

归 档 号：H226-2020-JX17-245

# 武汉工商学院毕业论文(设计)

学院：\_\_\_\_\_信息工程学院\_\_\_\_\_

专业：\_\_\_\_\_通信工程\_\_\_\_\_ 年级：\_\_\_\_\_2016 级\_\_\_\_\_

学生：\_\_\_\_\_学号：\_\_\_\_\_

指导教师：\_\_\_\_\_ 职称：\_\_\_\_\_

题目：\_\_\_\_\_频谱可视化蓝牙音响设计\_\_\_\_\_

2020 年 5 月 8 日

# 武汉工商学院

## 本科毕业论文（设计）原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：

2020 年 5 月 18 日

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 摘 要.....                 | I  |
| 关键词.....                 | I  |
| Abstract.....            | II |
| Key words .....          | II |
| 1 绪论.....                | 1  |
| 1.1 无线传输技术介绍.....        | 1  |
| 1.2 蓝牙概述.....            | 1  |
| 1.3 音频无线传输的发展.....       | 2  |
| 2 工作原理及设计方案.....         | 3  |
| 2.1 工作原理.....            | 3  |
| 2.2 设计方案.....            | 3  |
| 3 硬件电路设计.....            | 5  |
| 3.1 电源电路部分.....          | 5  |
| 3.2 蓝牙模块.....            | 6  |
| 3.3 解码部分.....            | 7  |
| 3.4 频谱变换部分.....          | 8  |
| 3.5 频谱显示部分.....          | 9  |
| 3.5.1 74HC244 功能介绍.....  | 9  |
| 3.5.2 74ALS138 功能介绍..... | 10 |
| 3.5.3 74HC04D 功能介绍.....  | 10 |
| 3.5.4 74HC595 功能介绍.....  | 11 |
| 4 软件设计.....              | 13 |
| 4.1 系统初始化.....           | 14 |
| 4.2 FFT_task 任务.....     | 15 |
| 4.3 FFTMag_task 任务.....  | 16 |
| 4.4 LED_task 任务.....     | 16 |
| 4.5 Android 程序设计.....    | 18 |
| 5 系统测试.....              | 19 |
| 5.1 测试前的介绍.....          | 19 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 5.2 测试时的现象.....      | 19 |
| 5.3 测试时的问题及解决措施..... | 21 |
| 6 结论.....            | 23 |
| 参考文献.....            | 24 |
| 附录一.....             | 25 |
| 附录二.....             | 26 |

# 频谱可视化蓝牙音响设计

## 摘 要

蓝牙技术本来是为移动电话与其他配件的低功耗、低成本的通信而设计的。在 21 世纪此技术得到了迅猛的发展，由最初的 0.7 规格到了现在的 5.0 规格。因为蓝牙技术的快速发展，音频无线传输在生活中得到了极大的应用，如家庭影院，车载音响，蓝牙耳机等。这些应用使人们免受传统设备线材的困扰，可以在一定的范围内自由移动，极大的方便了人们的生活。

本次设计以 C 作为开发语言，以 QCC3008 芯片的 Bluetooth5.0 技术为基础，STM32F103 芯片作为主控，将声音通过无线的方式进行传输并播放，然后以频谱的方式显示。设计主要分为硬件与软件部分，硬件主要负责蓝牙音频的接收和解码，软件部分的功能是进行 FFT 变换，将数字时域信号转化为数字频域信号并显示到 LED 点阵屏上。

**关键词：**蓝牙；音频；无线传输

# Bluetooth audio design based on spectrum visualization

## Abstract

Bluetooth technology was originally designed for low-power, low-cost communication between mobile phones and other accessories. In the 21st century, this technology has developed rapidly, from the initial 0.7 specification to the current 5.0 specification. Because of the rapid development of Bluetooth technology, wireless audio transmission has been widely used in life, such as home theater, car audio, Bluetooth headset and so on. These applications make people free from the trouble of traditional equipment wire, can move freely in a certain range, and greatly facilitate people's life.

This design takes C as the development language, qcc3008 chip's Bluetooth 5.0 technology as the foundation, STM32F103 chip as the main control, transmits and plays the sound through the wireless way, and then displays it in the way of spectrum. The design is mainly divided into hardware and software part. The hardware is mainly responsible for the reception and decoding of Bluetooth audio. The function of the software part is to transform the digital time domain signal into the digital frequency domain signal and display it on the LED lattice screen.

**Key words:** Bluetooth; audio; wireless transmission

# 1 绪论

## 1.1 无线传输技术介绍

物联网是当前科学技术发展的一个火爆的领域，它会是继电器领域、计算机领域后信息化产业的又一个热潮。在早期的互联网中人与人只能通过线缆进行信息间的交流，但物联网所需要的是无论在任何地点、任何时间都要做到人、与物的互联互通。要想达到这一要求，无线传输技术必须作为基础。

在1920年到1950年中无线通信技术处在最初的阶段，这个无线技术主要服务军事，而在1950年到1960年无线通信技术逐渐进入民用领域。在1990年后无线通信技术趋于成熟，这也极大地促进了多媒体技术的发展<sup>[1]</sup>。

无线传输技术按照传输距离分类可以分为远距离传输与近距离传输，其中近距离传输包括WIFI（无线宽带）、UWB（超宽带）、MTC/eMTC、红外、蓝牙（Bluetooth）、NFC（近场通信）和ZigBee（紫蜂技术）等技术<sup>[2]</sup>。而远距离传输包括移动通信中的2/3/4/5G、Sigfox等技术。近距离无线传输的传输范围一般在几百米到几十米之间，而远距离无线传输的传输范围一般在几公里到数十公里之间。远距离无线传输与近距离无线传输技术分别对应不同的应用场景，其中近距离适合小范围内的数据传输，比如家庭WIFI上网、NFC公交卡、蓝牙耳机听歌等场景，远距离的无线传输适合用在电话交流、移动数据上网、共享单车的联网等使用场景。

以上是按照距离来对无线传输技术进行分类的，而按照速率又可以分成为高速率与低速率。高速率的技术有3G通信、4G通信、5G通信、WIFI、UWB、蓝牙等，低速率有MTC/eMTC、红外、NFC、ZigBee等。传输距离与传输速率这两个特点在无线传输技术的应用层面有着决定性的影响。高速率远距离的无线传输技术适用于需要大面积广播的场景，如基站，GPS，电台等，而高速率近距离的无线传输技术适合在家庭WIF上网、蓝牙音箱听歌等场景。一般情况下高速率功耗要比低速率功耗大，所以低速率远距离的无线传输技术适用于远程查看设备状态等场景。低速率近距离通信适用家庭设备控制如红外遥控等场景。

## 1.2 蓝牙概述

所谓蓝牙技术，实质上是一种支持设备短距离无线技术标准的代称，用来描述设备之间的短距离无线电系统的连接情况，能够在无线手机、移动电话、计算机等设备之间进行通信，这种技术适用于没有电线连接的条件完成的近距离的无

线信息交换<sup>[3]</sup>。因为蓝牙技术具有低功耗，短距离与低成本的特点，所以在可穿戴设备、平板电脑、智能手机等移动通信终端中被广泛的使用。

蓝牙技术起始于瑞典的通信公司爱立信（Ericsson）在1994年提出的方案，这个方案的目的是研究出一种可以在便携式电话与其它产品之间进行低功耗、低成本的无线通信方法，从而摆脱传统有线电视束缚<sup>[4]</sup>。

除了爱立信还有其他的四个公司也都加入到这项研究中，这个四家公司分别是芬兰的诺基亚（Nokia）、日本的东芝（Toshiba）、美国的国际商用机器公司（IBM）和英特尔（Intel）。五家公司联合成立了特别利益集团（Special Interest Group, SIG），而这个集团也就是蓝牙技术连联盟的前身<sup>[5]</sup>。这五个公司在此项研究中分别负责不同的部分，英特尔主要负责芯片与传输软件，爱立信负责无线射频与便携式电话的软件开发，而比笔记本的接口则是由IBM与东芝开发<sup>[6]</sup>。1998年5月这个特别利益集团推出了蓝牙技术的0.7规格，此规格支持基带和链路之间的通讯协议。而真正可以用于制造蓝牙产品的规格是在1999年7月特别利益集团推出的1.0A版。在此后又陆续推出了1.1、1.2版直到现在的5.0版。如今蓝牙技术已经出现生活的方方面面，给人们带来了极大的便利。

### 1.3 音频无线传输的发展

蓝牙的诞生给音频的无线传输提供了一个基础，起初蓝牙只能让单只耳机与手机之间通信，但是随着蓝牙音频传输模型协定（Advanced Audio Distribution Profile, A2DP）的出现，立体声蓝牙耳机也随之诞生了，其原理是运用芯片内部的堆栈来储存数据。A2DP主要应用在立体声蓝牙耳机与手机、个人电脑和音乐播放器的之间<sup>[7]</sup>。而后又出现了AVRCP，这就允许通过蓝牙设备来控制音乐的暂停、播放、与歌曲切换。除了在协议上的不断完善，音频无线传输在编码格式上也出现了不同的方案。目前市场上主流的编码格式有SBC、ACC、LDAC、Apt-x四种。SBC是最早的格式，它是ASDP协议中强制规定的编码格式，这种格式在听感方面要弱于其它三种格式，但是由于SBC是协议中强制规定的，所以其使用的范围最广。ACC与Apt-x分别起源于杜比实验室和CSR公司，后来ACC被运用于苹果设备，Apt-x被应用于安卓设备。ACC的听感略强于SBC，Apt-x的听感都要强于两者。LDAC是四种格式中听感最好的，其通信码率接近1Mbps，这就使得人耳可以聆听到音质接近于无损的音频。LDAC起初是一种近乎私有的编码格式，这导致了这种格式的适用范围小，但是随着时代发展安卓8.0及以上的设备也支持了LDAC<sup>[8]</sup>。

## 2 工作原理及设计方案

### 2.1 工作原理

音频的无线传输技术使播放设备与解码设备可以通过无线的方式进行连接，在牺牲少量音质的情况下极大的提升了便利性。类似 Apple 公司的 AirPods 和 HomePod，或者华为公司的 SoundX 和 FreeBuds 都是以这种技术播放音乐的，这些设备使在路上走动的时候不会受到听诊器效应的影响，也可以使你在家庭播放音乐的时候将音箱摆放在任何位置，这都极大的提升了听歌的便利性，减少了因为线材而带来的听诊器效应或者是空间上的约束。

这种蓝牙音箱或者耳机在硬件上主要分为发送设备与接收设备。顾名思义发送设备的主要功能是发送信号，当然也会有其他的额外功能如手机。蓝牙音频发送设备的大致原理是识别设备上的音频文件，然后将音频文件以数字信号的方式传送到蓝牙芯片中，蓝牙芯片接收到数字信号以后以蓝牙协议规定的编码格式进行编码并打包发送出去。接收设备的功能是接收发送设备发来的信号，然后将其播放出来。接收设备主要是由蓝牙模块，解码模块、功放和喇叭这几个模块组成的。其主要大致原理是蓝牙模块将接收到的数据包按照协议的规定转化为拥有一定编码格式的数字信号，解码器接收到数字编码信号以后进行解码运算并将其转化为模拟信号，由于此信号很微弱所以还需要功放进行放大，最后音频模拟信号通过电磁效应使喇叭的振膜震动发出声音。在此过程的蓝牙的数据以什么方式传输是最大的问题，因此就制定的相关的蓝牙协议。蓝牙协议规定了信号的传输方式，极大的降低信号在传输过程中受到的干扰，这也是我们在无数电磁波干扰下能清楚听到音频的最主要的原因。

蓝牙技术由最初的 0.7 规范更新到目前的 5.0 规范，这给音频无线传输带来了更大的传输范围，更好的传输质量。耳机也从普通的蓝牙耳机更新到 TWS（True Wireless Stereo）蓝牙耳机。随着智慧生活的到来，蓝牙技术将是未来发展的一个重要领域。

### 2.2 设计方案

本次设计是由硬件部分与软件部分组成的，其中硬件部分由 2 个模块组成，分别是蓝牙接收模块与频谱显示模块。

（1）蓝牙接收模块通过蓝牙芯片 QCC3008 接收手机上发送的数据将其转化为数字音频信号，数字音频信号经过 PCM5102A 芯片进行解码、DA 转换并放大

成音频模拟信号，最后模拟信号输入到喇叭。因为此模块采用的是 USB 供电，而 QCC3008 与 PCM5102A 的工作电压都是 3.3v, 所以需要用稳压芯片 RT9193 将 5V 电压转化为 3.3V 电压。

(2) 频谱显示模块是由 STM32F103 作为主控，32\*64 点阵屏进行频谱显示。STM32F103 对蓝牙音箱模块传输的模拟信号进行 AD 采样，将模拟信号转化为数字信号，STM32F103 将这些数字信号进行快速傅里叶变换得到频域的数据，最后将频域的数据进行取模求幅值的运算得到最终的幅值。32\*64 点阵在获得幅值后按照柱状的形式显示出来即可。

(3) 软件也可以分为两个部分，一部分用 C 语言编写，其作用是控制频谱显示模块主控的 AD 采样率与屏幕的刷新频率。另一部分基于 Java 编写，用来控制手机对歌曲的播放、暂停与切换操作。

系统设计方案图如图 2-1 所示。

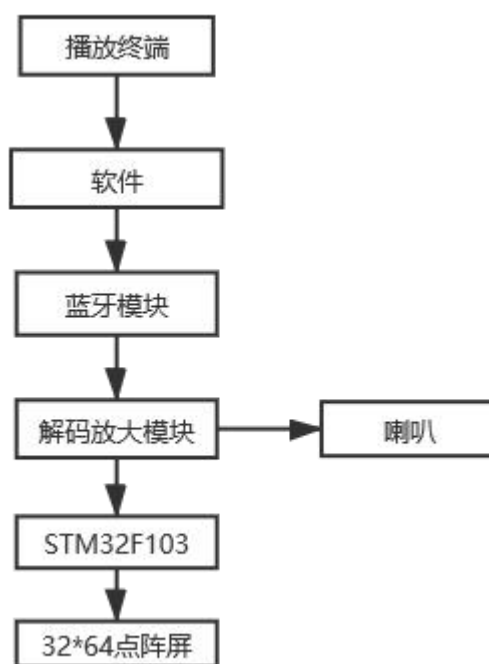


图 2-1 系统设计方案图

### 3 硬件电路设计

硬件是电路设计的基础，音频可视化蓝牙音箱设计的硬件可以分为接收播放模块与频谱显示模块两个部分。其中音乐播放模块是由蓝牙接收模块与解码模块两个部分组成。蓝牙模块采用的是 QCC3008 芯片，此芯片支持蓝牙 5.0 具有良好的传输性能，解码部分采用的是 PCM5102A。频谱显示部分采用的是 STM32F103，此芯片有 72MHz 可以满足 256 点 FFT 变换对速度的要求。显示部分选用 32\*64 点阵屏，通过 08 接口进行操作。硬件模块结构图如图 3-1 所示。

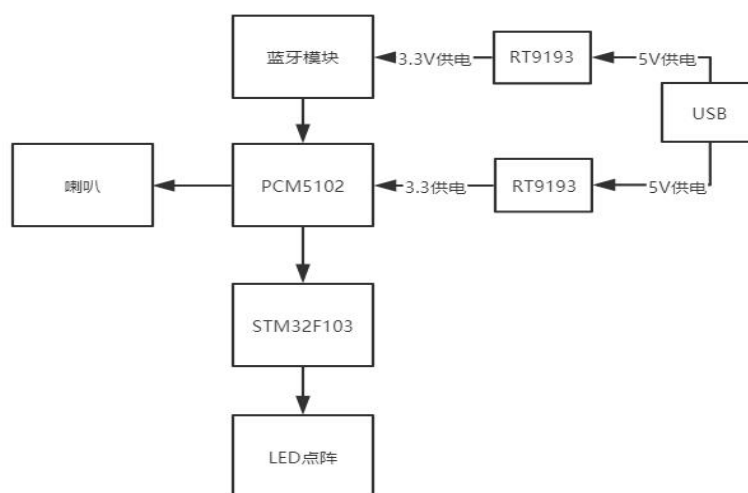


图 3-1 硬件模块结构图

#### 3.1 电源电路部分

在本设计中蓝牙模块和解码模块组成的音频接收模块与屏幕显示模块的主控 STM32F103 的供电方式虽然都是通过 USB 5V 供电，但是实际的供电电压是 3.3V。为了保证每个模块之间的独立工作互不影响，因此每个模块的前级都有一个稳压芯片将 USB 的 5V 电压转化为 3.3V。

音频接收模块中的蓝牙模块与解码模块都是采用的 3.3V 的供电电压，所以需要两个稳压芯片提供电压，本设计用到的稳压芯片是 RT9193，此芯片的正常工作电压的范围是 2.5V~5.5V 之间，输出电压可以由引脚控制以 3.3V 或 2.8V 输出。USB 直接提供 5V 电压给 RT9193 供电，其供电的通断由自锁电路决定。

RT9193 芯片的特性：

(1) 拥有超低的射频噪声，这使得此芯片在笔记本、电池供电设备与移动手机等便携设备中有广泛的应用。

(2) 拥有极低的静态电流（通常小于 100uA），这样可以降低功率的消耗，

使得前级提供的功率以极低的损耗传到后级。

(3) 关机时的待机电流小于  $0.01 \mu A$ 。

(4) 具有过流与温度保护，使得使用的时候不会轻易烧掉芯片。

下图 3-2 是 RT9193 在本设计中的应用电路。

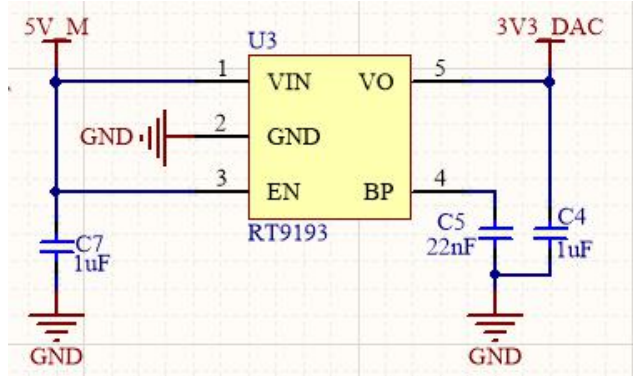


图 3-2 RT9193 稳压电路

### 3.2 蓝牙模块

本次设计使用由 QCC3008 所组成的蓝牙模块来实现无线传输的功能。此蓝牙模块接收移动端发送的数据，并将这些数据转化为微弱的数字信号发送至 PCM5102A 解码器。蓝牙模块作为音频无线传输最重要的部分对音质有极其重要的影响。QCC3008 芯片支持 A2DP,AVRCP,HFP,TWS,ACC,I2S,APTX 等多种格式。蓝牙模块的电路图如图 3-3 所示。

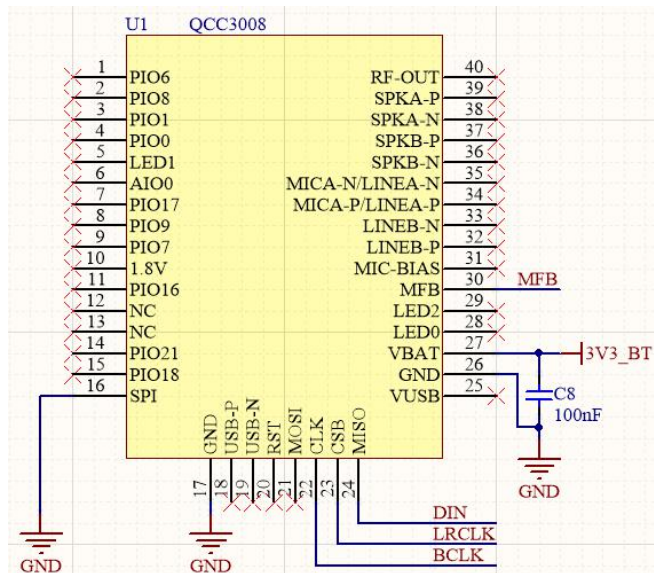


图 3-3 蓝牙模块电路

QCC3008 特点:

(1) 支持的编码格式多

支持市面上主流的音频编码格式如 aptx, aptx-LL, SBC, AAC 格式。aptx 与



PCM5102A 芯片的性能特点如下：

(1) 电路简单

PCM5102A 的实现功能的电路简单，只需要少量的电阻与电容就可以实现功能电路。而且不需要功放就可以对最后的模拟信号进行放大处理。PCM5102A 输出的模拟信号可以直接输出到喇叭中进行播放。

(2) 自动进入省电模式

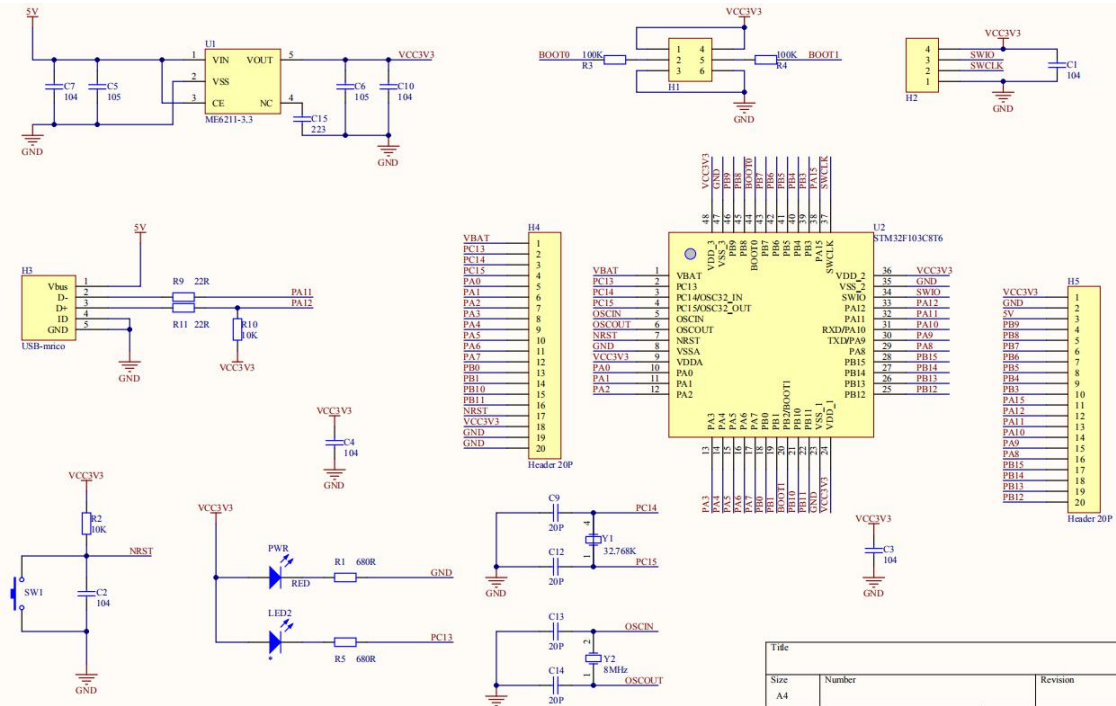
在没有播放音乐的情况下 LRCK 与 BCK 都为低电平，此时 PCM5102A 会识别到没有音乐播放并自动进入省电模式。这使得降低了接收模块的功耗。

(3) 信噪比低

拥有较低的信噪比，可以清晰地还原出原来的音乐。

3.4 频谱变换部分

频谱变化部分的作用是将前级解码部分传输的模拟信号采样并进行 FFT 处理。此设计中实现频谱变换的芯片是 STM32F103CT86。因为此处 STM32F103CT86 的任务是采集模拟信号进行变换，然后输出到 LED 点阵上，所以硬件电路较为简单。其硬件电路如图 3-5 所示。



片是 ME6211-3.3。

选取 STM32F103CT86 的理由如下：

(1) 最大频率较高

STM32F103CT86 主时钟最大支持 72MHz, 此频率可以同时满足 256 点的 FFT 变换与 32\*64 点阵的刷新。

(2) 带有 ADC

频谱转换部分需要对解码部分输出的模拟信号进行 AD 采集，而 STM32F103CT86 带有多个通道的 12bit 的 ADC。

### 3.5 频谱显示部分

频谱显示部分选用的 08 接口 32\*64 点阵。32\*64 点阵是由 2 个缓冲芯片 74HC244, 1 个反相器 74HC04D, 2 个解码器 74ALS138, 8 个驱动芯片 APM4593, 32 个位移寄存器 74HC595 与 32 个 8\*8 点阵组成。此点阵一共有 2048 个像素点，每个像素点都较大所以有比较好的显示效果。

#### 3.5.1 74HC244 功能介绍

74HC244 是四线三态缓冲器，在点阵的作用是隔离前级与后级，防止前级与后级互相干扰。还有一个作用是提高 IO 口的驱动力。74HC244 连接电路如下图 3-6。

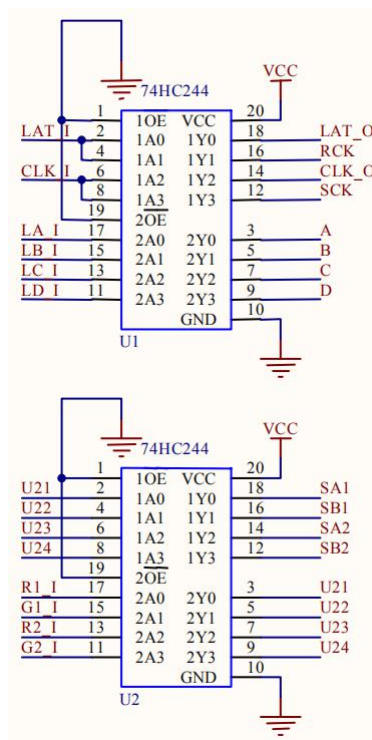


图 3-6 74HC244 连接图

### 3.5.2 74ALS138 功能介绍

74ALS138 是三线 8 位解码器，在 32\*64 点阵中由两个 74ALS138 并联组合成一个四线 16 位译码器。输入线 DCBA 分别对应 4 位二进制数的高位到低位，低 3 位可以控制一个三线 8 位解码器，因此可以单独连接到一个 74ALS138 上控制 8 个输出。而 4 位数中的最高位为 0 时不可能选中 9~16 行，只有最高位为 1 时才会选中，这时最高位类似于芯片中的使能位，所以输入线 D 连接着第二个 74ALS138 的使能位。如下表 3-1 是 74ALS138 真值表。

表 3-1 74HC138 真值表

| 输入    |                  |                  |     |     |     | 输出               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|-------|------------------|------------------|-----|-----|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $E_3$ | $\overline{E_2}$ | $\overline{E_1}$ | $A$ | $B$ | $C$ | $\overline{Y_0}$ | $\overline{Y_1}$ | $\overline{Y_2}$ | $\overline{Y_3}$ | $\overline{Y_4}$ | $\overline{Y_5}$ | $\overline{Y_6}$ | $\overline{Y_7}$ |
| X     | H                | X                | X   | X   | X   | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                |
| X     | X                | H                | X   | X   | X   | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                |
| L     | X                | X                | X   | X   | X   | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                |
| H     | L                | L                | L   | L   | L   | L                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                |
| H     | L                | L                | L   | L   | H   | H                | L                | H                | H                | H                | H                | H                | H                |
| H     | L                | L                | L   | H   | L   | H                | H                | L                | H                | H                | H                | H                | H                |
| H     | L                | L                | L   | H   | H   | H                | H                | H                | L                | H                | H                | H                | H                |
| H     | L                | L                | H   | L   | L   | H                | H                | H                | H                | L                | H                | H                | H                |
| H     | L                | L                | H   | L   | H   | H                | H                | H                | H                | H                | L                | H                | H                |
| H     | L                | L                | H   | H   | L   | H                | H                | H                | H                | H                | H                | L                | H                |
| H     | L                | L                | H   | H   | H   | H                | H                | H                | H                | H                | H                | H                | L                |

在此设计中两个三线 8 位译码器并联组成一个四线 16 位译码器，每一个输出都可以同时控制上下半屏中的某一行，因为一共有 16 个输出所以要点亮整个屏幕需要刷新 16 次，所以点阵屏扫描的方式是 1/16。

### 3.5.3 74HC04D 功能介绍

74HC04D 是高速与非门，高电平输入低电平输出，低电平输出高电平输出。因为 74ALS138 的 E2 与 E1 是低电平使能，通常在大部分芯片是高电平使能，所以用非门转换逻辑，方便编写程序。而且使能信号是直接由 STM32F103C8T6 输出，通过非门可以提高驱动能力。如下图 3-7 是 74HC04D 的电路连接图。

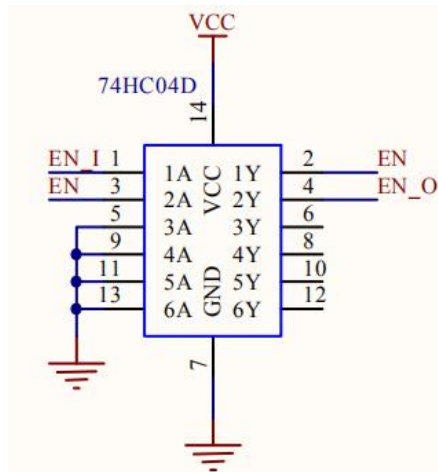


图 3-7 74HC244 连接图

#### 3.5.4 74HC595 功能介绍

74HC595 是 8 位串行位移输入缓存器，引脚 1~7 与引脚 15 都是并行数据输出线，输出锁存器中的值。引脚 9 是串行输出线。引脚 13 是使能脚，低电平有效。引脚 11 是数据输入时钟线，当产生上升沿时移位寄存器中的数据进行移位，留出一个空位储存数据输入线上的高低电平。引脚 12 是输出存储器锁存时钟线，当产生上升沿时将移位寄存器中的数值存储到锁存器中直到下次上升沿到来。引脚 9 是串行输出线，当输入数据的为位数超过移位寄存器的位数时，数据会从串行输入线输出，移位寄存器的存储原理类似队列，先进先出，后进后出。如下图 3-8 是 74HC595 的连接电路图。

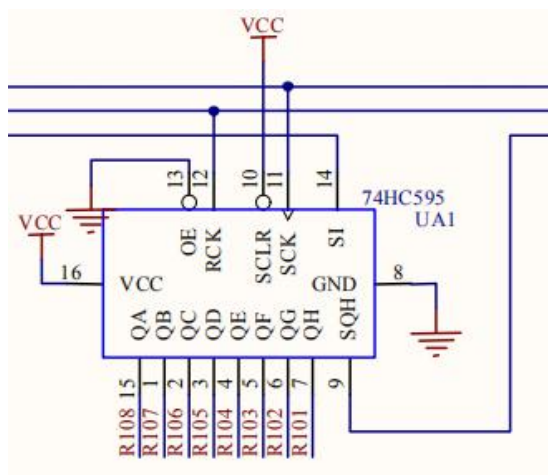


图 3-8 74HC595 连接图

在 32\*64 点阵中有 32 个 8 位串行位移输入缓存器，每 8 个 74HC595 芯片进行串联组成一个 64 位的串行位移输入缓存器，32 个分别构成 4R1,R2,G1,G2 组。这 4 组又可以根据控制的颜色与位置分成两组，一组是 R1 和 G1，另一组是 R2 和 G2。因为此设计用到的点阵是 1/16 扫的模式，所以可以以 16 行为单位分为上下

半屏，上半屏为组 1，下半屏为组 2，其中 R1 和 G1 可以控制上半屏的亮灭，R2 和 G2 可以下半屏的亮灭。每个半屏同时只能有一行亮，R1 和 G1 先控制半屏中的前 8 行亮，扫描前 8 行完后再控制后 8 行亮。

## 4 软件设计

软件设计部分的作用是控制硬件，使相同的硬件电路体现出不同的效果。通过编写的软件观察硬件的现象，测量硬件的各种参数，然后根据参数再慢慢修改软件，逐渐使硬件电路达到最好的状态。此设计的软件有 C 语言程序与 Android 软件。C 语言设计部分有四个部分组成，分别是定时器部分、ADC 部分、FFT 部分与点阵刷新部分。其大致思路是通过定时器来决定 ADC 对模拟音频的采样率，ADC 将采集到的数据存入到 DMA 中，每采集 256 个数据时就进行 FFT 变换，变换后将得到的数据按照一定的算法输出到 32\*64 点阵屏中。本设计采用 FreeRTOS 系统编写。FreeRTOS 操作系统是迷你的实时操作系统内核，可以移植在大部分 ARM 单片机。该操作系统可以用户自主配置内核功能并且多平台支持，而且经过长时间的更新该操作系统已经较为完善<sup>[9]</sup>。作为一个轻量级的操作系统，功能包括：任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能、软件定时器、协程等，可基本满足较小系统的需要。由于 RTOS 需占用一定的系统资源(尤其是 RAM 资源)，只有  $\mu$ C/OS-II、embOS、salvo、FreeRTOS 等少数实时操作系统能在小 RAM 单片机上运行。程序的流程图如下 4-1 所示。

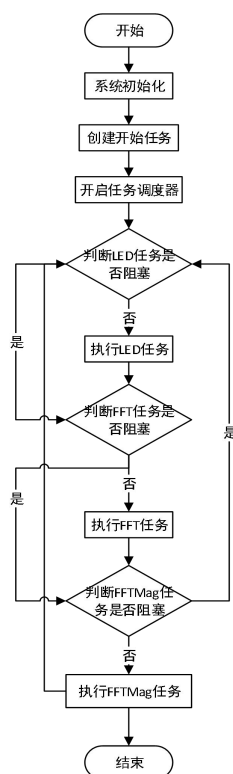


图 4-1 系统流程图

Android 设计部分起到切换暂停歌曲的作用，与普通播放器软件设计思路一

样，以列表的形式显示手机本地的全部歌曲，三个按钮分别控制歌曲的上下切换与播放暂停，在列表中点击歌曲可以直接跳转切换。

## 4.1 系统初始化

初始化部分完成对中断、时钟、ADC、TIMER 与 GPIO 的初始化，分别对应函数 NVIC\_PriorityGroupConfig(), ALL\_NVIC\_Configuration(), AllClock\_Init(), ADC\_Config(), TIMX\_Configuration()与 LedArray\_GPIOConfig()。

程序首先运行 NVIC\_PriorityGroupConfig()来设置整个程序中中断的分组，在 STM32F103 有 4 位二进制数可以表示优先级分组。其中一部分表示抢占优先级，另一部分表示亚优先级，所以一共有 0 到 4 这 5 种优先级分组，优先级数字越高优先级越小。抢占优先级高的中断可以打断抢占优先级低的中断。当抢占优先级的级数一样按照中断发生的时间判定，当抢占优先级一样且中断同时发生时按照亚优先级数字的大小发生中断。ALL\_NVIC\_Configuration()函数的作用是配置不同外设的中断优先级，需要用到的外设中断有 TIME2 与 TIME4，其中 TIME2 规定了 AD 的采样频率，TIME4 规定了屏幕的率性频率，因为进行 FFT 运算必须要求时域上的采样频率是固定的，所以本设计采用 TIME2 的输出通道 2 触发定时器。为了保持屏幕正常刷新，定时器 4 的中断优先级最高。

TIME2 的初始化由函数 TIM2\_Configuration()所完成，函数的参数数值是根据声音的频率所确定的。人耳一般能听到声音的频带一般是 20Hz~20KHz，而音乐的频带越宽人耳能听到的细节越多。普通 CD 唱片的频带宽度为 20Hz~20KHz，刚好是人耳可听到的最大范围。FM 与 AM 调频广播的带宽分别为 20Hz~15kHz 与 50Hz~7kHz。日常电话中声音的带宽是 200Hz~3400Hz。所以 CD 唱片的音质最好，电话语音的音质最差。

音乐又分为低频，中频与高频。三种频段又对应着不同的乐器声音。低频的频段为 30Hz~150Hz，此频段可以体现出音乐的动感，多为鼓声与贝斯声。中频频段为 150Hz~5000Hz，这个频段主要是人声与音乐律动感的体现。高频段的带宽为 5000Hz~20kHz，高频段声音过多会出现音乐刺耳的听感。本设计的选取的音乐带宽是 0~5000Hz 之间，根据奈奎斯特抽样定律采样频率至少为所抽信号最大频率的两倍才可以不失真的还原出原始信号，所以取 12KHz 为采样频率。

为了达到 ADC 以 12KHz 的频率采样，ADC 的触发方式选为外部触发，，触发源为定时器 2 的外部输出通道 2，将 TIM2 的预分配寄存器设置为 6，自动重装

寄存器设置为 1000，定时器 2 每次达到上升沿就会触发 ADC 进行采样，ADC 采样后会通过 DMA 将数据存储在寄存器中，当装满 256 个值后触发 DMA 中断。TIM4 设置为每 10ms 进入一次中断来刷新屏幕。

## 4.2 FFT\_task 任务

这个任务的主要作用是将 STM32 的 ADC 采集到的数据进行 FFT 变换，并存储到 lBufOutArray 数组中。

FFT 是快速傅里叶变换简称，其作用是把离散的时域信号转化为离散的频域信号。快速傅里叶变换是离散傅里叶变换的一种快速变换。DFT 的公式如下 4.1，

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-2\pi j \frac{kn}{N}} \quad (4.1)$$

将这个公式用中的后半部分表示就可以看出，DFT 就是源信号乘上单位圆上以  $kn/N$  为周期的进行采样点的和，因此每个点的采样间隔就是采样频率除以  $N$ 。又因为 DFT 的共轭对称性，所以 FFT 是关于中心对称的。

32\*64 点阵有 64 列所以 ADC 采集的数据最少需要 128 个点，官方库提供的 DSP 进行 FFT 运算的库只有 64 点、256 点、1024 点，所以本设计选用的是 256 个点进行 FFT 变换。根据官方提供的数据在最高的频率下进行 256 点的快速傅里叶变换在 RAM 只需要 0.362ms。如下图 4-2 是 FFT\_task 的程序流程图。

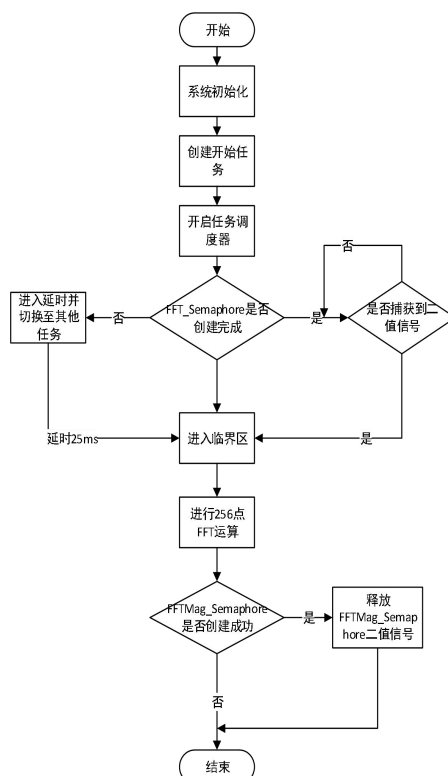


图 4-2 FFT\_task 流程图

### 4.3 FFTMag\_task 任务

在 FFTMag\_task 任务的开头先判断 FFTMag\_Semaphore 二值信号量是否创建成功，如果没有创建成功此任务延时 1000ms，否则就会进入堵塞状态等待其它任务释放 FFTMag\_Semaphore 二值信号。当 FFT\_task 释放了二值信号以后 FFTMag\_task 任务继续执行。因为 256 点的 FFT 是对称的，所以只取前 126 个值就可以满足要求。STM32 中 DSP 库自带的 FFT 算法运算结束后将结果装在了一个 long 类型的数组中。高 16 位储存复数的虚数部分，低 16 为储存复数的实数部分，然后进行求模运算并将数据存储到新的数组中。求模运算的过程不能被打断，所以此部分被放在临界区运行。程序的流程图如下 4-3 所示。

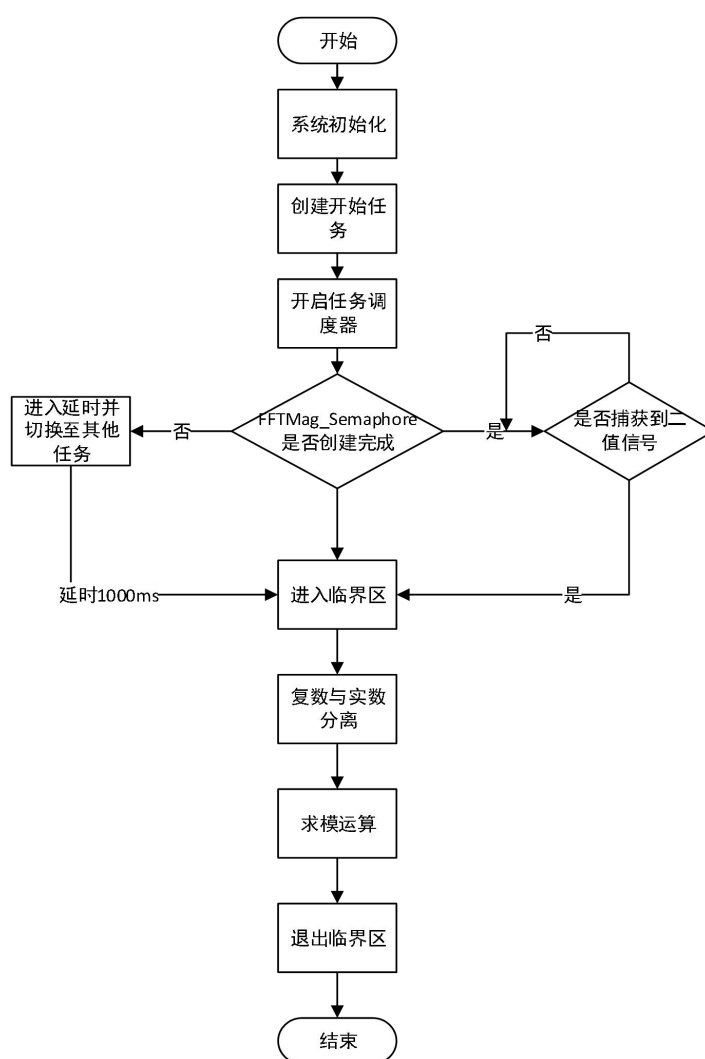


图 4-3 FFTMag\_task 流程图

### 4.4 LED\_task 任务

求模完后需要将数据进行处理，按照一定的效果显示到 LED 屏幕上。LED\_task 任务开始需要判断 FFTMag\_task 任务是否释放了 LED\_Semaphore 二值信

号，如果没有则需要进入堵塞状态。若 TIM4 释放了 LED\_Semaphore 二值信号就进行数据处理，首先将 FFT 变换后的直流分量直接用第二个点的频谱量替，这样可以方便后面的计算。因为 32\*64 点阵屏只能显示 64 列，而 256 点的 FFT 有 128 个有效数据，所以就将 128 个数字中相邻的两个数分为一组进行平均值的运算，一共求得 64 组对应 64 列。然后在进行等比例缩放的运算，使得大部分符合幅度阈值的信号可以显示出来。IBufLedArray[i]与 IBufLedArray\_tmp[i]分别储存着前一刻需要显示的幅值与当前点阵需要显示的幅值，如果当前值大于前一刻的值则刷新前一刻的值。如果当前值小于前一刻的值则延时一段时间并缓慢下降。每一列点的峰值都是由绿色的等来显示的，红色灯的区别就是下降的比红灯缓慢。如下图所示 4-4 所示是 LED\_task 任务的流程图。

LED 屏幕的刷新在 TIM4 中完成。进入 TIM4 中断后函数 LedArtr\_Scan 会循环刷新点阵中的 0~31 行。LedArtr\_Scan 先判断需要显示的是哪一行，然后置位对应行的显示位。之后再将这一行中的 64 个点进行刷新。

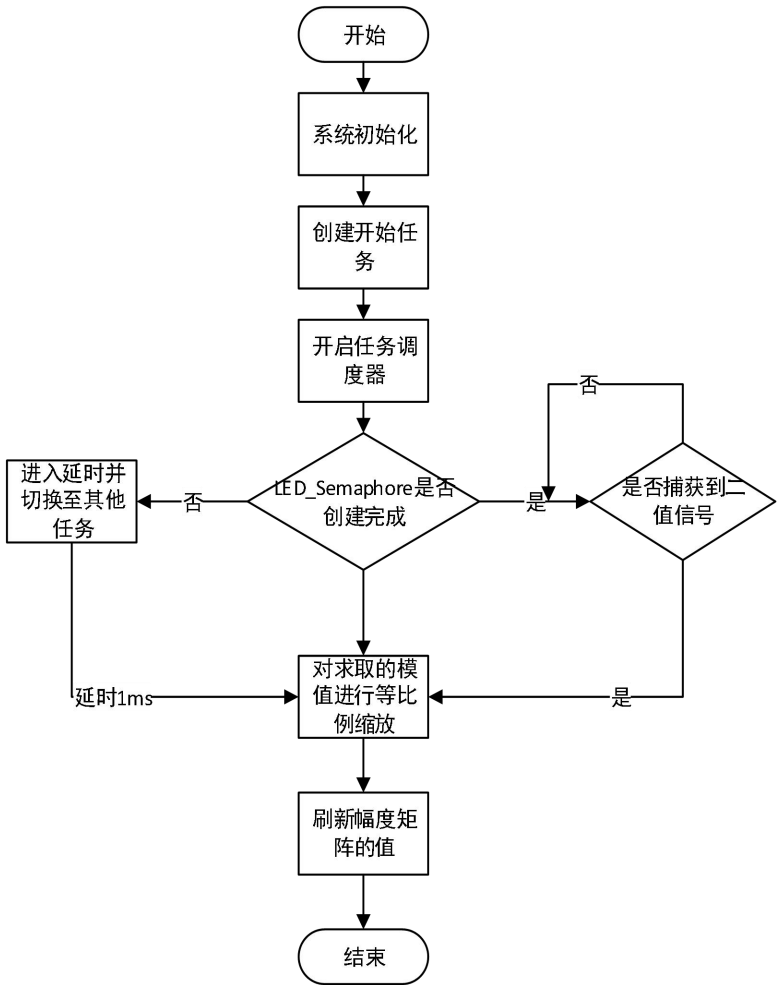


图 4-4 FFTMag\_task 流程图

## 4.5 Android 程序设计

此安卓主要实现的功能是进行控制蓝牙上歌曲的切换。软件首先搜索出本地所有的 MP3 文件，然后以列表的形式显示到手机的主界面上。在主界面的下方有 3 个按钮，功能分别是上一首、暂停/播放、下一首。音乐软件的流程图如图 4-5 所示。

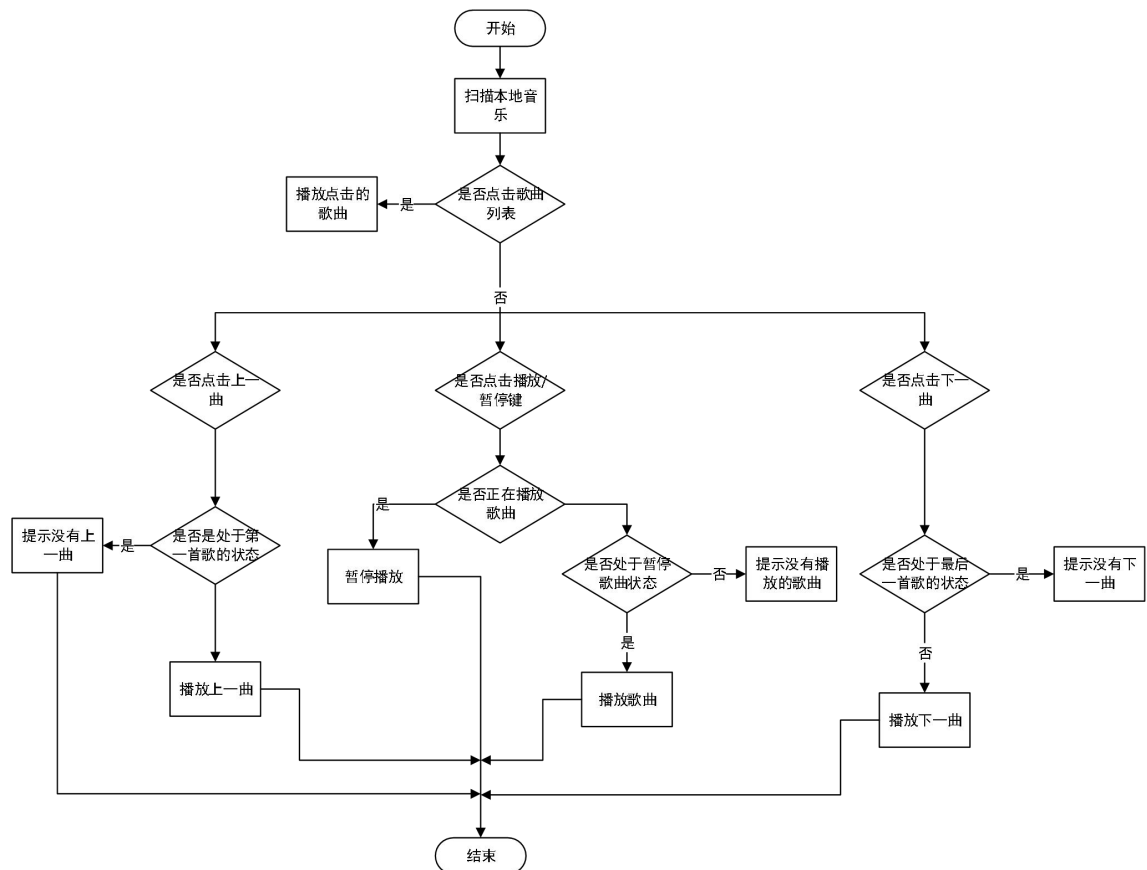


图 4-5 音乐软件流程图

## 5 系统测试

### 5.1 测试前的介绍

本设计通过软件控制手机播放歌曲，手机蓝牙发送歌曲后由 QCC3008 蓝牙模块接收歌曲，蓝牙将接收到的歌曲传输到 PCM5102A 芯片中进行解码，解码后的模拟信号传输到 STM32F103CT8T 主控中进行采集，主控采集到信号后会进行 FFT 变换把时域的数字信号转化为频域的数字信号。最后将得到的数字信号输出到屏幕上显示。

主要的操作步骤是首先打开蓝牙模块连接到名为 QCC-3008-I2S 的蓝牙，然后将主控的 ADC 引脚连接到解码器的输出口，最后就可以看到现象。

### 5.2 测试时的现象

打开蓝牙模块的接收板，蓝牙模块的两颗蓝色 LED 灯交替闪烁，打开手机蓝牙，在蓝牙列表中连接 QCC-3008-I2S 蓝牙。蓝牙列表如图 5-1 所示。



图 5-1 蓝牙列表图

连接上蓝牙后两颗 LED 灯由交替闪烁变为常亮一颗。如下图 5-2 所示。

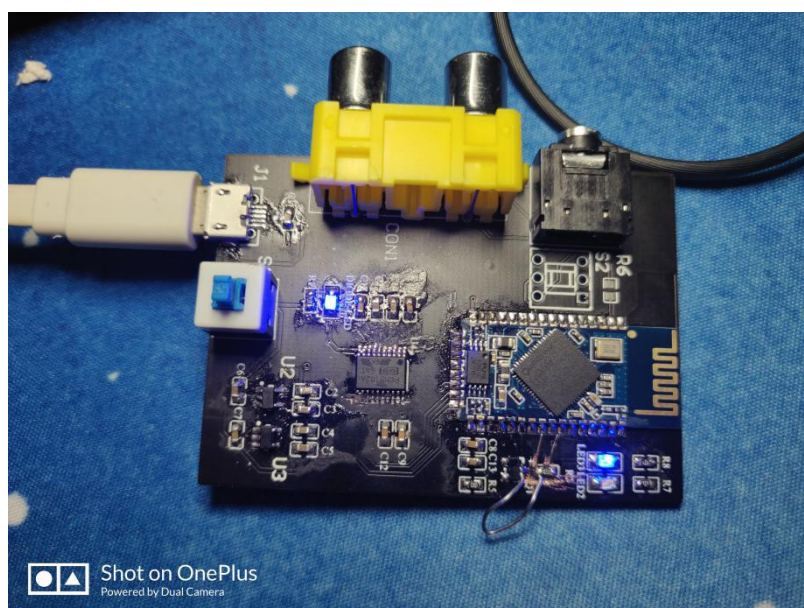


图 5-2 蓝牙连接图

连接上蓝牙后打开手机播放器，选择需要播放的歌曲，蓝牙界面如图 5-3 所示。



图 5-3 播放软件界面图

播放歌曲后将 STM32 主控连接到蓝牙模块的输出口，STM32 主控显示如图 5-4 所示。

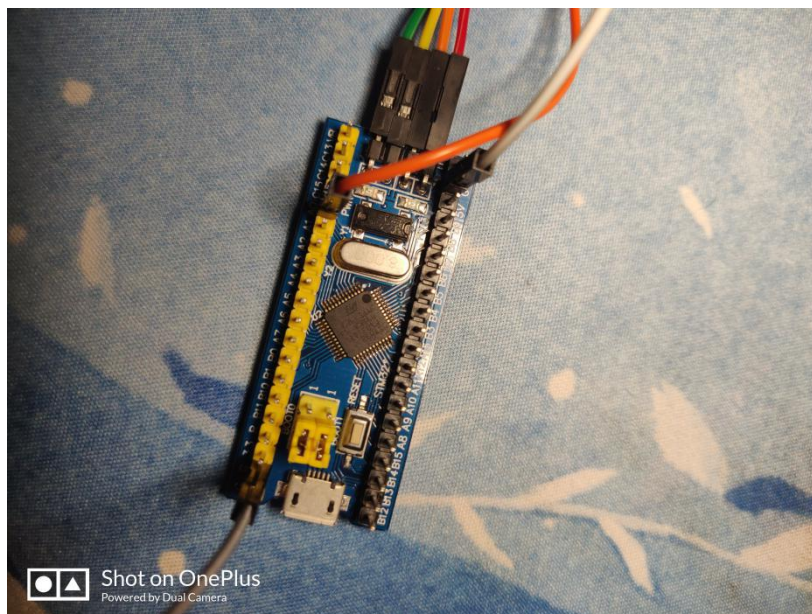


图 5-4 主控模块

主控连接好后吧点阵屏的 08 接口接到主控对应的 IO 口上，就可以观察到对应波形。显示效果如图 5-5 所示。

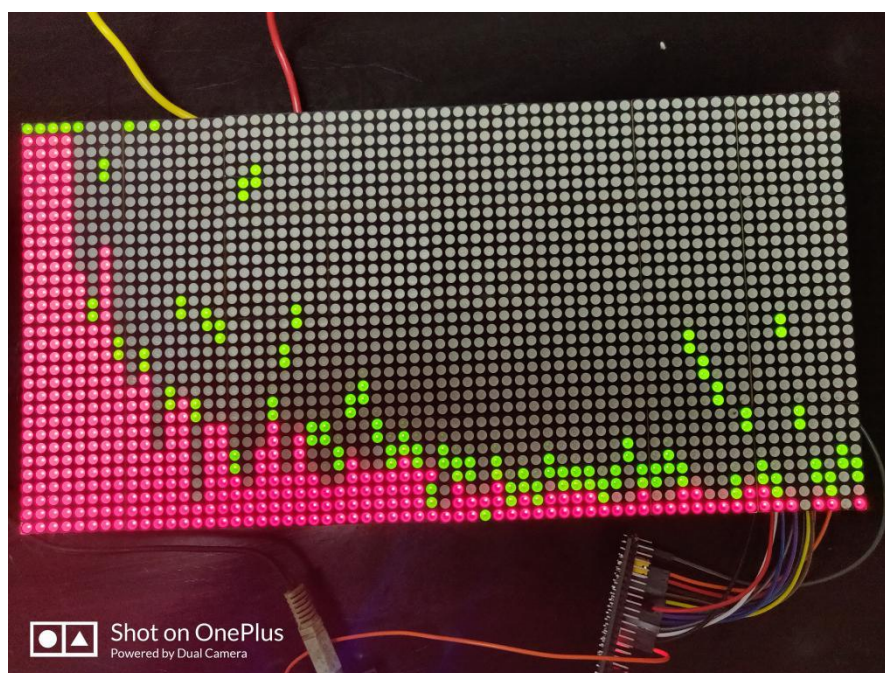


图 5-5 点阵屏频谱显示

### 5.3 测试时的问题及解决措施

(1) LED 没有成功显示出频谱。

解决措施：进入程序调试模式，在屏幕刷新模块的代码处打断点，程序正常

运行，ADC 可以采取到电压值。初步猜测是 LED 屏的刷新率不够，于是提高 LED 屏的刷新率，修改完后屏幕正常显示。

## （2）打开蓝牙模块的电源无法搜索到蓝牙信号

解决措施：蓝牙模块无法搜索带蓝牙信号，初步猜测是供电不正常，采用的方法是用外接的 LED 检测蓝牙模块的供电是否正常，检测结果是蓝牙模块没有供电，于是测量蓝牙模块的前级稳压芯片供电是否正常，在检测的过程中稳压芯片温度很高，推测出应该是稳压芯片的电源与地短接了。之后检查 PCB 发现延时电路的电阻焊盘与铺的铜相连。最后采取的解决方法是用剪刀将连接的部分割开，然后用锡线连接。割线图片如图 5-6。

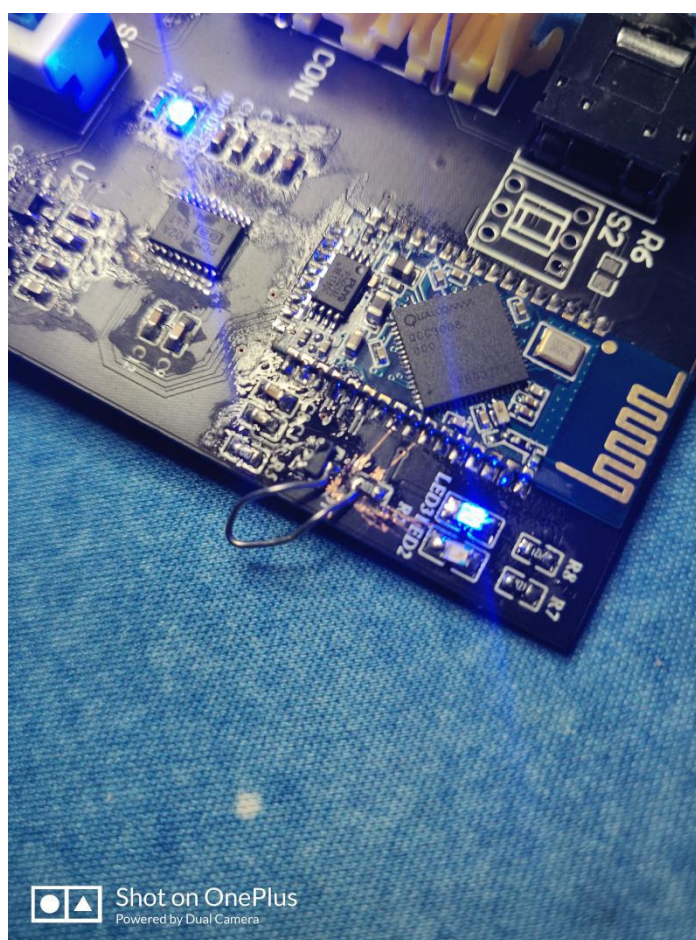


图 5-6 电路板割线

## （3）蓝牙模块正常工作但是解码器无法正常解码。

解决措施：解码模块无法正常解码测量出是电源问题，测量的出稳压芯片的封装画错了，解决措施是重新画 PCB。

## 6 结论

经过努力终于将实物做出来了，虽然在学校有学到过 STM32 的相关知识，最后也做了课程设计，可那只是对单独的外设进行操作，并没有将不同外设联合起来，而这次的设计需要用到多种模块。在设计的过程中也碰到过许多困难，比如 FFT 的算法是如何实现的，解码芯片如何选择，但是通过上网查阅相关资料都是能解决这些问题的。在设计过程中最重要最困难的是实际动手部分，其中 PCB 我重画了 4 次，这也让我知道了我粗心的缺点。

通过这次设计我知道了在实际设计中实际操作能力的重要性，理论知识大多可以查阅资料学到，但是动手能力只能通过多做多练才能有所提高。

## 参考文献

- [1] 邵旻昊. 现代无线通信技术的现状分析及其发展前景[J]. 科技风, 2020(04):103.
- [2] 谢婷婷, 杨晓倩. 短距离无线通信技术及其融合发展研究[J]. 中国新通信, 2020, 22(05):37.
- [3] 张鹏富. 浅谈蓝牙技术的发展现状和前景[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17(16):36+38.
- [4] 田英. 短距离无线通信技术综述[J]. 民营科技, 2016(05):65.
- [5] 张孟顺. 蓝牙技术及其在我国的应用前景[J]. 邮电商情, 2000(24):20-24.
- [6] 李补莲. 蓝牙技术及其现状与发展浅析[J]. 电脑开发与应用, 2003(04):42-44.
- [7] 许跃华. 基于蓝牙 A2DP 技术的研究与实现[D]. 东华大学, 2010.
- [8] 王媛满. 关于蓝牙音质你知道多少[J]. 计算机与网络, 2019, 45(09):16-17.
- [9] 辛宇, 许谨, 王德鑫, 王海明. 基于 FreeRTOS 系统的智能搬运车[J]. 中国科技信息, 2020(02):84-85.
- [10] 张龙彪, 张果, 王剑平, 王刚. 嵌入式操作系统 FreeRTOS 的原理与移植实现[J]. 信息技术, 2012, 36(11):31-34.



## 附录二

### 点阵屏仿真图

