

短距离 LED 可见光音频传输系统设计

梁烈勇

(广西桂林市空管站技术保障部, 广西桂林 541004)

摘要: 基于白光 LED 照明和通信双重作用, 构建了一种短距离白光 LED 可见光音频传输系统。从短距离、低功率系统考虑, 分析可见光传输模型和影响因素, 设计可行的可见光发射端和接收端。采用 AGC 电路和限幅放大电路提高系统的动态范围, 保证语音信息输出稳定; 采用阵列接收方式扩大接收角, 提高系统灵敏度。为了实现系统噪声匹配, 设计了低噪声高增益前置放大器。测试结果表明, 系统实现了可见光短距离音频信息的无失真传输, 验证了系统的可行性。

关键词: 可见光通信; 白光 LED; 噪声匹配; 低噪声前置放大器; 音频传输

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2012)09-0018-03

Design of the short-distance transmission system based on LED visible light communication

Liang Lieyong

(Technology Support Department of Guilin Air Traffic Control Station, Guilin 541004, China)

Abstract: In the paper, a short-distance white LED visible light audio transmission system based on the dual role of white LED lighting and communication is proposed. Considering the system from short distance and low power angle, a feasible sender and receiver are designed. And the model and influencing factors of the visible light transmission are analyzed in the paper. The AGC circuit and limiting amplifier circuit are adopted to improve dynamic range and ensure voice information output stability. And the array of receivers are applied to expand the acceptance angle and improve system sensitivity in the system. In order to realize noisy matching, a low-noise and high-gain preamplifier is designed. The measurement results show that the proposed communication system is an error-free data transmission in line-of-sight atmospheric channel which verifies the feasibility of the system.

Key words: visible light communication; white LED; noisy matching; low-noise preamplifier; audio transmission

利用照明 LED 作为通信基站进行信息传输已成为当前国内外无线光通信领域的研究热点之一。白光 LED 具有高亮度、低功耗、使用寿命长、尺寸小、绿色环保等优点, 被视为第四代节能环保型的照明光源^[1-3]。不仅如此, 白光 LED 还具有响应灵敏度高、调制特性好的优点。利用 LED 上述优良的特性, 在 LED 照明的同时, 将信号调制到 LED 可见光上进行传输, 实现一种新兴的无线光通信技术, 即可见光通信 VLC (Visible Light Communication) 技术。由于 VLC 技术具有对人眼安全、发射功率高、无需申请无线电频谱证、无电磁干扰等优点, 因而, VLC 技术具有极大的发展前景, 为光通信提供了一种全新的数据接入方式^[4], 已被人们广泛关注。

本文利用白光 LED 设计室内短距离可见光音频传

输系统, 白光 LED 发出可见光, 且发散角较大, 可以在大范围内安全传输信号。同时, 利用白光 LED 高速调制特性, 可将音频信号调制到 LED 可见光上实现信息传输。这种通信方式不再依赖传统有线传输的模式, 减少了搭建通信链路的时间, 降低了通信成本, 减少了电磁辐射对环境的影响, 具有快速便捷、高可靠性、低能耗等优点, 为“绿色通信”的实现提供了一种新思路。

1 可见光传输模型与影响因素

可见光通信系统中, 白光 LED 不仅可作为照明光源, 还可作为信号源以实现数据无线传输。根据可见光在大气中的传输理论^[5], 可将白光 LED 辐射光近似为球面波进行处理, 由麦克斯韦方程组推导得出球面光波传播的表达式如下:

$$E(r, t) = \frac{E_0}{r} \exp[j(kr - \omega t) + \Psi_0] \quad (1)$$

式中, E_0 为波源电场强度; ω 为光波的角频率 ($\omega = 2\pi\nu$, 取 $\nu > 0$); t 为时间; k 为光波沿传播方向的波矢量 (称为波数), 其大小为 $k = 2\pi/\lambda$; r 为空间坐标; Ψ_0 为初始相位。由式(1)可知, 白光 LED 发散角较大, 便于光信号接收。

室内短距离可见光在传输时, 信号传输信道是随机信道, 白光 LED 可见光的波长与室内大气中的尘灰、气体分子的尺寸相近甚至更小, 容易产生光的散射和吸收造成信号的严重衰减。可见光通信可见光波长较短, 瑞利散射的作用较强烈。根据瑞利 (Rayleigh) 散射定律^[6]可得入射光波衰减系数为:

$$a_m(\lambda) = \frac{8\pi^3}{3} \times \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} \times \frac{6 + 3\sigma}{6 - 7\sigma} \quad (2)$$

式中, λ 为入射光波长, N 是单位体积内的分子数, n 是粒子的折射率, σ 是退偏振因子。

瑞利散射的前向散射和后向散射的比重大约各占一半, 衰减系数与 λ^4 成反比, 因此短波光比长波光散射更明显, 导致可见光衰减比较严重, 降低了系统的通信性能。另外, 太阳光及一些人造光源 (如白炽灯、荧光灯发出的光等) 背景光也会对系统的性能产生影响; 行人、设备等的遮挡, 会在接收机表面形成“阴影”, 影响通信性能。因此, 设计通信系统时, 应采取相关技术手段减弱瑞利散射和背景光等影响, 以改善系统通信性能。

2 可见光通信系统设计

2.1 系统方案

短距离白光 LED 可见光音频传输系统如图 1 所示, 包括光源白光 LED、可见光发射端、光电探测器和可见光接收端等。发射端电路将待传输的音频信号转换成便于在光载波上传输的信号, 经白光 LED 驱动电路将电信号调制成 LED 的光载波强度变化的光信号, 以光束的形式发射到大气信道中进行传输, 再由光电探测器接收光信号, 将光信号转换成电信号, 接收端电路对转换后的信号进行放大、整形处理, 并将音频信号解调还原出来。

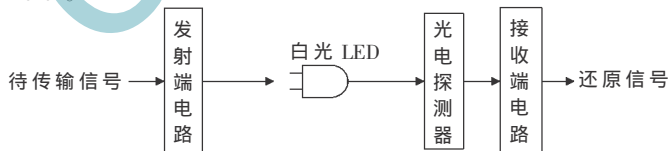


图 1 短距离白光 LED 可见光音频传输系统

2.2 可见光发射端设计

发射端如图 2 所示, 由语音合成芯片 SYN6288 产生音频信号, 通过芯片 TL494 产生宽度可调的 PWM 脉冲。白光 LED 驱动电路采用 DD311 设计, 将电信号直接调

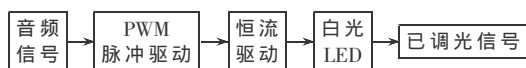


图 2 可见光通信发射端

制为白光 LED 输出的光信号。为保证白光 LED 亮度的一致性, 采用脉冲宽度调制 (PWM) 调光方法, 即在大于 200 Hz 的某频率下以不同占空比来导通和关断 LED。导通期间 LED 满电流工作, 而关断期间 LED 上无电流流过。PWM 频率采用 100 kHz, 避免了白光 LED 驱动器周围的电感和输出电容产生人耳听得见的噪声。音频信号变调后, 利用白光 LED 转换成光信号发送出去, 而 PWM 脉冲和恒流驱动共同作用保证了信号传输过程中 LED 能均匀恒定地发光。

2.3 可见光接收端设计

2.3.1 接收端工作原理

光接收端的主要任务是以最小的附加噪声及失真, 恢复出经无线信道传输后光载波所携带的信息, 因此, 光接收端的输出特性综合反映了整个可见光通信系统的性能。接收端电路由光电探测器、前置放大电路、主放大器、AGC 电路、限幅电路和低通滤波器构成, 如图 3 所示。光电探测器将经无线信道传输的已调光信号转换为微弱电信号, 由前置放大电路、主放大器、AGC 电路、限幅电路和低通滤波器 (LPF) 将电信号转换成可被终端识别、处理和输出的信号。



图 3 可见光接收端

2.3.2 光电探测器

光电探测器是光接收端的核心器件。由于通信光源白光 LED 的特殊性, 选择光探测器时需考虑以下因素: (1) 光电探测器的光谱范围应该足够宽, 工作波段覆盖可见光波长范围; (2) 工作波长的光电转换效率高, 对于一定的入射光信号功率, 光电探测器应能输出尽可能大的光电流; (3) 响应速度快、线性度好、信号失真小; (4) 检测过程中带来的附加噪声尽可能小; (5) 可靠性高、寿命长、工作电压低。由于 PIN 光电二极管的光电转换线性度好、响应速度快、价格较低且无需高工作电压, 所以本设计中的光电探测器采用 PIN 光电二极管。

2.3.3 前置放大器设计

PIN 光电二极管将光信号转化为电信号, 一般需经多级放大器放大才可由终端输出。由弗里斯公式^[7]可知, 多级放大器的噪声系数 F 近似取决于第 1 级的噪声系数 F_1 , 而接收端最小噪声系数很大程度取决于前置放大器。因此, 前置放大器应具有低噪声、高增益的特点, 且具有一定的带宽。

根据放大器的 $E_n - I_n$ 噪声模型^[8-9], 将接收端内部噪声源折合为前置放大器输入端的等效噪声源来分析, 得到噪声系数 F 为:

$$F = (E_n^2 + I_n^2 R_s^2 + 4KTR_s \Delta f) / 4KTR_s \Delta f \quad (3)$$

式中, R_s 为等效信号源内阻, E_n 、 I_n 分别为等效输入端噪声电压、电流, K 为波尔兹曼常数, T 为绝对温度, Δf 为

噪声带宽。对式(3)求导即 $dF/dR_s=0$, 得到最佳源电阻 $R_{S0}=E_n/I_n$ 。由此可知, 在最佳源电阻邻近区域, F 能取较小的值, 这是正确选择源电阻以达到最佳噪声性能的依据。

光电探测器可等效为源电阻很高的信号源, 需要与高阻抗的负载电阻进行匹配以获得最大增益。跨阻前置放大器可在直接耦合下满足 $R_{S0} \approx R_s$ 的要求, 在输入端和输出端之间跨接反馈电阻, 形成电压并联负反馈, 使得电路增益稳定、动态范围增大、频带展宽, 并且不需要均衡电路, 低噪声前置放大器的电路如图4所示。跨阻前置放大器由集成运放器 OPA2354 设计来实现, 能产生足够大的输出电压克服后续电路噪声的影响, 其宽频带能匹配信号速率, 从而获得较好的噪声和码间干扰性能。

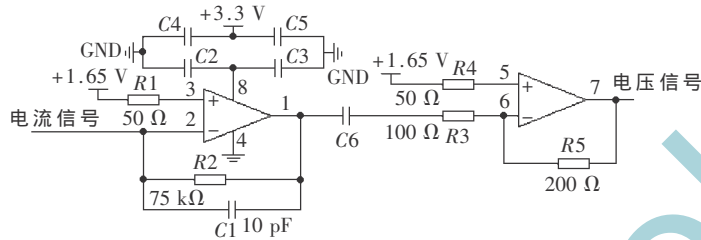


图4 低噪声前置放大器

3 系统测试

为了验证可见光通信音频传输系统的传输效果, 在室内对系统进行测试, 观察音频信号在可见光上传输的接收效果。系统采用白光 LED 阵列(10×15)作为信号光源, 音频信号由语音合成芯片 SYN6288 产生, 信号频率可调。为了避免发射端调制信号的幅度过调制, 造成载波脉冲信号宽度变化过大, 使照明 LED 出现闪烁现象, 发射端调制信号的幅度要适当控制。语音调制信号应在 0.1 V~1.5 V 之间。将发射端架设于离地面 3 m 高处, 适当调整发射光源倾角, 使其保持在 5°~20° 之间。采用 PIN 阵列进行接收, 接收端在 50 m×10 m 范围以一定的速度移动。为判断接收到的是所需的光信号, 可采用遮挡物阻断通信链路来确认。经测试发现, 在白光 LED 阵列 50 m×10 m 覆盖区域内, 语音信号频率为 300 Hz~2 600 Hz 之间, 在 5~35 Lux 光照度范围内, PIN 阵列均能正常接收语音信号; 大于 35 Lux 时, 解调输出信号开始变形; 大于 128 Lux 时, 传输信号幅度过大临近失真。光照度发生变化时, PIN 阵列接收到的信号幅度会发生变化, 但 AGC 输出幅度值基本维持不变。限幅放大器将 AGC 输出信号整形处理得到更平滑的输出信号, 输出信号不随光照度的变化而发生变化, 幅度维持恒定值。由于低通滤波器的限制, 语音信号频率超过 2 600 Hz 时, 解调出的信号波形会发生变形。图5为音频信号输入发射端调制后得到的 PWM 信号, 图6为接收端输出信号的波形, 其背景信号噪声弱。

利用白光 LED 构建短距离可见光音频传输系统, 实现了音频信号在可见光上可靠传输。使照明 LED 在实现节约能源的同时, 还能为高速宽带的无线光接入提供

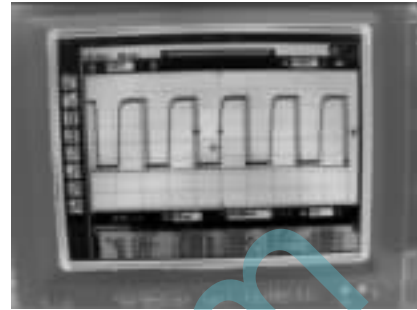


图5 调制后的 PWM 信号图

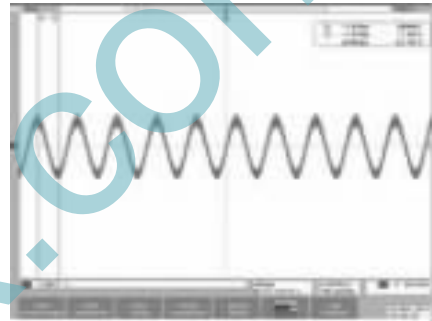


图6 接收端解调输出波形

一种新途径, 也为解决现有无线电频带资源严重有限的困境提供了一种新思路, 为远距离、大功率可见光通信系统的研究提供了一定借鉴和参考。但要真正实现高速可见光通信, 还需要面对很多挑战, 如光源的带宽拓展技术、调制编码技术、无线信道传输技术等相关技术还需要进一步优化。

参考文献

- [1] 骆宏图, 陈长纓, 傅倩, 等. 白光 LED 室内可见光通信的关键技术[J]. 光通信技术, 2011(2): 56-59.
- [2] 胡国永. 基于 LED 的可见光无线通信关键技术研究[D]. 广州: 暨南大学, 2007.
- [3] 赵俊. 基于白光 LED 阵列光源的可见光通信系统研究[D]. 广州: 暨南大学, 2009.
- [4] 刘宏展, 吕晓旭, 王发强, 等. 白光 LED 照明的可见光通信的现状与发展[J]. 光通信技术, 2007(7): 53-56.
- [5] 吴健, 杨春平, 刘建斌. 大气中的光传输理论[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006: 1-30.
- [6] 胡晟, 艾勇. 自由空间光通信中气象因素影响分析[J]. 光学与光电技术, 2003, 1(3): 17-20.
- [7] 郭玉, 赵顺平. 低噪声前置放大器有源器件的选择[J]. 电测与仪表, 2007, 44(6): 62-64.
- [8] 周胜海, 郭淑红. 基于低噪声运放的传感器前置放大器设计[J]. 仪表技术与传感, 2006(9): 38-39.
- [9] 唐立田, 张海英, 黄清华, 等. 一种高增益低噪声低功耗跨阻放大器设计与实现[J]. 电子器件, 2009, 32(3): 566-567.

(收稿日期: 2012-04-22)

作者简介:

梁烈勇, 男, 1971 年生, 本科, 工程师, 主要研究方向: 光通信技术, 协作通信技术。