

基于电力线载波 通信技术的智能家居系统

祁明晰¹, 祁 昶², 黄天成²

(1. 武汉科技大学 城市建设学院, 湖北 武汉 430070;

2. 武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: 提出了一种标准的、易于实现的智能家居系统方案。详细说明了智能家居系统的结构、嵌入式的 LonWorks 智能控制节点硬/软件设计及嵌入式 Web 服务器硬/软件设计。智能家居系统利用总线技术和嵌入式技术将家用电器设备集成到一个家庭内部网络中, 并利用 220 V 电力线为网络通信总线, 实现了信息线路与动力线路并线的电力线载波通信。

关键词: 智能家居; 总线技术; 嵌入式技术; 电力线载波通信; 远程访问

中图分类号: TM 925

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2005)03-0072-04

1 智能家居系统结构设计

基于电力线载波技术构建的智能家居系统^[1]包括灯光、家电、采暖通风、安防报警四个智能控制子系统。各子系统有以下功能。

a. 灯光控制系统是完成对家中所有照明设备的开、关、亮度调节及状态显示。

b. 家电控制系统是完成对家中所有家电的统一控制和管理。

c. 温度采暖及通风控制系统可以根据外界的变化, 自动调节家里的电动窗帘的开度, 抽风机或换气扇的启停, 空调的启停与温度设定等。

d. 安防报警系统中的防盗报警功能是具有安全防范功能, 当坏人破门而入时, 本系统自动鸣笛报警的同时, 通过您设定的手机或电话通报用户并拨通所在小区的报警电话; 火灾报警功能是当安装在家中的烟雾传感器检测到危险信息时, 本系统自动鸣笛报警的同时, 通过您设定的手机或电话通报用户并拨通火警电话; 防煤气泄漏功能是在家中安装燃气感应器, 实时监测是否有煤气泄漏的危险信息, 当出现煤气泄漏时, 系统自动关闭煤气阀门并向 Web 服务器发送报警信息; 报警解除功能是在家中您可以通过综合控制器单键设防/撤防报警系统, 不在家中时, 您也可通过因特网访问家中的 Web 服务器对确定的误报警进行解除。

该智能家居系统依照其通信方式是一个两层体系结构系统, 系统结构如图 1 所示。上层为中心控制层包括嵌入式 Web 服务器、中心控制器和家用电脑, 下层为 LonWorks 现场总线层包括所有的家用电器控制、视频监控、燃气控制、照明控制、通风控制等单元。

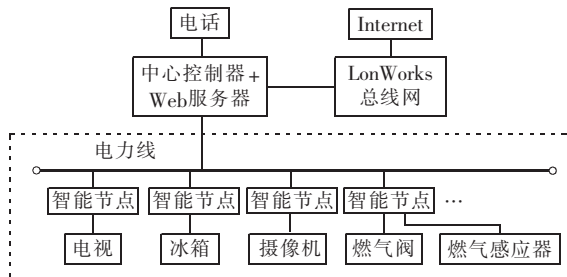


图 1 智能家居系统结构图

Fig.1 The architecture of home automation system

中心控制层中的中心控制器是住宅内部网络的中心管理单元, 接收住户的控制指令。而嵌入式 Web 服务器和家用电脑则将住宅内部网络接入 Internet, 使得该智能家居系统具有了远程监控功能。住宅中安装的所有电器设备都通过嵌入式的 LonWorks 智能控制节点挂接到家庭中的 220 V 电力线上, 形成一个以 LonWorks 现场总线为平台的控制和监测网络。利用标准的嵌入式的 LonWorks 智能控制节点, 该总线可兼容来自不同公司或生产厂家的电器设备。采用现场总线结构组建监控网络可方便地去除和增加控制节点, 而且将对电器设备的控制分散到了各个智能控制节点中, 实现了真正意义上的集中管理和分散控制^[2]。

众所周知, 住户在搬入住宅后首先铺设的就是 220 V 电力线路, 传统的智能家居系统为完成对电器设备的控制和监测功能还必需铺设专门的通信线路, 而直接采用通信线路和动力线路并线的方式则节省了通信线路的铺设费用。因此, 采用住宅中的民用 220 V 电力线作为现场总线通信的物理传输介质可大大降低智能家居系统的安装成本。采用民用 220 V 电力线为通信传输介质的现场总线结构使得该智能家居系统具有很强的通用性和兼容性, 可大

大降低系统的初期投入,更可方便系统后期的更新和维护。住户如想添置设备只要购买一个标准的嵌入式 LonWorks 智能控制节点就可将新设备挂接到住宅中的控制网络上。

2 嵌入式智能控制节点设计

同工业测控系统一样,智能家居系统也是一个复杂的控制系统。其中包括了各种各样的被控设备,如各种来自不同厂家或公司的家用电器、照明、燃气阀门、燃气报警器、视频摄像头等设备,利用 LonWorks 总线为统一的通信平台,将这些设备组成网。虽然这是一个不错的办法,可是如何将这此电器设备连接到 LonWorks 总线上就成了系统首先要解决的问题。在 LonWorks 总线和电器设备之间必须要有一个智能控制单元或者称为智能接口。该智能控制单元不但完成对电器设备的本地控制,而且还必须可接收来自 LonWorks 总线的控制指令和向中央控制单元发送该电器设备采集的各种实时状态量如电流、电压、温度等。

2.1 智能控制节点的硬件结构

采用 PLT-22 电力线收发器和神经元芯片 Neuron C 3150 是构建电力线智能控制节点的廉价解决方案。PLT-22 电力线收发器提供一种简单廉价的方法把 LonWorks 电力线技术应用到控制系统及智能家居系统中。网络数据在电力线上以广播形式发送,不需使用专线从而降低了安装成本。Toshiba 公司生产的 3150 神经元芯片是一种集 3 个 8 位 CPU 及网络通信协议(LonTalk 协议)为一体的芯片。采用该芯片构成的智能控制节点在智能家居网络中起着举足轻重的作用,它能使电器设备之间相互通信,快速地交换信息,以满足系统实时监控住宅中的各种家电设备的要求^[3]。

用 PLT-22 电力线收发器和神经元芯片 Neuron C 3150 构建电力线智能节点需要以下外部组件。

a. 片外存储器采用 Atmel 公司生产的 AT 29 C 256(FLASH 存储器)。AT 29 C 256 共有 32 kByte 的地址空间,其中低 16 kByte 空间存放神经元芯片的固件(包括 LonTalk 协议等)。高 16 kByte 空间作为节点应用程序的存储区。采用 ISSI 公司生产的 IS61C256 作为神经元芯片的外部 RAM。

b. 耦合电路是用作电力线收发器和输电干线之间的简单高通滤波器,采用简单的电感电容电路完成。

c. 电源电路为神经元芯片和电力线收发器提供 +5 V 直流电源,包括 220 V 插头、2 A 保险丝、变压器、整流桥、7805 稳压芯片、滤波电容。

d. 节点复位电路为神经元芯片 3150 和电力线收发器 PLT-22 提供复位服务。

e. I/O 接口电路为完成对家用电器的控制,还需要根据要求设计出不同的接口电路。

该部分可以采用背板式设计,便于灵活更换。嵌入式智能节点的结构如图 2 所示。

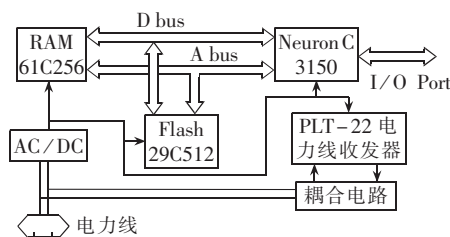


图 2 嵌入式智能控制节点

Fig.2 The embedded smart appliance node

2.2 智能控制节点软件实现

智能控制节点的软件程序采用 Neuron C 语言编写。利用 LonWorks 节点开发工具 NodeBuilder 将编制好的程序下载到智能控制节点的 Flash 存储器中。该节点软件程序主要分为两大程序模块。首先是对家用电器设备实现本地智能控制的本地控制模块 LCM(Local Control Module)。其次是能接收住户控制指令和回送状态信息的通信信息处理模块 CIPM (Communication and Information Process Module)。

2.2.1 LCM

由于每片 3150 芯片共有 11 个通用的 I/O 通道,完全可满足对家用电器设备状态参量采集和控制的点数要求,因此,将 3150 芯片上 I/O 口的 1~7 指定为数据采集口,将 I/O 的 8~11 指定为控制输出口。嵌入式智能控制节点通过实时从数据采集口采集本地电器设备的状态参量,经过分析和计算后,在控制输出口输出高、低电平或电流控制量对本地电器设备实现智能控制。

2.2.2 CIPM

智能控制节点的通信报文采用 LonTalk 通信协议的显示消息实现。显示消息的结构分为发送消息和接收消息两种格式,分别由 msg_out 和 msg_in 两种结构定义。两种结构中也都包括 data 数据项,它是一个数组变量。对于节点 msg_in.data 包含来自中央处理器的指令信息,而 msg_out.data 则包含要向中央处理器发送的本地状态信息。在节点中显示消息接收和发送由函数 when(msg_arrives)和 msg_send()完成。为了方便对显示消息进行分析和处理,规定 data 数据项的第 1 个字节为参量字节。参量字节的第 1 位为标志位,0 表示该参量是开关量,1 表示该参量为模拟量。参量字节的后 7 位标志了该参量的名称。如 0x01 表示该参量是温度量。当有 1 条显示消息到达节点后,CIPM 将从 msg_in 中提取 data 变量并对其第 1 个字节进行分析,判断参量类型,然后进入相应的参量子处理程序。

3 嵌入式 Web 服务器设计

在智能家居系统中开发了一个嵌入式 Web 服务器。住户可以在任何地点用标准 Web 浏览器(如 IE 和 Netscape 浏览器)访问嵌入式 Web 服务器;而 Web 服务器将住宅中电器设备的各种信息都反映在网页上,设备的实时状态会自动更新,住户对家中设

备的操作也会有及时可见乃至可闻的反馈。

3.1 Web 服务器硬件结构

嵌入式以太网 Web 服务器的硬件结构如图 3 所示。该服务器由协议处理转换模块, Lon 接口模块和以太网接口模块组成, 采用双 CPU 技术, 主 CPU (SX52) 主要作为协议转换模块, 完成 TCP/IP 协议与 LonTalk 协议的转换。辅 CPU (NeuronC 3150) 主要起 Lon 网接口的功能, 作为通信协处理器, 将从主 CPU 接收到的指令封装成 LonTalk 协议的显示消息, 并通过电力线收发器 PLT-22 发送给 Lon 网上的指定智能控制节点或将来自 Lon 网的显示消息解析并转发给主 CPU。

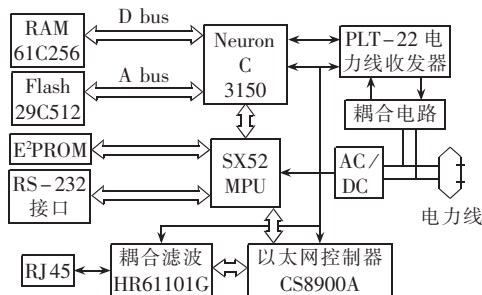


图 3 嵌入式以太网 Web 服务器

Fig.3 The embedded Ethernet Web server

3.1.1 协议处理模块

SX52^[4] 单片机是由美国 Ubicom 公司于 20 世纪末研制的高速可配置通信控制器, 它采用改进型 Harvard 结构, 在该结构中, 程序与数据分别被存储于不同的存储空间中, 此种结构的优势在于指令的提取与数据的传输可在多级通道中重叠进行, 这意味着 1 条指令在处理数据存储中数据的同时另 1 条指令可以从程序存储器中被提取, 从而节省指令运行时间。它具备高速的计算能力, 可实现灵活的 I/O 控制和高效的数据操作。SX52 与 3150 之间采用并口通信从 A 方式。3150 芯片的 11 个 I/O 有 34 种可选工作模式, 其中包括并行 I/O 方式。该方式数据的最大传送速率可达 3.3 Mbit/s。3150 芯片与 SX52 大数据量数据传输是通过运用“虚写令牌传递机制”实现的, 拥有令牌一方拥有对数据总线写控制权。3150 芯片 I/O0~7 为 8 位双向数据线, I/O 8 为片选信号(-CS)线, I/O 9 为读/写信号(R/-W)线, I/O 10 为握手应答信号(HS)线, -CS 线、R/-W 线都由主 CPU (SX52) 控制, HS 线则由 3150 芯片给出, 3150 芯片通过检测(R/-W)电平判断虚令牌牌。

3.1.2 Lon 网接口和以太网接口模块

Web 服务器的 Lon 网接口模块硬件结构是与智能控制节点相同的, 不再阐述。Web 服务器以太网接口模块则由以太网控制器 CS8900A 和耦合隔离滤波器 HR61101G 及 RJ 45 组成。Cirrus Logic 公司生产的 CS8900 A 芯片支持中断/查询访问方式, 封装为 100-pin TQFP, 内部集成了在片 RAM, 10BASE-T 收发滤波器, 并且提供 8 位和 16 位两种接口。在

Web 服务器中, 将它与 SX52 采用 8 位方式连接, 芯片复位后默认工作方式 I/O 连接, 基址是 300 H。CS8900A 内部包含多个寄存器, 分别是总线接口、状态和控制、初始化发送、地址过滤和帧位置 5 个寄存器。3150 通过对这些寄存器的读写控制 CS8900 A, 完成以太网帧的发送与接收。CS8900A 的 SD0~SD7 引脚为 8 位数据线与 SX52 相连, RXD+, RXD-, TXD+ 和 TXD- 引脚连接 HR61101G, 并利用 RJ 45 插头实现与以太网的连接。

3.2 Web 服务器软件实现

嵌入式 Web 服务器的软件包括 Lon 网接口、以太网接口驱动、TCP/IP 协议栈实现和 Web 服务器应用 4 个程序模块。Lon 网接口程序完成以太网协议与 LonTalk 协议的转换, 在 31500 芯片中运行, 而其他 3 个程序则都是由 SX52 运行的。

3.2.1 Lon 网接口程序

Lon 网接口程序采用 Neuron C 语言编写, 其中包括智能节点中的 CIPM 程序模块和与 SX52 通信的并口通信程序模块。在并口通信程序中, 将 3150 的 I/O 定义为并口对象类型, 并使其工作在从 A 工作方式。并口通信主要由以下几个函数实现 (parallel_io_object_name 为声明的并口 I/O 对象名)。

a. io_in_ready (parallel_io_object_name) 当并口上有数据传送到来, 此函数值为 TRUE。此时可调用 io_in() 函数接收数据。

b. io_out_request (parallel_io_object_name) 此函数用来向并口总线发出请求, 以获取令牌。

c. io_out_ready (parallel_io_object_name) 当并口总线处于可写状态, 即 3150 获取令牌后此函数为 TRUE, 此时可调用 io_out() 函数将数据发送到并口。

d. io_in (parallel_io_object_name) 将并口上的数据接收到缓冲区 buf 中。

e. io_out (parallel_io_object_name) 将缓冲区 buf 中的数据发送到并口总线上。

3.2.2 以太网接口驱动程序

以太网接口驱动程序作为连接因特网的最底层的物理网络。以太网承担着最初和最终的数据传输任务, 因此以太网接口驱动程序的实现是因特网接入的关键。以太网控制器驱动程序用于设置 CS8900A 的工作状态和工作方式, 分配收发数据的缓冲区, 通过对地址及数据口的读写完成以太网帧的接收与发送。

3.2.3 TCP/IP 协议栈实现程序

TCP/IP 协议栈是 SX 虚拟外设的一个重要的实现, 是基于 SX 处理器的应用系统与 Internet 实现互联的基础。通过这些协议栈, 可以更加方便地开发基于 Internet 的嵌入式应用系统。由于并不是所有的协议在嵌入式 Web 服务器中都要实现, 因此在该 Web 服务器中只要实现以下协议:

a. 在数据链路层实现完成 IP 地址和 MAC 地址转换功能的 ARP 协议;

b. 在网络层实现使嵌入式 Web 服务器能在 Internet 上通信的 IP 协议和数据传送差错报告的 ICMP 协议;

c. 在应用层实现完成远端主机通过浏览器访问智能家居系统的 HTTP 协议。

HTTP 协议是基于 TCP 协议实现传输的, TCP 协议是面向可靠的数据流传输的, 所以基于应用的需要和对可靠性的要求, 在传输层实现 TCP 协议, 并对 TCP 协议进行了简化处理, 主要针对 HTTP 协议开发 TCP 协议^[6]。

由于篇幅有限, 现只将 TCP/IP 协议栈实现的主流程叙述如下: 系统初始化后, 进入主程序循环部分。主程序循环包括对接收到的以太网数据帧进行解包和对欲发送的数据进行封装并发送两大部分。对接收到的以太网数据帧进行解包, 供应用程序使用; 对欲发送的数据进行打包, 将数据以以太网数据帧的格式发送出去, 使采用 TCP/IP 协议的以太网内所有计算机能收到此数据帧。

3.2.4 Web 服务器应用程序

传统的 Web 服务器一般都采用 B/S(Browser/Server) 访问模式。在此 Web 服务器中对 B/S 模式进行了两点改进, 采用了 B/S 和 C/S(Client/Server) 相结合的访问模式。

a. 采用套接字编程, 实现部分服务器程序在客户端运行, 在客户端浏览器实现动态网页显示实时数据。

b. 不再将 HTML 语言写入汇编程序然后再在浏览器端解析成网页, 而是利用嵌入式 Web 服务器扩展的 EEPROM24C256 与 SX52 相连, 用来存储要浏览的 Web 文件。当浏览器与 Web 服务器交互时, 利用 HTTP 协议通过统一资源定位器 URL 确定 Web 服务器应该为浏览器提供哪些资源。

这种改进方案在访问模式上还是通过浏览器访问嵌入式 Web 服务器, 在通信模式上却利用了 C/S 模式, 基于套接字编程。通过 B/S 方式访问 Web 服务器上的静态网页, 在这个网页中嵌有 Java applet 文件。客户端的 IE 浏览器浏览这个网页时, 会把网页中标识的 Java applet 源程序下载到客户端执行。

在 Java applet 源程序中, 创建了一个套接字完成与服务器的通信(前提是在 Web 服务器上同时运行一个相应的服务器监听程序), 主要是获取实时数据, 用于在浏览器中显示。

4 结语

基于电力线载波技术的智能家居系统作为智能小区的最小建筑基本单元, 以家庭住宅建筑为平台, 装备多种数字化、网络化和自动化设备, 通过能源网、信息网与小区及小区外部相连接, 向居住者提供一个安全、舒适、便利、信息畅通的高效居住和生活环境。

参考文献:

- [1] 刘晓胜. 智能小区与通信技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 王锦标. 现场总线综述[J]. 冶金自动化, 2000, (6): 1-6. WANG Jin-biao. The field control bus systems illustration [J]. *Metallurgy Automation*, 2000, (6): 1-6.
- [3] 周振环, 凌志浩, 马欣. Neuron 芯片在新一代分布式测控系统中的应用[J]. 世界仪表与自动化, 1998, 2(5): 40-43. ZHOU Zhen-huan, LING Zhi-hao, MA Xin. Neuron chips in new generation distributed measurement and control systems [J]. *International Instrument and Automation*, 1998, 2(5): 40-43.
- [4] 李刚, 刘俊勇. 基于 Web 的电力企业图形网络计算机系统[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(10): 14-20. LI Gang, LIU Jun-yong. Web-based graphic network computation system for power[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2003, 23(10): 14-20.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

祁明晰(1948-), 男, 湖北武汉人, 讲师, 研究方向为城市交通智能化系统;

祁昶(1978-), 女, 湖北武汉人, 博士研究生, 研究方向为通信系统和系统集成(E-mail: qichang78@21cn.com);

黄天成(1946-), 男, 湖北武汉人, 博士研究生导师, IEEE 会员, 研究方向为工控网络与系统工程。

Home automation system based on power line carrier communication technology

QI Ming-xi¹, QI Chang², HUANG Tian-shu²

(1. College of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China;

2. College of Electronic and Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: A standard and easy-to-realize scheme of home automation system is provided. Its architecture is detailed, as well as the hardware and software designs of embedded smart appliance node and embedded Web server. It integrates the electric home appliance and equipment into home network using embedded technology and field bus technology, and the 220 V power line is used as both power supply bus and carrier communication bus.

Key words: home automation; field bus technology; embedded technology; power line carrier communication; remote access