

可见光通信自适应接收系统的实验研究

王涛,蔡喜平*,刘洋,林朗

(黑龙江大学 物理科学与技术学院, 哈尔滨 150080)

摘要:当白光 LED 同时用于照明和通信时,如果接收机放大电路采用固定增益,则会出现照明范围内不同位置接收信号强度变化较大而导致接收信号饱和或丢失,从而会严重影响通信性能。为了解决固定增益存在的问题,研究了用于可见光通信的自适应接收电路,电路理论带宽为 30MHz,并进行了实验测量。在发射信号强度恒定时,接收机在距离 LED 1.65m 处纵向移动 $-0.15 \sim 0.45\text{m}$ 或横向移动 $\pm 0.85\text{m}$ 时输出信号幅度可基本保持不变,从而可以保证在光覆盖范围内正常进行通信。

关键词:白光 LED; 光通信; 可见光通信; 自适应接收

中图分类号:TN929.11 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)02-0018-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.02.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Experimental research on adaptive reception system for visible light communication

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

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

Abstract: When white light source LED is used for both illumination and communication, the received signal intensity varies greatly at different positions within the illumination range for a receiver with fixed gain, resulting in the saturation or loss of the received signal, which may degrade the communication performance seriously. In order to solve the problem of fixed gain, an adaptive receiving circuit for visible light communication is studied. The theoretical bandwidth of the circuit is 30MHz, and the experimental measurement is carried out. For a constant transmit power of LED, when the receiver is positioned 1.65m from the light source, the variation of the amplitude is insignificant for communication in illumination zone if the receiver has a lateral shift in a range of $-0.15 \sim 0.45\text{m}$ or longitudinal movement in a range of $\pm 0.85\text{m}$.

Key words: white light source LED; visible light communication; adaptive reception

0 引言

由于绿色环保的原因,白光 LED 正在逐渐取代白炽灯和节能灯成为主要照明光源。与其它照明光源不同,白光 LED 还具有极高的调制带宽,是一种高性能的通信光源。因此,白光 LED 可以具有照明和通信的双重功能^[1]。白光通信技术就是以白光 LED 为信号光源的无线光通信技术,该技术可将单个或多个白光 LED 灯珠变成一个网络节点,用于诸如会议或展会等

具有大量无线电频率噪声的区域,并且非常适合由于敏感电子设备干扰而禁止无线电频率的场所(如医院等)^[2]。可见光通信网络比标准无线连接更安全,还能消除 WiFi 路由器常见的相邻网络干扰,能很好地融入现有的通信网络,缓解射频技术的通信压力,在物联网、室内定位导航和水下通信等领域也有很重要的应用^[3-5]。对于无线通信系统来说,保持一定的接收信号强度是实现高通信速率、低误码率的必要条件。作为照明光源的白光 LED,由于要求光照的覆盖面积大,会导致光接收机在一个相对较大的光照覆盖范围内接收到的光信号功率差异较大。如果不采取必要的措施,就会出现某些位置信号过强而饱和,在某些位置信号过弱而无法接收到信号。不管是信号过强还是过弱,最终都会导致系统速率降低、误码率过高,使得

收稿日期:2018-08-30。

作者简介:王涛(1994-),男,贵州遵义人,硕士研究生,主要研究方向为光电信息技术,从事可见光通信相关方面的技术研发。在研究生期间主要进行可见光通信技术的发射机及接收机的硬件电路研制与信号调制解调方法的研究。

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



通信无法正常进行。因此,为了保证在光源所覆盖的大部分范围内可以正常通信,本文研究能够根据光信号强弱自动调整放大电路增益从而保持信号输出幅度稳定的自适应接收电路。

1 自适应接收原理

可见光通信自适应接收是指能够根据光信号的强弱自动调整接收放大电路的增益从而使接收电路输出信号幅度基本保持不变。基本原理如图 1 所示,光信号经过光电转换及电流/电压(I/U)转换为电压信号后,通过可变增益放大器进行放大。系统开始工作后通过增益控制将系统的增益设为初始值,此时信号

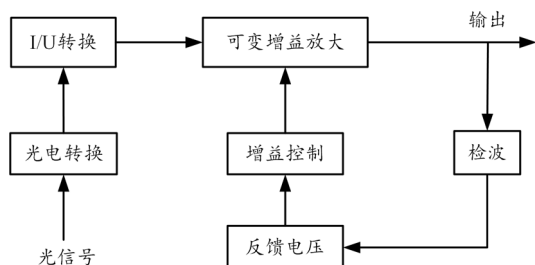


图 1 自适应接收原理图

经过可变增益放大器后的输出为参考值。检波器检测放大器的输出电压幅度,并产生直流反馈电压,此电压值用于与参考值进行比较并自动调整可变增益放大器的增益,实现对输出信号幅度的控制,从而保证输出信号幅度稳定。

2 自适应接收电路

如图 2 所示,自适应接收电路由前置放大电路、自动增益控制电路模块(可变增益放大器、检波电路、和增益控制电压生成电路)及滤波与次级放大电路组成。

2.1 前置放大电路

白光可见光通信实验系统采用的光电探测器为 Si-PIN,其光谱范围为 400~1100nm。前置放大电路采用低噪声集成放大器 EL5462 构成电压并联负反馈放大电路,主要实现电流电压转换,并能实现固定增益为 10 倍的信号放大。前置放大电路的输出电压范围约为 0.05~1.5V。

2.2 自动增益控制电路

自动增益控制电路是指放大电路的增益可以根据输入信号幅度而自动调整,使输出信号幅度稳定的

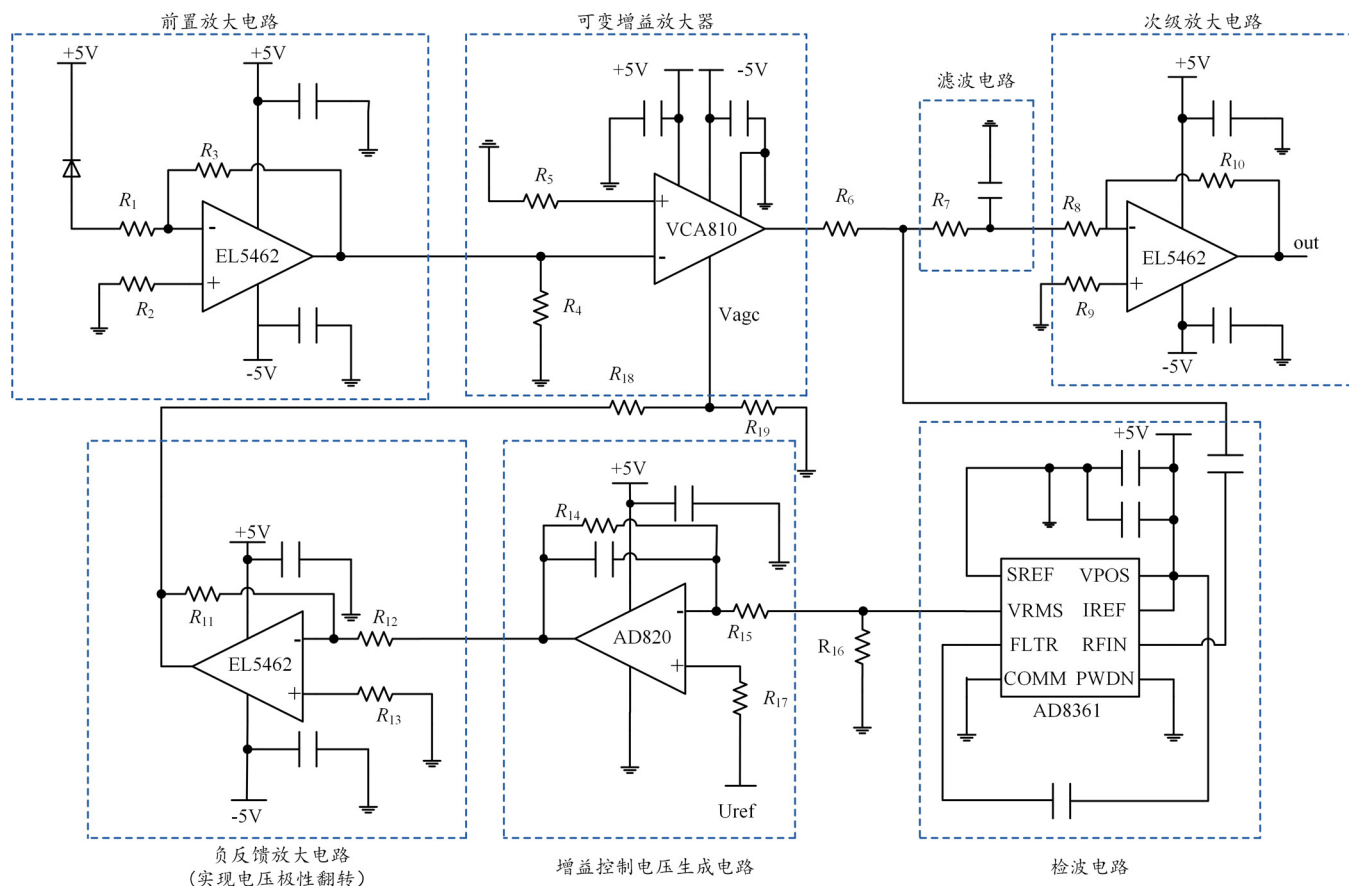


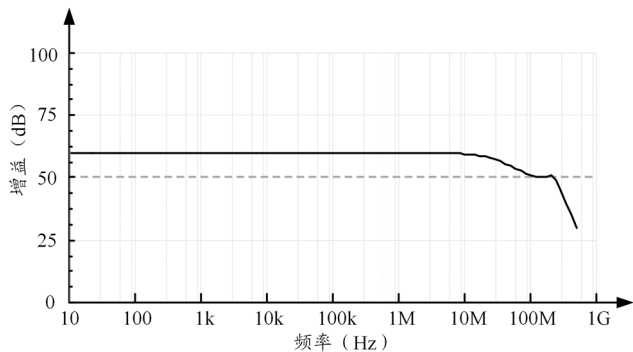
图 2 自适应接收电路原理图

王涛,蔡喜平,刘洋,等:可见光通信自适应接收系统的实验研究

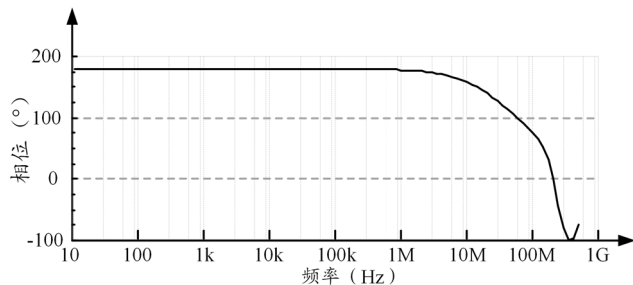
电路。由可变增益放大电路、检波电路和增益控制电压生成电路组成。可变增益放大电路的增益可由增益控制端调节。检波电路检测信号幅度并将幅度变化信息输出到增益控制电压生成电路,以调节可变增益放大器的增益,从而控制输出信号电压幅度。图2中VCA810为增益可调的可变增益放大器,其增益范围为 $-40\sim 40\text{dB}$,带宽为 35MHz ,通过输入直流电压即增益控制电压来控制其增益大小。增益控制电压范围为 $0\sim -2\text{V}$ 。检波器AD8361用于检测可变增益放大器输出信号幅度并输出增益控制直流电压,可变增益放大器输出信号幅度为 $0.05\sim 1.5\text{V}$,对应的输出直流电压约为 $0.8\sim 3.4\text{V}$ 。采用集成运放AD820构成增益控制电压生成电路,用于产生直流电压控制放大器的增益。由于VCA810的增益控制电压为 $0\sim -2\text{V}$,图2中利用集成运放EL5462构成负反馈放大电路实现电压极性翻转。利用Multisim仿真测量自适应接收电路在增益最大时的频率特性曲线如图3所示,可以看出,电路在 10MHz 频率范围内曲线平坦,说明电路在此范围内性能稳定。幅频特性曲线的通频带增益大小与输入信号强度有关,但是其曲线形状、上限截止频率却与信号强弱无关。输入信号越弱,幅频特性曲线增益越大。

3 性能测试实验

本文进行了如图4所示的自适应测量实验,具体

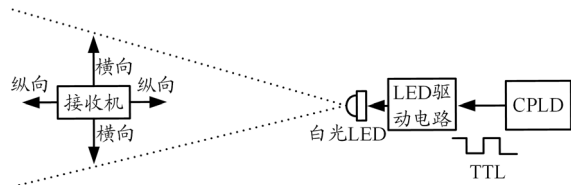


(a) 幅频特性曲线

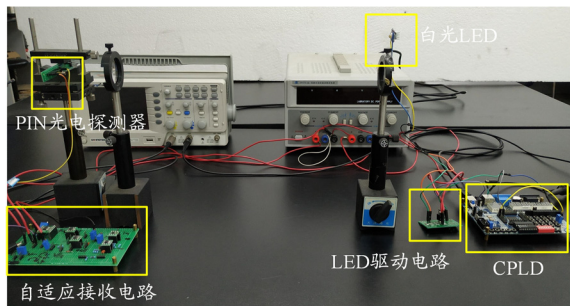


(b) 相频特性曲线

图3 自适应接收电路频率特性曲线



(a) 结构图



(b) 实物图

图4 自适应实验性能测试结构图及实物图

参数和操作方法如下:光源采用功率为 3W 的白光LED;用复杂可编程逻辑器件(CPLD)EPM240T100C5N产生OOK(On-Off Keying)调制信号,再经驱动电路驱动LED将信号发出;采用图2所示的接收电路进行测量。

由光电探测器和自适应接收电路组成的接收机在LED光照范围内可纵向或横向移动,纵向移动范围为 $1.5\sim 2.1\text{m}$,横向移动范围为 $-0.85\sim 0.85\text{m}$ 。为了验证自适应电路对接收信号的放大、滤波等处理能力,本文进行了在不同调制频率、不同输入光信号强度下的波形观察,在信号发射频率为 54.5kHz 时,观察到自适应接收电路的输入波形(图2中前置放大器的反向输入端)和输出波形基本一致。

理想情况下,自适应接收机输出信号的幅度应在不同输入信号强度下保持不变。为了测量自适应电路的性能,将接收机放在不同位置观察输出波形,并测量接收机输出信号幅度。首先将接收机进行纵向移动,纵向移动时有自适应和无自适应时测量数据对比情况如图5所示,接收机纵向移动 $1.5\sim 2.1\text{m}$ 范围内输出信号(有自适应)幅度基本保持不变。然后将接收机横向移动,横向移动时有自适应和无自适应时的测量数据对比情况如图6所示。接收机在距LED 1.65m 处横向移动距离在 $-0.85\sim 0.85\text{m}$ 范围内输出信号(有自适应)幅度基本不变。由图5、图6可以看出,如果采用固定增益,在LED照明范围内距光源不同距离处,信

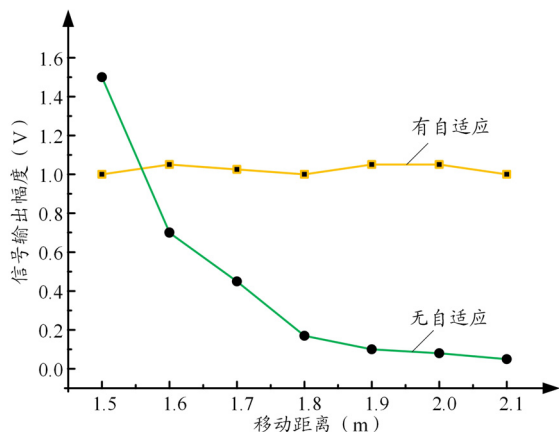


图5 接收机纵向移动时电路输出电压幅度图

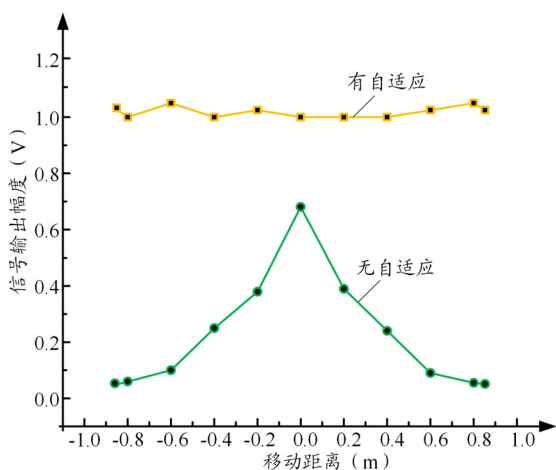


图6 距光源 1.65m 处接收机横向移动时电路输出电压幅度图

号输出幅度变化很大,这就会导致在某些位置接收机输出饱和,而在某些位置接收机输出信号过弱。饱和会导致后续信号处理电路误将低电平判定为高电平,

输出过弱会使后续信号处理电路误将高电平判定为低电平。为了实现通信,用户必须手动移动接收机去寻找最佳通信位置。而采用自适应电路后,接收机在输入信号动态范围 30dB 内能使输出信号可以基本保持恒定,完全可以克服固定增益存在的问题。

4 结束语

白光 LED 兼具照明和通信的双重功能。本文从实用的角度出发,研究了白光 LED 既用于照明又用于通信情况下,如何使通信客户端接收机自动适应光照覆盖范围内不同位置信号强弱的变化。在未来的白光通信应用中,无论是移动还是固定客户端,只有解决了接收机对环境变化的自适应能力,并不断提高无线光通信系统性能,才能够使白光通信得以广泛应用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] GAIL O. 光子学 - 物联网的重要赋能者[J]. 激光世界, 2018(3): 12-14.
- [3] GARCIA G C, RUIZ I L, GOMEZ-NIETO M A. State of the Art, Trends and Future of Bluetooth Low Energy, Near Field Communication and Visible Light Communication in the Development of Smart Cities [J]. Sensors, 2016, 16(11): 1-38.
- [4] RAJBHANDARI S, MCKENDRY J J D, HERRNSDORF J, et al. A review of gallium nitride LEDs for multigigabit-per-second visible light data communications [J]. Semiconductor Science and Technology, 2017, 32(2): 1-40.
- [5] 梁刘,蔡喜平,李子川,等. 基于 8-ASK 调制的可见光通信系统研究[J]. 光通信技术, 2018, 42(2): 42-45.

征稿简则

- 1、来稿文责自负,稿件刊用后如出现泄密、侵犯他人著作权等问题,本刊概不承担连带责任。
- 2、稿件内容必须与光通信密切相关(栏目有:光网络、光器件、光传感、光传输、可见光通信、无线光通信、量子通信、光纤光缆、光通信工程),稿件内容要真实、准确,且不得抄袭或重复发表。
- 3、本刊现已与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司(简称电子杂志社)签署《CAJ-N 网络首发学术期刊合作出版协议》,通过《中国学术期刊(网络版)》(CAJ-N)正式出版我刊网络版。录用定稿网络首发之后,在后续的排版定稿、整期定稿网络版和印刷版中,不得修改论文题目、作者署名、作者单位以及其学术内容,只允许修改少量文字或少量不影响研究结果和结论的数据。由于网络首发周期短,因此凡被录用的稿件不允许撤稿。按国家有关网络连续型出版物管理规定,网络首发论文视为正式出版论文,我刊编辑部与电子杂志社共同为论文作者颁发论文网络首发证书。论文作者可以从“中国知网”下载或打印论文和证书,作为正式发表的论文提交人事、科研管理等有关部门。
- 4、来稿一经本刊录用,该文章全部版权即转归本刊所有;稿件印刷版出版后,当月赠寄当期杂志 2 册;2 个月内向作者一次性支付各版次(网络版、光盘版和印刷版)稿酬。

《光通信技术》编辑部