

LED可见光通信网络与以太网互融技术的研究

刘洋,蔡喜平*,林朗,王涛

(黑龙江大学物理科学与技术学院,哈尔滨 150080)

摘要:LED可见光通信技术通信速率高、绿色安全,是未来通信网络的重要通信手段之一。研究了LED可见光通信网络与以太网的互融技术。通过研制光通信介质转换模块实现了信号在RJ-45网络接口(有线)和自由空间(无线)不同传输介质之间的转换。进行了可见光通信与以太网的互融网络实验,客户端可以通过白光通信手段成功接入以太网。通过自定义通信协议实现了互融网络中服务器对多个客户端以及各个客户端相互间的信息交互。

关键词:可见光通信;以太网;通信网络;通信网络互融

中图分类号:TN929.11 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)01-0001-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.01.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on the fusion technology of LED visible optical communication network with ethernet

LIU Yang, CAI Xiping*, LIN Lang, WANG Tao

(School of Physics Science and Technology, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: LED visible light communication technology is featured with high communication rate, green and safe, which make it being one of the important communication methods for future communication network. The fusion technology of LED visible optical communication network with ethernet is studied in this paper. The light communication media converter circuit is designed to complete the conversion of different signals between RJ-45 network interface and free space. Experiments on the fusion network between visible optical communication with ethernet are carried out. The client can successfully access the ethernet network by means of white light communication. Through the custom communication protocol, the information transmission among the server and multiple clients is realized.

Key words: visible light communication; ethernet; communications network; communication network fusion

0 引言

基于LED的自由空间光通信系统具有无需无线电频谱认证、通信速率高、安全性能好和绿色低碳等诸多优点,非常适合在短距离通信、室内定位、室内上网以及对电磁辐射敏感的场所使用^[1]。在可见光通信系统中融入底层协议和标准非常成熟的以太网技术,

会使其在室内短距离通信领域具有更广阔的应用前景^[2,3]。将可见光通信技术与以太网互融,有利于构建无线电、有线光和无线光等多种通信手段的互融通信网络,从而进一步提高通信网络的性能。可见光通信技术中下行链路采用白光LED通信,上行链路可采用传统射频(WiFi、蓝牙等)技术或无线光通信技术^[4]。本文研究下行链路为LED可见光通信、上行链路为半导体激光通信的双向通信系统。在此基础上,设计了光通信介质转换模块和通信协议,通过组建光通信与以太网互融局域网,成功将可见光通信技术融入到以太网中。

1 双向通信系统

客户端通过白光通信进行信息传输的双向通信系统如图1所示,该系统由LED可见光通信的下行链

收稿日期:2018-07-10。

基金项目:黑龙江大学研究生创新科研项目资金(批准号:YJSCX2018-138HLJU)资助。

作者简介:刘洋(1991-),男,硕士研究生,主要研究方向为光电信息技术、可见光通信光技术和通信网络技术;负责完成校级黑龙江大学研究生创新科研项目(批准号:YJSCX2018-138HLJU)一项;发表实用新型《一种光通信介质转换网络接口电路》(专利号:201821205239.2)一项。

*通信作者:蔡喜平(Email: caixiping@hlju.edu.cn)。



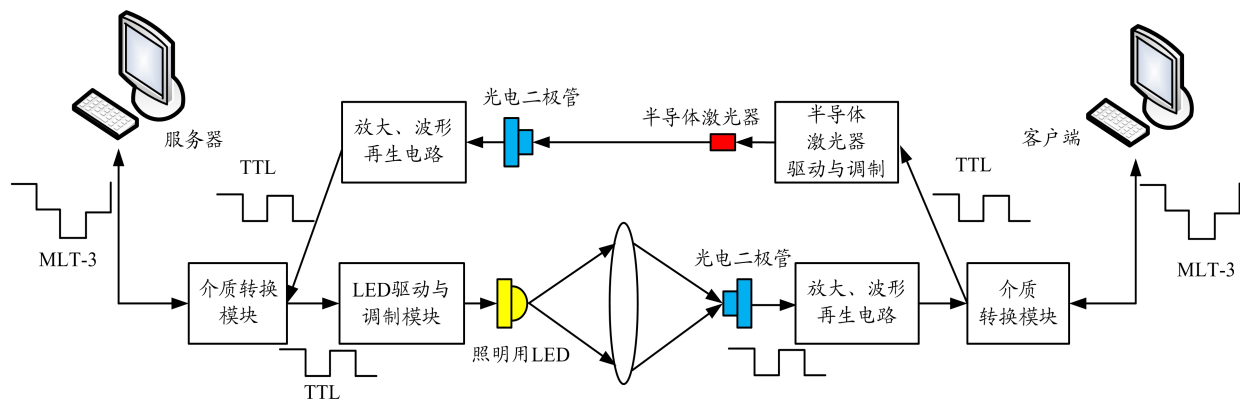


图1 可见光双向通信系统

路和半导体激光通信的上行链路组成。上、下行链路都设有光发射和光接收装置,以此实现双向通信。通信系统下行LED可见光链路发送以太网数据的流程是:①服务器将以以太网的MLT-3三态双极性数据通过自身的网卡,传送到网络接口RJ-45电路处理模块,经过滤波和耦合之后传送到光通信介质转换模块。②信号经过光通信介质转换模块将网络数据的MLT-3三态双极性电平转换成适合调制LED光源的单极性TTL电平传输到LED驱动调制模块。③LED驱动调制模块的功能是向LED光源供应驱动电流,将电信号调制到LED光源上。光接收装置将接收的光信号转换为电信号,实现信号的光/电转换。④电信号经过光通信介质转换模块后还原为网络数据,网络数据经过双绞线到达客户端。至此完成了通信系统下行LED可见光通信支路的信号处理。上行链路采用650nm红光半导体激光器作为通信光源,通信流程与下行链路相似。

2 光通信介质转换模块

2.1 网络接口电路

网络接口电路由网络控制器和主处理器两部分组成。Microchip公司生产的ENC28J60芯片是一个完整的网络控制器,包含MAC和PHY;支持全双工和半双工模式,内部集成了物理层,采用了一系列包过滤机制以对传入数据包进行限制^[5];采用业界标准的SPI串行接口,只需4线便可与主控单片机进行通信^[6];其主要功能是实现以太网数据帧格式的封包和拆包以及通信数据格式转换。

网络接口电路如图2所示(电阻后的百分数表明选用电阻的精度)。在(TPIN+/TPIN-)和(TPOUT+/TPOUT-)差分引脚上均需要连接1:1脉冲变压器,不同的是前者用于10BASE-T操作,不带有中心抽头,而后者带有中心抽头。变压器不仅要具有2kV以上的电压隔离性能,而且均需要连接50Ω的电阻和0.01μF的

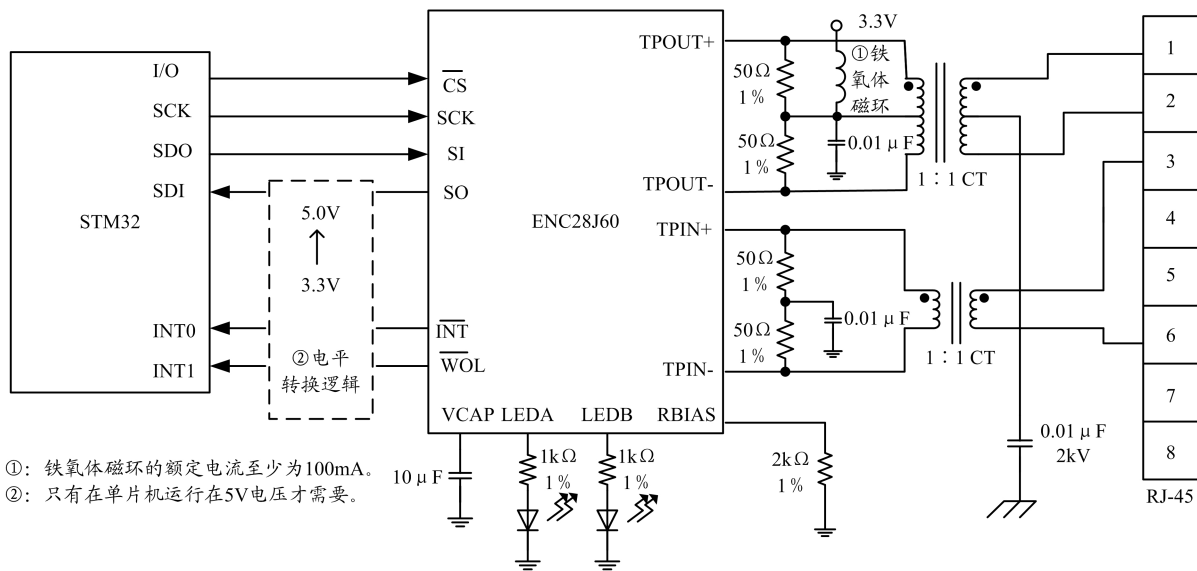


图2 网络接口电路

电容来防止静电干扰;在 RBIAS 引脚与地之间连接一个 $2\text{k}\Omega$ 的电阻以满足 ENC28J60 内部模拟电路的需要。为了让稳压器工作稳定,在 VCAP 引脚和地之间连接了一个 $10\mu\text{F}$ 的稳压电容^[7]。以太网接口电路中全部的电源引脚都与同一个外部 3.3V 电源相连,同样地,所有参考地引脚都应与同一个外部接地点连接,以此驱动 ENC28J60 内部 2.5V 稳压器无法驱动的外部负载;LEDA 和 LEDB 引脚均与光电二极管连接,以此指示接口电路的工作状况。光通信介质转换模块采用 STM32F103RBT6 作为主处理器。STM32 主要用于驱动 ENC28J60 以太网控制器对数据格式进行转换并完成数据的接收和发送工作。

2.2 协议转换

以太网中,信号编码方式是 MLT-3 (Multi-Level Transmit-3)多阶基带数字编码方式。MLT-3 是双极性码,有正电平“+1”、零电平“0”和负电平“-1”3 种状态电平。在可见光通信技术中,信号是通过调制到 LED 光源上的 TTL 电平对应光源明暗变化在自由空间中传输的。TTL 是单极性码,只有正电平“+1”和零电平“0”没有负电平。光通信介质转换模块用于实现互融网络系统两种传输介质之间的电平极性转换和两种通信手段之间协议的转换。

协议转换软件完成的主要功能为:硬件和协议栈

初始化、建立应用进程以及实现数据包格式的转换,其工作流程如图 3 所示。以太网帧数据包经过链路层、IP 层和传输层,去除帧头和帧尾、IP 头部和 UDP 头部之后所剩余的 MLT-3 数据储存在以太网数据缓存区,经过介质转换模块转换成单极性数据由 STM32 的 I/O 口发送出去。单极性数据转换为以太网数据则与以上过程相反。

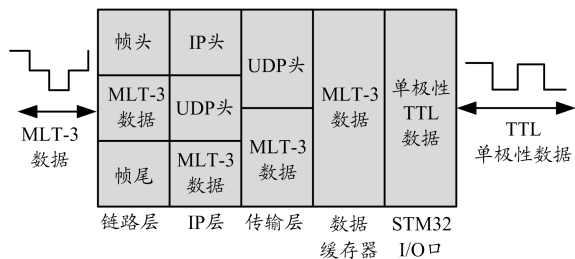


图3 协议转换工作流程图

3 互融局域网络

网络拓扑结构可以分为4类:星型、总线、环型和混合型^[8]。为了配合可见光通信本身具有的广播通信特点,互融网络采用最适合局域网通信的星型拓扑方式。互融局域网网络结构如图4所示,该网络结构由服务器和多个客户端组成,服务器可以直接与客户端通信,客户端之间必须通过服务器才能通信。

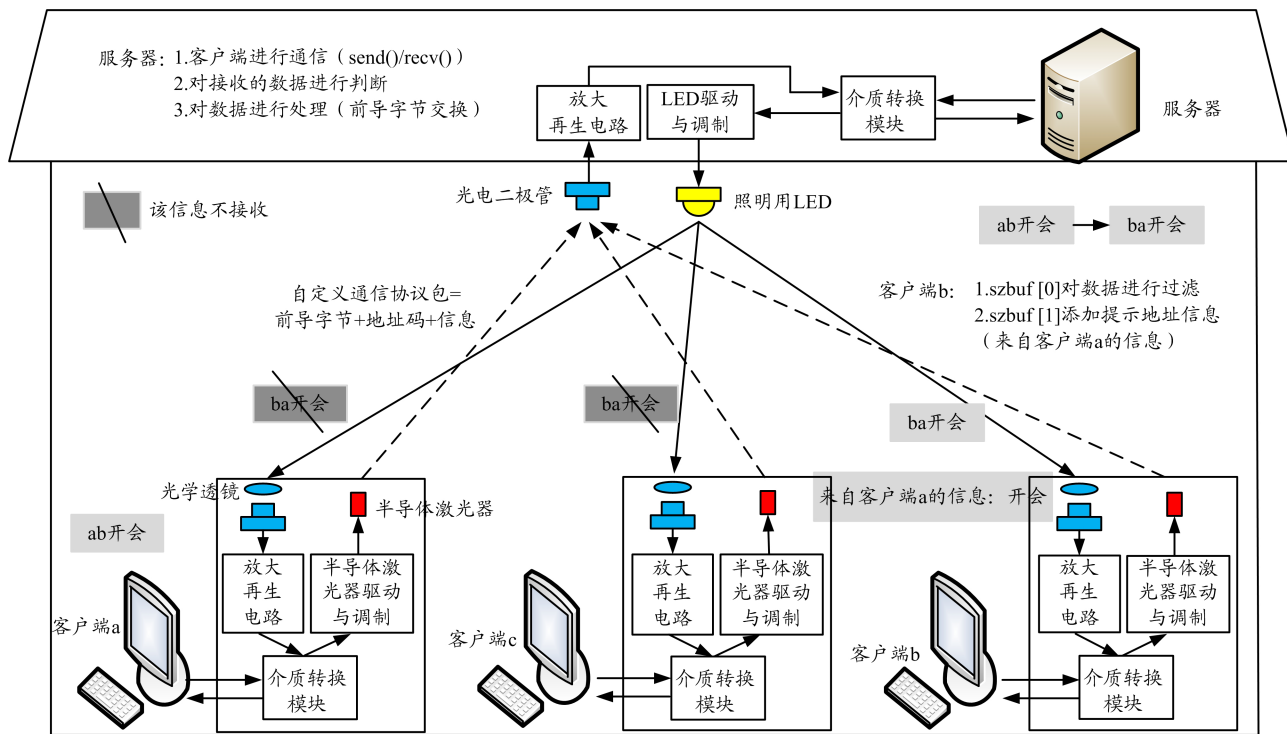


图4 互融网络结构图

3.1 基于 Socket 的 UDP 客户端、服务器程序实现

Windows 环境下 UDP 通信流程:服务器启动,加载套接字库,创建套接字 socket 函数;通过调用 Bind 函数和本地网络地址联系在一起;连接一旦建立,客户端和服务端之间就可以通过调用 Recvfrom 函数和 Sendto 函数来发送和接收数据;待数据传送结束后,双方调用 close 函数关闭套接字。默认采取阻塞模式,阻塞模式是 socket 的缺省模式,也是最常用的模式,即函数阻塞直到调用完毕^[9]。

3.2 自定义通信协议包

可见光通信系统同时承担着照明和通信的双重功能,因此该类型通信系统要受限于一些非通信标准,可见光通信标准的制定必须要协调其它监管机构和协议以确保技术的兼容性^[10]。由于目前还没有通用的白光可见光通信标准,本文参经常用通信协议标准自定义了通信协议。通信协议包结构如图 5 所示,由 3 部分组成:“前导字节+地址码+信息”。前导字节表明信息的去向,地址码表明信息的来源,信息就是所要发送的数据。从图 4 可以看出互融局域网中通信协议包在各个客户端之间的传输流程为:客户端 a 输入“ab 开会”;通信协议包经过半导体激光器通信上行链路到达服务器,服务器对接收到的协议包进行处理(前导字节和地址码互换位置),此时信息变为“ba 开会”;服务器把处理后的协议包通过 LED 可见光下行链路广播发送到各个客户端;客户端通过前导字节对收到的协议包进行过滤(只有客户端 b 能收到信息,其它客户端由于前导字节不匹配丢弃协议包),并通过对地址码的判断添加地址提示信息,此时客户端 b 收到的信息变为“来自客户端 a 的信息:开会”。同理,其它客户端的通信过程与此相同。

前导字节	地址码	信息
信息去向	信息来源	传递的数据

图 5 自定义通信协议包结构

4 网络通信实验结论

互融局域网实验装置如图 6 所示。系统的测试环境在实验室内,屋顶与桌面的垂直距离为 2.2m。通信系统下行链路采用 3W 大功率白光 LED 光源,在未加灯罩聚光(非准直)的情况下最大的通信距离为 1.9m。在非准直光源、通信距离为 1m 和各个接收端横向距离为 0.2m 的情形下接收端的个数最多为 3 个。

在通信距离为 1m 的情况下对最大接入速率进行多次测量,平均接入速率约 1Mb/s。可以实现数据在互融局域网的传输。

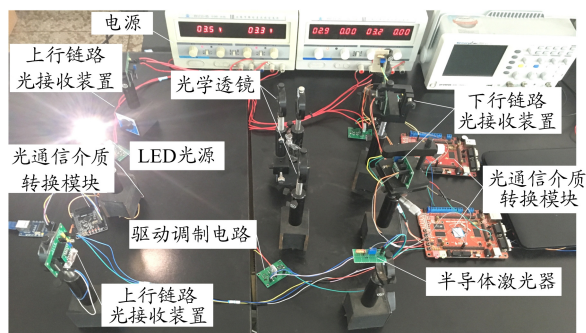


图 6 互融局域网实验装置

5 结束语

本文研究了一种 LED 可见光通信网络与以太网互融技术,通过光通信介质转换模块成功将两者互相融和,进行了互融网络通信实验。实验结果表明:在此互融局域网中各个客户端之间可以很好地进行数据传输,通信速率高达 1Mb/s。互融网络通信性能良好,具有一定的应用价值。将白光通信技术融入到以太网中,组建互融网络,可以充分发挥每种通信手段的优势,很好地解决通信速率慢、无线频谱资源紧张和信息易于泄露等传统无线传输技术面临的难题。该技术非常有利于实现网络信号的全覆盖,在人工智能、定位导航和工业制造等领域都会有很好的应用。

参考文献:

- [1] WANG J B, XIE X X, CAO L L, et al. Fractionally spaced equalizer for indoor visible light communication system[J]. International Journal of Communications, 2012, 3(1): 54-57.
- [2] ZHU B. The Whole Monitor to the Performance of Optical Data Stream in All-optical Network [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(1): 206-209.
- [3] CARVALHO J A R P D, MARQUES N, VEIGA H, et al. Extended Field Performance Evaluation of a Gbps FSO Link[J]. e-Business and Telecommunications, 2012, 222(1): 439-446.
- [4] AYYASH M, ELGALA H, KHREISHAH A, et al. Coexistence of WiFi and LiFi toward 5G: concepts, opportunities, and challenges[J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(2): 64-71.
- [5] 赵智增, 冯春鹏. 基于 STM32 的以太网接口转多串口透传模块设计[J]. 山西电子技术, 2016, 12(2): 30-33.
- [6] 张中央, 陶乃彬. 基于 ENC28J60 的嵌入式系统以太网接口设计[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2007, 28(3): 49-53.
- [7] 魏柏舟. 网络拓扑结构类型简论[J]. 才智, 2012(25): 54-54.
- [8] 孙朝晖. 基于木马的计算机远程控制研究与实现 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [9] 王虹, 蔡喜平. 基于白光 LED 的可见光通信研究进展[J]. 半导体光电, 2014, 35(1): 5-9.