

可见光通信 LED 高速驱动电路研究与设计

夏中金,凌六一,黄家伟,吕旻姝,袁 枫

(安徽理工大学 电气与信息工程学院,安徽 淮南 232001)

摘要:在可见光通信系统中,LED 关闭时残留在自身结电容上的载流子极大地限制了 LED 的调制速率。研究一种可清除 LED 关闭时结电容上残留载流子的新型 LED 驱动电路,即通过与 LED 两端连接一个三极管,当 LED 关闭时开启与 LED 两端相连的三极管,短路 LED,从而快速清除 LED 两端的剩余载流子;当 LED 开启时关闭与 LED 两端相连的三极管,保证 LED 的正常驱动。以 1MHz 方波信号作为信号源,用型号为 FDS100 的光电探测器对 LED 发出的光信号进行检测,利用蓝(中心波长为 460nm)、紫(中心波长为 400nm)2 种不同波段的 LED 对电路进行测试。实验结果表明:该新型 LED 驱动电路可有效提高单个 LED 的调制速率。

关键词:可见光通信;LED;驱动电路;调制速率

中图分类号:TN929.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)02-0022-05

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.02.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research and design of high-speed drive circuit for LED in visible light communication

XIA Zhongjin, LING Liuyi, HUANG Jiawei, LYU Minshu, YUAN Feng

(Institute of Electric and Information Technology, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China)

Abstract: In the visible light communication system, the carriers that remain on the junction capacitance of LED when the LED is turned off greatly limit the modulation rate of the LED. This paper studies a new LED drive circuit that can remove residual carriers on the junction capacitance when the LED is turned off. Through connecting a triode with both ends of LED, and turning on it when the LED is turned off, the LED is become short-circuit to quickly remove the residual carriers on both ends of the LED; and through turning off the triode when the LED is turned on, the normal drive of LED can be ensured. Taking 1MHz square-wave signal as the signal source, the optical signal emitted by the LED is detected by the FDS100 photoelectric detector, and the circuit is tested through two different LED bands of blue (460nm center wavelength) and purple (400nm center wavelength). The experimental results show that the new LED drive circuit can effectively improve the modulation rate of a single LED.

Key words: visible light communication; LED; driving circuit; modulation rate

0 引言

可见光通信以 LED 为光源,在照明的同时实现信息的高速传递。但是,在现有 LED 照明驱动电路基础之上实现高速的数据传输还存在着许多问题,有些问题已找到了解决方案,有些问题却才开始引起关注,具体情况如下:LED 的调制带宽有限,可通过正交频

分复用(OFDM)、多输入多输出(MIMO)技术提高 LED 调制带宽的利用率^[1,2];噪声对系统的干扰较大,利用 H-PPM 等编码技术可有效提高系统的抗干扰能力^[3];不同的应用环境有着不同的通信信道,Jia Wang 等人建立了一种基于递推模型的路径损耗信道模型为可见光通信适用于井下环境提供了理论基础^[4];王鸿喜等人使用蓝光 LED 结合 PPM 调制实现 6m、0.98Mb/s 的水下无失真传输^[5];高文文等用紫光微型 LED 结合 OFDM 成功实现了更高的数据传输^[6];武梦龙等人利用 LED 作为光收发元件实现 2m、8Mb/s 速率的实时双向可见光通信^[7]。然而,对于 LED 关闭时其结电容上残留的载流子导致 LED 无法适应高速调制信号问题的研

收稿日期:2018-11-14。

作者简介:夏中金(1995-),男,河南潢川人,2014-2018 年就读于安徽理工大学通信工程专业(本科),现为安徽理工大学电路与系统专业硕士研究生,主要从事可见光通信硬件电路设计和优化以及可将光通信实际应用方面的研究。



究并不多^[8], 本文针对此问题研究一种新型 LED 驱动电路, 在传统 LED 驱动电路基础之上增加载流子清除电路。

1 LED 调制速率受限原因分析

图 1 为 LED 在开启和关闭 2 种状态下的发光示意图。当 LED 开启时, LED 两端汇聚大量载流子形成正向电流, LED 发出强光, 如图 1(a) 所示。然而, 在 LED 关闭时, 其结电容上仍残留少许载流子导致 LED 关闭不彻底而发出微弱的光, 如图 1(b) 所示。

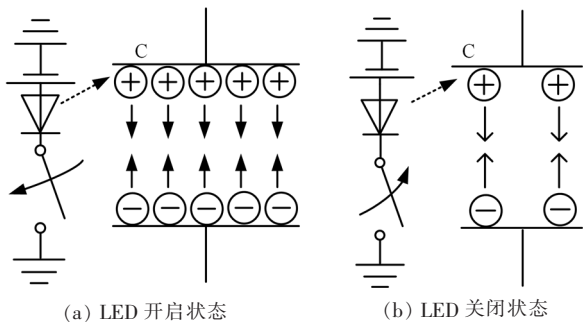


图 1 LED 发光示意图

LED 驱动电路输入信号、LED 端电压波形示意图分别如图 2 所示。假设输入信号的频率由低向高增长如图 2(a) 所示, 在低频数字信号下, LED 关闭时的端电压低于阈值电压, LED 彻底关闭而不发光; 在高频数字信号下, LED 关闭时的端电压由于其结电容上残留的载流子而高于阈值电压, 导致 LED 无法彻底关闭而发出微弱的光, 如图 2(b) 所示。

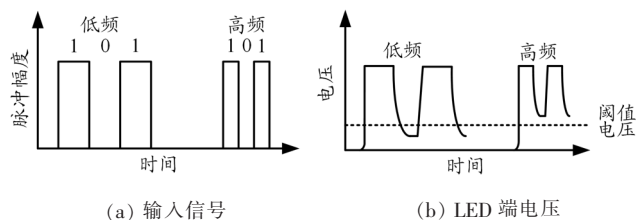


图 2 LED 调制速率受限原因

2 系统设计

2.1 高速驱动电路

本文研究一种新型 LED 驱动电路, 主要由 LED 驱动部分和载流子清除部分组成, 电路原理图如图 3 所示。驱动部分是由三极管 T_1 和 LED 组成简单的共源驱动电路; 载流子清除部分由三极管 T_3 、 T_2 组成, 三极管 T_3 控制三极管 T_2 。三极管 T_1 和三极管 T_3 具有相

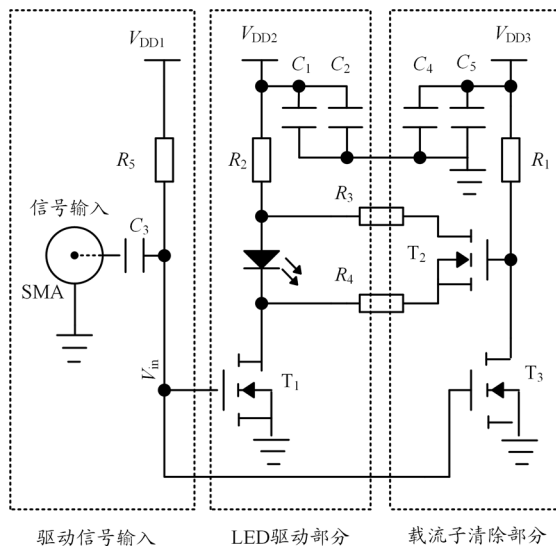


图 3 LED 驱动电路

同的工作状态, 当三极管 T_1 开启时, LED 驱动电路正常工作, LED 开启, 同时三极管 T_3 开启并控制三极管 T_2 使其关闭, 使得 LED 开启时不被载流子清除电路影响; 相反, 三极管 T_1 关闭时 LED 关闭, 三极管 T_3 关闭使得三极管 T_2 开启, 此时 LED 两端被短路, LED 结电容中剩余载流子被清除。为了达到清除效果, 在 LED 熄灭的瞬间开启三极管 T_2 并在 LED 处于熄灭时一直保持三极管 T_2 处于开启状态; 同时, 为了不影响 LED 的点亮, 在 LED 点亮的瞬间关闭三极管 T_2 并在 LED 处于点亮状态时一直保持三极管 T_2 处于关闭状态。电路实物图如图 4 所示, 其中 LED 驱动部分、载流子清除部分与图 3 的电路原理图相对应。

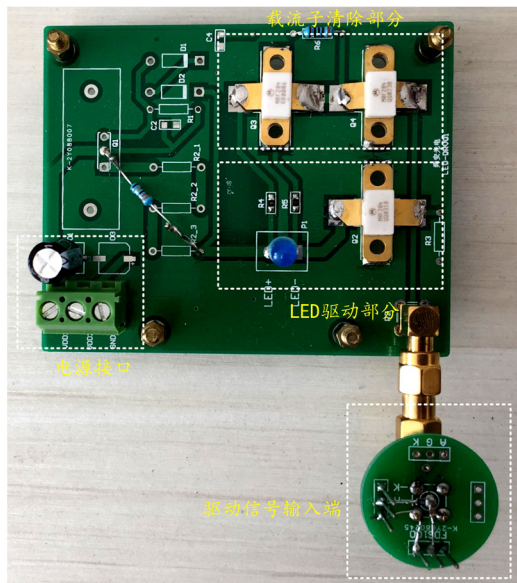


图 4 LED 驱动电路实物图

为了达到最佳的清除效果, 提升 LED 的调制速率, 每个电路元器件型号及取值必须严格筛选, 具体器件型号和取值如表 1 所示。

表 1 电路参数

项目名称	取值或型号
T_1, T_2, T_3	MRF284
V_{in}	0.825~2.475V
V_{DD1}	5V
V_{DD2}	8V
V_{DD3}	3.3V
R_1	200 Ω
R_2	200 Ω
R_3, R_4	0 Ω
R_5	100 Ω
C_1, C_2, C_3, C_4	10 μ F
C_5	2.2 μ F
LED(蓝、紫)	5mm 发光二极管

V_{DD2} 和 V_{DD3} 分别为 LED 驱动电路、载流子清除电路的供电电压, 保证整个 LED 驱动电路的供电。由 FPGA 产生的 1MHz 方波输入信号由图 3 中的 SMA 接头输入, 由于 FPGA 输出信号时存在输出阻抗, 经测试约为 100 Ω , 输出信号经过 C_5 到达图 3 所示 V_{in} 的位置时电压为 -0.825~+0.825V, 达不到三极管导通所需电压 +2~+4V, 三极管不能正常导通; 利用 FPGA 开发板上的 3.3V 电源, 加上一个 100 Ω 的电阻, 再产生 1.65V 的电压, 经叠加后 V_{in} 的实际电压为 +0.825~+2.475V, 其最大值达到三极管导通电压的要求, 使得三极管可以正常导通和截止。

2.2 检测电路

检测电路原理图如图 5 所示, 本文采用光电探测器 (FDS100) 检测 LED 发出的光信号, 把接收到的光

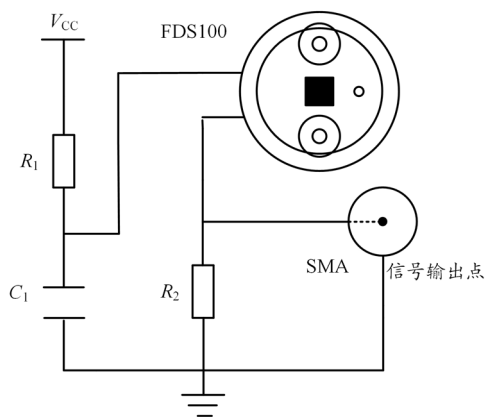


图 5 检测电路原理图

信号转化为电流信号, 经过一个 50 Ω 的电阻 R_2 后转化为电阻 R_2 两端的电压信号, 示波器的探头通过与 SMA 接头相连, 将电阻 R_2 两端的电压信号采集下来并显示在示波器的屏幕上。电路供电采用 +9V 的碳性电池供电, 以保证电源的独立性, 防止接收到的信号受到电源的干扰。

3 实验与分析

3.1 实验装置

整体电路测试图如图 6 所示, 分别采用中心波长为 460nm 的蓝光和中心波长为 400nm 的紫光 LED 进行测试, 信号源由 FPGA 开发板产生, FPGA 开发板可产生最高频率 50MHz、上升时间和下降时间均为 5ns 的方波信号。LED 驱动电路供电电源使用型号为 IT6302 的 ITECH(爱德克斯)可编程直流稳压电源, 可产生 0~30V 的直流电压。光电探测器采用型号为 FDS100 的硅光电二极管, 可检测波长为 350~1100nm 的光, 在负载电阻为 50 Ω 的情况下可达到 10ns 的检测精度。示波器选用 MSO2024B 混合信号示波器, 拥有高达 200MHz 的带宽和 1GS/s 的采样率, 可同时分析模拟信号、数字信号和串行信号。实验由 FPGA 开发板产生 1MHz 的方波信号, 经 LED 驱动电路分别驱动蓝、紫光 LED, 将电信号转化为光信号, 在检测端通过光电探测器和检测电路对光信号进行检测并转化为电信号显示在示波器上。

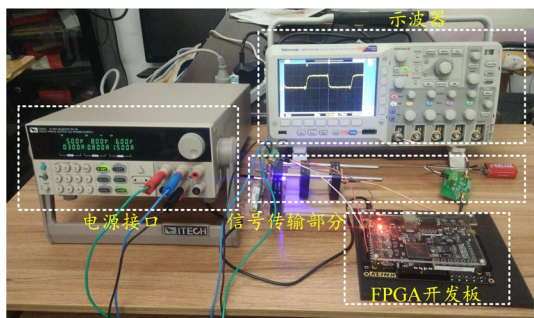


图 6 电路测试图

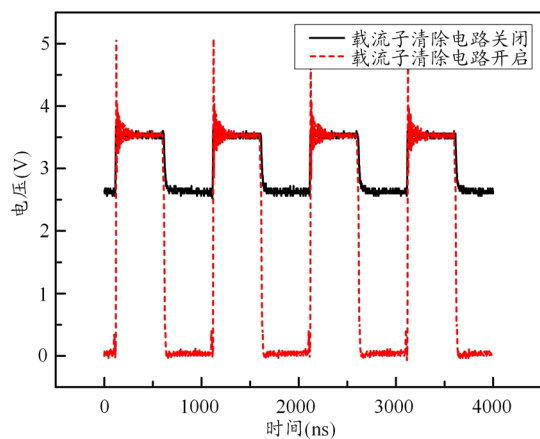
3.2 性能分析

3.2.1 LED 端电压

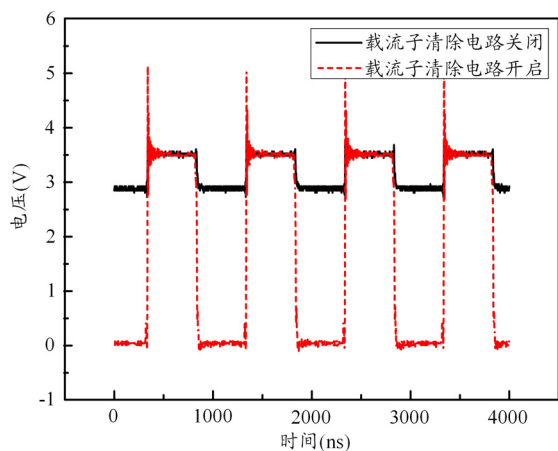
在上述实验条件下, 测得 LED 端电压如图 7 所示, 其中实线代表载流子清除电路停止工作条件下的 LED 端电压波形图, 虚线代表载流子清除电路正常工作条件下的 LED 端电压波形图。中心波长为 460nm 的蓝光 LED 端电压在 LED 关闭时由 2.5V 降到 0V, 如图 7(a)所示; 紫光 LED 的端电压在 LED 关闭时电压由 2.9V 下降到 0V, 如图 7(b)所示。实验结果表明: 在 LED 关闭时, LED 端电压降至 0V, 载流子清除电路正常工作, 成功将 LED 结电容上的剩余载流子清除, 使得 LED 可以完全熄灭。

3.2.2 LED 调制信号上升时间

在载流子清除电路正常工作和停止工作 2 种条

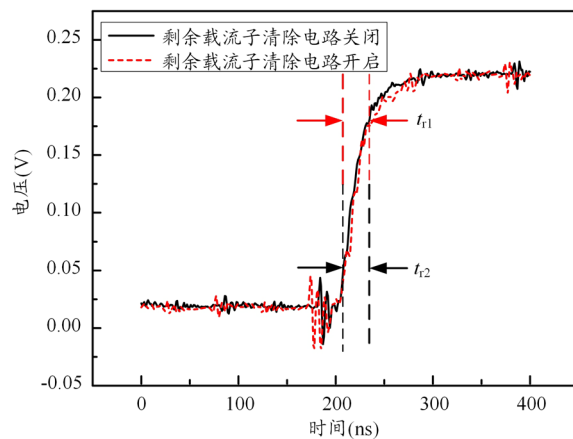


(a) 蓝光 LED 端电压

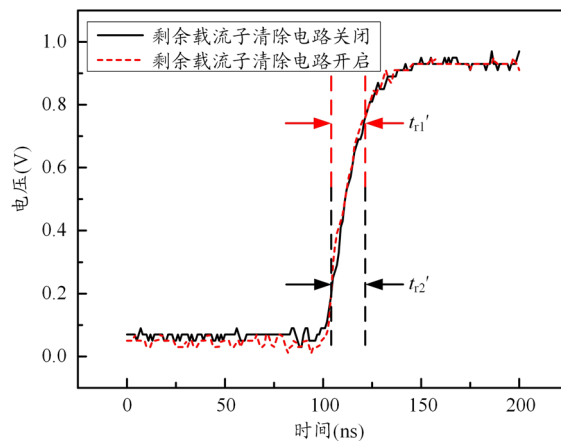


(b) 紫光 LED 端电压

图 7 LED 端电压



(a) 蓝光 LED 调制信号上升时间



(b) 紫光 LED 调制信号上升时间

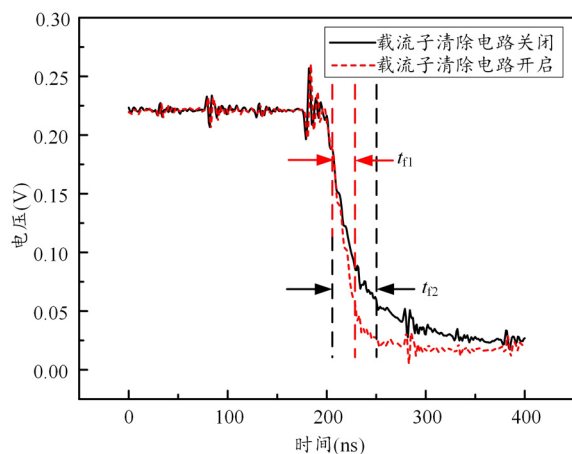
图 8 LED 调制信号上升时间

件下, 本文利用 FPGA 开发板产生 1MHz 方波输入信号, 经 LED 驱动电路驱动 LED 发光, 用型号为 FDS100 的光电探测器将 LED 发出的调制光信号接收下来并显示在示波器上, 如图 8 所示。其中, 虚线代表载流子清除电路正常工作下的调制信号上升时间波形图, 实线代表载流子清除电路停止工作下的调制信号上升时间波形图。中心波长为 460nm 的蓝光 LED 在载流子清除电路正常工作和停止工作 2 种条件下的调制信号上升时间波形吻合, 调制信号的上升时间分别为 t_{r1} 、 t_{r2} , 均为 20ns, 如图 8(a) 所示; 中心波长为 400nm 的紫光 LED 在载流子清除电路正常工作和停止工作 2 种条件下的调制信号上升时间波形基本一致, 调制信号的上升时间分别为 t_{r1}' 、 t_{r2}' , 均为 21ns, 如图 8(b) 所示。实验结果表明载流子清除电路不会影响 LED 调制信号的上升时间。

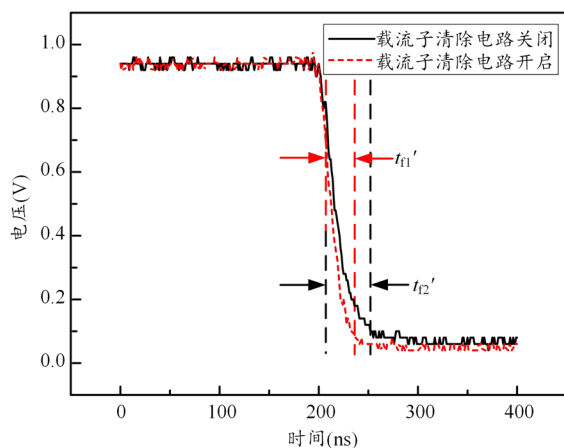
3.2.3 LED 调制信号下降时间

在载流子清除电路正常工作和停止工作 2 种条件下, 本文利用 FPGA 开发板产生 1MHz 方波输入信

号, 经 LED 驱动电路驱动 LED 发光, 用型号为 FDS100 的光电探测器将 LED 发出的调制光信号接收下来并显示在示波器上, 如图 9 所示。其中, 虚线代表载流子清除电路正常工作下的调制信号下降时间波形图, 实线代表载流子清除电路停止工作下的调制信号下降时间波形图。中心波长为 460nm 的蓝光 LED 在载流子清除电路正常工作条件下的调制信号下降时间波形, 相对于在载流子清除电路停止工作条件下的调制信号下降时间波形更陡峭, 调制信号下降时间从载流子清除电路停止工作时的 66.34ns 下降到载流子清除电路正常工作时的 31.98ns, 如图 9(a) 所示。中心波长为 400nm 的紫光 LED 在载流子清除电路正常工作条件下的调制信号下降时间波形, 与在载流子清除电路停止工作条件下的调制信号下降时间波形之间的差别稍弱于中心波长为 460nm 的蓝光 LED, 调制信号下降时间从载流子清除电路停止工作时的 40.10ns 下降到载流子清除电路正常工作时的 26.20ns, 如图 9(b) 所示。显然, 在相同条件下具有载



(a) 蓝光 LED 调制信号下降时间



(b) 紫光 LED 调制信号下降时间

图 9 LED 调制信号下降时间

流子清除电路的 LED 驱动电路显著降低这 2 种不同波段 LED 调制信号的下降时间。

3.2.4 LED 调制速率

在载流子清除电路正常工作和检测到的 LED 调制信号是完整方波条件下, 改变输入方波信号的频率, 直至 LED 调制信号下降时间与载流子清除电路停止工作、输入 1MHz 方波信号条件下的 LED 调制信号下降时间一致, 记录此时输入方波信号的频率。由于输入的方波信号未经编码, 故在此条件下, LED 调制速率可由输入方波信号近似表示, 结果如表 2 所示。

从表 2 可知, 在 LED 调制信号下降时间相近条件下, 载流子清除电路正常工作时可将中心波长为 460nm 的蓝光 LED 调制速率由 1MHz 增加到 3MHz、将中心波长为 400nm 的紫光 LED 调制速率由 1Mb/s 增加到 2.5Mb/s。因此, 在相同条件下具有载流子清除电路的 LED 驱动电路能显著提升这 2 种不同波段 LED 调制信号的调制速率。

表 2 LED 调制速率对比

LED	载流子清除电路状态	LED 调制信号下降时间	输入方波信号频率	LED 调制速率
LED(蓝)	关闭	66.34ns	1MHz	1Mb/s
	开启	63.22ns	3MHz	3Mb/s
LED(紫)	关闭	40.10ns	1MHz	1Mb/s
	开启	42.56ns	1MHz	2.5Mb/s

4 结束语

本文针对单个 LED 调制速率受限问题设计出适用于可见光通信的新型 LED 高速驱动电路, 并对驱动电路原理、电路参数以及测试条件进行了说明。实验结果表明: 该新型 LED 高速驱动电路在 LED 关闭时可快速将 LED 两端短接使 LED 端电压降至 0V, 有效清除了 LED 结电容上的剩余载流子; 中心波长为 460nm 的蓝光 LED 调制信号的下降时间从 66.34ns 降到了 31.98ns, 上升时间保持在 20ns, 在 LED 调制信号下降时间相近条件下, LED 的调制速率由 1Mb/s 提升至 3Mb/s; 中心波长为 400nm 的紫光 LED 调制信号下降时间从 40.10ns 降到了 26.20ns, 上升时间保持在 21ns, 在 LED 调制信号下降时间相近条件下, LED 的调制速率由 1Mb/s 提升至 2.5Mb/s。在不影响调制信号上升时间的前提下, 该新型 LED 高速驱动电路有效地降低了 2 种不同波段 LED 调制信号的下降时间, 显著提升了单个 LED 的调制速率。

参考文献:

- [1] 高俊英, 王德昌, 姚建国. 基于摄像头的 MIMO 可见光无线通信系统[J]. 光学学报, 2015, 35(1): 79-87.
- [2] 郭心悦, 李鑫. 基于 MIMO-OFDM 调制的室内 VLC 自适应传输方案研究[J]. 光学技术, 2018, 44(1): 35-40.
- [3] 胡晓莉, 王丽雪, 钱永杰, 等. 基于 H-PPM 的可见光通信系统 RS 编码性能分析[J]. 应用光学, 2017, 38(5): 751-757.
- [4] WANG Jia, AL-KINANI A, ZHANG Wensheng, et al. A General Channel Model for Visible Light Communications in Underground Mines[J]. 中国通信, 2018, 15(9): 95-105.
- [5] 王鸿喜, 贺锋涛, 湛飞, 等. 基于 PPM 的水下 LED 蓝光通信系统设计[J]. 光通信技术, 2018, 42(7): 46-50.
- [6] 高文文, 李立军. 基于紫光微型 LED 和 OFDM 的可见光通信系统[J]. 光通信技术, 2017, 41(12): 20-24.
- [7] 武梦龙, 郭佳, 刘文楷, 等. LED 作为收发元件的双向可见光通信系统方案及实现[J]. 光学学报, 2018, 38(4): 70-76.
- [8] TANAKA H, UMEDA Y, TAKYU O. High-speed LED driver for visible light communications with drawing-out of remaining carrier [J]. Radio and Wireless Symposium (RWS), 2011(1): 295-298.