

2018 年“TI”杯大学生电子设计竞赛

手势识别装置（D 题）

【本科组】

摘 要

基于 FDC2214 的电容传感器与传统的电容传感器相比有更大的量程和更好的抗噪声能力，可以在普遍环境中实现基于电容方式的人体和物体感测。用金属铜板作为敏感元件和 FDC2214 作为电容测量电路就可以构建一个手势识别装置。

手势识别装置包括数据采集、数据计算、模式切换和显示模块。数据采集通过电容传感器外接铜板将手势信息转换为电容变化并输入到主控芯片。为了便于控制、计算的实现和功能的扩展，数据计算部分采用 STM32F407 单片机，并使用了简化的支持向量机机器学习算法，训练和判定手势；不同模式、功能切换由矩阵键盘完成；显示模块通过 TFTLCD 屏幕和 LED 显示结果。

关键字： 手势识别 数据采集与分析 单片机 电容传感器

手势识别装置（D 题）

【本科组】

1 系统方案

本系统主要由 FDC2214 测量模块、TFTLCD 显示模块和单片机训练/识别/计算/控制模块组成，通过 FDC2214 和相连的铜板测量因手势变化引起的电容值的变化，将其通过 IIC 传入单片机处理。在训练模式下，对手势分别多次采样，求其均值，确定手势所代表的电容值的范围；在判决模式下，根据测得电容判断其手势，最终的结果通过 LCD 显示，模式的选择通过矩阵按键完成。

1.1 单片机模块的论证和选择

方案一：选择 STC89C52 作为主控芯片，STC52 速度太慢而且外围 I/O 口太少，比较难同时支持快速识别、矩阵键盘和 16 位彩色 LCD 显示的要求。

方案二：选择 MSP430G2553 作为主控芯片，这款芯片功耗很低，处理能力强、运算速度快，而且 fdc2214 专门的 EVM 模块就是用了 MSP430。可惜的是我们之前没有使用 MSP430 的经验，短期内无法熟练使用之。

方案三：选择 STM32F407 作为主控芯片，其为 32 位 MCU，144MHz 的主频，运算能力强，可以在短时间内完成采样、识别功能。可以使用 FSMC 接口，LCD 显示非常方便。最后经过讨论，决定采用此方案。

1.2 手势识别算法的论证和选择

方案一：均值不确定度法。在训练模式下，对同一手势的电容值进行多次采样，计算所得到的数据的均值和不确定度，将不确定度放大适当倍数可以得到该手势电容值合理区间。在判决模式下，若所测得的电容值落入了某手势的电容值合理区间即为识别。方案优点是可以自主调节不确定度放大倍数，倍数小时精确，但可重复性差。缺点是不同手势的合理电容值区间可能会重合，而且所有手势的电容区间可能没有覆盖所有可能出现的电容值。

方案二：一维支持向量机法。SVM 是一个主要适用于二分类的算法，可以扩展到多分类，不同手势的属性只有一个就是电容值，因此是一维。训练时对同一手势对应的电容值多次采样，根据相邻不同手势的对应的各个采样数据之间的距离来确定类别边界。简化版本可以直接求各手势电容值的均值，然后按均值来均分电容边界。此方法简单，覆盖所有可能出现的电容值且不重复，决定采用此方案。

1.3 测量模块的论证和选择

方案一：从 FDC2214 外接一块铜板，在铜板上方支撑一块亚克力板作为测试板。电容传感器引脚经过铜板、人手回到地 GND，相当于其接了一个可变电容器到 GND。当人手的手势发生变化，此可变电容器极板的面积变化，引起整个外接电容的变化。

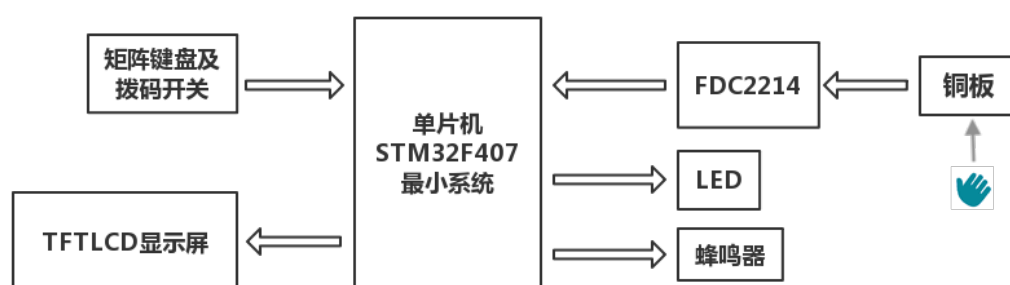
根据公式： $C = \epsilon A/d$ ，人的手势的变化最直观的反映为人手和铜板形成的电容器极板面积变化，在这种情况下灵敏度为 $S = \epsilon/d$ ，因此应当尽可能减小极板间距。电介质上半部分为有机玻璃 $\epsilon = 3.9$ ，下半部分为空气，在极板距离固定的情况下，可以看做两个电容器的串联，总电容公式如下：

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{\text{空气}} A}{5 \times 10^{-3}} \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{\text{亚克力}} A}{3 \times 10^{-3}}$$

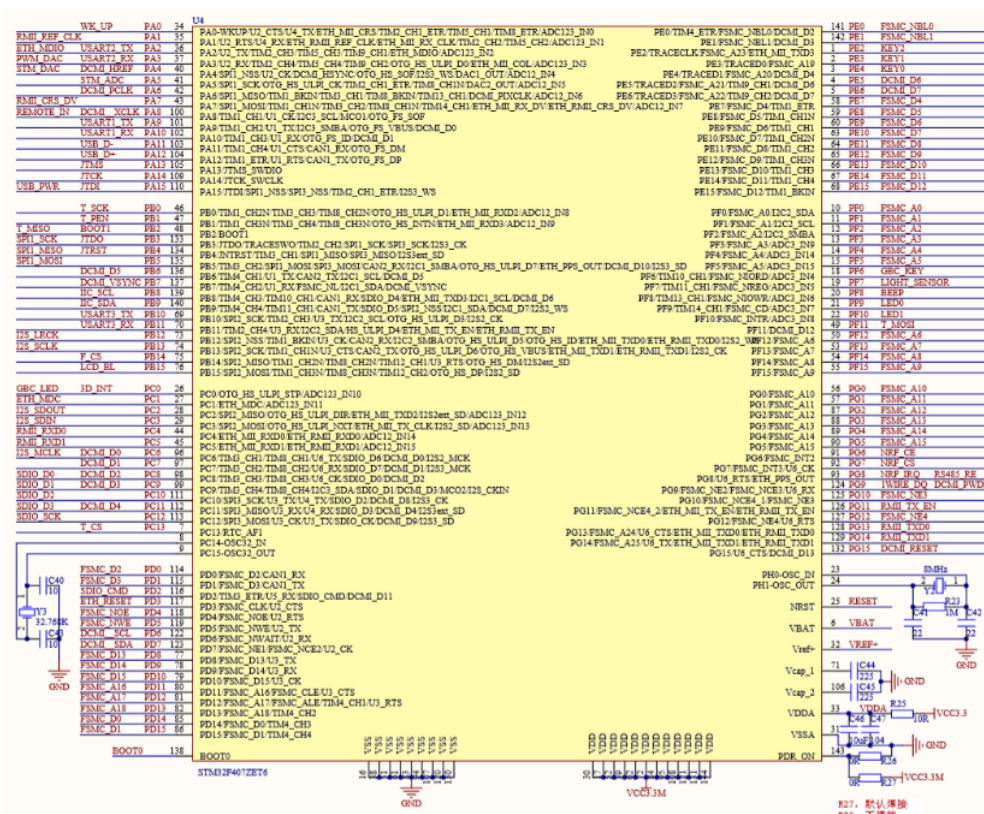
结果为 $C = 173\epsilon_0 A$ ，只和人手的面积变化相关，可以据此分辨不同的手势。实际情况和理论分析可能有一定差别，根据 TI 公司数据手册可知增大底部铜板的面积也可以增大灵敏度，但同时会引入更多的噪声，应当选取略大于手掌面积。方案二：在方案一外接一块铜板的基础上，在 FDC2214 的另一个通道连接一块环境干扰补偿铜板，可以补偿因为环境温度、湿度、无关人体等变化引起的干扰。此铜板的布置方式必须使得其被环境引起的电容变化和测量传感电容被环境引起的电容变化改变方向相同，且最好成比例。在尝试了多种布置方式之后（分四条长条形铜板围绕测量传感铜板或者使用一块和测量传感铜板大小相等的铜板放在其附近），均无理想效果。最终只采用了方案一。

2 电路与程序设计

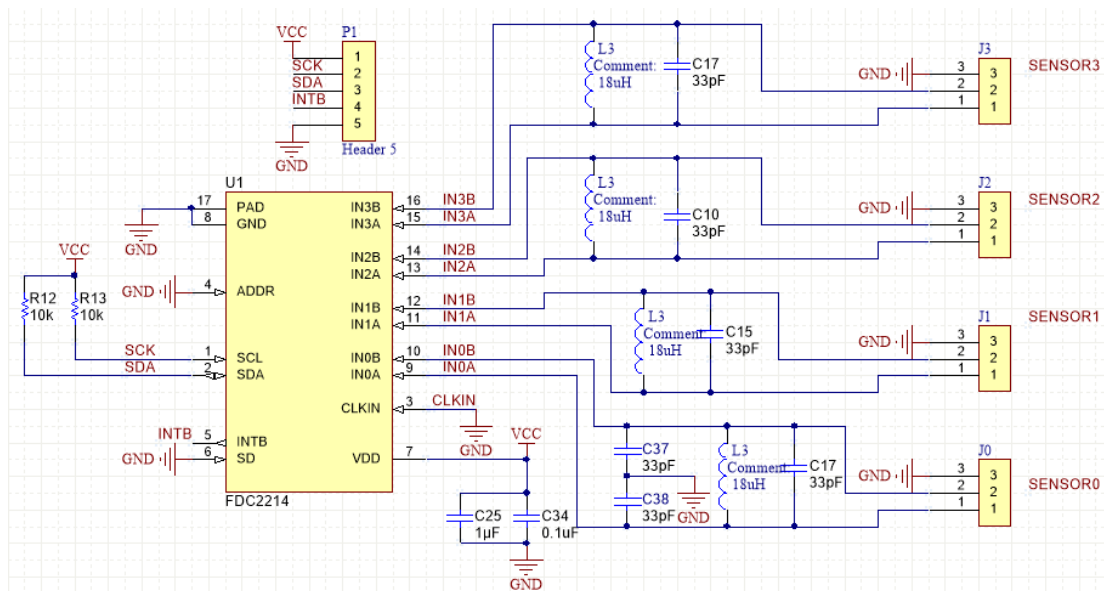
2.1 系统原理图



2.2 STM32F407 单片机最小系统原理图



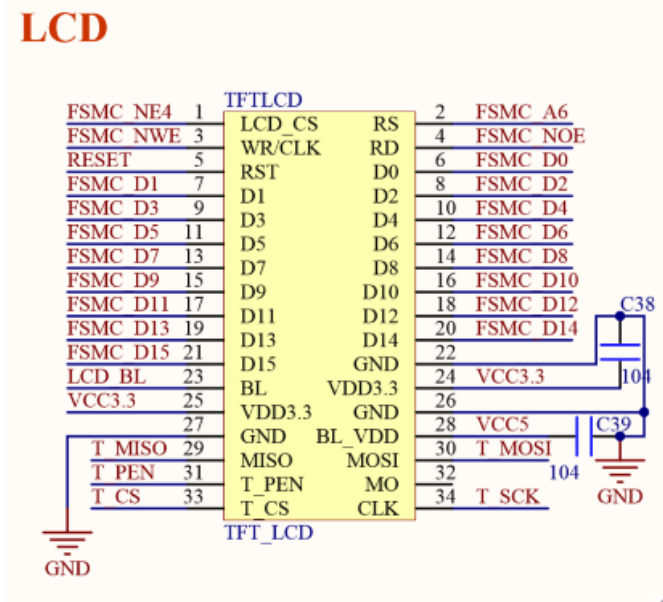
2.3 FDC2214 原理图



FDC2214 测量电容的原理基于 LC 振荡电路。电容传感端与 LC 电路相连接，将产生振荡频率，外接电容变化使得该振荡频率发生变化。而外接一个导体平面，

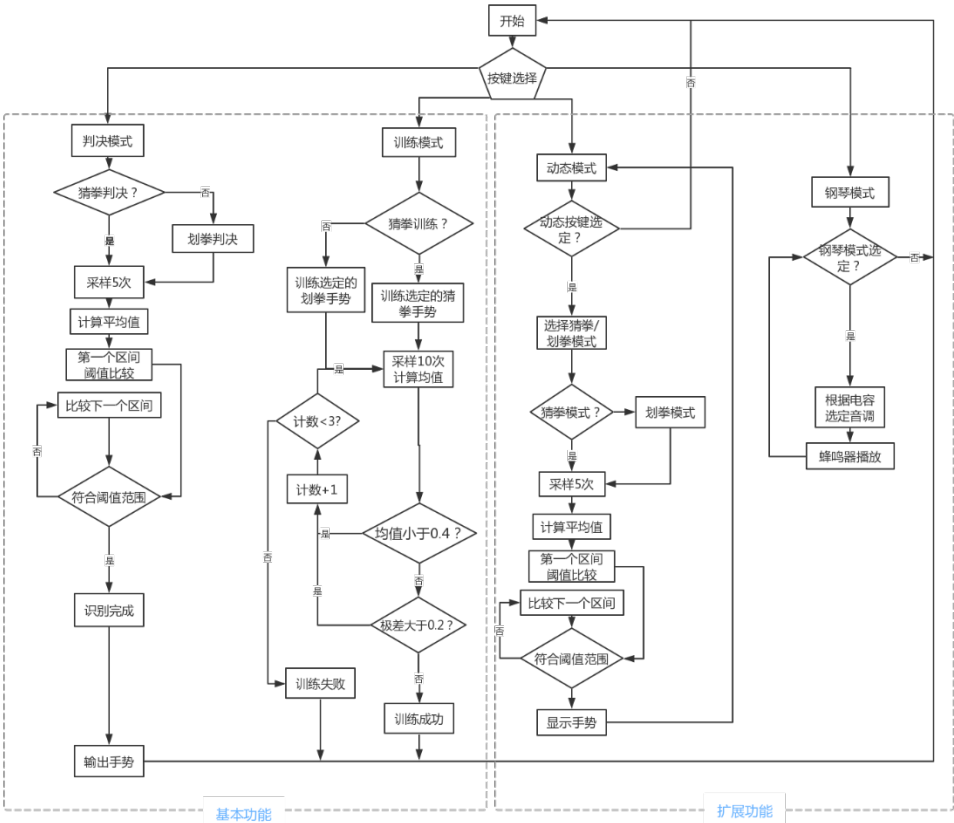
当人手接近时，传感端的电容值会发生变化。我们只使用了其通道 0，并在其上增加了两个 33uF 接地的滤波电容，可以起到抵抗干扰的作用。

2.4 TFTLCD 原理图



TFT-LCD 薄膜晶体管液晶显示器，在液晶显示屏的每一个像素上都设置有一个薄膜晶体管（TFT），可有效地克服非选通时的串扰，使显示液晶屏的静态特性与扫描线数无关，因此能大大提高图像质量。

2.5 系统软件流程图

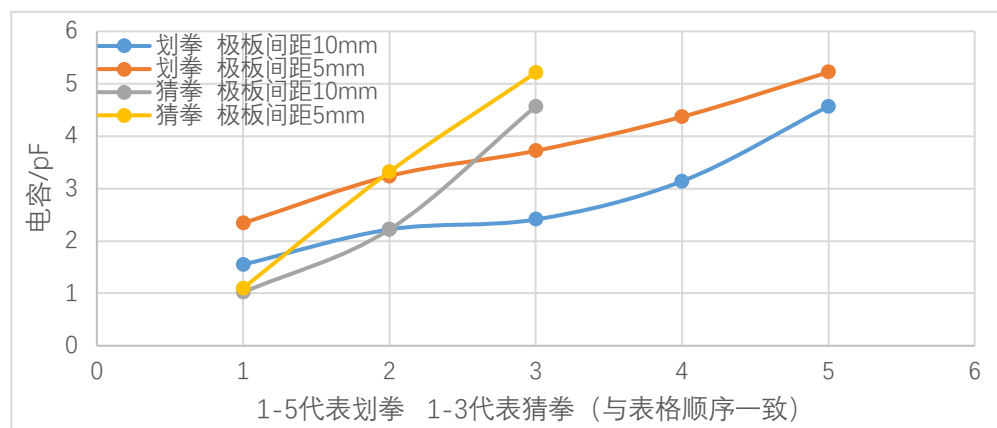


3 测试方案与测试结果

测试需要用到串口调试软件、LCD、VC890D 精密万用表。串口调试软件和 LCD 用于显示传感器所读到的电容值，万用表用于测量各引脚的电平变化。

测试开始，在板上划定测试区域，并且严格对照题目指标。表格中数值均为多次采样后所得电容均值，便于比较。每种手势的训练和判决时间为 0.5s。训练次数严格保证 3 次以内。

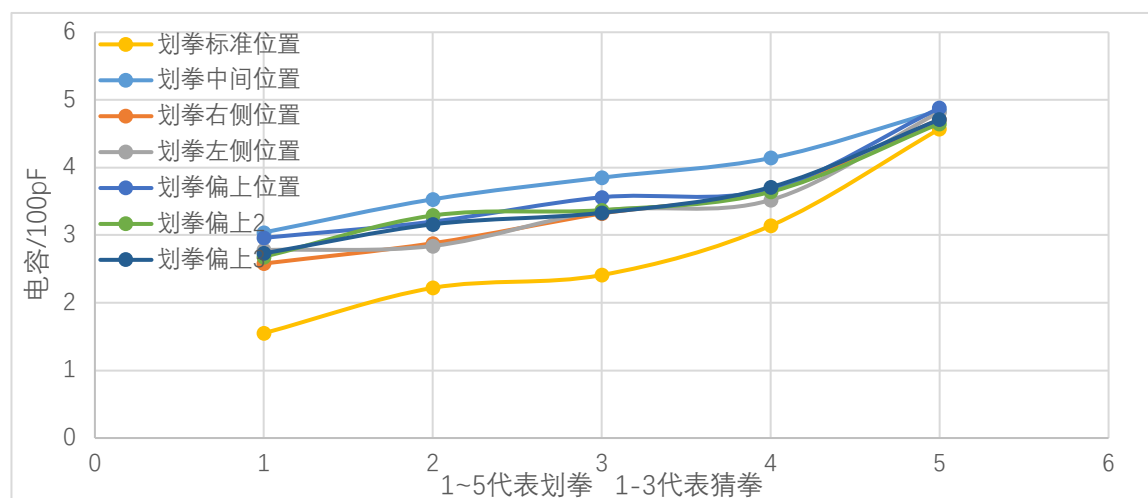
3.1 对极板的间距进行测试。分别测试极板间距为 5mm 和 10mm 的情况：



电容/pf	划拳1	划拳2	划拳3	划拳4	划拳5	ST (石头)	JD (剪刀)	B (布)
10mm间距	1.55	2.22	2.41	3.14	4.57	1.02	2.22	4.57
5mm间距	2.34	3.24	3.72	4.37	5.22	1.1	3.32	5.21

可以看出在极板间距为 5mm 时，传感器灵敏度更高，而且不同手势的电容区分度大，更适合进行来分类识别。

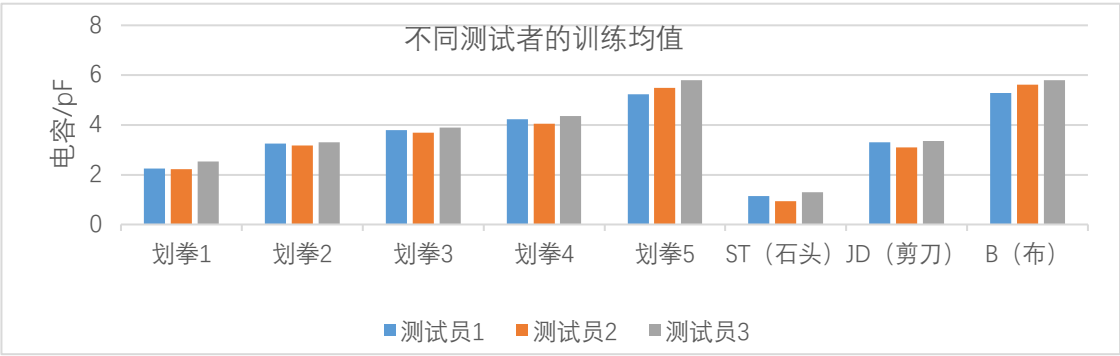
3.2 对手在传感板上的不同位置测试。测试的标准位置为最终划定的测试区域，已做好标记。



可见手放在标准位置时手势引起变化最明显，据此我们选定了指定识别区域。

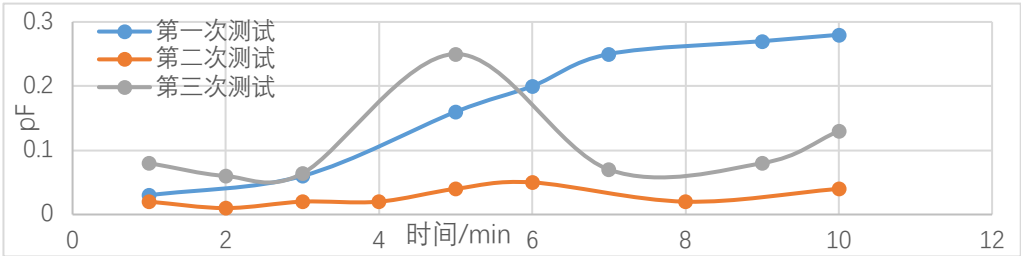
3.3 对不同测试者进行测试。选取三个测试者，在相同极板间距、相同指定区域（即上文标准位置）分别进行测试。每位测试员的第一组数据为直接判决值，第2，3组数据为训练值，最后一组为训练后的判决值。

电容/pF	划拳1	划拳2	划拳3	划拳4	划拳5	ST（石头）	JD（剪刀）	B（布）	误判个数
测试员1	2.34	3.24	3.72	4.37	5.22	1.1	3.32	5.21	0
	2.26	3.28	3.8	4.25	5.42	1.2	3.29	5.29	
	2.23	3.27	3.86	4.26	5.14	1.1	3.4	5.33	
	2.2	3.25	3.74	3.99	5.19	1.15	3.23	5.3	0
测试员2	2.25	3.17	3.58	3.95	5.09	1.15	3.08	5.35	0
	2.28	3.2	3.58	4.02	5.39	0.98	3.15	5.75	
	2.06	3.1	3.74	4.05	5.73	0.69	2.96	5.72	
	2.25	3.22	3.81	4.13	5.72	0.95	3.22	5.64	0
测试员3	2.39	3.32	3.88	4.34	5.73	1.4	3.47	5.94	0
	2.65	3.34	3.89	4.27	5.82	1.15	3.18	5.74	
	2.61	3.07	3.83	4.36	5.89	1.49	3.39	5.68	
	2.48	3.46	3.96	4.47	5.77	1.18	3.37	5.82	0
判决偏差1	-0.0575	-0.01	-0.04	-0.2275	-0.0525	0.0125	-0.08	0.0175	
判决偏差2	0.04	0.0475	0.1325	0.0925	0.2375	0.0075	0.1175	0.025	
判决偏差3	-0.0525	0.1625	0.07	0.11	-0.0325	-0.125	0.0175	0.025	



从数据和图像可以看出，不同的测试者相同手势的电容均值存在差异，但是随手势变化整体电容值的变化趋势相同。也可以看出划拳“2,3,4”的手势判断难度较大，对抗干扰要求更高。

3.4 环境噪声对判决模式影响的测试结果。



在系统复位之后，保持传感器附近人的位置不变，观察环境对系统的干扰。可以看到存在波动，但在最开始的3分钟内较小，所以训练和识别最好在3分钟内完成，否则过了这个时间段就需要重新复位。