

基于物联网技术的智慧实验室近远程测控系统

李 薇¹, 杨庆华², 赵玉萍¹

(1. 西华师范大学 计算机学院, 四川 南充 637000; 2. 川北医学院 医学影像学院, 四川 南充 637000)

摘要: 针对物联网教学中理论实验管理一体化的趋势, 提出一种基于物联网技术的智慧实验室近远程测控系统方案; 方案中设计了一种可将理论教学、实验自学、安全管理三位一体化的智慧实验室测控系统结构, 通过融合无线传感网、嵌入式网关、网络通信、数据库等多种物联网相关技术, 实现了一个可实时近远程访问教学、实验测试、设备控制、维护管理的物联网智慧实验室测控系统; 测试证明, 该系统可良好实时地运用于理论实验管理一体化教学中, 分别满足教师端、学生端、实验师端三方的教学、自学和管理需求, 促进在线离线教育方式融合, 为智慧课堂教学提供良好平台。

关键词: 物联网; 智慧实验室; 测控系统; 无线传感网; 嵌入式网关; Javaweb

Implementation of Near—remote Measurement—control System for Intelligent Laboratory based on Internet of Things Technology

Li Wei¹, Yang Qinghua², Zhao Yuping¹

(1. College of Computer School, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637000, China;

2. College of Medical Imaging, North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract: In view of the trend of integration of theory, experiment, and management in the teaching of Internet of things, this paper presents a scheme of near—remote measurement and control system for intelligent laboratory based on the technology of Internet of things. In this scheme, a kind of intelligent laboratory measurement and control system structure has designed which can integrate theory teaching, experiment self—study and safety management. Through the fusion of related technologies of the Internet of things such as the wireless sensor network, embedded gateway, network communication, database, etc., an intelligent laboratory measurement and control system of the Internet of things is implemented, which can be used for real—time near—remote access teaching, experimental testing, equipment control, and maintenance management. The test results show that the system can be used in the integrated teaching of theory, experiment, and management well and in real time. It can meet the needs of teaching, self—study and management of teachers, students and experimentalists respectively, promote the integration of online and offline education, and provide a good platform for wisdom classroom teaching.

Keywords: IOT; Intelligence laboratory; Measurement and control system; WSN; Embedded gateway; Javaweb

0 引言

在具有实用性、交叉性与综合性特点的新工科教育时代, 在复合技术型的物联网教学中, 融合工科教育和物联网复合技术应用的迫切需求, 使得基于物联网技术的理论、实验、管理三位一体化的智慧实验室和智慧课堂的教育特点成为必然趋势。目前, 国内外已出现了一些智慧实验室

或课堂相关研究, 如智慧实验室架构^[1-2]、智慧实验室监控系统^[3]、智慧课堂研究^[4]。同时, 也出现了许多基于物联网技术的应用/管理/服务系统研究或设计, 如智能家居监控系统或平台研究^[5-10], 类似系统设计(采集监测/安防系统/污水监测/古树管理)^[11-14], 及系统关键机制研究, 如安全机制^[15]、架构^[16]、组网^[17]、计算处理^[18]、组合与验证^[19]、节点数据收集协议研究^[20]等。该文顺应新工科教育实用、交叉与综合的特点要求, 针对物联网教学中理论实验管理一体化的趋势, 从将物联网复合技术和现代教育技术融合的角度, 提出可将物联网课程的理论教学、实验自学、安全管理三位一体化融合的智慧实验室测控系统, 设计了系统总体框架结构、层次和功能模块、双向数据信息流, 研究了感知、传输、应用三层中各层功能的关键实现方法。

1 智慧实验室测控系统总体框架结构设计

智慧实验室近远程测控系统总体设计如图 1 所示。系统大致分感知、传输、应用层三层。网络类型主要涉及室内 LAN 网、校园 LAN 网、外部 WAN 网或 Internet 网络。其中室内 LAN 网被校园 LAN 网包含。系统地点主要涉及

收稿日期: 2018-09-06; 修回日期: 2018-09-29。

基金项目: 2018 年度四川省教育科研资助重点项目(川教函[2018]495 号); 2017 年产学研合作协同育人项目(201702018062); 四川省教育厅自然科学一般项目(17ZB0430); 西华师范大学校级英才科研基金项目(17YC154); 西华师范大学校级教改项目(JGXYMB18178)。

作者简介: 李 薇(1982-), 女, 四川广安人, 副教授, 硕士, 主要从事物联网技术、嵌入式开发、信号处理方向的研究。

杨庆华(1977-), 男, 江西弋阳人, 副教授, 硕士, 主要从事医学图像处理、虚拟实验、影像物理与设备方向的研究。

赵玉萍(1975-), 女, 湖北荆门人, 副教授, 硕士, 主要从事计算机应用、现代教育技术方向的研究。

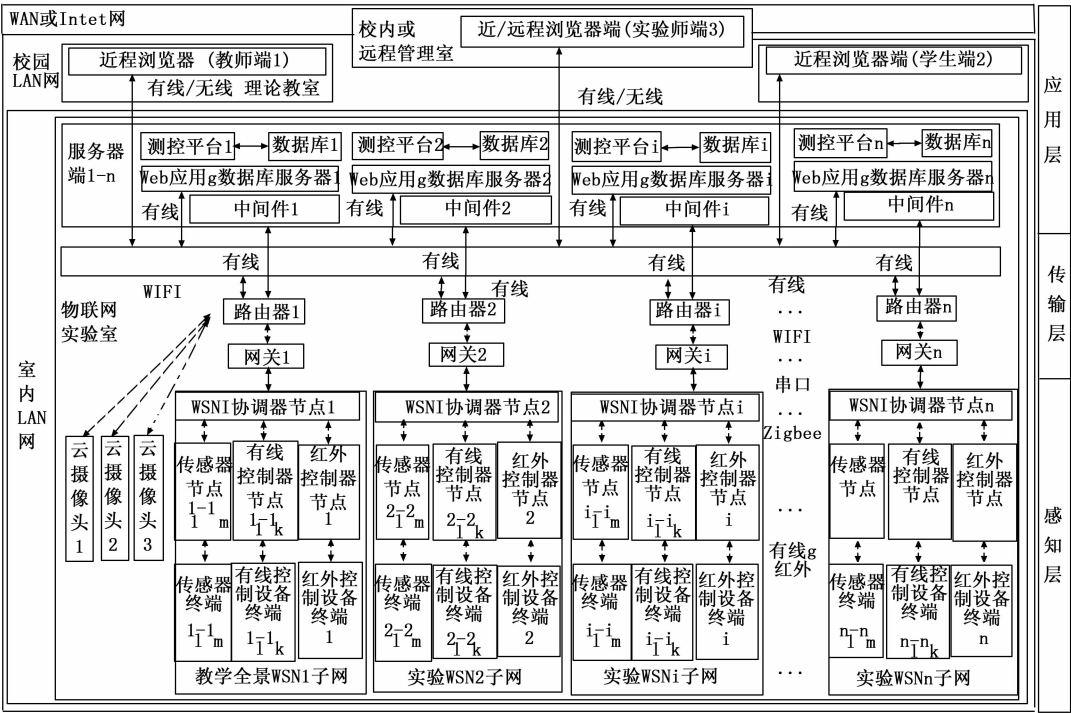


图 1 智慧实验室近远程测控系统总体框架结构设计

对应室内 LAN 网络的物联网实验室、位于校园 LAN 网络(实验室外)的理论教室和学生宿舍、位于校园 LAN 或 WAN 网络或互联网的校内或远程管理室。

1.1 系统层次和功能模块

系统层次、功能模块和组成描述如表 1 所示。

表 1 系统层次、功能模块和组成

组成	功能模块
感知层	1) 无线传感子网 1—n 传感器节点 $i1-im$ + 有线控制器节点 $i1-ik$ + 红外控制器节点 I + 协调器节点 i
	2) 云摄像头 1—3 云台、镜头、存储空间等
传输层	3) 传输子网 1—n 路由器 i + 网关 i + 交换机 i
应用层	4) 服务器端 1—n 中间件 i + Web 应用 & 数据库服务器 i + SQL Server 数据库 i + 测控平台 i
	5) 浏览器访问端 教师端 1 + 学生端 2 + 实验师端 3

五部分功能模块描述如下：

- 1) 采集汇聚上传传感数据、反馈节点状态、接收下发操作指令和配置数据、接受上传请求命令。
- 2) 采集上传视频数据、反馈摄像头状态、接收下发操作指令和配置摄像头数据。
- 3) 上传请求命令、状态信息、传感数据，下发操作指令、配置数据。
- 4) 上传、存储、分析、显示接收数据/信息/命令，提供测控应用平台服务，提取数据/信息，下发命令和配置数据。
- 5) 以近远程方式灵活访问测控平台，以满足三种角色/权限/安全级别的应用需求。

1.2 系统双向数据信息流

针对每个无线传感网的终端类型，系统信息流分为传感器、控制设备、摄像头数据信息流。系统三种终端数据信息流程如图 2 所示。由图可知，三种数据信息流方向均为双向，依照方向每种数据信息流又可分为上传和下发数据信息流两种。各数据信息流说明如表 2 所示。

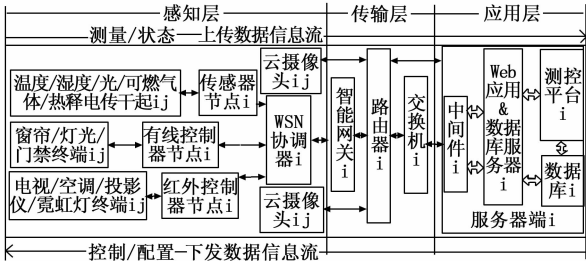


图 2 系统三种终端数据信息流程

2 系统各层功能关键实现

系统功能关键实现主要包括感知层实现（无线传感网+云摄像头）、传输层实现（网关+路由器+交换机）、应用层实现（服务器端+教师端+学生端+实验师端）。

2.1 系统感知层实现

感知层功能主要基于物联网实验室内 n 个无线传感子网（1 个教学全景 WSN 和 $n-1$ 个实验 WSN）和 3 个云摄像头实现。系统感知层功能为：通过各 WSN 子网，采集各自 WSN 传感数据（温度/湿度/光敏/可燃气/热释电）、搜集 WSN 终端设备（传感器终端、窗帘/灯光/门禁有线控制终端、电视/空调/投影仪/霓虹灯红外控制终端）状态和终端节点（传感器节点、有线控制节点、红外控制节点）状态反馈数据，及摄像头终端的状态数据，经协调器上传

表 2 系统数据信息流说明

类型	数据信息流说明
传感器	上传数据流:传感器终端 ij 测量/状态数据。方向:传感器终端 $ij \rightarrow$ 传感器节点 $i \rightarrow$ WSNi 协调器节点 $i \rightarrow$ 智能网关 $i \rightarrow$ 路由器 $i \rightarrow$ 交换机 $i \rightarrow$ 中间件 $i \rightarrow$ web 应用 & 数据库服务器 $i \rightarrow$ 端测控平台 i / 数据库 i 。
	下发数据流:传感器终端控制/配置等数据。方向:测控平台 i / 数据库 $i \rightarrow$ web 应用 & 数据库服务器 $i \rightarrow$ 中间件 $i \rightarrow$ 交换机 $i \rightarrow$ 路由器 $i \rightarrow$ 智能网关 $i \rightarrow$ WSNi 协调器节点 $i \rightarrow$ 传感器节点 $i \rightarrow$ 传感器终端 ij 。
控制设备	上传数据流:控制器终端 ij 状态等数据。方向:控制器终端 $ij \rightarrow$ 控制器节点 $i \rightarrow$ WSNi 协调器节点 $i \rightarrow$ 智能网关 $i \rightarrow$ 路由器 $i \rightarrow$ 交换机 $i \rightarrow$ 中间件 $i \rightarrow$ web 应用 & 数据库服务器 $i \rightarrow$ 测控平台 i / 数据库 i 。
	下发数据流:控制设备终端控制/配置等数据。方向:测控平台 i / 数据库 $i \rightarrow$ web 应用 & 数据库服务器 $i \rightarrow$ 中间件 $i \rightarrow$ 交换机 $i \rightarrow$ 路由器 $i \rightarrow$ 智能网关 $i \rightarrow$ WSNi 协调器节点 $i \rightarrow$ 控制器节点 $i \rightarrow$ 控制器终端 ij 。
摄像头	上传数据流:摄像头终端 ij 状态等数据。方向:摄像头终端 $ij \rightarrow$ 路由器 $i \rightarrow$ 交换机 $i \rightarrow$ 中间件 $i \rightarrow$ web 应用 & 数据库服务器 $i \rightarrow$ 测控平台 i / 数据库 i 。
	下发数据流:摄像头终端控制/配置等数据。方向:测控平台 i / 数据库 $i \rightarrow$ web 应用 & 数据库服务器 $i \rightarrow$ 中间件 $i \rightarrow$ 交换机 $i \rightarrow$ 路由器 $i \rightarrow$ 摄像头 ij 。

至传输层的网关；同时接收从网关下发到协调器的数据，并分发到各终端节点及各终端设备，根据数据类型进行设备配置或控制操作。

2.1.1 无线传感网实现

1) 无线传感子网拓扑结构。

该系统感知层的每个无线传感子网（WSNi）内部主体采用星状拓扑结构，如图 3 所示。以每个 WSN 子网的 WSN 协调器为汇聚节点和转发数据中心。各终端节点（传感器节点、有线控制器节点和红外控制节点）通过有线（传感器节点和有线控制节点）或红外无线（红外控制节点）方式控制节点下挂接的具体终端设备（传感器、有线控制设备终端、红外控制设备终端）。

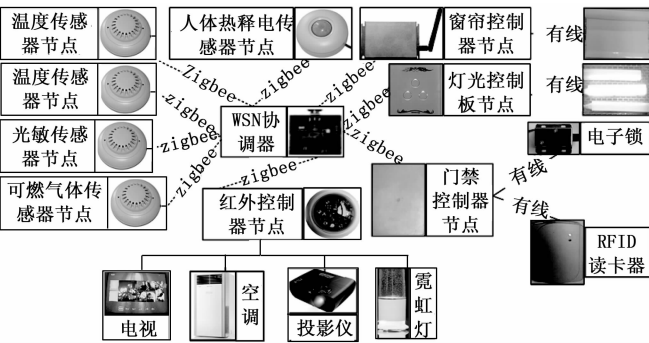


图 3 无线传感子网络拓扑结构

2) 无线传感网节点组成结构。

为统一实现挂接了不同终端设备的终端节点在基于 zig-

bee 的无线传感网中规范化短距离无线通信，在实现节点结构时，采用以 Zigbee 通信单元（无线射频单片机 CC2530 RF+zigbee 协议栈 Z-Stack）为核心的节点结构方案。节点结构方案如表 3 所示。

表 3 节点结构组成方案

节点类型	数据类型	组成单元			
协调器节点	混合	基于 CC2530 RF + Z-Stack 协议栈的 Zigbee 通信单元	能量供应、仿真接口、地址按键、指示灯等通用单元	串口、继电器	其他资源
	温度			温度传感器单元	其他资源
传感器终端节点	湿度			湿度传感器单元	其他资源
	光敏			光敏传感器单元	其他资源
	可燃气体			可燃气体传感器单元	其他资源
	热释电			热释电传感器单元	其他资源
有线控制器终端节点	窗帘			窗帘有线控制单元	其他资源
	灯光			灯光有线控制单元	其他资源
	门禁			门禁有线控制单元	其他资源
红外控制器终端节点	电视			红外学习和通信单元	其他资源
	空调			红外学习和通信单元	其他资源
	投影仪			红外学习和通信单元	其他资源
	霓虹灯			红外学习和通信单元	其他资源

3) 无线传感网节点程序流程。

由表 3 知系统中 WSN 节点有协调器节点、传感器终端节点、有线控制器终端节点、红外控制器终端节点四种类型。不同类型的节点功能由通用功能+特色功能实现。节点关键程序流程如图 4 所示。

由图 4 知，在无线传感子网节点程序流程中，节点经过时钟、外设、MAC 层、操作系统、中断等一系列初始化后，进入 OS 启动任务调度，操作系统轮询各层是否有事件发生。当有事件发生时，根据不同的节点角色（协调器节点、传感器终端节点、有线控制器终端节点、红外控制器终端节点）功能进行不同的响应。其中，协调器节点作为网关和终端节点间的中介，主要负责上传终端节点数据，下发来自网关的数据，同时也管理维护无线传感网。协调器节点和网关之间通过串口进行数据交互。而终端节点（传感器终端节点、有线控制器终端节点、红外控制器终端节点）则作为协调器和终端之间的中介，主要负责上传终端数据，下发协调器数据。

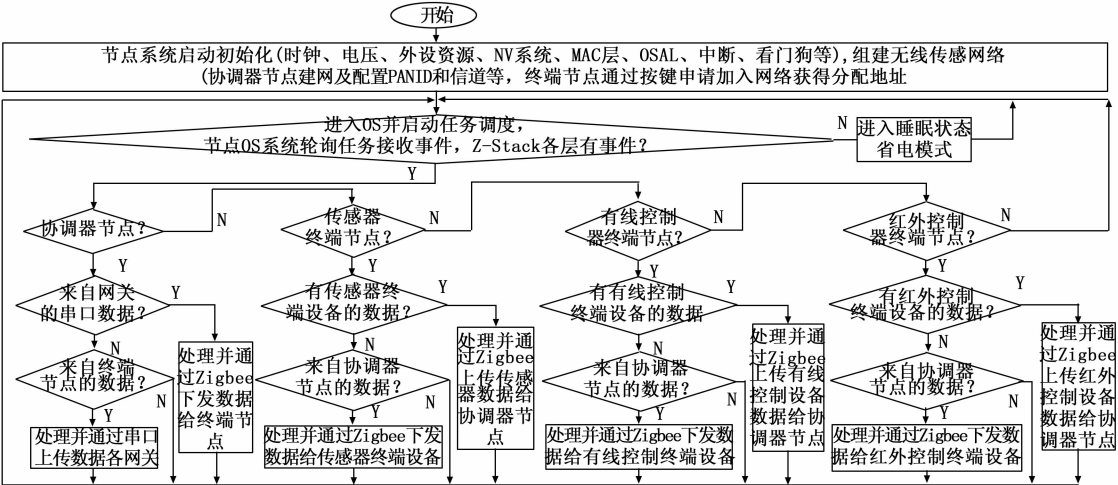


图 4 无线传感子网节点程序大致流程

2.1.2 云摄像头实现

为提高感知，在 N 个 WSN 基础上，感知层设计了 3 个智能云摄像头，负责视频测控。云摄像机是网络 IP 摄像机的延伸，是基于 IP 摄像机及云监控和存储技术开发的更实时客户端应用，使用户在任意时空通过智能手机、平板、电脑等，连接摄像机实时获取影像。该系统采用 vimtag 的 VT-361 摇头式智能云摄像机，双向语音通话，具有高清光学镜头， 1280×720 分辨率，4 倍数字变焦，大功率红外灯夜视距离达 50 M，内置回声消除、噪音抑制功能，高质量压缩传输音频，云台旋转 360° 控制，SD 卡存储，可手机 WIFI 连接，也可客户端账号登录控制。利用云摄像头，针对教师、学生、实验师访问端，系统都可通过 3 种方式实现视频测控：1) 在访问端下载客户端软件，登录测控。2) 通过云摄像头注册网站登录测控。3) 通过测控平台启动视频测控。

2.2 系统传输层实现

传输层主要包含网关、路由器和交换机三部分。其中网关负责感知层和传输层的数据交互，通过数据传输格式转换实现感知层 WSN 和传输层通信网间的网络连接。路由器作为网关和近程服务器（或交换机）间中介，实现双方通信和交互。交换机作为近远程浏览器端和近程服务器（或路由器）间的中介，实现双方通信和交互。

2.2.1 嵌入式智能网关实现

嵌入式网关结构从软硬件层次可分为能量、硬件和软件三层。网关功能模块结构及软硬件层次如图 5 所示。

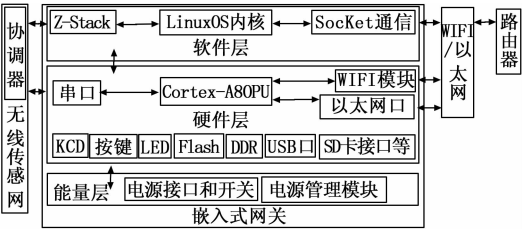


图 5 网关功能模块结构及软硬件层次

其中，能量层主要包含电源管理模块及电源接口和开关；硬件层以 Cortex-A8 CPU 为核心，加上基本存储资源

Flash+DDR 和接口资源（串口、以太网口、USB 口、SD 接口等），及输入输出设备（LCD、LED、按键等）等；软件层基于硬件层实现，以嵌入式操作系统 linux 内核（含基本通用功能如多任务调度和管理、文件系统等）为核心，加上 Z-Stack 协议栈及 Socket 通信等功能。

2.2.2 跨层传输通信子网实现

与 N 个无线传感网（WSNi）对应，分别有 N 个无线路由器、网关和服务端，及一个交换机。其中每个网关、路由器、服务端处于同一局域网子网，且通过交换机连接及固定 IP，将路由器和服务器映射到实验室外网（校园 LAN 网、WAN 网或 Internet 网），由此形成跨传输层和应用层的 N 个传输通信子网（网关 i + 路由器 i + 服务器端 i + 交换机）。如图 1 所示。子网架构如图 6 所示。

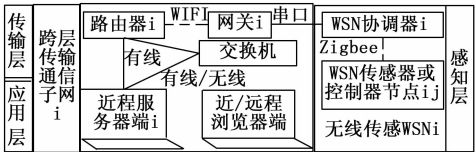


图 6 传输通信子网 i 架构

2.2.3 传输层子网软件程序流程

系统传输层子网功能主要涉及网关、路由器、交换机相关设备的启动初始化，以及网关、路由器对于数据的上传下发。其软件程序大致流程如图 7 所示。由图 7 知，在传输层设备初始化后和基本参数配置后，不同设备进行各自角色等待消息或接收数据。其中，最核心的网关作为传感层的无线传感网和传输层的路由器之间的中介，实现数据的上传下发。它主要以串口方式与传感子网的协调器进行数据交互，一方面接收来自协调器经串口送来的传感网数据，并上传给子网对应的路由器和交换机，另一方面接收来自应用层经交换机和路由器送来的服务器数据（配置数据、控制指令等），并经由串口下发给子网对应的协调器。

2.3 系统应用层实现

应用层主要包含服务器端（近程服务器 1- n ）和近远

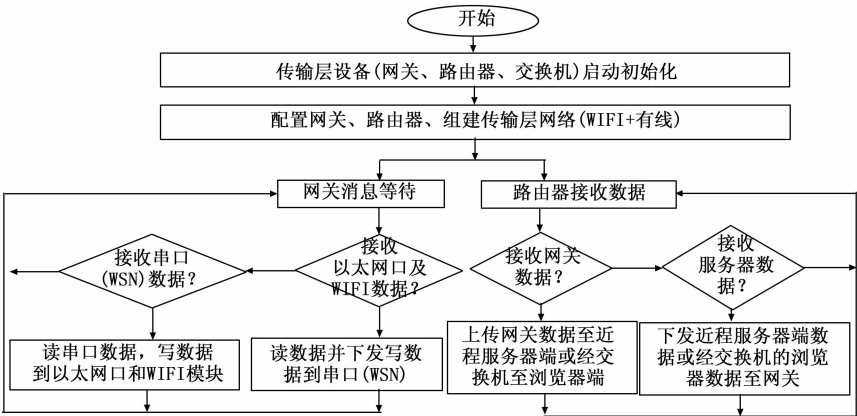
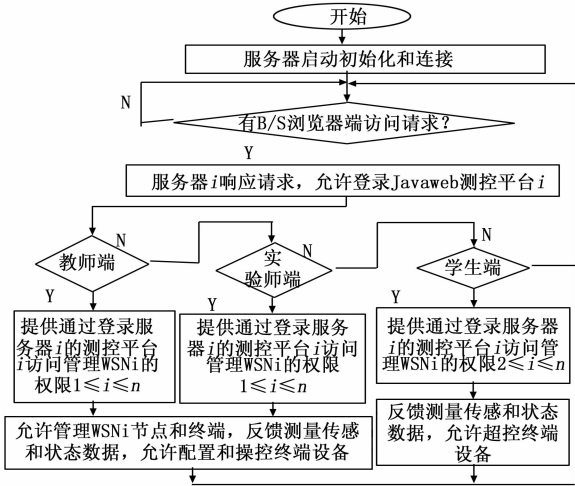


图 7 传输层软件程序大致流程

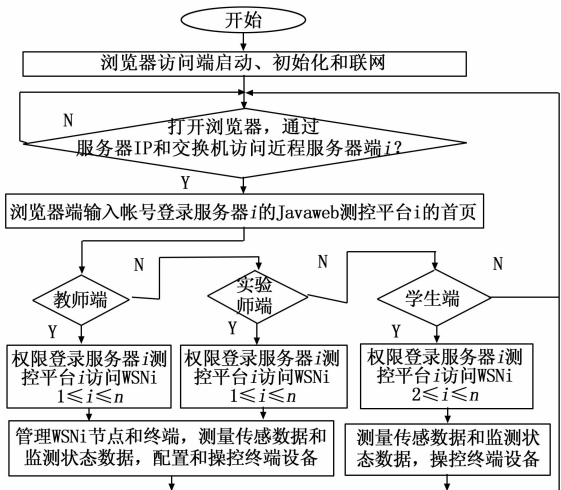
程浏览器访问端（教师端、学生端、实验师端）。

2.3.1 服务器端实现

系统 1— n 个近程服务器与 1— n 个 WSN 相对应，每个服务器端 i 有分层结构，主要包含中间件 i ，web 应用 & 数据库服务器 i ，数据库 i ，及 Javaweb 测控平台 i 。如图 1 所



(a) 服务器端程序流程



(b) 浏览器访问端程序流程

图 8 应用层服务器端和浏览器端软件程序大致流程

示。服务器端 i 功能实现主要涉及服务器端的启动初始化，及登录访问。启动初始化包含控制和接入功能中间件、服务器及管理、数据库等模块的功能启动和初始化，以及模块间的通信连接。登录访问主要依据不同 B/S 访问端角色（教师、学生、实验师），分权限登录访问、管理测控。服务器端软件程序大致流程如图 8 (a) 所示。

2.3.2 浏览器访问端实现

浏览器访问端主要涉及校园 LAN 网中近程浏览器访问端（教师端和学生端），及校园 LAN 网或 WAN 网或 Internet 网

中近远程浏览器访问端（实验师端）。从权限方面，教师端和实验师端具有登录访问和管理测控所有 WSN 节点和终端（WSN1~ n ），及云摄像头（Camera1~3）的完整权限。学生端则只具有与账号对应的实验 WSN 子网（WSNi）的部分访问权限（测量和部分操控）。应用层访问端程序大致流程如图 8 (b) 所示。

由图 8 知，在服务器端 1— n 及浏览器端 1—3 启动初始化和接连后，服务器端等待 B/S 浏览器访问请求，当浏览器端访问请求到来时，根据登录账号权限，对应的服务器端 i 作出响应。响应时，不同的访问端（教师端、实验师端、学生端）可以访问管理的权限不同。其中，教师端和实验师端可以访问、管理无线传感网 1— n 个子网的数据，操控对应的终端设备。学生端则可访问管理无线传感网 2— n 个子网之一的数据，并操控对应的设备。

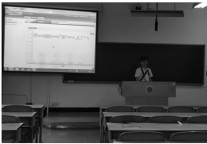
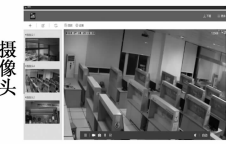
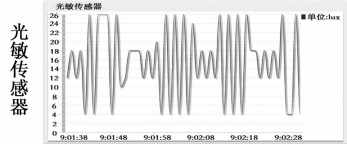
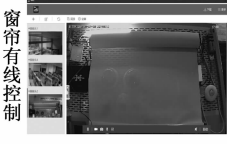
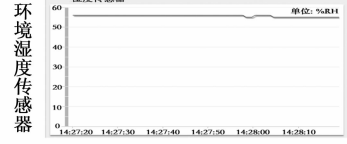
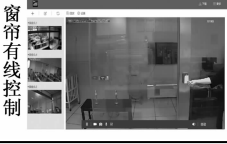
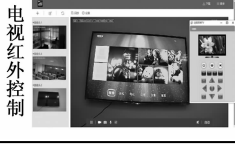
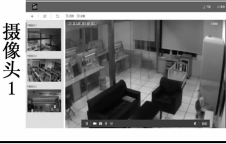
表 4 系统测试条件

B/S 端	访问端类型	测试条件
浏览器访问端	教师端	Windows 7 64 位 OS, i5—6500 四核 CPU 3.2 GHz, 4 GB 内存, IE8 / 火狐/360 浏览器。
	学生端	Win10 64 位 OS, i5—7200U 双核 2.50 GHZ CPU, 8GB 内存, IE8 / 火狐/360 浏览器。
	实验师端	Windows 7 64 位 OS, E5—2603V3 六核 1.6 GHZ CPU, 16G 内存, IE8 / 火狐/360 浏览器。
服务器端 1~ n		Win7 32 位 OS, i7—4790 双核 3.60GHZ CPU, 4GB 内存。

表 5 三种 B/S 访问端访问性能测试结果

性能	实时性 s				故障率 %	有效测控范围
	传感器采集显示	有线设备控制	红外设备控制	视频监控		
教师端	<0.15	<0.2	<0.25	<0.9	<5	校园 LAN
学生端	<0.2	<0.25	<0.3	<1.1	<7	校园 LAN
实验师端	<0.4	<0.45	<0.55	<1.2	<8	校园 LAN / WSN/Internet

表 6 三种 B/S 模式访问端访问功能测试结果

①访问端	②有线控制测试	③红外控制测试	④云摄像头视频测试	⑤传感器数据采集测试
教师端 	电灯有线控制 	空调红外控制 	摄像头 	光敏传感器 
学生端 	窗帘有线控制 	霓虹灯红外控制 	摄像头 3 	环境湿度传感器 
学生端 	窗帘有线控制 	电视红外控制 	摄像头 1 	热释电红外传感器 

3 系统测试

系统在指定测试条件下, 分别对三种 B/S 访问端(教师端、学生端、实验师端)进行了功能测试和性能测试。

3.1 测试条件

远程服务器及 3 种访问端测试条件如表 4 所示。

3.2 测试结果

基于近程服务器端, 针对教师、学生和实验师 3 种浏览器访问端, 该文分别对传感器、有线控制设备、红外控制设备、云摄像头视频进行了性能测试和功能测试。性能测试主要包含实时性、故障率、有效测控范围 3 种性能指标, 结果如表 5 所示。功能测试结果如表 6 所示。

由表 5 和表 6 知, 基于近程服务器端, 通过三种浏览器访问端, 测控系统能够对智慧实验室的传感器、有线控制设备、红外控制设备、云摄像头进行实时有效的测量和控制。

4 结论

针对物联网教学中理论实验管理一体化趋势, 基于无线传感网、嵌入式网关、网络通信、中间件、数据库、JavaWeb 等物联网技术, 该文提出了一种理论教学、实验自学、安全管理三位一体化的智慧实验室近远程测控系统方案, 设计了一种智慧实验室测控系统总体框架结构、系统层次和功能模块, 并对感知层、传输层、应用层进行了关键实现。系统测试表明, 该系统具有良好的实时性、稳定性和实用性。后续研究方向为:

1) 系统的实时性、智能性、交互性: 通过本地节点数据的更快速智能处理、更优化的路由和拓扑结构、更好的中间件技术、更智能的应用层判别决策等, 来进一步提高系统的实时性(访问速度、数据传输速度、对可控设备的控制响应速度), 智能性和交互性。

2) 进一步提高并发性: 设计更优良的系统架构、数据传输模式、网络通信和访问方式, 来进一步提高系统的并

发性。

3) 提高数据去冗余和压缩存储能力: 研究更好的多源数据融合去冗方法、更优的各层次数据存储和压缩方法、更方便的数据库交互和存储方式, 来进一步提高数据去冗余和压缩存储能力。

参考文献:

[1] 周春月, 闫子淇. 基于物联网技术的智慧实验室架构研究 [J]. 实验室研究与探索, 2014, 22 (5): 239-242.

[2] 刘昌鑫, 陈慧娟, 欧阳春娟, 等. 物联网技术支持下的高校智慧实验室构建探析 [J]. 中国教育信息化, 2016, 7: 54-56.

[3] 王 超, 杨晓辉. 智慧实验室监控系统研究 [J]. 科学技术创新, 2018, 10: 76-77.

[4] 卞金金, 徐福荫. 基于智慧课堂的学习模式设计与效果研究 [J]. 中国电化教育, 2016, 2 (349): 64-68.

[5] Biljana L. Risteska Stojkoska, Kire V. Trivodaliev. A review of Internet of Things for smart home Challenges and solutions [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, (140): 1454-1464.

[6] Andreas Jacobsson, Martin Boldt, Bengt Carlsson. A risk analysis of a smart home automation system [J]. Future Generation Computer Systems, 2016, 56, 719-733.

[7] Terence K. L. Hui, R. Simon Sherratt, Daniel Díaz Sánchez. Major requirements for building Smart Homes in Smart Cities based on Internet of Things technologies [J]. Future Generation Computer Systems, 2017, 76: 358-369.

[8] Mussab Alaa, A. A. Zaidan, B. B. Zaidan, Mohammed Talal, M. L. M. Kiah. A review of smart home applications based on Internet of Things [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2017, (97): 48-65.

[9] 吴志辉. 智能家居监控平台的研究与实现 [J]. 物联网技术, 2016, 2 (11): 80-86.

[10] 邓 哟, 李朝庆, 程小辉. 基于物联网的智能家居远程无线监控系统设计 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (1): 159-165.