

# 基于虚拟现实技术的变电站远程 巡检方案及关键技术

胡建侠

(西安市轨道交通集团有限公司, 710018, 西安//高级工程师)

**摘要** 目的:为提高变电站远程巡检能力,提出了基于VR(虚拟现实)技术的变电站远程巡检方案;为满足该方案高带宽、低延时的数据传输要求,提出了5G(第5代移动通信技术)+VR、5G+Wi-Fi应用中的关键技术。方法:分析了VR、5G和Wi-Fi的技术特点,介绍了基于VR技术的变电站远程巡检方案,介绍了5G+VR应用中的5G网络切片、智能边缘计算和显示终端中的5G CPE(客户端前置设备)等关键技术,介绍了5G+Wi-Fi融合组网的无感知认证技术和绿色节能通信策略,重点介绍了智能边缘计算的数据传输流程和计算框架。结果及结论:基于VR技术的变电站远程巡检方案可解决人工巡检中的诸多弊端;5G技术有效解决了高带宽、低延时的数据传输要求;5G和Wi-Fi融合组网不仅提高了网络利用率、降低了延时,而且解决了移动终端多场景下的切换、终端网络自发现和自动配置等问题,提升了用户体验。

**关键词** 城市轨道交通;变电站;远程巡检;VR;5G;Wi-Fi

中图分类号 U224.9+14

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.10.030

## Remote Inspection Scheme and Key Technologies for Substations Based on Virtual Reality Technology

HU Jianxia

**Abstract** Objective: To improve the remote inspection capability of substations, a remote inspection scheme for substations based on VR (virtual reality) technology is proposed. To meet the high bandwidth and low latency data transmission requirements of this scheme, key technologies for 5G (fifth generation mobile communication technology) + VR and 5G + Wi-Fi application are proposed. Method: The technical characteristics of VR, 5G and Wi-Fi are analyzed, and the remote inspection scheme for substations based on VR technology is introduced. The key technologies for 5G + VR application, such as 5G network slicing, intelligent edge computing, and 5G CPE (customer premises equipment) in display terminals are

covered. The senseless authentication technology and green energy-saving communication strategy of 5G + Wi-Fi converged networking are delved into, focusing on the data transmission process and computational framework of intelligent edge computing. Result & Conclusion: The remote inspection scheme for substations based on VR technology addresses many drawbacks in manual inspection. 5G technology effectively fulfills the data transmission requirements of high bandwidth and low latency. The 5G and Wi-Fi converged networking not only improves network utilization rate and reduces latency, but also resolves issues related to terminal switching, terminal network self-discovery, and automatic configuration in various mobile terminal scenarios, ultimately enhancing user experience.

**Key words** urban rail transit; substation; remote inspection; VR; 5G; Wi-Fi

**Author's address** Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 710018, Xi'an, China

## 0 引言

在城市轨道交通变电站远程巡检过程中,如采用传统方式,现场操作的复杂度和风险度都很高,需要作业人员具有丰富的操作经验和操作技巧。目前能高质量进行现场处理及操作的作业人员相对较少,因此需通过适合并有效的培训方式训练作业人员,提高其现场操作能力。同时,需采用先进的智能化技术,根据传输回的现场影像信息,进行现场故障数据实时运算,第一时间反馈智能化故障分析结果,提高故障应急处置的成功率。

随着计算机技术的日新月异,VR(虚拟现实)技术已经用于采样领域。借助VR技术,作业人员如身临其境。VR技术可对现场操作进行立体还原,可以制作立体模型,方便作业人员三维空间下多角度操作<sup>[1]</sup>。另外,VR技术还支持立体操作过程的回放,以及实时操作与真实操作视频的自由切

换。因此,通过 VR 技术可大大提高应急处置效率。但在变电站远程巡检环境中,如何获得低时延、高利用率的用户体验,是 VR 技术在变电站远程巡检应用中需要重点解决的技术问题。

5G(第 5 代移动通信技术)传输速率高、容量大、时延低,为各行各业快速且大流量的应用需求带来了曙光。但其自身所具有的高频特点,也导致其具有信号覆盖范围小、信号衰减快的缺点,致使其在落地应用上还存在一定挑战。而 Wi-Fi 技术具有高并发、大覆盖的技术特点。因此,将 5G 与 Wi-Fi 技术相结合,可以很好地解决 VR 在变电站远程巡检应用中的多项难题,提升用户体验。

## 1 变电站远程巡检方案

传统巡检方式下,需要靠巡检人员用肉眼观察变压器、断路器、隔离开关、开关柜等变电设施的油位、触点、关键绝缘部位和显示面板。由于部分变电站位置偏远,难以实现实时巡检观测,发生故障时也难以第一时间掌握现场信息。因此,通过视频图像、VR 等技术手段实现变电站远程巡检可解决人工巡检方式的诸多弊端<sup>[2]</sup>。

本文提出的变电站远程巡检方案为:通过 360°全景摄像头进行视频图像采集,通过如变压器铁芯监测装置、电缆头温度检测仪、SF<sub>6</sub> 气体密度监测仪等装置进行设备内部信息采集。所采集信息,首先通过 RS485 总线传输至变电站数据处理服务器,该服务器通过边缘计算技术完成图像识别、故障预警、故障预判,并将故障处理信息与故障处图像相结合生成特定设备的故障处理信息;然后,通过网络传输模块将该特定设备故障处理信息传送至 5G 基站和远程巡检客户端。变电站远程巡检系统总体架构如图 1 所示。

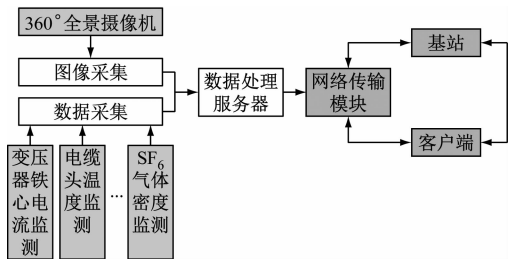


图 1 变电站远程巡检系统总体架构图

Fig. 1 Overall architecture diagram of substation remote inspection system

## 2 基于 5G 和 VR 技术的变电站远程巡检技术

VR 技术可以带给使用者身临其境的沉浸式体验。由硬件设备和软件系统组成。核心硬件设备是头戴式显示器:在人眼前装设 2 个不同的显示器或利用同一显示器在左右眼前分别呈现奇、偶帧画面,形成视差,从而带来立体视觉。该装置集成的另一核心部件是头部运动跟踪器。在传统的计算机图形技术中,视场的改变是通过鼠标或键盘来实现的,用户的视觉系统和运动感知系统是分离的;而通过头部跟踪可以改变图像的视角,用户的视觉系统和运动感知系统之间就可以联系起来,使用者不仅可以通过双目立体视觉去认识环境,而且可以通过头部的运动去观察环境,从而带来沉浸式体验。

VR 技术的软件系统主要完成虚拟环境的模拟和图像渲染。虚拟环境的模拟是先对用户视角观察范围内的图像、视频进行采集,然后再进行虚拟模型重建。图形渲染是根据用户观察到的光照、阴影、纹理等,对虚拟模型进行进一步优化,以达到身临其境的使用感受。通常认为,采集、互动信息的生成、展现是在终端完成的,而设计建模和渲染等计算处理的工作是在服务端完成的<sup>[3-4]</sup>。

在变电站远程巡检中,不仅需要 VR 技术提供可媲美人眼的视觉感知,还需要 VR 技术对重要设备的细节进行高精度还原,由此带来对 VR 技术针对图像处理的高分辨率、高刷新率的技术要求。因此,基于 VR 技术的变电站远程巡检是典型的高带宽、低延时应用场景。

5G 采用了 LDPC、Polar 新型信道编码方案以及性能更强的大规模天线等技术,实现了高速率传输和更优覆盖;采用了短帧、快速反馈、多层/多站数据重传等技术,实现了低延时和高可靠性<sup>[5-6]</sup>。国际电信联盟定义了 5G 网络引入流量密度、连接数密度、时延、移动性、能源效率、用户体验速率、频谱效率、峰值速率等 8 大关键性能指标<sup>[7-8]</sup>。5G 网络的峰值速率可达 20 Gbit/s,是 4G(第 4 代移动通信技术)网络的 20 倍;而时延仅为 1 ms,约为 4G 网络的 1/10。这些技术性能是其可以解决 VR 技术远程传输中的关键问题的。针对 VR 技术的特点及变电站远程巡检的需求,采用 5G 技术可解决 VR 技术在变电站远程巡检中的关键问题,实现方式如下:

1) 在网络中部署 5G 网络切片<sup>[9]</sup>。采用切片技术可以将网络资源、计算能力和应用服务按照不

同的需求划分为独立的切片,使得不同类型应用都可以根据自身业务特性和需求获取不同的计算、网络和存储资源,大大提高了网络灵活性、可定制性和构建效率。因此,通过部署 5G 网络切片,VR 技术可提供高带宽、低时延服务。

2) 在服务器端布署智能边缘计算。边缘计算是一种分布式计算,可以在靠近数据生成的本地设备和网络中进行数据分析处理。由于边缘计算离数据节点更近,在边缘节点处可实现对数据的过滤和分析,因此效率更高,且其能够聚焦实时、短周期数据的分析,可以很好地解决 VR 图像渲染中的预处理、特定视角渲染等问题,具有效率高、时延低的特点。

3) 在显示终端布署 5G CPE (客户端前置设备)。该设备可以接收运营商基站发出的 5G 信号,然后将其转换成 Wi-Fi 信号或有线信号,让更多终端设备实现数据的无线传输。可用于实现 VR 视频的显示和传感信号的上传。

### 3 基于 5G 和 Wi-Fi 融合组网的关键技术及策略

融合组网的目标是获得较高的网络利用率、尽可能低的时延、更好的用户体验<sup>[10]</sup>,解决移动终端多场景下的切换、终端网络自发现、自动配置等问题,提升用户体验。但由于 Wi-Fi 频段是开放的,信息和密码易被窃取,而 5G 与 Wi-Fi 融合组网能够解决网络安全问题。其中的关键技术和策略如下:

1) 无感知认证技术。Wi-Fi 无感知认证是一种无需用户手动输入用户名和密码就能自动连接 Wi-Fi 网络的认证方式。它基于用户设备的 MAC (媒体访问控制地址) 地址或其他身份标识,将设备与已经注册的用户帐户相关联,从而实现自动认证。不仅提高了接入网络的安全性,同时也避免了用户进行多余的繁琐操作,用户使用体验得到有效提高。

2) 绿色节能通信策略。由于 5G 高带宽和 Massive MIMO (大规模天线技术) 的要求,导致其基带信号处理模块功率显著增加。一个 5G 基站设备的额定功率普遍达到 3 500 W 以上,而 4G 基站的额定功率约为 1 300 W。在 5G 与 Wi-Fi 融合网络中,采用绿色通信策略是必然趋势。首先是应用灵活多样的基站形态,其次是基站功放智能化关断。根据用户实际使用频率、用户接入数量等,智

能选择 5G 与 Wi-Fi 网络;在夜间或者非工作时段,设备自动运行于低功耗区域,达到节能增效的目的。

### 4 智能边缘计算

对于变电站中的各类传感器所采集的大量数据,采用边缘计算进行处理。首先利用终端设备进行预处理,然后将初步处理后的数据传输至变电站内的数据处理服务器进行再次处理并整合,最终将服务器处理后的数据在用户端与基站间进行传递,可避免因变电站传感器数量增加造成数据激增而导致的网络传输速率降低、时延增大等问题。具体实现方式是:在传感器终端设备中植入的数据处理软件及通信模块,可对所采集的数据进行处理及设备状态的预评估,从而可实现多设备终端数据的同时处理,可避免因需向数据处理服务器传输大量数据而导致的占用网络带宽、降低网络通信能力等问题。

基于智能边缘计算的变电站远程巡检信息传输流程如图 2 所示。

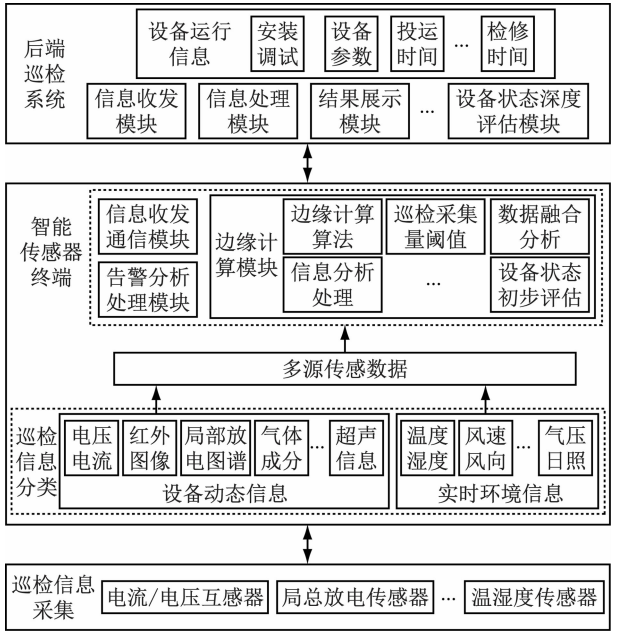
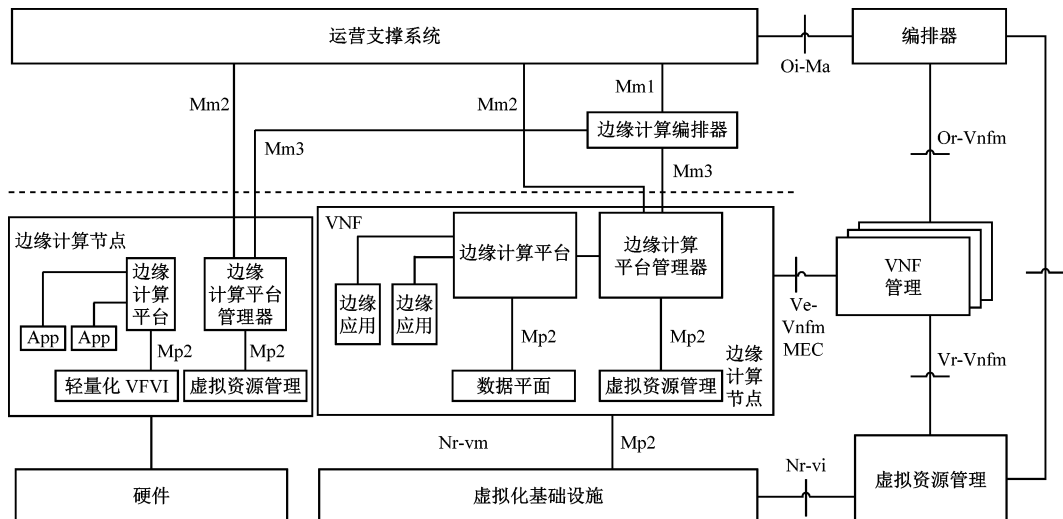


图 2 基于边缘计算的变电站远程巡检信息传输流程  
Fig. 2 Information transmission process of substation remote inspection based on edge computing

基于智能边缘计算的变电所远程 VR 巡检方案,利用部署于变电所内的终端设备及数据处理服务器资源组成网络,将大流量圈限于核心网络以外,从而可避免因骨干网络资源被大量占用而造成的传输速率降低、时延增加等问题。智能边缘计算框架如图 3 所示。



注:Mm—管理参考点;Mp—平台功能参考点;Oi-Ma—操作系统管理编排接入点;Or-Vnfm—虚拟化网络功能模块管理配置器;VNF—虚拟化网络功能模块;NFVI—网络功能虚拟化设施;Nr-vm—虚拟网络管理;Nr-vi—虚拟资源分配;Vr-Vnfm—虚拟化的网络功能模块管理器虚拟资源接口;Ve-Vnfm—虚拟化的网络功能模块管理器虚拟管理接口;MEC—多接入边缘计算。

图3 智能边缘计算框架

Fig. 3 Intelligent edge computing framework

## 5 结语

通过对变电站日常巡检的需求分析,确定采用边缘计算技术对巡检参数采集模块和图像采集模块所采集的信息进行处理后,传输给数据处理服务器的系统框架。通过分析5G和VR技术的特点,提出采用5G技术解决VR技术在变电站远程巡检中的关键问题,介绍了变电站远程巡检方案中的多网融合及智能边缘计算等关键技术。

## 参考文献

- [1] 王迎秋. 基于“互联网+”技术的变电站发展方向探索[J]. 电工技术, 2020(13):101.  
WANG Yingqiu. Exploration of substation development direction based on Internet plus technology [J]. Electric Engineering, 2020(13):101.
- [2] 胡鹏宇, 梁荣干, 徐宝星. 地铁变电所在线监测系统方案研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(增刊2):135.  
HU Pengyu, LIANG Ronggan, XU Baoping. Study on the scheme of online monitoring system for metro substation[J]. Modern Urban Transit, 2022(S2):135.
- [3] 杨洲, 邵长坤, 盛兆乐, 等. 基于VR技术的变电站远程可视化巡检系统[J]. 山东电力技术, 2019, 46(2):38.  
YANG Zhou, SHAO Changkun, SHENG Zhaole, et al. Research of VR technology for remote visualization inspection system of substation[J]. Shandong Electric Power, 2019, 46(2):38.
- [4] 马全福, 闫敬东, 康亚丽, 等. 基于VR技术的智能变电站混合巡检培训系统设计[J]. 信息技术, 2021, 45(4):64.

MA Quanfu, YAN Jingdong, KANG Yali, et al. Design of hybrid inspection training system for intelligent substation based on VR technology[J]. Information Technology, 2021, 45(4):64.

- [5] 钱路之. 基于5G的智能城轨架构及挑战探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2021(增刊1):158.  
QIAN Luzhi. Discussion on 5G-based intelligent urban rail architecture and challenges [J]. Modern Urban Transit, 2021(S1):158.
- [6] 段婷, 叶伟清. 基于5G移动网络的智能变电站自动化应用分析[J]. 电气开关, 2020, 58(2):90.  
DUAN Xu, YE Weiqing. Analysis of intelligent substation automation application based on 5G mobile network [J]. Electric Switcher, 2020, 58(2):90.
- [7] 叶兴贵. 5G边缘计算与电力设施融合部署模式探析[J]. 邮电设计技术, 2021(4):79.  
YE Xinggui. Research on construction fusion mode of 5G edge computing and electric power facilities[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(4):79.
- [8] 柴文宇, 林思雨, 钟章队. 5G在智慧轨道交通中的创新应用[J]. 现代城市轨道交通, 2021(11):95.  
CHAI Wenyu, LIN Siyu, ZHONG Zhangdui. Innovation and application of intelligent rail transit with 5G [J]. Modern Urban Transit, 2021(11):95.
- [9] 赵俊华, 孟宇坤. 基于5G城市轨道交通站内外一体化导航系统设计及研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022(7):29.  
ZHAO Junhua, MENG Yukun. Research on integrated navigation design of urban rail transit station based on 5G [J]. Modern Urban Transit, 2022(7):29.

(收稿日期:2023-07-25)