

5G+边缘计算在智能汽车柔性制造中的应用 *

丁 鹏,薛裕颖,熊小敏,沈 云

(中国电信股份有限公司北京研究院,北京 102209)

摘要:自动驾驶、车路协同以及互联网技术的发展催生了互联网造车新势力,促进了网联车大生态的打造。针对智能汽车制造业,以全流程智能化改造和行业数字化提升为重点,依托5G+工业互联网以及人工智能技术,对制造业进行“数字化改造”实践,提升数据赋能水平。通过5G网络化升级,实现设备端、工厂端、企业端、跨企业端网络化5G改造,增强产业链信息互连能力。通过人工智能化技术以及边缘计算技术,以生产工具智能化与决策手段智能化为抓手,提高优化企业资源配置效率,实现智能汽车的柔性制造。

关键词:智能汽车;5G;边缘计算;MEC;柔性制造

中图分类号: TN919.5; U495; TP39

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201070

中文引用格式: 丁鹏,薛裕颖,熊小敏,等. 5G+边缘计算在智能汽车柔性制造中的应用[J]. 电子技术应用, 2020, 46(12): 26-31.

英文引用格式: Ding Peng, Xue Yuying, Xiong Xiaomin, et al. Application of 5G + edge computing in flexible manufacturing of intelligent vehicles[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(12): 26-31.

Application of 5G + edge computing in flexible manufacturing of intelligent vehicles

Ding Peng, Xue Yuying, Xiong Xiaomin, Shen Yun

(Beijing Research Institute of China Telecom Corporation Limited, Beijing 102209, China)

Abstract: The development of autonomous driving, vehicle-road collaboration and Internet technology has given birth to the new power of Internet car building and promoted the building of a grand ecosystem of networked cars. This paper focuses on the intelligent automobile manufacturing industry, focuses on the digital upgrading of the industry and the intelligent transformation of the whole process, and relies on 5G + industrial Internet and artificial intelligence technology to carry out the practice of "digital transformation", focusing on the digital transformation of automobile business process and other aspects to improve the level of data empowerment. Through 5G networking upgrading, with equipment-end, factory-end, enterprise-end and inter-enterprise networking 5G upgrading as the focus, industrial chain connectivity will be enhanced. Through artificial intelligence technology and edge computing technology, focusing on the intelligence of production tools and decision-making means, the efficiency of enterprise resource allocation is improved to realize the flexible manufacturing of intelligent vehicles.

Key words: intelligent vehicle; 5G; edge computing; MEC; flexible manufacturing

0 引言

互联网思维造车是近几年涌现出来的造车新势力,互联网化的组织形态代表了高效的敏捷开发,支持开放共享、用户参与,助力打破产业围墙。互联网思维的引入使得以消费者为主导的生产方式正在引导我国汽车制造业逐步从单品种、大量生产方式向多品种、中小批量及“变种变量”的生产方式过渡,柔性制造是适应这种转变的最佳制造方式^[1]。近年来,车联网、智能汽车、自动驾驶等行业的快速发展也推动了汽车产业由高速增长阶段转向高质量增长阶段转变,为了加快汽车产业变革,政府也在积极推动智能制造、柔性制造快速发展。目前我国汽车智能制造与柔性制造转型处于初级阶段,在国

家政策的推动下,国内各大车企对生产线进行智能化改造与升级,疫情期间,比亚迪快速改造汽车生产线进行防疫制造展现了中国柔性制造的进步。近几年,5G网络、人工智能、边缘计算等新技术与汽车制造行业的有机结合,对于推动互联网造车新生态,实现智能汽车柔性制造、自动驾驶与汽车制造的有机结合至关重要,本文将对此展开论述。

1 智能汽车柔性生产技术发展趋势

随着新一轮科技革命到来,智能化浪潮席卷全球汽车产业,智能汽车已成为全球汽车产业的重要发展战略^[2]。智能汽车又称为智能网联汽车、自动驾驶汽车,通过在汽车上搭载先进的传感设备对外界环境进行感知,并运用人工智能等新兴技术赋予汽车自动驾驶功能^[2]。

* 基金项目:国家科技重大专项课题(2017ZX03001019)

随着社会的进步,消费者对汽车产品功能与质量的要求越来越高,汽车产品的复杂度也随之提高,更换周期也越来越快^[3]。为了提高智能汽车制造业的柔性与效率,在短时间内以最低的成本生产最高质量的产品,智能自动化柔性生产线快速在行业内得到普及。

智能汽车柔性化生产线主要由信息控制系统与制造装备单元组成,该生产线可以根据环境与需求的变化自行优化生产网络,快速适应制造、装备工件的变换,实现多车型共生产线和个性化定制车型生产。智能汽车柔性化生产线具备先进的自动化技术,冲压、焊装、涂装、总装、检测和物流六大工艺流程由几百至上千台协作机器人完成,协作机器人的出现极大地减少了人工成本。柔性生产提高了生产线的适应性,生产线的布局能快速适应消费需求的变化,具备极强的灵活生产能力^[4]。

2 5G+边缘计算智能汽车柔性制造技术及系统

2.1 5G+边缘计算智能汽车柔性制造技术及系统要求

柔性制造就是利用物联网、人工智能、云计算、数字孪生和大数据等技术赋能传统制造业,实现企业资源配置效率优化。通过计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)技术创建虚拟样机技术构建数字化虚拟验证平台,实现虚拟化评估和产品研发智能化;通过应用数字孪生技术实现工艺流程数字化、生产制造标准化、生产设备运维智能化。通过人工智能和机器视觉技术确定产品是否有缺陷,确定缺陷类型,如表面裂纹、磨削废料、压力损伤、挫伤等。引入大数据技术,将整个供应链和业务的数据结合,实现全流程可视、全生命周期追溯和全产线的协同^[5]。智能汽车柔性制造中,在标准、重复操作等工艺环节和关键岗位使用机器人可以大幅提高生产线制造效率。工业视觉是指生产过程中以计算机视觉代替人工进行质量、完整性等检测工作,基于AI的工业视觉是一种相对成熟的技术能力,已被成功应用到智能汽车制造,助力制造业柔性化。

汽车制造业的柔性化发展促使工厂对高性能、灵活的网络具有更高的需求,5G 网络能够为企业生产和管理智能化提供足够带宽、并发、云化等要求的云网服务,

5G+工业互联网推动企业上云。通过完善网络设施和提高设备联网率,加快各类应用综合集成和云化改造迁移,实现工业数据采集、分析和云端汇聚,提升智能汽车智能柔性制造网络化、智能化水平,以分布式“云计算”模式,实现仿真评估、数字孪生、工艺推演、虚拟工厂等应用需求。

将 F5G 的工业无源光网络(Passive Optical Network, PON)应用于生产现场网络、工业物联网等技术设备用于应用于生产系统,可实现工厂内网 IP 化、扁平化与柔性化^[5]。通过 5G/F5G 双模双千兆智能工业网关实现 5G/F5G 的融合部署使用。该网关结合 5G、工业 PON 和工业互联网应用的融合型终端,传输速率可达 10 Gb/s,支持 D 类 PON 保护系统,确保生产业务所需的大带宽、安全性、灵活性等要求。支持包括以太网电口、以太网光口、RS485、RS232、CAN 等多种工业现场接口。产品具备边缘计算能力,可实现工业以太网协议转换、实时性要求高的图形图像处理功能。

基于 5G 网络与云基础设施 5G/F5G 固移融合双千兆智能工业网关和算力芯片,在工厂内构建 5G 基础网络,对生产线已有设施进行基于 5G 和 F5G 的改造互联,提供更高速、更安全、更稳定的连接服务。针对智能生产所需的智能化检测体系,通过引入 AI 深度学习和赋智检测装备重构自动化生产排程能力,提升生产品质和生产效率。

IT、OT 结合是制造业的发展方向,如何及时处理产线设备与终端的数据,发现数据潜在价值并实现实时响应是制造业面临的重要问题。如图 1 所示,使用云边端协同架构构建基于云原生技术的工业边缘计算平台,可以为应用提供边缘计算资源生命周期管理、边缘设备多协议接入、边缘应用执行环境、边缘应用聚合、云边端协同等功能,具有低时延、高可靠、可扩展、本地自治等特性。借助云边端协同的服务架构实现算法不断自我进化,助力智能汽车智能柔性制造的智能化升级,推进工业互联网先进制造技术、信息技术和智能技术的集成和深度融合,助力智能制造升级演进。

2.2 智能汽车柔性制造技术发展现状

国外车企对柔性制造系统的改造与研究的起步较

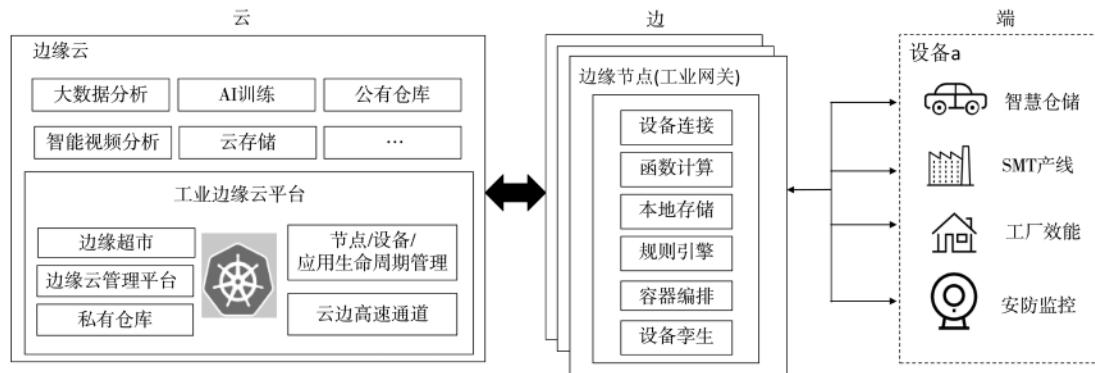


图 1 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统

早,掌握了大量的生产经验与先进技术,基本实现了物联网、数据的实时传输。以奔驰、宝马汽车为例,其制造系统不仅有ERP和MES,还增加了融合生产过程的高级计划排程(Advanced Planning Scheduling,APS)和先进过程控制(Advanced Process Control,APC),可以为生产过程提供决策的智能化系统^[6]。宝马将在线过程控制系统(Online Process Control,OPC)应用在汽车的涂装工序,该系统能够与一线员工穿戴的智能终端进行即时通信,实现人工指导作业,同时该系统可以根据生产线中的数据进行自我学习与分析,对潜在问题进行预警,减少因故障导致的产线停工^[7]。

在过去的汽车生产线上,由于设备、模型、程序等的固定导致一条生产线只能生产一种车型,这就大大提高了产品生产与更新换代的成本。通过智能柔性化制造提升智能汽车生产企业大规模定制能力,实现多种车型、多种配置的批量同时排产和混线生产,扩大个性化定制生产能力^[5]。德国宝沃汽车在北京建立了全球首条八车型智能生产系统的“工业4.0”智能工厂。该条生产线可以完成8种车型在同时无节拍损失自由切换试生产,在保证质量的前提下将生产效率最大化。

近几年,中国国产汽车也积极加入智能汽车市场,为了跟上互联网思维造车,加快对生产线的柔性改造,在汽车零部件生产、整车制造、组装等环节都得到了应用。智能工厂已采用小型化、轻型化的机器人取代人工进行琐碎零件的安装固定,如柔性抓取机器人。柔性抓取机器人具有柔性触手,机器人上安装有检测装置确定零件安装位置,这种结构类使得机器人抓取更加灵活,既可以抓取普通零件,也可以抓取螺母、垫片等细微零件。奇瑞万达利用工业机器人的柔性制造对大客车进行个性化定制与生产;上汽大众的宁波工厂对生产线进行改造,实现了4种不同的车型从一条生产线上生产,将AGV自动零件输送车引入生产线,提高了生产线柔性与生产效率。目前国内的整车厂已完成了物联网和信息化系统的建设,可以实现多种车型混线生产。

3 5G+边缘计算架构

与国外相比,国内柔性制造仍处于初级阶段,目前

许多车厂可以采集到大量生产线的数据,但系统相对封闭,造成数据信息孤岛问题。5G通信技术可以降低网络时延,提高网络传输带宽的利用率,实现高效稳定的数据传输^[8]。边缘计算利用容器技术实现对不同设备异构数据的实时采集,提供弹性计算资源承载深度学习模型。同时边缘的计算资源配置可以满足小区域数据离线处理和分析,保障各类数据的安全传输和处理。边缘端可将处理完成的数据上传至云端进行数据分析与建模,为故障预测等场景提供数据基础。5G+边缘计算智能汽车柔性制造系统架构如图2所示。

工业产线设备数据包括采集数据和命令数据。采集数据属于状态类数据,主要为从工业产线设备处采集的数据,如产品质量指标数据、车间环境数据、安全监控数据等;命令数据属于控制类数据,主要涉及向产线设备传递控制、管理、配置等数据。

根据工厂产线设备升级的实际情况,采集数据和命令数据大多需要分开处理。数据采集方案主要包括:

(1)工业装备的无线网络化改造:目前,工业园区中主流的无线网络接入方式为Wi-Fi,但由于其在抗干扰能力、安全能力等方面的表现并不稳定,难以满足工业场景中对网络传输质量的需求。因此,考虑采用5G网络技术将设备端采集到的数据传输到部署在车间的边缘网关。

(2)数采网关:通过部署在产线的5G/F5G数采网关对采集到的设备数据进行解析、封装和处理。

(3)5G MEC:采用5G MEC技术,利用MEC的分流功能,将MEC下沉部署到工厂园区边缘,将从设备端采集到的原始数据在MEC本地进行处理,通过MEC将决策指令直接下发到设备端。

(4)区域资源池:利用云计算的资源池分布,将时延不敏感数据存储到所处区域的资源池,并通过资源池的人工智能加速设备进行训练优化处理。

5G和MEC的结合,能够实现对工业产线设备数据的实时分析处理和边缘分流,实现设备数据采集、分析、优化,提高数据的生产力^[8]。

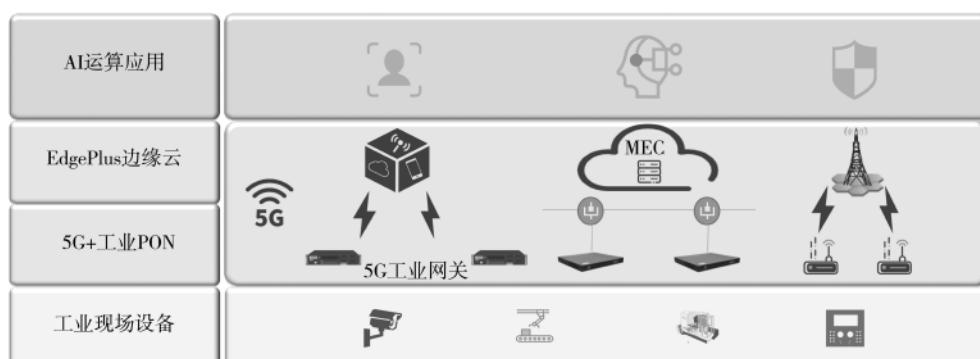


图2 5G+边缘计算智能汽车柔性制造系统架构

4 基于 5G+边缘计算的智能汽车柔性制造

感知、分析、决策、执行是实现汽车柔性制造的主要环节,视觉是产品自动化产线中实现有效感知的重要组成部分。机器视觉就是运用传感器等感知设备代替人眼进行检测、识别,是影响汽车智能制造柔性生产的重要方面。将检测系统部署于 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统,将实时性高的模块部署在边缘端,模型训练模块部署于云端。部署摄像头、工业相机实时检测产线环境、产品质量和人员规范等,使用模型剪枝和模型压缩的技巧,在精度和速度上达到 trade-off,模型及代码以容器的形式运行,并通过 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统完成镜像下发、自启动,在边缘端、云端部署的监控系统架构如图 3 所示。

视频流处理模块:基于边缘端摄像头,获取视频流,送入多阶段工服检测模块;根据视频流得到数据集,用于云边协同训练。

RNN 预测模块:动态获取边缘端当前可用的计算资源、硬件设备,基于 RNN 神经网络,获取满足当前资源的最优模型的相关参数,并发送压缩指令给控制模块。

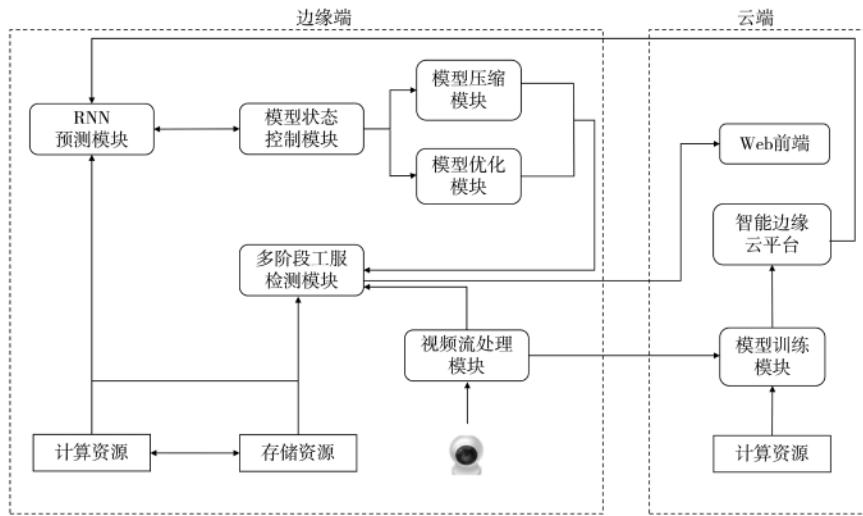


图 3 监控系统架构在边缘端、云端的部署

4.1 工业质量检测

为了提高缺陷检测的准确率和效率,将工业视觉应用与柔性制造云边端系统相结合,基于 5G 大带宽网络,采用深度学习的方法完成产品质量检测和识别任务。5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统的工业质检应用及架构如图 4、图 5 所示。

(1)5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统支持多种协议,可有效控制不同型号的摄像头、相机;在生产线上部署工业高速、高灵敏度扫描相机,图像采集子系统从不同角度采集图像。

(2)5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统中云平台进行模型训练,边缘平台进行数据分析、处理;深度学习模型由训练和测试图像构建,在边缘侧对采集到

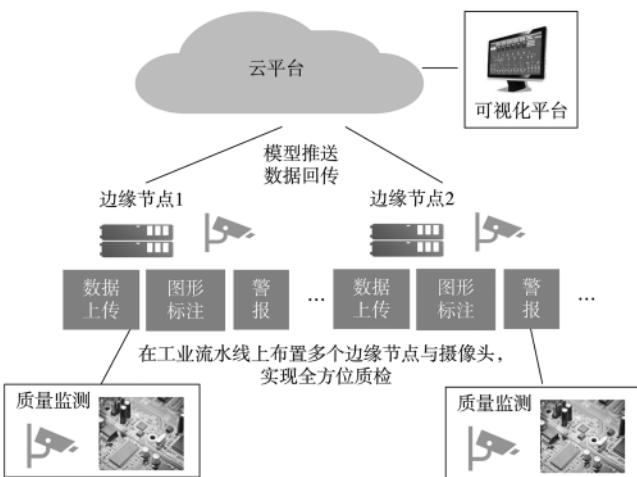


图 4 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统的工业质检应用
的数据进行分析处理,检测产品是否有缺陷以及缺陷类型,如表面裂纹、磨削废料、压力损伤、挫伤等。

(3)5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统可以对应用进行全生命周期管理,支持视觉算法迭代。

(4)通过 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统的可视化平台展示质检过程与质检数据。

利用视觉代替人工质检,可以有效提高质检过程的安全性、准确性、稳定性与质检效率,降低人工成本,及时发现缺陷元器件与缺陷类型,可以有效提高生产效率。该检测系统检测准确性可达到 99%,与之前相比提高了 2%。

4.2 安全生产监控

在工业生产中,安全是永恒不变的主题,人员安全、环境安全与设备安全是柔性生产的基本。在设备与产线周围部署摄像头与边缘计算网关,基于 5G 网络,运用基于深度学习的在线机器视觉检测方法进行安全生产监控。5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统的安全生产监控应用及架构如图 6、图 7 所示。

(1)在产线周围部署摄像头与边缘计算网关,5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统支持多协议,可有效利用园区内原有的摄像头;

(2)在边缘侧进行数据分析、处理与响应,边缘平台快速处理摄像头上传的图片数据,实时监控与紧急报警;

(3)5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统可实现全生命周期管理,支持智能摄像头配置升级;

(4)将有效数据上传至云平台进行模型训练,在边缘侧进行故障预测。

利用视觉进行安全生产监控,可以有效降低设备监控成本,提高设备运行稳定性;监控系统可以实时反馈

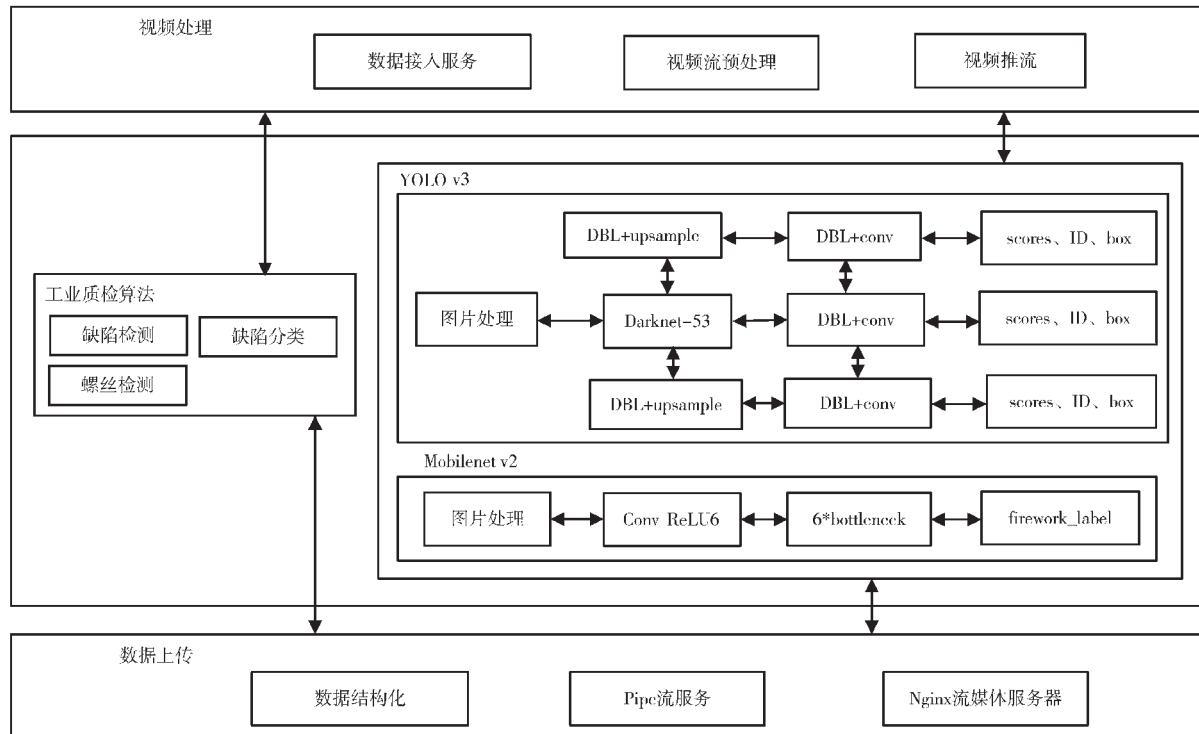


图 5 基于 5G+边缘计算+人工智能的工业质检框架

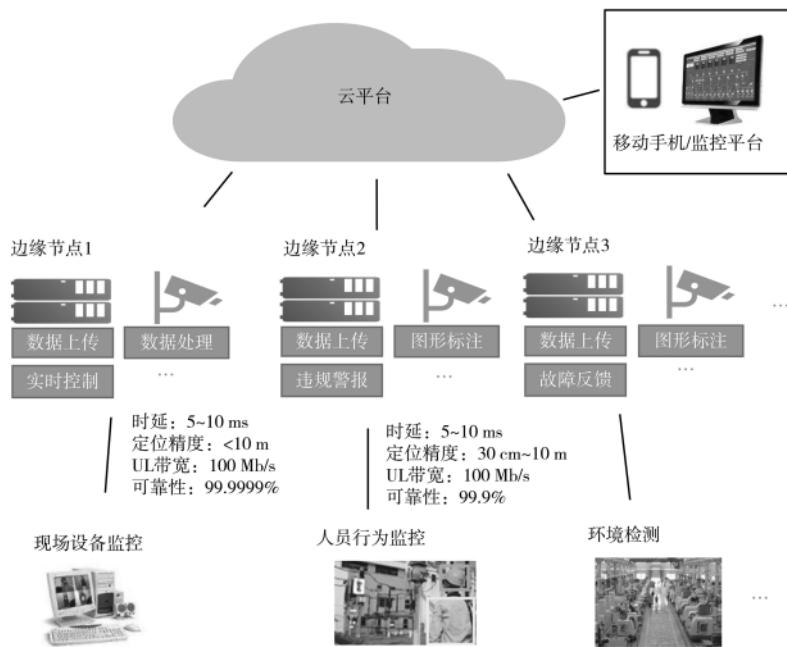


图 6 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统的安全生产监控

安全信息，预防事故发生；当检测到不安全情况与不规范行为时系统将发出警告，提醒工人整改，提高车间工作安全。该检测系统检测准确性可达到 99%，与之前相比提高了 3%。

5 结论

柔性制造是制造业发展的方向，结合物联网、人工智能、云计算、数字孪生和大数据等新兴技术，赋能传统

制造业，实现对制造过程的感知、决策。能汽车柔性制造将研发、生产、质检和供应环节的生产工具与决策手段智能化，实现企业资源配置效率优化，助力汽车智能制造能力有效提升。

本文给出了智能汽车柔性制造 5G+边缘计算智能汽车柔性制造云边端系统架构以及基于机器视觉的工业质检与安全生产监控解决方案，为智能汽车柔性制造的建设提供参考。

参考文献

- [1] 张敏,魏伟.浅谈汽车生产中的柔性制造[J].汽车工艺与材料,2005(6):1~2,13.
- [2] 国家发展与改革委员会.智能汽车创新发展战略[EB/OL].(2020-02-10)[2020-11-03].
https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zefb/tz/202002/t20200224_1221077_ext.html.
- [3] 许奎.柔性制造技术创新在汽车生产中的应用[J].科技创新导报,2017(15):110~111.
- [4] 前瞻产业研究院.汽车智能制造趋势及案例[EB/OL].(2018-04-02)[2020-11-03].
<https://f.qianzhan.com/zhi/nengzhizao/detail/180402-c1919744.html>.
- [5] 河北省工业和信息化厅.河北省汽车制造业数字化转型行动计划(2020~2022)[EB/OL].(2020-07-03)[2020-11-03].
<http://gxt.hebei.gov.cn/shouji/zcfg64/snzc67/673682/index.html>.
- [6] DANGAYACH G S, DESHMUKH S G. Advanced manufacturing technologies: evidences from Indian automobile com-

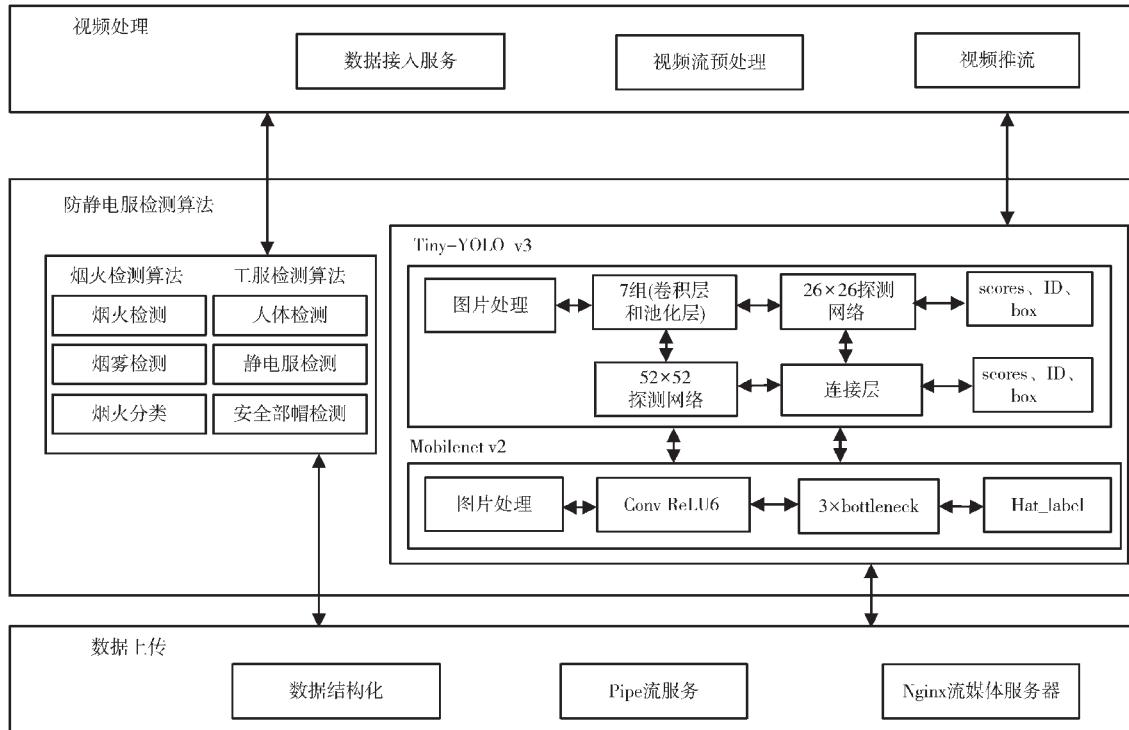


图 7 基于 5G+边缘计算+人工智能的烟火检测与工服检测框架

panies[J]. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2004, 6(5): 426–433.

[7] 沈振宇.面向汽车混流生产线的排产与调度问题研究[D]. 重庆:重庆大学, 2019.

[8] 工业互联网产业联盟.基于 5G 和人工智能的产品质量实时检测和优化[EB/OL].(2019-05-28)[2020-11-03]. <http://www.aii-alliance.org/csc/20200430/2069.html>.

(收稿日期: 2020-11-03)

(上接第 25 页)

协同的多级多源数据融合感知分析架构、部署组网方案, 为车路协同系统建设、运营提供参考。

参考文献

- [1] 中国电信集团有限公司, 中国信息通信研究院, 大唐电信科技产业集团, 等.面向 C-V2X 的多接入边缘计算服务能力开放和接口技术要求(第一阶段)[Z].2020.
- [2] 智能网联汽车云控基础平台及其实现[EB/OL].(2018-12-17)[2020-11-03].https://www.sohu.com/a/282386768_468661.
- [3] 熊小敏, 杨鑫, 刘兆璘, 等.车路协同的云管边端架构及

作者简介:

丁鹏(1979-), 通信作者, 男, 博士, 工程师, 主要研究方向: 5G 边缘计算、工业互联网、行业数字化, E-mail: dingpeng6@chinatelecom.cn。

薛裕颖(1993-), 女, 硕士, 初级工程师, 主要研究方向: 5G 边缘计算。

熊小敏(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 5G 边缘计算、智能交通、互联网金融。

服务研究[J].电子技术应用, 2019, 45(8): 14–18, 31.

- [4] 张建敏, 杨峰义, 武洲云, 等.多接入边缘计算(MEC)及关键技术[J].电信科学, 2019, 35(4): 250.

(收稿日期: 2020-11-03)

作者简介:

熊小敏(1983-), 通信作者, 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 5G 边缘计算、智能交通、互联网金融, E-mail: xiongxm1@chinatelecom.cn。

沈云(1988-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向: 边缘计算、视频云等。

丁鹏(1979-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向: 5G 边缘计算、工业互联网、行业数字化。

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