

基于微服务架构的实验室安全态势感知系统设计

黄波¹ 刘普军^{2*}

1. 四川洁明盛南工程项目管理有限公司; 2. 四川公众项目咨询管理有限公司

摘要: 通过近年来高校实验室安全事故案例分析了实验室安全事故深层原因和本质安全管理新需求, 基于 Niagara 生态和微服务架构提出实验室安全态势感知系统设计方案。感知层在实验室部署温感、光感、电感等多种传感器, 结合智能插座、智能门锁等设备对实验室工作环境进行系统性、全面性的在线监测。

关键词: 微服务架构; 边缘计算; NB-IOT; 工业物联网; 安全态势感知; 方案研究

DOI: 10.65976/3106-1540.2026.01.015

Design of Laboratory Security Situation Awareness System Based on Microservice Architecture

Huang Bo¹ Liu Pujun^{2*}

(1. Sichuan Jieming Shengnan Engineering Project Management Co., Ltd; 2. Sichuan Public Project Consulting Management Co., Ltd)

Abstract: Through the analysis of recent cases of laboratory safety accidents in universities, the deep causes of laboratory safety accidents and the new requirements for intrinsic safety management are discussed. Propose a design scheme for laboratory security situational awareness system based on Niagara ecosystem and microservice architecture. The perception layer deploys various sensors such as temperature, light, and inductance in the laboratory, combined with smart sockets, smart door locks, and other devices to systematically and comprehensively monitor the laboratory working environment online.

Keywords: microservice architecture; Edge computing; NB-IOT; Industrial Internet of Things; Security situation awareness; Scheme Study

随着我国高等教育事业的快速发展, 高校实验室面临的压力不断增大, 构建更加科学、完善的实验室安全管理体系势在必行^[1]。近年来发生的多次实验室安全事故造成重大人员、财产损失, 实验室安全管理面临着新的威胁和严峻挑战, 实验室安全稳定地运行已成为高校实验室建设与管理工作的研究课题。

一、项目需求调研

(一) 实验室安全事故原因分析

随着研究生招生人数的增加, 参与科研实验的人数和频次也在不断增多, 这意味着实验室事故隐患也在不断增加, 发生事故的概率也大幅攀升^[2]。根据调查研究, 缺少安全稳定的硬件设备、实验室管理人员安全意识薄弱、不安全的环境条件和操作人员的不安全行为是目前高校实验室安全事故发生的主要原因。大部分实验室的硬件设备功能落后, 缺少全面实时的安全在线监测平台, 对实验室的温湿度、电源线路、通风空调等环境因素, 以及电气设备的运行状态不能

实时控制而错过安全事故应急处置的最佳时机。个别实验室没有全面落实安全管理责任制, 实验人员不遵守安全技术操作规程也是实验室突出的安全隐患。因此, 实验室安全管理的核心思想是消除环境的不安全状态和减少人的不安全行为, 亟需持续完善实验室安全管理制度、落实安全管理责任, 通过定量数据分析人的不安全行为习惯, 从源头上减少不的安全行为发生。

(二) 实验室智能化安全管理需要分析

随着高校高质量发展的深入推进, 高校实验室所肩负的教学科研任务与日俱增, 探索性和未知性科学研究越来越多, 导致高校实验室安全风险升高^[3]。高校实验室为实现“本质安全”, 需要采用物联网技术全方位采集实验室的安全传感数据, 利用边缘计算设备将实验室多源传感器收集的安全传感数据实时传送到云平台进行存储和在线计算, 实现安全传感数据的实时记录。采用先进的算法策略实时控制照明、插座等实验室设备, 通过监测各类传感器数据, 将危险

作者简介: 黄波 (1977—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为信息通信建设及网络信息安全。

通讯作者: 刘普军 (1982—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为通信建设及信息安全。

源报警信息通过短信等方式实时通知实验室管理员。根据采集的各类传感器数据综合分析实验室的不安全因素,发现、识别和预测人的不安全行为。需要在应用层为管理员开发 Web 端管理平台,使管理员可以对所有受控的设备进行操作,并查看设备的多维度数据,给实验室设备管理提供直观的参考;需求为普通用户开发小程序,方便用户执行打开门锁、关闭插座等控制特定设备的状态,查看设备的运行信息。边缘侧网关需要在离线状态实现本地化实时数据采集存储和预定义策略控制,数据恢复联网后可自动上传至云端以备日后查询与分析。

二、系统功能设计

本研究基于微服务架构提出的实验室安全态势感知系统设计方案。该系统采用华为物联网 OceanConnect 平台实现海量智能终端连接,为应用开发提供数据保障,通过插座、门锁和相关智能传感器对实验室数据进行多方位采集和实时监控。智能安全插座协议设计 5000 端口用于 Server Web 的 PythonFlask,对外提供 Web 服务;9999 端口负责下行的 Socket 链接设备,接收来自 Server Web 的 Redis 数据操作。插座模块通过定时开关满足特殊工作时间的需求;为工作人员离开实验室忘关化学加热装置电器等特殊需求提供了插座状态在线查看及远程断电功能,能大大降低实验室电器设备的用电风险。门锁的硬件设施包括 STM32 低功耗芯片和 NB-IoT 模块等,STM32 芯片实现自动控制,NB-IoT 模块实现无线通信功能。软件实现远程开锁、用电模式和 RTC 设置等功能。智能门锁与 OceanConnect 平台之间的数据传输采用 CoAP 协议。远程开锁是门锁模块基本功能,用电模式和开锁时间有关,开锁时间越短,NB-IoT 的寻呼次数就越多,能耗就越高。设置 RTC 与外部时间同步,方便用户自由设置用电模式。

本设计采用具有优秀长期稳定性和抗污染能力的 EE150 系列温湿度变送器,工作温度为 $-5\sim 55^{\circ}\text{C}$,工作湿度在 $10\%\sim 90\%\text{RH}$,采用 RS485 通信接口连接到 JACE 8000。Air Quality 系列 PM 2.5 传感器具有 RS485 通信接口,测量范围为 $0\sim 500\mu\text{g}/\text{m}^3$,采用激光检测原理持续监测室内 PM2.5 浓度。光照传感器采用网络型、恒照度 MP-PENET 光感探测器,照度值探测范围为 $0\sim 65\ 0001\text{x}$,利用 RS485 通信接口与 JACE 8000 相连,用于在线实时监测实验室的光照强度。智能电表采用现代微处理器和数字信号处理技术设计生产的 EV/DV 300 系列三相电力仪表,能在线测量电流、电压、频率、有功功率等多种电力参数;平台整合分散在管辖范围内不同区域各类网络安全数据,经态势

感知算法和大数据分析生成可视化的监测指标,展现在大屏上。多种 IO 接口满足用户对于数字和模拟量输入/输出扩展需求,采用 RS485 通信接口连接到 JACE 8000 控制引擎,用于监测实验室的能量消耗。

三、项目实施方案设计

本研究项目实施方案采用端边云一体化微服务设计架构,如图 2 所示。微服务架构模式的核心是将复杂应用划分成细粒度、轻量化的自治服务,并围绕微服务开展服务的开发和治理。微服务架构将单一应用程序划分成一组小的服务,服务之间相互协调、相互配合,为用户提供最终价值。每个服务都围绕着具体业务进行构建,能够被独立地部署到生产环境中,避免了统一、集中式的服务治理机制。对于具体的服务根据业务上下文选择合适的语言、工具进行构建。每个服务运行在独立的进程中,服务与服务之间采用轻量级的通信机制互相沟通。

(一) 硬件设计

本方案设备边缘侧硬件主要包括感知层与传输层设备。感知层由嵌入智能硬件中的传感器芯片或各类智能传感器组成。实验室涉及温湿度传感器、PM 2.5 传感器、总电表传感器、光照传感器等传感器,以及门锁继电器、插座继电器等执行器。定制化智能硬件选用华为 LiteOS 管理微型控制器的外围设备,通过现代数字信号处理将神经网络技术前移到微型控制器实现传感器的智能感知。实验室数据汇聚点的边缘计算设备需满足高可靠性要求的业务场景,本项目采用商业边缘终端 Tridium 的 JACE8000 控制引擎。JACE8000 是 Java 应用控制引擎及功能强大的嵌入式服务器,将传感器和执行器等不同协议的现场设备连接到局域网或广域网,实现报警分析、设备控制、能源管理与 Web 页面管理等功能。JACE8000 将 TCP/IP 技术与独特的微服务架构结合起来,在进行关键控制策略时不必依赖中央服务器提供的信息,从而在每个网络控制器中实现本地实时控制。项目在成本敏感的情况下采用开源边缘设备树莓派。树莓派是开源社区为学习计算机编程教育而设计的只有信用卡大小的微型电脑。基于 Linux 系统的树莓派在工业界和教有界有非常大的用户基础。树莓派本身可以通过硬件转接板与各类传感器通达和 JACE8000 类似的功能。网络安全态势评估能将可能出现的风险告知系统。校园网仍可能在网络安全态势感知技术提供保护的情况下被侵入。边缘计算设备在硬件上提供数字量或模拟量的输入和输出接口以及 Modbus on RS485、TCP 及 BACnet 等工业总线技术。NB-IoT 技术是 OT 领域的新兴技术,支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连

接,具有广覆盖、海量连接、低功耗、低成本等优点, Wi-Fi 是手机和 PC 电脑在互联网场景中最常用数据接入方式,本项目采用 NB-IoT 和 Wi-Fi 这两种低功耗无线接入技术实现一跳连接、数据上云。

(二) 软件设计

定制化智能传感器设备采用 Huawei LiteOS 操作系统, LiteOS 是华为公司面向万物感知、互联、智能的物联网领域开发的基于实时内核的轻量级智能终端操作系统。LiteOS 现有基础内核支持任务管理、内存管理、时间管理、通信机制等操作系统基础组件,支持低功耗场景、tickless 机制及定时器对齐。集成 LWM2M、CoAP、mbedTLS、LWIP 全套 IOT 互连协议栈,在 LWM2M 基础上提供 AgentTiny 模块和端云协同能力。

边缘计算是工业互联网平台的重要组成部分,已广泛应用于物联网。边缘计算设备 JACE8000 的软件技术采用 Niagara 开放式物联网应用平台。另 Niagara 将各种系统和设备集成到一个通用的平台上构建设备与企业解决方案。站点 (Station) 是 Niagara 运行在 JACE8000 和上位机 (Supervisor) 上的实例,一个 Supervisor 工作站可以和多个 Station 通过 Fox 通信协议进行点对点通信实现 Niagara 的分布式数据采集和控制。Daemon 是引导 Station 和管理运行平台配置的本地守护进程。工作台 (Workbench) 是承载 Niagara 插件主机的可视化工具。MSA 是一种面向微服务架构的框架。云端后台软件采用基于微服务架构的 Spring Cloud 技术。spring Cloud 根据传感器的多源性和基础设备的多样性把系统业务分成几个微服务,这些微服务注册到服务中心,每个微服务之间都可以通过该服务中心进行互相访问,从而达到各业务之间的解耦和关联。利用 SpringBoot 的开发便利性简化分布式系统的开发,实现服务发现、负载均衡、服务路由等功能。

四、实验结果

经测试,本研究设计系统可采用 PC 端和手机小程序来实现系统功能的可视化呈现。实验室管理员在 PC 端通过浏览器可对实验室的环境数据进行查看,对实验室人员及设备进行管理。PC 端首页清晰呈现实验室近期安全状况和设备统计信息;设备管理模块包括插座和门锁管理,管理员通过插座管理页面查看实验室插座的使用信息并进行开关、添加和删除插座等操作,在门锁管理页面可查看实验室所使用的智能门锁的相关信息并对其进行开关控制;数据分析模块分析用户插座的使用情况,呈现插座当前的数据信息,并将插座温度、湿度、光照、电压和功率等历史数据进行可视化,结合算法分析实现危险预警;人员管理

模块实现对实验室内的老师和学生进行添加、删除与用户设备权限管理。

实验室普通用户通过小程序可以对自己所拥有的插座进行管理,针对其拥有权限的门锁进行开锁操作。经测试,小程序首页呈现用户拥有门锁权限的房间号以及该房间内的插座总数,用户在选择某一个房间后可进行具体的操作;房间详情模块是用户对应的某个房间内所有信息的详细展示,包括温度、湿度、PM 2.5 值、电参数、光照等传感器数据,用户可对该房间的门锁进行远程开关操作;插座详情模块对房间内相应编号的插座信息的数据进行展示,包括插座的当前板载温度、持续工作时间、当前功率、当前电压和当前电流等,用户可在该模块对插座进行远程开关控制;用户在个人中心模块可以申请添加某个房间的门锁权限和插座权限,查看所有申请的详细信息和处理结果。

五、结语

微服务基础架构是区别于单体式架构的平台开发方法。本研究基于微服务架构提出实验室端-边-云一体化安全解决方案,实现实验室多种智能传感器数据采集,利用最新的数据融合和信息技术对数据进行分析,使得项目具有高可靠、高可用和高可扩展性的特点。智能传感器关键数据利用霍尼韦尔的 Tridium 技术进行稳定采集,现场设备多协议解析实现物联网终端连接,兼顾成本敏感的实验室应用场景采用树莓派边缘计算网关作为补充,考虑高端的商业应用环境和稳定的产品质量保证,使项目能迅速落地。定制化的传感器、执行器终端采用华为公司 LiteOS 操作系统, NB-IOT/Wi-Fi 等轻量无线接入以及边缘网关 JACE8000 汇聚接入方式以及采用华为 OceanConnect 物联网平台的海量连接为应用的开发提供了有力的数据保障。基于物联网技术实现的实验室智能安全监测系统,考虑了实验室内的多种传感器数据,利用现有的边缘设备和云平台实现了房间级别的实时监测及控制,使用数据分析算法处理多源数据并及时反馈安全态势数据,为实验室的安全运行提供有力保障。

参考文献:

- [1] 张滨. 数字政府安全保障体系研究 [J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(12): 1-7.
- [2] 张源, 尹星. 5G 网络云化技术及应用 [M]. 人民邮电出版社: 2020(09): 170.
- [3] 苗春雨, 王永琦, 卢建云. 云安全管理与应用 [M]. 人民邮电出版社, 2021.