

# 导架爬升式工作平台远程监控系统研究与设计

王文杰<sup>1</sup> 贾文华<sup>2</sup> 冯 浩<sup>1</sup> 殷晨波<sup>1</sup>

(南京工业大学车辆与工程机械研究所 南京 211800)<sup>1</sup> (南京工程学院 南京 211800)<sup>2</sup>

**摘 要** 为了实现导架爬升式工作平台的信息化升级和提高安全性,使用了传感网络技术,以 Windows CE 和 PLC 为处理单元,以 GPRS DTU 为通信模块,使用 TCP 协议连接云服务器,利用 PHP 和 HTML5 技术搭建远程导架爬升式工作平台以实现实时监控网络平台。该系统能够实现超高报警、超重报警、触底报警和倾斜报警等功能,利用优化的限幅平均滤波算法解决绝对值编码器受到脉冲干扰引起的误报警问题。云平台网页消息基于 HTML5 的 Web Socket 技术进行实时推送,实现了在线实时监控、历史数据查询和报警功能。测试结果表明,该系统能够长时间运行,实时性好,性价比高,能满足多种场合的实时监控需求。

**关键词** 导架爬升式工作平台,GPRS,Web Socket,监控平台

**中图分类号** TN802,TP391.9 **文献标识码** A

## Research and Implementation of Remote Monitoring System for Mast-climbing Working Platform

WANG Wen-jie<sup>1</sup> JIA Wen-hua<sup>2</sup> FEN Hao<sup>1</sup> YIN Chen-bo<sup>1</sup>

(Institute of Automobile and Construction Machinery,Nanjing Tech University,Nanjing 211800,China)<sup>1</sup>

(Nanjing Institute of Technology,Nanjing 211800,China)<sup>2</sup>

**Abstract** In order to realize the information upgrade of mast-climbing working platform and ensure safety,a remote real-time monitoring network platform was designed based on PHP and HTML5. Windows CE and PLC were used as the processing units,a GPRS DTU was used as the communication module,and the TCP protocol was used to connect with the server. These were all based on sensor network technology. Ultra high alarm,overweight alarm,bottomed alarm and tilt alarm could be realized in this system. The optimized limiting average filtering algorithm was used to solve the false alarm problem which caused by the pulse interference in absolute encoder. The web messages could be transferred in real-time based on HTML5 Web Socket technology,thus online real-time monitoring,historical data query and alarm were realized. The test results showed that the system was able to run in a long time,and had a good real-time and high cost performances,which could meet the needs of real-time monitoring in a variety of occasions.

**Keywords** Mast-climbing working platform,GPRS,Web Socket,Monitoring platform

## 1 引言

工程机械中开发双导架爬升式工作平台(以下简称电动平台)是为了适应我国建筑业的高速发展需求,特别是对于高层建筑外墙的装修、清洗和维护等<sup>[1]</sup>,其具有安装快速且方便和安全性高等优点。为了保障工人的安全,提高对电动平台的安全监控能力,实现工作状态的实时监控和记录,本文利用基于物联网的无线传感网技术<sup>[2]</sup>设计了一套远程电动平台监控系统。

该系统终端处理单元基于开放的 32 位嵌入式系统 Windows CE 的设计<sup>[3]</sup>,结合 PLC 共同采集信号。远程通信模块为 GPRS<sup>[4]</sup>,使用 3G/4G 网络实现终端与互联网之间的通信。传感网云平台采用 B/S 结构设计,开发框架为 ThinkPHP 和 Workerman,数据存储于 MySQL 数据库,远程通信协议为 TCP,服务器与浏览器通信协议采用基于

HTML5 的 Web Socket<sup>[5-7]</sup>。

## 2 系统框架

本文设计的无线传感网络电动平台实时监控系统的结构如图 1 所示。在无线传感网中,两个绝对值编码器分别采集电动平台两侧电机的上升高度数据,数据直接经串口传至本地监控系统中。4 个销轴式称重传感器安装在电动平台的 4 个节点处,数据由 PLC 采集后上传至本地监控系统。电动平台的上升下降信号传递给本地监控系统,用于实现自平衡功能。该系统主要实现的报警功能有超高、触底、超重和倾斜报警。

将采集到的数据转换为字符型数据,经 JSON 序列化并使用霍夫曼算法压缩数据后透传至 GPRS 模块,通过 3G/4G 网络由互联网传输到远程云平台。云平台接收数据后进行数据解析,解析后的数据主要用于:1)用于判断是否达

王文杰(1992—),男,硕士生,主要研究方向为机械设计和物联网;贾文华(1980—),女,博士,副教授,主要研究方向为工程机械流体传动与控制;冯浩(1993—),男,硕士生,主要研究方向为机电工程;殷晨波(1963—),男,博士,教授,主要研究方向为工程机械与机械自动化,E-mail: yinchenbo@njtech.edu.cn(通信作者)。

到触发报警值,如果超出范围则触发报警功能,页面提示并发送报警短信;2)存储到 MySQL 数据库,便于历史查询;3)通过 Web Socket 协议推送到浏览器页面,实时显示高度、重量变化。

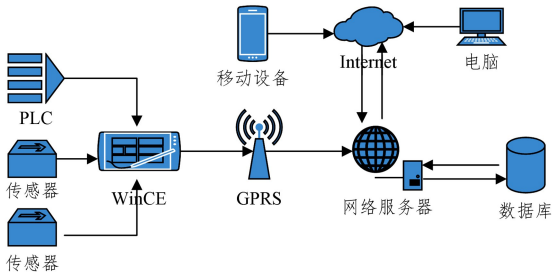


图1 双导架爬升式工作平台监控系统结构图

### 3 系统设计

#### 3.1 硬件系统设计

本硬件系统主要包括以下模块:电源管理模块、触摸屏模块、PLC 模块、绝对值编码器、销轴式称重传感器、电动平台电控系统、报警灯模块和 GPRS 模块。硬件系统框图如图 2 所示。

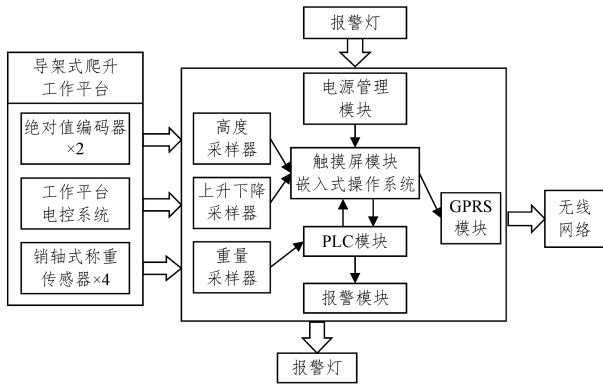


图2 双导架爬升式工作平台硬件系统结构框图

触摸屏模块中的系统为 32 位嵌入式操作系统 Windows CE<sup>[8]</sup>,它是一体化的条码扫描装置与数据终端,具备实时采集、自动处理、自动存储、即时反馈、即时显示、自动传输等功能,系统允许许多进程处理,使用 VC++ 5.0 开发系统嵌入式工具包。

PLC 模块采用 NA200PLC CPU201-1402 模块,该模块采用 RS232/RS485 接口双通信口,并带有两个模拟电位器,具有高速计数、高速输出和掉电数据保存等特点。

高度采样器选用 YLM58 多圈绝对值编码器,它不存在信号干扰和零点飘移,单圈最大分辨率为 4096(0.087 度),1 位校验位,多圈可记忆 4096 圈,全程记忆的是绝对位置信息,停电不会影响电动平台高度位置的保存。当编码器安装完毕后,电动平台升到实际工作高度起始点进行初始化操作,然后将编码器的 MidP 线与电源正短触,当前信号输出即为编码器总位数输出值的中值,MidP 线的值回到 0。将电动平台实际高度进行如下处理:

$$H = (C - MidP) \times Dir + H_0$$

其中,  $H$  为电动平台实际高度;  $C$  为编码器输出的当前测量值;  $MidP$  为中间位置值,大小为  $2n - 1$ ,13 位时为 4096,16 位时为 32768;  $Dir$  为编码器旋转方向系数,与计算方向相同

时为 1,与计算方向相反时为 -1;  $H_0$  为电动平台起始点高度。

采用销轴式称重传感器采集电动平台 4 个位置的重量,将其分别安装在电动平台的 4 个节点上。

GPRS 模块选用 USR-G761W DTU 透传模块,在 WCDMA/GSM 通信网络下工作,能够实现 RS232/RS485 与 3G/4G 网络双向透明传输。网络透传模式下,WCDMA DTU 761W 作为 TCP CLIENT,TCP 与云平台成功建立连接后,自动发送预定的注册包,用于云平台 TCP Server 服务器对该条 TCP 的标识,然后本地监控系统串口通过 WCDMA DTU 开始发送工作平台的监测数据。

电动平台正常工作时把电控系统中的上升下降信号传递给本地监控系统,用于实现自平衡功能。

#### 3.2 云平台系统

云平台系统框图如图 3 所示。通信处理框架为 workerman,它是基于 PHP 的多进程 socket 服务器通信框架,支持多个端口监听,基于 libevent 时间轮询库,支持高并发。GPRS 模块和客户端浏览器与通信服务端要保持长连接,并保持实时双向通讯,HTTP 协议的 POST/GET 请求无法满足需求<sup>[9]</sup>。因此,GPRS 模块与服务器通信协议采用 TCP,客户端浏览器与服务器通信协议为基于 HTML5 的 Web Socket 协议。Web 框架基于 ThinkPHP,主要实现数据库的读写、数据历史查询、报警触发器的判断等功能。具体实时监控实现细节为:GPRS 模块与云服务器建立 TCP 通信,发送验证字符,服务器通过验证后将 GPRS 模块的 IP 等信息写入服务器内存中。客户端浏览器打开设备信息页面后与云服务器建立 Web Socket 通信,发送验证字符,服务器通过验证后将用户信息写入数据库并与 GPRS 模块信息建立映射连接关系。为了实现设备分享功能,GPRS 模块信息与用户信息的关系为一对多映射关系。

Web 框架调用 wokerman 的 API,不断存储 GPRS 模块传过来的数据,并实时判断数据是否达到触发值,若达到触发值,则触发报警功能,Web 将调用短信报警功能向用户发送报警信息,同时页面跳出提示信息。

用户通过浏览器查看历史数据时,Web 服务器对 MySQL 数据库进行历史数据读取,然后通过前端浏览器以折线图的形式显示出来。

设备分享功能主要是为了能够在账户不泄露的情况下把同一台设备的监控信息分享给其他用户查看,比如安全监管部门、电动平台研发人员等。

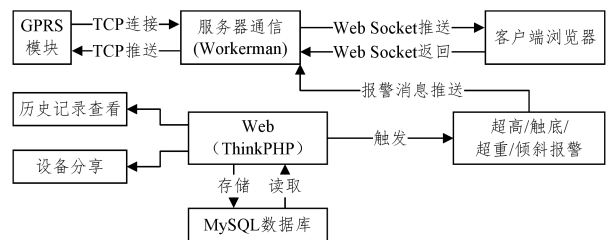


图3 云平台系统框图

### 4 算法设计

#### 4.1 抗干扰优化

由于电动平台的工作环境通常比较复杂,存在不稳定因

素,会导致传感器受到外源性扰动和内源性扰动。外源性扰动是指在可观察的变化范围内,电动平台停在某处且未上升或下降时,由于电动平台受力不均或者承载突然发生变化,且编码器的灵敏度很高,从而造成读值突然变化。内源性扰动一般是指电动平台供电电压不稳定造成的读值跳动,这种跳动是有害的,它会干扰电动平台测量高度的正确读值。不管是外缘扰动还是内源扰动,都会造成监控系统误报警,影响系统的正常工作。为了解决上述问题,运用滤波算法优化绝对值编码器的数据<sup>[10-12]</sup>。

#### 4.1.1 中位值平均滤波法

电动平台受到的干扰一般为偶然出现的脉冲性干扰,容易造成监控系统误报警,影响正常工作。为了消除其所引起的采样值偏差,可以采用中位值平均滤波法,又称防脉冲干扰平均滤波法,即对编码器在一定时间内连续采样  $N$  个数据,去掉一个最大值和一个最小值,然后计算  $N-2$  个数据的算术平均值。计算过程如式(1)~式(3)所示:

$$S=C(1)+C(2)+\dots+C(N) \quad (1)$$

$$S=S-C_{\min}-C_{\max} \quad (2)$$

$$A=S/(N-2) \quad (3)$$

其中, $S$ 为一定时间间隔内的采样值累加器, $C$ 为采样值, $N$ 值一般为3~14。

中位值平均滤波法的平滑度高,适于高频震荡的系统。但是计算速度较慢,比较浪费RAM。

#### 4.1.2 优化算法

中位值平均滤波法的时间复杂度为  $O(n)$ ,为了改进运算量和内存占用,但同时继承平均滤波法  $N$  值较大时的平滑度的特点,对中位值滤波算法进行如下变换。

步骤1 确定两次采样允许的最大偏差值  $D$ ,每次采样时进行如下判断:

$$\begin{cases} y(A)=C(k), & -D < C(k)-C(k-1) < D \\ y(A)=A, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, $C(k)$ 为第  $k$  步采样值, $y(k)$ 为第  $k$  步滤波值。

步骤2 当采样值偏差在限幅范围内时直接使用采样值,当采样值偏差在限幅范围外时执行步骤3。

步骤3 采用优化后的平均滤波算法:

$$S=C(k-1)*N \quad (4)$$

$$S=S-C(k)+C \quad (5)$$

$$A=S/N \quad (6)$$

其中, $S$ 为一定时间间隔内的采样值累加器, $C$ 为采样值, $C(k-1)$ 为采样值偏差在限幅范围外时第  $k-1$  步的采样值, $A$ 为平均值, $N$ 为采样个数。

优化后的算法时间复杂度为  $O(1)$ ,明显优于中位值平均滤波法,并且能够很好地解决高度采样器的抖动问题。

#### 4.2 自平衡的实现

电动平台在没有信息化升级前自平衡功能的实验依赖于倾角传感器来实现,为了降低用户成本,取消倾角传感器,通过本地监控系统程序逻辑关系实现自平衡功能。将电动平台上升和下降信号通过串口传递给本地监控系统触摸屏模块,自平衡程序逻辑判断框图如图4所示。图4中, $hr$ 表示右侧工作平台高度, $hl$ 表示左侧平台高度, $offset$ 表示偏差值。

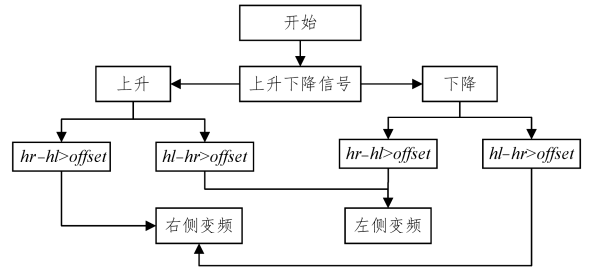


图4 自平衡逻辑框图

## 5 工作流程

系统主要由本地终端、通信模块和云平台服务端3部分构成,分别完成传感器数据采集及自动控制、传感网络数据的发送接收和数据的云端处理等功能。

### 5.1 终端

终端程序运行在Windows CE嵌入式操作系统中,主画面程序由组态软件设计,脚本语言为VBScript,串口编程语言为C++。主要功能是采集传感器数据、反馈控制工作平台运行状态、利用GPRS模块发送接收数据。工作界面如图5所示。电动平台硬件安装完毕后,需要对终端程序进行初始化操作。通过参数设定功能,设置该升降平台的超高限值、危险作业倾角、安装高度、平台高度、平台间水平距离以及4个测力点。电动平台工作中的状态值一旦超过上述任一设定值,终端会给电控平台电控系统发送信号,停掉所有电机。用户若要调整平台恢复正常状态,必须点击“手动调整”按钮后才可以进行下一步操作。

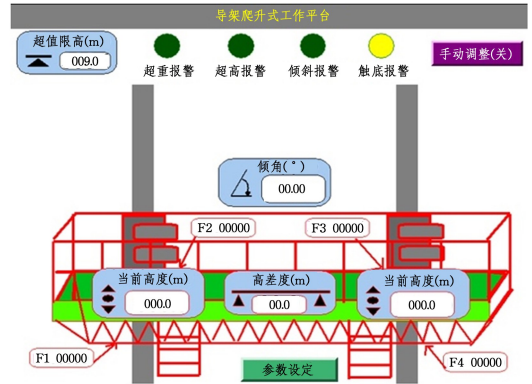


图5 本地监控系统工作界面

为了进一步保障工作安全,终端系统设计了预报警功能,需要设置的值有超高限值、危险作业角度、调频高度和4个测力点值,工作平台工作中的状态值一旦超过上述设定值,终端会触发继电器,点亮报警灯并响起报警。

其中,超重报警是为了防止电动平台的载荷超过设计承载力,超高报警是为了防止电动平台上升高度超过导轨最高高度,倾斜报警是为了防止电动平台两边失衡,触底报警是为了防止电动平台下降太低,与地面发生碰撞。

### 5.2 通信模块

电动平台一般架设于高层建筑上,不方便布线,因此采用USR-G761w DTU GPRS透传模块。在使用前对GPRS模块进行初始化操作,设置设备波特率为115200,工作模式为网络透传模式,终端将宽字符串转换为UTF8字符串后直接传给GPRS,不需要任何AT指令。转换主要代码为:

```

...
int nLength=str.GetLength();
int nBytes = WideCharToMultiByte(CP_ACP, 0, str, nLength,
NULL,0,NULL,NULL);
char * pBuff=new char[nBytes+1];
memset(pBuff,0,nLength+1);
WideCharToMultiByte(CP_OEMCP, 0, str, nLength, pBuff,
nBytes,NULL,NULL);
pBuff[nBytes]='\0';
DWORD dwWritenSize=nBytes+1;
WriteFile(m_idComDev, pBuff, nBytes + 1, &dwWritenSize,
NULL);
...
}

```

此外,还需设置服务器 IP,为了实现双向通信,设置网络协议为 TCP,心跳时间为 60s,设置注册包格式使服务器绑定 IP 和设备。以上设置完成后,监控系统连接 GPRS 模块,不需要任何设置即可正常运行。

### 5.3 云平台服务器端

云平台主要处理来自传感网络数据的业务,通信服务器使用 Workerman 提供 TCP 连接服务,并通过 HTML5 的 Web Socket 协议将消息实时推送至移动端或者电脑网页。Web 后台单项调用通信服务器 API,将数据存储于 MySQL 数据库中。云平台中用户预先设置好触发值,传感网络发送过来的数据达到触发值便会向用户发送报警信息,网页弹出报警提醒,并发送报警短信。

## 6 系统实际测试

本系统安装在某建筑机械公司生产的双导轨爬升式工作平台上进行测试,平台高度为 1.3 m,齿条导轨安装高度为 9 m,设置本地监控系统中超高预警值为 8 m,超高停机报警值为 8.5 m。当电动平台上升至 8 m 时,报警器响起并闪灯提示;当电动平台上升至 8.5 m 时,电动平台停机,界面闪灯提示。本地监控系统界面如图 6 所示。如果对电动平台进行调整,则必须点击“手动调整”按钮后才可以进行进一步操作。经测试,本地监控系统运行正常。

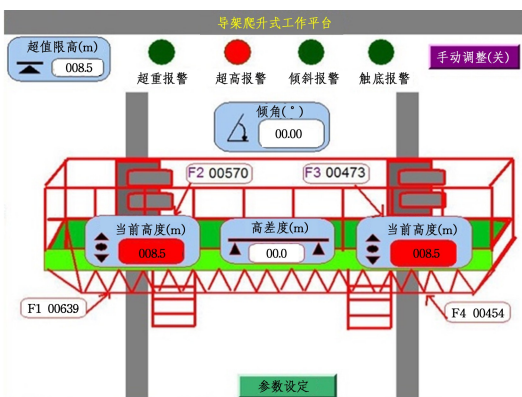


图 6 本地监控系统报警界面

通过电脑浏览器打开云平台网页,查看添加的相应设备信息,实时监控数据如图 7 所示。平台运行参数以折线图的方式可视化输出显示,由于左侧平台高度和右侧平台高度一致,两条折线重合。监控页面的实时图标已标示出预警值为 8m,超高值为 8.5m,以便操作人员进行判断。云平台监测到电动平台超高,页面右下角弹出提示警告并发送短信提醒。

经测试,云平台监控系统运行正常。

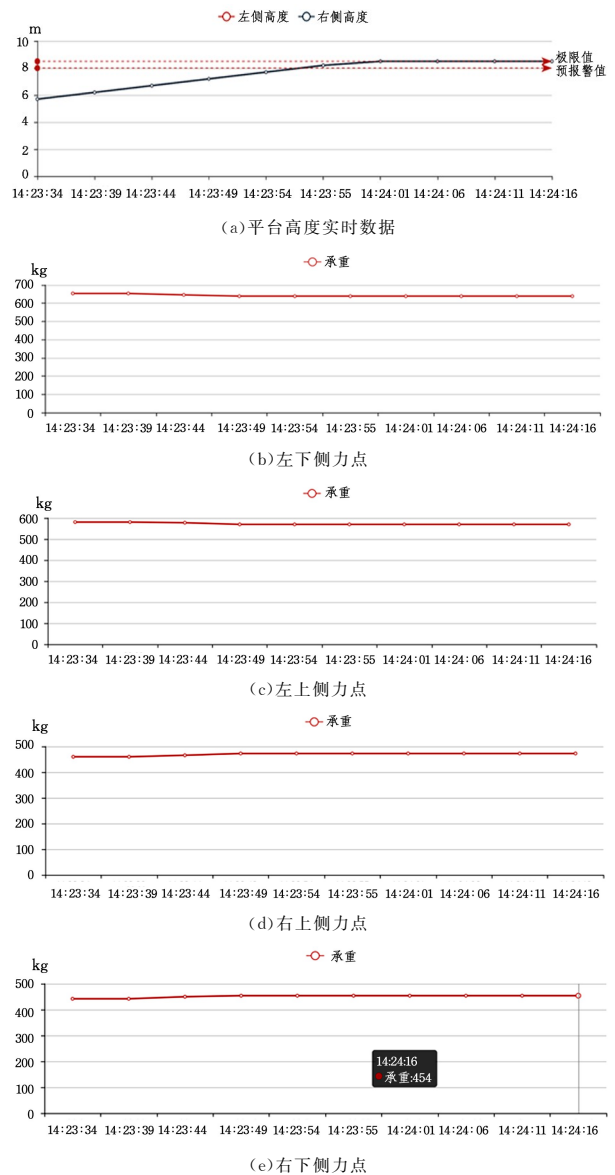


图 7 云平台实时高度和承重监控

**结束语** 本文以 Windows CE 和 PLC 作为传感网络核心处理单元,利用绝对值编码器和销轴式称重传感器采集平台的高度和承重载荷,利用 GPRS 模块连接互联网以接收和发送数据,基于 PHP 和 HTML5 技术开发了云平台监控系统。本系统能够实现超高报警、超重报警、触底报警、倾斜报警和自平衡等功能,能够在云平台上远程实时监控电动平台的工作状况,实现短信报警、历史记录和设备分享等功能。

实验证明该系统能够实现长期数据实时监控,报警功能正常,采用 TCP 和 Web Socket 协议,实现了数据的双向通信,既可远程实时监控,又可以在云平台控制报警,可用于多种建筑机械场合,具有很好的实用价值。

## 参考文献

- [1] 冯功斌,王乔. 导轨爬升式工作平台在建筑主体施工中的应用[J]. 建筑机械,2014(12):114-116.
- [2] 池明文,孟庆娟,马占飞. 一种用于无线传感网络的故障预警系统设计[J]. 现代电子技术,2017,40(4):163-166.
- [3] 杨梅,钟佩思,赵冠群. 基于嵌入式系统 Windows CE 的应用程序开发[J]. 制造技术与机床,2017(3):160-164.

- [4] ROCHA-OSORIO C M, SOLÍS-CHAVES J S, CASELLA I R S, et al. GPRS/EGPRS standards applied to DTC of a DFIG using fuzzy-PI controllers[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2017, 93(C): 365-373.
- [5] AL-ALI A R, ZUALKERNAN I, ALOUL F. A Mobile GPRS-Sensors Array for Air Pollution Monitoring[J]. IEEE Sensors Journal, 2010, 10(10): 1666-1671.
- [6] BABOVIC Z B, PROTIC J, MILUTINOVIC V. Web Performance Evaluation for Internet of Things Applications[J]. IEEE Access, 2016, 4(99): 6974-6992.
- [7] LUDOVICI A, CALVERAS A. A proxy design to leverage the

interconnection of CoAP Wireless Sensor Networks with Web applications[J]. Sensors, 2015, 15(1): 1217.

- [8] 石刚. 连续料位计 WinCE 应用系统设计[J]. 核电子学与探测技术, 2016, 36(5): 525-529.
- [9] 左文娟, 张秋菊. 基于 REST 物联网监控系统设计[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(1): 21-25.
- [10] 黄晓英, 傅士冀, 陈俊, 等. 去极值平均滤波技术在智能微欧电阻校准仪中的应用[J]. 电测与仪表, 2011, 48(9): 47-48.
- [11] 文常保, 高丽红, 方吉善, 等. 基于改进型限幅平均滤波法的高精度称重系统研究[J]. 传感技术学报, 2014(5): 649-653.
- [12] 龚仲华. 论绝对编码器[J]. 制造技术与机床, 2011(7): 142-144.

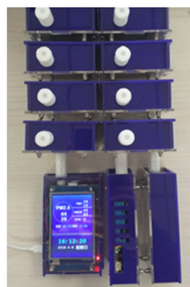
(上接第 534 页)

## 5 图书馆环境监测实验

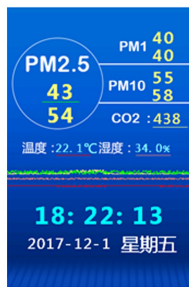
在原型设备测试通过后, 一共制作了 16 套节点设备, 分别部署在图书馆的各个楼层阅览室进行实验。边缘路由器设置在楼宇中央位置, 节点每隔 10s 采集一次环境参数, 并向服务器发送数据。虽然图书馆建筑面积大, 节点稀疏, 其中距离边缘路由器最远的节点间隔 4 个楼层, 而且直线距离近 100 m, 检测数据依然通过节点间的自动中转最终都汇聚到边缘路由器, 并转发至服务器。

服务器对数据进行统一存储、分析和发布, 监控图书馆内环境空气的异常状况, 并发布实时信息。数据中心还对节点运行状况和环境参数数值进行监视, 若发现某个节点长时间通信失败或者参数数值出现较大异常, 则在界面中变色提醒。

数据中心还为其他应用提供数据接口, 通过同期开发的图书馆运行数据墙, 并在馆内进行了统一展示。设备实物照片和展示效果如图 5 所示。



(a) 节点实物图



(b) 节点屏幕显示



(c) 数据展示界面

图 5 实验相关图

节点设备的屏幕对异常的检测结果也进行变色显示, 另外界面上还绘制了温度、湿度、PM2.5 和 CO<sub>2</sub> 含量的折线图。使用者可以在界面上直观地观察环境参数的变化趋势。

上述结果表明本系统能够实现节点的自动组网, 节点快

速实时地上传传感器数据, 并能实现节点控制, 采集的数据通过统一的处理和分析, 实现了图书馆环境参数的实时监控和动态发布。

**结束语** 文中设计并实现了一种基于 WiFi 的图书馆环境监测系统, 针对图书馆的建筑和环境监测应用的特点, 提出一种基于 WiFi 的低成本、组网灵活、易扩展的传感器节点自动组网方案, 并通过实验证明了方案的有效性。目前该系统已经在中国海洋大学图书馆投入实用, 并取得了良好的应用示范效果。

## 参考文献

- [1] KIM S H, JEONG J M, HWANG M T, et al. Development of an IoT-based atmospheric environment monitoring system[C]// 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). Jeju: IEEE Press, 2017: 861-863.
- [2] WANG D, GE W, WANG Y, et al. Design of Intelligent Neonatal Ward Environment Monitor System[C]// 2015 Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). Qinhuangdao: IEEE Press, 2015: 872-875.
- [3] 温超, 丁霞, 王冬青, 等. 基于 ZigBee 的图书馆无线温湿度监测系统[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2016, 31(2): 26-31.
- [4] 张丽珍, 高润, 姜波, 等. 高校图书馆温湿度光照度无线监控系统设计[J]. 测控技术, 2016, 35(10): 27-30, 37.
- [5] 孙克, 王松亭, 温暖. 基于无线传感器网络的图书馆环境动态监测系统[J]. 电子世界, 2016(6): 76-78.
- [6] 岳锐. 基于物联网的居家环境监测系统设计[D]. 太原: 中北大学, 2017.
- [7] HLAING W, THEPPHAENG S, NONTABOOT V, et al. Implementation of WiFi-based single phase smart meter for Internet of Things (IoT)[C]// 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON). Pattaya: IEEE Press, 2017: 1-4.
- [8] MONTORI F, CONTIGIANI R, BEDOGNI L. Is WiFi suitable for energy efficient IoT deployments? A performance study[C]// 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI). Modena: IEEE Press, 2017: 1-5.
- [9] 蔡声波, 吴学英. 基于 6LoWPAN 的海洋台站监测系统[J]. 海洋技术学报, 2017, 36(6): 38-43.
- [10] 胡国强. 基于 6LoWPAN 和 IPv6 的实验机房环境监测系统[J]. 高校实验室工作研究, 2017(2): 54-58.
- [11] ZHOU C Y, LU Z H, GU J M, et al. A high-efficiency low-voltage class-EPA for IoT applications in sub-1 GHz frequency range[J]. Journal of Semiconductors, 2017, 38(10): 13-18.