

# 智慧军营研究综述及展望

张志成,张瑞权,马 昭,董一杰,吴成晟

(华北计算机系统工程研究所,北京 100083)

**摘 要:** 首先介绍了智慧军营的研究背景以及其在国防领域的重要性。其次结合智慧营区研究建设目前处于初级阶段所存在的问题与挑战,对智慧军营体系架构和其中各层级的研究现状及成果进行了详细探讨和评价。最后结合技术发展趋势和项目建设经验论述了智慧军营未来的研究方向和发展趋势。

**关键词:** 智慧军营;研究成果;研究展望

中图分类号: E235

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222678

中文引用格式: 张志成,张瑞权,马昭,等. 智慧军营研究综述及展望[J]. 电子技术应用, 2022, 48(11): 41-45, 50.

英文引用格式: Zhang Zhicheng, Zhang Ruiquan, Ma Zhao, et al. Review and prospect of smart military camp research[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(11): 41-45, 50.

## Review and prospect of smart military camp research

Zhang Zhicheng, Zhang Ruiquan, Ma Zhao, Dong Yijie, Wu Chengsheng

(National Computer System Engineering Research Institute of China, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Firstly, this paper introduces the research background of smart barracks and its importance in the field of national defense. Secondly, combined with the problems and challenges existing in the initial stage of the research and construction of smart barracks, this paper discusses and evaluates the system architecture of smart barracks and the research status and achievements at all levels. Finally, combined with the technical development trend and project construction experience, this paper discusses the future research direction and development trend of smart military camp.

**Key words:** smart military camp; research findings; research prospect

### 0 引言

面对当今世界复杂的国际形势以及紧张的国际关系,建设同国际地位相称、同国家安全和利益相适应的巩固国防和强大军队,是社会主义现代化建设的战略任务<sup>[1]</sup>。

新时代的军队建设要不断推动机械化和信息化的融合发展,并且加快军事的智能化发展,提升战略能力。营区是国家和军队的重要组成部分<sup>[2]</sup>,在《军队建设发展“十三五”规划纲要》中对部队的信息化基础设施以及数字化管理都有明确的要求,同时特别提出未来要着力新型部队智慧营区<sup>[3]</sup>。

从中央提出智慧营区建设这一概念以来,智慧军营的建设快速发展。智慧军营指的是通过综合运用先进信息技术,让计算机如同人脑一样让计算机如同人脑一样拥有“智慧”,打造人性化的智慧军营,应用于营区的各方各面<sup>[4]</sup>。现阶段较为先进的营区基本实现了营区从传统管理模式到信息化管理模式的转型,完成了人员组织、车辆交通、信息通信、业务/政务、水和能源等核心系统的信息化建设<sup>[2]</sup>,但同样暴露出了很多亟待解决的问题,

给智慧军营的后续建设与升级都埋下了很大的技术隐患,主要包括以下几类主要问题:

#### (1)“烟囱式”信息系统

通常在大型信息系统集成项目建设中,比如视频监控、周界安防、人员车辆管理、动环监控等业务系统由不同软件厂商提供,各系统之间没有交互与联系,形成了信息孤岛,难以真正实现营区的智慧化。

#### (2)现有应用架构缺少横向扩展能力

随着前端设备的功能以及性能的大幅提升,未来前端设备的种类以及数量将会越来越多,传统单体软件架构在系统运维升级、新功能部署以及新设备接入方面将难以应对,不但需要消耗大量的精力进行开发升级,效果也并不理想。

#### (3)数据利用率低

很多智慧军营的信息底座铺设都已经非常完善,但是营区内各类数据的采集利用效率低下,很多数据并没有应用到业务之上,除了缺少顶层规划还缺少对数据的采集、传输、存储、复用的总体规划与设计,数据无法进行复用,各类服务之间缺少联系,业务流程难以打通,信

息系统难以实现对营区管理的助力。

(4)缺少顶层规划

现阶段很多智慧军营项目的建设出现了盲目跟风的情况,只顾“大而全”的信息系统功能建设,并未考虑如何为用户的业务赋能,导致投资巨大的信息系统难以真正为营区的运营管理助力,用户的业务需求难以真正实现。

1 智慧军营研究背景

“智慧城市”的概念是由 IBM 公司于 2010 年提出<sup>[5]</sup>,并由此陆续衍生出了智慧医疗、智慧园区、智慧交通、智慧制造等概念。智慧制造领域,El-Gendy 等人<sup>[6]</sup>提出了工业智慧机器人在工业物联网产业中的应用模式,并指出了如何对机器人进行控制。智能家居领域,Bhide 等人<sup>[7]</sup>提出了基于贝叶斯分类器的智能家居 IoT 系统,通过机器学习的方法预测智能设备可能出现的故障并寻找最优解决方法。在智慧社区领域,中北大学的团队<sup>[8]</sup>提出了基于 RFID、ZigBee 以及视频监控设备的整体化智慧社区解决方案,对社区的人员、车辆管理实现智能化转型。在智慧交通领域,魏赟团队<sup>[9]</sup>提出了一套基于车载自组网的智慧交通解决方案,该解决方案主要包括了:车载自组网的构建协议模型、车辆移动模型、Slam 算法、车辆路由算法。智慧医疗领域中,Yang 团队<sup>[10]</sup>针对老人经常忘记吃药以及不知如何用药的现象,提出了一套基于生物医学传感技术和生命体征检测软件的智慧医疗系统,该系统可以在病人身体出现病症时及时通知相关的智慧药箱,进行报警和智能显示,实现病人的准确与及时用药。

在上述各类智慧类建设研究蓬勃发展的同时,智慧军营这一概念也应运而生。智慧军营的建设以新型营区类建设项目的“创新、协调、绿色、开放、共享”理念为指引,以云计算技术、大数据技术、物联网技术以及人工智能技术为技术支撑,按照“全面规划、分步实施、预留扩展、逐步完善”的总体建设思路开展,结合营区发展实际、营区一体化建设顶层框架以及信息标准等制度规范,致力于实现各业务系统的有效融合、数据的开发应用以及应用平台的开放性、安全性工作。文献<sup>[11]</sup>提出

了军民融合模式下的智慧军营的建设方案,从建设方式、技术应用以及创新研究等方面充分利用智慧城市、智慧园区以及智慧交通等其他领域的研究成果,结合营区职能定位以及业务需求,在智慧军营建设上真正实现“军融民”和“民参军”。本文根据国内外相关报道和文献,将国内外智慧军营相关建设研究的总体发展历程及每个发展阶段的特点等详细信息进行总结,如表 1 所示。

2 智慧军营研究现状

2.1 智慧军营体系架构研究

智慧军营与智慧城市、智慧园区、智慧校园等建设相似,都属于超大型信息系统集成类建设<sup>[12]</sup>,首先对基础硬件信息底座和前端传感设备进行部署,然后进行网络系统的搭建,接下来根据业务需求进行平台层和应用层的构建,最后进行展示层的建设,标准规范体系指导智慧军营建设的全生命周期,信息安全防护体系用于规范数据的流动以及保障数据安全,运维保障体系为整个智慧军营的运营提供技术与规范方面的保障<sup>[13]</sup>,智慧军营总体架构如图 1 所示。

在总体架构的研究方面,文献<sup>[14]</sup>提出了“云+边”的系统部署方案,通过将一部分计算任务下沉到边缘节点,解决云计算中心任务负载过重、响应时间长、网络延迟高、数据传输耗能高等问题,此模式在规模较大或营区单位跨度较大的情况下非常适用,这种情况的传输距离较长,业务相应时延较长,同时此模式在节约能耗方面有重要作用。由于营区的重要战略地位以及特殊性,营区的数据安全非常重要,由中国电子打造的 PKS 体系从基础软硬件的自主研发入手<sup>[15]</sup>,实现智慧军营的软硬件信息系统全面自主可控,为营区数据安全保驾护航。针对目前智慧军营建设缺少总体规划、盲目建设等痛点,华北计算机系统工程研究所的团队<sup>[16]</sup>提出了评价智慧军营建设水平的指标体系,用于指导智慧军营建设的顶层规划,评价智慧军营建设成果,促进智慧军营可持续发展。为实现营区的智慧化,太极集团<sup>[17]</sup>提出了 DIKW 体系,以数据-信息-知识-智慧四个层级逐级递进,实现营区智慧化。

表 1 智慧军营发展历程表

发展时期	发展阶段	系统特点	建设目标	功能示例
国外 2005-2010 国内 2013-2015	数字化军营	安全监控、日常管理、协同办公、政工教育、后装保障等系统的信息化全覆盖	基于军营数据电子化,以对少量数据、信息资源进行总结、分析和利用,达到营区信息化全覆盖,营区各种要素一体化、协同化	装备管控流程数字化、人员管理数字化、办公处理自动化
国外 2010-2015 国内 2015-2018	信息化军营	多源感知、多网协同、多维展示的信息融合能力	可以利用信息化手段对大量数据、信息进行汇总、分析、利用,优化流程和辅助决策,形成贯穿作业全生命周期的知识动态推送,实现知识驱动管理精益化、流程自动化	RPA 流程自动化、数据驱动精益化管理
国外 2015-2020 国内 2018 至今	智慧军营	数据-信息-知识-智慧的类脑智能生成能力	可以对海量数据、信息进行分析、利用,并形成知识,实现营区生态体系自我整合、自我反馈、自我学习	以作战需求为牵引的装备研制、试验训练、后装保障的动态自适应



图1 智慧军营总体架构图

## 2.2 智慧军营感知层研究进展

智慧军营感知层<sup>[18]</sup>主要由数据采集设备和控制设备组成,主要通过底层部署各类的传感设备,实现对营区实现全面、无死角的安防监控、周界防护以及动环监控等,同时通过前端的各类控制设备,进行视频监控、周界报警、出入口控制、人员车辆管理等方面的响应机制的实现。智慧军营的感应对象主要包括人员车辆、水电气、楼宇机房以及各类营区设施,主要的感知单元包括个人移动端设备、动环监控模块、摄像头、传感器、RFID、GPS 以及识别器等,通过感知单元对营区的各类数据进行获取与采集,文献[19]介绍了人脸识别、虹膜识别、掌纹静脉识别等技术在智慧军营人员管控方面的应用。文献[20]基于营区的业务类型,提出了物联网技术的应用系统,其中在武器装备管理方面和涉密载体管理方面的应用具有很强的实际意义,在物联网环境中,虽然还没有一种能够适应所有环境的传输协议,但是 CoAP 协议和 MQTT 协议的低功耗和灵活性,与智慧军营的前端传感设备非常匹配。

## 2.3 智慧军营传输层研究进展

智慧军营的传输层主要根据营区各个单位的定位以及具体的网络需求,以实现网络的互联以及信息的互通,主要涉及内网、物联网以及互联网的三网协同的实现,其中互联网主要接收移动端的设备以及连接到外部互联网,物联网中则是对所有营区内的无需接入外网的设备进行统一管理,内网则主要部署后端服务以及实现与其他营区网络的互联互通。三网协同中数据安全问题尤为重要,针对营区复杂网络环境的数据安全问题,文献[21]研究了一种基于单项光纤传输设备的数据传输系统,利用光的单向传递性,通过光发送模块和光接收模块实现信号的单向传输以及信号编解码,是智慧军营中应用较多的网络隔离方法;利用二维码可以携带信息的特点,文献[22]研究了一种基于二维码的数据传输系

统,同样可以实现网络的单向传输保证数据安全,并针对二维码携带数据量较小的问题提出了 LZMA 压缩算法增加数据传输量。针对未来 5G 网络的发展与应用,文献[23-24]研究了 5G 技术在智慧军营中的应用场景以及技术实现方案。

## 2.4 智慧军营平台层研究进展

智慧军营的平台层主要实现了计算、存储以及网络资源的虚拟化,以资源层的形式为上层应用提供平台级的支撑。如图 1 所示,平台提供的各类组件主要包括衔接基础软件与上层应用的各类中间件、提供大数据计算能力的大数据计算套件、保障多类型数据存储的数据库以及包括 Docker、KVM 在内的各类虚拟化工具,同时也提供云安全组件和自动化运维工具<sup>[25]</sup>。

文献[26]提出了基于大数据技术的智慧军营平台层的构建,综合运用 Hadoop 大数据平台和 Elasticsearch 分布式存储系统及搜索引擎协同机制,对整个营区的海量数据进行存储、检索、计算以及展示。文献[27]将平台层根据平台所提供的业务支撑类型分为数据中台、业务中台与技术中台,数据中台主要提供面向所有数据的数据处理能力,业务中台则提供各类业务的通信交互平台以及实现服务的横向伸缩和负载均衡等,技术中台主要提供智能类服务支撑,例如视频结构化、车辆识别、人脸识别等,此类服务具有技术门槛高、算力要求高、数据流量大的特点,对这类服务设立单独的中台,可以实现能力和数据的复用。

平台层的设计与构建实现了基础资源的高效利用与有效分配,可以对底层资源进行更为合理的配置与调度,同时为上层应用的稳定运行提供了可靠的平台级底座支撑,平台层提供的灵活多样的各类工具也为微服务<sup>[28]</sup>的构建提供了更为适宜的“土壤”。

## 2.5 智慧军营应用层研究进展

随着信息系统建设规模的不断增大以及计算机技



术的迅速发展,人们开始思考、设计更加适用于大型信息系统的软件架构<sup>[29]</sup>,文献[30]提出了一种基于云计算架构的智慧军营应用层构建模式,利用云服务的特性,实现应用的统一管理与资源共享。目前传统的单体架构适用于规模较小、系统较为简单、功能单一以及变动不大的系统,通过一次性的设计、开发、构建以及部署,实现软件应用的交付<sup>[31]</sup>。文献[32]提出了一种基于微服务架构的智慧园区应用层构建思路,微服务架构是将单体应用中的各功能业务模块各自拆分出来,进行独立的设计、开发、构建以及部署,并通过统一的管理配置与策略进行微服务间的协同工作。微服务架构具有天然的松耦合特性以及原生的资源共享性和数据复用性的特点<sup>[33]</sup>,使其成为构建大型智慧军营应用层的不二选择,文献[34]提出了建设基于微服务架构的智慧军营的设计理念。表2中列举了基于不同架构构建的智慧军营应用层的详细对比智慧军营应用层的对比,可以得出结论,在应对功能不断丰富、规模不断庞大的智慧军营应用层建设时,选择微服务架构更有利于后期系统的稳定性以及系统的升级扩展,但在前期设计以及开发实现的难度较大,需要较多的投入。

表2 智慧军营应用层架构对比表

对比方面	单体架构	SOA 架构	微服务架构
应用现状	广泛	比较广泛	较少
技术要求	低	中等	高
设计难度	低	中等	高
开发复杂度	低	中等	高
部署难度	低	高	低
应用耦合性	高	中等	低
系统稳定性	低	中等	高
运维难度	高	中等	低
扩展性	差	一般	强
发展前景	小	小	巨大

在应用层的软件设计方面,结合营区业务的特点,文献[35]提出了一种基于数字孪生的智慧军营应用层建设方案,利用图像采集技术以及三位建模技术构建物理实体的功能模型,根据功能需求和业务需求构建实体功能模型,结合数据的逻辑性和方向性构建模型间的交互通道,最终实现实体模型在虚拟空间的映射,实现智慧军营的数字孪生服务。在数字孪生的智慧军营基础上,文献[36]提出了基于数字孪生的跨营区的数据融合解决方案,在未来智慧军营的数字孪生应用层建设成熟之后,通过建立数据标准、传输标准,逐步确立数据的协同融合框架,从而构建可以提供例如物资调度优化、训练保障一体化、能耗管理预测等精细化智能辅助决策的智慧军营数字孪生体。

2.6 智慧军营展示层研究进展

智慧军营展示层是实现智慧军营管理中的人机结

合与交互,与应用层的区别是应用层更侧重于功能的实现与业务需求的满足,而展示层侧重于从多个维度实现智慧军营的综合态势展示,并采用多种技术手段提升智慧军营整体的可视性和直观性。文献[37]介绍了智慧类建设项目的展示层构成,文中提出的展示层分为大屏端、PC端以及移动端,大屏端主要进行三维地图显示以及数据分析结果展示,PC端面向日常监管以及后端维护,移动端面向个人灵活业务的办理以及信息推送,同时以权限控制、可视化管理、应用接入、规则引擎等软件构成支撑层,实现对于展示层的整体管控。文献[38]提出了一种基于增强现实的智慧军营展示层构建方案,通过结合三维空间信息、视频监控信息以及业务数据信息,实现将业务数据呈现到对应的实际物理空间之中,呈现“实中有虚”的效果。

3 智慧军营研究展望

3.1 管理层面

3.1.1 深化公共服务保障体系建设

智慧军营的细分研究场景众多,可研究的垂类领域非常广阔,针对每个场景都可以进行深入细致的研究,提升军营整体的智慧化、智能化程度,例如聚焦于提升多维度的营区安全防护保障能力的智慧安防建设,聚焦于实现营区绿化植被自动灌溉的智慧灌溉建设,聚焦于实现营区消防安全监测、预警、处置、指挥调度等管理功能的智慧消防建设,针对营区日常业务的智慧办公、智慧党政、智慧教育等建设场景,以及针对营区特种业务建设的智慧试验、智慧训练、智慧后装等建设场景。

3.1.2 加强安全保密体系建设

随着智慧军营建设的不断发展,在建设过程中涉及的各类业务数据将不断增加,营区的数据安全将非常重要,仅依靠各类设备的网络隔离来实现数据安全会以牺牲计算效率以及网络传输速率为代价,所以将隐私计算技术引入智慧军营建设的体系架构成为未来智慧军营研究的重点之一。现阶段,隐私计算已经广泛应用于金融领域<sup>[39]</sup>,在智慧军营的建设中,可以从数据安全标准<sup>[40]</sup>的制定入手,总体规划,分步实施,逐步实现基于隐私计算的智慧军营构建体系。

3.2 技术层面

3.2.1 军事物联网平台的构建

在现阶段,由于营区物联网设备接入数量有限,且传输的数据类型相对简单,因此感知层的搭建并未成为研究重点,但是可以预见的是,未来智慧军营的感知设备数量、种类以及传输的数据类型将不断增加,届时,同服务于制造业的工业物联网平台<sup>[41]</sup>和服务于智能家居的物联网平台<sup>[42]</sup>一样,综合应用移动宽带(4G/LTE、5G等)、蜂窝窄带物联网(NB-IoT)、低功耗广域网(LoRa)、区域自组网、天基移动组网等技术的专门服务于智慧军营的军事物联网平台<sup>[43]</sup>将应运而生。

### 3.2.2 微服务架构的任务调度研究

随着微服务架构在智慧军营的应用不断深入,可总结的项目经验不断增加,基于微服务架构的智慧军营应用层研究可以聚焦于任务调度模型研究,基于历史数据与专业人员判断,利用人工智能技术构建任务调度算法模型,能够实现将资源分配到资源利用率更高的任务上<sup>[44]</sup>,实现资源的高效利用,也提高应用服务的响应速度和计算速度。

### 3.2.3 低代码开发平台的应用研究

智慧军营在实际建设中一般以可交付成果的方式进行呈现<sup>[45]</sup>,为了实现从用户中来,到用户中去,让信息系统的建设真正满足用户的需求,可以采用低代码应用搭建以满足用户业务侧丰富多样的需求<sup>[46]</sup>,使得整个系统的信息化、智能化能力可以真正赋能到用户业务上。智慧军营的低代码应用可以从最基础的表单驱动应用进行研究,不断深入低代码应用的研究,与数字孪生的应用层研究同步进行,最终实现数据驱动的低代码应用,完全摆脱定制化应用软件的开发模式。

## 4 结论

本文介绍了智慧军营的相关研究进展,以智慧军营的建设现状和痛点作为切入点,详细阐述了各类关键技术的技术特点以及在相应建设层的应用,并结合营区未来发展方向和新兴技术的出现进行智慧军营的研究展望,为后续研究提供一定参考,同时本文提到的各类技术应用以及设计方案对智慧园区、智慧校园、智慧城市等相近研究方向均有一定参考价值。

### 参考文献

- [1] 邵送兵.论习近平强军思想[D].重庆:西南政法大学,2015.
- [2] 陈小青.军队信息化建设范式研究——论数字化、网络化、智能化到平行化的融合发展[J].国防科技,2019,40(1):82-87.
- [3] 确保如期完成军队建设发展“十三五”规划目标任务 为实现强军目标、建设世界一流军队打下坚实基础[J].网信军民融合,2019(3):20-21.
- [4] 田雪冰,乐亮,高浩鹏.智慧军营建设方案探索[J].科技与创新,2019(8):21-22,25.
- [5] 李春佳.智慧城市内涵、特征与发展途径研究——以北京智慧城市建设为例[J].现代城市研究,2015(5):79-83.
- [6] EL-GENDY S.IoT based AI and its implementations in industries[C]//Proceedings of 2020 15th International Conference on Computer Engineering and Systems(ICCSE),2020.
- [7] BHIDE V H, WAGH S.I-learning IoT: an intelligent self learning system for home automation using IoT[C]//Proceedings of 2015 International Conference on Communications and Signal Processing(ICCSP),2015.
- [8] 乔俞豪.基于物联网的智慧社区管理系统研究[D].太原:中北大学,2017.
- [9] 魏赞.基于物联网的智能交通系统中车辆自组织网络建

模与仿真研究[D].兰州:兰州交通大学,2017.

- [10] YANG G, XIE L, MÄNTYSAALO M, et al. A health-IoT platform based on the integration of intelligent packaging, unobtrusive bio-sensor, and intelligent medicine box[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(4): 2180-2191.
- [11] 万平,郭凌,杜伟伟,等.军民融合模式下智慧营区建设思考[J].物联网技术,2021,11(7):104-106.
- [12] 胡婷,刘艳层,袁鹏.智慧军营系统构建及应用研究[J].科技创新导报,2017,14(4):99-100.
- [13] 王晶,李晓丹,谭丽明.智慧军营系统设计及应用研究[C]//第九届中国指挥控制大会论文集,2021:129-132.
- [14] 金鑫,郭智明,丁冠东,等.面向智慧营区的物联计算模式[J].指挥信息系统与技术,2019,10(3):70-75.
- [15] 张宁.成立 PK 体系生态联盟 中国电子牵头共建数字化发展联合体[J].国企,2021(11):27.
- [16] 张志成,刘岩,张晋芳,等.智慧营区评价体系研究[J].信息技术与网络安全,2021,40(7):103-107.
- [17] 陈文杰,王淑娥.打造国防智能应用的引领者 为国防信息化建设贡献太极力量——太极股份智慧军营建设[J].国防科技工业,2021(2):60-63.
- [18] Shue Liu. Design for fishery water environment monitoring system based on IoT[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Network and Computer Engineering(ICENCE 2016),2016.
- [19] 张梦婷.多模态身份识别系统在智慧营区建设中的应用研究[J].现代信息科技,2020,4(12):176-178.
- [20] 齐家珍.浅谈如何利用物联网构建智慧营区[J].电脑知识与技术,2017,13(12):247-248.
- [21] 王耀东.基于单向光纤传输设备的数据传输系统的设计与实现[D].成都:电子科技大学,2018.
- [22] 韩林,张春海,徐建良.基于二维码的内外网物理隔离环境下的数据交换[J].计算机科学,2016,43(S2):520-522.
- [23] 张军刚,王海龙.智慧营区 5G 应用研究[C]//第九届中国指挥控制大会论文集,2021:616-621.
- [24] 史芳,封颖,丁冠东.基于 5G 的智慧军营信息系统架构设计[J].指挥信息系统与技术,2021,12(4):23-27.
- [25] 毛承国,张卫华,张进铎,等.大规模集群运维自动化的探索与实践[J].信息安全与技术,2014,5(2):60-62,73.
- [26] 吴琼贵,司长哲,余海,等.基于大数据的智慧营区平台设计及实现[C]//第十三届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集,2019:173-176.
- [27] 李京辉.基于微服务架构和中台技术的智慧营区综合管控平台建设研究[J].信息技术与信息化,2021(2):74-77.
- [28] 辛园园,钮俊,谢志军,等.微服务体系结构实现框架综述[J].计算机工程与应用,2018,54(19):10-17.
- [29] 鞠岩,胡婷,刘艳层,等.基于 SOA 架构的智慧军营管理

(下转第 50 页)

- 567-575.
- [6] Liu Hongmin, Zheng Zhenzhong, Peng Yan. Streamline strip element method for analysis of the three-dimensional stresses and deformations of strip rolling[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2001, 50(5): 1059-1076.
- [7] RIAHIFAR R, SERAJZADEH S. Three-dimensional model for hot rolling of aluminum alloys[J]. Materials and Design, 2007, 28(8): 2366-2372.
- [8] GUO Z. F, LI C. S, XU J. Z, et al. Analysis of temperature field and thermal crown of roll during hot rolling by simplified FEM[J]. J. Iron. Steel Res. Int., 2006, 13(6): 27-30, 48.
- [9] PARK C. M, CHOIA J. T, MOONA H. K, et al. Thermal crown analysis of the roll in the strip casting process[J]. J. Mater. Process. Technol., 2009, 209(8): 3714-3723.
- [10] BENASCIUTTI D, BRUSA E, BAZZARO G. Finite element prediction of thermal stresses in work roll of hot rolling mills[J]. Proc. Eng., 2010, 2(1): 707-716.
- [11] 曹建国, 张杰, 陈先霖. 宽带钢热连轧机选型配置与板形控制[J]. 钢铁, 2005, 40(6): 40-43.
- [12] Sun Jie, Deng Jifei, Peng Wen, et al. Strip crown prediction in hot rolling process using random forest[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2021, 22(6): 301-311.
- [13] Jiang Mian, Li Xuejun, Wu Jigang, et al. A precision on-line model for the prediction of thermal crown in hot rolling processes[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014, 78: 967-973.
- [14] 冯夏维, 王晓晨, 杨荃, 等. 六辊轧机工作辊辊形边降调控能力分析[J]. 机械工程学报, 2019, 55(12): 83-91.
- [15] Cao Jianguo, Chai Xueting, Lin Liyan, et al. Integrated design of roll contours for strip edge drop and crown control in tandem cold rolling mills[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2018, 252: 432-439.
- [16] 贾广顺. SMS-EDC 轧机边降控制能力特性研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.
- [17] 刘洋, 王晓晨, 杨荃, 等. 基于预测函数算法的冷连轧边降滞后控制研究[J]. 机械工程学报, 2015, 51(18): 64-70.
- [18] 赵旻. 铝板带横向厚度分布建模及热轧末道次工艺参数确定[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- [19] 黄长清, 蔡央. 在线高精度热轧铝板带横向厚度计算模型[J]. 热加工工艺, 2018, 47(23): 109-114.
- [20] JIANG Z. Y, TIEU A. K, LU A. C. A 3D finite element analysis of the hot rolling of strip with lubrication[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 125-126: 638-644.
- (下转第 56 页)
- (上接第 45 页)
- 系统设计与实现[J]. 信息系统工程, 2017(2): 95-97.
- [30] 谷玉荣, 田建宇, 高艳, 等. 基于云计算服务架构的智慧营区的建设[J]. 科技创新与应用, 2018(30): 38-41.
- [31] DRAGONI N, GIALLOLRNZO S, LAFUENTE A, et al. Microservices: yesterday, today, and tomorrow[J]. Present and Ulterior Software Engineering, 2017(4): 195-216.
- [32] THÖNES J. Microservices[J]. IEEE Software, 2015, 32(1): 116.
- [33] PAPAOGLOU M. P, HEUVEL W. J. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues[J]. VLDB Journal, 2007, 16(3): 389-415.
- [34] 汤杰, 谢俊杰, 郭宏达, 等. 基于微服务框架的智慧军营系统设计构想[C]// 第八届中国指挥控制大会论文集, 2020: 79-83.
- [35] 张轩, 凌云. 基于数字孪生的智慧营区信息系统建设[J]. 信息化研究, 2020, 46(3): 51-56.
- [36] 王峰, 古英汉, 张祥林, 等. 基于数字孪生的跨营区数据融合应用研究[J]. 计算机仿真, 2021, 38(9): 7-13.
- [37] 马玉晓, 王茜, 王妍, 等. 城市大脑数字驾驶舱建设探索与研究[J]. 信息技术与标准化, 2021(10): 20-23.
- [38] 许家尧, 王冉. 基于增强现实的营区综合管控系统[J]. 信息化研究, 2021, 47(1): 20-24.
- [39] 毛剑, 李坤, 徐先栋. 云计算环境下隐私保护方案[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011, 51(10): 1357-1362.
- [40] 何友鸣, 方辉云. 数据安全设计与标准[J]. 计算机时代, 2002(11): 40-41.
- [41] 陆国君, 金勤芳, 张慧丽. 基于 MQTT 网关连接 PLC 与阿里云物联网平台的工业物联网系统[J]. 物联网技术, 2019, 9(12): 58-60, 63.
- [42] 赵宏林, 廉小亲, 郝宝智, 等. 基于物联网云平台的空调远程控制系统[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(1): 265-270.
- [43] 蓝士斌, 夏文祥. 推进军事物联网体系建设的对策思考[J]. 物联网学报, 2018, 2(2): 54-57.
- [44] 顾芒芒, 吴铭程. 基于 Spring Cloud 实现任务调度微服务化的设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(3): 117-119.
- [45] 刘同勋, 宋广源. 浅谈建设智慧型军营的几点认识[J]. 信息技术与信息化, 2019(4): 128-129.
- [46] SLAWOMIR P. 利用低代码技术进行软件开发[J]. 现代制造, 2020(23): 63.
- (收稿日期: 2022-02-28)
- 作者简介:
- 张志成(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机信息系统、软件工程。
- 张瑞权(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 信息系统管理、数据治理与信息安全。



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