

基于可见光和电力线载波的家庭网络设计

张建昆 杨宇 刘博 陈雄斌 陈弘达

(中国科学院半导体研究所集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083)

摘要 将可见光通信引入到家庭网络中。为了简化通信光源的布线,设计了一种新型的基于可见光通信和电力线载波通信的家庭网络系统。介绍了家庭网络的总体结构,分别阐述了家庭网关、白光发光二极管(LED)驱动和网络用具的硬件和软件实现方法。可见光通信和电力线载波通信可以有效地应用于家庭网络,促进室内可见光通信的研究和发展。

关键词 光通信;室内可见光通信;电力线载波通信;家庭网络;白光发光二极管

中图分类号 TN929.1;TN873 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.100604

Design of Home Network Based on Visible Light Communication and Power Line Carrier Communication

Zhang Jiankun Yang Yu Liu Bo Chen Xiongbin Chen Hongda

(State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract Visible light communication (VLC) is introduced into home network. In order to alleviate the problem of wiring in indoor visible light communication, a novel home network system based on VLC and power line carrier communication (PLC) is designed. The general structure of home network is introduced. The hardware and software realization methods of home network gateway, white light-emitting diode (LED) driver and network appliance are described respectively. VLC and PLC can be effectively applied to home network, which greatly promotes the development and research of indoor VLC.

Key words optical communication; visible light communication; power line carrier communication; home network; white light-emitting diode

OCIS codes 060.2605; 060.4510; 060.4250; 060.4254

1 引言

白光发光二极管(LED)用于照明,具有寿命长、体积小、响应快、高效、绿色环保等优点。随着LED生产技术的提高和半导体材料(主要是氮化物晶体和荧光粉)的发展,LED的生产成本大幅下降,发光效率明显提升,同时显色指数逼近白炽灯,是理想的第四代固体电光源^[1]。目前,白光LED广泛应用于指示灯、背光显示、交通领域、路灯照明、景观照明等。其需求和产量都大幅提升,随着成本降低,显示效果提升,进入普通家庭的脚步也越来越近,市场前景十分广阔^[2]。

利用白光LED响应速度快的特点,可以实现照明和快速通信双重功能。随着白光LED的普及,国内外学者纷纷加入可见光通信(VLC)这一新兴热点研究领域^[3~7]。2001年,可见光通信联盟(VLCC)在日本成立,由可见光通信的先驱Nakagawa任名誉会长,旨在推广可见光通信研究和应用。目前,可见光通信广泛应用于智能交通^[8]、水下通信^[9]、定位系统^[10]、控制系统^[11~13]等。

随着信息社会的到来,智能家居、家庭网络的概念深入人心^[14]。研究表明,室内可见光通信具有很好的

收稿日期: 2011-03-21; **收到修改稿日期**: 2011-05-30; **网络出版日期**: 2011-08-30

基金项目: 国家863计划(2011AA03A1)和国家科技支撑计划(2011BAE01B00)资助课题。

作者简介: 张建昆(1986—),男,硕士研究生,主要从事可见光通信方面的研究。E-mail: zhangjiankun@semi.ac.cn

导师简介: 陈弘达(1960—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电子与微电子集成器件、集成电路与系统等方面的研究。E-mail: hdchen@semi.ac.cn

可行性^[4]。此外,通过合理的布局,白光 LED 可以获得良好的照明效果^[15]。在已有理论支持下,本文设计了一套新型的基于可见光和电力线载波通信(PLC)的家庭网络系统。

2 硬件系统设计

本文设计的家庭网络系统的核心设备主要包括家庭网关、白光 LED 驱动和网络用具这三部分,图 1 是家庭网络系统的总体结构图。其中家庭网关负责与外部网络或者外部个人消费终端连接,如因特网、个人电脑、手机等。同时,网关还预留其他各种接口,方便各种扩展应用。家庭网络中的受控终端称为网络用具。白光 LED 和处在其照射范围内的网络用具组成封闭的单向通信单元。各个通信单元通过 PLC 总线与网关互联,实现相互独立的双向通信。此外,网络用具或者 LED 也可以通过其他接口连接至其他控制设备。因此,该系统可以方便地嵌入到其他网络中,构建分布式网络大系统。

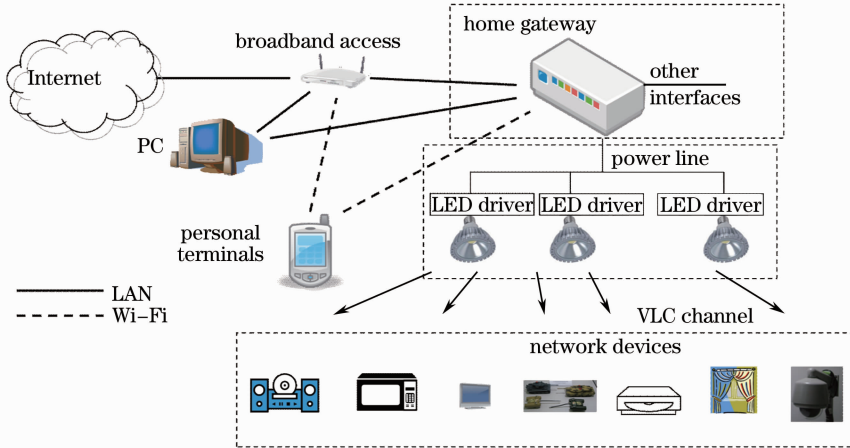


图 1 家庭网络系统框图

Fig. 1 System block diagram of home network

图 2(a)为整个系统现场工作实景图,图中天花板上均匀地布置了白色 LED 灯。图 2(b)为放大了嵌入到网络用具中的接收装置。整个家庭网络能够协调地工作,方便地连接到外网和手机等外部设备。

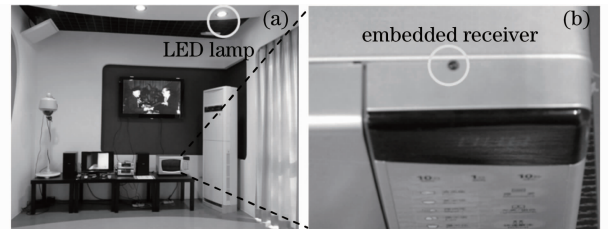


图 2 家庭网络效果图

Fig. 2 Picture of home network

2.1 家庭网关

家庭网关既要实现内部设备之间的互联,又要通过各种接口连接外网,实现信息的交互和共享。因此,家庭网关是整个网络系统的控制中心。家庭网关需具有易于操作的人机交互接口,同时设备要有小巧、低功耗、安装方便等特点。

本文设计的家庭网关的硬件结构框图如图 3 所示,主要包括中央处理器及其最小外围电路、电力线载波模块、液晶显示屏、触摸模块以及外围接口。中央处理器采用 Atmel 公司的 ARM9 微处理器 AT91RM9200,它基于 ARM920T 内核,带有内存管理单元,可方便地嵌入各种主流的嵌入式操作系统。PLC 模块采用 PL2102 实现,它具有 I2C 控制接口,这里在 PL2102 和 AT91RM9200 之间嵌入了 AT89C2051,实现 I2C 接口到串口的桥接,以简化软件设计的复杂度。外围接口包括 10 M/100 M 以太网接口、USB 接口、RS485 接口、RS232 接口。其中无线宽带接入采用带有 USB 接口

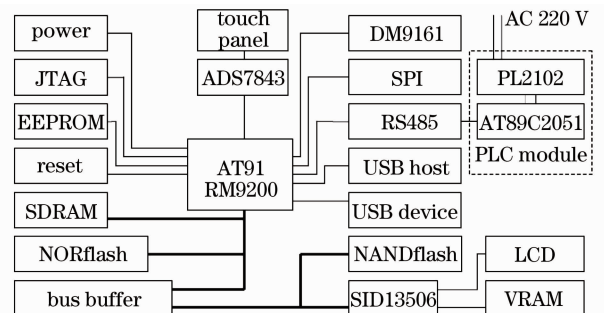


图 3 家庭网关硬件框图

Fig. 3 Hardware block diagram of home gateway

其中无线宽带接入采用带有 USB 接口

的 Wi-Fi 模块实现。以 AT91RM9200 芯片为核心的嵌入式硬件系统具有很强的可扩展性,还可以方便地扩展其他各种接口,如蓝牙、Zigbee、GPRS 等。

2.2 白光 LED 驱动

白光 LED 驱动的设计要考虑的主要因素有白光 LED 整体的电流电压特性、安全性、效率、功能以及其他灯具标准要求等。白光 LED 驱动电路硬件结构框图如图 4 所示,主要包括 PLC 模块、微控制器模块、AC/DC 恒流驱动模块。LED 采用串联的方式连接,最符合电流电压匹配的要求。微控制器采用德州仪器公司的 MSP430F149 芯片,它的主要功能在于桥接 PLC 和 VLC。AC/DC 部分采用安森美半导体公司的 NCP1351 芯片,构成离线反激式恒流源驱动电路,实现 350 mA 的恒定电流输出。电光信号的转换通过开关管 IRF510 快速通断 LED 灯实现。

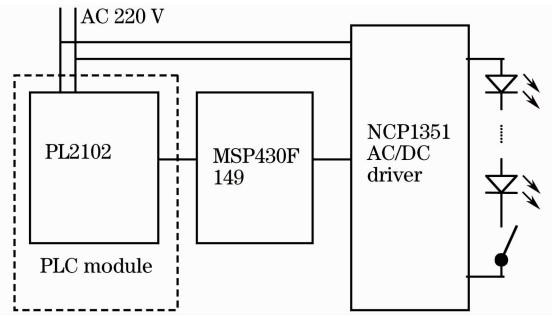


图 4 白光 LED 驱动硬件框图

Fig. 4 Hardware block diagram of white light LED driver

2.3 网络用具

网络用具是系统的终端设备,主要包括光电转换模块和控制模块。光电转换模块是接收可见光信号的关键,要求有很高的增益和噪声抑制能力。光电转换原理框图如图 5 所示,其中前置放大器采用宽带低噪声运放 OPA656 构成跨阻前置放大器,将探测器输出的光电流转换为电压信号。控制模块输出各种简单或者复杂的控制信号,可以控制空调、冰箱、音响、微波炉等家用电器和其他设备。

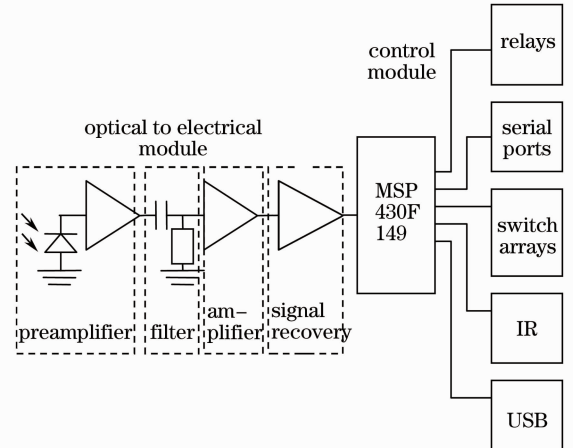


图 5 网络用具硬件框图

Fig. 5 Hardware block diagram of network appliance

3 软件系统设计

家庭网关、白光 LED 驱动和网络用具三部分均包含嵌入式处理器或者微控制器。为了实现整个系统的协调工作,需要精心设计软件系统。

3.1 家庭网关

家庭网关采用嵌入式 Windows CE 5.0 操作系统进行开发。在 Windows CE 平台上,可以使用 Windows 95/98 上的编程工具、使用同样的函数、使用同样的界面风格,因此绝大多数的应用软件只需简单的修改和移植就可以在 Windows CE 平台上继续使用。图形用户界面采用美国国家仪器(NI)公司研发的

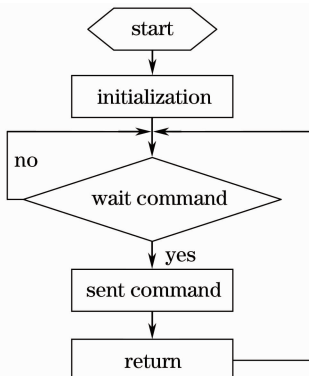


图 6 网关软件流程

Fig. 6 Flow chart of home gateway software



图 7 家庭网关软件界面

Fig. 7 Interface of home gateway software

图形化的虚拟仪器开发平台 LabVIEW 开发。它包含很多的模块,其中 touch panel 模块能将 LabVIEW 的图形化的开发环境扩展到触摸屏设备上,建立可运行于 Windows CE 的触摸屏设备下的人机界面应用程序,这样可以极大地提高嵌入式系统软件的开发效率。家庭网关软件主体流程如图 6 所示。

采用 LabVIEW 编写的人机交互界面使用大纲式风格,如图 7 所示。主界面分为左右两个区域,左边是可供选择的设备列表,右边是对应设备的功能列表。

3.2 白光 LED 驱动

在白光 LED 驱动电路中,微控制器的作用是将收到的指令按一定速率输出,同时,在空闲状态下也按该速率输出空闲指令。通过这种方法,可以保证白光 LED 亮度稳定,不影响照明使用。其控制流程如图 8 所示。

3.3 网络用具

白光 LED 发送的命令包含地址码,网络用具的嵌入式微控制器(MCU)根据地址码提取出发给自己的命令,然后根据命令输出相应的控制信号。其控制流程如图 9 所示。

4 系统测试

为了评估系统的整体性能,设计了图 10 所示的测试系统。个人计算机使用串口 1 以 9600 b/s 比特率,每隔 1 s 发送一条指令,循环发送系统中使用的 256 条指令。指令信号经过电力线和可见光信道之后,由接收器接收整形,通过串口 2 以 115 kb/s 比特率传输到计算机,并与发射的指令比较,记录错误指令数。现场测试环境如图 11 所示,为 5 m×5 m×3 m 大小的黑暗房间。为了测试光源亮度条件良好的情况下系统的性能,调节光源与接收器的距离,使探测器表面的照度约为 183 lx。发送 22953 条指令进行测试,正确接收到 22829 条指令,丢失 124 条指令,错误指令数为 0,系统指令的正确传输率为 99.46%,满足实际使用的需求。

5 结论

设计了一种新型的基于可见光通信和电力线载波通信的家庭网络原型。分别介绍了其中关键设备的硬件和软件实现方法。将室内可见光通信引入家庭网络,给家庭网络系统引入了一种新的通信方式。同时,可见光通信与电力线载波通信相结合,可以避免白光 LED 复杂的布线问题。可见光通信嵌入到家庭网络中,推动了可见光通信的发展和运用,具有巨大的市场前景。

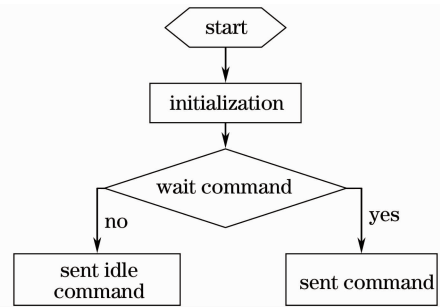


图 8 白光 LED 驱动控制流程

Fig. 8 Control flow chart of white LED driver

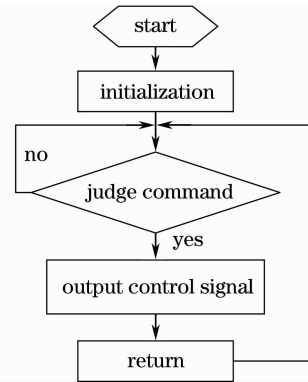


图 9 网络用具控制流程

Fig. 9 Control flow chart of network appliance

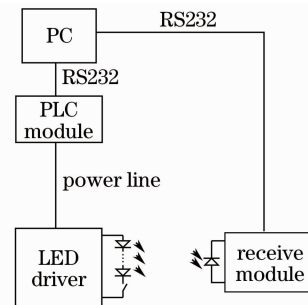


图 10 测试系统结构图

Fig. 10 Structured chart of test system

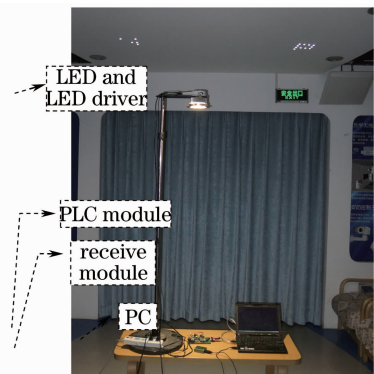


图 11 测试现场环境

Fig. 11 Environment of field test

参 考 文 献

- 1 Fang Zhilie, Liu Muqing. Technology status of light emitting diode[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, **47**(6): 1~7
方志烈, 刘木清. 半导体照明光源的技术进展[J]. 激光与光电子学进展, 2010, **47**(6): 1~7
- 2 Chen Haiming. Development and trends on white LED technology and industry in foreign countries[J]. *Semiconductor Technology*, 2010, **35**(7): 111~116
陈海明. 国外白光 LED 技术与产业现状及发展趋势[J]. 趋势与展望, 2010, **35**(7): 111~116
- 3 Grantham K. H. Pang, Hugh H. S. Liu. LED location beacon system based on processing of digital images[J]. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, 2001, **2**(3): 135~149
- 4 Toshihiko Komine, Masao Nakagawa. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2004, **50**(1): 100~107
- 5 Ding Deqiang, Ke Xizheng. Research on generalized mathematic radiation model for white LED[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(9): 2536~2539
丁德强, 柯熙政. 一种通用白光 LED 数学发光模型研究[J]. 光学学报, 2010, **30**(9): 2536~2539
- 6 Jupeng Ding, Zhitong Huang, Yuefeng Ji. Independent reflecting element interaction characterization for indoor visible light communication based on new generation lighting[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2010, **8**(12): 1182~1186
- 7 Hu Guoyong, Chen Changying, Chen Zhenqiang. Study on white LED light source for wireless indoor communications[J]. *Optical Communication Technology*, 2006, **30**(7): 46~48
胡国永, 陈长缨, 陈振强. 白光 LED 照明光源用作室内无线通信研究[J]. 光通信技术, 2006, **30**(7): 46~48
- 8 Navin Kumar, Luis Nero Alves, Rui L. Aguiar. Design and analysis of the basic parameters for traffic information transmission using VLC[C]. *Wireless VITAE*, 2009, **7**: 798~820
- 9 Felix Schill, Uwe R. Zimmer, Jochen Trumppf. Visible spectrum optical communication and distance sensing for underwater applications[C]. *Proceedings of ACRA*, 2004, 1~8
- 10 Xiaohan Liu, Hideo Makino, Suguru Kobayashi *et al.*. Design of an indoor self-positioning system for the visually impaired simulation with RFID and bluetooth in a visible light communication system [C]. *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2007, **8**: 1655~1658
- 11 Xiaohan Liu, Eri Umino, Hideo Makino. Basic study on robot control in an intelligent indoor environment using visible light communication[C]. *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing*, 2009, **8**: 323~325
- 12 Zhu Lin, Liu Bo, Yang Yu *et al.*. Design of an indoor wireless communication system with white LED[J]. *Chinese High Technology Letters*, 2010, **20**(8): 863~867
朱琳, 刘博, 杨宇等. 一种基于半导体照明的无线通信系统[J]. 高技术通讯, 2010, **20**(8): 863~867
- 13 Zhang Jiankun, Yang Yu, Chen Hongda. The modulation scheme analysis of indoor visible light communications[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(4): 0405003
张建昆, 杨宇, 陈弘达. 室内可见光通信调制方法分析[J]. 中国激光, 2011, **38**(4): 0405003
- 14 Li Hong. Analysis and comparison among several network control system solutions for smart home[J]. *Modern Electronics Technique*, 2010, (3): 143~146
李鸿. 几种智能家居网络控制系统方案的比较与分析[J]. 现代电子技术, 2010, (3): 143~146
- 15 Ding Deqiang, Ke Xizheng, Li Jianxun. Design and simulation on the layout of lighting for VLC system[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34**(1): 131~134
丁德强, 柯熙政, 李建勋. VLC 系统的光源布局设计与仿真研究[J]. 光电工程, 2007, **34**(1): 131~134