
2019 年 “TI” 杯辽宁省大学生电子设计竞赛

纸张计数显示装置（F 题）

【本科组】



2019 年 8 月 10 日

摘 要

纸张计数显示仪是一件可以被广泛应用在日常生活和工厂作业中,为使用者提供准确的数据并节约时间,目前已有通过光电扫描计数纸张的专利。

本项目设计一件新式的纸张计数器。通过 FDC2214 电容模块检测极板间电容,极板间纸张数量不同,电容不一样,用此原理检测纸张数量。为了便于控制的实现和功能的扩展,在硬件上采用了 MSP430f5529 单片机作为核心控制器,设计了控制电路、检测电路,键盘电路、显示电路。算法上采用最小二乘法拟合输入输出数据,利用惯性滤波处理电容数据。同时系统具有自校准功能,增强设备的适应性。

实验结果表明:37 页之内未取整时拟合误差在 ± 0.15 张数以内,四舍五入取整后,误差全部为 0,满足测量要求。

关键字: 纸张计数 MSP430f5529 FDC2214 最小二乘法拟合

纸张计数显示装置 (F 题)

【本科组】

一、任务

设计并制作纸张计数显示装置,其组成如图 1 所示。两块平行极板(极板 A、极板 B)分别通过导线 a 和导线 b 连接到测量显示电路,装置可测量并显示置于极板 A 与极板 B 之间的纸张数量。

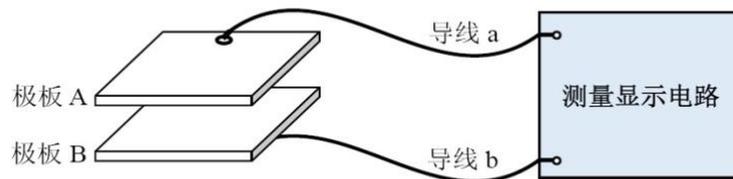


图 1 纸张计数显示装置组成

二、要求

1. 基本要求

(1) 极板 A 和极板 B 上的金属电极部分均为边长 $50\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的正方形, 导线 a 和导线 b 长度均为 $500\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。测量显示电路应具有“自校准”功能, 即正式测试前, 对置于两极板间不同张数的纸张进行测量, 以获取测量校准信息。

(2) 测量显示电路可自检并报告极板 A 和极板 B 电极之间是否短路。

(3) 测量置于两极板之间 1~10 张不等的给定纸张数。每次在极板间放入被测纸张并固定后, 一键启动测量, 显示被测纸张数并发出一声蜂鸣。每次测量从按下同一测量启动键到发出蜂鸣的时间不得超过 5 秒钟, 在此期间对测量装置不得有任何人工干预。

2. 发挥部分

(1) 极板、导线均不变, 测量置于两极板之间 15~30 张不等的给定纸张数。对测

量启动键、显示蜂鸣、测量时间、不得人工干预等有关要求同“基本要求(3)”。

(2) 极板、导线均不变，测量置于两极板之间 30 张以上的给定纸张数。对测量启动键、显示蜂鸣、测量时间、不得人工干预等有关要求同“基本要求(3)”。

(3) 其他。

三、说明

(1) 被测纸张一律为 70g 规格的 A4 复印纸，极板 A、B 电极接触被测纸张的具体位置不限。测试时使用测试现场提供的同规格纸张。

(2) 极板 A、B 可用金属板材制作，也可用双面覆铜板（简称双面板）制作。双面板的一面加工出边长 $50\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的正方形覆铜电极板，另一面允许有用于焊接导线 a、b 的过孔焊盘与引线、不允许有覆铜面网。禁止用多层板制作极板。

(3) 极板 A、B 与导线 a、b（信号线）必须为二线制平行极板结构，每块极板的电极只能连接一根信号线；导线 a、b 的线缆类型与排布方式不限。极板、导线不符合上述要求的不予测试。

(4) 参赛者自行设计极板与纸张之间的结构，使两极板能压紧或夹紧被测纸张，该结构不得增加电极板面积；极板 A、B 与导线 a、b 部分不得安装或连接元器件、其他传感器或量器，否则不予测试。

(5) “自校准”应在测试前的作品恢复准备阶段完成，开始测试后不得再进行“自校准”操作。(6) 每次开始测量只能按同一个启动键（只能按一次），完成测量时发出蜂鸣音并显示锁定的被测纸张数，无法锁定显示纸张数的不得分。

目录

一. 系统方案与研究方法.....	- 10 -
1.1 系统方案.....	- 10 -
1.1.1 单片机模块的论证与选择.....	- 10 -
1.1.2 电容测量模块的论证与选择.....	- 10 -
1.1.3 数据拟合模块的论证与选择.....	- 2 -
1.2 研究方法.....	- 2 -
1.2.1 创新方法的系统应用.....	- 2 -
二. 电路与程序设计.....	- 3 -
2.1 系统总体框图.....	- 3 -
2.1.1 系统总体框图.....	- 3 -
2.2 电路原理图.....	- 3 -
2.2.1 单片机及外围电路电路原理图.....	- 3 -
2.3 程序的设计.....	- 4 -
2.3.1 程序功能描述与设计思路.....	- 4 -
2.3.2 程序流程图.....	- 5 -
三. 测试方案与数据拟合.....	- 6 -
3.1 测试方案.....	- 6 -
3.1.1 测试方案.....	- 6 -
3.1.2 测试条件与仪器.....	- 6 -
3.2 数据拟合.....	- 6 -
3.2.1 最小二乘法拟合原理.....	- 6 -
3.2.2 拟合过程与结果分析.....	- 6 -

纸张计数显示装置（F 题）

【本科组】

一. 系统方案与研究方法

1.1 系统方案

本系统由单片机模块、FDC2214 电容测量模块、数据拟合模块、OLED 显示模块、纸底座模块组成。下面分别论证几个主要模块的选择。

1.1.1 单片机模块的论证与选择

方案一：选择 STC89C52 作为主控芯片，STC89C52 周期比较慢，使系统反应比较慢，且引脚较少，可实现功能较少。

方案二：选择 MSP430G2553 作为主控芯片，这款单片机的虽然周期是比 STC89C52 快，但是该单片机模块学习资料相比 MSP430f5529 更少。

方案三：选择 TI 公司的 MSP430F5529 作为主控芯片，这块芯片不但总线频率能超频到 25MHZ，反应速度快，有 80 个引脚，完全可以满足所需系统控制的要求，并且有较为丰富的学习资料。

综合以上三种方案，选择方案三。

1.1.2 电容测量模块的论证与选择

方案一：使用 NE555 振荡器。NE555 振荡器抗干扰性和精度相对较差，未达到竞赛所要求。

方案二：使用 FDC2214 模块。FDC2214 模块主要用于测量微小电容，且具有精度高，抗干扰性强的特点。

综合以上两种方案，选择方案二。

1.1.3 数据拟合模块的论证与选择

方案一：基于最小二乘法的多项式拟合

采用多项式作为模型，拟合输入输出数据，用最小二乘法辨识多项式参数，即评价指标（误差平方和）对待辨识参数（多项式系数）导数等于 0，使得评价指标最小。最小二乘法辨识速度快，结果稳定。

方案二：基于遗传算法的神经网络拟合

采用神经网络拟合输入输出数据，遗传算法搜索神经网络参数。基于遗传算法的神经网络通用性能力强，但在训练速度慢，结果可能不稳定。

综合以上方案，并且从输入输出曲线形态上看，像多项式，最终选择方案一拟合数据。

1.2 研究方法

本次竞赛中，我们秉持事实求是的原则，践行假设—实验验证—误差分析—提出结论的科学研究范式，并且系统地应用了头脑风暴法、希望点列举法、奥斯本检核表法、TRIZ 等创新方法。

1.2.1 创新方法的系统应用

我们反复利用头脑风暴法开展讨论，通过集体思考的方式，明确了创意方案和设想，汇集各位组员的意见形成初始方案，并筛选改进形成了现在的设计方案和思路。

在测试阶段，为了尽可能保持测试环境的一致性，我们应用奥斯本检核法列举出所有影响测量精度的因素例如：极板受力大小，纸的受潮程度等等，尽可能保持这些因素在测试时与实际检测时相同。

在系统方案设计中，我们应用 TRIZ 分离原理中的整体与部分分离原理，将技术系统中的矛盾双方在不同系统的级别分离开来，以获得问题的解决或降低解决问题的难度。最终以此作为参考，结合自身实际情况选择了系统最佳方案和模块最佳方案。

二. 电路与程序设计

2.1 系统总体框图

2.1.1 系统总体框图

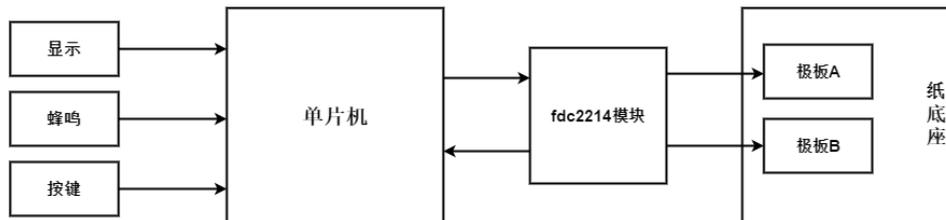


图 1 系统总体框图

单片机是使用 TI 公司生产的 MSPSP430F5529 芯片，以液晶 OLED 作为显示，以蜂鸣器作为提示装置，以独立按键作为输入。

2.2 电路原理图

2.2.1 单片机及外围电路电路原理图

单片机及其外围电路，主要包括了 MSP430F5529 最小系统板、蜂鸣器模块、LM31 线性降压稳压模块、供电模块、按键模块以及液晶显示模块等。

供电模块：为了给 FDC2214 模块提供稳定电压，我们制作了供电模块将开关电源的 5V 通过相互并联接线端子引出，采取 LM31 线性降压稳压模块将开关电源的 5V 降压，电压稳定在 3.3V 再输入进 FDC2214。并直接用 5V 开关电源给单片机模块供电。

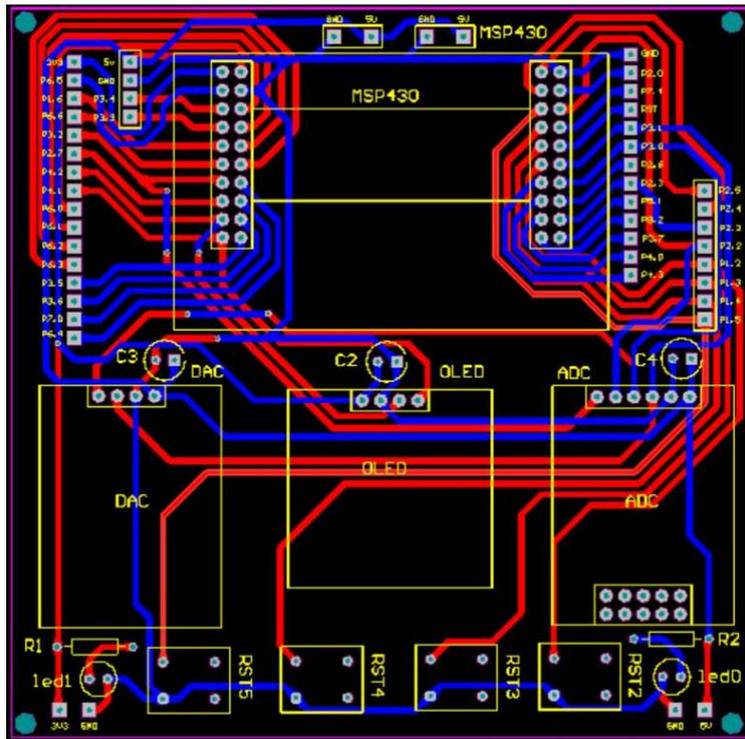


图 2 单片机及外围电路的 PCB

2.3 程序的设计

2.3.1 程序功能描述与设计思路

1、程序功能描述

FDC2214 电容测量模块测量极板之间的电容值；

自校准功能，对置于两极板间不同张数的纸张进行测量，据此调整拟合函数，使其满足当前测试的环境；

数据转换模块将 FDC2214 测量所得的电容值转化成极板之间的纸张数；

OLED 模块显示测量的纸张数或者显示电路短路，测量失败。

2、程序设计思路

首先初始化 I/O、蜂鸣器、OLED、按键、时钟。在测纸仪中放置设定数量的纸张后，按下独立按键 1，进行自校准模式，调整拟合函数的参数使其满足当前测试的环境。在测试仪中放置若干纸张后，按下独立按键 2，进行自动测试模式，若测试正确，显示待测纸张数量。若测试错误，显示电路短路。

2.3.2 程序流程图

程序流程图如下：

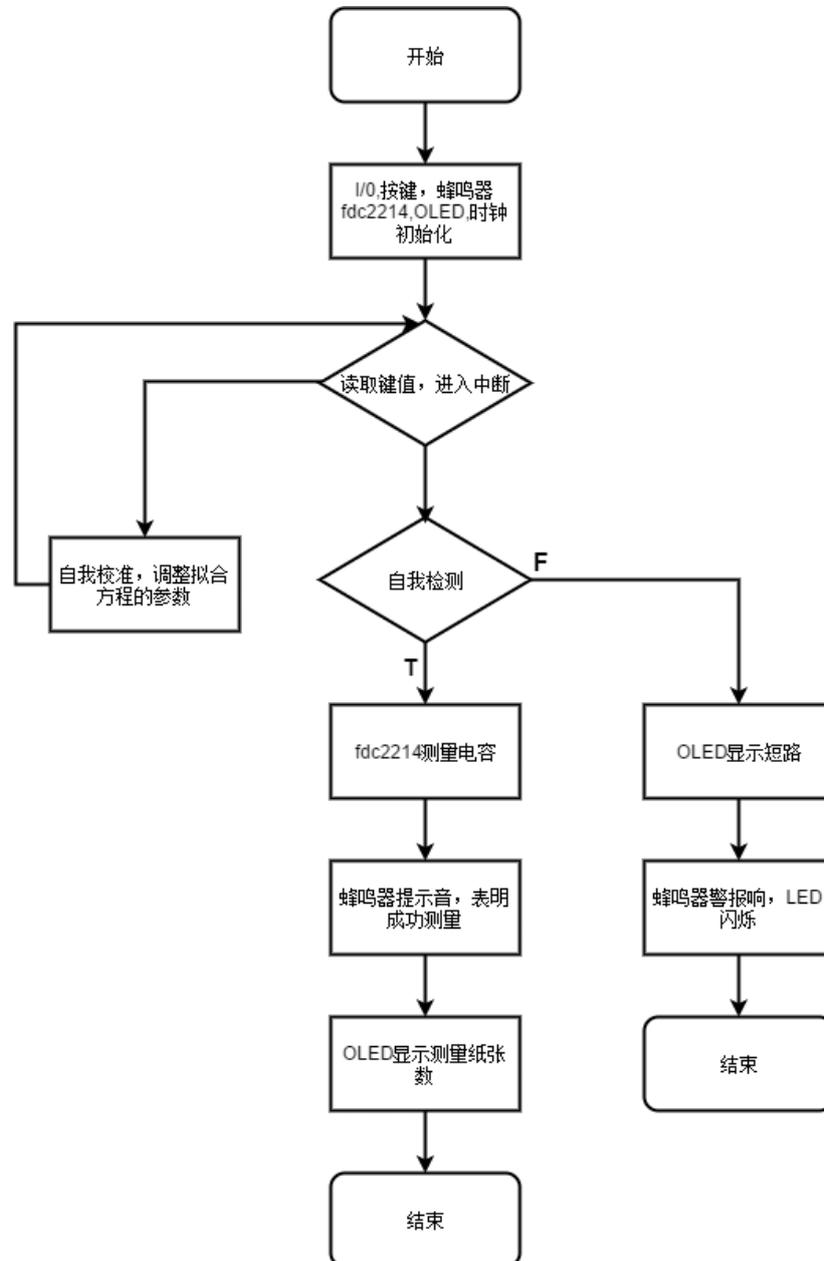


图 3 主程序流程图

三. 测试方案与数据拟合

3.1 测试方案

3.1.1 测试方案

1、模块测试

首先将 fdc2214 模块与单片机相连，测试 fdc2214 电容传感器的精确度，用以验证方案的可行性；同时测试稳压模块等其它模块的可用性。

2、平台搭建综合测试

搭建测试平台，确保所有模块均可正常工作，每个环节准确无误。通过测量众多组数据，利用 MATLAB 拟合输入数据与输出数据之间关系。

3、优化测试

通过得到的拟合方程，建立电容值与纸张数之间关系。使得平台可自动测试纸张数量，并通过大量的实验验证算法的可行性，结果表明当纸张数量在 37 页范围内测量准确无误。

3.1.2 测试条件与仪器

5V 直流电源

70gA4 纸若干

3.2 数据拟合

3.2.1 最小二乘法拟合原理

拟合模型采用 4 次多项式，即：

$$y = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E \quad (1)$$

其中 x -电容值 y -拟合纸张数

评价指标 J 是误差平方和最小：

$$J = \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2 \quad (2)$$

其中 N 为最大纸张数, y_i 第 i 组实际纸张数, \tilde{y}_i 第 i 组拟合纸张数
 确定参数 A 、 B 、 C 、 D 、 E 。由极值原理知, 欲使 J 为最小, 评价指标 J 对待辨识参数求导等于 0, 即:

$$\frac{dJ}{dA} = \frac{dJ}{dB} = \frac{dJ}{dC} = \frac{dJ}{dD} = \frac{dJ}{dE} = 0 \quad (3)$$

由(1)(2)(3)式可知:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N X_i^8 & \sum_{i=1}^N X_i^7 & \sum_{i=1}^N X_i^6 & \sum_{i=1}^N X_i^5 & \sum_{i=1}^N X_i^4 \\ \sum_{i=1}^N X_i^7 & \sum_{i=1}^N X_i^6 & \sum_{i=1}^N X_i^5 & \sum_{i=1}^N X_i^4 & \sum_{i=1}^N X_i^3 \\ \sum_{i=1}^N X_i^6 & \sum_{i=1}^N X_i^5 & \sum_{i=1}^N X_i^4 & \sum_{i=1}^N X_i^3 & \sum_{i=1}^N X_i^2 \\ \sum_{i=1}^N X_i^5 & \sum_{i=1}^N X_i^4 & \sum_{i=1}^N X_i^3 & \sum_{i=1}^N X_i^2 & \sum_{i=1}^N X_i^1 \\ \sum_{i=1}^N X_i^4 & \sum_{i=1}^N X_i^3 & \sum_{i=1}^N X_i^2 & \sum_{i=1}^N X_i^1 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N X_i^4 Y_i \\ \sum_{i=1}^N X_i^3 Y_i \\ \sum_{i=1}^N X_i^2 Y_i \\ \sum_{i=1}^N X_i^1 Y_i \\ \sum_{i=1}^N Y_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

3.2.2 拟合过程与结果分析

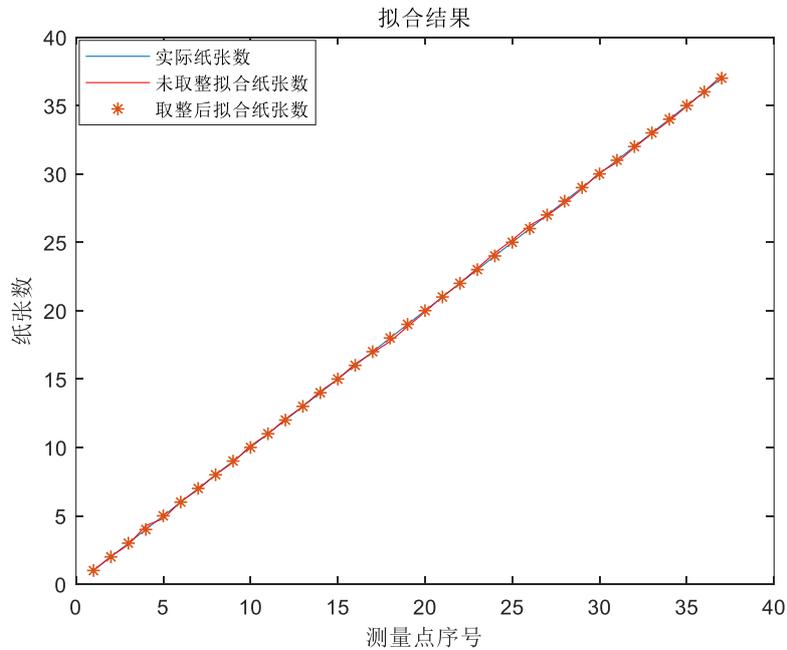


图 4 最小二乘法拟合曲线图 1

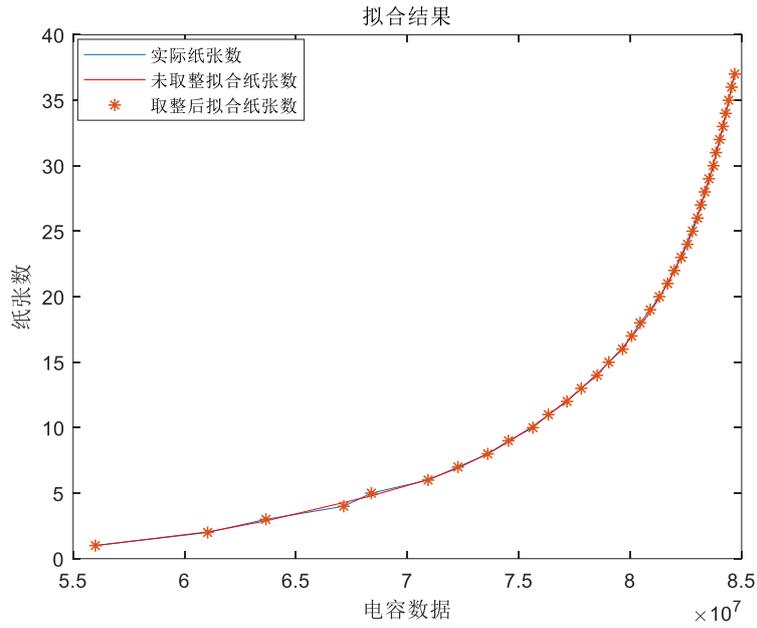


图5 最小二乘法拟合曲线图2

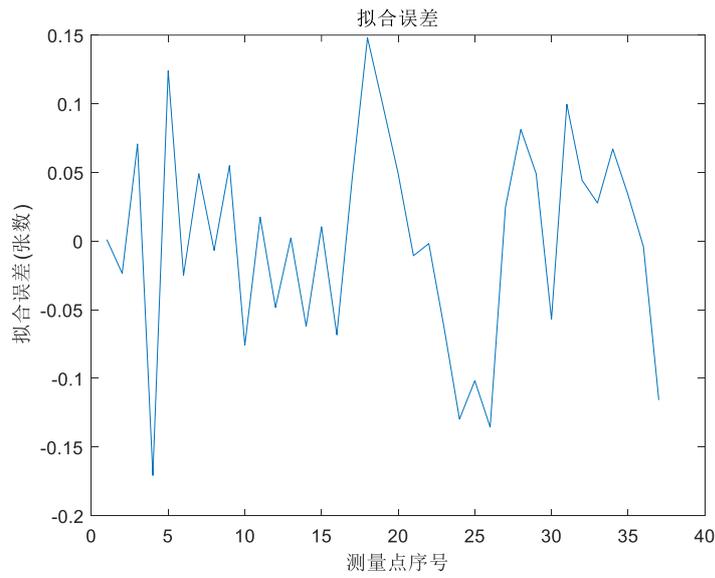


图6 拟合误差

图4、5 分别用测量点序号、电容采集数据作为横坐标绘制的拟合曲线图，相对来说图4 比较直观。由图4、5、6 可知，37 张范围内，未取整时拟合误差在 ± 0.15 张数以内，四舍五入取整后，误差完全为0，满足测量要求。