

# 温室物联网测控管理系统开发与数据同步研究\*

李萍萍<sup>1,2</sup> 陈美镇<sup>1</sup> 王纪章<sup>1</sup> 周金生<sup>1</sup> 夏得峰<sup>1</sup>

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 南京 210037)

**摘要:** 为实现温室环境信息高效监测, 开发了物联网测控管理系统的通用平台, 主要包括基于 Android 的智能网关以及基于 Google Web Toolkit 的远程 Web 服务器, 并制定了系统的数据同步通信协议。根据数据采集单元配置信息和预先设定的界面显示风格, 智能网关和 Web 服务器的应用程序能够自适应地生成温室环境监测界面, 动态地解析监测传感器数据并实现数据库存储, 以 Http post 网络传输机制实现数据采集单元配置信息、监测传感器数值等数据在二者间的同步。试验结果表明温室物联网系统在实际应用中具有较高的稳定性, 有效地避免了由于传感器和数据采集单元节点变更导致 Web 服务器和智能网关应用程序的二次开发。

**关键词:** 物联网 智能网关 Web 服务器 数据同步 Http post 界面生成

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)08-0224-08

## Development of Monitoring Management System and Data Synchronization for Greenhouse IOT

Li Pingping<sup>1,2</sup> Chen Meizhen<sup>1</sup> Wang Jizhang<sup>1</sup> Zhou Jinsheng<sup>1</sup> Xia Defeng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** In order to realize the high efficient monitoring of environment information, a kind of common monitoring management system of the internet of things (IOT) for greenhouse was introduced. The system mainly consisted of an intelligent gateway based on Android system and a remote web server based on Google Web Toolkit. Also the monitoring data synchronous communication protocol between the gateway and remote web server was formulated. According to the data acquisition unit configuration information and the preset display style of the interface, the monitoring interface was adaptively generated by the gateway and server application program, the sensor data was dynamically parsed and the data storage in database was realized. Using the http post transmission mechanism, the applications of gateway and web server also realized the data synchronization of monitoring sensor parameters data and data acquisition units configuration information transmitted on the internet. The test results showed that the greenhouse IOT system and data synchronous communication were of high stability in practical application, and it can effectively avoid second software development which resulted from the changing of sensors or data acquisition unit nodes. The system achieved the function of monitoring management and data synchronization for greenhouse IOT system, and it provides a common platform for greenhouse intelligent monitoring and control.

**Key words:** Internet of things Intelligent gateway Web server Data synchronization Http post Interface generation

收稿日期: 2014-11-21 修回日期: 2015-01-05

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2014BAD08B04)、江苏省产学研联合创新资金资助项目(BY2013065-07)、江苏省科技支撑计划资助项目(BE2014406)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发教[2014]37号)和江苏大学高级人才启动基金资助项目(14JDC188)

作者简介: 李萍萍, 教授, 博士生导师, 主要从事设施农业工程技术研究, E-mail: lipingping@ujs.edu.cn

### 引言

近年来,随着信息技术的快速发展,物联网技术在设施农业中得到了越来越多的应用<sup>[1-2]</sup>。传感器技术、无线网络、微型计算机技术、互联网的发展,进一步促进了温室环境信息的监测管理<sup>[3-5]</sup>。典型的温室物联网系统包括感知、传输、应用 3 种层次<sup>[6-8]</sup>。感知层利用传感器技术进行环境信息获取,主要包括温室内的温度、光照、湿度、CO<sub>2</sub>浓度等气候环境信息,土壤湿度、pH 值、EC 值等土壤环境信息,以及室外的气象信息。传输层通过无线网络技术,主要以 ZigBee<sup>[9-10]</sup> 技术传输至物联网的网关<sup>[11-12]</sup>,网关实现信息的统一汇聚和计算处理,并传输至互联网。远程应用服务器实现温室监测数据的存储,实现面向用户的门户网站或者以客户端的形式实现温室环境监测<sup>[13-14]</sup>。考虑到传感器易受温室环境多变等因素的影响经常需要变更,或者用户需要另外增加同类型的传感器数量进行监测温室内的环境差异等情况<sup>[15]</sup>,实现传感器和数据采集单元的变更所带来的智能网关的信息处理与传输以及远程服务器信息处理与传输二者在软件层次上的自适应,成为一个重要的研究技术。

Android 是 Google 公司开发的基于 Linux 平台的开源操作系统,由各种驱动和资源管理的 Linux 内核层、C/C++ 和虚拟机组成的系统运行库、Activity 和 View 等组成的应用架构层、应用层组成<sup>[16-17]</sup>。GWT (Google Web Toolkit) 也是 Google 公司发布的基于 Java 语言开发的 AJAX (Asynchronous Javascript and XML) 应用工具包,通过使用 GWT 编写 Java 代码和 HTML 构造 AJAX 应用界面与服务器实现异步通信,应用程序支持主流浏览器<sup>[18]</sup>。基于上述 2 种方法,本文开发基于

Android 系统的智能网关应用软件,以期实现网关 APP 模式的温室环境信息界面的动态生成和数据的动态显示;开发基于 GWT 的温室环境监测数据服务和 AJAX 应用网站,以期实现 B/S 模式的温室环境信息界面的动态生成以及数据的动态显示;设计以 Http post 传输机制实现温室环境信息的数据同步。

### 1 系统硬件结构

为实现温室物联网测控的管理,部署了如图 1 所示的系统硬件结构。系统主要分为数据采集单元 ZigBee 网络群(温室信息实时感知)、ZigBee 汇聚节点、智能网关(感知层和服务器间信息传输桥梁)、服务器(数据中心和应用程序)、用户远程监控设备(浏览器)等模块。

数据采集单元采用太阳能 + 蓄电池系统进行供电,采集温室的光照、温度、湿度、CO<sub>2</sub>浓度等信息,采集温室外的气象信息,采用星型的 ZigBee 通信协议自组织方式形成无线传输网络群与 ZigBee 汇聚节点的无线通信。ZigBee 汇聚节点将 ZigBee 协议数据流与串口通信 (RS-232) 数据流进行相互转换,并接入智能网关。智能网关以 Exynos4412 为核心处理器,采用 Android 4.0 为操作系统,实现采集单元通信数据流的解析和封装、温室环境信息存储和指令下发等功能,并以 3G 或 WiFi 模块接入互联网,实现与远程服务器数据通信。服务器实现温室环境信息的存储,采用 B/S 结构构建用户监控设备浏览器前端 WEB 访问。

### 2 系统软件结构

如图 2 所示,系统的软件模块分为基于 Android 系统的智能网关应用软件和基于 Google Web Toolkit

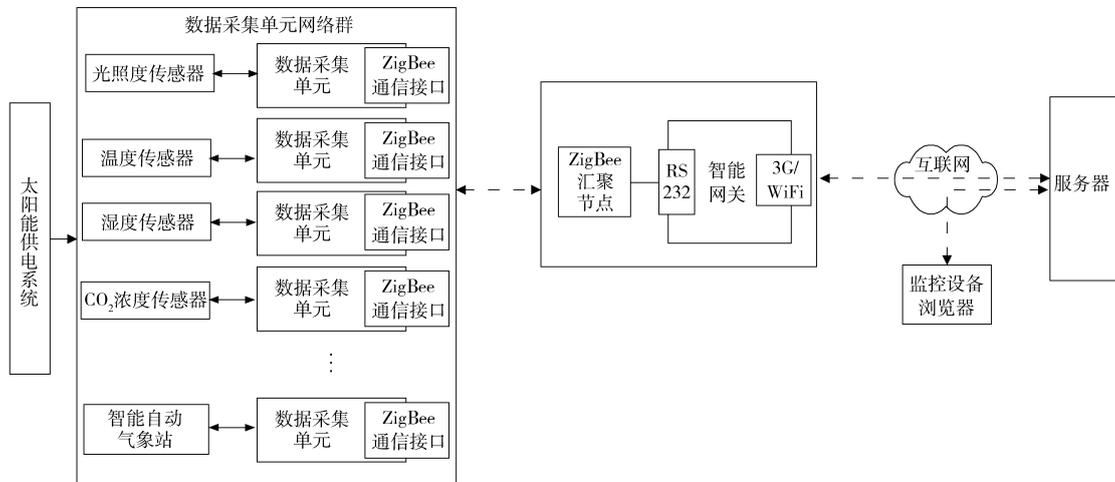


图 1 系统硬件结构

Fig. 1 Hardware structure of system

开发工具包的服务器应用软件两大模块,二者的通信软件模块采用 Http post 传输机制。由于 XML(可扩展标记语言)具有跨平台性的数据描述功能和多种数据解析工具<sup>[19-20]</sup>,系统采用基于 XML 数据结构描述实现网络数据在智能网关和远程服务器间的跨平台传输。

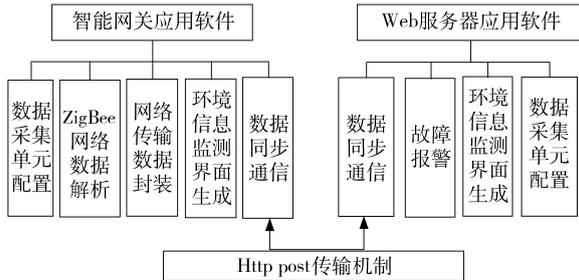


图2 系统软件结构

Fig.2 Software structure of system

## 2.1 智能网关应用软件

采用 Eclipse 开发工具和 Java 语言,结合 Android 开发插件包,作为智能网关应用软件的开发环境<sup>[21]</sup>。软件模块主要包括数据采集单元配置、ZigBee 网络数据解析、网络传输数据封装、环境信息监测界面生成、数据同步通信。

### 2.1.1 数据采集单元配置

数据采集单元主要用来采集传感器信息并以无线或者有线的方式发送至智能网关,其配置主要是用户通过智能网关应用界面输入相关的数据采集单元的基本信息,包括数据采集单元 ID、监测传感器

参数名称、监测传感器参数 ID、单位、地点、监测参数的始字节和终字节(设通信协议数据流为  $B_1, \dots, B_N$ ,第  $X$  至第  $Y$  字节表示传感器数值  $B_X, \dots, B_Y$ ,则  $X$  为始字节, $Y$  为终字节,其中  $1 < X \leq Y \leq N$ )、数值转换系数、监测参数上下限范围,进行该节点的配置和注册,并存储至 SQLite 数据库。

### 2.1.2 ZigBee 网络数据解析

ZigBee 网络数据解析主要是实现温室中的数据采集单元组建的 ZigBee 网络群发送至网关的数据流提取出实际的传感器采集数据。系统首先通过 JNI(Java Native Interface)取出串口通信数据流首字节对应的数据采集单元 ID,查询数据库中的数据采集单元配置表格获取各监测传感器参数数值在数据流中始字节、终字节、监测传感器参数 ID 等描述信息。根据始字节、终字节的数值,将通信协议数据流中的 16 进制传感器数值,转换成 10 进制后根据数值换算系数计算出实际值。最终,生成以监测传感器参数 ID 为列属性的监测传感器数据表,存储至 SQLite 数据库。

### 2.1.3 网络传输数据封装

为实现温室物联网数据在互联网的跨平台传输,采用 XML 实现数据的封装。系统将数据采集单元的配置信息进行 XML 数据结构的描述封装(表 1 的第 2~11 列),将 ZigBee 网络数据解析出的监测传感器参数数值进行 XML 数据结构的描述封装(表 1 的第 4、12、13 列)。

表 1 基于 XML 的网络传输数据封装

Tab.1 Network transmission data package based on XML

含义	数据采集单元 ID	监测传感器参数名称	监测传感器参数 ID	单位	地点	监测参数的始字节	监测参数的终字节	数值转换系数	监测参数最小值	监测参数最大值	传感器采集数值	传感器采集时刻
XML 元素	DRU_ID	Name	SN_ID	Unit	Position	StartByte	EndByte	TranVal	MinVal	MaxVal	SensorVal	SVTime

### 2.1.4 环境信息监测界面生成

环境信息监测界面的成员主要包括:地点、监测传感器参数的名称、数值、单位、数值范围的趋势图。

实时监测界面生成的主要方法是:查询数据采集单元配置信息中“地点”的描述并进行归类,归类后的每项作为一个监测区域的标题。再获取本监测区域内的各个监测传感器参数 ID 所对应的监测传感器参数名称、单位、最大值、最小值的对应关系,并查询监测传感器参数 ID 对应的由 ZigBee 网络数据解析模块解析出的实际数值。这样就将参数名称、实际数值、单位、由实际数值与最大值和最小值计算出的百分比进度条作为本监测区域的每一行进行生

成。

历史数据监测界面生成的主要方法是:通过下拉列表的形式显示监测区域的各个标题,对下拉列表设置监听选中操作,当对下拉列表的某个监测区域选中后,生成本监测区域的监测传感器参数名称的按键,再对按键设置监听点击操作,如果被点击则触发查询本按键的监测传感器参数 ID 所对应的监测数值,结合查询时间段、最大值、最小值描述,生成历史数据曲线图。

### 2.1.5 数据同步通信

数据同步通信主要是智能网关向服务器发起 Http post 请求并处理服务器的回应信息,包括 3 种类型的数据通信:

(1) 用户通过点击“同步按钮”, 实现网关向服务器的同步数据采集单元配置信息。

(2) 网关周期性(20 s) 发起数据量较少的“心跳”连接到服务器, 用于判断网关和服务器间网络通信状态, 以及解决服务器不能主动向网关发起 Http post 通信而进行主动同步数据的问题。网关根据接收的服务器响应结果判断是否有服务器主动发起同步网关的数据采集单元配置的信息, 如果有则解析并更新数据库。

(3) 网关周期性(周期由用户通过参数设定) 地同步监测传感器数值信息, 其原理为, 首先, 程序初始化时建立本地文件 sensorvalue. xml 用于存储监测

传感器参数的数据。然后, 每当传输周期到达时, 判断“心跳”连接的服务器通信状态: 如果服务器通信状态为成功, 将本次的 XML 封装数据写入到 sensorvalue. xml 中的根节点末尾, 再读取本文件的内容(之前网络连接失败则有多条记录, 之前网络连接成功则有一条记录), 通过 Http post 机制上传至服务器, 并判断服务器是否正确响应, 正确响应则清空 sensorvalue. xml 中的记录, 否则保留记录; 如果服务器通信状态为失败, 则本次的 XML 封装数据插入到 sensorvalue. xml 中的根节点末尾, 不发起 Http post 请求。

数据同步通信流程如图 3 所示。

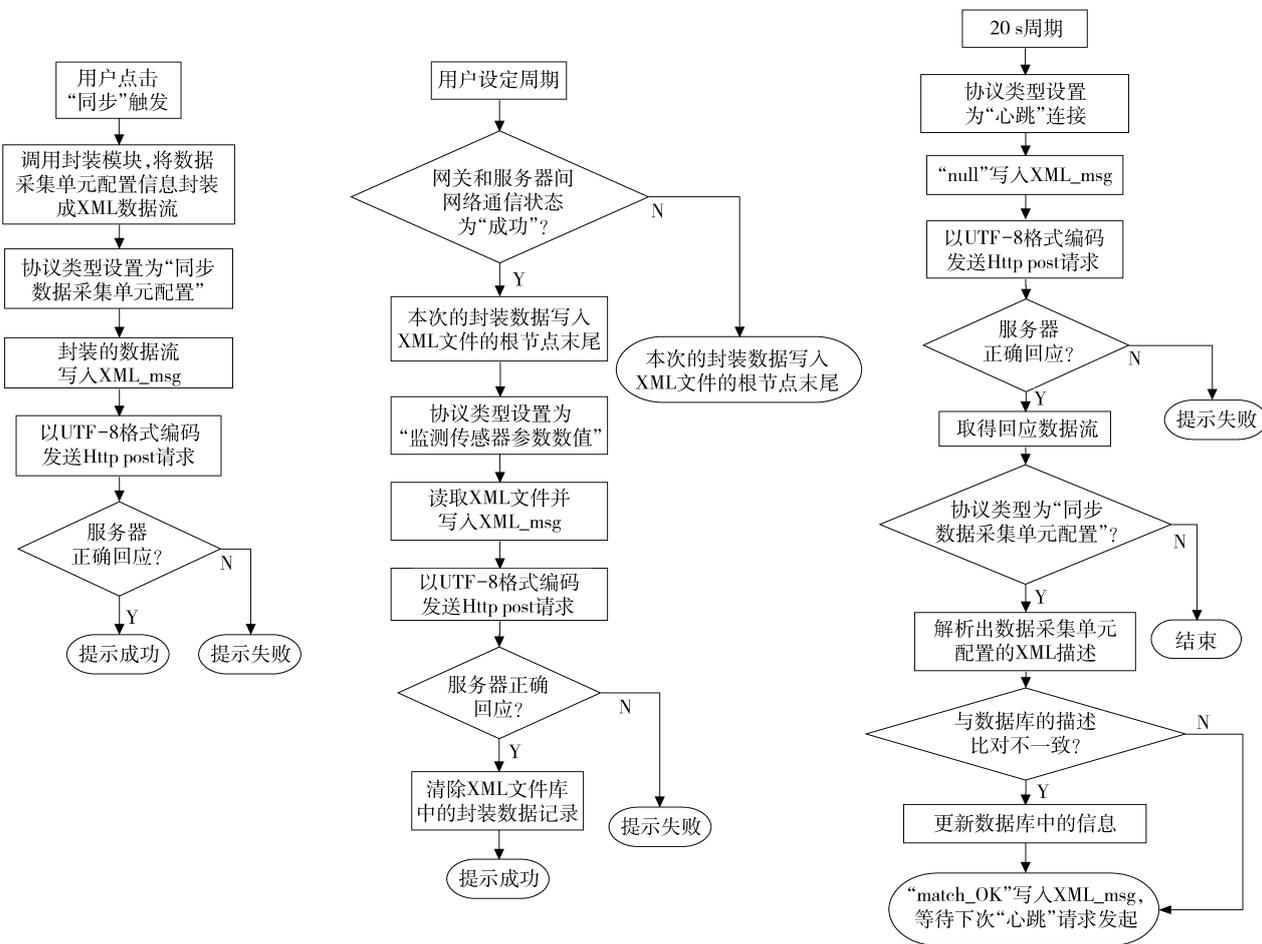


图 3 网关的数据同步工作流程

Fig. 3 Process of data synchronization in gateway

## 2.2 Web 服务器应用软件

以 Eclipse 为开发工具, 结合 GWT 开发插件包为开发环境, Java 为开发语言, 实现 B/S 结构的 AJAX 交互式网页应用<sup>[22]</sup>。软件模块主要包括数据采集单元配置、温室环境信息监测界面生成、数据同步通信、故障报警等。

### 2.2.1 数据采集单元配置

根据用户在浏览器上输入的数据采集单元的基本信息进行注册, 浏览器前端将数据发送至服务器

后台并存储至 MySQL 数据库。

### 2.2.2 环境信息监测界面生成

浏览器前端通过 GWT 的远程方法调用接口向服务器请求数据, 实现 AJAX 技术的交互式网页界面更新。请求查询数据库中的数据采集单元配置信息表中的“监测传感器参数 ID”、“地点”、“参数名称”、“单位”、“最小值”、“最大值”等描述等信息。

浏览器前端的实时数据监测界面根据“地点”描述进行类型归类, 每类作为温室环境的监测区域

标题,再判断属于某一“地点”下的所有“监测传感器参数 ID”和所对应“监测传感器参数名称”、“单位”、“最大值”、“最小值”。同时浏览器前端周期性地向服务器请求“监测传感器参数 ID”对应的温室环境监测最新数据值,最终填充至浏览器前端指定的 View 组件中,进而显示温室环境实时监测界面。

浏览器前端的历史数据界面的生成主要是根据“地点”归类的每一项生成下拉列表的每一项,设置下拉列表每一项选中后进行监听,当被选中则向服务器后台查询本“地点”下的所有监测传感器 ID 以

及对应的名称,作为控件按钮的显示名称,设置控件按钮的点击监听操作,当被点击后,根据用户输入的查询时间段,向服务器后台查询监测传感器参数 ID 对应的历史数据,显示至表格中,并显示历史数据趋势图。

### 2.2.3 数据同步通信

服务器使用 HttpServlet 的 doPost() 方法接收智能网关发起的 Http post 请求,提取请求的协议类型进行判断,主要包括 3 种处理类型,软件流程如图 4 所示。

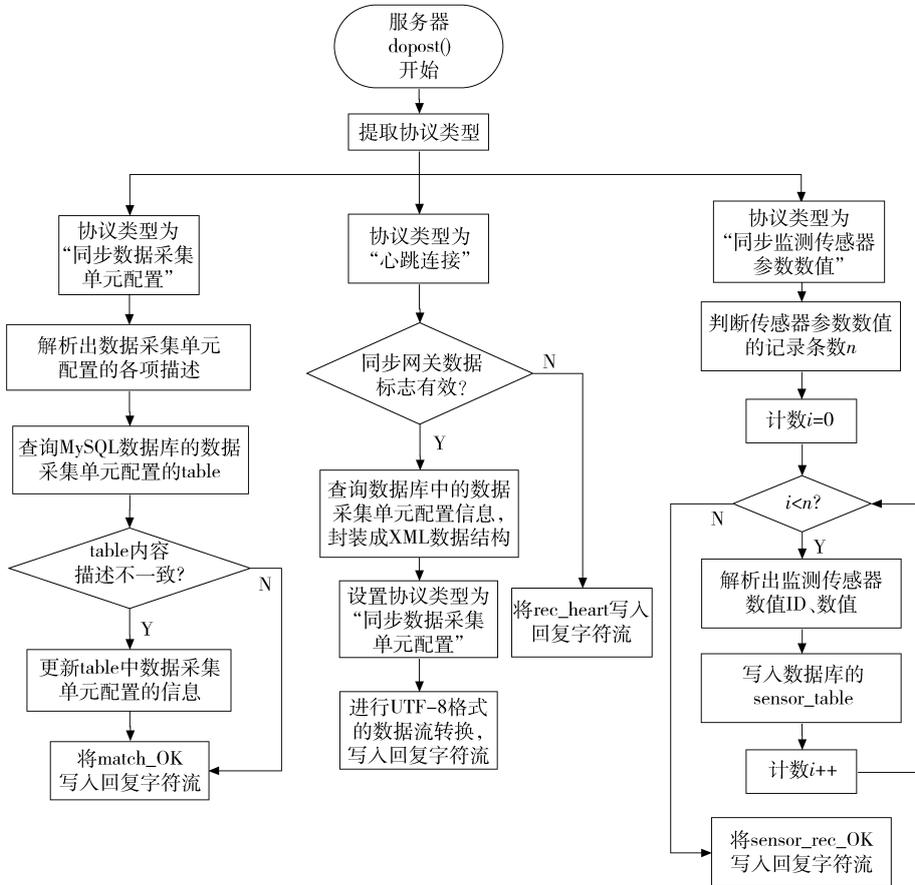


图4 服务器的数据同步工作流程

Fig.4 Process of data synchronization in server

(1)当协议为“同步数据采集单元配置”信息,则对消息内容基于XML编程工具解析出数据采集单元配置的各个描述信息,更新数据库中数据采集单元配置表格,“match\_OK”写入回应数据流。

(2)当协议为“心跳连接”时,判断浏览器前端是否有点击“同步”按钮后发送至服务器后台的同步网关数据采集单元配置的命令标志,有则将数据进行XML数据结构的描述封装,并设置协议类型为“同步数据采集单元配置”,转换成字符串后写入回应数据流中。

(3)当协议为“同步监测传感器数值”时,判断封装数据(封装的XML数据<SV<子节点)的

记录数,通过软件的循环,从上到下对逐条数据内容通过XML编程工具解析出各监测传感器参数ID和对应的数值,写入MySQL数据库的传感器数值表格,直至完成后“sensor\_rec\_OK”写入回应数据流。

### 2.2.4 故障报警

查询数据采集单元配置表中的温室环境监测传感器参数的上、下限、以及固定时间段内的变化率,监测传感器参数的变化必须在这三者的范围之内,否则在浏览器前端进行报警提示,并结合Twilio提供的通讯模块API,以短信形式将故障信息发送到指定用户的手机号码。

### 3 系统实际应用

利用本系统在江苏大学实验温室进行试验,使用昆仑海岸公司的温湿度传感器、CO<sub>2</sub> 变送器、光照度变送器、土壤湿度作为温室内环境信息采集的传感器,采用北京富奥通科技的 FRT-LC 智能自动气象站采集温室外气象信息。数据采集单元采用顺舟科技 SZ06 系列产品,数据采集单元与传感器之间使用 RS-485 通信获取监测传感器数值。数据采集单元与汇聚节点形成 ZigBee 无线网络,实现一定范围内的无线传输,数据采集单元采用固定周期的主动上报方式。智能网关与 ZigBee 汇聚单元之间串口通信速率为 9 600 bps,二者部署在温室基地附近的机房中。GWT 应用程序以 Tomcat 作为 Web 应用服务器并运行花生壳域名解

析软件部署在江苏大学现代农业装备技术实验室服务器中。

#### 3.1 网络节点配置

监测传感器参数的数据流协议对系统是已知的,在智能网关或者浏览器前端网页的数据采集单元配置界面上输入如表 2 所示的配置信息并保存,其中单个数据采集单元(空气温湿度、自动气象站)采集多个传感器监测参数,在系统应用中需配置成同个数据采集单元 ID,不同的监测传感器参数 ID,正确配置好监测传感器参数数值在通信数据流的起字节、终字节信息。以表中 E1 节点为例,光照度采集的 16 进制数据流为(E1 04 04 00 01 86 A0 C8 5C),光照度为该数据流的第 4~7 字节即 000186A0(hex),数值转换系数为 1,结合单位可知光照度为 100 000 lux。

表 2 数据采集单元配置信息

Tab. 2 Data acquisition unit configuration information

数据采集单元 ID	监测传感器参数名称	监测传感器参数 ID	单位	地点	监测参数的始字节	监测参数的终字节	数值转换系数	监测参数最小值	监测参数最大值
F1	空气温度	F11	℃	东温室	4	5	0.1	0	60
F1	空气湿度	F12	%	西温室	6	7	0.1	10	99
F2	空气温度	F21	℃	东温室	4	5	0.1	0	60
F2	空气湿度	F22	%	西温室	6	7	0.1	10	99
C1	CO <sub>2</sub> 浓度	C1	μL/L	东温室	4	5	1	100	2 000
C2	CO <sub>2</sub> 浓度	C2	μL/L	西温室	4	5	1	100	2 000
E1	光照度	E1	lux	东温室	4	7	1	0	200 000
E2	光照度	E2	lux	西温室	4	7	1	0	200 000
D1	土壤湿度	D1	%	东温室	4	5	0.1	5	100
D2	土壤湿度	D2	%	西温室	4	5	0.1	5	100
A1	风向	A11	°	温室外	3	3	1	0	360
A1	温度	A12	℃	温室外	4	5	0.1	-20	60
A1	湿度	A13	%	温室外	6	6	1	10	99
A1	风速	A14	m/s	温室外	7	7	0.4	0	10
A1	雨量	A15	mm	温室外	9	10	0.01	0	1 000
A1	UVI	A16		温室外	11	12	1	0	10 000
A1	光照度	A17	lux	温室外	13	15	1	0	200 000

#### 3.2 数据同步

服务器与智能网关以 Http post 传输机制实现了数据采集单元配置信息的数据同步,及其监测传感器参数数值的数据同步,工作流程如图 5 所示。

在服务器或者智能网关的任何一方软件界面上增加、减少或者修改数据采集单元配置信息后,点击同步按钮,被同步方则会实现各自数据库中的数据同步更新。本文设定智能网关以 5 min 的时间周期将各监测传感器参数数值信息同步到服务器的 MySQL 数据库中。

#### 3.3 温室环境监测界面生成

采集单元配置信息同步后,智能网关和服务器

应用程序重新运行,首先查询数据库中的数据同步单元配置表格,判断地点的类型,有东温室、西温室、

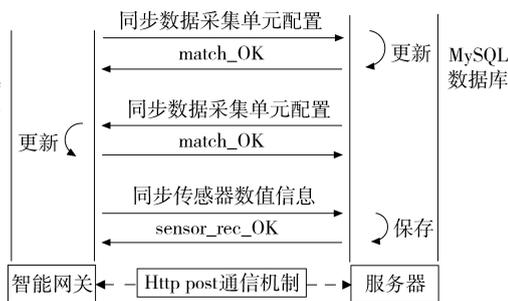


图 5 数据同步流程

Fig. 5 Process of data synchronization

温室外。再根据各个地点下的监测传感器参数名称、单位、监测传感器参数 ID,根据预先设定的界面显示风格,对号地填充到指定的界面组件。并实时查询监测传感器参数 ID 所对应的数值信息更新到界面的指定位置。图 6a 为基于 Android 系统的智能网关生成的温室环境实时监测界面,图 6b 为基于 GWT 的浏览器前端生成的温室环境实时监测界面,二者的界面显示风格不同。

### 4 系统性能测试

将西温室的土壤湿度传感器移动到东温室进行采集,在浏览器的数据采集单元配置界面上将西温室的土壤湿度修改成属于东温室,名称设定为“土壤湿度二”,同步智能网关数据后,则双方的监测界面重新进行了更新,ZigBee 网络解析模块也自适应地处理该节点的解析和数据存储,监测传感器参数的数值在新界面模式实时更新,如图 7 所示。同样



(a)



(b)

图 7 监测界面新生成

Fig. 7 New generation of monitoring interface

(a) 智能网关 (b) 浏览器前端

为验证系统的稳定性,进行了为期 7 d 的试运行,每隔 5 min 存储一次温室环境监测传感器参数的数值并与服务器进行数据同步。运行期间,将服务器的网络从 12:00 ~ 14:00 断开 2 h,网络恢复前的 sensorvalue.xml 文件总体内容为

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8' standalone='yes' ?>
<MSG> //根节点
<SV> //一次封装数据
</SV>
<SV> //一次封装数据
<F11>35.3</F11><F12>69.1</F12><F21>34.8</F21><F22>67.2</F22>
<C1>580.0</C1><C2>498.0</C2><E1>23720</E1><E2>25439</E2>
<D1>76.1</D1><D2>65.1</D2><A11>165</A11><A12>26.1</A12>
<A13>46.0</A13><A14>0.1</A14><A15>0</A15><A16>1917</A16>
<A17>23960</A17><SVTime>201409221352</SVTime>
</SV>
<SV> //一次封装数据
<F11>35.2</F11><F12>69.0</F12><F21>35.0</F21><F22>67.1</F22>
<C1>598.1</C1><C2>476.0</C2><E1>23733</E1><E2>25467</E2>
<D1>76.0</D1><D2>65.9</D2><A11>232</A11><A12>26.1</A12>
<A13>46.0</A13><A14>0.1</A14><A15>0</A15><A16>1921</A16>
<A17>23979</A17><SVTime>201409221357</SVTime>
</SV>
</MSG>
```

每次未上传的封装数据插入到根节点<MSG>末尾,且保存了多条<SV>子节点封装的数据。

服务器网络恢复后,查看智能网关的 SQLite 数据库和服务器的 MySQL 数据库,进行各监测传感器参数历史数据比未对数据缺失现象。图 8b 为浏览器前端显示的东温室的空气温度历史数据趋势

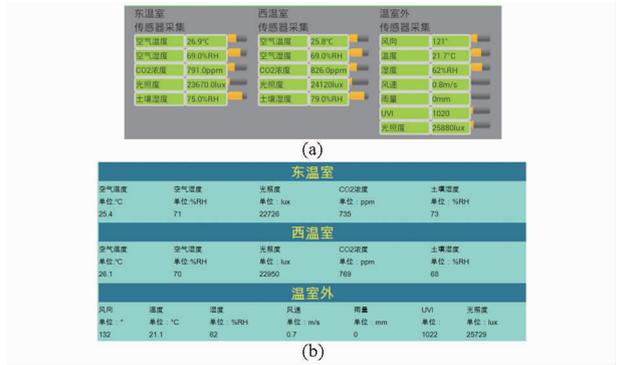


图 6 温室环境参数监测界面

Fig. 6 Real time monitoring of environmental parameters in greenhouse

(a) 智能网关 (b) 浏览器前端

地,在智能网关的数据采集单元配置界面进行配置,随后同步至服务器,二者监测界面同样进行更新,得到的效果和图 7 一致,有效地避免了监测传感器的变更导致应用程序界面的重新设计。

图,与图 8a 对比可看出,通信网络断开后,智能网关在本地文件存储了传感器数值的封装。通信网络恢复后,智能网关将网络中断期间的多条传感器数值封装上传至服务器,服务器进行多个传感器数值封装的数据进行解析并存储至数据库中。

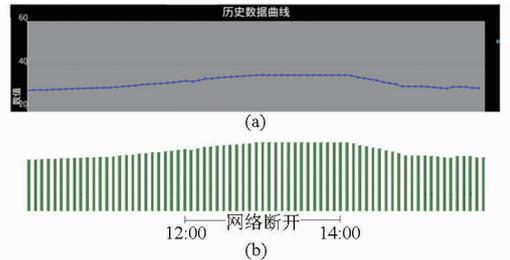


图 8 东温室空气温度历史数据

Fig. 8 Air temperature history data of east greenhouse

(a) 智能网关 (b) 浏览器前端

### 5 结束语

构建了温室物联网测控管理系统,包括 ZigBee 协议数据采集单元网络群、智能网关、远程服务器、用户浏览设备,开发了智能网关和 AJAX 服务器的应用程序,实现了以下 2 点功能。①智能网关和

B/S 模式服务器自适应地根据数据采集单元配置信息生成温室环境参数监测界面, 自适应地显示监测传感器数值和保存数据, 实现了温室物联网管理系统的环境监测。②智能网关和远程服务器采用 Http post 传输机制和 XML 封装数据的方法, 实现数据采

集单元配置信息、监测传感器参数的跨平台传输实现数据的同步。以上功能的实现以及系统的稳定运行, 有效地解决了温室物联网应用中, 动态增减传感器或者数据采集单元而造成系统配套应用软件的二次开发, 为农业信息的监测和管理提供了通用的平台。

### 参 考 文 献

- 李萍萍, 王纪章. 温室环境信息智能化管理研究进展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 236-243.  
Li Pingping, Wang Jizhang. Research progress of intelligent management for greenhouse environment information[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 236-243. (in Chinese)
- 阎晓军, 王维瑞, 梁建平. 北京市设施农业物联网应用模式构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 149-154.  
Yan Xiaojun, Wang Weirui, Liang Jianping. Application mode construction of internet of things (IOT) for facility agriculture in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 149-154. (in Chinese)
- 李莉, 李海霞, 刘卉. 基于无线传感器网络的温室环境监测系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 228-231.  
Li Li, Li Haixia, Liu Hui. Greenhouse environment monitoring system based on wireless sensor network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 228-231. (in Chinese)
- Díaz S E, Pérez J C, Mateos A C, et al. A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2): 252-265.
- 张猛, 房俊龙, 韩雨. 基于 ZigBee 和 Internet 的温室群环境远程监控系统设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊1): 171-176.  
Zhang Meng, Fang Junlong, Han Yu. Design on remote monitoring and control system for greenhouse group based on ZigBee and Internet[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(Supp. 1): 171-176. (in Chinese)
- 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 222-231.  
Ge Wenjie, Zhao Chunjiang. State-of-the-art and developing strategies of agricultural internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 222-231. (in Chinese)
- Francisco G Montoya, Julio Gómez, Alejandro Cama, et al. A monitoring system for intensive agriculture based on mesh networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 99(8): 14-20.
- 何勇, 聂鹏程, 刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 216-226.  
He Yong, Nie Pengcheng, Liu Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 216-226. (in Chinese)
- Li X, Cheng X, Yan K, et al. A monitoring system for vegetable greenhouses based on a wireless sensor network[J]. Sensors, 2010, 10(10): 8963-8980.
- Park D H, Kang B J, Cho K R, et al. A study on greenhouse automatic control system based on wireless sensor network [J]. Wireless Personal Communications, 2011, 56(1): 117-130.
- 张海辉, 朱江涛, 吴华瑞, 等. 通用农业环境信息监控系统 ReGA 网关设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 135-141.  
Zhang Haihui, Zhu Jiangtao, Wu Huarui, et al. Design of ReGA gateway for general agricultural environment information monitoring system[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 135-141. (in Chinese)
- Li Guohong, Zhang Wenjing, Zhang Yi. A design of the IOT gateway for agricultural greenhouse[J]. Sensors & Transducers, 2014, 172(6): 75-80.
- 熊迎军, 沈明霞, 刘永华, 等. 混合架构智能温室信息管理系统的设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊1): 181-185.  
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Liu Yonghua, et al. Design of intelligent greenhouse information management system with hybrid architecture[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 1): 181-185. (in Chinese)
- 高峰, 俞立, 王涌, 等. 无线传感器网络作物水分状况监测系统的上位机软件开发[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 175-181.
- 高峰, 卢尚琼, 徐青香, 等. 无线传感器网络在设施农业中的应用进展[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(5): 762-769.  
Gao Feng, Lu Shangqiong, Xu Qingxiang, et al. Wireless sensor networks and its application in facility agriculture[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(5): 762-769. (in Chinese)
- 刘锦, 张岩, 张荣辉. 基于物联网架构的温室环境监测系统[J]. 河北农业大学学报, 2013, 36(3): 115-119.  
Liu Jin, Zhang Yan, Zhang Ronghui. Greenhouse environmental monitoring system based on the structure of the internet of things [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2013, 36(3): 115-119. (in Chinese)
- 李慧, 刘星桥, 李景. 基于物联网 Android 平台的水产养殖远程监控系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 175-181.
- 陈凌, 王建东. 基于 GWT 技术开发 AJAX 应用的分析和研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 222-225.  
Chen Ling, Wang Jiandong. Analysis and research of AJAX applications based on GWT [J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(11): 222-225. (in Chinese)
- Edmund W Schuster, Stuart J Allen. Machine-to-machine communication for agricultural systems: An XML-based auxiliary language to enhance semantic interoperability[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 78(2): 150-161.
- 吴华瑞, 赵春江, 尹宝才, 等. 基于 XML 的农业专题空间数据同步模型[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊2): 7-12.
- 吴善财. Android 开发完全实战宝典[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- Ryan Dewsbury. Google Web Toolkit 应用程序开发[M]. 秦绪文, 李松峰, 译. 北京: 机械工业出版社, 2008.