

5G 电力应急通信装置的研究和设计

吴湛¹, 金延¹, 高险峰¹, 张乃平², 张岩², 魏高荣²

1. 国家电网公司华中分部, 武汉 430074

2. 大唐移动通信设备有限公司, 北京 100083

摘要 从理论、硬件、软件、组网应用及关键技术等方面研究了5G电力应急通信装置。5G电力应急通信装置具有一款多端口多模组的融合网关,并采用多模融合、抗干扰等技术,实现了5G网络与电力无线专网以及其他网络的兼容,可依据无线信道质量选择无线网络,支持动态路由,能够为电力数据回传提供可靠高速的无线传输通道,满足了应急救援指挥行动的通信需求。

关键词 5G电力应急通信;融合网关;5G网络;电力无线专网

4G 通信技术是现阶段使用最多的技术,但5G通信技术能够形成人与物与物之间的高速连接,实现整个网络、终端、无线和业务的进一步融合。5G可以使人在感知方面的获取和控制能力更强,5G的服务对象也将从公众用户向行业用户拓展,网络也将更智能和广泛。5G网络因其独特优势,已经被虚拟现实(VR)行业、无人驾驶领域、物联网产业看好并得以广泛布局^[1-2]。

目前电力系统的应急通信大多采用卫星通信方式,这种方式使用灵活机动、可靠性高,但需要临时申请使用资源,同时存在带宽受限、费用高、设备体积过大的问题。而在出现输电线路覆冰过厚导致电力专用光缆受损的情况下,还可通过租用公网运营商电路进行应急处理,但这种方式又存在需要进行设备部署、等待开通测试时间以及在空间位置

上受限于光缆覆盖范围的问题。因此,有必要研究一种利用5G网络的应急通信装置以满足突发紧急情况下电力业务的通信需求。

1 5G 电力应急通信装置的架构设计及组网应用

5G电力应急通信装置是融合多种功能、应用、技术的高度集成设备,符合当前信息通信技术(ICT)多领域融合的发展趋势,其特点是支持多运营商多网络兼容。5G电力应急通信装置还适用于通信终端分布广、节点分散的情况,可广泛应用在用电信息采集、配电自动化、能效管理、分布式能源接入及移动作业等场景,同时支持高带宽业务传输,如视频业务、应急抢险业务、生产信息传输等。

收稿日期:2020-04-17;修回日期:2020-10-24

作者简介:吴湛,高级工程师,研究方向为电力通信建设及管理,电子信箱:13871122209@139.com

引用格式:吴湛,金延,高险峰,等. 5G电力应急通信装置的研究和设计[J]. 科技导报, 2020, 38(22): 123-129; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.22.014

1.1 理论基础和实践依据

5G 通信技术具有高带宽、高速率、多连接、低时延高可靠、切片技术、差异化服务质量 (quality of service, QoS) 服务等特点, 融合网关产品涉及的 5G 技术已经在运营商的各地试验网通过实践验证, 其技术先进且可行^[3-4]。采用 5G 通信技术可以实时传输输电线路、变电站的电力数据采集信息, 同时能提供多路高清视频传输, 实现对变电站、输电线路等多场景的视频监控, 通过视频信息传输提高了调度指挥和运行人员的现场感, 确保现场情况能最快、准确、生动地传达至领导以及各专业负责人员处, 便于决策人员高效协同开展应急处置指挥工作。

5G 电力应急通信装置依据 5G 技术原理设计, 采用最新的 5G 新空口技术, 可使用户达到 0.1~1 Gbit/s 的体验速率, 10 Gbit/s 的峰值速率, 长期运行时也能维持用户不低于 100 Mbit/s 的速率, 其利用 5G 网络完成电力输变电设备或输变电线路的多路高清实时巡检、监控视频同时回传到控制中心, 开展远程视频会商, 使后台管理及指挥人员在原有电力通信网无法覆盖或故障的情况下, 能够准确掌握电力现场故障状况, 指导一线作业人员及时抢修设备和线路, 以最快最有效地恢复电网正常运行。

1.2 硬件组成

5G 电力应急通信装置的具体组成如图 1 所示, 包括: 网关处理单元, 采集并上传数据, 并提供 5G 无线网络转换功能; 公网收发单元, 进行多模终端协议处理, 以提供与公众无线网络的连接功能; 专网收发单元, 进行 1.8G 终端协议处理, 以提供与电力无线专网的连接功能; 加密接口单元, 加密采集数据; 工业以太网接口单元, 提供采集数据的以太承载功能; RS485 接口单元, 提供现场总线的串口物理连接承载功能; 2M 接口模块, 采用电力通信领域的常规接口, 通过以太网扩展 2M 接口, 其连接方式如图 2 所示。

其中, 由公网收发单元、专网收发单元共同构成同时支持多网络、多端口多模组的融合通信网关, 以满足电力系统应急大数据应用、高清视频传输及应急指挥调度的需求。并由其余各单元共同

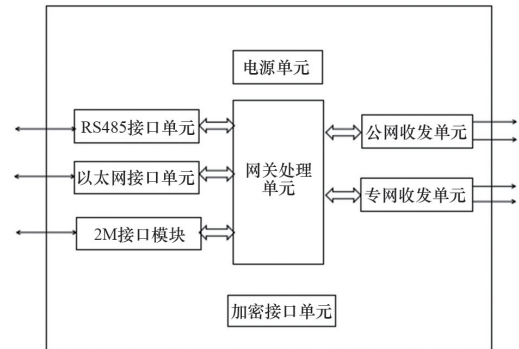


图1 5G电力应急通信装置

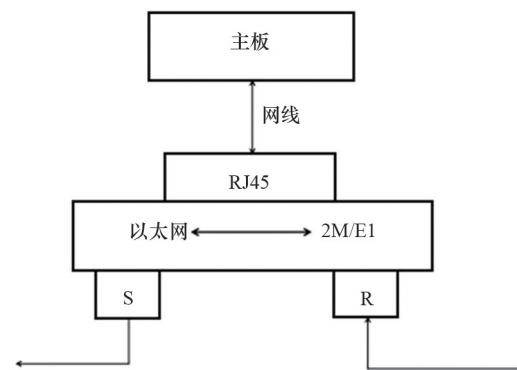


图2 2M接口连接方式

完成数据处理、转换、加密、传输等常规功能。

1.3 软件组成

根据硬件总体设计, 将串口协议转换、网络安全功能实现于融合通信网关的板卡上, 因而 5G 电力应急通信装置软件功能主要由融合通信网关实现^[5-6]。融合通信网关可实现 4/5G 网络数据回传适配功能、数据转发功能、操作维护功能(表 1)。

融合通信网关的软件组成包括内核层、芯片适配层、应用层(图 3)。

根据功能划分, 融合通信网关包括: BSP DD, 加载完成操作系统, 实现板卡级驱动; 操作系统, 提供 Linux 操作系统和网络协议栈功能; 协议栈, 进行 WLAN、ETHERNET 数据的网络转发; OSP 子系统, 屏蔽底层硬件架构及操作系统的差异, 规范驱动接口设计, 为上层软件提供相对稳定的应用环境, 以帮助其快速移植; 无线回传适配模块, 提供对 4/5G Module 接口的适配封装, 提供对 Module 控制和状态查询等功能; 网络控制适配模块, 提供操作系统和

表1 网关处理模块主要功能

项目	功能描述
4/5G 模块回传适配功能	支持频段和中心频点的配置 支持自动和手动的公共陆地移动网(public land mobile network, PLMN)选择 支持 APN/PIN 码的配置修改 在数据连接态过程中,因空口信号环境等原因发生脱网等连接断开现象后,应自动搜索可用网络,并自动进行连接重建,恢复业务
数据转发功能	支持 2M、Wi-Fi 的适配和协议解析 支持以太网动态地址分配(DHCP)和静态地址分配 支持静态 IP 配置下的路由转发或者 NAT 后的路由转发 支持端口转发和 DMZ 功能
操作维护功能	支持经由 Wi-Fi 或以太网络连接特定的配置网页(Web GUI)进行配置和管理操作 支持存储的系统日志 支持软件下载及升级 支持参数配置永久保存 通过工具支持对参数配置导出、导入 支持通过 LED 指示灯显示工作状态,主要状态项包括 5G 信号指示、数据连接状态、Wi-Fi AP 状态、电源状态 支持系统状态信息查询,包括终端的硬件、软件版本信息、网络信息查询、联网设备信息查询、4/5G 信号强度显示等 支持管理员密码配置、软件方式重启设备、在线帮助等基本功能

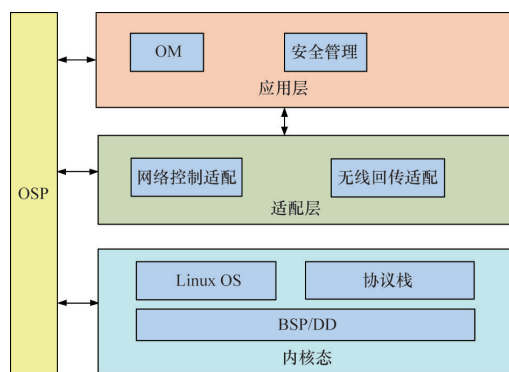


图3 应急通信网关软件

协议栈接口封装,完成 WLAN 控制、以太和 USB 控制及数据转发控制;安全管理模块,提供实现网络安全认证、鉴权等安全相关功能。操作维护模块(OM),完成启动过程的控制、系统资源的管理、异常处理,提供 WEB 方式的操作维护代理,完成配置管理、日志管理、告警管理、性能管理等功能。

1.4 组网架构

由以上硬件组成并具有上述软件功能的 5G 电力应急通信装置可运行于三大运营商的 4/5G 网

络,支持 2M 接口,满足电网各种多种应用环境^[7-11]。5G 电力应急通信装置在应急通信场景下的连接关系如图 4 所示,此时,装置通过运营商 5G 网络实现电力前端和后端信息中心的互通互联。

为验证 5G 电力应急通信装置功能,所使用的 5G 通信网络采用已布置好的武汉 5G 试验网,包含 5G 核心网和 5G 基站系统。

在正常情况下,变电站、电力线路等电力设施的信息采集通信和指挥调度通过电力通信网络完成。在电力通信网络故障时,启用 5G 电力应急装置,采用 5G 网络,通过如图 5 所示的连接关系实现前后端数据流的互通。即当变电站、配电站等电力场所原电力通信线路故障发生后,启用 5G 电力应急通信装置,由其采集的故障相关视频及其他数据信息进行处理、加密后,通过运营商公网基站、运营商网络传至电力外网业务系统,经隔离装置进行格式转换后传至内网的业务系统,完成电力系统数据、视频安全可靠回传;反之,电力调度控制中心相关控制信息亦可反向传输至应急场所,实现信息的双向互通。

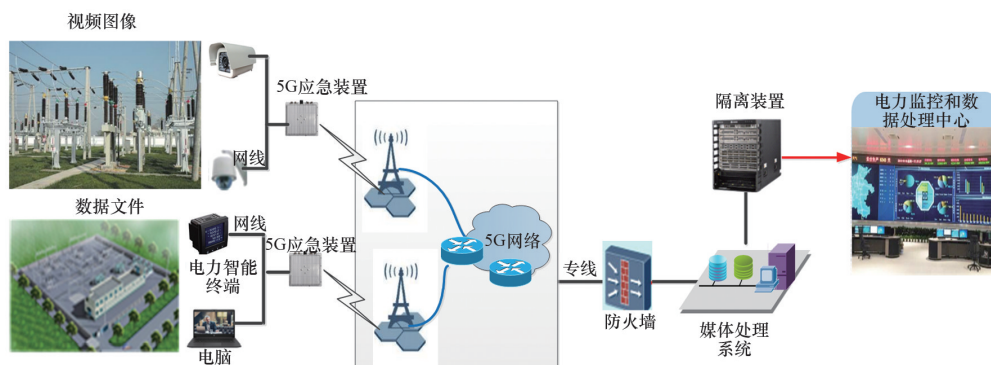


图4 5G电力应急通信装置的组网关系

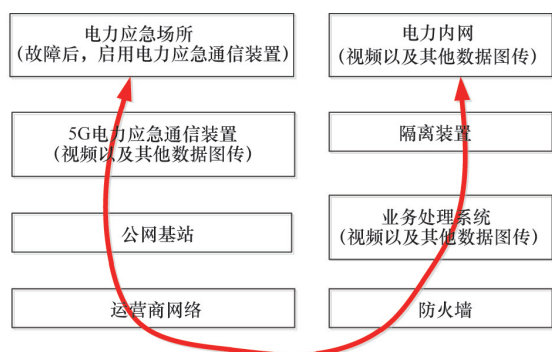


图5 5G电力应急通信数据流

2 关键技术

5G电力应急通信装置具有多端口多模组融合网关,采用了多模融合、抗干扰等技术,可依据无线信道质量选择无线网络,支持动态路由,能够为电力数据回传提供可靠高速的无线传输通道。5G电力应急通信装置采用的关键技术包括多模多频无线回传技术、干扰抑制技术、业务QoS保障方法、安全保密技术。

2.1 多模多频无线回传技术

为了保证5G电力应急通信装置能够快速安全地传输数据,在多网络模式条件下,首先要确定设备支持接入的网络,分别向所有网络发起网络连接;然后确定预设时间间隔内连接成功的网络;最后扫描连接成功的网络的状况,根据选择算法和需要发送的业务数据,选择最优的网络接入并发送数据。其中,可连接网络的质量指标可以是网络性能

指标中的1个或多个,包括带宽、吞吐量、延时、包转发率(PPS)、时延带宽积、往返时间(RTT)、利用率。

而为保证在使用多模多频回传方法时,能够从各大运营商网络中选出最优网络。首先,根据采集到的所有可连接网络的质量指标值,得到决策矩阵;将决策矩阵处理后得到归一化矩阵;根据待发送数据的业务类型和归一化矩阵,确定最优网络,以便通过最优网络发送待发送数据。

将决策矩阵处理后得到归一化矩阵具体包括:对决策矩阵进行标准化处理,得到标准化矩阵;采用熵权法,根据标准化矩阵,确定每一个指标的权重向量;根据权重向量对标准化矩阵加权计算,得到归一化矩阵,通过此归一化矩阵准确确定每一个指标的权重向量。

1) 对决策矩阵进行标准化处理,得到标准化矩阵的实现方式:将第*i*个网络的第*j*个指标值 x_{ij} 代

入式 $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}}$,得到标准化后的第*i*个

网络的第*j*个标准化指标值 x'_{ij} 。其中, \bar{x}_j 是第*j*个指标值的平均值,*i*取值是1~*m*,*j*取值是1~*n*,*m*是可连接网络的数量,*n*是质量指标值的数量,*m*和*n*都是正整数。

2) 采用熵权法,根据标准化矩阵,确定每一个指标的权重向量的实现方式:将第*i*个网络的第*j*个标准化指标值 x'_{ij} 代入 $H_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^m x'_{ij} \ln x'_{ij}$,得到第*j*

个指标的熵值 H_j ; 将第 j 个指标的熵值 H_j 导入式

$$w_j = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{j=1}^m H_j}, \text{ 得到第 } j \text{ 个指标的权重向量。}$$

3) 根据待发送数据的业务类型和归一化矩阵, 确定最优网络具体还可以采用以下方式实现: 根据待发送数据的业务类型, 确定正理想方案和负理想方案; 计算每一个网络的权重向量与正理想方案的第一欧式距离, 每一个网络的权重向量与负理想方案之间的第二欧式距离; 根据第一欧式距离和第二欧式距离, 得到每一个网络与正理想方案和负理想方案的贴合度; 选取贴合度值最大的网络作为最优网络。通过得到的最优网络可更好实现业务数据与网络的匹配程度, 实现无线资源的合理有效利用。

采用以上的选网方式, 5G 电力应急通信装置能够根据不同运营商网络情况选择合适的网络接入, 保证数据传输效率, 使得在紧急情况下最大限度保证传输通道的畅通。同时, 由于 5G 网络相对于 4G 网络上行信道带宽更大、速率更快, 适合传输变电站的视频数据, 在具体电力应急通信中, 优先选择驻留在 5G 网络。

2.2 业务 QoS 保障方法

为了实现业务 QoS 保障, 根据采集到的所有可连接网络的质量指标值, 得到决策矩阵, 具体实现方式如下: 每过预设时间间隔采集可连接网络的质量指标值, 计算所有网络的每一个质量指标值的均值; 根据公式 $x_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_j}{y_{j\max} - \bar{y}_j} (1 - M) + M$, 得到第 i 个网络中的第 j 个指标的指标值 x_{ij} , 其中, \bar{y}_j 是每一个网络的第 j 个指标的均值, y_{ij} 是最近一次第 i 个网络中第 j 个指标的指标值, $y_{j\max}$ 是所有网络中的第 j 个指标的最大值, M 是设定的常数。

通过上述方式, 将采集到的多个时间间隔的质量指标值的原始数据进行处理, 减少了数据极值的出现, 减少了冗余数据的干扰, 可提高获得的每一个网络的质量指标值的精度, 能够保障应急情况下电力回传数据 QoS。

2.3 干扰抑制方法

在采取多模多频方式工作时, 由于支持的频段众多, 不同频段间存在干扰, 为减弱甚至消除频间干扰, 通过采用空间隔离、选择保护频带、印刷电路板 (printed circuit board, PCB) 板级优化设计、邻道干扰 (adjacent channel interference, ACI) 抑制对多模进行干扰抑制, 能够有效提高 5G 电力应急通信装置接入成功率, 维持其系统链路的稳定性^[12-15]。

2.4 安全保密技术

基于《电力无线专网安全使用规范》及其他电力安全生产管理规范, 结合 5G 网络技术, 设计智能电网的多切片安全架构和电力终端的认证机制, 且在电力应急通信装置端和服务器端采用基于传输层安全的密钥传递方法, 在电力应急通信装置中动态分配 TLS 协议中的预共享密钥, 并在电力应急通信装置中配置安全认证系统。

安全认证系统包括用户设备、代理设备和应用服务器。其中, 用户设备向代理设备发送初级认证请求消息; 代理设备用于向应用服务器转发初级认证请求消息, 向用户设备发送初级认证应答消息, 并将初级认证应答消息发送至应用服务器; 用户设备用于向代理设备发送高级认证请求消息; 代理设备用于向应用服务器转发高级认证请求消息; 应用服务器用于根据高级认证请求消息对用户设备进行认证, 若认证成功, 将高级认证应答消息发送至用户设备; 用户设备用于根据高级认证应答消息对应用服务器进行认证, 若认证成功, 用户设备与应用服务器分别生成会话密钥。

代理设备还生成随机数, 初级认证应答消息中包括随机数, 且用户设备还生成增加随机数, 高级认证请求消息中包括增加随机数。

用户设备还可以根据随机数、增加随机数、用户设备所在的应用服务器中的组标识, 以及用户设备和网络认证服务器之间的共享密钥, 生成第一字符串, 在高级认证请求消息中包括第一字符串和组标识。

应用服务器预先将用户设备进行分组, 并分配组标识, 将组标识发送至用户设备, 用户设备在认

证过程中将包括组标识和共享密钥的认证消息发送至认证服务器。

通过5G电力应急通信中的安全认证系统,用户设备认证应用服务器的合法性,同时应用服务器对用户设备的合法性进行认证,达到了双向认证,认证方法算法简单,不需要过于复杂的运算,非常实用高效;而且,还可防止攻击者通过结合认证时间等信息确定用户设备的真实身份信息;另外,认证服务器最多遍历组标识对应的组内的所有用户设备的共享密钥,即可完成对用户设备的认证,避免了应用服务器资源的浪费。最终,使得通过5G公网可安全进行电力数据的传输,防止数据的泄密,提升数据安全性,提高了5G电力应急通信装置的安全性和可维护性。

3 实验验证

利用大唐移动通信设备有限公司的无线移动通信国家重点实验室、新一代移动通信系统与技术国家工程实验室提供的实验环境和实验条件,进行与5G电力应急通信装置相关的一系列移动通信产品开发与测试,与5G电力应急通信装置相关的HSPA(high-speed packet access)、4G、5G的关键技术研究和设计;同时,搭建用于测试5G电力应急通信装置性能的测试驱动开发(TDD)研发测试环境。在TDD研发测试环境下,通过已布置好的武汉5G试验网模拟5G电力应急通信装置上下行传输速率。5G通信网络包含5G核心网、5G基站系统。5G电力应急通信装置实验室数据上行及下行峰值测试结果如图6~图10所示。

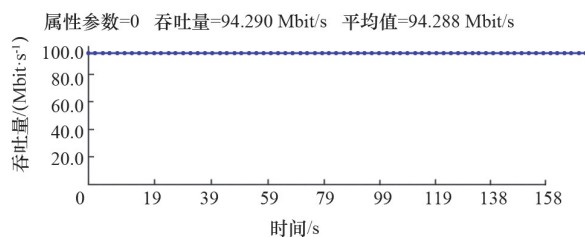


图6 单流上行峰值速率

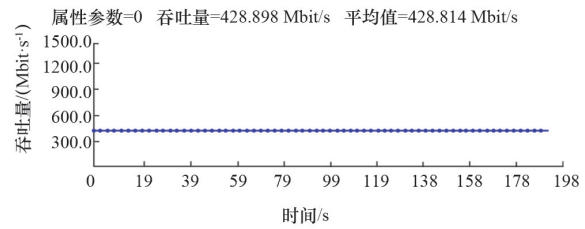


图7 单流下行峰值速率

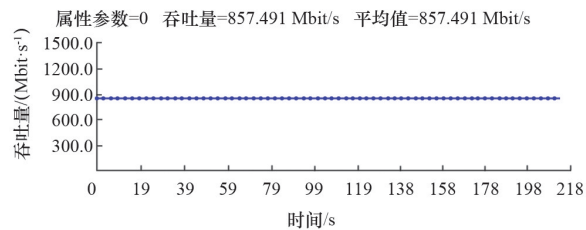


图8 双流下行峰值速率

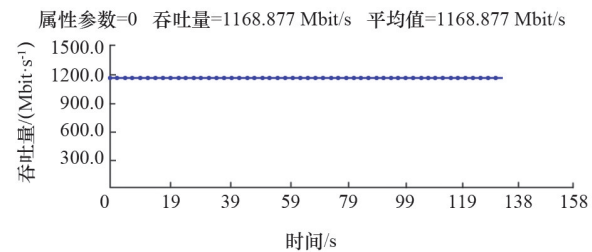


图9 三流下行峰值速率

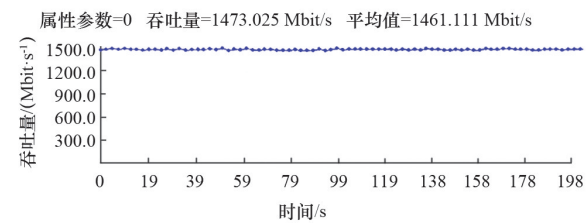


图10 四流下行峰值速率

验证表明,在电力传统回传通路出现故障的情况下,通过5G电力应急通信装置,利用4G/5G网络能够实现电力系统内数据、视频安全可靠回传。

4 结论

5G电力应急通信装置能够同时支持公网三大运营商和电力专网的4G频段、支持5G频段接入,可保证应急通信装置最大发挥作用,使得在紧急情况下最大限度保证传输通道的畅通,从而能够在故

障发生时开启,并通过公用5G网络将故障地点的输变电设备或输变电线路的多路高清实时巡检、监控视频同时回传到控制中心,开展远程视频会商,通过运营商网络准确回传至调度中心,使得后台管理及指挥人员在原有电力通信网无法覆盖或故障的情况下,还能够准确掌握电力现场故障状况,指导一线作业人员及时抢修设备和线路,以最快最有效的手段恢复电网正常运行。

5G电力应急通信装置因其高集成度的设计还可根据需要进行室内、室外多地点、多场景灵活部署,如灵活部署在变电站、铁塔模拟线路、应急保障场所、调度机构之间等需要的地点,实现了更机动、灵活、经济、快速部署、微型化的电力机动应急通信解决方案,既可以将无线移动通信网络作为光纤通道的冗余备份提供手段,又可填补电力应急通信最后一公里的空白。

参考文献(References)

- [1] 刘佳. 应急无线专网通信发展与研究[J]. 信息通信技术与政策, 2019(11): 27-30.
- [2] 刘长涛. 5G在国家应急广播中的应用探讨[J]. 广播电视信息运营管理, 2019(8): 56-57.
- [3] 唐博, 高滔, 张海峰. 关于结合5G技术重耕340兆搭建应急图传宽带专网的思考[J]. 数字通信世界产业观察, 2018(7): 16, 32.
- [4] 黄文勤. 基于5G通信技术的应急通信系统研究[J]. 信息通信, 2013(7): 190.
- [5] 尹光辉, 尼俊红, 岳顺民, 等. eMBB与URLLC混合业务场景下的用户调度和资源分配[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(12): 1-8.
- [6] 赵文君, 周金和. 面向5G网络的Stackelberg博弈缓存优化策略[J]. 计算机工程, 2019, 45(12): 52-57.
- [7] 张治中, 毛亚丽, 朱磊. 5G移动通信测试技术进展与挑战[J]. 数据采集与处理, 2019, 34(6): 974-985.
- [8] 周旭, 李琢, 覃毅芳. 面向5G/B5G的智能云化网络架构[J]. 电信科学, 2019(10): 22-30.
- [9] 刘湘梅, 熊力, 段潇君, 等. 4G/5G多网协同与互操作研究[J]. 移动通信, 2019, 43(12): 42-47.
- [10] 于佳. 5G网络切片及其应用[J]. 移动通信, 2019, 43(12): 27-31.
- [11] 周竞宇, 杨西龙. 军民融合应急物流体系建设路径研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(12): 21-25.
- [12] 霍晓磊, 赵宏志, 刘颖, 等. 基于抵消技术的邻道干扰抑制[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(11): 2611-2618.
- [13] 庄昱垚, 张聘, 张统一. 适用于动态多径环境的RSS定位系统[J]. 计算机工程, 2018, 44(10): 118-123.
- [14] 袁为群, 宋建远, 陈世荣. 基于信号完整性的高速PCB优化设计与研究[J]. 广东工业大学学报, 2019, 36(6): 74-79.
- [15] 宋涛, 安笑雨, 王蒙军, 等. 无线传感器网络近场信号测量可凋探头设计[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(12): 76-78.

Design of 5G power emergency communication devices

WU Zhan¹, JIN Yan¹, GAO Xianfeng¹, ZHANG Naiping², ZHANG Yan², WEI Gaorong²

1. Central China Branch of State Grid Corporation of China, Wuhan 430074, China

2. Datang Mobile Communications Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China

Abstract The 5G power emergency communication device is studied from the view point of the theory, the hardware, the software, the networking application and the key technologies. It has a multi-port and multi-mode converged gateway, and adopts the multi-mode fusion, the anti-interference and other technologies to realize the compatibility of the 5G network with the electric power wireless private network and other networks. The wireless network can be selected according to the quality of the wireless channels, to support the dynamic path, provide a reliable and high-speed wireless transmission channel for the electric power data return, and meet the emergency rescue communication requirements for command operations.

Keywords 5G power emergency communication; converged gateway; 5G network; power wireless private network ●



(责任编辑 傅雪)