

基于 FDC2214 的手势识别装置

摘要

手势识别是计算机科学和语言技术中的一个主题，本系统采用 STM32103ZET6 单片机作为控制芯片，外围配有手势检测、信号采集、OLED 显示电路、按键电路，组成手势识别装置。该系统首先通过 FDC2214 采集手势的电容信号并将其传递给单片机。然后对信号进行滤波，减少噪声的影响。最后设计了若干行之有效的算法（包括阈值划分训练算法、手势接近探测算法、判决算法等），根据采集的信号判断对应的手势，单片机根据对应的手势实现猜拳与划拳游戏的判决。本装置实现了手势识别的功能并能够判决猜拳与划拳结果，具有识别准确，操作简单的特点。

关键词：STM32103ZET6 单片机，FDC2214，采集装置

Abstract

Gesture recognition is a subject in computer science and language technology. This system uses STM32103ZET6 MCU as the control chip. The periphery is equipped with gesture detection, signal acquisition, OLED display circuit and button circuit to form a gesture recognition device. The system first acquires the position signal of the gesture through the FDC2214 and passes it to the microcontroller. According to the collected signal, the corresponding gesture is judged, and the single-chip computer realizes the judgment of the guessing and the punching game according to the corresponding gesture. The device realizes the function of gesture recognition and can judge the result of guessing and punching, and has the characteristics of accurate recognition and simple operation.

Keyword: STM32103ZET6 MCU ; FDC2214 ; Detect device

目 录

摘要.....	2
Abstract	2
一、设计要求.....	4
1.1 任务.....	4
1.2 基本要求.....	4
二、系统方案.....	5
2.1 理论分析与计算.....	5
2.1.1 电容手势检测原理.....	5
2.1.2 FDC2214 模块分析	6
2.2 方案一：基本方案.....	7
2.2.1 总体思路.....	7
2.3.2 可行性分析.....	7
2.3 方案二：精准的手势检测方案.....	7
2.3.1 总体思路.....	7
2.3.2 可行性分析.....	8
2.4 方案三：结合 CD4051 的电容屏式手势检测方案	8
2.4.1 总体思路.....	8
2.4.2 电容屏式极板 PCB 设计.....	8
2.4.3 可行性分析.....	9
2.5 最终方案：高包容性手势检测方案.....	9
2.5.1 总体思路.....	9
2.5.2 采集数据 & 具体方案	10
三、电路与程序设计	11
3.1 电路设计.....	11
3.1.1 FDC2214 电容传感器电路设计.....	11
3.1.2 STM32 最小系统电路设计.....	12
3.1.3 STM32 控制器电路 PCB 设计	13
3.1.4 电源模块.....	13
3.1.5 降压模块 PCB 设计.....	14
3.2 程序设计.....	15
3.2.1 主体框架及流程图.....	15
3.2.2 硬件驱动程序.....	15
3.2.3 重要算法介绍	15
3.2.4 主要功能函数.....	16
四、测试方案与测试结果.....	18
4.1 测试方案.....	18
4.2 测试仪器.....	18
4.3 测试结果.....	18

一、设计要求

1.1 任务

基于 TI 公司传感芯片 FDC2214 设计制作一个手势识别装置，实现对猜拳游戏和划拳游戏的判决。该装置也可以直接使用 FDC2214 EVM 板，要求所使用的 FDC2214 芯片或者 EVM 板不得超过 2 块。

装置具有训练和判决两种工作模式。在判决模式下实验装置能对指定人员进行猜拳游戏和划拳游戏的判决。这里猜拳游戏的判决是指对手势比划“石头”、“剪刀”和“布”的判定，划拳游戏的判定是指手势比划“1”、“2”、“3”、“4”和“5”的判定。在训练模式下能对任意人员进行猜拳游戏和划拳游戏的手势训练，经过有限次训练后，能进行正确的猜拳游戏和划拳游戏的手势判决。

1.2 基本要求

- (1) 装置工作在判决模式下，能对参赛者指定人员进行猜拳判决，给出手势“石头”、“剪刀”和“布”的准确判决，要求每一次判决的时间不大于 1 秒。
- (2) 装置工作在判决模式下，能对参赛者指定人员进行划拳判决，给出手势“1”、“2”、“3”、“4”和“5”的准确判决，要求每一次判决的时间不大于 1 秒。
- (3) 装置工作在训练模式下，对任意测试者进行猜拳的手势训练，每种动作训练次数不大于 3 次，总的训练时间不大于 1 分钟；然后切换工作模式到判决模式，对被训练的人员进行猜拳判决，要求每一次判决的时间不大于 1 秒。
- (4) 装置工作在训练模式下，对任意测试者进行划拳的手势训练，每种动作训练次数不大于 3 次，总的训练时间不大于 2 分钟；然后切换工作模式到判决模式，对被训练的人员进行划拳判决，要求每一次判决的时间不大于 1 秒。

二、系统方案

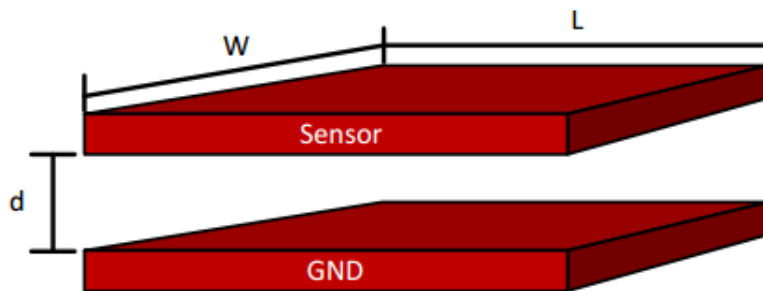
2.1 理论分析与计算

2.1.1 电容手势检测原理

电容传感器检测容值是依据电容的充电原理，根据公式：

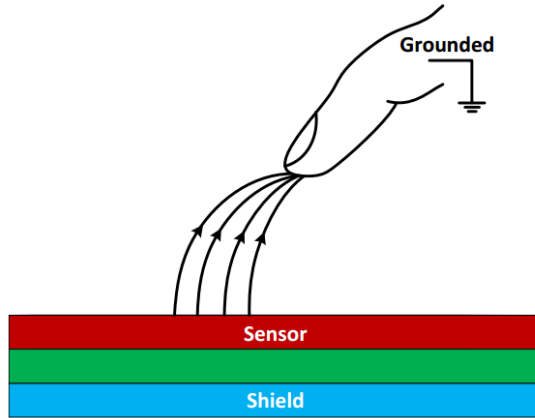
$$C = \frac{\epsilon_r * \epsilon_0 * A}{d}$$

- A 表示两极板的面积
- ϵ_r 是两极板间介质的介电常数
- ϵ_0 是真空介电常数($8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$)
- d 是两极板间距



根据该原理分析，本套手势检测装置的测量原理是通过改变接触面积 A 和人手与极板间距离 d 从而测得容值的变化，故测量时应保证手掌紧贴极板使所测容值稳定，由于手与板间距离较小时所测容值甚微，故通过软件编程将该种情况排除，只有手掌完全接触极板，容值变化较大时才进行数据采集。

利用 FDC2214 的工作原理可实现手势接近和识别的功能，如下图所示，红色部分即为 FDC2214 的传感平面，该平面为导体材质，当人手接近该导体传感平面时，传感端的电容发生了变化，这就会导致 LC 电路振荡频率的变化，从而反映出手势接近，以及手势的判定。



2.1.2 FDC2214 模块分析

FDC2214 是基于 LC 谐振电路原理的一个电容检测传感器。其基本原理如图 1 所示，在芯片每个检测通道的输入端连接一个电感和电容，组成 LC 电路。被测电容传感端（图 1 中灰色标识部分即为被测电容）与 LC 电路相连接，将产生一个振荡频率，根据该频率值可计算出被测电容值。

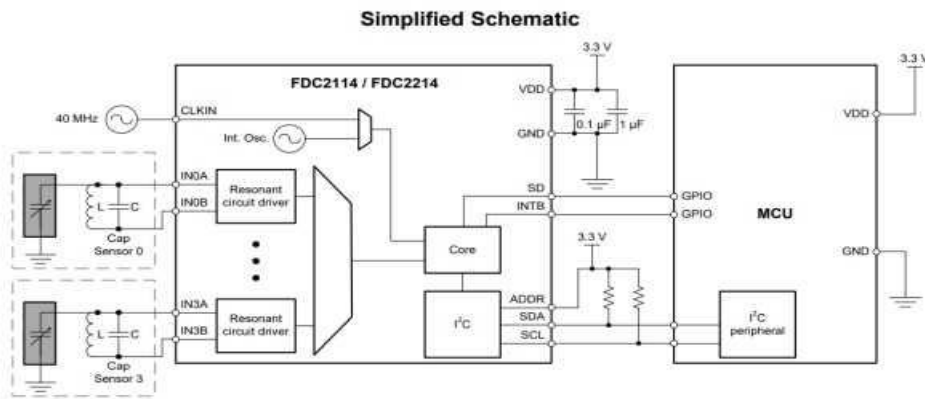


图 1 FDC2214 传感器基本原理图

FDC 由前端谐振电路驱动器组成，接着是通过有源通道序列的多路复用器，将它们连接到测量和数字化传感器频率（ f_{SENSOR} ）的核心。传感器电容 33pF、电感 18uH:

$$f_{\text{SENSOR}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

电容 C 包括线间电容、PCB 分布电容，电容增大时频降低。

该核心使用参考频率（ f_{REF} ）来测量传感器频率。 f_{REF} 来自内部参考时钟（振荡器）或外部提供的时钟。每个通道的数字化输出与 $f_{\text{SENSOR}}/f_{\text{REF}}$ 的比值成正比。FDC 内部计数，更新到 28 位寄存器中。

$$\frac{DATAx}{2^{28}} = \frac{f_{SENSOR}}{f_{REF}} = \frac{f_{SENSOR}}{f_{CLK}/2}$$

I2C 接口用于支持设备配置，并将数字化频率值发送到主机处理器。FDC 可以放置在关机模式，节省电流，使用 SD 引脚。可以将 ITNB 引脚配置为通知主机系统状态的变化。通过 IIC 读取寄存器的计数值在程序中推导出电容值。

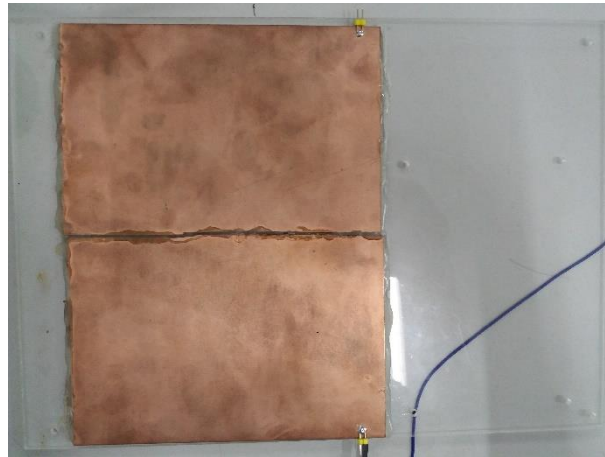
从而得到电容计算公式：

$$C = \frac{2^{28} * 10^3}{\pi * \sqrt{18} * f_{CLK} * DATA}$$

2.2 方案一：基本方案

2.2.1 总体思路

根据前面的理论论证可知，可以设计一对铜板，将两块铜板并列放置且分别接到 FDC 电容检测模块的一个通道的两个接口。这样即可测到两极板间的电容。当人手靠近时，改变了两极板间的电介质而造成电容的变化。又因为摆出不同的手势时面积不同，对电容的影响不同，所以可以通过设置阈值来实现手势识别的功能。



2.3.2 可行性分析

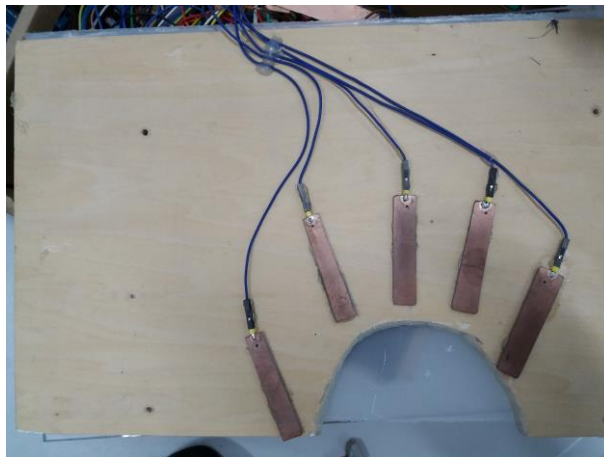
本方案实现较简单，可行性较强，但是由于多个手指的信息并没有分开获取，因此精度不好，易出现误判，因此不使用该方案。

2.3 方案二：精准的手势检测方案

2.3.1 总体思路

CD4051 模拟开关选通电容通路，分时测量电容值，8 选 1 地址译码电路的主要作用是把来自逻辑电平转换电路的地址输入信号转换成相应的开关单元选通信号，并把相应开关单元接通。这样只用 1 路 FCD 就能检测 6 路电容值，分别是手掌处的极板以及

5 个手指处的极板，这样测量出来的手型最准确。



2.3.2 可行性分析

本方案的优点是将问题转化为逻辑判断问题，只要检测 0/1 值即可，对电容检测精度要求不高。但是根据 FDC 工作原理中电容计算公式，（公式 1）检测的电容值为线间电容、PCB 分布电容、待测电容以及 CD4051 的电容。FDC 的震荡电路电流最大 1563 μA ，实际测量到 CD4051 的电阻值 100 欧姆左右，使震荡电路中增加了阻尼，FDC 负载工作测量值并不精确。

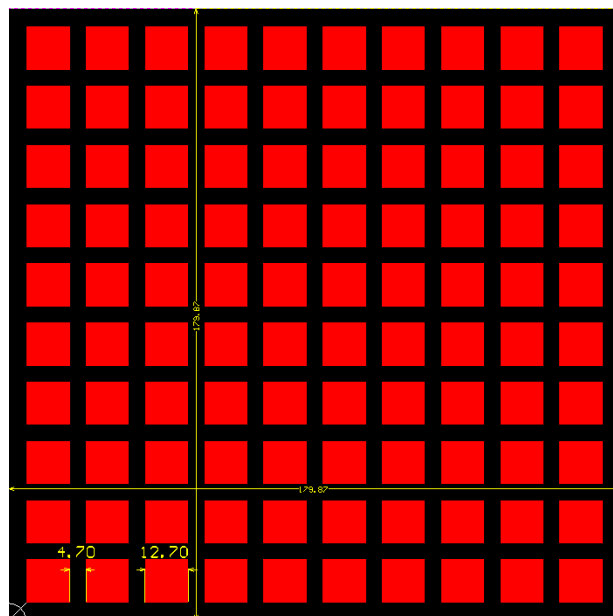
2.4 方案三：结合 CD4051 的电容屏式手势检测方案

2.4.1 总体思路

设计点阵式排布的小极板，使用控制器 I/O 口经过模拟开关 CD4051 选通逐行逐列对矩阵极板进行扫描，当手掌接触极板时所接触的极板采集得电容值，这样就可以获得一个二维的数据，经过标定后可以准确无误地分辨出猜拳手势“剪刀、石头、布”和划拳手势“一、二、三、四、五”

2.4.2 电容屏式极板 PCB 设计

经过查阅资料可知，当极板采用 12.7mm 方形极板且极板间距 4.7mm 时（忽略临近电容的影响）采集的精度最为准确。因此可设计 PCB 板如下图。



2.4.3 可行性分析

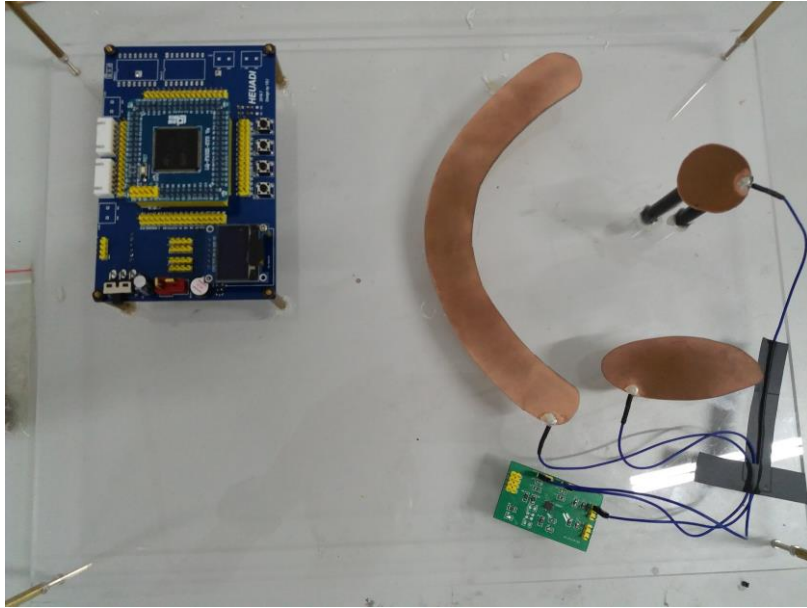
由于 FDC2214 电容传感器是由内部 RC 起振提供的基准频率会对 CD4051 集成芯片造成影响，而且经过与实际人手的比对，18cm*18cm 见方的电容屏式极板包含 100 个 12.7mm*12.7mm 的方形极板，为排除 PCB 走线对临近电容极板的影响采用焊接排针接插杜邦线的方式与控制器相连，然而此方法由于“连线”的方式使得系统不够稳定，故不采用该方案。

2.5 最终方案：高包容性手势检测方案

2.5.1 总体思路

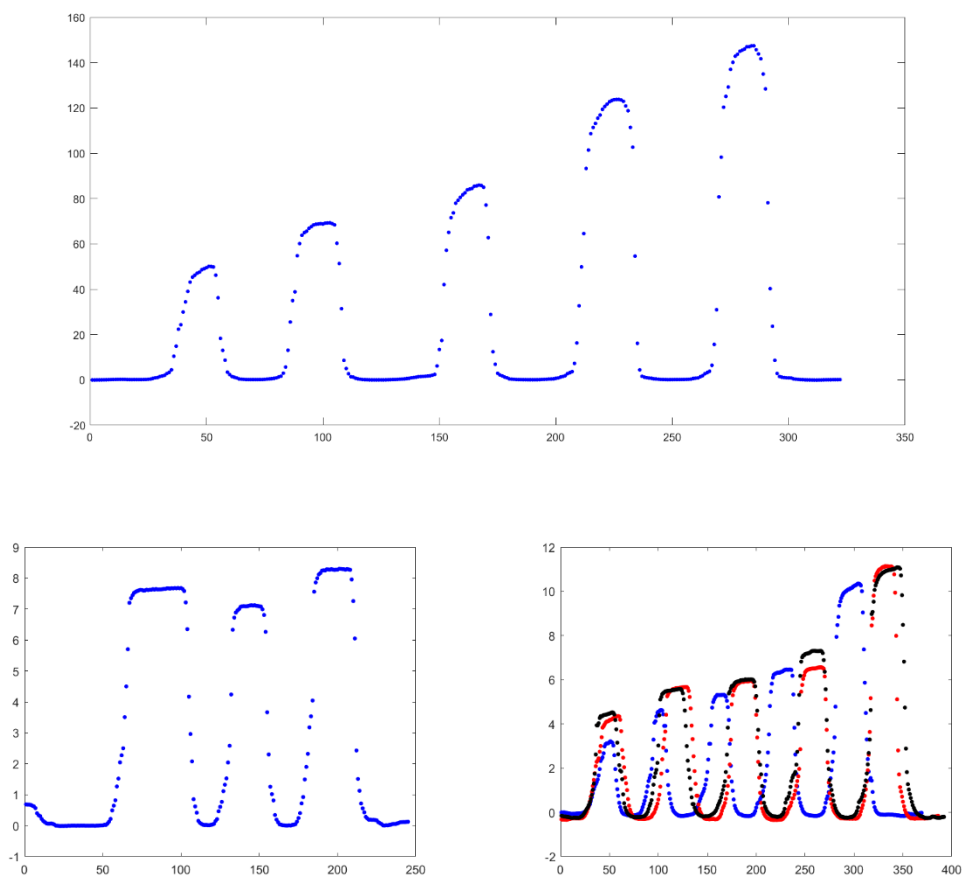
经过测试表明，方案一的精度不够高，训练阈值时容易出现阈值重叠的情况，从而导致手势识别失败。方案二的精度较好，但是会受到 CD4051 的误差影响。第三个方案思路具有创新性但是实现难度较大，而且同样会受到 CD4051 的误差影响。因此我们最终设计了方案四，在前几个方案的基础上对极板的结构进行改进，并且使用三个通道的信息，充分利用 FDC2214 芯片的资源。

经过测试表明，这一方案不仅对手指摆放的位置要求包容性较好，符合人体工程学的理念，而且相较其他方案在精度上有了很大的提升，因此最终选取这一方案为最终方案。



2.5.2 采集数据 & 具体方案

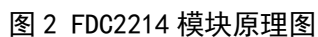
为了指定最终方案，我们首先采集了当人手分别摆出“1”“2”“3”“4”“5”的手势及石头剪刀布手势时靠近极板时的一系列数据，效果如下：



- (1) 当手势接近极板时电容值明显的变化, 因此可以自动判断人手的接近。
- (2) 摆出不同手势时电容值不同, 因此可以训练一组阈值, 通过测定采集到的电容值处于哪个阈值区间来识别放在极板上的手势。

3.1 电路设计

3.1.1 FDC2214 电容传感器电路设计



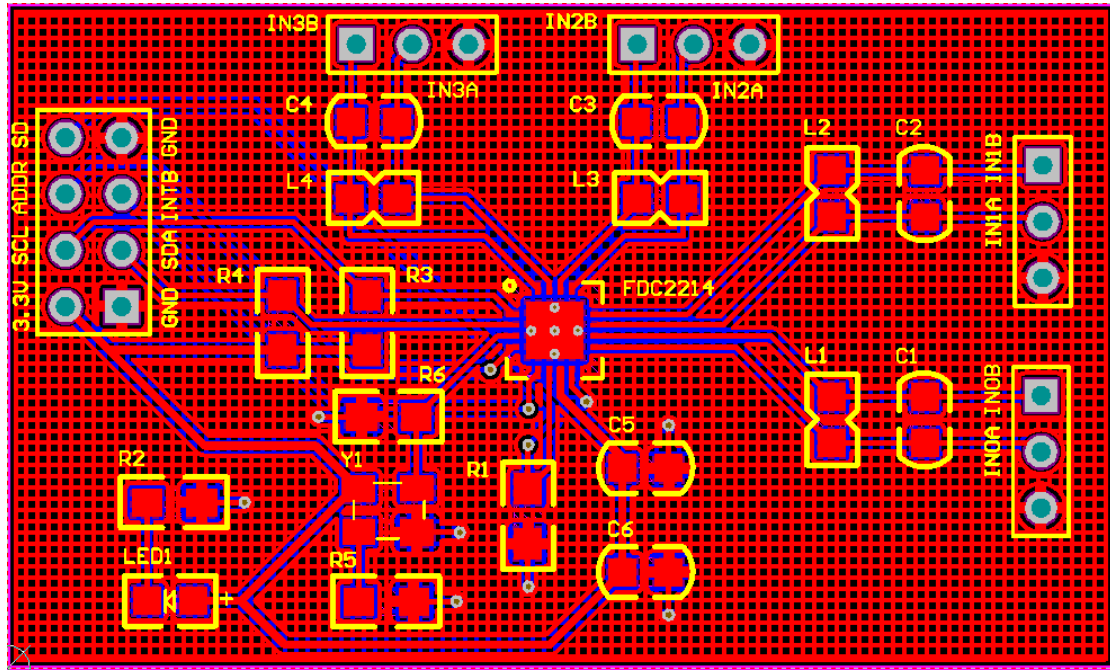
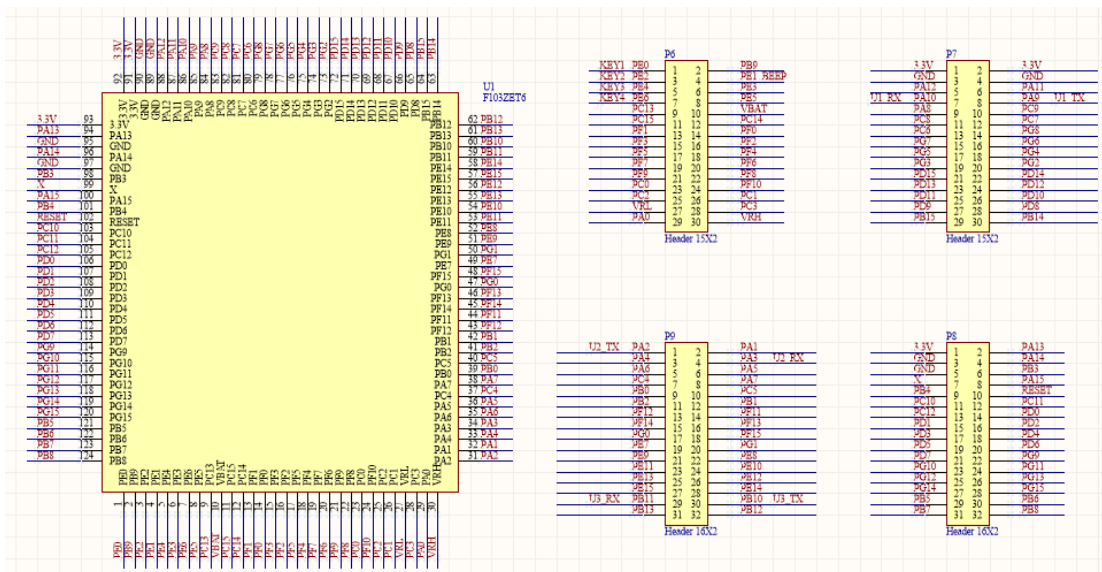


图 3 FDC2214 模块 PCB 电路

3.1.2 STM32 最小系统电路设计



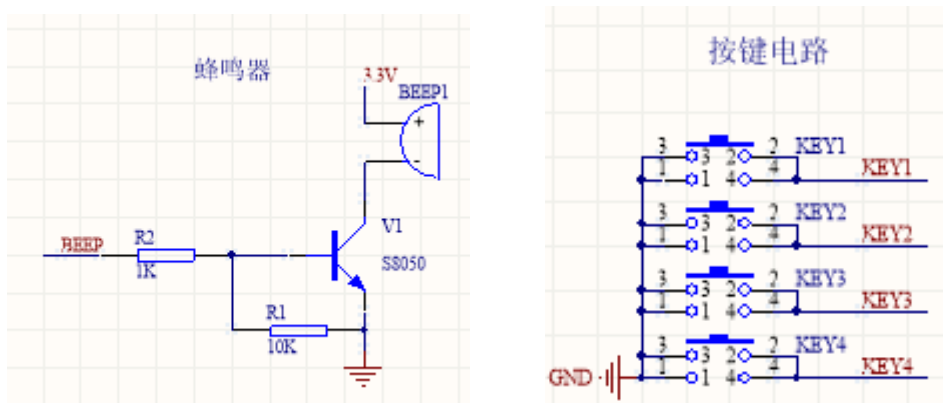


图 4 STM32 最小系统原理图

3.1.3 STM32 控制器电路 PCB 设计

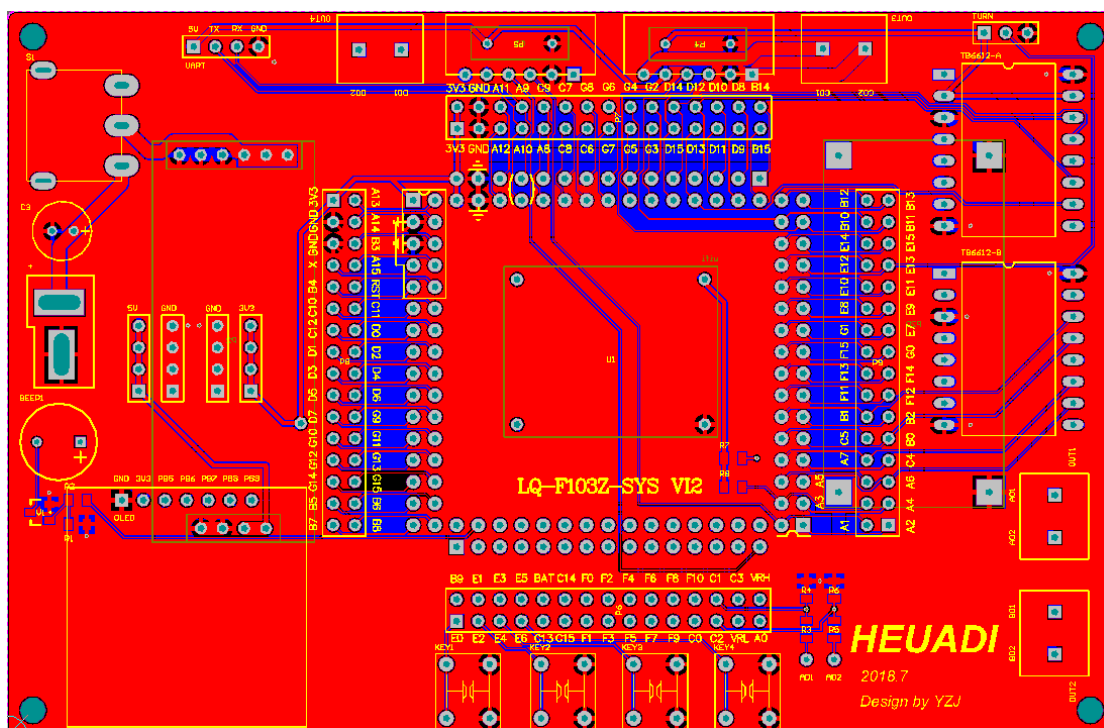


图 5 STM32 控制器电路 PCB 电路

3.1.4 电源模块

电源模块使用 LM2596 和 AMS1117，LM2596 模块将 12V 电源降压至 5V 从而提供 5V 电源，AMS1117 将 5V 电源降至 3.3V 给 STM32 控制电路以及 FDC2214 电容传感器电路供电。

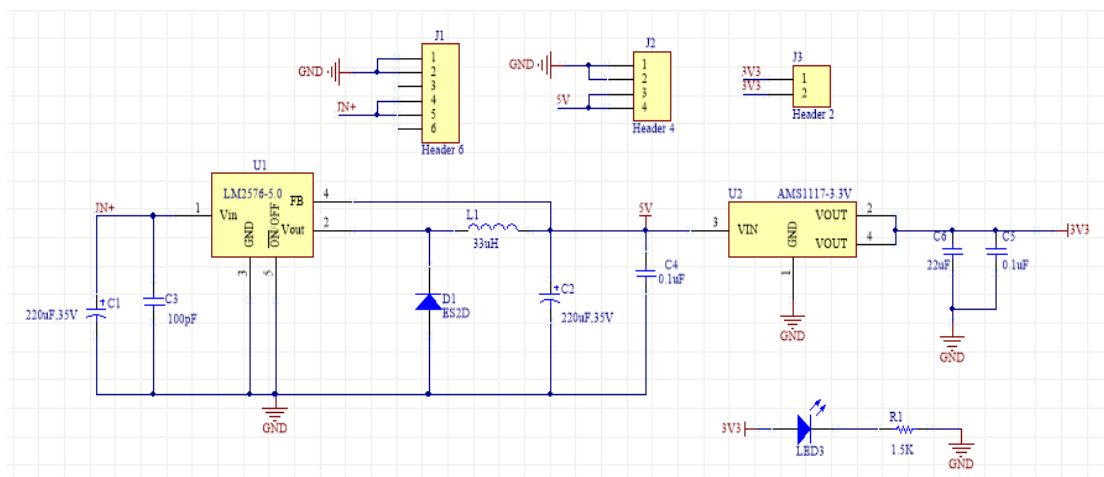


图 6 电源模块原理图

3.1.5 降压模块 PCB 设计

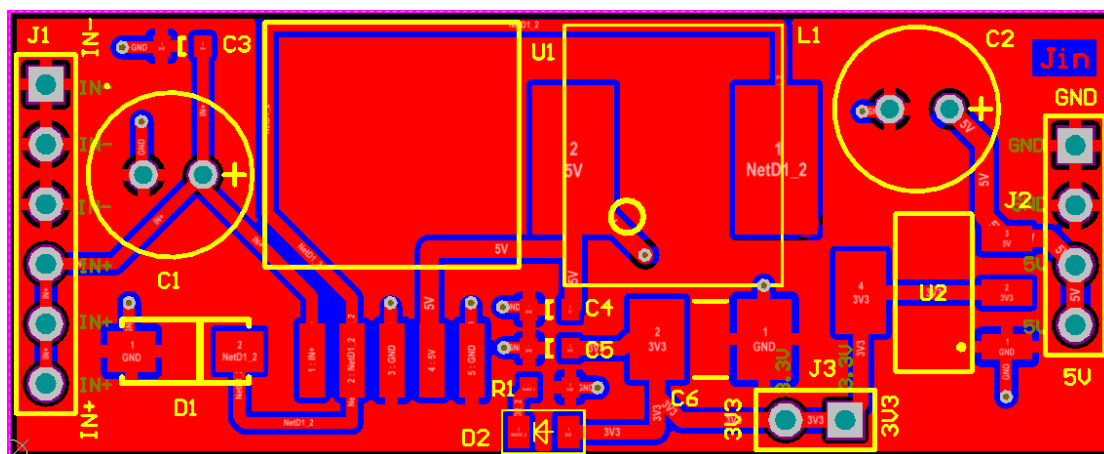
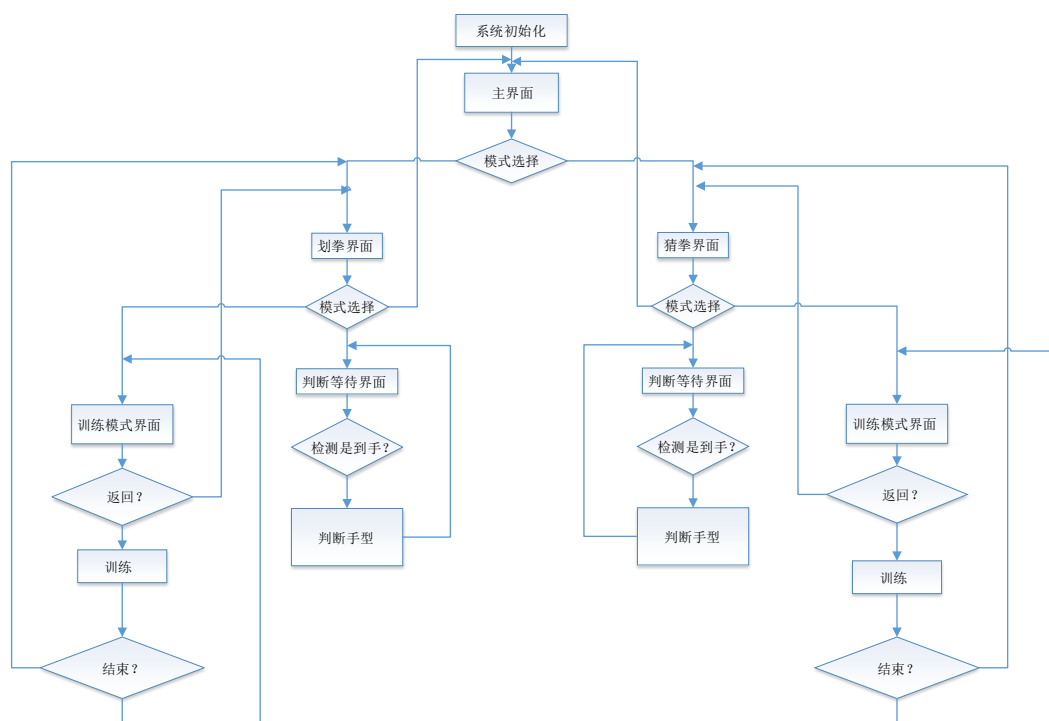


图 7 STM32 控制器电路 PCB 电路

3.2 程序设计

所有程序源码详见附录。下面介绍程序的主体框架和一些主要函数的功能等。

3.2.1 主体框架及流程图



3.2.2 硬件驱动程序

以下是工程用到的硬件驱动程序清单，其中包含了若干初始化函数。

fdc2214.c —— FDC2214 芯片驱动程序

oled.c —— OLED 屏幕驱动程序

timer.c —— 定时器 3 中断初始化程序以及中断服务函数

key.c —— 按键驱动程序

led.c —— LED 指示灯驱动程序

3.2.3 重要算法介绍

下面介绍一些设计的算法。

1、基于阈值划分的手势分类

通过划分电容阈值来进行手势识别，该内容已在 2.5 节进行了说明。

2、阈值训练算法

因为每个人对电容产生的影响不同，因此对于每个人均需要进行阈值的训练。训练的方法如下：

- a. 进入训练模式后，在极板上摆出一个手势，按下按键使能定时中断，每隔 40ms 采集一次数据，一共采集 25 组，放入数组 data[25]中；
- b. 对 25 个数据做中值滤波，剔除噪声的影响，得到一个中值 x；
- c. 手势不变，重复以上步骤三次，并取平均值作为该手势的特征电容值。
- d. 按照以上方法逐个采集剪刀、石头、布（或“1”至“5”）各个手势的特征电容值 S、R、P、ONE、TWO、THREE、FOUR、FIVE；
- e. 对取相邻特征电容值的中间值，作为训练的阈值。

3、人手接近检测

当进入判决模式时，为了实现自动判决我们需要判断人手是否已经稳定地放在极板上。具体方法如下：

按相应按键进入判决模式后，程序利用定时中断开始向长度为 5 的队列 queue[5]中读取 FDC 的实时数据，而主函数进入死循环。当满足以下两个条件时，可以打破循环：

- a. 数组的第一个元素大于阈值 5（确实有手接近）
- b. 数组的均方差大于 4（手已经稳定地贴在极板上）

随后，即可正式收集数据用于判决手势。

4、根据阈值进行手势判断

使用训练模式时相同的方法采集需判决的手势数据，将采集到的数据与先前训练好的阈值进行对比，根据所落在的区间来判决手势。

3.2.4 主要功能函数

（1）float get_fdc(void)

函数功能：从 fdc 芯片的三个通道分别读取 1 次数值，并求和

入口参数：无

返回值：三个通道的电容值之和

（2）float get_data(void)

函数功能：读值函数，在 1s 内从 fdc 读取 25 次数值，并做中值滤波

入口参数：无

返回值：电容值中值

（3）void get_threshRPS(float (*S)[3], float (*R)[3], float (*P)[3])

函数功能：猜拳游戏的求阈值函数

入口参数：3 个数组指针：(*S)[3], (*R)[3], (*P)[3]

返回值：无(但修改了全局变量 threshRPS)

备注：S--剪刀；R--石头；P--布

算法：求相邻均值的中值

(4) void get_threshFINGER(float (*ONE)[3], float (*TWO)[3], float (*THREE)[3], float (*FOUR)[3], float (*FIVE)[3])

函数功能：划拳游戏的求阈值函数

入口参数：5 个数组指针：(*ONE)[3], (*TWO)[3], (*THREE)[3], (*FOUR)[3], (*FIVE)[3]

返回值：无(但修改了全局变量 threshFINGER)

备注：ONE~FIVE--手势 1~手势 5

算法：求相邻均值的中值

(5) u8 judge_RPS(float RESULT, float (*threshRPS)[2])

函数功能：猜拳判决函数

入口参数：

返回值：JUDGE//判决结果：6--剪刀, 7--石头, 8--布

(6) u8 judge_FINGER(float RESULT, float (*threshFINGER)[4])

函数功能：划拳判决函数

入口参数：

返回值：JUDGE//判决结果：1~5--手势一~手势五

(7) float median_filter(float (*Array)[25], int Length)

函数功能：中值滤波，求一个数组的中值

入口参数：数组、数组的长度

返回值：该数组的中值

(8) int status_wait(void)

函数功能：自动模式下的检测，持续从 fdc 读值

入口参数：无

返回值：无

四、测试方案与测试结果

4.1 测试方案

按流程进行操作，先训练后判决，同时通过串口将训练数据和判决数据传到电脑上进行分析，查看是否满足要求。

4.2 测试仪器

- CH340USB 转串口线
- 示波器
- 实验装置

4.3 测试结果

（1）猜拳测试数据（单位：皮法）

阈值：50, 110

测试值：

次数 \ 手势	石头	剪刀	布
1	30	74	150
2	27	65	161
3	26	69	155

（2）划拳测试数据（单位：皮法）

阈值：53, 70, 90, 125

测试值：

次数 \ 手势	1	2	3	4	5
1	45	59	81	100	151
2	46	60	80	100	160
3	47	61	82	98	155

按流程进行操作，先训练后判决，同时通过串口将训练数据和判决数据传到电脑上进行分析，查看是否满足要求。根据以上数据可以得出结论，我们的系统可以完成各项要求，且阈值划分的效果较好，对噪声具有较好的容忍度。