

D 题:手势识别装置

摘 要：本设计采用 STM32F407 单片机作为主控单元。以半圆环型覆铜金属片作为感测板，通过使用四通道的 FDC2214 电容传感器检测手势信号，实现对猜拳游戏和划拳游戏的训练学习和准确判决。主控单元通过 IIC 接口循环读取 FDC2214 四个通道的转换值，并对读取到的四通道值通过比较和阈值检测判决当前的手势，并在 OLED 上实时显示手势标志。经过实验与调试，系统成功实现了题目所有的要求，且训练时间短，训练次数少，检测时间短。整个手势识别装置稳定性好、精度高、功耗低，具有较高的性能指标。

关键词：STM32F407，FDC2214，训练学习，手势识别

1 系统方案设计与论证

1.1 各模块器件选型

1.1.1 微控制器选择

方案一：使用 8 位的 STC89C52 单片机，操作简单，使用方便，但中断资源较少，时钟频率较低，处理速度较慢，无法满足实时性要求。

方案二：采用 32 位的 STM32F407 单片机作为控制芯片，芯片时钟频率高达 168MHz，具有极强的处理运算能力，且 I/O 口、定时器以及中断等资源十分丰富。

因题目中对手势训练学习时间以及判决时间有一定的要求，故选用方案二。

1.1.2 电容传感器选择

采用抗 EMI 的 28 位 4 通道电容数字转换器 FDC2214，每通道最高输出速率 4.08kSPS。以通用的 IIC 接口与主控连接，使用方便。电容传感是一种低功耗低成本且高分辨率的非接触式感测技术，可对噪声和干扰进行高度抑制。与传统开关电容相比，FDC2214 采用了 L-C 谐振电路，使用这种方法，改变电容可以观察到谐振频率的改变，且和谐振频率相关的输出数值与频率成正比。同时支持宽频率范围，为系统设计带来灵活性。

1.1.3 电容板选择

方案一：采用两块长方形覆铜板以差分方式接到 FDC2214 的一个通道，当测试者将手放在手形覆铜板上方，比划不同的手势时，传感器读出的数值会有较大变化，可以根据变化的数值大小分辨不同手势。

方案二：采用一块形状是 270° 的圆弧且在圆弧的圆心部分有一个小圆形的覆铜板，两者分别以单端使用方式连接两个通道，通过单通道的数值变化判决不同的手势。

方案一有无手势变化值较大，但存在手掌和手腕的影响，判决准确率偏低；但使用方案二可以消除手掌的影响，提高手势判决准确率，因此选用方案二。

1.2 整体设计方案

系统整体设计框图如图 1 所示，其中包括主控、人机交互、FDC2214 传感器模块以及由半圆环形覆铜板形成的感应区。由于不同手势与感应区覆铜板之间的正对面积不同，距离不同，因此形成的电容值不同，使用该项特性可以对不同手势（“猜拳”和“划拳”）加以区分。手势学习训练结束后，当测试者在感应区上方做出某个手势时，FDC2214 传感器将读取到特定数值，将其与训练值对比，从而判决当前手势。

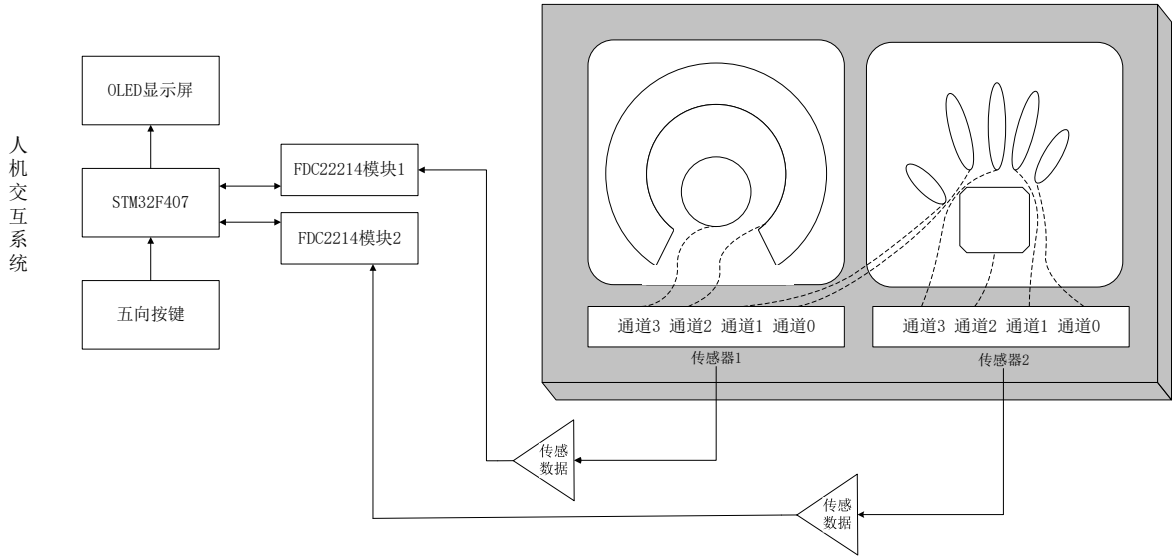


图 1 系统设计框图

1.3 系统算法与误差信号产生分析

1.3.1 系统算法

根据 FDC2214 的检测原理，IIC 读取到的数值 $DATA_x$ 为：

$$DATA_x = \frac{f_{SENSORx} \times 2^{28}}{f_{REFx}} \quad (1)$$

由上式推导出：

$$f_{SENSORx} = \frac{CH_x_FIN_SEL \times f_{REFx} \times DATA_x}{2^{28}} \quad (2)$$

其中 $f_{REFx} = \frac{f_{晶振}}{k}$ ，即外部 40M 有源晶振分频后的频率。

假设前后两次不同手势测量并计算出的谐振频率值分别为：

$$f_{SENSORx} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_{\Delta x})}} \quad (3)$$

$$f_{SENSORy} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_{\Delta y})}} \quad (4)$$

两次测量值平方相减得：

$$f_{SENSORx}^2 - f_{SENSORy}^2 = \frac{C_{\Delta y} - C_{\Delta x}}{4\pi^2 L(C + C_{\Delta x})(C + C_{\Delta y})} \quad (5)$$

由于 $C_{\Delta x}, C_{\Delta y} \ll C$ ，因此做以下近似：

$$f_{SENSORx}^2 - f_{SENSORy}^2 \approx \frac{C_{\Delta y} - C_{\Delta x}}{4\pi^2 LC^2} \quad (6)$$

$$f_{SENSORx}^2 - f_{SENSORy}^2 \approx \frac{1}{4\pi^2 LC^2} (C_{\Delta Y} - C_{\Delta X}) = K(C_{\Delta Y} - C_{\Delta X}) \quad (7)$$

因此，前后两次手势电容测量值相对变化量的差与两次频率的平方差近似为线性关系。假设无手势时通道读出的值为 C ，测试者比划三个手势，分别为手势 1，手势 2，手势 3（比如划拳中的“1”，“2”，“3”），每个手势学习三次，该通道读出的值分别为 C_{X1} ， C_{X2} ， C_{X3} ； C_{Y1} ， C_{Y2} ， C_{Y3} ； C_{Z1} ， C_{Z2} ， C_{Z3} ；分别计算三个手势的平均值，其中 $C_{Xave} < C_{Yave} < C_{Zave}$ 。

$$C_{Xave} = \frac{C_{X1} + C_{X2} + C_{X3}}{3} \quad C_{Yave} = \frac{C_{Y1} + C_{Y2} + C_{Y3}}{3} \quad C_{Zave} = \frac{C_{Z1} + C_{Z2} + C_{Z3}}{3} \quad (8)$$

当对三个手势进行判决时，通道读出的值为 C_{Test} ，当 $C_{REF} < C_{Test} < \frac{C_{Xave} + C_{Yave}}{2}$ 时判决为手势 1，当 $\frac{C_{Xave} + C_{Yave}}{2} < C_{Test} < \frac{C_{Yave} + C_{Zave}}{2}$ ，判断为手势 2，当 $\frac{C_{Yave} + C_{Zave}}{2} < C_{Test} < \frac{C_{Xave} + C_{4ave}}{2}$ （其中 C_{4ave} 为手势 4 的通道均值）时判断为手势 3，剩余手势以此类推。另外原始数据采集后均进行了限幅平滑滤波，减小干扰因素带来的影响。

1.3.2 误差信号产生分析及补偿

系统误差的产生主要来自环境中温度、湿度以及光照变化。同时每次放置手势时的位置不同，手与上方测试板紧贴的程度不同也造成很大的误差从而产生误判。为了减小误差影响，一方面使用带 SMA 头的屏蔽信号线代替普通导线传输谐振信号，并对采集到的原始数据进行限幅平滑滤波。同时制定测试规则，加入学习训练算法减小手势位置带来的影响。

2 电路与程序设计

2.1 电路设计

系统的总体电路见附录 1 所示。

2.1.1 电容传感器电路设计

电容传感器电路如附录 1-1 所示，电路主要由四通道 FDC2214 电容传感器芯片，外部 40M 有源晶振电路，抗 EMI 电磁干扰电路组成。其中 FDC2214 芯片通过 IIC 接口与 STM32 单片机通信实现 FDC2214 寄存器配置以及 STM32 数据读取。FDC2214 的四个通道分别接到对应的感应板（SENSOR0-SENSOR3）。为了防止感应板与 FDC2214 芯片的引线过长产生 EMI，电路中设计了抗电磁干扰电路，提高了系统稳定性。

2.1.2 OLED 显示电路设计

本系统使用 OLED（有机发光二极管）显示训练模式，判决模式，电容采样值以及手

势判断结果图。OLED 显示技术具有自发光，广视角，极高对比度，低耗电，高反应速度的特点。其采用 IIC 接口与 STM32 单片机连接，接口电路如附录 1-2 所示。

2.1.3 电源电路设计

本系统使用开关电源 12V 档位供电，后经 TPS54340 降压 DC/DC 转换器输出 5V，5V 通过 LM1085 低压差线性稳压芯片产生 3.3V 电压供主控单元以及 FDC2214 等使用。TPS54340 输入范围 4.5-42V，支持最大 3.5A 持续电流，且效率高，稳压电路如附录 1-3，1-4 所示。

2.1.4 最小系统电路设计

STM32 最小系统由 3.3V 电源、8M 外部晶振、复位电路外加主控芯片构成。芯片所有 3.3V 引脚处均对地放置了 0.1uF 的去耦电容提高了板子的稳定性。最小系统图如附录 1-5 所示。

2.2 系统软件设计

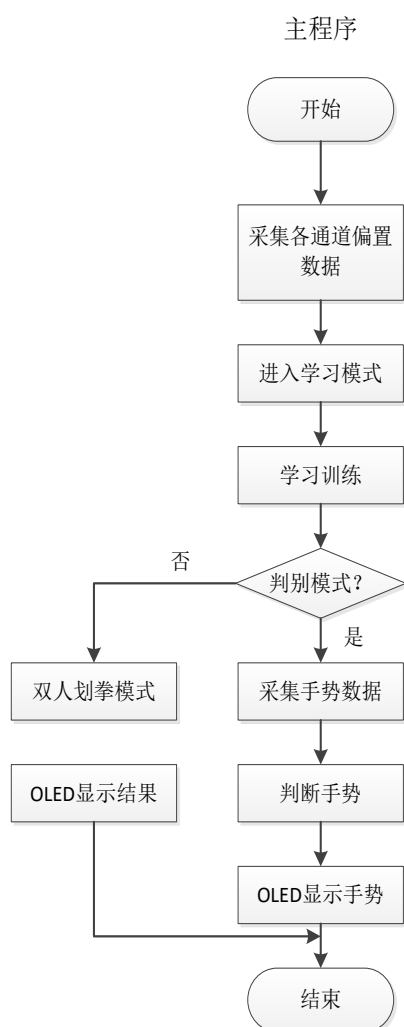


图 2. 系统程序主框图

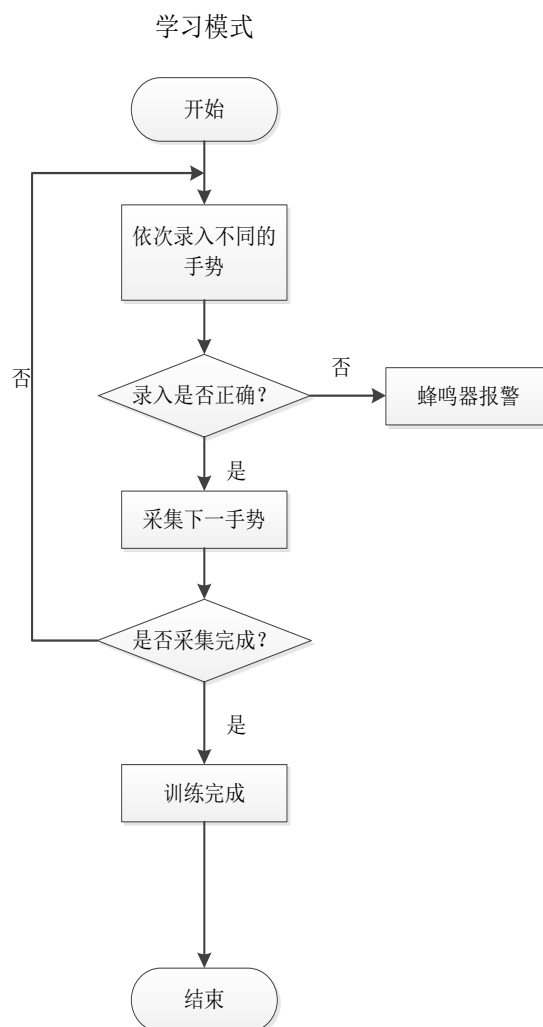


图 3. 学习训练子程序框图

系统程序框图如图 2、图 3 所示，分别为系统主程序与学习子程序。在系统初始化后，首先采集每个通道无手势时的原始值作为基础偏置，之后通过按键选择学习模式，学习训练完成后，判断是否进入判别模式。进入判别模式后，当感应板上方出现手势时则根据学习模式自动设置的阈值判断手势，在 OLED 显示屏上将显示判决的手势图片。

其中在学习训练模式下，首先依次将每个手势放置在金属感应板的上方，记录下当前 FDC2214 每个通道的值，程序中根据阈值自动判断当前录入的手势是否符合要求，若不符合要求则蜂鸣器提醒重新录入该手势，录入成功后，继续学习下一个手势。当手势学习完毕后即进入判决模式。

3 测试与结果分析

3.1 测试工具

① 实物模型；② 精度 0.1cm 的卷尺；③ 精度 0.1s 秒表；④ 万用表。

3.2 测试数据与结果分析

要求（1）：参赛学生猜拳判决测试。

测试方案：由参赛学生指定人员进行猜拳判决，分别进行三次测试。

表 1 参赛人员猜拳判决结果

| 手势 判决 | 石头 | 剪刀 | 布 | 是否正确 | 判决时间 |
|----------|----|----|---|------|------|
| 1 | 石头 | 剪刀 | 布 | 是 | < 1s |
| 2 | 石头 | 剪刀 | 布 | 是 | < 1s |
| 3 | 石头 | 剪刀 | 布 | 是 | < 1s |

结论：通过测试，本装置可以准确无误识别参赛学生的猜拳手势。

要求（2）：参赛学生划拳判决测试。

测试方案：由参赛学生指定人员进行划拳判决，分别进行三次测试。

表 2 参赛人员划拳判决结果

| 手势 判决 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是否正确 | 判决时间 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 第 1 次 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是 | < 1s |
| 第 2 次 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是 | < 1s |
| 第 3 次 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是 | < 1s |

结论：通过测试，本装置可以准确无误识别参赛学生的划拳手势。

要求（3）：老师随意指定测试人员划拳判决测试。

测试方案：由测试老师随意指定人员进行划拳判决，分别进行三次测试。

表 3 老师随意指定人员划拳判决结果

| 手势 判决 | 石头 | 剪刀 | 布 | 训练次数 | 训练时间(s) | 是否正确 | 判决时间 |
|----------|----|----|---|------|---------|------|------|
| 1 | 石头 | 剪刀 | 布 | 1 | 5 | 是 | < 1s |
| 2 | 石头 | 剪刀 | 布 | 1 | 5 | 是 | < 1s |
| 3 | 石头 | 剪刀 | 布 | 1 | 5 | 是 | < 1s |

结论：通过测试，本装置可以准确无误识别老师随意指定人员的划拳手势。

要求（4）：老师随意指定测试人员猜拳判决测试。

测试方案：由测试老师随意指定人员进行猜拳判决，分别进行三次测试。

表 4 老师随意指定人员猜拳判决结果

| 手势 判决 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是否正确 | 判决时间 | 训练 次数 | 训练时 间(s) |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|----------|-------------|
| 第 1 次 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是 | < 1s | 1 | 10.4 |
| 第 2 次 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是 | < 1s | 1 | 11.2 |
| 第 3 次 | “1” | “2” | “3” | “4” | “5” | 是 | < 1s | 1 | 10.8 |

结论：通过测试，本装置可以准确无误识别老师随意指定人员的猜拳手势。

4 小结

通过系统设计与测试，本装置成功实现了手势识别功能，可以对参赛学生以及老师随意指定的学生进行准确的猜拳和划拳手势识别，只需训练一次，训练时间较短，判决时间在一秒以内，完全符合题目要求。在要求（4）中，由于测试人员为老师随意指定学生，手势训练以及判决时两次手摆放的位置以及与感应板的接触面积均不同，且实际测试中数字“2”和“3”的手势差异性较小，容易产生误判。但本系统通过使用屏蔽信号线、滤波算法以及创新的方案大大减小了误判的可能性。在比赛中，我们遇到了很多困难，但是最终我们解决了所有问题，并成功完成了系统所有要求。

参考文献

- [1] 严蔚敏，吴伟民. 数据结构(C语言版). 北京：清华大学出版社. 2012
- [2] 闫石，数字电子技术基础（第五版）. 北京：高等教育出版社. 2011
- [3] 吴岸城，深度学习与神经网络（第一版）. 北京：电子工业出版社. 2016
- [4] 张德丰，MATLAB 控制系统设计与仿真. 北京：电子工业出版社. 2009

系统总电路图

