

# 基于物联网协议的地铁自动扶梯实时监测预警系统研究

杨辉

(武汉铁四院工程咨询有限公司,湖北 武汉 430063)

**摘要:**为解决地铁自动扶梯运行的安全问题,故障发生预警化的目标,本文基于物联网技术对地铁自动扶梯状态监测进行预警研究,提出对地铁自动扶梯中诸如驱动主机的振动或磨损、轴承磨损及扶手带打滑等常发故障,借助互联网技术手段,通过合理地布置传感器获取其反馈数据,将其封装为 MQTT 报文通过物联网协议传送到平台,从而建立地铁自动扶梯实时监测预警系统,实现对自动扶梯运行状态进行远程监测,并运用智能化诊断对自动扶梯使用过程中潜在的安全隐患进行预警,提升地铁自动扶梯运维工作管理能力和效率,并以期为相关人员或工程提供参考。

**关键词:**MQTT 物联网;实时监测;故障模型;实时预警

**中图分类号:**U231.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2021)19-0234-03

## 0 引言

近些年来城市轨道交通大力发展,装备的自动扶梯数量快速上升,自动扶梯的设备维护工作量也增大了起来。地铁自动扶梯维护最重要的工作是对其自身进行技术维护和保养,及时发现异常或故障,采取适当的维护措施,得以保障其正常运行。自动扶梯的传统维护方法还停留在依靠人的眼观、手摸等感观手段及个人主观经验判断基础之上,有其相关的局限性。自动扶梯的维护方式通常是定期检修和事后维修的混合模式,通常导致停机停运、增加检修费用,提高人力成本,在维修过程中,新老零件之间的磨削或装配关系经常受到破坏,通常是造成二次事故或潜在失效因素。

为改变这些现状,采用先进的传感器技术和物联网技术,将设备的状态信息数字化、可视化、故障监测标准化,改变设备维护过程中的监测人为主观性、故障判断个人经验性的局面,为地铁自动扶梯状态监测预警维护标准化打下基础。

## 1 MQTT 协议简介

消息队列遥测传输协议 MQTT 是一种基于客户机—服务器的消息发布/订阅传输协议。它是基于 TCP/IP 协议上构建形成。它最大的优点是可以提供实时可靠的消息服务,用最少的代码和有限的时间连接远程设备带宽协议可以广泛应用于小型设备、移动设备、物联网等领域。包括某些受限场景中的环境,例如机器对机器(M2M)沟通。

## 2 地体自动扶梯监测预警系统硬件设计思路

### 2.1 地铁自动扶梯常见故障

#### 2.1.1 梯级故障

包括踏板齿折断、支架主轴断裂、支架盖断裂、主轮脱胶。

#### 2.1.2 梯级链条故障

梯级链条是自动扶梯中的核心承力单位,由于长期运行时负载随机分布,各个受力点、接触面磨损也相应较严重,包括润滑系统故障、轴承严重磨损、梯级链条严重伸长、左右梯级链由于伸长量的差异而导致运行速度的差异。

#### 2.1.3 驱动装置故障

包括驱动装置的异常响声、驱动装置的温升过快过高。减速机轴承、蜗杆蜗轮磨损、电动机轴承损坏、电动机烧坏、减速机油量不足,油品错误。

#### 2.1.4 梯路故障

包括梯级位移、梯级在运行时碰擦裙板。

#### 2.1.5 扶手带故障

扶手带为橡胶材质,在季节交替时由于温差原因,导致扶手带紧张度会有较大变化,扶手带变紧会导致自动扶梯运行阻力变大,扶手带变松会导致扶手带打滑,给乘客带来安全隐患;驱动扶手带运行的轴承,链条的磨损也会导致扶手大运行阻力变大或打滑。

#### 2.1.6 传动装置故障

传动齿轮、传动链条轴承异常磨损、润滑不畅、异常响声、异物干涉都会导致传动装置故障。

## 2.2 传感器网络功能设计

根据对地铁自动扶梯运行出现的常见故障进行分析研究后,为了实现对自动扶梯运行状态的监测,对可能出现的故障前兆或长期的状态变化趋势进行监测分析,将地铁自动扶梯设计为六个不同的监测单元,试图为自动扶梯的运行描述为一个较为完整的状态图景,以期对其长期变化趋势提出相对准确的判断:

### 2.2.1 主驱动电机监测单元

(1) 监测对象: 主驱动电机。

(2) 监测参数: 主驱动电机运动状态(振动)、位置状态(位移)、温度状态。

(3) 监测指标: 主驱动电机上部三轴加速度、上部散热器温度、下部三轴加速度、主驱动电机相对桁架位移(三轴)。

### 2.2.2 传动链条监测单元

(1) 监测对象: 传动链条。

(2) 监测参数: 传动链条运行速度。

(3) 监测指标: 传动链条是否在运行。

### 2.2.3 主轴承监测单元

(1) 监测对象: 主轴承。

(2) 监测参数: 主驱动电机运动状态(振动)。

(3) 监测指标: 主驱动电机上部三轴加速度。

### 2.2.4 梯级链条监测单元

(1) 监测对象: 梯级链条。

(2) 监测参数: 梯级链条运行速度。

(3) 监测指标: 梯级链条同步性。

### 2.2.5 扶手带监测单元

(1) 监测对象: 扶手带。

(2) 监测参数: 扶手带运行速度。

(3) 监测指标: 扶手带是否打滑。

### 2.2.6 下舱室轴承监测单元

(1) 监测对象: 下舱室轴承。

(2) 监测参数: 主驱动电机运动状态(振动)。

(3) 监测指标: 主驱动电机上部三轴加速度。

自动扶梯实时监测预警系统  
监测单元分布图

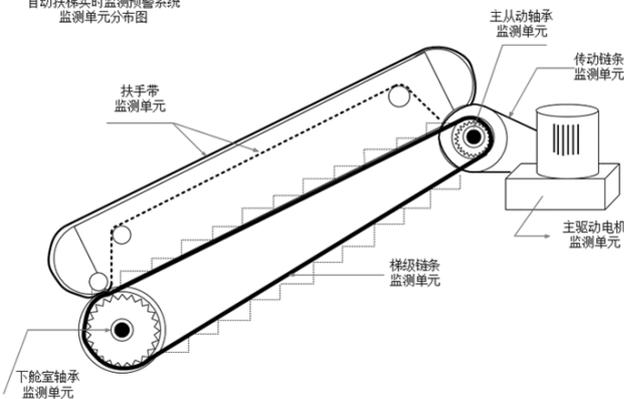


图1 自动扶梯的运行设计

## 2.3 硬件设备端数据采集系统

为实现开发的便捷性和稳定性, 使用意法半导体的 STM32F103ZET6 作为主控 MCU, 传感器将非电量信号转换为电信号, 一般输出标准电压电流信号, STM32 自带 AD 转换通道允许输入电压范围为 0~3.3V, 因此传感器输出信号需经信号调理电路调整到 AD 通道有效采样电压范围。STM32 对数据进行采集、存储, 并负责通过无线模块组件 4GTDU 与服务器建立连接, 并将采集数据通过消息构造造成 MQTT 报文, 上传至物联网平台。

根据监测与数据通道的设计要求, 数据采集频率设定为每 2s 一次, STM32 通过无线发送模块, 每 2s 将采集的数据传输至物联网数据采集平台。

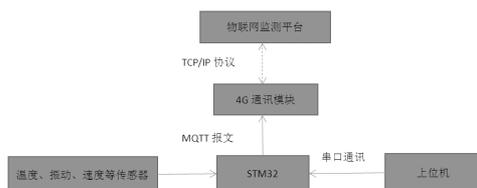


图2 数据采集系统

硬件设备端需要完成各测试传感器数据的读取, MQTT 服务端的连接和数据的上报。因为任务比较简单, 不使用操作系统, 直接使用裸机开发。MQTT 报文需要用 JSON 格式收发, 所以发送数据之前需要自行封装成 JSON 格式。之前分析过 MQTT 协议, 这里为了使用方便, 使用开源的 Paho MQTT 协议栈, 可完成多个平台间的切换。详细步骤为:

(1) 硬件初始化。

(2) 连接 Wi-Fi, 将云服务器与该协议建立连接。

(3) 使用 MQTT 协议发送 CONNECT 报文连接物联网平台。

(4) 大循环中读取各传感器的数据, 并且封装成 JSON 格式使用 MQTT 协议的 PUBLISH 向指定话题发布消息, 将消息发送到物联网服务器。

## 3 地铁自动扶梯实时监测预警系统软件设计思路

### 3.1 软件系统架构

软件结构体系中采用支持 MQTT 协议的客户端从物联网平台接收各种传感器数据报文, 解析处理后存入于数据库。数据库选用广泛使用的 mysql 数据库, 它使用方便且多平台支持。整个系统采用 Java Springboot 开发, 通过 Web 服务器对外提供服务, 用户可以在任何时间和任何地点, 通过电脑或手机远程访问监测中心平台。经过长时间收集的传感器数据进入处理, 采用小波分析及大数据人工智能处理, 形成故障预警预测模型, 利用此模型对实时数据进行分析处理, 对故障预警信息采用手机短信、微信和电脑弹窗信息进行用户通知警示, 提醒用户及时进行维护查修, 保障自动扶梯的正常运行。对设备的老化进行故障预警, 提示用户及时备件维护, 最大限度缩短自动扶梯的停机检修时间, 减少维护工作量。

软件系统模块如图 3 所示。

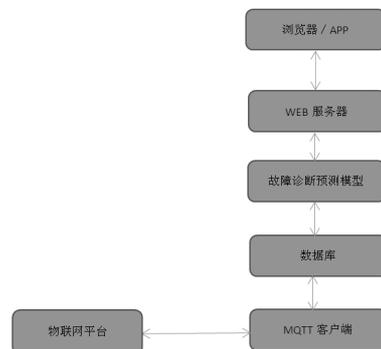


图3 软件系统模块

### 3.2 故障模型数据库

为了更好地记录地铁自动扶梯的实时监测预警信息, 以及追踪预警的处理过程及结果, 实现监测、预警、处理的闭环操作, 本系统设计了故障模型数据库, 系统通过自动化任务对接收到的数据进行实时处理, 根据故障预警设计的模型, 对接收到各个部

位的传感器数据进行分析处理,对超过故障预警阈值的传感器数据写入报警数据库,并通过短信或微信通知相关责任人,同时系统也在监测页面弹窗报警。

故障数据设计示例如表 1 所示。

表 1 故障数据设计示例

代码	名称	数据类型(MYSQL)	主键	备注
ID	ID	BIGINT(19)	√	
DEVID	扶梯编号	VARCHAR(4)		
CREATED	报警时间	DATETIME		
WARNTYPE	报警类型	VARCHAR(20)		
WARNSENSOR	报警部位	VARCHAR(20)		
HANDLETIME	处理时间	DATETIME		
MASTER	负责人	VARCHAR(20)		
PROCESSDES	处理描述	VARCHAR(80)		
PROCESSFLAG	处理状态	BIT(1)		
WARNDISC	报警描述	VARCHAR(120)		

通过传感器采集地铁自动扶梯的实时运行参数,数据经物联网平台汇集监测平台,实现了地铁自动扶梯运行状态的数字化、可视化,赋予传统自动扶梯远程状态监测功能,通过监测中心平台,可以实现整个城市轨道交通自动扶梯的集约化监测维护工作。故障模型的建立,为设备故障预警和主动维修提供了技术支撑,可以改变电梯定期维保模式为按需维保模式,减少维保工作量,为设备维护的现代化做出了有益的探索。

#### 4 神经网络应用于地铁自动扶梯实时监测预警系统

人工神经网络是模拟人思维的其中一种模式,属于一个非线性的动力学系统,它的特点是在信息的分布式存储和并行协同过程中处理。其中 BP 网络是用误差反向传播算法训练的多层前馈神经网络,是人工神经网络中的一种有监督性质的学习算法。在研究网络模型和算法的基础上,利用人工神经网络构建了一个实际的应用系统,完成信号处理或模式识别功能,构建专家系统。它在智能控制、故障诊断、机器人等领域有着广阔的应用前景。

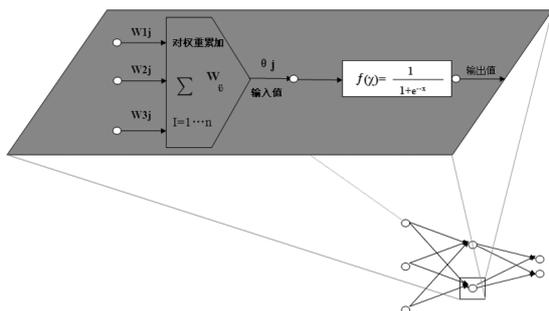


图 4 神经网络算法

选用 Keras+TensorFlow 实现轻量级和快速开发,根据采集到的信息随机选取 70%数据组作为输入样本,30%剩余组作为验证样本。对输出状态进行编码输出,构建 BP 神经网络。进行迭代训练,经过多次迭代之后达到期望的误差值。

使用 AI 算法进行故障预测关键步骤如下:

(1)边缘层数据采集与预处理:利用加速度传感器采集地铁自动扶梯轴承的振动信息,由于现场干扰信号会对结果的准确度带来很大影响,需要选用专业级别高灵敏度的采集器。

(2)边缘层特征值提取:原始数据需要在边缘设备进行特征值提取,以加速模型识别。提取滚动轴承的四个特征参数,包括均方根值,峭度,谐波指标和方差参数。①均方根值:振动有效值,衡量振动幅度的大小;②峭度:振动信号分布特性,当 K=3 定义为分布曲线具有正常峰度(即零峭度);当 K>3 时,分布曲线具有正峭度;③谐波:对周期性非正弦交流量进行傅里叶级数分解所得到的大于基波频率整数倍的高次分量,通常称为高次谐波;④方差:用来度量随机变量和其数学期望(即均值)之间的偏离程度

(3)设备云机器学习框架:选用 Keras+TensorFlow, Keras 可以在 Theano、TensorFlow 和 CNTK 等主流神经网络框架作为后端,实现轻量级和快速开发,几行 Keras 代码就能比原生的 TensorFlow 代码实现更多的功能。根据采集到的信息,选取 7000 组作为输入样本,3000 组作为验证样本。对输出状态进行编码输出,构建 BP 神经网络,进行迭代训练。

(4)计算迭代:持续的训练和迭代会提高它的精确度,经过多次迭代之后达到了期望的误差值。由于神经网络需要消耗较多的计算资源,需要使用 CUDA 的并行处理能力。

轴承在长期工作过程中,主要损坏形式包括:磨损失效、疲劳失效、腐蚀失效、断裂失效、压痕失效、胶合失效等。在轴承数据成功实现物联网平台后,采用人工智能算法中的 BP 网络对驱动单元的轴承进行诊断,当轴承发生故障时,能给出预警信号,提示轴承维修或更换,缩短扶梯的停运和维护时间。

#### 5 结语

本文研究涵盖了地铁自动扶梯的实时监测、数据预警、数据处理,统计分析及机器学习等地铁自动扶梯运维全流程处理,是现代地铁自动扶梯运维系统的信息化帮手,用现代化信息手段为传统地铁自动扶梯的运维赋能,使地铁自动扶梯运维从等保运维向按需运维和前置运维进行,是地铁运维工程的创新尝试。

#### 参考文献

- [1] 苏晓峰,丁舟波,王双.基于物联网数据平台的电梯监测系统研究[J].中国电梯,2019,30(21):45-51.
- [2] 迈克尔·尼尔森.深入浅出神经网络与深度学习[M].朱小虎,译.北京:人民邮电出版社,2020.
- [3] 付强.物联网系统开发:从 0 到 1 构建 LOT 平台[M].北京:机械工业出版社,2020.
- [4] 中国电梯协会.地铁用自动扶梯技术规范:T/CEA 301—2019[S].2019.
- [5] 鲁娟娟,白延敏.自动扶梯安监系统设计与实践[J].工业控制计算机,2017,30(3):87-88.
- [6] Fábio M. Soares, Alan M.F. Souza.神经网络算法与实现:基于 Java 语言[M].北京:人民邮电出版社,2020.

课题项目:武汉铁四院工程咨询有限公司科研课题“基于物联网协议的地铁自动扶梯实时监测预警系统研究”(QESP05R02)。

收稿日期:2021-04-13

作者简介:杨辉(1963—),男,汉族,江西丰城人,学士学位,正高级工程师,研究方向为铁路机务、车辆工艺设计。