

基于单片机的可见光字符传输系统

王加安, 杨鸿基, 戴鹏

(常州工学院 光电工程学院, 江苏 常州 213032)

摘要: 为了能够进一步减小系统发射端和接收端的体积, 实现高速通信, 提升系统的抗干扰能力, 以 STC12 微控制器为主控芯片, 设计了一套基于单片机的可见光字符传输系统。通过采用视距链路、光幅度调制-直接检测技术对发光二极管(LED)高速调制, 并对系统的抗环境噪声能力进行了测试。实验结果表明: 该系统能够实现 3 m 距离内中英文字符的高速数据通信, 准确度达 90% 以上, 具有良好的抗干扰性能且便于携带。

关键词: 可见光通信; 字符传输; 口袋式; STC12 微控制器; 抗环境噪声

中图分类号: TN929.1; TP368.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2022)02-0013-05

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2022.02.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Visible light character transmission system based on single chip microcomputer

WANG Jiaan, YANG Hongji, DAI Peng

(School of Photoelectric Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou Jiangsu 213032, China)

Abstract: In order to further reduce the volume of the transmitter and receiver of the system, realize high-speed communication, and improve the anti-interference ability of the system, a set of visible light character transmission system based on singlechip microcomputer is designed with STC12 microcontroller as the main control chip. By adopting the line-of-sight link and optical amplitude modulation-direct detection technology, the light-emitting diode (LED) is modulated at high speed, and the anti-environmental noise capability of the system is tested. The experimental results show that the system can realize high-speed data communication of Chinese and English characters within 3 m, with an accuracy of more than 90%. It has good anti-interference performance and easy to carry.

Key words: visible light communication, character transmission, pocket type, STC12 microcontroller, anti-interference noise

0 引言

基于照明发光二极管(LED)的可见光通信(VLC)具有传输速率高、带宽大、功率高、保密性好和对人体无害等特点成为世界各地无线通信领域专家学者研究的新方向^[1-4]。2006年,墨尔本大学的 ARMSTRONG J 等人^[5]通过非对称限幅光调制使相同光功率下信号的平均功率增加了 8 dB。2013年,复旦大学迟楠教授团

队^[6]基于正交频分复用技术采用 RGB-LED 实现了离线 2.1 Gb/s 速率的数据传输。2015年,清华大学的于冰雁等人^[7]基于多芯 LED 提出子载波分组正交频分复用技术系统,增强了系统的发射功率,提升了系统性能。随着我国提出“碳达峰”、“碳中和”节能减排的目标,绿色照明 LED 的使用将更加广泛,基于 LED 的 VLC 技术将具有重要的应用价值。未来 VLC 系统与光纤系统相结合会成为最好的短途高速无线接入方案^[8]。

文献 [9-10] 介绍了 2 种基于单片机的 LED VLC 系统,都采用了串口调试的方式实现字符的传输,但 2 种系统在信号发射端、信号接收端和供电模块的体积较大,且没有考虑环境噪声对于 VLC 系统的影响。本文设计一种基于 STC12 的 VLC 字符传输系统,并研究环境光对于 VLC 系统的影响。

收稿日期: 2021-07-22。

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究面上项目 (20KJB510041)资助;常州工学院高层次人才引进项目 (E3-6701-18-113)资助。

作者简介: 王加安(1990—),男,江苏常州人,博士,讲师,目前为常州工学院测控技术系主任、江苏省仪器仪表学会教育专业委员会委员,主要研究方向为光通信系统优化和器件设计、精密测试技术。参与了“基于可见光的定位与位置信息获取技术研究”、“基于 VLC 的室内移动机器人定位与接入混合技术研究”等项目。



1 基于 STC12 的 VLC 字符传输系统的组成

基于 STC12 的 VLC 字符传输系统主要由信号发射端、VLC 信道和信号接收端三部分组成, 系统基本原理框图如图 1 所示。

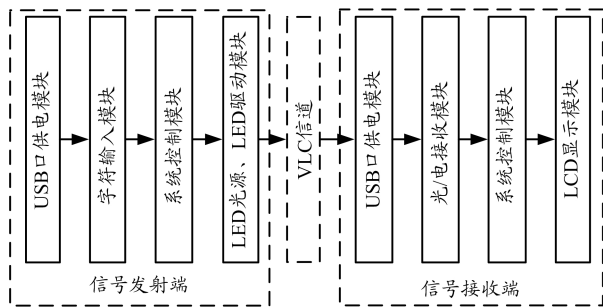


图 1 系统原理框图

1.1 信号发射端

信号发射端主要包括 USB 口供电模块、字符输入模块、系统控制模块以及 LED 光源、LED 驱动模块。

①USB 口供电模块。通过 USB 口给信号发射端进行供电, 可方便可见光传输系统的携带; 加入了稳压电路, 保证供电电压的稳定。

②字符输入模块。通过字符输入板进行字符的输入, 设计了 USB 口转串口功能, 方便与电脑连接进行大量字符数据的输入。

③系统控制模块。本系统采用 STC2C12C5A 60S2 单片机, 与之前的 8051 单片机相比, 其速度提高了 8 倍以上, 是一种高速、耗能小和抗干扰能力强的新型单片机; 内置的 MAX810 模块包含特定复位电路、2 路脉冲宽度调制 (PWM) 和 8 路高速 10 位模/数 (A/D) 转换^[10], 使得系统控制模块的体积进一步减小, 发射端整体尺寸为 5 cm×10 cm×3 cm, 比文献[11]中的发射端缩小近一半。在单片机中, 接收到的字符信号经过波分复用技术进行脉冲振幅调制 (PAM) 编码, 利用串口将

高速码流输出, 通过 LED 驱动模块将字符信息发射出去。

④LED 光源、LED 驱动模块。光源的选择在 VLC 中十分关键, 本系统选择了拥有低功耗、大辐射取向等特性, 且具有良好的调制性能、响应速率快、使用时间长和传输速率大等优势的高亮度贴片灯珠, 构成了 LED 阵列, 用作系统的通信光源, 既满足亮度要求, 又最大限度地减小了光源的体积^[12]。LED 驱动模块的核心是发射电路, 如图 2 所示。LED 的 CC/CV 电源两边各自并联了 2 个去耦电容 C_{31} 、 C_{32} 、 C_{30} 与电感组成滤波电路后, 再与 D_5 、 C_{33} 和 LED 反向并联, 然后一端接入 5 个并联的限流电阻 R_{20} 、 R_{22} 、 R_{24} 、 R_{26} 、 R_{28} , 另一端与场效应管 (MOS 管) 连接, 通过控制 MOS 管的通断使 LED 具有通信功能。图中 MOS 管的 4 引脚与图 4 的输出端连接, 即 LED 驱动电路的输入接口。

图 3 为信号输入电路图, 该电路图由光耦隔离元件 (U6) 和 MOSDRIVER 元件 (U7) 组成。最初的字符信号通过 U6 进行输入, U6 的输出端与 U7 元件的输入端相连, U7 输出端控制 LED 驱动电路, 实现信号的加载。图中 UCC27528D 芯片的 5、7 引脚连接 LED 驱动电路输入端。

1.2 VLC 信道

由于室内 VLC 系统的 LED 和接收器的安装位置和角度各不相同, 因此室内无线信道链接方式分为 6 种: 定向视距链接、非定向视距链接、混合视距链接、定向非视距链接、非定向非视距链接和混合非视距链接^[13]。其中, 定向型链路中光源和接收器必须对准, 功率利用率高^[14], 视距链路只接收直射光线, 多径效应影响小^[15]。本系统中 VLC 信道采用此设计, 可使 VLC 信道间无障碍物, 多径效应小。

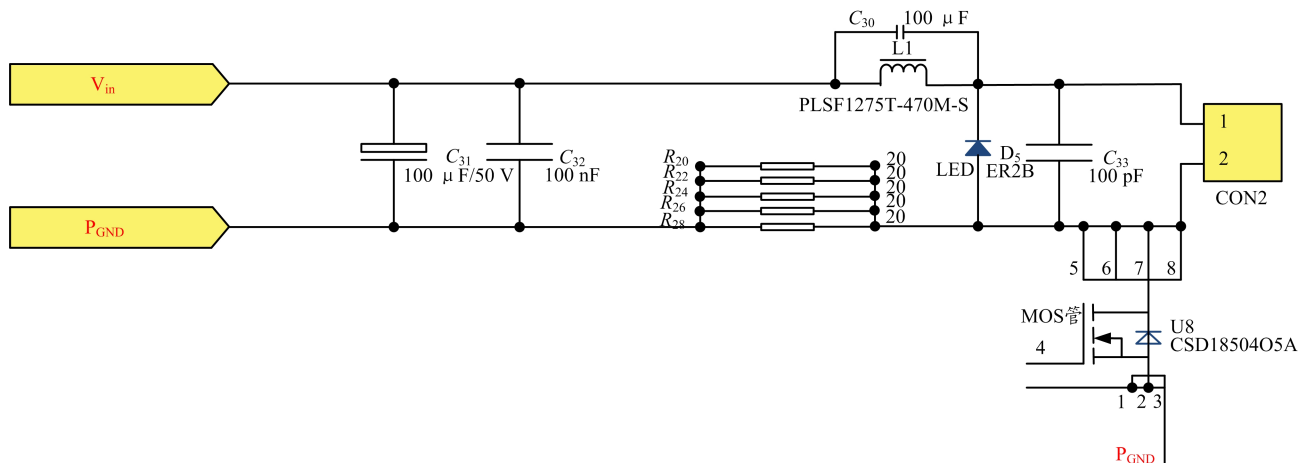


图 2 LED 发射电路

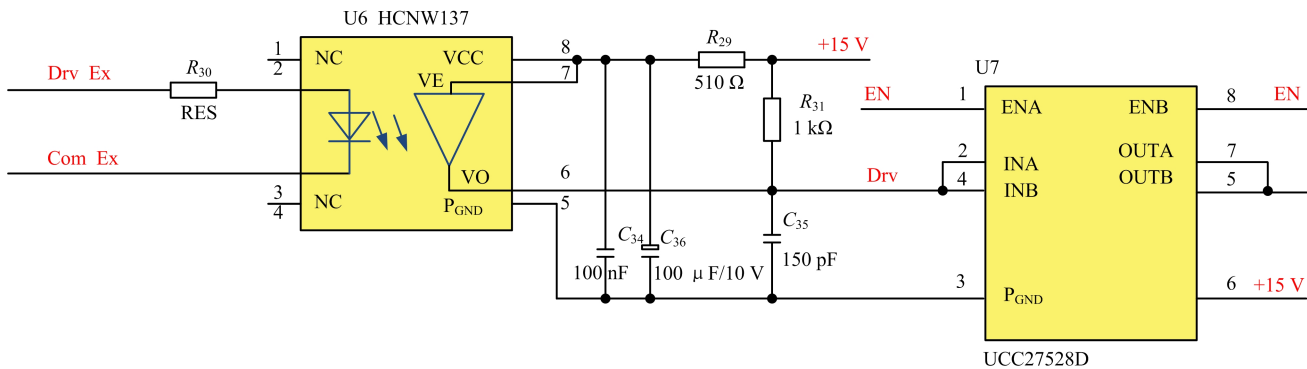


图3 信号输入电路

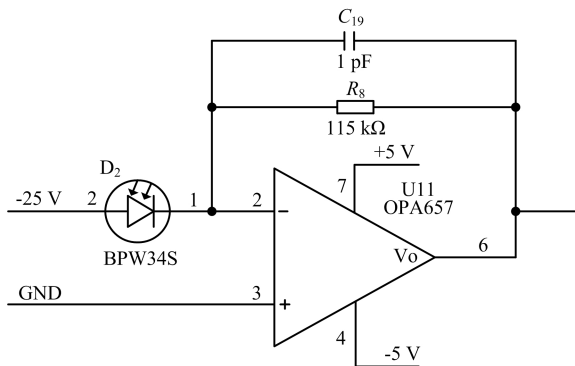


图4 一级放大电路

1.3 信号接收端

信号接收端主要包括光/电接收模块、供电模块、系统控制模块和 LCD 显示模块。

①USB 口供电模块。与信号发射端相似, 这里不再赘述。

②光/电接收模块。在光通信接收体系内, 光电探测器主要负责把感测到的光信号进行电信号转换。PIN 型光电二极管具有结电容小、响应效率高、耐高温、可以在很多环境下使用、成本低廉、体积小巧、稳定性强以及使用方便等特点, 故本系统采取其作为探测器^[16-17]。光电二极管接收光信号后经光/电转换处理, 由于光电流的信号较小, 一般为几十微安, 因此需要

通过放大滤波电路对信号放大处理。放大电路的核心芯片选用的是低噪声跨阻放大芯片 OPA657, 当信号频率范围在 100 kHz~5 MHz 之间时, OPA657 芯片能够稳定地提供 106 dB 的增益。

如果伏级的电压输出仅通过一级放大电路实现, 那么反馈电阻则达到几万欧以上, 如此大的反馈电阻会引起 2 个问题: 一是白光 LED 的光信号是在一个直流偏置上叠加的, 调制深度较小, 外界的杂光干扰也增加了直流成分, 因此导致转换后的电压信号直流成分多、信号成分微弱且容易饱和, 造成信号全部丢失; 二是接收端带宽将急速下降, 失去信号高频成分, 增大了系统误码率。为了解决这一问题, 本实验系统以 2 片 OPA657 芯片为核心组成二级运算放大电路, 无源高通滤波器处于两级放大之间和第二级输出之后, 滤除直流成分, 第二级运放只放大信号的高频分量, 具体电路结构如图 5 所示。

在二级放大电路中, 由电容 C_3 、 C_6 及 R_4 、 R_9 组成的高通滤波网络其特性用输出电压 U_{out} 与输入电压 U_{in} 比值的绝对值表示, 如式(1)所示。

$$\left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = 1 / \sqrt{\left(1 - \frac{1}{w^2 R^2 C^2} \right)^2 + \left(\frac{3}{w R C} \right)^2} \quad (1)$$

其中, w 为频率, R 为电阻, C 为电容。令 $\left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = \sqrt{2} / 2$,

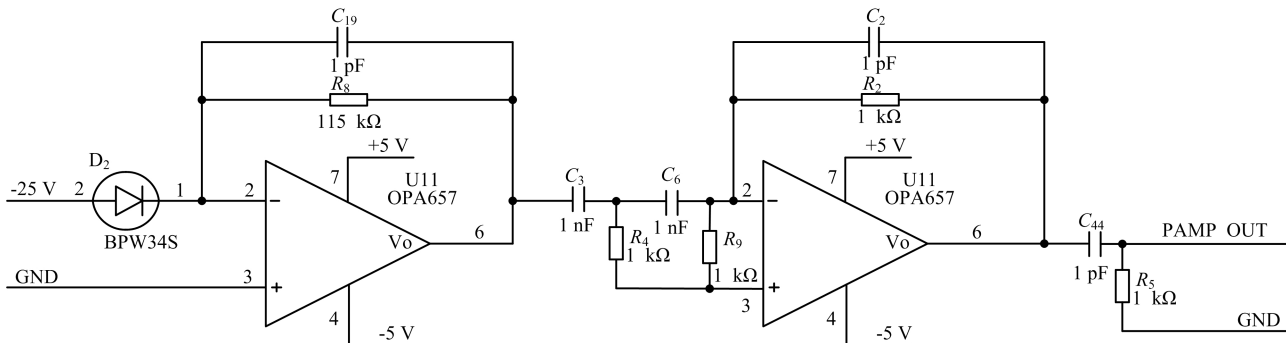


图5 二级放大电路

王加安, 杨鸿基, 戴 鹏: 基于单片机的可见光字符传输系统

得到高通滤波网络的转折频率表达式如下:

$$f_{3dB} = \frac{W_{3dB}}{2\pi} = \sqrt{\frac{1.758}{\pi RC}} \tag{2}$$

实验中, 取 $C_2=C_3=1\text{ nF}$, $R_3=R_4=1\text{ k}\Omega$, 则根据式 (2) 求得 $f_{3dB}=452.27\text{ Hz}$, 滤除了直流和低频成分。

③系统控制模块。与信号发射端相似, 这里不再累述。

④LCD 显示模块。通过 1602LCD 显示屏进行接收字符的显示, 同样设计了 USB 口转串口功能, 方便与电脑连接和大量字符数据的显示。

2 系统实验

为了验证所设计的基于 STC12 的 VLC 字符传输系统性能, 本文分别对其进行了通信距离与稳定性测试和抗噪声传输测试, 字符传输系统实物如图 6 所示。



图 6 字符传输测试系统实物图

2.1 通信距离与稳定性测试

通信距离与稳定性测试数据如表 1 所示。可以看出, 当传输距离在 0~1.5 m 时, 且有一组字符被按下后, 能够在显示屏上显示字符, 准确率达到 98%, 表明字符传输质量良好; 当传输距离在 1.5~3 m 时, 系统的传输准确率有所降低, 但仍然达到 90%; 当传输距离大于 3 m 时, LCD 显示屏无法正确显示字符, 表明该系统在 3 m 内能保证良好的通信质量, 超过 3 m 时信号传输较弱, 准确率仅为 75%, 误码率较高。

表 1 通信距离与稳定性测试数据表

测试距离	通信质量	测试结果准确度 (每组实验 200 次)
0 m	良好	100%
0~1.5 m	良好	98%
1.5~3 m	良好	90%
>3 m	接收不到、字符错误	75%

2.2 抗噪声传输测试

首先, 寻找一个不透光的房间, 关掉房间灯光, 当字符按钮被按下时, 显示屏能正常显示按下的字符; 然后, 打开房间灯光, 再次按下字符按钮时, 显示屏继续显示字符, 表明有环境光影响时, 系统的通信性能也能满足要求, 实验结果如表 2 所示。

表 2 抗噪声传输测试数据表

测试环境	光照条件	通信质量	测试结果准确度 (每组实验 200 次)
室内测试	无光源	良好	100%
	有光源	良好	100%
室外测试	早上 8 点	良好	100%
	中午 12 点	显示字符错误	92%
	下午 3 点	良好	100%

然后, 进行室外测试。共分 3 个时间段进行测试: 早上 8 点、中午 12 点和下午 3 点。中午 12 点进行的 3 次实验测试中, 有 16 组数据显示错误, 其它室外检测数据正确, 均能保证良好的通信效果。这说明在太阳光较强的情况下, 虽然有一定的实验误差, 但准确率也达到 92%, 能确保优良的通信效果。因此, 在接收端中采用的二级放大高通滤波的设计能有效地降低太阳光对 VLC 系统带来的影响, 进一步提升系统的抗干扰性。

3 结束语

本文设计了一套基于 STC12 的可见光字符传输系统, 系统控制模块采用高速、耗能小和抗干扰能力强的 STC2C12C5A60S2 单片机, 实现了字符的发送与传输, 并对系统性能进行了通信距离与稳定性测试和抗噪声传输测试。测试结果表明: 该系统能够实现 3 m 距离内中英文字符 90% 准确率的高速数据通信; 在发射端中采用的波分复用技术和在接收端中采用的二级放大高通滤波技术均能有效地抑制外界噪声的干扰; 此外, 相较于现有的基于单片机的 VLC 系统, 本套系统的发射端和接收端的体积都缩小了一半, 更便于携带。

参考文献:

[1] WANG H T, CHEN C F, CHI S. A good performance 3-dB splitter based on coupling-weighted and velocity-tapered waveguides [J]. Optics Communications, 2015, 350: 97–102.

- [2] 欧海燕, 沈超. 可见光通信新型发光器件原理及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [3] WANG D, LI C, WANG Y H, et al. Tunnel visible light communication system utilizing nonlinear suppression technique [J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2020, 228(709): 166195-1-1661956.
- [4] CHAUDHARY N, YOUNUS O I, ALVES L N, et al. An indoor visible light positioning system using tilted LEDs with high accuracy [J]. Sensors, 2021, 20(21): 6119: 1-16.
- [5] ARMSTRONG J, LOWERY A J. Power efficient optical OFDM [J]. Electronics Letters, 2006, 42(6): 370-372.
- [6] WANG Y, CHI N, WANG Y, et al. High-speed quasi-balanced detection OFDM in visible light communication [J]. Opt Express, 2013, 21(23): 27558-27564.
- [7] YU B Y, ZHANG H, LI W, et al. Subcarrier grouping OFDM for visible-light communication systems [J]. IEEE Photonics Journal, 2015, 7(5): 7903812-11-7903812-12.
- [8] WANG J A, XU A C, JU J T, et al. Optimization lighting layout of indoor visible light communication system based on improved artificial fish swarm algorithm [J]. Journal of Optics, 2020, 22(3): 1-9.
- [9] 王涛. 基于 51 单片机的 LED 可见光通信系统[J]. 电视技术, 2013, 37(9): 61-63.
- [10] 郭文川. MCE-51 单片机原理、接口及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [11] 王涛, 陈善继. 基于 STM32 的 VLC 字符传输系统[J]. 实验技术与管理, 2016, 33(10): 139-141.
- [12] 陈睿, 哈依那尔, 邹鹏, 等. 基于双二进制编码的 LED 车灯通信系统研究[J]. 照明工程学报, 2021, 32(2): 44-48.
- [13] 王加安, 车英, 郭林煊, 等. 室内可见光通信系统光源 LED 布局优化与性能分析[J]. 中国激光, 2018, 45(5): 172-183.
- [14] 贾科军, 杨博然, 曹明华, 等. 可见光通信自适应 O-OFDM 符号分解串行传输系统设计与研究[J]. 通信学报, 2020, 41(9): 179-189.
- [15] 焦媛. 无线可见光通信的信道估计研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- [16] 刘梦娇, 柴广跃, 王科航, 等. 基于多灯驱动的 LED 可见光通信系统设计[J]. 照明工程学报, 2019, 30(5): 133-138.
- [17] 迟楠, 石蒙, 哈依那尔, 等. LiFi: 可见光通信技术发展现状与展望[J]. 照明工程学报, 2019, 30(1): 1-9.