

5G 在船舶制造工业互联网中的应用研究

彭 懿^{1,2}, 吕建军^{1,2}, 孔 宁^{1,2}, 周 清^{1,2}

(1. 上海船舶工艺研究所, 上海 200032; 2. 上海申博信息系统工程有限公司, 上海 200032)

摘 要: 智能制造是船舶制造的趋势, 工业互联网是实现智能制造的关键核心技术之一。5G 作为新一代移动通信技术, 其无线、高速、大容量、低时延、高可靠的特点与工业互联网对信息传输的要求高度契合。国内船厂在工业互联网应用方面做了诸多探索, 但暴露出实施成本高、数据孤岛、设备入网难等问题。通过将船舶制造与 5G 技术特点相结合, 提出了 5G 在船舶制造工业互联网中的典型应用场景。最后对 5G 在船舶制造工业互联网中的应用提出了建议。

关键词: 船舶制造; 工业互联网; 5G

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200884

中文引用格式: 彭懿, 吕建军, 孔宁, 等. 5G 在船舶制造工业互联网中的应用研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(5): 14-18, 24.

英文引用格式: Peng Yi, Lv Jianjun, Kong Ning, et al. Application research of 5G in industrial Internet in shipbuilding[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(5): 14-18, 24.

Application research of 5G in industrial Internet in shipbuilding

Peng Yi^{1,2}, Lv Jianjun^{1,2}, Kong Ning^{1,2}, Zhou Qing^{1,2}

(1. Shanghai Shipbuilding Technology Research Institute, Shanghai 200032, China;

2. Shanghai SHENBO Information Systems Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Intelligent manufacturing has become the trend of shipbuilding. Industrial Internet is one of the key technologies to realize intelligent manufacturing. As a new generation of mobile communication technology, 5G has the characteristics of wireless, high speed, large capacity, low delay and high reliability, which is highly consistent with the requirements of information transmission in industrial Internet. Domestic shipyards have made many explorations in the application of industrial Internet, but some problems have been exposed, such as high implementation cost, isolated data island, and difficult equipment access to network. The typical application scenarios of 5G in shipbuilding industrial Internet are proposed by combining with the characteristics of shipbuilding and 5G technology. Finally, proposals for application of 5G in shipbuilding industrial Internet is made.

Key words: shipbuilding; industrial Internet; 5G

0 引言

船舶制造是典型的多品种小批量的接单生产模式, 因此船企在经营生产中经常遇到一些问题: 船东需求不确定; 船型研发周期长; 多船型并行生产, 资源共享易出现瓶颈; 计划排程应变差; 设备、产线难以柔性应对; 质量无法做到零缺陷; 工艺无法可靠迭代; 成本无法精确化; 监控产品进度难; 物料需求多变, 导致缺料与采购延迟严重……这些痛点导致船企长期存在订单交付延期、物料库存高、成本居高不下、质量工艺水平提升难等问题。

融合了信息、网络、制造、管理、系统工程等先进技术的智能制造技术能为上述问题的解决提供途径, 因此船舶智能制造已成为船舶制造发展趋势。工业互联网的本质是通过信息技术把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地连接融合起来。从企业角度来看, 企业通过工业互联网提供的数据分析, 更精准高效地处理市

场需求、研发设计、生产制造、经营管理、售后服务等领域的问题^[1]。因此, 工业互联网被认为是实现智能制造的关键技术之一, 是智能制造的信息基础设施, 建成了工业互联网才能真正实现智能制造。智能制造要求工业互联网具备低时延、高可靠、广覆盖, 而 5G 作为新一代移动通信技术恰好满足这样的需求^[2-7]。本文从介绍工业互联网的发展态势出发, 引出了 5G 与工业互联网的关系, 对 5G 的特点做了简要介绍, 介绍了工业互联网在船厂的应用现状, 分析其中存在的问题, 将 5G 的特点与船厂工业互联网应用需求相结合提出了 5 个典型的 5G 应用场景, 最后展望了基于 5G 的工业互联网在船舶行业的应用并提出了建议。

1 工业互联网发展态势

工业互联网的概念是由美国 GE 公司于 2012 年提出的。2013 年 GE 提出了工业互联网革命(Industrial Internet Revolution), 推出工业互联网平台产品 Predix, 时任 CEO

伊梅尔特在其演讲中称,一个开放、全球化的网络将人、数据和机器连接起来。工业互联网将过去机器与机器之间通过各种总线通信扩展到通过互联网实现人与机器、机器与机器之间的互联互通,将消费者与生产终端连接起来,将互联网理念植入制造业,在全球范围内掀起工业互联网研究应用浪潮。世界上主要工业国都制定了本国的工业互联网发展计划,推动新一代信息技术和制造业的深度融合,大力加快制造业的数字化、网络化、平台化、智能化转型。尽管各国的发展战略名称不同,侧重点各异,但都强调新一代信息技术在制造业上的应用^[8]。中国工业互联网产业联盟(AII)对工业互联网定义为“工业互联网是满足工业智能化发展需求,具有低时延、高可靠、广覆盖特点的关键网络基础设施,是新一代信息通信技术与先进制造业深度融合所形成的新业态与应用模式”^[9]。5G 作为新一代移动通信技术具有低时延、高可靠、广覆盖特点,这与工业互联网对网络基础设施的要求高度契合。因此,世界主要发达经济体积极推进 5G 在工业互联网中的应用。

2017 年起,美国联邦通信委员会(FCC)通过设立专项基金的方式推进 5G 在工业领域的应用。2018 年欧盟成立工业互联与自动化 5G 联盟(5GACIA)聚集 OT 企业、ICT 企业、学术界等各方力量共同推进 5G 应用于工业领域。在亚洲,日本确定了 2020 年东京奥运会实现 5G 大规模商用部署的目标,同时发布了制造业白皮书以推进 5G 在工业领域的应用。韩国在 2019 年发布 5G+ 战略,确定五项核心服务和十大 5G+ 战略产业,其中智慧工厂是五项核心业务之一。

国内从中央到地方到企业对 5G 在工业互联网中的应用非常重视,出台政策、措施积极推动 5G+ 工业互联网。2017 年 11 月,国务院印发《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》,明确将 5G 列为工业互联网网络基础设施。2019 年,工业和信息化部在工业互联网创新发展工程中设置工业互联网企业内 5G 网络化改造及推广服务平台项目,支持国内工业企业开展 5G 应用探索。北京、上海、广东、浙江等地都将 5G 与工业的融合应用作为产业规划的重点,一批典型 5G+ 工业互联网项目在飞机制造、机械制造、消费电子产品制造、钢铁冶金等行业落地应用^[10-13]。

2 5G 技术特点介绍

随着第 5 代移动通信(5G)第 1 阶段标准的冻结及规范在 2018 年中发布,5G 商用已成为各行各业讨论的热点。5G 作为新一代移动通信技术与以往的无线通信技术相比具有高速、大容量、低时延、高可靠性的特点,如最高传输速率可达数 10 Gb/s、每平方公里联网设备可达百万数量级、时延可低至毫秒级(ms)、连接可靠性可达 99.999 9%等。正因为有如此突出的优点,ITU 给出了 5G 的 3 种典型应用场景^[14]:增强移动宽带(eMBB)、海量

机器通信(mMTC)、超高可靠和低时延通信(uRLLC)。可见 5G 的应用场景不再局限于生活邻域,而是可以延伸到社会的各个方面,当然也包括制造业。正如中国移动通信集团李正茂副总裁所说“4G 改变生活,5G 改变社会”,5G 时代的新价值在于从老 3C(Communication、Consume、Computer)全面转向新 3C(Connect、Control、Convergence)。过去通信仅是人与人连接,但到 5G 时代将增加人与物、物与物的连接,即万物互联。过去通信仅是信息的交互流动,但在 5G 时代信息通过控制机器行为实现工业自动化和智能化^[15]。

3 工业互联网在船厂应用现状及问题

美国 CIRILO L D 将造船技术发展史分为铆接技术、焊接技术、成组技术、信息技术和智能技术 5 个阶段^[16]。到目前为止,我国船舶制造业正处于第 4 阶段,即信息技术阶段,正奋力向第 5 阶段迈进。智能技术阶段的显著特点是工业互联网作为基础,实现生产要素的互联互通。船舶行业近年来在设备联网上也取得了显著的进步。国内外一些实力雄厚的船厂在设备联网控制、人员和车辆识别定位、视频监控联网等方面都有应用。如日本的 IHI 公司将 RFID 成功地应用于船厂的零配件管理,取得了不错的效果^[17]。振华重工将卫星定位技术应用于厂区运输车辆的定位和调度,提高了车辆的利用效率,优化了物流管理。广船国际对切割机实施联网改造后实现了切割机作业状况数据的实时采集和动态监控。

但当前国内船厂在工业互联网的应用方面存在以下问题:

(1)设备联网还停留在工位或车间。绝大多数船厂的生产设备还停留在工位联网阶段,即生产设备通过现场总线连接到 PLC,PLC 再通过以太网连接到工控机。仅有个别船厂将工控机通过以太网接入到车间控制室。所以严格意义上讲,当前国内船厂还没有实现工业互联网应用。

(2)网络基础设施不完善,升级改造难度大、成本高。国内船厂的网络基础设施绝大多数建于 10 年以前,网络基础设施仅覆盖了办公区域,当时并没有考虑将网络覆盖车间、堆场、码头、船坞等区域。而办公区域的面积占整个船厂面积的 10%不到,也就是船厂超过 90%的区域是无法接入船厂内部网的。而要实现整个厂区的互联互通,必须将 90%的无网区域接入船厂内部网,如果是采用有线网络,实施难度大、成本高。

(3)办公网和工控网并存,且在物理上是隔离的。船厂的办公网就是普通的商用以太网;工控网则由各种总线或工业以太网组成,使用范围局限在车间或工位。船厂各部门都在这两张网上处理日常工作。研发设计部门在办公网上完成产品的开发工作,生成供生产设备使用的数据和文件,再通过移动存储介质拷贝到制造部门的工控网里。这样的方式存在重要的数据文件易丢失、保

密性不好、数据文件更新不及时等问题。

(4)国内船厂的设备联网基本上采用有线方式,仅在极少数场景使用无线方式。办公网采用以太网,通过网线或光纤连接各种办公设备;工控网采用各种总线或工业以太网,通过电缆、网线或光纤连接设备。无线通信主要应用在对实时性、可靠性要求不是很高的场景,如物资管理、车辆定位、喷扫码设备等。如将RFID应用于物资出入库管理,将2G/3G/4G应用于车辆定位通信,将蓝牙应用于喷扫码设备的联网。

(5)设备联网接口不统一,甚至没有联网接口。船厂设备多,同一车间同一条生产线上的设备可能来自不同的厂家,不同厂家的设备联网接口往往不同,通信协议也不同。还有部分设备是没有联网接口的“哑”设备。这就导致设备联网难度大、代价高。

4 5G 在船厂工业互联网中的应用

船舶行业是典型的离散制造业,产品是由零部件通过多道不连续的工序加工装配而成的,生产过程是离散的。因此船舶建造涉及的整个生产链条很长,而生产链条上的各个环节相互独立,产能差异很大。这样就会出现因某个环节出问题导致各环节衔接出现问题,而影响最终产品的生产。从工业互联网的视角看,每一个环节就是一个数据生产、收发的“数据岛”,但因为没有实现互联互通,当前还是一个一个“数据孤岛”。因此,在船舶行业通过工业互联网把各个“数据孤岛”联通起来,就会非常有意义。基于工业互联网在船厂的应用现状和面临的问题,实现工业互联网在船厂的全面落地,5G技术在实现成本、应用场景方面的突出优势决定了5G是目前实现船厂工业互联网最合适的通信技术^[18-20]。

4.1 快速低成本实现工业互联网

当前国内船厂基础设施建设于10年前,在建设阶段没有考虑设备联网的问题,因此并没有将有网络敷设到车间、场地。考虑到船厂普遍占地面积大,要实现全厂区的可靠网络覆盖,必须在全厂区敷设光纤骨干网,将光缆敷设到车间一级。这样不但设备采购成本高,而且施工难度大、周期长、代价高,无法实现移动设备的入网。5G使上述问题得到很好的解决。

(1)5G是无线通信技术,通过合理的基站部署,只需要少量的基站即可实现厂区5G信号的全覆盖,在个别信号盲区可以通过中继微基站实现网络覆盖。其施工简单,不需要挖沟开槽,不破坏已有建筑、场地的结构,车间内部无需架设桥架。

(2)5G的基础设施建设是由电信运营商负责。在基础设施建设成本的分摊上船厂可以与运营商商谈,这可以极大降低船厂在基础设施上的一次性投入。

(3)5G可以实现船厂全生产要素联网。作为移动通信技术,5G既可以用于固定生产要素(材料、设备、办公用具等)的联网,也可以用于移动生产要素(人员、车辆、

机器人等)的联网。在技术上可以实现工控网和办公网的融合。

4.2 人机料位置感知

(1)人员定位

船舶行业属于劳动力密集行业,大中型船厂人数均在万人以上,人员分布复杂。船舶行业又是高危行业,生产现场总是呈现多工种立体交叉作业状态。从安全、工作纪律、生产效率等方面考虑,加强人员管理是十分必要的。当前已有船厂在特定区域(如船上、船台、船坞等)做了人员定位管理的尝试,取得了不错的效果。但都是使用特定的技术,如蓝牙、ZigBee、RFID等,需要专门搭建专用的系统,实施较复杂,维护成本高,制约了此类技术的推广应用。而以往基于2G/3G/4G蜂窝网的定位技术(如ECID、OTDOA等),虽然信号可以覆盖到室内外,但是精度无法满足需求。

(2)物资定位

船厂可移动设备多、危险物品多、中间产品多,以往对这些设备、物资的管理是做手工台账。但手工台账存在更新不及时、物品去向不明确、无法知道物品当前位置等问题。易出现诸如设备在某处闲置,而需要使用的人找不到设备;危险物品未得到及时有效处理;中间产品管理不到位等情况。

上述问题,5G都能解决。5G的高密集组网、波束赋形、大规模天线阵列、毫米波频谱等,为高精度距离和角度测量提供了基础性技术支持。基站密度显著提高,终端信号可被多个基站同时接收到,这也将有利于多基站协作实现高精度定位。2019年北京邮电大学邓中亮团队首次在室内实现了5G高精度定位,实现“能通信就能精确定位”,将现有基站测距精度从数十米提高到5cm^[21]。可以预见在不久的将来,随着5G的大规模商用,室内外融合高精度定位将成为现实。届时,只要有5G信号覆盖的地方就可以实现实时定位,做到能通信就能精确定位,不需要搭建专门的定位系统,只要人员、物品携带有5G终端,位置就能被感知,同时实现了高精度定位和通信。船厂对人员、设备、物资的管理将更加精细。

4.3 厂区车辆自动驾驶

船舶行业是重工业,原材料、中间产品、设备的搬运都要依靠各种运输车辆。因为产品特点,船厂厂区占地面积大,厂区内通勤、保洁、消防都得依靠机动车辆。因此,每天都有各式各样的车辆在厂区的道路上行驶,使得厂区的交通状况较复杂。由于一些特种车辆(如平板运输车、叉车)司机的驾驶盲区很大,车辆肇事时有发生。此外,船厂都位于大江、大河或海边,水面开阔,易出现雾天,也给厂区交通安全造成不利影响。

感知能力建立在多种信息来源(例如雷达、激光、车载摄像机、高精度地图等)基础之上的自动驾驶车辆,不容易受到天气、障碍物等因素影响,更是将人的因素(如

疲劳驾驶、超速驾驶、无证驾驶、醉酒驾驶等)剔除掉,通过 V2X 模式,实现人、车、路等信息的协同,实现最高等级的安全,最优的通行效率。自动驾驶车辆可能是未来船厂运输和通勤的主要交通工具。

5G 网络可以满足其接近 100% 的高可靠性、毫秒级端到端时延和每秒上百兆传输速率的需求。通过车载终端将本地传感器和远程服务信息进行智能融合,合作式感知能够有效提升车辆的安全机动性能,在车辆超车、换道、躲避障碍物等方面提供可靠保障。

4.4 虚拟现实

虚拟现实在船舶行业应用多年,从最初的笨重昂贵的 3D 巨幕投影设备到现在的 VR 头显,从仅显示 3D 立体影像到现在的 VR、AR、混合现实(MR)、全息现实(HR)等,从最初仅有几家高校、研究机构和船厂的实验室可以体验到目前全行业得到广泛的应用。在此,将 VR、AR、混合现实(MR)、全息现实(HR)多种场景呈现和交互方式总称为 XR。近年来,XR 在可视化、交互方式 2 个核心能力方向上取得了突破性的进展,在当前能预见的场景下,XR 在船舶制造行业也有着非常广阔的行业应用场景和增值空间,如虚拟化协同设计、产品推广、智能制造、教育培训等,国内已有船厂在这方面做了初步的尝试^[22]。虽然 XR 在船舶行业有着非常广阔的应用价值和适用场景,但 XR 对整个通信过程的低延时、高带宽、大并发提出了极严格的要求,具体如表 1 所示。

表 1 XR 对无线网络的要求

指标项	指标值
分辨率/K	4~8
色深/bit	8
编码标准	H265/266
帧率/(帧/s)	50~90
码率要求/(Mb/s)	≥ 40
带宽要求/(Mb/s)	≥ 60
时延要求/ms	≤ 15
丢包要求	≤ 1.00×10 ⁻⁵

通过对 XR 业务做专有网络切片,5G 都能满足表 1 中的技术指标要求。

(1) 虚拟化协同设计

XR 虚拟化协同设计使不同地域、不同单位、不同部门的工程师可以通过 5G 网络能够与存储在船厂服务器上的船舶三维模型快速地进行交互设计,也能够使工程师实时交流想法。

(2) 产品推广

船厂拜访船东、参加各种展会推荐自己的产品,以往是通过宣传册和预先录制的视频资料。通过 5G 网络,只需给客户戴上 XR 设备就可以让客户漫游厂区观看正在生产的产品。

(3) 辅助生产

XR 可以实现在生产现场工人通过穿戴设备(如 3D 眼镜)扫描需要组装的零件上的标识,通过 5G 网络实时观看存储在船厂服务器上的零件的装配顺序 3D 动画演示和安装工艺要求讲解视频。

(4) 教育培训

当前,船厂都非常重视员工培训,并把培训作为降低安全事故发生率、提高员工技能水平、增强企业竞争力的重要抓手,培训内容包括安全、技能等。通过 5G 网络,员工可以在工作岗位上通过 XR 接受教育培训而无需定时定点集中培训。

4.5 智能车间

当前,无线技术在船厂主要应用于通信、设备及产品信息的采集、非实时控制等。由于在可靠性、数据传输速率、覆盖距离、移动性等方面的不足,导致当前无线技术未能在制造现场得到广泛应用。随着 5G 技术的不断发展成熟,特别是其特有的低时延、高可靠、大带宽等特性,使得无线技术应用于现场设备实时控制、远程维护及操控、工业高清图像处理等成为可能,同时也为实现未来船厂柔性生产线、柔性车间奠定了基础。可以预见未来船厂车间中将出现更多的无线连接,这将促使车间网络架构不断优化,有效提升网络化协同制造与管理水平,促进船厂提质增效,实现对整个产品全生命周期的管控。5G 在船舶智能制造方面至少可应用于以下 4 个场景:

(1) 工业控制

5G 特有的低时延、高可靠特性使得无线技术应用于船厂生产线实时控制成为可能。通过对船厂已有生产设备的简单改造,如加装 5G 通信模块或终端,就可以实现设备的联网控制,省去了弱电施工,大大简化了线网结构,显著降低了设备联网的成本。

(2) 工业穿戴

5G 大带宽、移动性、泛在性、低功耗等优势为工业可穿戴设备在生产现场的应用奠定了技术基础。未来船厂生产线上的工人在工业可穿戴设备的辅助下能更高效高质安全地完成工作。

(3) 车间物流自动化

5G 低时延、高可靠、大带宽、移动性等优势可以实现对车间内移动机器人、AGV、行车的精准控制和调度,甚至基于机器视觉的路径导航规划等。

(4) 智能感知

5G 泛在性、低功耗等优势使通过在车间安装海量工业传感器实现对环境、物资、设备的全方位感知成为现实,使原来很多未知不可控的因素变得已知和可控,使船厂变成一个“透明工厂”。

5 结论

5G 和工业互联网都属于新兴技术,如果两者能有机高效地进行结合,必将为船舶行业数字化智能化转型提供切切实实的手段。作为传统制造业,近年来船舶制

造企业在工业互联网的应用上做了一些探索,取得了一些成果,但也面临不少问题。经验和现实表明,5G 为建设船舶制造工业互联网提供了切实可行的技术途径。当前,为促进 5G 和工业互联网在船舶行业应用,仍需充分发挥政府引导作用,如依托 IMT-2020(5G)推进组、工业互联网产业联盟等行业平台,统筹科研机构、高校、电信运营商、设备制造商、终端厂商、互联网企业和船舶行业协会等产学研用力量,协同开展 5G 技术研究、标准研制、设备开发与行业应用,加快推动 5G 与工业互联网融合发展,早日实现基于 5G 的工业互联网在船舶制造中的全面应用。

参考文献

- [1] 姜天骄.工业互联网究竟是怎样一张“网”[EB/OL].(2019-03-19)[2020-09-07]. http://paper.ce.cn/jjrb/html/2019-03/19/content_386603.htm.
- [2] 林玮平,魏颖琪,李颖.5G 在工业互联网上的应用研究[J].广东通信技术,2018,38(11):24-27.
- [3] 张长青.浅析 5G 技术对工业互联网应用的影响[J].邮电设计技术,2017(6):41-46.
- [4] 吴冬升.5G 由浅入深赋能工业互联网[J].通信世界,2019(25):20-23.
- [5] 张长青.基于 5G 环境下的工业互联网应用探讨[J].电信网技术,2017(1):29-34.
- [6] 张云勇.5G 将全面使能工业互联网[J].电信科学,2019(1):1-8.
- [7] 刘多.推动 5G 与工业互联网融合发展[J].通信世界,2019(33):16-18.
- [8] 工业互联网产业联盟.5G 与工业互联网融合应用发展白皮书[Z].2019.
- [9] 工业互联网产业联盟.工业互联网术语和定义(版本 1.0)[S].2019.
- [10] 中国信息通信研究院,GSMA.中国 5G 垂直行业应用案例(2020)[Z].2020.
- [11] 肖子玉,韩研,马洪源,等.5G 网络面向垂直行业业务模型[J].电信科学,2019(6):138-146.
- [12] 陆平,李建华,赵维铎.5G 在垂直行业中的应用[J].中兴通信技术,2019,25(1):67-74.
- [13] 机械工业仪器仪表综合技术经济研究所,华为技术有限公司,中国移动通信集团有限公司.5G 工业应用白皮书[Z].2020.
- [14] 王乐根,张军,施志鸿.5G 超可靠与低时延通信性能指标与其关键技术[J].中国新通信,2020(10):11-12.
- [15] 李进良.4G 改变生活 5G 改变社会[J].移动通信,2019,43(4):52-56.
- [16] 张玉奎,张宜群.船舶智能制造技术顶层研究[J].应用

(下转第 24 页)

(上接第 13 页)

时回传,大大拓展了无人机应用空间;在线规划无人机飞行路径,大大降低了无人机的操控难度;基于高清影像的 AI 识别,增强了治安巡防的效率,挤压违法犯罪空间。在疫情防控中,便于及时发现隐患,非接触式的智能巡防能够避免人员密集以及交叉感染的风险。

参考文献

- [1] 徐型平.5G 技术在安防行业的应用浅析[J].中国安防,2020(3):83-88.
- [2] 唐亚军,王伟琪.5G 技术在智慧新警务建设中的应用研究[J].电子世界,2020(1):202-203.
- [3] 洪伟权.5G 赋能智慧警务[J].通信企业管理,2019(10):39-41.
- [4] 万旂,张法进,王良慧.无人驾驶飞行器在 5G 网络中的应用[J].信息通信,2020(1):29-30.
- [5] 范天伟,胡云.基于 5G 的空地一体化智慧新安防应用[J].信息通信技术,2019,13(S1):40-44.
- [6] 周国民,崔晨.基于 5G 的全时空、立体化社会治安巡防指挥新体系[J].中国安防,2019(10):36-38.
- [7] 张勃,冯毅,马丹,等.5G 低空网络解决方案和运营应用[J].电信科学,2020,36(1):28-33.
- [8] 中国信息通信研究院.5G 无人机应用白皮书[Z].2018.
- [9] 陈洪亮,李志雷,刘海峰.5G 新空口技术在网联无人机的应用研究[J].信息通信,2020(9):222-223.
- [10] 段惠斌,丁鹏,时晓厚,等.基于 5G 边云协同的高精度地图采集与应用研究[J].电子技术应用,2020,46(12):32-35.
- [11] 李艳阳.基于无人机平台的人脸识别研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2018.
- [12] 李竟达.无人机飞行控制系统若干关键技术研究[J].科技风,2020(9):19.
- [13] 熊勇良,王庭喜,熊四华,等.5G 无人机与远程控制系统应用分析[J].工程技术研究,2020,5(23):246-247.
- [14] 张蕾,刘云毅,张建敏,等.基于 MEC 的能力开放及安全策略研究[J].电子技术应用,2020,46(6):1-5.
- [15] 李妍慧.基于无人机平台的实时人脸识别技术研究[D].南昌:南昌大学,2020.

(收稿日期:2021-01-21)

作者简介:

于海洋(1987-),通信作者,男,硕士,工程师,主要研究方向:数字孪生、5G 行业应用、网联无人机、智慧警务, E-mail: yuhy8@chinatelecom.cn。

董石磊(1980-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:5G 行业应用、网联无人机、数字孪生。

张学智(1983-),男,硕士,工程师,主要研究方向:5G 行业应用、5G 定制网。



扫码下载电子文档

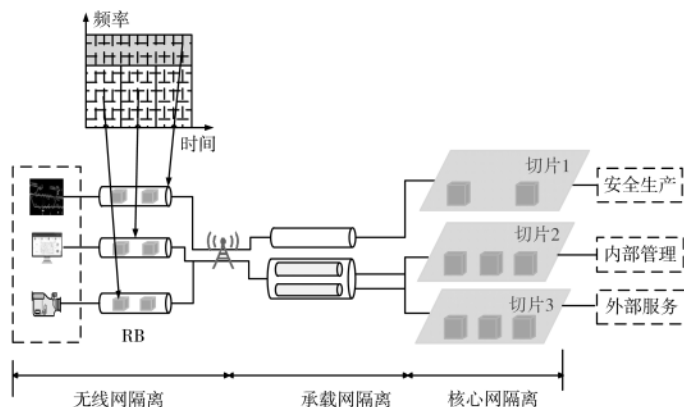


图9 端到端切片安全隔离方案架构

离采用 FlexE 和 VPN 相结合的方式隔离；核心网，采用独立 UPF 的方式进行隔离。除了对切片的安全隔离外，还需进行采用以下手段保证用户的数据安全^[15]：

- (1) 接入认证，保证用户接入的合法性；
- (2) 访问权限控制，防止用户对数据的非授权访问；
- (3) 数据传输过程的安全性和完整性保护，可以使用 IPsec 等传输加密手段；
- (4) 边界安全隔离，可以采用设置防火墙等手段对网络边缘进行必要的安全隔离。

5 结论

2020 年底，工业和信息化部召开“扎实推进 5G 发展”座谈会，提出“加快行业虚拟专网落地，深化共建共享，推进网络建设运维降本增效”。本文通过对需求和技术的分析，提出了城市轨道交通 5G 虚拟专网建设的解决方案。

希望通过 5G 虚拟专网的建设，使 5G 技术更加便捷、高效和低成本地赋能轨道交通行业，从而进一步推进城市轨道交通与云计算、大数据和人工智能等最新的信息化技术充分融合，助力轨道交通行业快速发展。

参考文献

- [1] 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室. 基于 5G 的智能轨道交通通信技术白皮书[R].2019.
- [2] ITU-R. IMT Vision—framework and overall objectives of the future: recommendation ITU-R M.2083-0(09/2015)[S].2015.

(上接第 18 页)

- 科技, 2017, 44(1): 5-8, 13.
- [17] YASUHISA OKUMOTO. Application of RFID to parts management[Z]. The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 2005.
- [18] 赵维铎, 蒋伯章. 5G+工业互联网的思考与实践[J]. 中兴通讯技术, 2020(5): 57-60.
- [19] 郑茂宽. 赋能工业互联网 5G 助力制造业高质量发展[J]. 上海信息化, 2020(3): 22-25.
- [20] 张朝晖. 垂直行业与 5G 技术融合方案的探讨[J]. 通讯世界, 2020, 27(7): 59-60.

- [3] 陆光辉, 毛磊, 冯建业. 5G 核心网创新技术研究及应用探索[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(3): 49-55.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 智慧城市轨道交通信息技术架构及网络安全规范(报批稿)[S]. 2020.
- [5] 3GPP. System architecture for the 5G system; TS 23.501[S]. 2018.
- [6] 3GPP. Service capability exposure functionality over Nt reference point; TS 29.154[S]. 2017.
- [7] 3GPP. Study on new radio access technology; radio access architecture and interfaces; TR 38.801[S]. 2016.
- [8] ONF. Applying SDN architecture to 5G slicing; TR-526[S]. 2016.
- [9] OIF. Flex ethernet implementation agreement; FLEXE-01.0[S]. 2016.
- [10] ETSI. ETSI white paper No.28: MEC in 5G networks[R]. 2018.
- [11] 中国信息通信研究院泰尔实验室, 北京交通大学, 石家庄市轨道交通有限责任公司, 等. 中国移动城市轨道交通 5G 应用技术白皮书[R]. 2020.
- [12] 中国联合网络通信有限公司网络技术创新研究院. 中国联通 5G 网络切片白皮书[R]. 2018.
- [13] 赵福川, 温建中. 5G 回传的分组切片网络架构和关键技术研究[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(4): 2-7.
- [14] 北京交通大学, 中兴通讯股份有限公司, 北京移动通信有限责任公司, 等. 综合轨道交通 5G 应用技术白皮书[R]. 2019.
- [15] 3GPP. 5G security architecture and procedures for 5G system; TS 33.501[S]. 2019.

(收稿日期: 2021-03-16)

作者简介:

张博(1977-), 通信作者, 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 移动通信、5G、轨道交通信息化, E-mail: zhangbo@sedind.com.

余晓君(1983-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 移动通信、5G、轨道交通信息化。

卫建芳(1985-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 信息系统、智慧应用。



扫码下载电子文档

- [21] 人民网. 全国首个 5G+室内定位系统在天津滨海新区试验成功[EB/OL]. (2019-05-08)[2020-09-07]. http://tj.people.com.cn/n2/2019/0508/c375366-32915545.html.
- [22] 南通日报. 全国首个“5G+船舶制造”项目在南通落地[EB/OL]. (2019-05-17)[2020-09-07]. http://www.nantong.gov.cn/ntsrnz/ntxw/content/e11bf987-7af0-4bf6-924a-a5aaced0720c.html.

(收稿日期: 2020-09-07)

作者简介:

彭懿(1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 船舶行业工业互联网应用。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所