

基于 Arduino 的可见光通信模型

李兆生, 李长森, 张坤*
 海军大连舰艇学院, 辽宁大连, 中国
 *通讯作者

【摘要】 本文针对传统无线通信中电磁环境复杂、频谱资源紧张等问题, 提出了一种基于 Arduino 的可见光通信系统设计方案。以红光激光为光源, 结合低成本、高灵活性的 Arduino, 构建了面向短距离、低速率的单向光通信系统。优选开关键控 (OOK NRZ) 调制方案, 设计了含同步头与结束位的自定义通信协议。实验测试表明, 系统在 50 米视距范围内可实现 1.4bps 的有效传输速率, 误码率趋近于零。本研究通过模块化硬件设计与轻量化协议验证了 FSO 在资源受限场景的可行性, 为物联网、军事等领域提供了高效的通信解决方案。

【关键词】 自由空间光通信; Arduino 开发板; OOK 调制; 导频

1. 引言

针对现代通信技术面临的电磁环境复杂化、频谱资源紧张及抗干扰需求提升等问题, 提出基于 Arduino 的自由空间光通信系统设计方案。以红光激光器为光源, 结合低成本、高灵活性的 Arduino 控制器, 这些特点使其能够轻松应对各种控制任务, 并与其他硬件组件进行无缝连接^[1], 构建了面向短距离、低速率场景的单向光通信系统, 通过理论分析大气湍流与天气条件对光传输的影响, 优选开关键控 (OOK NRZ) 调制方案, 设计包含同步头与结束位的自定义通信协议^[2-3]。实验表明, 系统在 50 米视距范围内可实现 1.4bps 有效传输速率, 误码率趋近于零。

2. 光通信模型总体设计

通信模型分为发射端与接收端, 整体如图 1 所示。发射端主要由一个 Arduino 单片机、两个红光激光器和 PC 构成, 一个激光器发射导频信号, 另一个激光器发射信息信号。导频信号由自定义协议控制, 信息信号由 PC 串口输入并转换为二进制数据调制而成。接收端主要由一个 Arduino 单片机、两个光敏二极管模块和 PC 构成, 一个光敏二极管接收导频信号, 另一个光敏二极管识别信息信号中的信息。由两个光敏二极管输入将数据接收, 并从 PC 串口显示。

3. 硬件设计

3.1 单片机的选择

Arduino Uno 搭载 ATmega328p 芯片作为核心处理器, 具备闪存程序存储器、静态随机存取存储器以及电可擦可编程只读存储器。具备独立计算和逻辑处理能力, 用户能

够迅速且精确地处理信号和数据, 具有较小的系统体积和功耗, 使得整个系统更加紧凑和轻便, 便于部署和使用^[4-6]。

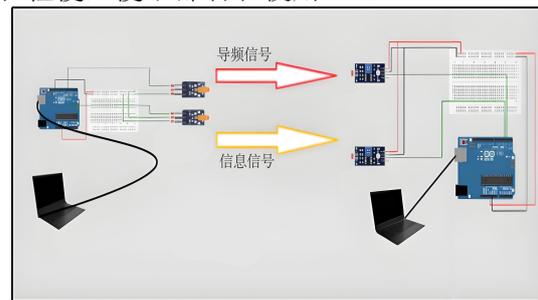


图 1. 整体设计图

3.2 光源与接收模块选择

KY-008 是一款红光激光发射模块, 具有体积小、响应速度快和传输距离长等优点, 可以满足视距内稳定的光源输出。

光敏二极管模块搭配了响应速度快的光敏电阻, 可以通过微调板载电位器来设置阈值电压。底部的 LED (“DO LED”) 连接至数字输出引脚, 当 DO 引脚变为低电平时会点亮。换言之, 当传感器处于光照环境中时, 该 LED 会亮起。

4. 软件设计

4.1 发射

图 2 展示了数据传输的设计, 以发射“d”为例, 主要内容如下:

ASCII (American Standard Code for Information Interchange, 美国信息互换标准代码, ASCII), 是一套基于拉丁字母的电脑编码系统, “d”的 ASCII 码的二进制数值为 (01100100), 在发射端的串口输入需要发送的字符, 接着转换为二进制数值, 信息引

脚根据字符的二进制数值控制激光器的亮灭。发射端导频分为三个部分，分别为 600ms 高电平的同步头、200ms 的信息门、400ms 的结束头。结束头持续时间为 400ms，比同步头时间要短，因此不好触发同步机制而发生错误；同时结束头持续时间也要比导频在传播数据时的持续时间要长，所以同步头、数据位和结束头的导频信号不会发生串扰。结束头持续时间为 400ms，比同步头时间要短，因此不好触发同步机制而发生错误；同时结束头持续时间也要比导频在传播数据时的持续时间要长，所以同步头、数据位和结束头的导频信号不会发生串扰。

输入的二进制数据通过控制设备控制光源开关的状态，在电脑端可根据 ASCII 码将各种字符转换为二进制，收到“1”时光源持续发光，收到“0”时光源熄灭。

电脑传输至 Arduino 的二进制数据会在其内部预先编辑的程序逻辑下生成 OOK NRZ 波形的电流来控制光源来发射光信号，光信号由此进入大气信道。

根据图可以知道在信息通道中，发送“0”时和导频不发射时持续保持低电平状态；在需要发送“1”时，信息通道会于导频发送前 10ms 变换为高电平，持续时间为 210ms 并和导频信号同时结束。在每发一个字节时串口都会有实时反馈，让用户可以观察通信的进度和情况。当所有字节都发送完毕时，串口会打印“数据发送完成”。

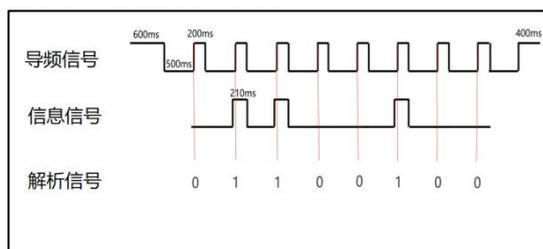


图 2.数据传输设计

4.2 接收

大多数简单的项目都会用 OOK 的解调方式，采用了 OOK 的解调方式主要包括非相干解调、相干解调和基于机器学习 (ML) 的解调等。在接收端配有光电效应二极管来感知信道光强的强弱变化并且转换为电信号，单片机内部通过低通滤波处理后进行阈值比较判断“1”或“0”还原二进制数据，而且不需要载波同步，这大大简化了处理的复杂度。

在接收端在导频没有接收到高电平时

(即没有接收到发射端的信号) 会一直等待导频信号的到达。如果开始接收到高电平信号时，状态机制立即跳到验证机制，由于导频信号分为三种即 600ms 的同步头、400ms 的结束头和 200ms 的数据位，都属于高电平信号 (即会触发同步头验证机制)。当验证机制被触发时，单片机就会开始计时，如果导频脉冲持续时间大约等于 600ms 时就会判定此脉冲为同步头，不满足时会重新返回等待机制。当同步头验证成功后，接收端会等待等待导频的下一个脉冲到来。当导频脉冲到来时，单片机就会判断信息引脚的电平状态，由于光敏二极管是在光强越大时阻值就会越小，当电平状态为低电平时，此位布尔字符会被存为“1”，反之会被存为“0”，完成后会进行下一个布尔字符的判断并贮存。由于单片机存在执行命令的时延，在发射端会把信息信道的灯光触发比导频信道的触发提早 10ms，保证发射端导频数据位触发时，信息信号已经触发，避免了硬件本身的干扰。当信息位完毕时，导频信号的结束头会被判决，此时会结束信息接收的工作，并在串口将所接收的字符打印，随即开始下一个字符串的接收工作。

同步头识别窗口：590-610 毫秒，允许±10 毫秒的误差容限，

接收流程通过状态机控制，分为三个阶段：

空闲状态：持续监测导频引脚，检测到低电平时记录时间戳，并进入同步检测状态。

同步检测：持续监测导频引脚直至其恢复高电平。计算低电平持续时间，若在 590-610ms 范围内，判定为有效同步头，进入接收状态；否则退回空闲。

数据接收：定时采样，每 250 毫秒读取一次数据引脚，避开信号跳变边缘。逻辑转换，数据引脚高电平转换为 0，低电平转换为 1，存入二进制数组。终止条件，导频引脚再次变低或缓冲区满时停止接收，调用解码函数。

5.硬件测试

5.1 测试准备

将发射端与接收端置于自然光照环境中，分别将导频激光和信息激光对准导频信号接收光敏二极管和信息信号接收光敏二极管。不断调整接收光敏电阻模块的机械电阻阈值，仅在激光照射时激发数字引脚变为低电平，反之引脚恢复高电平，确保不受自然光照的

干扰^[7-9]。

5.2 测试内容及结果

在发射端输入“hello world”，并发送。在没有受到外界干扰的情况下，如图3，通信系统可以做到稳定地发挥。所有成功解码数据均符合ASCII编码规范，验证同步头机制可靠，有效信息密度达100%。在受到外界干扰的情况下，分为以下几种情况：导频信号受到干扰，信息信号没有受到干扰时：会出现接收到的比特有丢失而不是8的倍数，造成解析的错误；或者接收端一直接收不到导频信号，一直处于等待下一个比特或者结束符的情况导致更多的信息丢失；或者一直验证同步头不成功。导频信号没有受到干扰，信息信号受到干扰时：接收端会正常地接收信号，正常地验证同步头、读取信息位和结束头；但是信息信号受到干扰时，会导致在读取信息位时出现与原数据不符的比特，最后解析出来的结果为错误的字符。

```

20:00:56.619 -> 同步头验证成功
20:00:57.114 -> 01101000
20:01:02.836 -> 01100101
20:01:08.484 -> 01101100
20:01:14.216 -> 01101100
20:01:19.874 -> 01101111
20:01:25.550 -> 00100000
20:01:31.221 -> 01110111
20:01:36.920 -> 01101111
20:01:42.608 -> 01110010
20:01:48.296 -> 01101100
20:01:53.969 -> 01100100
20:01:59.674 -> 1接收位数: 88
20:01:59.923 -> 解码结果: hello world
    
```

图3.传输测试

6.结束语

本文内容为基于Arduino开发板的可见光通信模型设计，利用Arduino单片机有限的算力以红光激光为载体在自由空间里传输信息，具有便携性、稳定性和经济性。实验表明，系统在30—50米视距范围内可实现1.4bps有效传输速率，误码率趋近于零。在电磁环境日益复杂的社会生产中，为通信联络提供了一种新的选择。同时研究也存在许

多不足，没有充分考虑环境的干扰和动态对准问题。在未来可以采用多种措施来提高通信系统的可靠性，应当采用功率更大的激光器和湍流效应更弱的光谱通信，可以有效地减弱大气湍流的影响。在移动通信上，可以添加基于视觉识别的追踪头来实现移动中的通信。在抵抗自然环境的干扰时，可以在编码上添加适当的冗余码，如曼彻斯特码，来提高通信的准确性。此技术在未来可在民用和军事方面发挥作用，民用方面，FSO可解决偏远地区通信、灾害应急链路及城市设施升级的难题，避免布线成本与射频污染^[10]；军用场景中，其方向性强、保密性高的特点适配舰艇编队隐蔽通信与无人艇协同作战。

参考文献

- [1]樊黄凯.基于单片机的清洁机器人自主乘梯系统研究[D].西华大学, 2024.
- [2]肖之雨, 荆雷, 童峥嵘, 等.基于OOK和ACO-OFDM的分层混合可见光通信系统[J].光通信技术, 2025, 49(01): 31-37.
- [3]樊庭冰, 涂俊轩, 庄济舟, 等.基于OOK调制的可见光通信视频传输系统[J].光通信技术, 2024, 48(03): 84-88.
- [4]李金同.Modbus协议的数据采集系统的分析[J].自动化应用, 2020, (11): 71-73+79.
- [5]王庆功.通过Arduino编程培育学生逻辑思维能力[J].小学科学, 2024, (13): 100-102.
- [6]王皓民.实兵交战模拟系统中的激光通信技术研究[D].中国电子科技集团公司电子科学研究院, 2022.
- [7]吴凌燕, 李红飞, 李大龙, 等.可见光通信模型的实验室实现[J].仪表技术, 2020, (01): 25-26+30.
- [8]王加安, 杨鸿基, 戴鹏.基于单片机的可见光字符传输系统[J].光通信技术, 2022, 46(02): 13-17.
- [9]金玳冉.面向自由空间光通信波前校正的智能优化算法[D].吉林大学, 2023.
- [10]刘维倩.成都市无线电频谱资源管理中的问题及对策研究[D].四川大学, 2024.