设备对传输、供电的苛刻要求,具备携带方便、部署简单、快速开通等特点。图2所示为5G小基站包系统架构示意。

在图2中,5G小基站背包内部各单元组成及工作

过程如下。

a) 无线聚合回传单元由聚合路由管理模块、数据流分拆处理模块、数据流聚合处理模块、4G通信模组、5G通信模组、4TR回传天线等组成,利用私有聚合协议将多个宏站小区的回传链路绑定为一个虚拟传输通道,传送一体化小基站单元和小基站融合网关之间

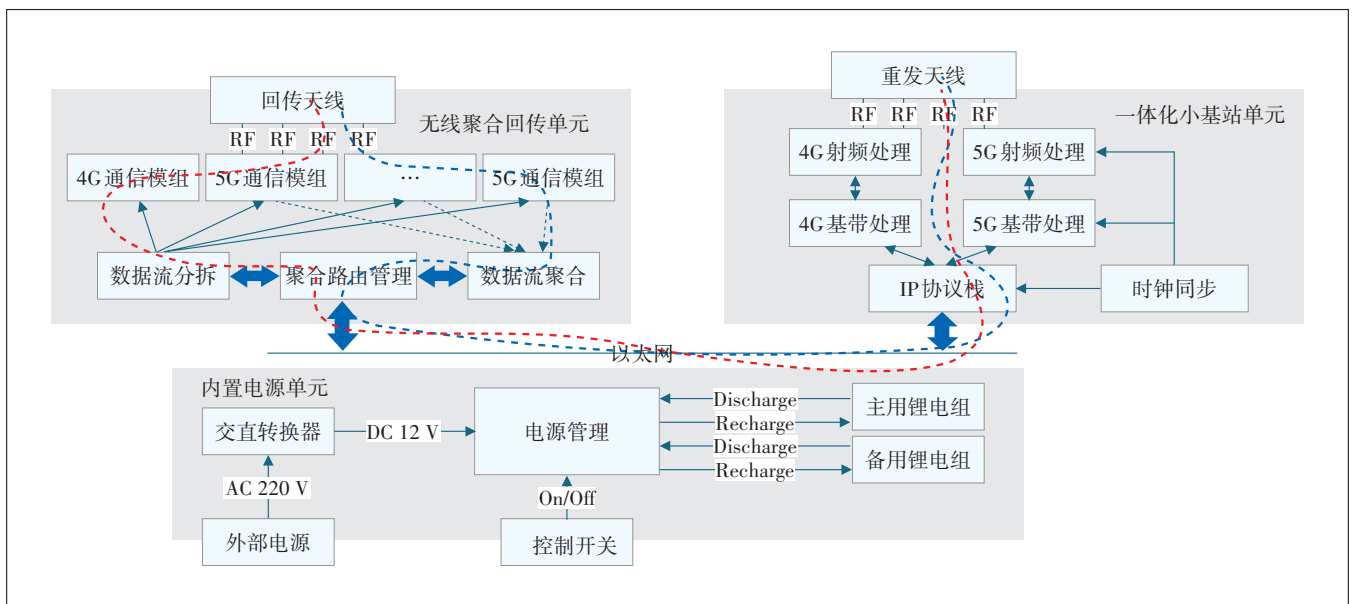


图2 5G小基站背包系统架构

的控制面消息和用户面数据。无线聚合回传单元支持集中部署和拉远部署2种模式,在覆盖区域内宏站信号良好的情况下,采用集中部署方式;当覆盖区域内宏站信号处于弱场、盲区时,采用拉远部署方式,将无线聚合回传单元拉远部署到宏站信号良好的其他位置。

b) 一体化小基站单元由IP协议栈模块、时钟同步模块、4G基带处理模块、4G射频处理模块、5G基带处理模块、5G射频处理模块、4G重发天线、5G重发天线等组成,用于公共卫生防疫检测、抢险救灾等场景,快速实现无线信号覆盖。

c) 用户终端的上行数据(控制面和用户面)被一体化基站单元的重发天线接收,依次经过4G/5G射频处理模块、4G/5G基带处理模块、IP协议栈模块等的处理,以IP包格式发送给无线聚合单元的以太网接口,再依次经过聚合路由管理模块、数据流分拆模块等的处理,将串行数据流变换为多路并行数据流,由多个4G/5G通信模组分别调制为多路射频信号,通过不同的宏站转发给小基站融合网关去汇聚。

d) 小基站融合网关的下行数据(控制面和用户面)通过多个宏站发射,由无线聚合单元的回传天线接收,经过多个4G/5G通信模组解调转换为IP层数据,经过数据流聚合模块、聚合路由管理模块等的处理,将多路并行数据流变换为串行数据流,传输到一体化基站单元的以太网接口,再依次经过IP协议栈模块、4G/5G基带处理模块、4G/5G射频处理模块等的处

理,射频信号通过空中接口发送给用户终端。

e) 为避免无线同频干扰,一体化小基站单元与回传接入宏站小区之间必须做异频配置,具体方式是通过软件修改一体化小基站单元的工作频段。

f) 内置电源单元由电源管理模块、第一锂电池模块、第二锂电池模块、交直流适配器、控制开关等组成,支持整机长时间独立工作,具备主备切换、充放电切换功能。

g) 电源管理模块通过实时检测第一锂电池模块、第二锂电池模块的剩余电量,启动或关闭主备切换功能。电源管理模块通过检测控制开关的设置,启动或关闭交直适配器的充电通道。

### 3.2 5G小基站融合网关

基于5G聚合回传小基站的应急通信系统,各个网元之间的组网拓扑如图3所示。

在图3中,无线侧的5G小基站背包和5G小基站融合网关、核心网侧的UP Pool资源池、CP Pool资源池等,为公网专网虚拟化共享,通过网络切片逻辑隔离专网占用资源。专网终端、行业用户面UPF、行业应用服务器等为5G应急专网独享。

在图3中,5G小基站融合网关由聚合网关、安全网关、信令网关等组成。支持企业级皮基站、大功率皮基站、便携式背包站、一体化皮基站(融合ONU)、Femto等不同产品接入。硬件设备主要包含防火墙、交换机、4G/5G融合网关服务器、网管服务器等。其中,同一套网关服务器可搭建信令网关和安全网关2

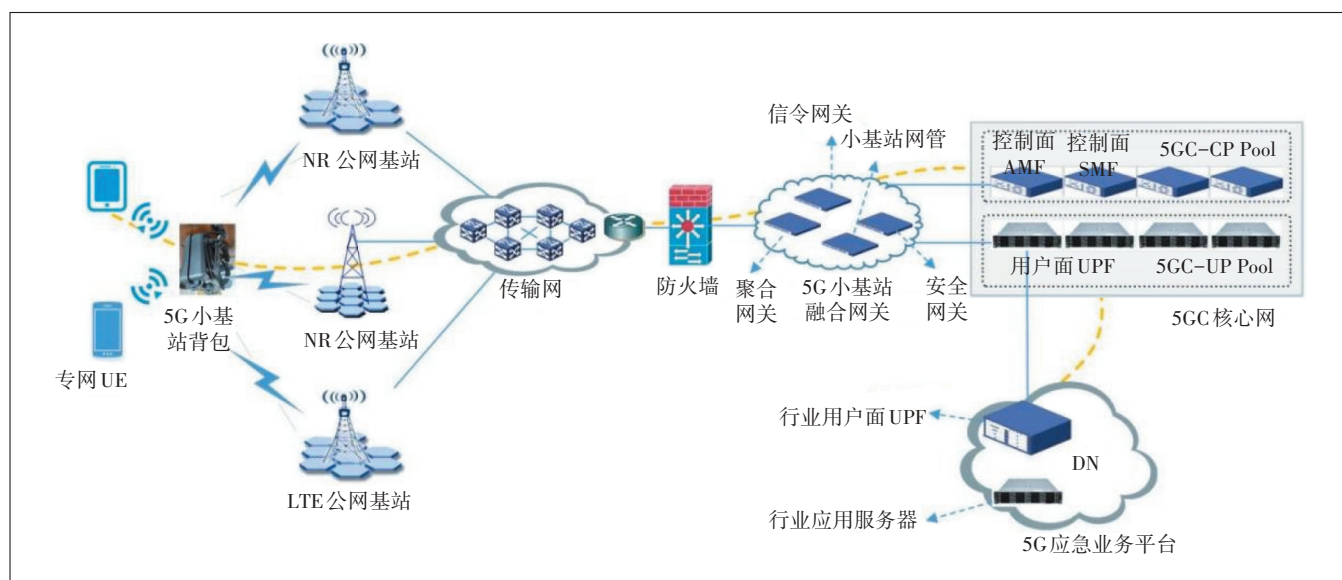


图3 5G应急通信组网拓扑

个网关软件系统。

安全网关位于核心网的边界,主要负责便携式基站的鉴权,通过便携式基站和安全网关之间的双向认证,将便携式基站连接到核心网。安全网关通过建立安全隧道对控制面信令及用户面数据进行保护,保证便携式基站到核心网的安全接入,便携式基站和核心网之间的控制面信令和用户面数据都通过这个通道传输。安全网关使用IPSec在IP网络上生成安全隧道,为用户在IP网络或者Internet上建立安全的点对点连接,保护便携式基站的控制面和用户面数据不受窃听和篡改。

信令网关的作用是增加便携式基站和EPC/5GC间接口的扩展性,在网关处引入控制面的集中功能。作为汇聚网关设备,对便携式基站进行统一的管理和控制,当大量便携式基站部署时,核心网不会受到由于便携式基站的频繁开关所引发的SCTP连接的建立和释放所产生大量信令带来的冲击,以及便携式基站频繁开关、断链所触发的大量告警。信令网关支持4G/5G便携式基站同时接入,并对便携式基站进行管理和控制。

小基站网管系统的主要管理功能包括拓扑管理、配置管理、告警管理、性能管理、安全管理、日志管理、软件管理、系统维护管理等。其中,拓扑管理是指将网管系统所管理的网元之间的逻辑关系、网元的运行状态等信息以图形方式概览呈现,并提供进一步访问网元信息的应用链接。配置管理是指实时、动态地管理网元的配置数据,呈现设备工作状态,以图形、文字等形式分层显示配置相关的各类信息,并具有网元增加、删除、修改、查询、备份/恢复等功能。小基站网管系统的结构如图4所示。

在图4中,小基站网管与上层综合网管之间的接口称为北向接口。通过北向接口传送小基站网管

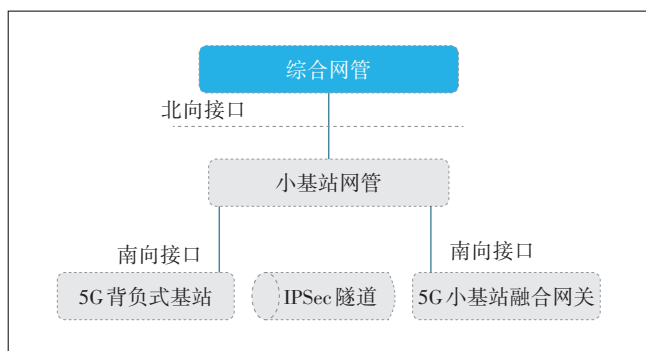


图4 4G/5G便携式基站网管系统结构

理的所有对象的配置数据、告警数据、性能数据、MR测量报告等。同时,小基站网管支持上层综合网管系统通过北向接口对全部或部分(指定时间段和范围)当前活动告警信息进行告警同步。小基站网管与小基站之间的接口称为南向接口。南向接口遵循TR069协议和命令行接口,且开放网元相关接口的MIB库、操作指令集,支持上层综合网管系统的开发。

#### 4 系统信令交互协议

本文提出的基于5G小基站背包的小微场景快速应急组网方案,是叠加于运营商5G无线网络上的逻辑子网,通过多层协议封装提供5G一体化小基站与5G核心网的N2和N3接口连通能力,专网UE的NAS层消息和应用流量能够不受影响地传输和处理。图5是系统控制面的协议栈,图6是系统用户面的协议栈。

同时为降低5G应急专网的建设维护成本,没有单独配置专网核心网,公网专网共享公网5GC的控制面资源池(CP Pool),通过网络切片进行不同程度的隔离,得到各个虚拟的专网核心网控制面网元,专网信令流量处理不受影响。同样地,公网专网共享公网5GC的用户面资源池(UP Pool),通过网络切片分配独立路由和业务隔离,通过UPF下沉将专网应用流量分流到行业应用平台,降低传输时延。为避免抢险救援现场的无线同频干扰,5G一体化小基站与回传接入4G/5G公网基站必须做异频配置,具体方式是通过软件限制5G小基站背包聚合回传单元的接入频段范围。

详细信令交互描述如下。

a) 5G小基站背包内置一体化小基站单元,通过标准N2接口与公网5GC的控制面AMF互联,经由5G小基站融合网关进行控制面信令收敛,通过标准N3接口与公网5GC的用户面UPF互联,实现用户面数据交互。

b) 专网UE包括多媒体终端、高清直播背包、单兵工作站等,无线接入一体化小基站单元覆盖的无线小区。

c) 5G小基站背包内置聚合回传单元,自动侦测和接入4G/5G公网基站,最大可混合接入6个无线小区。聚合回传单元创建多路径聚合、带宽叠加的虚拟传输通道,在上行方向接收一体化小基站单元发送的IP数据包,按私有协议拆包、分解到各个无线链路中传输;在下行方向从各个无线链路中提取聚合网关发送的IP数据包,按私有协议解析、逆向重组。聚合叠

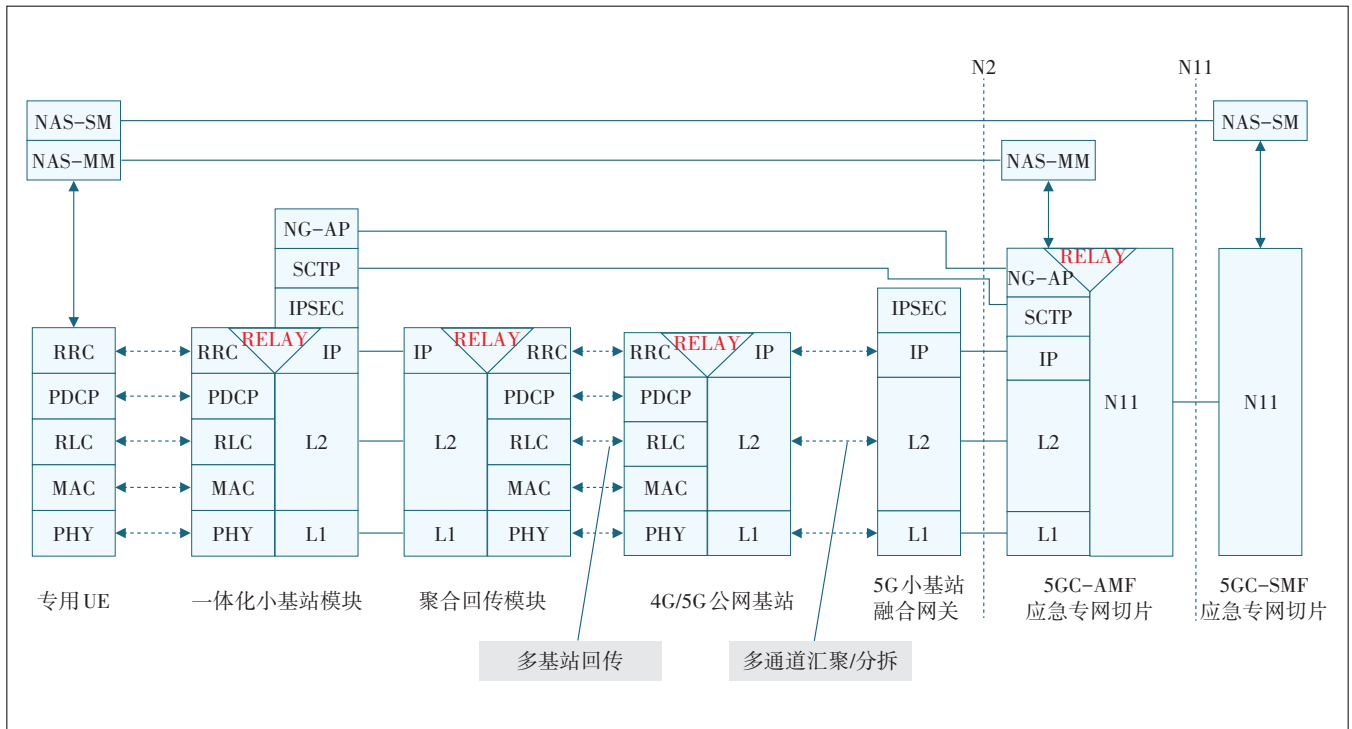


图5 系统控制面协议栈

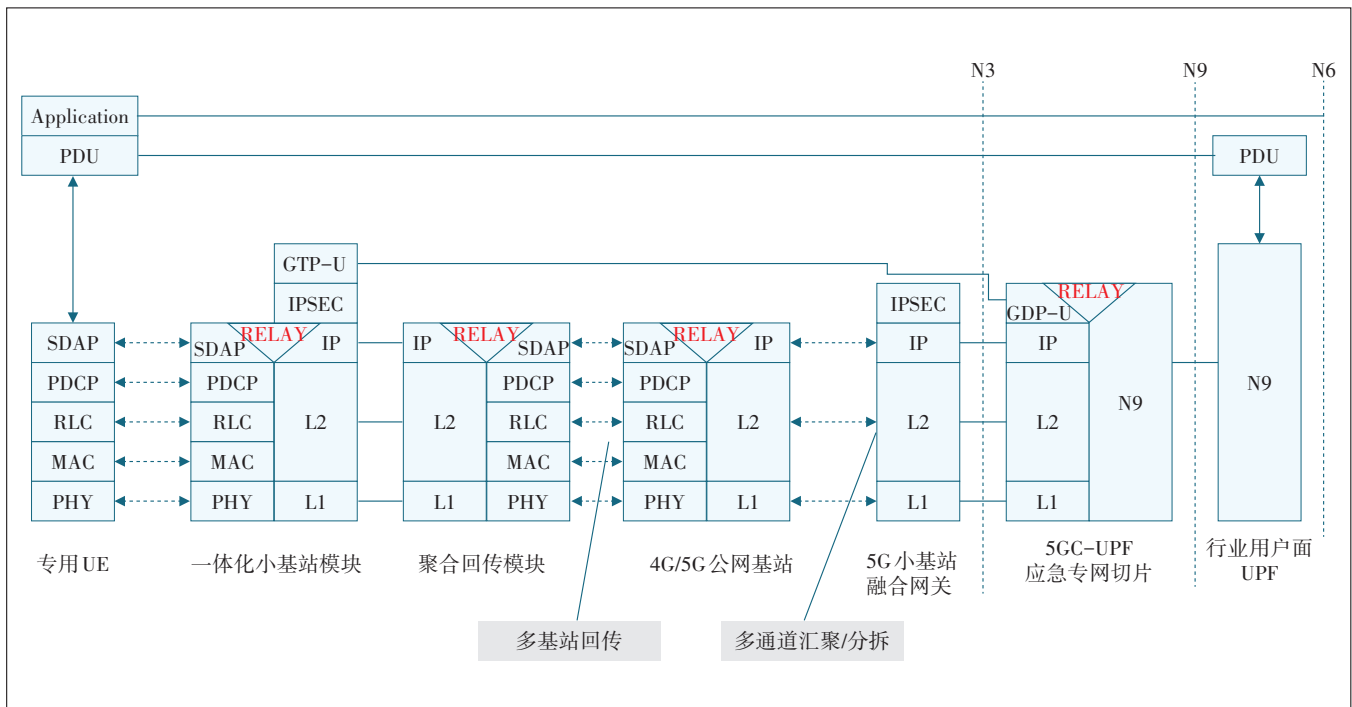


图6 系统用户面协议栈

加的核心是动态均衡算法,通过实时监测无线链路的信号强度、传输延时、有效带宽、抖动丢包率等指标,结合前向纠错机制,每5 ms周期性地优化路由、调整

负载配置、移除故障链路,以降低链路拥塞和数据丢包,保证用户业务不中断。

d) 聚合网关连接到防火墙。聚合网关部署在内

网环境,映射或配置至少1个公网IP端口,用以汇聚所有5G小基站背包的无线多链路流量。单个聚合网关可接入的5G小基站背包数量 $\geq 200$ 台,聚合网关与5G小基站背包之间的虚拟传输通道支持安全隧道协议。

e) 小基站网管连接到聚合网关。小基站网管对接入小基站网关的5G一体化小基站进行统一监控、配置、告警、操作维护和性能管理等。

f) 安全网关连接到聚合网关。安全网关与每一个5G小基站背包之间做双向认证后建立和维护IPSec隧道,通过该安全隧道为无线侧与核心网之间的控制面信令、用户面数据提供完整性和机密性保护。

g) 信令网关连接到安全网关。信令网关汇聚所有5G小基站背包和核心网之间的控制面,收敛公共信令,节约接入链路以降低核心网的信令处理压力。

h) 公网5GC的控制面AMF连接到信令网关。5GC控制面AMF直接管理5G用户无线接入请求,执行注册、连接、可达性、移动性管理等功能。5GC控制面AMF为UE和SMF提供会话管理消息传输通道,为用户接入时提供认证、鉴权功能,担任终端和无线侧的核心网控制面接入口。

i) 公网5GC的用户面UPF连接到信令网关。5GC用户面UPF承担分组路由转发、策略实施、流量报告、QoS处理。5GC用户面UPF是会话的锚点,记录流量转发量。

j) 公网5GC的控制面SMF通过标准N11接口连接到控制面AMF,通过标准N4接口连接到用户面UPF。5GC控制面SMF承担会话管理功能,包括隧道维护、IP地址分配和管理、UP功能选择、策略实施和QoS中的控制、计费数据采集、漫游等。5GC控制面SMF基于UE或者会话的粒度选择UPF,可以分配IP地址、收集计费数据、连接计费中心。

k) 行业用户面UPF通过标准N9接口连接到5GC用户面UPF。行业用户面UPF下沉到应用现场(如调度指挥中心),对专网应用流量做路由转发。

l) 行业应用服务器通过标准N6接口连接到行业用户面UPF。行业应用服务器实现应急抢险的调度指挥、视频监控、集群通信、语音对讲、视频会议、视频对讲、电子地图、移动OA等多种应用功能。

## 5 结束语

面对大规模的室外演出、博览展会、运动比赛等,电信运营商过去一般采取紧急架设宏基站或出动高

桅杆通信保障车的方案,临时开通1个或多个高功率、大容量、大带宽的蜂窝无线小区。这种方案的优点是能够覆盖数平方公里,并同时接入数千用户,但缺点是要求预先敷设光纤等传输资源,以及预先敷设供电线缆。在一些特殊场景或应急抢险场合,5G应急基站的部署要求具有良好的移动性,不能依赖于光纤、宽带等有线介质安装开通。例如疫情期间核酸采样点遍布在整个城市的各个商贸区、办公区、厂矿企业、居民小区等,仅仅传输资源、供电资源达标就是一个高成本、高投入、高耗时的任务。本文提出的基于5G聚合回传小基站的应急通信方案,基于一体化小基站技术实现无线覆盖和信道扩容,通过宏站小区信道聚合技术解决回传资源问题,内置高功率锂电池组支撑整机长时间工作。该方案具有携带方便、灵活组网、快速开通的优势,兼有5G无线通信技术的高速率、低延时的优点,不需要敷设光纤、宽带等传输线路,也不需要敷设供电线缆,不受地域、地貌限制,非常适合抢险救灾、防疫检测等特殊场景的应急通信保障。

## 参考文献:

- [1] 陈盛伟,李帆,杨光平等.面向空天地应急通信系统的空地连续覆盖技术研究与应用[J].电信科学,2022,38(8):54-64.
- [2] 杨嘉忱,黄涛.中国联通区域空间应急通信系统传输解决方案研究[J].邮电设计技术,2018(8):84-87.
- [3] 3GPP. 3GPP specification detail [EB/OL]. [2024-04-08]. <https://www.3gpp.org/dynareport?code=status-report.htm#deadRel-17>.
- [4] 刘晨熙,马睿,彭木根.无人机通信感知一体化:架构、技术与展望[J].电信科学,2023,39(2):1-9.
- [5] 徐芙蓉,崔航,于天意,等.5G云、网、业一体游牧式部署方案[J].电信科学,2022,38(z1):120-127.
- [6] 吴双,李德识,刘鸣柳,等.面向应急通信服务的多无人机协同飞行规划[J].计算机仿真,2023,40(6):47-53.
- [7] 尹小俊,陈崇成,李瑞兴,等.基于LoRa集成北斗通信技术的应急响应设计与实现[J].福州大学学报(自然科学版),2020,48(2):167-173.

### 作者简介:

汪保友,教授级高级工程师,博士,主要研究方向为5G-A无线通信技术、大数据与人工智能、网络与信息安全;姚赛彬,无线网运营中心总经理,高级工程师,硕士,主要研究方向为无线通信前沿技术、通信网络规划、无线网优化;李智旻,无线网运营中心副总经理,高级工程师,主要研究方向为无线通信前沿技术、通信网络规划、无线网优化;徐立,硕士,主要研究方向为网络智慧运营、无线网优化;曾毅,硕士,主要研究方向为5G-A无线通信技术。