

嵌入式 Web 远程粮情监控系统的研究与实现

Research and Implementation of Remote Grain Condition Monitoring System Based on Embedded Web

王树森^{1,3} 王希杰² 刘秋菊^{1,3} 王秋雨⁴

(重庆大学自动化学院¹,重庆 400044;安阳师范学院计算机与信息工程学院²,河南 安阳 455000;济源职业技术学院信息工程系³,河南 济源 459000;河南大学计算中心⁴,河南 开封 475001)

摘要: 针对粮情监控系统性价比低的现状,设计了一种远程粮情监控系统。裁剪并移植了以太网和 TCP/IP 协议栈,解决了 8 位微处理器运算速度低、储存容量小等问题;并通过重构嵌入式 Web 服务器和嵌入式网关来支撑操作系统。系统采用二进制移位和软件滤波算法实现了数据处理;采用字符储存和替换技术实现了嵌入式动态 Web 页面。实际测试表明,系统运行稳定可靠,具有较好应用前景和推广价值。

关键词: 粮情监控 TCP/IP 协议栈 Web 服务器 嵌入式网关 嵌入式 Web

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Abstract: Against the current status of low cost-effectiveness of the grain condition monitoring system, the remote grain condition monitoring system has been designed. To overcome the demerits of 8-bit microprocessor, e. g., low operation speed and small storage capacity, the Ethernet and TCP/IP protocol stack are cropped and transplanted. The embedded Web server and embedded gateway are re-built to support the operating system. In this system, binary shift and software filtering algorithm are adopted to implement data processing; and character storage and replacement technology are used to achieve embedded dynamic Web page. The practical test indicates that the system runs stably and possesses better applicable prospects and promoting values.

Keywords: Grain condition monitoring TCP/IP protocol stack Web server Embedded gateway Embedded Web

0 引言

随着电子信息技术的不断进步,新的测控技术和通信技术正在不断地被应用到粮仓管理中。人们将无线传感网络接入到传感器中^[1-5],实现粮情数据的无线采集;使用 CAN 总线进行节点数据传输^[4,6-7],建立基于 C/S 的粮情数据管理模式;使用 GPRS、GSM 和 CDMA 技术^[8-9],实现粮情数据的远距离传输;使用微机或嵌入式处理器^[10-11],实现基于 B/S 的粮情数据管理模式。这些技术都基于传统的上下位机通信模式,需要借助操作系统、数据库和专用的管理软件才能实现,性价比较低。

为提高远程粮情监控系统的性价比,本文采用传统的 8 位微处理器,将以太网和 TCP/IP 协议进行剪裁和移植。在无操作系统支撑的环境下,建立嵌入式 Web

服务器,成功实现了 Web 方式的远程粮情监控功能。

1 系统工作原理

1.1 粮仓环境

在粮仓中,粮食的表层和四壁粮温易受外界环境影温而产生较大波动,而粮仓中央部分的粮温基本不受外界环境温度的影响,粮温相对稳定。为了能检测到粮仓中所有位置的粮温变化情况,应在粮仓中埋入尽可能多的测温点。系统以 30 m×50 m 规格的房式粮仓为例进行设计,粮仓高为 6 m。粮仓温度检测点分布如图 1 所示,仓内粮间测温电缆为 5 行、7 列、4 层,140 个测温点,粮面测温点 1 个,外部测温点 1 个,共计 142 个测温点。粮面上部和粮仓外部湿度检测点各 2 个。由于使用磷化氢熏蒸杀虫,所有电缆必须密封处理。

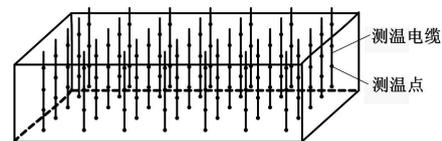


图 1 粮仓温度检测点分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of distribution of the temperature detecting points in granary

国家自然科学基金资助项目(编号:11001075);

河南省青年骨干教师基金资助项目(编号:2010GGJS-258);

济源市科技攻关基金资助项目(编号:12023030)。

修改稿收到日期:2012-11-06。

第一作者王树森(1973-),男,现为重庆大学控制工程专业在读硕士研究生;主要从事计算机网络与计算机控制的研究。

1.2 系统工作原理

1.2.1 系统结构

系统总体结构如图 2 所示,由数据采集模块、数据

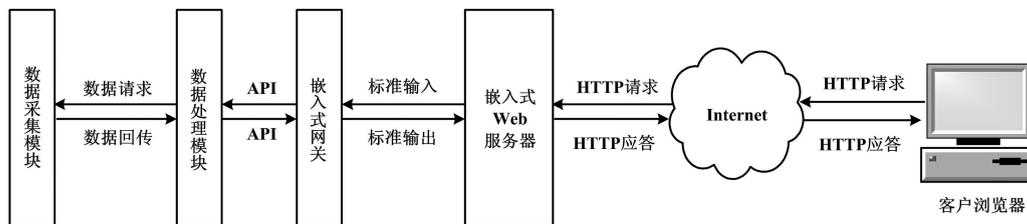


图 2 系统总体结构图

Fig.2 Architecture of the system

1.2.2 系统工作原理

系统上电后将自动采集各传感器的数据并进行处理。同时,服务器将不断查询来自 Internet 的访问请求。如果来自远端浏览器的访问请求是静态 Web 网页,则嵌入式 Web 服务器直接将静态 Web 网页返回给远端浏览器;如果访问请求是动态 Web 网页,则通过嵌入式网关查询网页中需要的数据,嵌入式 Web 服务器根据查询的数据产生动态 Web 网页,再将动态 Web 网页返回给远端浏览器。如果查询的是实时数据,则需要调用数据采集模块,重新遍历各传感器,并完成计算、存储等操作后返回查询结果。

嵌入式 Web 服务器和客户浏览器的连接服务由 TCP 协议层负责,Web 服务器发送的 Web 网页由 IP 协议层进行 IP 数据包封装处理,然后交付以太网层形成以太网数据帧。以太网数据帧交付网卡发送到物理网络上。

2 硬件系统设计

系统硬件由微处理器、传感器、以太网接口卡和其他部件组成,硬件组成如图 3 所示。

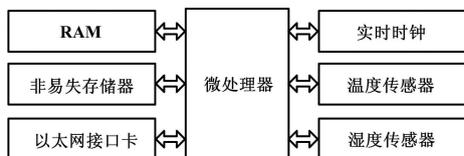


图 3 硬件系统结构框图

Fig.3 Structure of the hardware system

2.1 微处理器和通信接口设计

微处理器负责整个系统的控制与运算功能,运行网络通信协议和其他程序。系统选用 SST89E516RD2 单片机。该单片机内部集成了两块(64+8)kB 的超级 Flash,不需要外接程序存储器就能满足嵌入式 TCP/IP 协议和 Web 网页存储的要求。

处理模块、嵌入式网关和嵌入式 Web 服务器等构成。嵌入式 Web 服务器可接入 Internet,通过远端浏览器访问。

以太网接口卡电路负责将系统接入 Internet。系统选用 RTL8019AS,它集成了以太网的物理层和介质访问控制子层,数据宽为 8 位或 16 位,总线速度为 1 Mbit/s,与 8 位微处理器连接极为方便。该网卡内部集成了 16 kB 的双口高速 SRAM,用于数据帧收发缓冲,可降低对微处理器的速度要求。

2.2 传感器接口设计

粮温温度传感器选用 1-Wire 总线技术的 DS18B20。DS18B20 能自动完成温度检测,以数字信号形式将温度数据传输给微处理器。每根 I/O 线上最多可以挂接 256 个 DS18B20。系统将粮间测温点分成 5 组,每组有 28 个测温点,分别连接单片机的 P_{1.0}、P_{1.1}、P_{1.2}、P_{1.3} 和 P_{1.4} 引脚。为避免反复搜索,提高系统效率,将 DS18B20 的 60 位光刻 ROM 和 DS18B20 所在的物理位置信息建立映射关系,并将这一映射关系存储在非易失性 ROM 中,以便独立控制每个 DS18B20。

湿度传感器选用 SHT21,它是瑞士 Sensirion 公司最新推出的新一代数字化温、湿度传感器,采用标准的 I²C 总线接口,湿度测量范围为:0~100%;温度测量范围为:-40~+120℃。相对湿度转换公式和温度转换公式分别为:

$$RH = -6 + 125S_{RH}/2^{16} \quad (1)$$

$$T = -46.85 + 175.72 \times S_T / 2^{16} \quad (2)$$

式中: S_{RH} 为 SHT21 的相对湿度输出信号量; S_T 为 SHT21 的温度输出信号量。

2.3 存储器接口设计

由于系统需要存储 140 个 DS18B20 温度传感器的位置(占 1 B)和 64 位光刻 ROM 的信息,则需要 $9 \times 140 = 1260$ B。140 个 DS18B20 测温度数据(占 2 B),需要 $2 \times 140 = 280$ B。SHT21 测量的粮仓室内外温湿度数据(占 8 B)。如果按每天保存一次平均粮温(占 2 B)和时间戳(年、月、日和时,共占 8 B),至少保存 30 天的数据记录,

需要 $1 \times 30 = 300$ B。共计需要存储至少 $1\ 260 + 280 + 8 + 300 = 1\ 848$ B 的信息。系统选用具有 I²C 总线接口的 AT24C16 非易失性数据存储器件,它有 2 kB 的 EEPROM 空间,完全可以满足系统需要。RAM 选用低功耗静态存储器 62256,它具有 32 kB 存储空间,可以存储 2 个最大的以太网帧。

2.4 实时时钟系统

实时时钟为系统提供实时时钟信息,为采集的数据加盖时间戳。本系统选用简单易用的 DS1302,并使用锂电池作为备份电池。

3 软件系统设计

3.1 软件系统工作流程

软件系统工作流程如图 4 所示。

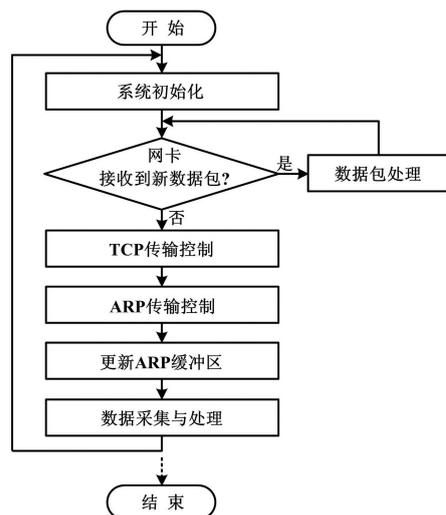


图 4 软件系统工作流程图

Fig. 4 The flowchart of software system

系统上电后首先进行网卡、传感器等硬件设备的初始化。然后网卡对接收缓冲区的数据进行读取,如果有新的数据包到达,调用 TCP/IP 协议栈的相关程序进行数据包处理;如果无新的数据包到达,则对 TCP 和 ARP 传输进行控制,保障数据通信畅通。完成网络通信后,最后读取传感器采集温、湿度数据,并将采集到的数据做相应的处理。整个过程不断循环进行。

3.2 嵌入式 TCP/IP 协议栈的裁剪与移植

标准的 TCP/IP 协议栈实现机制比较复杂,8 位微处理器的存储能力和运算能力不能满足,必须裁剪标准的 TCP/IP 协议栈。裁剪后的协议栈主要实现以太网数据收发、ARP 解析、IP 数据包传输、ICMP 的 Ping 应用、TCP 传输和 HTTP 等服务功能。嵌入式 TCP/IP 的工作原理如图 5 所示。

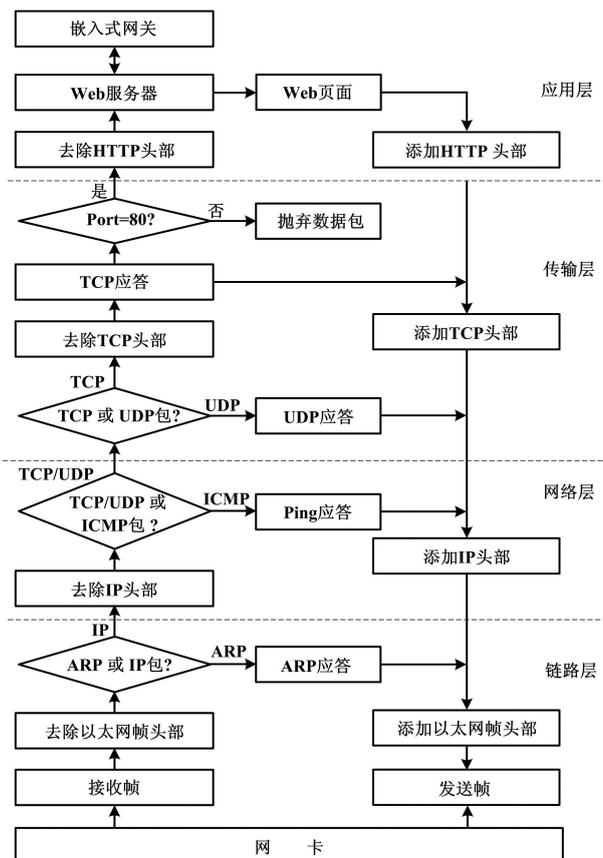


图 5 嵌入式 TCP/IP 工作原理图

Fig. 5 Operating principle diagram of embedded TCP/IP

3.2.1 以太网数据帧收发

通过网卡接收来自以太网的数据帧,校验后去除以太网帧头,交付网络层或 ARP 使用。将来自网络层的 IP 报文或 ARP 响应帧封装成以太网数据帧,通过网卡发送到以太网上。

3.2.2 IP 报文收发

将来自以太网的 IP 报文转交 ICMP、UDP 或 TCP 使用。将来自 ICMP、UDP 或 TCP 的报文封装成 IP 报文交付数据链路层。ICMP 完成网络连通性测试 (Ping)。TCP 完成端到端的通信连接管理,为应用层的 HTTP 提供服务。

3.2.3 应用层的运行与管理

应用层实现嵌入式 Web 服务器的运行与管理。根据客户端的服务请求,将静态和动态网页封装成数据包,交付 TCP 传输到客户端。同时,调用嵌入式网关接口 (embedded gateway interface, EGI) 完成网页中,数据更新并生成新的动态网页。

3.3 嵌入式 Web 服务器

嵌入式 Web 服务器系统结构如图 6 所示。当用户访问基于 Web 的监控系统时,需要通过浏览器向

Web 服务器的 HTTP 服务发送 HTTP 请求,HTTP 服务根据浏览器请求查找相应的页面并返回给用户。当浏览器请求静态 Web 页面时,直接将存储在系统中的静态页面返回给浏览器;当浏览器请求动态 Web 页面时或对系统控制操作时,需要调用嵌入式网关 (EGI) 与系统硬件 (传感器、执行器等) 交互并将需要的数据交付 EGI,由 EGI 生成动态 Web 页面。

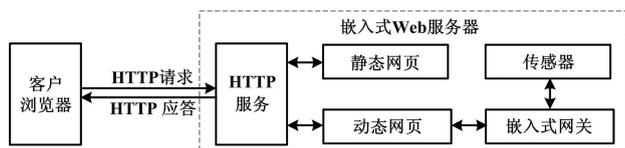


图 6 嵌入式 Web 服务器系统结构

Fig. 6 Architecture of embedded Web server

3.4 嵌入式 Web 网页

3.4.1 JavaScript 脚本语言

Web 网页是采用 HTML 描述的文本文件。在 Web 网页的文本文件中,使用 HTML 规定的标记符号来标记网页中需要呈现的内容,例如:文字的位置、大小和颜色等。浏览器负责解释 Web 网页中的标记符号并显示其标记的内容,而 HTML 标签并不会显示出来。在 8 位微处理器下,不能运行专用的 Web 服务器,只能将数据的运算、显示效果等复杂的操作放到客户端运行。

在 HTML 中经常使用插入脚本语言的方法来实现网页动态变化的效果,JavaScript 脚本语言在客户端运行,不占用服务器的 CPU 资源,非常适合在嵌入式系统中使用。

3.4.2 嵌入式 Web 网页存储技术

采用 HTML 标记语言和 JavaScript 脚本语言编写的网页,是以文本文件的形式存储在服务器上的,只有将其加载到客户端的浏览器中,浏览器的解释程序被解释后才能将网页中的元素显示出来。文本文件的网页不需要被编译成机器码,而是以文本形式存储、传输的字节码。在嵌入式 Web 服务器上,由于不使用操作系统,网页无法以文件形式存储。由于客户端浏览器需要的是字节码,所以只要将网页内容以字节码形式存储在嵌入式 Web 服务器上,当客户端请求网页时,将网页字节码传输给客户端即可。在嵌入式 Web 服务器上,能以字节码存储数据的最好方法是数组。在设计系统软件时,将设计好的网页以字符代码数组形式存储在程序存储器中。需要传输网页时,只需要读取该数组的值即可。

3.4.3 嵌入式网关接口

标准的 CGI 应用程序因为涉及大量字符串处理,通常运行在多用户操作系统中。在 8 位微处理器的嵌

入式系统中,由于资源的限制,无法完全实现标准的 CGI 应用程序。在不能使用数据库和专用 Web 服务器情况下,为了解决服务器与客户端进行数据交换的问题,需要根据嵌入式环境的要求设计新的网关程序,称为嵌入式网关接口 (EGI)。

本系统设计的 EGI 采用 C51 语言编写,运行在嵌入式 Web 服务器上,主要实现控制传感器采集数据、生成动态 Web 页面等任务。EGI 根据客户端请求内容的不同,执行不同功能的 EGI 服务程序。当收到采集新数据的指令后,系统调用数据采集的 EGI 程序,驱动传感器工作,并将采集结果返回给请求的客户端。当需要控制系统工作时,控制执行器的 EGI 程序,按照用户指示控制执行器动作。当需要更新 Web 页面中数据元素时,就调用数据更新 EGI 程序。

3.5 算法设计

3.5.1 数据滤波算法

常见的软件滤波算法有限幅滤波法、中值滤波法、算术平均滤波法、滑动平均滤波法和限幅平均滤波法等。由于系统采集的是温湿度等慢变物理参数,且取值范围基本确定。

为克服应传感器异常而引起的采样误差,系统采用中值滤波法和限幅滤波法的复合滤波算法。系统将采集的数据限定在一个合理取值范围内,如果就数据超出范围就丢弃。由于系统采集点较多,采样的样本点选为 3 次。就这种复合滤波算法运算量较小、算法复杂度低,易于在由 8 位微处理器构建的嵌入式系统上实现。

3.5.2 数据存储算法

① 粮温测量点数据结构设计

将粮间的 5 行、7 列、4 层的 140 个测温点分成了 5 组,每组 28 个 DS18B20 挂接在同一个 I/O 口上。将同一组的 DS18B20 的位置、光刻序列号和温度值作为一个基本数据,其存储结构体定义如下。

```

typedef struct
{
    unsigned char row_layer;
        //高位 4 位列号和低位层号,用 BCD 码表示
    unsigned char DS18B20_number0;
        //DS18B20 序号第 0 个字节
    .....
    unsigned char DS18B20_number1;
        //DS18B20 序号第 1 个字节
    unsigned char previous_T_MSB;
        //上次温度值高字节,原始值
}
DS18B20;
    
```

② 空间温湿度测量点数据结构设计

室内外温、湿度数据单独使用 SHT21 进行采集,其数据存储结构体定义如下:

```
typedef struct
{
    unsigned char row_layer;
    //“0”表示室内,“1”表示室外
    unsigned char current_T_LSB;
    //当前温度值低字节,原始值
    .....
    unsigned char previous_RH_MSB;
    //上次湿度值高字节,原始值
}
SHT21;
```

3.5.3 平均粮温计算方法

由于采集的数据量较大,属于大样本点数据处理,宜采用分组计算均值的方法。在 8 位微处理器上进行浮点运算比较慢,分组不宜太大。二进制数右移 1 位,相当于该数除以 2,在不考虑余数的情况下,使用移位操作可以加快计算速度。试验表明,将数据分为 8 组是较为合适的分法,其运算公式为:

$$Y = x_1/8 + x_2/8 + \dots + x_8/8 \quad (3)$$

如果 x_i 按二进制数运行,只需要将其右移 3 位,然后将其累加到 Y 上,再把所有分组 Y 累加起来就可以得到总得平均值。这样可以降低 CPU 的运算量,提高系统处理速度。

3.5.4 动态网页生成算法

对 Web 页面中数据元素的读取和更新的主要方法是“字符查找”和“字符替换”法。由于网页是以字符型数据类型存储的,只能以字符串形式操作。读取指令或数据时,需要从接收 HTTP 请求的报文中查找相关的字符串。当需要更新网页元素时,先查找被更新元素的字符所在位置,然后用新的网页元素替换旧的网页元素,如果替换的是非字符型元素,需要先将其转换成字符型元素。

4 系统实现与测试

4.1 测试环境描述

在粮库的实际测试中,使用粮库已埋设好的测温电缆。在 KeilC51 集成开发环境下,使用 C51 编写程序。使用网络测试工具软件 Sniffer Pro 捕获通信数据包、分析网络通信协议,进行网络协议裁剪与移植的调试。使用专业网页开发工具软件 Dreamweaver CS4 设计制作嵌入式网页,使用 IE 浏览器调试和测试粮情监控系统的 Web 页面。

4.2 测试结果分析

为便于灵活设置系统参数、监控粮情信息,系统主要实现了用户登录管理、系统参数设置、综合粮情信息查询和各粮温点明细查看等嵌入式 Web 页面。

系统开发完成后,在某粮油公司的粮库进行了实地运行测试。测试结果证明了此粮情监控系统的准确性与可靠性。

5 结束语

本文所设计的嵌入式 Web 远程粮情监控系统以 8 位微处理器为核心,选用数字化传感器,设计了系统的硬件平台。剪裁并移植了嵌入式网络通信协议。设计了嵌入式 Web 服务器和粮温信息管理页面。

系统实际运行表明,设计的嵌入式 Web 粮情监控系统稳定、可靠,可以满足国家关于粮情监控的技术规范和要求。但由于受嵌入式动态网页制作技术的限制,数据下载、报表打印和数据曲线绘制等功能没有实现,这也正是 8 位微处理器下嵌入式 Web 技术发展的关键技术和瓶颈,这些问题的顺利解决,将会进一步推动 8 位微处理器下嵌入式 Web 技术的推广和应用。

该系统的实现,对嵌入式 Web 技术在远程控制方面具有广泛应用和推广价值。

参考文献

- [1] 何联平,张超明. 无线粮情测控系统在我库的应用[J]. 粮油仓储科技通信,2009(3):17-18.
- [2] 李建奇,曹斌芳,王文虎. 基于 WSN 的粮情监测系统 LEACH 改进协议研究与应用[J]. 计算机测量与控制,2012,20(5):1179-1181.
- [3] 常春波. 基于无线传感器网络的粮情监测系统[J]. 广东通信技术,2011(3):46-49.
- [4] 樊超,杨铁军,张德贤,等. 基于 Zigbee 和 GPRS 相结合的粮食数量无线监控系统设计[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2012,33(1):69-74.
- [5] 李建奇,李宇航,何鹏,等. 基于无线传感器网络的粮仓粮情监控管理系统研究[J]. 广东农业科学,2011,38(22):162-165.
- [6] 孙康岭,徐遵义. 基于 CAN 与 Ethernet 接口的粮情通信分机[J]. 仪表技术与传感器,2011(4):87-89.
- [7] 姜重然,陈文平,徐斌山. 基于 CAN 总线分布式粮情管控系统的研究与设计[J]. 低压电器,2010(7):49-51.
- [8] 咸金龙,羊阳. 基于 GTM900 的粮情远程测控系统的研究与实现[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2011,32(10):79-82.
- [9] 孙鹏,梁宝生. 基于无线传感器网络的粮情监测系统的设计与实现[J]. 电子设计工程,2012(12):135-141.
- [10] 杨铁军,李旭东. AJAX 技术在粮情测控系统中的应用研究[J]. 农机化研究,2011(7):181-185.
- [11] 陈中孝,蒋军胜. 基于 Web 的粮情测控系统的设计及实现[J]. 现代电子技术,2012(12):72-73.