

2023 年中山大学电子设计校内赛设计报告

【LED 灯光秀】2022 级创意赛（A 题）

队名：RGB 成员：宋昊龙，林孟铠，吕杰

一、摘要

基于 ESP32 开发板和 Arduino 开发框架，控制 $6*6*6$ 的光立方实现了静态点灯、4 种动态光效、音乐律动以及在 ESP32 的 WiFi 连接下对时间的显示功能，不同功能之间采用红外遥控进行控制。成品价格低廉，体积小巧，动画美观，兼具了实用特性与观赏特性。

二、设计方案

光立方的实现方案分为三部分：电路设计、程序设计和外框设计。下面分别介绍这三个部分的设计方案。

1. 电路设计

光立方的电路主要分为单片机模块、引脚拓展模块、点灯阵列、电源模块和外设输入模块。

1.1 单片机模块

方案一：使用 ESP32 单片机开发板。该芯片缓存较大，自带 WIFI 连接模块，缺点是输出引脚较少。

方案二：使用 STM32 单片机开发板。该芯片输出引脚较多，但是没有自带 WIFI 连接模块。

综合两种方案，光立方采用了 ESP32 单片机开发板，并为之设计了引脚拓展模块。

1.2 引脚拓展模块

光立方需要连接 $6*6*6*2=432$ 个引脚。为了解决单片机输出引脚不足的问题，光立方采用串行输入、并行输出的 74HC595 芯片实现引脚拓展。具体而言，每一片 74HC595 寄存器（后文简称“寄存器”）的串行输入与单片机的数据输出引脚相连，寄存器的两个时钟信号也与单片机相应的接口连接（连接方式见后文）。同时取寄存器 8 位中较低的 6 位与某一行或某一列的 LED 灯连接，这样即可实现对引脚的扩展。

1.3 点灯阵列

方案一：每个 LED 灯的阳极和阴极分别单独连接一个输出口，每个 LED 灯子电路中都连接一个限流电阻。该方案需要用到 432 个输出引脚和 432 个限流电阻。

方案二：432 个 LED 灯分成 6 个 $6*6$ 的灯阵。每个 $6*6$ 的灯阵中，同一行的 6 个 LED 灯共用阳极，同一列的 6 个 LED 灯共用阴极，每一行的 6 个 LED 灯共用同一个限流电阻，每个灯阵需要 12 个输出引脚。6 个灯阵由两个 74HC595 芯片控制，一共使用 12 个芯片。为了保证灯阵能精确地按坐标显示，保证阻值固定的限流电阻起到设计所需的作用，需要使用扫描显示的方法，每次只点亮一行。

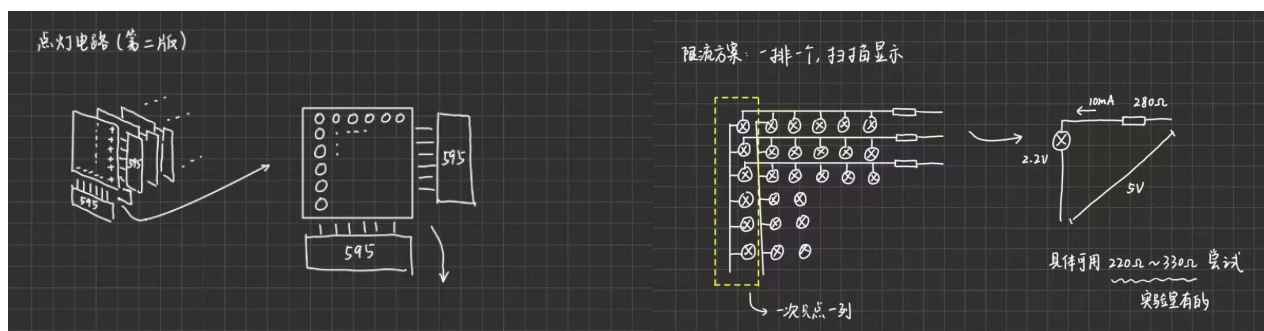
方案三：在方案二的基础上，阴极只使用一个 74HC595 芯片，将每层标号相同的一列的 LED 灯的阴极接在 74HC595 的同一个输出口。这样只需使用 7 个 74HC595 芯片，但是需要每层每列地扫描显示。

综合以上三种方案，为了尽量减小焊接的工程量的，光立方采用方案三。

下面计算限流电阻的阻值。

光立方采用 2.0-2.2V 的蓝灯，额定电流为 10mA 左右，取 2.2V 代入计算，电源电压为 5V，单次扫描，所有灯并联，在一个子电路中，电阻电压为 $U_R = (5 - 2.2) \text{ V} = 2.8 \text{ V}$ ，电阻 $R = 2.8 \text{ V} / 0.01 \text{ A} = 280 \Omega$ 。选用实验室 330 Ω 电阻，发现灯的亮度仍然较大。经过反复测试，最后选用 510 Ω 电阻作为限流电阻。

附图设计手稿：



1.4 电源模块

寄存器、麦克风和红外接收器的工作电压为 5V，所以光立方采用独立的 5V 输出电源模块，使用基于 AMS1117 芯片的稳压电源模块，利用 MicroUSB 口连接到 5V 输出的电脑或者充电宝即可供电。

1.5 外设输入

麦克风模块采用 MAX4466，输出模拟信号。

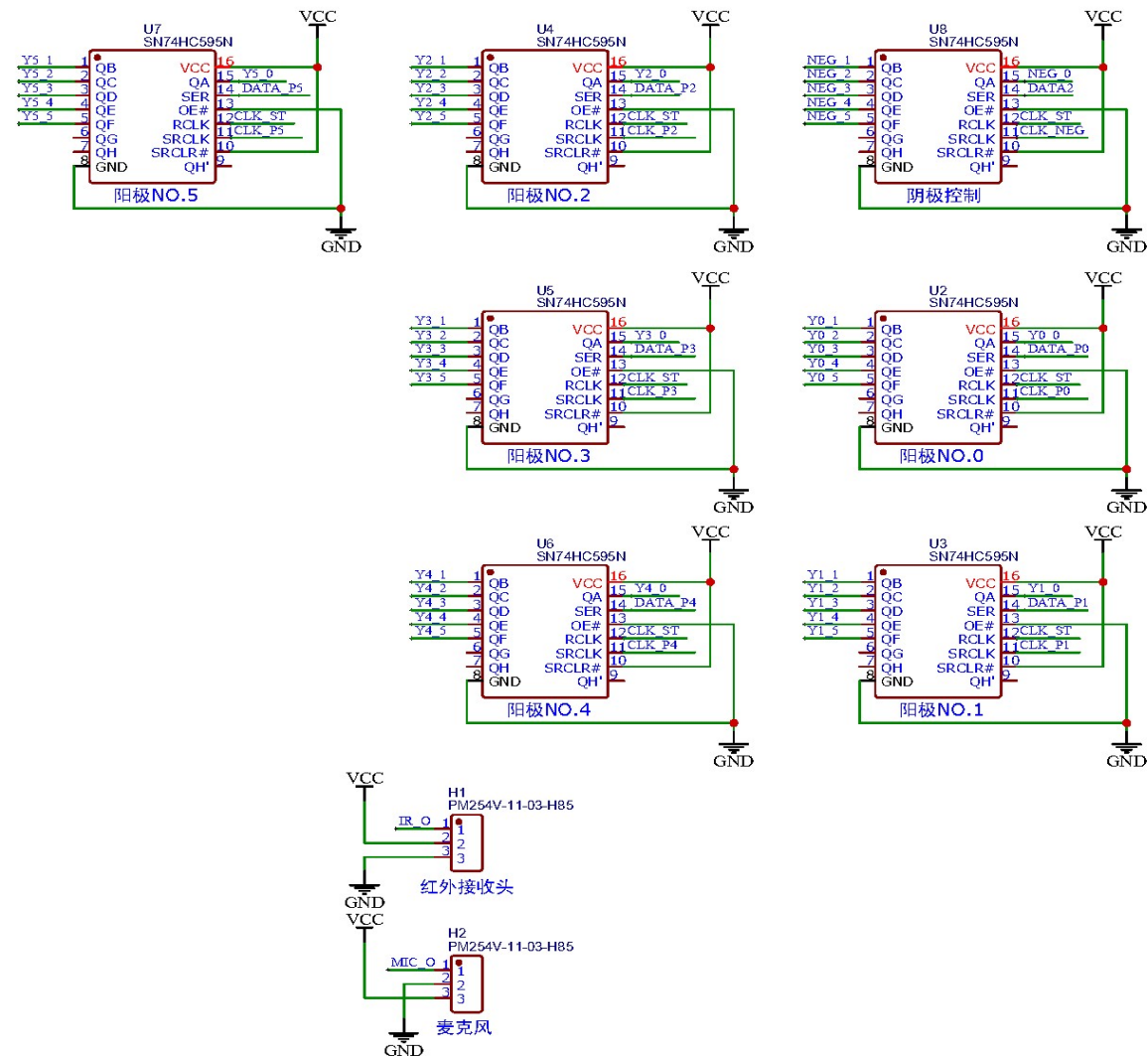
红外接收模块采用 HX1838。

电路原理图如下。

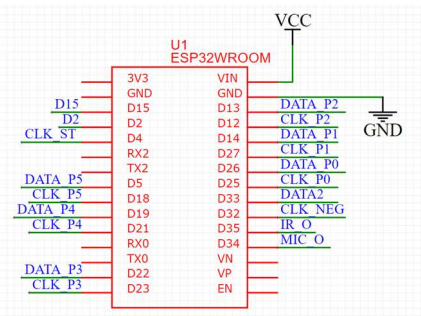
点灯阵列：



引脚拓展模块和外设输入模块：



单片机模块：



2. 程序设计

此部分将阐述单片机的代码部分，首先论述显示过程中的两个关键步骤，之后解释作品的每一功能。

2.1 点阵的扫描显示技术

对于每一横行而言，所有 LED 的阳极连在一起，并与限流电阻连接。这就意味着每一行的 LED 某一时

刻最多亮一盏，否则会因为 LED 并联导致电流过小。因此，为了实现不同的光效，对于每一行的 LED 需要采取扫描实现。

在某一段时间内（例如 1s），采取高刷新率，利用人眼的视觉暂留效果便可以实现全部点亮。单片机执行单一语句的时间很短，因此让其反复循环即可。

```
currenttime = tag = millis();
while (currenttime - tag < 1000) {
    pos[0] = pos[1] = pos[2] = pos[3] = pos[4] = pos[5] = 0xff;
    for (i = 0; i < 6; ++i) {
        neg = ~(1 << i);
        print();
    }
    currenttime = millis();
}
```

以上代码为全部 LED 点亮 1s 的部分代码，print() 函数用于将当前的状态发送到寄存器中。pos[0]~pos[5] 分别为从前往后连接正极的 6 个寄存器的状态，neg 表示连接负极的寄存器状态，八位数最高两位闲置。循环中不断使阴极重复 011111, 101111, 110111, 111011, 111101, 111110，每次点亮一个灯。

2.2 同步红外遥控技术

Arduino 开发框架为单线程，因而不能在执行点灯的同时接收-判断红外接收信号，为了实现同步红外遥控功能，在扫描技术的基础上，每一个循环结束后接受一次红外信号。由于每次循环时间极短，在宏观上体现为点灯的同时接收遥控。此外，红外接收调用了 Arduino-IRremote 库。

```
void show_on() {
    for (i = 0; i < 6; ++i) pos[i] = 0xff;
    while (1) {
        neg = 0xfe; print();
        neg = 0xfd; print();
        neg = 0xfb; print();
        neg = 0xf7; print();
        neg = 0xef; print();
        neg = 0xdf; print();
        if (IrReceiver.decode()) {
            irctrl = IrReceiver.decodedIRData.decodedRawData;
            if (judge()) {
                irctrl = judge();
                IrReceiver.resume();
                return ;
            }
        }
    }
}
```

```
    }  
    IrReceiver.resume();  
  }  
}  
}
```

以上代码为静态点灯的全部部分。

2.3 功能 1：静态点灯

所有 LED 保持常亮，使用遥控器数字 1 进行切换。

2.4 功能 2：光效-展示图标

此动画为开机动画，每次开机后将在光立方的正面依次显示队标“R”“G”“B”三个字母。

2.5 功能 3：光效-按层平动

红外遥控数字 2，将会按照层进行左右-右左，前后-后前，上下-下上平动显示。

2.6 功能 4：光效-中心扩展

红外遥控数字 3，灯光将会从中心产生并扩展至全部，再从中间熄灭并扩展。

2.7 功能 5：光效-柱状旋转

红外遥控数字 4，灯光将会围绕中心进行叶片旋转。

2.8 功能 6：时间显示

红外遥控数字 5，此功能使用前，需配置 WAP2-Personal 2.4GHz 的 WiFi，网络名称为“RGBcube”，密码为“rgbrgrgb”。使用时光立方将在正面依次显示当前的北京时间，如“20:35”。

2.9 功能 7：光效-音乐律动

红外遥控数字 6，使用时麦克风将会采集当前的声音信号，经过 FFT 处理后在光立方的右侧面展示部分频谱，实现音乐律动的功能。此功能调用了 arduinoFFT 库。

以上所有功能除特殊的库函数之外，均基于扫描技术实现。需要列举其所有可能状态并且扫描显示，代码实现繁琐，但思路较为简单直接。

3. 外框设计

光立方的框架采用亚克力棒，并且使用热熔胶粘结。发光二极管引脚间使用铜丝连接，二极管间距为 4cm，发光二极管同样使用热熔胶与框架连接，既保证了坚固程度又具有一定的透光性。框架与 PCB 之间采用导线连接。

三、测试与调试

以下主要展示设计中可能出现的问题与解决方式。

焊接发光二极管前应当使用万用表的二极管模式测试其功能是否正常。

若出现部分灯在没有指令时点亮，可能有部分二极管短路造成，短路的二极管导通了某些线路的阴阳极，进而导致了某些二极管的错误。

实际设计中测得 510Ω 电阻带有约 1mF 的寄生电容，这可能会对电压波形产生一定的影响。

可以使用示波器对寄存器的引脚进行测试，判断其可能出现的软硬件问题。

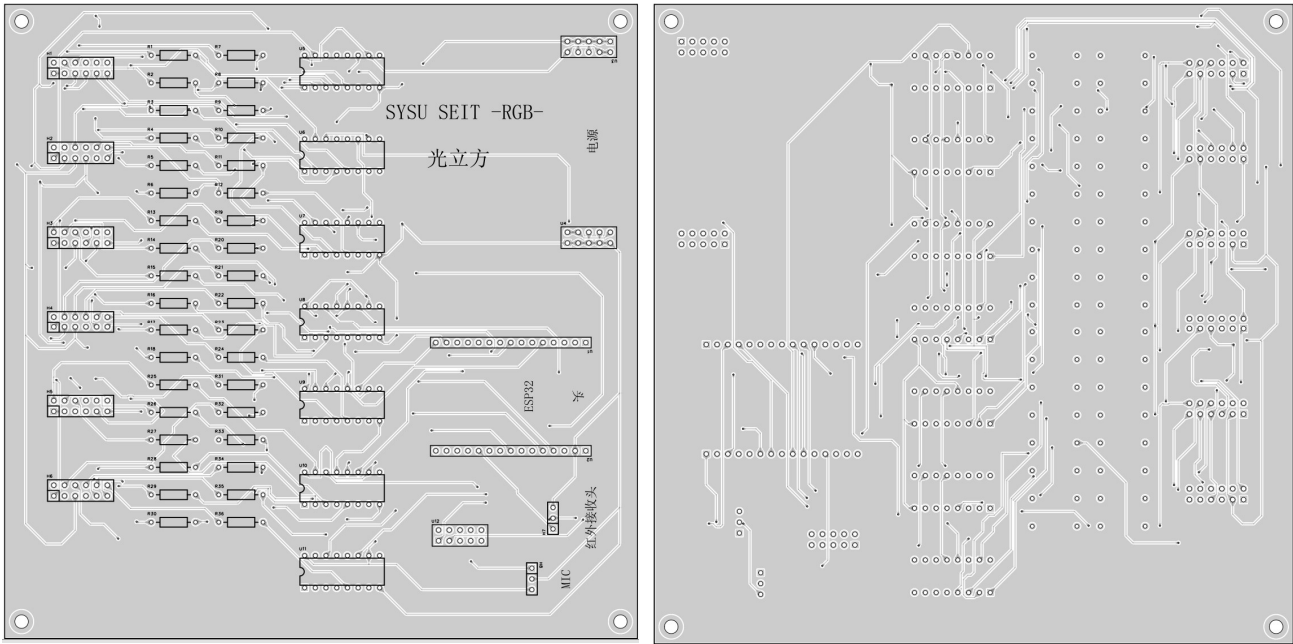
焊接时应当小心因为虚焊导致接触不良现象。

四、附录

1. 设计中采用的元件及其来源一览：

元件	数量	来源	总价
ESP32开发板	1	网购	15.94
PCB板	1	嘉立创定制	17.4
74HC595寄存器	7	网购	13.68
HX1838红外接收器与遥控器	1	开放实验室	2.3
MAX4466麦克风	1	网购	12
基于AMS1117芯片的稳压电源模块	1	网购	11
蓝色发光二极管	216	网购	10.5
510Ω电阻	36	开放实验室	2.1
导线	10m	网购	5.8
铜丝	10m	网购	6
亚克力棒	20cm*44根	网购	50

2. PCB 设计图



3. 参考文献

寄存器的使用 <https://blog.csdn.net/haigear/article/details/88974906>

<https://blog.csdn.net/ReCclay/article/details/78245642>

Arduino-IRremote 库 <https://github.com/Arduino-IRremote>

arduinoFFT 库与 FFT 的使用 <https://github.com/kosme/arduinoFFT>

https://github.com/Fudan-EGA/LEDSpectrum/blob/master/LED_Spectrum/LED_Spectrum.ino

4. 致谢

感谢中山大学电子与信息工程学院（微电子学院）提供的宝贵平台与学习交流机会。

感谢张东教授的数字电路课程和易兴文教授的数字电路实验课程对扫描显示、点阵控制、寄存器等内容的讲解和启发。

感谢电信开放大课堂对电子设计、单片机编程的启蒙和指导。