

智能家居中 X-10 协议电力线载波模块的设计

蒋 坤, 李 宏*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 随着智能家居的快速发展, 家电设备之间互联已成为迫切的需求. 在分析 X-10 协议和电力线载波通信工作原理的基础上, 基于 X-10 协议设计了一款电力线载波模块, 并给出了实现 X-10 协议的电路设计及软件流程, 经实际检测可靠性较高.

关键词: 智能家居; X-10; 电力线载波

中图分类号: TN914

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 03-0038-04

随着人们生活水平的提高以及计算机技术、网络通信技术和综合布线技术的发展, 智能家居逐渐成为未来家居生活的发展方向^[1-2]. 家庭网络作为智能家居系统的重要组成部分, 是指在家庭内部通过一定的传输介质, 采用一定的通信协议实现家电设备之间互联和资源共享的一种信息传输网络, 对其研究和开发有着不可或缺的作用. 市场上实现家庭网络主要有 3 类主流技术: 总线技术、无线通信技术和电力线载波通信技术^[3-4]. 总线技术采用双绞线总线结构, 需要增加额外布线; 无线通信技术穿墙能力差, 需要路由器且存在死角; 电力线载波技术避免了上述 2 种技术的缺陷是未来智能家居系统家庭网络的一种不可或缺的技术实现方案.

X-10 协议作为电力线载波技术的一个主流协议, 对其协议实现的研究有着重要的意义, 但是国内完整地介绍基于 X-10 协议的电力线载波模块的设计较少. 笔者介绍了 X-10 协议, 并给出了相关的硬件设计及软件流程, 对智能家居控制系统中 X-10 协议电力线载波模块的设计具有一定的参考价值.

1 X-10 通讯协议简介

X-10 是在电力线上实现通信的协议, 而电力线通讯频带是很宝贵的资源. 美国联邦通讯委员

会规定: 电力线用户频带 100~450 kHz. 欧洲电力标准委员会制定了 EN50065-1 规范: 电力线用户频带 3~148.5 kHz^[5]. 我国虽无国家标准, 相关的行业标准 DL/T698-1999 规定: 采用低压电力线载波通信, 载波信号频率范围为 3~500 kHz^[6].

X-10 协议以交流电压过零点作为同步信号进行信号的发送和接收, 选择在过零点加载脉冲是因为过零点处的噪声和干扰最少, 载波信号的频率为 120 kHz, 时间持续 1 ms. 信息在电网中以数据包的形式传送, 数据包分为地址包和命令包. 地址包传送的是被控设备的地址, 它由起始码、房间码、单元码和功能码构成. 命令包是发送给相应设备的控制命令, 由起始码、指令码和功能码构成. 其中功能码是区分包类型的标志, “1”代表命令包, “0”代表地址包. 其数据包波形如图 1 所示, 每个数据包由 22 位数据构成, 首先传送的是引导码“1110”, 按照原码的形式传送数据, 过零点处有载波信号表示数据“1”, 无载波信号表示数据“0”. 接着传送地址或指令数据, 按照原码及其反码的形式传送, 先发送数据原码再发送数据反码及数据“1”由前一个零点有载波信号, 后一个零点无载波信号表示, 数据“0”由前一个零点无载波信号, 后一个零点有载波信号表示, 最后发送功能码. 图 1 中表示的是一个地址为“10011100”的地址包. X-10 协议在发送控制命令时, 要求先发送 2

收稿日期: 2014-09-13.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省教育厅科研项目 (Y201329962); 宁波大学教研项目 (JYXMxsj201406).

第一作者: 蒋坤 (1989-), 男, 安徽六安人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统. E-mail: Algernon_allen@sina.com

*通信作者: 李宏 (1961-), 男, 浙江宁波人, 副教授, 主要研究方向: 嵌入式系统. E-mail: lihong2@nbu.edu.cn

次地址包, 再发送 2 次命令包, 数据包之间间隔 3 个电源周期, 对于 50 Hz 交流电, 每发送一次能传送 8 位地址和 8 位控制命令, 总发送长度 106 位, 需耗时 1.06 s.

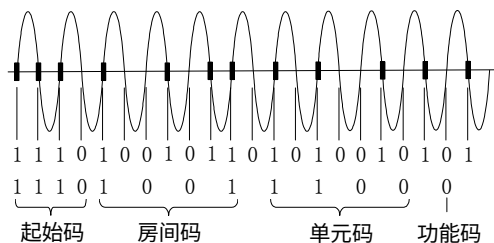


图1 数据包波形示意图

2 电力线载波模块工作原理

基于 X-10 协议电力线载波模块的硬件设计框图如图 2 所示. 为了能够实现双工通信, 每个模块兼有信号发射器和信号接收器. 图 2 中给出了模块 A 的发射器硬件框图和模块 B 的接收器硬件框图, 模块 A 检测到终端设备有发送数据请求, 则在交流电过零点发送信号, 单片机发送的信号经过功率放大电路、耦合电路加载到电力线上. 模块 B 的耦合电路把电力线上的信号耦合到模块 B 上, 再由滤波放大电路对信号进行滤波放大, 经过整形电路整形, 最终由单片机对此信号进行解调得到发送端发送的数据.

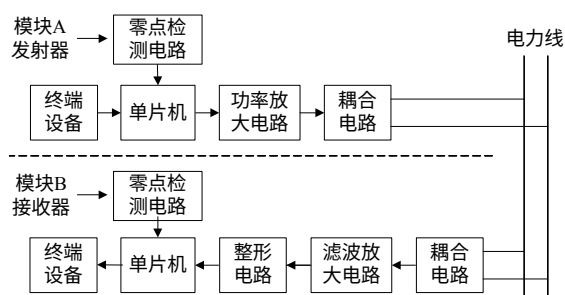


图2 电力线载波模块硬件框图

3 电力线载波模块的电路设计

基于实现 X-10 协议的设计要求, 硬件电路主要由零点检测电路、信号接收电路、信号发送电路以及单片机构成.

3.1 单片机及其外围电路

信号的调制和解调需要单片机, 我们选用 C8051F330 作为单片机芯片, 外围电路包括上位

机、零点检测电路、信号发送电路以及信号接收电路, 其硬件电路图如图 3 所示. 上位机通过串口与单片机通信. 信号接收电路处理电力线上传过来的信号并把输出脉冲送给单片机计数, 选择 P0.0 作为计数器引脚. 零点检测电路产生零点脉冲, 信号发送电路放大信号功率并把信号耦合到电力线上.

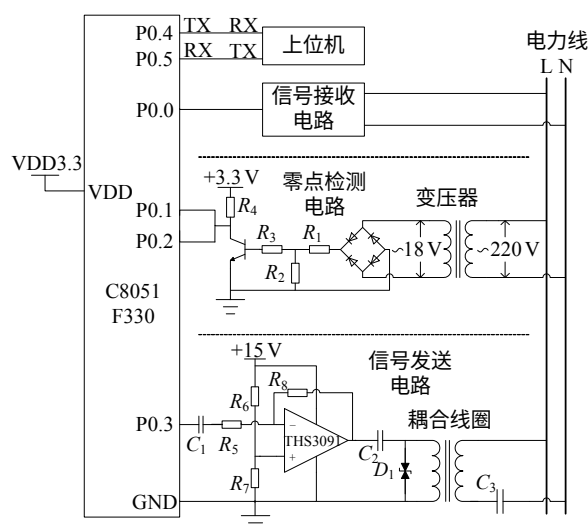


图3 单片机及其外围电路

信号的发送和接收在过零点处进行, 需要零点检测电路产生零点脉冲, 其相关电路设计如图 3 中零点检测电路所示. 变压器次级输出电压经过桥式整流器输出全波整流电压, 再经过整形电路输出零点检测脉冲, 图 3 中电阻 R_2 、 R_3 以及三极管输入电阻的总电阻与电阻 R_1 构成对全波整流电压的分压, 三极管发射结导通电压 $V_{BE(on)}$ 不变, 因此不同的分压比有不同的零点脉冲宽度, 选择次级输出交流电压 18 V, $R_1=90\text{ k}\Omega$, $R_2=40\text{ k}\Omega$, $R_3=5\text{ k}\Omega$ 以及 S8050 三极管, 零点脉冲的宽度约为 1 ms. 零点脉冲触发单片机中断, P0.2 作为外部中断 INT0 的中断引脚, INT0 由零点脉冲上升沿触发, 中断触发后开启计数器并根据数据发送载波信号, P0.1 作为外部中断 INT1 的中断引脚, INT1 由零点脉冲下降沿触发, 中断触发后关闭计数器并根据计数值解调.

单片机根据需发送的数据发送载波信号, 单片机输出信号功率比较小, 需要先放大信号的功率, 进而由耦合电路把信号加载到电力线上, 其硬件电路原理如图 3 中的信号发送电路所示. 采用

THS3091 作为功率放大器, THS3091 是电流反馈型运放, 输出驱动电流 ± 250 mA, 带宽 210 MHz. D_1 是双向瞬态抑制二极管, 由于耦合线圈中的电感, 220 V 交流电源在通断瞬间有一个较大的浪涌电压, D_1 限制了此浪涌电压的幅度, 保护后面的硬件电路. 耦合线圈采用锰锌铁氧体作为磁芯材料, 该种材料导磁率高、磁感应强度中等、电阻率高、损耗低, 宜高频使用^[8]. C_3 采用耐压值为 400 V, 电容大小为 0.1 μ F 的安规电容, 交流电源频率较低, 安规电容对其有较大的阻抗, 因此起到隔离交流电源的作用, D_1 、 C_3 和耦合线圈构成了耦合电路.

信号接收电路用来对接收到的载波信号进行处理, 方便单片机解调出此信号. 主要由耦合电路、滤波放大电路、整形电路构成, 其中耦合电路共用信号发送电路中的耦合电路, 滤波放大电路接到 D_1 两端, 整形电路的电路原理同零点检测电路中的整形电路.

3.2 滤波和放大电路设计

由于电力线上的各种衰减和干扰, 信号接收电路接收到的信号幅度很小且淹没在噪声中, 需要一个信号处理电路对其进行滤波和放大, 采用多级滤波放大电路级联来增大信号幅度, 提高信噪比, 滤波放大电路原理图如图 4 所示.

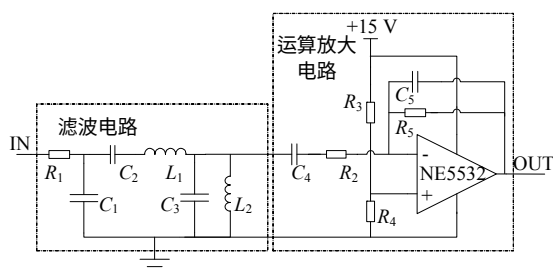


图4 滤波放大电路原理图

滤波电路采用低通和带通滤波器级联的方式, 图4中 R_1 和 C_1 构成低通滤波器, 其中 $R_1=340\ \Omega$, $C_1=4.7\text{ nF}$, 截止频率 $f_c = 1/(2\pi R_1 C_1) \approx 100\text{ kHz}$, C_2 、 L_1 、 C_3 、 L_2 构成带通滤波器, 结合 X-10 协议内容, 设计一个中心频率为 $f_0=120\text{ kHz}$, 带宽为 $B=50\text{ kHz}$, 特征阻抗为 $Z=150\ \Omega$ 的定 K 型带通滤波器, 其相关元件参数计算如下^[9]:

$$L_1 = Z / (2\pi B) \approx 477.4\ \mu\text{H}, \quad (1)$$

$$C_3 = 1 / (2\pi B Z) \approx 21.2\text{ nF}, \quad (2)$$

$$L_2 = 1 / (\omega_0^2 C_3) \approx 83.3\ \mu\text{H}, \quad (3)$$

$$C_2 = 1 / (\omega_0^2 L_1) \approx 3.7\text{ nF}, \quad (4)$$

设计选用的器件大小分别为 $L_1=470\ \mu\text{H}$, $L_2=82\ \mu\text{H}$, $C_3=22\text{ nF}$, $C_2=3.9\text{ nF}$.

信号经过滤波器后, 采用 NE5532 芯片对信号进行放大, NE5532 是一种双运放放大器, 信号带宽 10 MHz, 电源电压范围 $\pm 3 \sim \pm 20\text{ V}$, 转换速率 $9\text{ V}\cdot\mu\text{s}^{-1}$, 需要注意的是反馈电阻上需要并联一个补偿电容 C_5 , 消除由附加相移产生的自激振荡, 一级放大电路放大倍数不宜过大, 否则噪声也被放大, 不利于后级处理.

4 软件流程

单片机接收到上位机有发送数据请求命令, 则开始发送数据, 同时接收端检测到电力线上有信号脉冲, 则开始解调数据. 其软件流程如图5所示, I 表示发送数据包的个数, 前2个发送的是地址包, 后2个发送的是命令包; N 表示接收到数据包的个数, 2次接收到的地址包和命令包相同表示接收到的数据包正确, 并按照相应的地址和命令执行相应的指令.

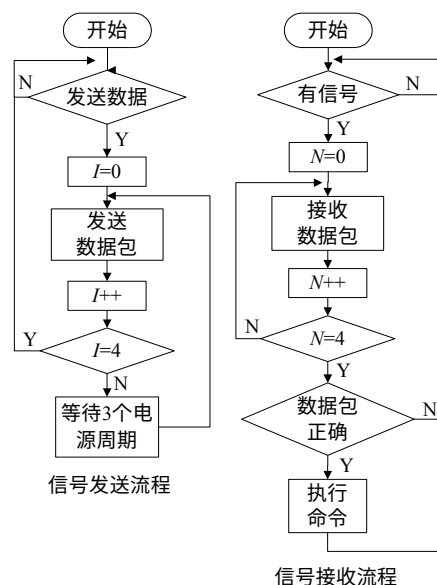


图5 软件流程

5 性能测试

按照上述硬件电路以及软件流程开发了电力线载波模块并对其通信性能进行了验证. 图6是发送二进制数据“010101010”波形图, 波形1是零点脉冲, 波形2是接收器整形电路的输出波形, 刚

开始接收到的是引导码“1110”,接着是以正码和反码形式传送的二进制数据“010101010”。从图6中可看出,该波形完全符合X-10协议的相关规定。

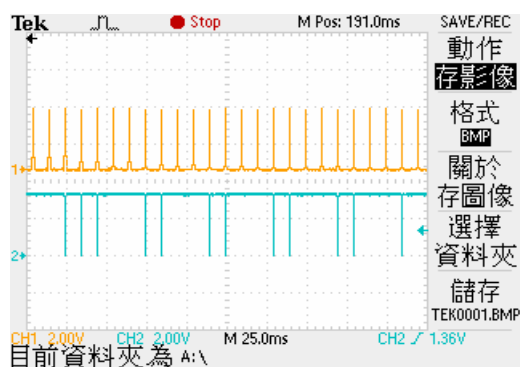


图6 零点脉冲和接收到的数据波形

表1为在不同的负载数和距离下发送1000个数据包,接收器正确接收到数据包的个数,从表1可看出,本设计能准确地进行数据的发送和接收。

表1 数据包接收正确率统计

负载 数/个	距离					
	1 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
1	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
2	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	999
3	1 000	1 000	1 000	1 000	999	1 000
4	1 000	998	1 000	1 000	1 000	1 000
5	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	998
6	1 000	1 000	1 000	1 000	998	1 000

6 结语

基于X-10协议,采用C8051F330作为微处理

器设计了一种电力线载波模块,并在不同负载个数和距离的条件下对数据通信正确率进行了验证,结果表明该设计方案具有较高的参考价值。同时也应注意到,发射器发送信号功率和接收器接收信号的信噪比是限制X-10协议发展的瓶颈,所以对如何进一步增大信号的发送功率,提高接收端信号信噪比的研究将对X-10协议的发展起着至关重要的作用。

参考文献:

- [1] 满莎,杨恢先,彭友,等.基于ARM9的嵌入式无线智能家居网关设计[J].计算机应用,2010,9(9):2541-2544.
- [2] Tom K, Django A. Risk driven smart home resource management using cloud services[J]. Future Generation Computer Systems, 2014, 38(9):13-22.
- [3] Peng Junjie, He Hui. Zigbee-based new approach to smart home[J]. Journal of Shanghai University, 2010, 14(1):12-16.
- [4] 王斌,兰勇,刘学鹏.网络家电技术的发展现状和展望[J].电子技术应用,2006,32(7):1-5.
- [5] 马荣飞. PLCC在X-10家庭网络中的应用[J]. 计算机应用与软件, 2005, 22(5):75-77.
- [6] DL/T698-1999, 低压电力用户集中抄表系统技术条件[S].
- [7] 李根旺,赵富海,高宁波.在智能家居控制系统中X-10协议的实现[J].测控技术,2006,25(7):26-29.
- [8] 张占松,蔡宣三.开关电源的原理与设计(修订版)[M].北京:电子工业出版社,2004:107.
- [9] 森荣二. LC滤波器设计与制作[M].薛培鼎,译.北京:科学出版社,2006:17-18; 145-153.

Design of Power Line Carrier Based on X-10 Protocol in Smart Home

JIANG Kun, LI Hong*

(Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: With the rapid development of smart homes, the inter-connection between in-home appliances has become a pressing issue to tackle. In this paper, a kind of power line carrier based on X-10 protocol is introduced. The operational principle and protocol content are first analyzed, then the hardware and program design are presented. The results show that the module achieves the higher accuracy in communication process, and are expected to provide useful reference for the implementation of protocol in the smart home control system.

Key words: smart home; X-10; power line carrier

(责任编辑 史小丽)