

# 基于物联网的电梯故障监测与预警系统设计

蒋曦阳<sup>1</sup>,黄健鹏<sup>2</sup>,童一飞<sup>2</sup>,孙浩翔<sup>1</sup>

(1. 江苏省特种设备安全监督检验研究院,江苏 南京 210036; 2. 南京理工大学 机械工程学院,江苏 南京 210094)

**摘要:**为保障电梯安全、稳定地运行,设计一款电梯故障检测与预警系统。该系统通过传感器采集电梯轿厢振动加速度信号并使用以太网传输;采用 Flume、Kafka 和 Flink 构建集群的数据流处理引擎,进行数据的聚合与分发,存储至 MySQL 数据库中;基于 IntelliJ IDEA 开发工具,构建系统的可视化界面,实现电梯运行的实时监测、故障预警等功能,为电梯的故障诊断与预防性维护提供依据。

**关键词:**电梯;物联网;故障监测与预警;系统开发

**中图分类号:**TP277 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)06-0213-04

## Design of Elevator Fault Monitoring and Early Warning System Based on Internet of Things

JIANG Xiyang<sup>1</sup>,HUANG Jianpeng<sup>2</sup>,TONG Yifei<sup>2</sup>,SUN Haoxiang<sup>1</sup>

(1. Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China;  
2. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In order to ensure the safe and stable operation of the elevator, designs an elevator fault detection and early warning system, which collects the vibration acceleration signal of elevator car through sensors and transmits it through Ethernet. The Flume, Kafka and Flink are used to build a cluster data flow processing engine to aggregate and distribute data and store it in the MySQL database. Based on the IntelliJ IDEA development tool, the visual interface of the system is constructed to realize real-time monitoring and fault early warning of elevator operation, which provides the basis for fault diagnosis and preventive maintenance of elevator.

**Keywords:** elevator; Internet of things; fault monitoring and early warning; system development

## 0 引言

近几年在“工业 4.0”和“中国制造 2025”的背景下,我国积极推动机械设备智能化改造,其中物联网技术在电梯行业中的应用日益普遍。如今电梯的大部分数据都能利用传感器进行采集,如运行时的状态数据、机械部件的振动信号数据。电梯除了在使用中会产生大量的数据,在后期维保中也会产生海量数据。这些数据一方面呈现种类多样化,另一方面数量也得到了爆发式增长<sup>[1]</sup>。数据体量激增带来的不仅是挑战更是机遇,如何通过电梯海量数据来对其进行运行状态监测与故障预警,已经是业内专家学者与相关管理部门当前亟待解决的问题。

状态监测系统能够获取设备运行的信息,并将该信息用于预测设备状态特性变化以及相应的变化趋势,从而对其受损程度进行评估。通过对设备状态的监测,可以保证设备的正常运行,避免造成经济和人员的损失<sup>[2]</sup>。RAO 等<sup>[3]</sup>指出,日立公司针对本品牌电梯特性研发出可对被监管电梯建立数据档案的电梯安全监管系统,全天候监控存储电梯的基本信息。富士达所开发的电梯远程监控可视系统(ELVIC),通过连接大楼内的广域网络或局域网络,即可在计算机上开启监控可视系统,实时监控电梯运

行情况<sup>[4]</sup>。邹鑫等<sup>[5]</sup>基于 S7-1500PLC 设计了一种电梯运行监控系统,其仿真实验结果表明,该系统能够有效降低电梯运行能耗,提高了查找故障的准确性和维修效率。

本文基于物联网技术,采用分布式集群,开发电梯故障监测与预警系统。

## 1 系统需求分析

### 1.1 功能需求分析

1) 实时数据采集与传输。考虑到预警需要数据具备实时性,电梯运行数据通过物联网感知层与传输层后需要及时存储至服务器集群中。

2) 实时数据分析。系统的业务逻辑模块需尽快获取数据并进行处理与分析,以便进行电梯故障的诊断与预警。

3) 结果可视化展现。集群中任意服务器的浏览器均可实时查看所需数据,便于电梯管理人员掌握电梯运行状态。

### 1.2 性能需求分析

电梯运行数据具有体量大、实时性高等特点,系统需要具备如下 4 个特点。

1) 可用性高。需防止集群中某一服务器故障而影响

基金项目:2020 年度江苏省特种设备安全监督检验研究院科技项目(KJ(Y)2020006)

第一作者简介:蒋曦阳(1989—),男,江苏南京人,工程师,检验师,本科,研究方向为机电类特种设备检验检测和技术研究,1063939337@qq.com。

系统对外提供故障预警与监测等相关服务。

2)精确性高。因电梯运行数据体量较大,在处理与分析时需防止出现数据未被消费或被多次消费等问题。

3)效率高。为防止数据大量堆积而造成系统崩溃,系统需具备高效的数据处理能力,且各模块还需具备较大吞吐量。

4)可拓展性高。系统的计算框架需具备高可拓展性,以便增设新的业务逻辑。

## 2 系统设计

### 2.1 系统总体架构设计

根据需求并基于模块化思想,将系统分为以下4个模块:数据采集传输模块、数据分发模块、数据与业务逻辑处理模块以及结果可视化模块,如图1所示。限于篇幅,本文将介绍系统中的数据采集传输模块、数据分发模块以及结果可视化模块。

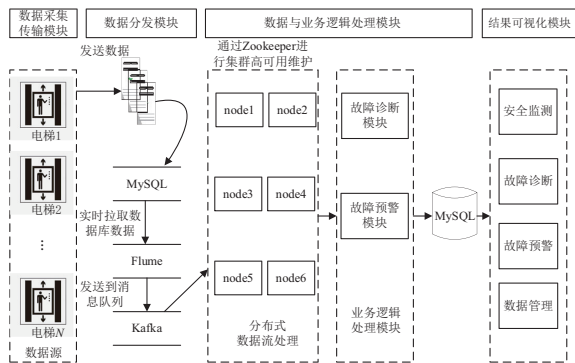


图1 系统总体架构

根据系统的整体架构设计,基于数据流进行的电梯监测和故障预警主要的整体工作流程如下:

- 1)系统感知层通过传感器设备采集电梯运行数据;
- 2)通过传输层,将数据传输至本地服务器集群并存储在数据库中;
- 3)业务逻辑处理模块获取相应数据并进行分析与逻辑判断,以实现电梯故障的诊断与预警;
- 4)将结果存入数据库中,以便结果可视化模块进行展示。

### 2.2 数据采集与传输模块设计

1)传输技术选择。电梯运行信号采集具有采样频率高、数据量大、采集实时性较高等特点,而以太网以有线的方式部署,网络接入简便,部署费用较低且其传输速度快、可处理的信息体量庞大,与电梯数据采集实时性高、数据量大等特点相匹配。因此本文将采用以太网的方式进行数据传输。

2)整体方案设计。系统通过传感器采集电梯运行状态信号与x、y、z轴3个方向的振动信号数据。如通过光感传感器获取是否平层到站的数据、通过轿门上的光幕传感器获取轿厢门厅是否卡人的数据、通过振动加速度传感器获取轿厢振动情况的数据。获取的原始数据通过换算提取后存入实时数据库,等待分布式处理集群的后续故障

诊断、故障预警模块调用,以进行电梯运行安全监测与轿厢振动状态的实时监控与预警。信号特征值在经过处理后,将存入历史数据库以供后续模块的分析利用。

3)采集系统设计。系统采集模块的硬件部分主要包括传感器、CP2104模块(可以将TTL串口转USB接口)、电梯控制板、有线以太网传输模块4个部分。

基于以太网的数据采集包括了多台分布式服务器终端与下位机。服务器终端用来处理以太网传输来的数据信号,下位机负责采集、上位机负责数据处理与存储。上位机使用TCP/IP协议来完成与下位机之间的数据传输。传感器采集到的电梯运行数据的数字信号通过CP2104模块与电梯控制板模块进行交互,将数字信号传递到电梯控制板模块。在电梯控制模块上通过网线连接路由器,设定相应的IP地址与服务器集群进行数据传输。

4)采集数据内容。本系统主要采集的数据是电梯运行状态数据与轿厢振动加速度数据。本系统选择的振动加速度传感器型号为EVA-625。因EVA-625的尺寸较小,安装便利,可同时测量x、y、z3个方向的振动加速度信号。

5)传输格式设计。系统通过传感器所设定的数据格式,将数据直接传输至本地服务器集群中,其格式主要由5个部分组成:起始码、地址码、数据流、结束码、校验码。

### 2.3 数据分发模块设计

实时的电梯流数据具有如下特点:数据获取速度快、种类多、体量大。在处理这些数据时,首先需要将原始数据中的无效数据段进行剔除,随后将数据分发至分布式集群中进行处理。为了使得数据分发模块具备较大的吞吐量、可分布式扩展等特点,本文选用Flink1.8、Kafka2.11、Flume1.90。构建集群的数据流处理引擎。

电梯运行信号数据在被传感器采集后,首先传输并存储至本地数据库中,随后Flume会实时监听并拉取本地数据库的日志文件,接着Kafka接收并存储数据流日志文件,最后通过Flink集群对数据流进行处理与分析,图2描述了整个流程结构。

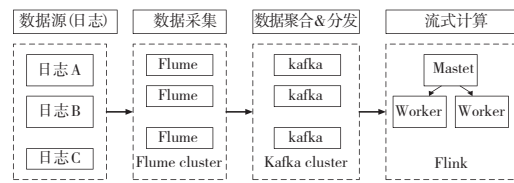


图2 数据分发整合流程结构图

传感器采集的电梯运行数据通过网络传输到数据中心的服务器上,服务器将数据发送到Kafka消息队列中,随后Flink集群会获取数据并进行分析。在Kafka集群中,电梯运行数据依照数据来源和产生时间在相应的Topic队列上进行分区储存。Flink通过addsource操作将Flink集群与Kafka连接到一起,此种方式不再需要专门Receiver开启专门的线程来循环读取Kafka消息队列中的数据,这种方式增大了计算时的并行度,提高了效率。为避免数据丢失,在采取addsource方式时,只要在Kafka上对数据进行复制,就可以根据副本来进行数据重新读取。同时,它保证了数据只被消费一次,也避免了相同数据重

复消费的问题。

### 2.4 结果可视化模块设计

1) 架构设计。相比 C/S 架构, B/S 架构具有良好的系统性扩展性, 可随用户需求增加新的功能<sup>[6]</sup>。在实际生产中, 由于 B/S 结构的 Web 技术逐渐发展完善, 在浏览器上进行开发的客户端数量也逐渐增多<sup>[7]</sup>。本系统在后端业务处理模块中提供相关数据接口, 将前端与后端解耦, 降低了对前端功能依赖度, 便于后期的复用与维护。前端通过 HTTP 发送请求至 URL 当中以获取后端资源, 后端将前端请求的数据以 JSON 格式发回, 前端再将这些数据解析成 JavaScript 对象, 再考虑到与用户交互的便捷性与美观性对页面进行渲染和展示。图 3 展示了基于物联网的电梯典型故障监测与预警系统前后端分离总体架构。

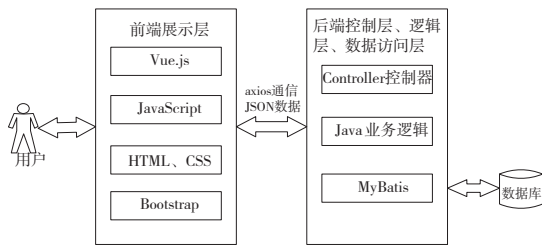


图 3 前后端总体架构图

2) 可视化模块功能设计。基于模块化思想, 将系统分为五大功能模块, 分别是电梯地理位置可视化模块、电梯数据管理模块、相关单位管理模块、电梯控制系统故障监测模块与电梯轿厢系统故障预警模块, 系统具体功能如图 4 所示。

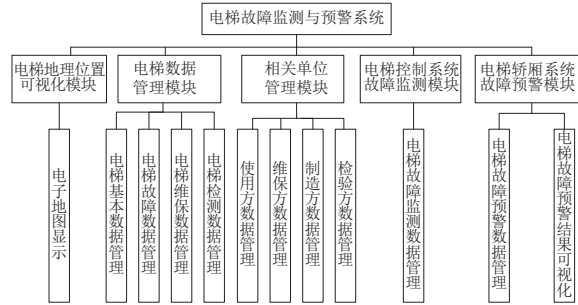


图 4 数据采集硬件部分结构框架

3) 数据库设计。本系统通过 MySQL 关系型数据库对电梯典型故障监测与诊断信息、电梯故障预警信息、电梯相关单位信息等进行存储, 并根据分析建立数据库表中与表之间的关系建立系统的 E-R 模型。通过数据库对系统数据进行存储, 一是方便了系统对数据的管理, 二是满足了数据的可追溯性以及查询分析的高效性。本系统中的数据库 E-R 模型如图 5 所示。

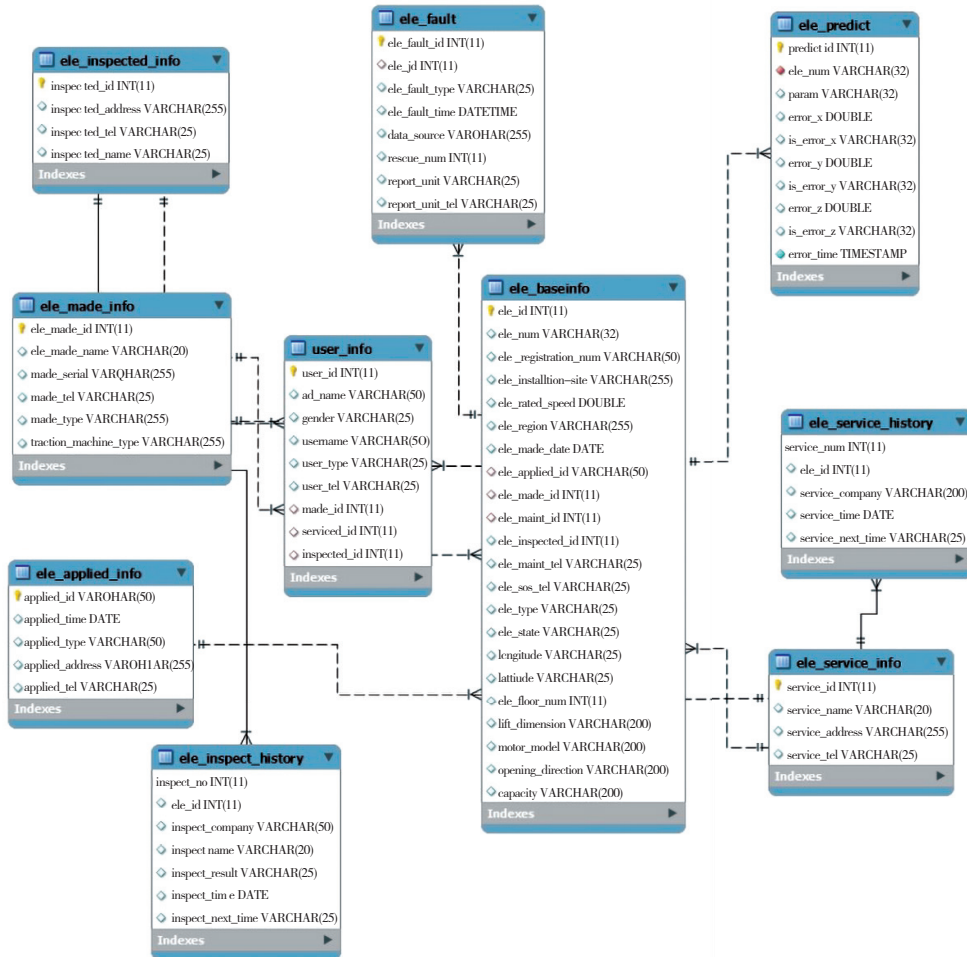


图 5 数据库 E-R 图

在电梯故障诊断与预警系统的设计中,物联网感知层与传输层处理的数据具有体量大、实时性高的相关特点,所以为了方便后期对历史数据进行追溯查询,需要将采集到的实时数据存入数据库中进行定期的维护管理。同时,为了提高数据库的读写,数据库对电梯运行数据进行分表存储。

### 3 系统实现

#### 3.1 开发工具

本系统使用 IntelliJ IDEA 2018.1 作为开发工具,选择 MySQL 5.7 作为关系型数据库。

#### 3.2 系统运行效果

限于篇幅,本文简要介绍系统中的部分模块。

1)系统登录界面图。电梯管理人员能够对监测范围内所有电梯的运行状况进行查看。在该页面上,运行正常的电梯使用绿色标签,而出现健康状况问题的电梯使用红色标签,并会在电梯列表置顶。

2)电梯故障预警可视化结果界面。对出现故障的电梯点击其相对应的状态按钮,可以实时查看电梯轿厢健康状况,以此辅助电梯管理人员对轿厢健康情况进行判断。电梯故障预警可视化界面如图 6 所示。

3)电梯地理位置可视化界面。该模块可以将监控范围内的所有电梯地理位置在地图上进行可视化展示,电梯管理人员可以根据地图中的颜色标记快速掌握电梯的情况。如图 7 所示,无故障的电梯使用绿色标记,而出现故障的电梯使用红色标记,以此对电梯管理人员进行提示。

4)电梯故障预警实验结果。模型预警的结果可以从电梯故障预警信息界面查看。系统根据重构误差与预警阈值之间的对比,判断是否可能有故障出现。实验效果如图 8 所示,取得了较好的效果。



图 6 电梯故障预警可视化界面



图 7 电梯地理位置可视化界面

电梯编号	预警信号参数	X轴方向重构误差阈值	是否超出阈值	Y轴方向重构误差阈值	是否超出阈值	Z轴方向重构误差阈值	是否超出阈值	预警时间
30103211002005010002	振动加速度信号	0.0141	否	0.0089	否	0.00168	否	2019-11-25T0 0:00:00.000+0 0:00
31103211002010040001	振动加速度信号	0.0141	否	0.0089	否	0.00168	否	2019-06-21T0 0:00:00.000+0 0:00
30103211002006050003	振动加速度信号	0.0141	否	0.0089	否	0.00168	否	2019-11-25T0 0:00:00.000+0 0:00
30103211002007070017	振动加速度信号	0.0141	否	0.0089	否	0.00168	否	2019-06-21T0 0:00:00.000+0 0:00
31103211022016050002	振动加速度信号	0.0141	否	0.0089	否	0.00168	否	2019-11-25T0 0:00:00.000+0 0:00
30303211002007100001	振动加速度信号	0.0141	否	0.0089	否	0.00168	否	2019-11-25T0 0:00:00.000+0 0:00
30133211002002080028	振动加速度信号	0.0141	是	0.0089	是	0.00168	是	2019-08-07T0 0:00:00.000+0 0:00

图 8 电梯故障预警界面

### 4 结语

本文构建了电梯故障监测与预警系统,该系统能够实现实时对电梯运行数据的采集、分析与结果可视化的功

能。实验结果表明,该系统实现了其预期功能,能够进行电梯故障的诊断、预警以及结果可视化,使电梯管理人员在故障初期进行有效的排查,最终提升电梯的安全水平,具有一定的应用价值。

(下转第 220 页)

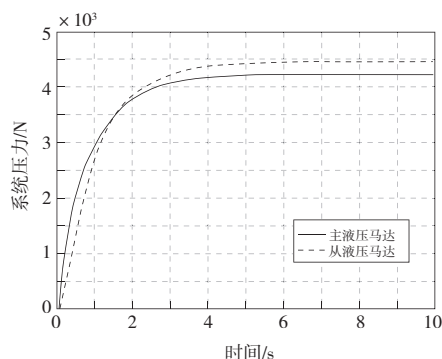


图8 智能补偿系统的特性曲线

1)由图7可知,普通带传输系统中,主液压马达能够快速达到稳定状态,而副液压马达在开始阶段其压力明显低于主液压马达,两者间存在明显的压力偏差,降低了系统的稳定性。

2)由图8可知,智能补偿系统中,主液压马达与副液压马达在开始阶段均能够快速达到稳定状态。两者间无明显压力偏差,保证了系统所需的工作压力。

通过分析证明智能补偿系统起到了压力补偿作用,保持了带传输装置所需压力的稳定供给。

## 6 结语

本文首先分析了带传输装置的结构与工作原理,通过分析及仿真发现负载的连续变化造成了一定的系统压力损失。其次,针对压力损失这一问题,文中以比例换向阀、

传感器为硬件核心设计了一种具有比例反馈环节的智能补偿系统,通过向带传动装置液压系统成比例进行压力输入,进而达到压力补偿的作用。最后,以AMESim为手段搭建了普通带传输系统与智能补偿系统的仿真模型并进行了仿真运算,通过结果的对比分析,表明智能补偿系统起到了补偿作用,保持了带传动系统的稳定性,具有一定的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 郭亚存. 带式输送机分析及其监控系统的设计[J]. 能源与节能,2017(1):140-141,173.
- [2] 杨泽文. 810 皮带输送机控制系统及驱动装置的研究[J]. 煤炭技术,2004,23(12):12-13.
- [3] 朱旗. 基于STM32与LabVIEW平台的车用带轮多参数检测仪的研制[D]. 合肥:合肥工业大学,2017.
- [4] 李瑶瑶. 带式输送机用液体粘性传动装置改造[J]. 起重运输机械,2015(3):86-88.
- [5] 王成毅. DTC100/60/2×200型强力带式输送机的研制[J]. 矿山机械,2010,38(17):83-86.
- [6] 孙慧. 带式输送机动态特性与可控传动装置的研究[D]. 青岛:山东科技大学,2004.
- [7] 董效维. 基于FluidSIM的半自动铣床液压系统的设计及仿真[J]. 内燃机与配件,2021(8):87-89.
- [8] 叶素娣,徐敬华. 基于FLUIDSIM的专用铣床机电液一体化的设计与仿真[J]. 西安文理学院学报(自然科学版),2021,24(2):48-53.
- [9] 倪福银,李云峰,龚焯玮. 基于dsPIC30F2010低功率逆变器的设计[J]. 江苏技术师范学院学报,2013,19(2):45-48,51.

收稿日期:2022-06-14

(上接第216页)

### 参考文献:

- [1] ARMBRUST M, FOX A, GRIFFITH R, et al. A view of cloud computing[J]. Communications of the ACM, 2010, 53(4): 50-58.
- [2] CHENG Y J, YANG D, ZHOU H C. Det-LB: a load balancing approach in 802.11 wireless networks for industrial soft real-time applications[J]. IEEE Access, 2018, 6: 32054-32063.
- [3] RAO R, MAHESH. Analysis of the energy and safety critical traction parameters for elevators [J]. EPE Journal, 2018; 128(4): 169-181.

- [4] HUI S C, LEUNG M K H, WANG F. Elevator: remote intelligent elevator monitoring system [J]. International Journal of Computers and Applications, 2004, 26(2): 1-8.
- [5] 邹鑫,何文雪,牛杰. 基于SIMATIC S7-1500PLC的电梯监控系统设计[J]. 机械制造与自动化,2022,51(2):210-213.
- [6] 吴大刚,肖荣荣. C/S结构与B/S结构的信息系统比较分析[J]. 情报科学,2003,21(3):313-315.
- [7] 王茭. 基于B/S架构的学生信息管理系统的设计与实现[D]. 厦门:厦门大学,2016.

收稿日期:2022-10-13