

华中科技大学电子与信息工程系
2012 年 TI 杯电子设计大赛项目总结报告

项目名称: 基于 C5409 DSP 的笔迹识别系统

团队成员: 通信 0901 班 李涛 (组长)

 通信 0901 班 郭强

 通信 0901 班 贺睿

指导教师: 汪小燕

 2012 年 7 月 日

课题名称：笔迹识别系统设计

【摘要】

本次比赛以华中科技大学DSP实验箱、TMS320C5409 DSP系统板和触摸显示两用屏为基础，首先记录正确的笔迹信息，再通过用户界面读取用户输入的笔迹和存储的笔迹信息进行比对后输出判断结果以鉴别用户的身份。

用户输入的笔迹实际上是一组顺序的坐标点信息。各个坐标点由触摸屏输入，经串口进入DSP，同时在显示屏上的对应坐标处显示出来。笔迹输入完成后，经过一定的数据处理，再通过显示屏输出相关结果或提示信息。整个流程使用实验箱上的按键控制，并具有简单的用户界面。具体而言，我们采用直接绘制界面的方式通过液晶屏控制器显示提示信息，通过CPU不断查询触摸屏的状态信息读入连续的笔迹信息向量，通过DSP处理器使用密度分布算法解析该向量，得出其与标准笔迹向量的相似度，将该相似度与阈值比对，若误差在容忍范围内，则判定为正确并输出相关信息。

在实际测试后，发现对于较简单的签名，该系统的笔迹识别正确度能够达到70%-80%，而在笔迹较复杂时，该系统的笔迹识别准确度也高于50%。

【关键词】： DSP 处理器 嵌入式系统 信号分析 笔迹识别 身份鉴定

Abstract

This project is based on the Digital Signal Processor experiment suit designed by Huazhong Univ. of Sci. & Tec., TMS320C5409 DSP System board and touch-screen LCD. Firstly, the correct chirography characteristics information is acquired and saved. Then, the user inputs handwriting through a UI to compare with the one which has been saved. At last, the processor outputs the compared result according to the special software arithmetic, thus completing the progress of user identification.

In fact, the chirography inputted by the user is consisted of a series of continuous coordinate. The information of each dot is collected by the touch screen, then sent into the DSP, and displayed at the same place on the LCD. The input data will be processed by methods related to the situation when the user finish inputting, then the results or hints will be shown on the LCD. All the progresses are controlled by keys in the experiment suit, and a brief UI is served to guide the user effectively. Specifically, we display the guidance information by painting the interface directly, acquire the continuous handwriting information vectors by inquiring the status information returned from the touch-screen, analysis the vectors with the DSP processor according to the density distribution feature arithmetic. Consequently, we can calculate the similarity between the vector and the standard vector. After comparing the similarity with the threshold, we draw the conclusion by judging whether the error is between the allowed ranges.

After running several tests, we find that the correct ratio of the system may reach a maximum of 70 to 80 percent when the input is relatively easy. At the same time, the rate is higher than 50 percent when the input is complex.

Key words: DSP; Embedded System; Signal Analysis; Handwriting Identification; Writer Identification

目录

2012 年 TI 杯电子设计大赛项目总结报告	1
1 概述	6
2 设计目标	6
2.1 基本功能	6
2.2 拓展功能	6
3 团队组成与任务分工	7
4 总体设计方案与应用场景	7
4.1. 总体设计方案	7
4.2. 应用场景	8
4.3. 主要元器件	8
5 软硬件设计与实现	9
5.1. 笔迹读取模块	9
5.2 显示模块	11
5.3. 中心算法	19
6 系统测试与结果	22
6.1 主要仪器仪表	22
6.2 调试电路的方法和技巧	22
6.3 调试故障、产生原因及排除方法	23
6.4 系统测试及结果分析	24

6.5 误差定性分析	24
7 结语.....	26
8 致谢.....	27
9 参考文献	27
10 附录	28

1 概述

笔迹就是书写者利用书写工具在书面上留下的痕迹，是书写动作的特点反映，反映一个人书写习惯的特殊性。笔迹识别作为一种方便的身份鉴定方法，在邮政书信分检、银行等行业票据处理、文献检索等许多领域都有重要的科研价值和巨大实用价值。笔迹鉴定的做法由来已久，但是大多数的实际实现都是通过肉眼去判断，目前通过计算机实现的笔迹鉴定很少见。同时，大部分笔迹鉴定都是针对写在纸质文档上的文字签名信息而言的，使得笔迹识别在数字时代的应用逐渐减少。鉴于笔迹识别符合人的使用习惯，我们决定利用触摸屏代替纸页采集笔迹信息，使用 C5409 DSP 代替人脑分析笔迹的相似度，使用显示屏代替人表达信息的方式输出鉴定结果。这样，就实现了一个与传统方法相似但能够重复使用的笔迹识别系统。

该总结的大体流程是从设计目标与团队分工着手，先总体阐释系统的整体逻辑模块组成，再分为硬件设计与软件设计两方面分别概述电路组成与驱动程序以及核心算法思想。然后再结合实际讨论系统的测试方法、出现的问题以及解决方法，并分析系统的结果。最后，对系统设计作一简要总结。

2 设计目标

2.1 基本功能

- 能够侦测到用户在触摸屏上的输入，输入区域大小为 12.7*8.9cm。
- 能够根据当前输入在显示屏上的对应位置输出笔迹图形。一次书写中能够保持所有的点迹。
- 具有简单的 UI 与菜单选项，能够辅助用户完成一次笔迹识别的流程，对于不正确的操作不出现错误。
- 能够根据存储器中存储的笔迹向量信息判断当前输入是否为同一用户输入，并通过显示屏输入鉴定完成后的结果，也就是笔迹锁功能的实现。
- 经由实验箱上的键盘与用户交互。

2.2 拓展功能

- 利用相应的纹理或笔劲信息识别特定用户的笔迹，提取用户的笔迹特征并记录下来，在用户输入任意字迹的时候能够辨认其身份并显示提示。
- 能记录用户的笔迹信息，在与 PC 通信时能够将笔迹信息传递给主机程序并显示出来。
- 能够通过触摸屏而非按键键盘进行相关命令的输入。
- 能够根据输出结果采取相应的措施，如运行一段子程序、在某些端口输出高低电平、

控制某个灯的闪烁等。

3 团队组成与任务分工

本小组由组长李涛，组员郭强与贺睿组成。根据汪小燕老师的指导，本小组采取发挥并行，特长优先的策略。在整体方向上，李涛负责项目的宏观规划，郭强提出并执行硬件方案与计划，贺睿处理各种杂项，并辅助解决软件方面的一些问题。细化来看，从比赛开始以来，各组员所完成的任务分工如下：

- ◇ 李涛：提出项目的目标，制订项目的时间表，分派各人应当执行的任务。购买任务相关器件，联系老师，完成焊接。提出主程序流程并辅助编写主程序，了解触摸屏原理并调试其驱动；
- ◇ 郭强：画出项目硬件连接图，选取器件，辅助购买相关器件，辅助硬件焊接，编写主程序，了解显示屏原理并调试其驱动，整体调试验证；
- ◇ 贺睿：根据讨论得出的项目目标撰写项目开题文档与申请文档，根据每周的进度撰写项目周总结，研究并提出实现基本功能所需的笔迹识别算法，根据项目结果与相关资料完成总结文档主体的撰写。

4 总体设计方案与应用场景

4.1. 总体设计方案

总体设计框图如下图所示：

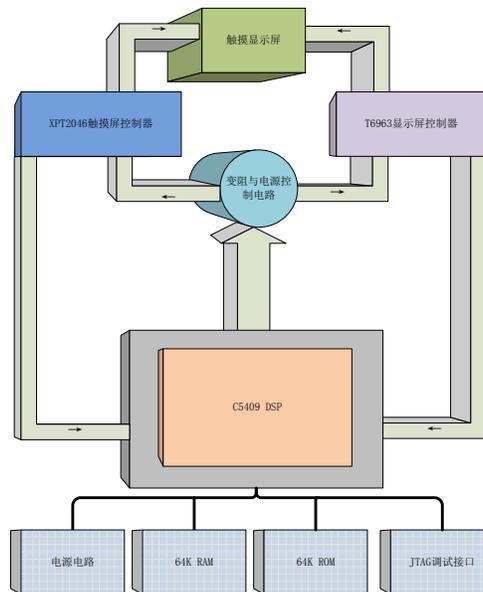


图 1. 总体设计框图

而所有硬件的连接方式如下图所示：

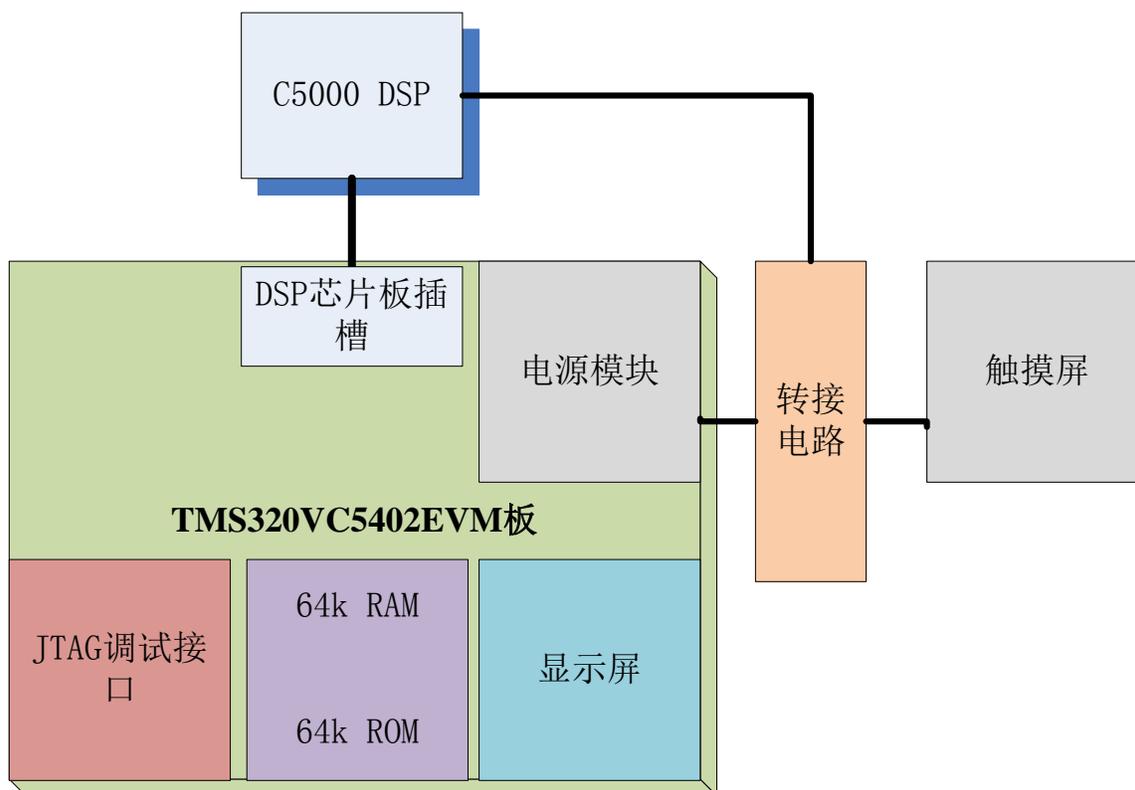


图 2. 系统连接图

4.2. 应用场景

任何系统的应用场景均与其使用方式有关。本系统采用触摸屏与交流电源供电的方式使得其应用与常规方式相比存在一定的区别。可以给出其适用的几个应用场景如下：

- ① 签字完成支付。在用户写下一个签名后将其存入服务器内，之后要进行支付时只需在客户端重复输入签名，经上传对照后返回结果，即可完成支付；
- ② 签字解锁。用于多种个人设备的前端，如在用户离开时自动锁定的设备。首先让用户输入一个签名，在需要解锁时只要再次输入相同的签名即可解锁；
- ③ 签字身份确认。用于协议的签订或支票的签署，优点是可以远程进行，远端用户可以直接通过设备签名并保存到安全服务器内，即完成身份的确定。

4.3. 主要元器件

- 1、焊板
- 2、拨码开关*2
- 3、排针（29*2）
- 4、排针插座（29）

- 5、自带 XPT2046 的四寸触摸屏
- 6、DSP 实验箱
- 7、导线

5 软硬件设计与实现

5.1. 笔迹读取模块

5.1.1. 综述

笔迹读取模块采用 XPT2046 触摸屏控制器，以一块四寸触摸屏为中心器件，读取用户的笔迹输入信息。XPT2046 是一款 4 导线制触摸屏控制器，内含 12 位分辨率 125KHz 转换速率逐步逼近型 A/D 转换器。XPT2046 支持从 1.5V 到 5.25V 的低电压 I/O 接口。XPT2046 能通过执行两次 A/D 转换查出被按的屏幕位置，除此之外，还可以测量加在触摸屏上的压力。XPT2046 采用微小的封装形式：TSSOP-16, QFN-16 (0.75mm 厚度) 和 VFPGA-48。工作温度范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 。XPT2046 会提供当前触摸屏上被用户按压的位置坐标，在一次连续的签字输入过程后，可以得到一组连续的坐标值，即为当前输入的笔迹信息。

5.1.2. 硬件电路设计

XPT2046 的工作特性如下：

- 1) 具有 4 线制触摸屏接口；
- 2) 具有触摸压力测量功能；
- 3) 可单电源工作，工作电压范围为 2.2V—5.25V；
- 4) 支持 1.5V~5.25V 电平的数字 I/O 口；
- 5) 内部自带 +2.5V 参考电压；
- 6) 具有 125KHz 的转换速率；
- 7) 采用 QSPI™ 和 SPI™ 3 线制通信接口；
- 8) 具有可编程的 8 位或 12 位的分辨率；
- 9) 具有 1 路辅助模拟量输入；
- 10) 能够自动掉电；
- 11) 全兼容 TSC2046, ADS7843/7846 和 AK4182.

XPT2046 的内部原理图如下图所示：

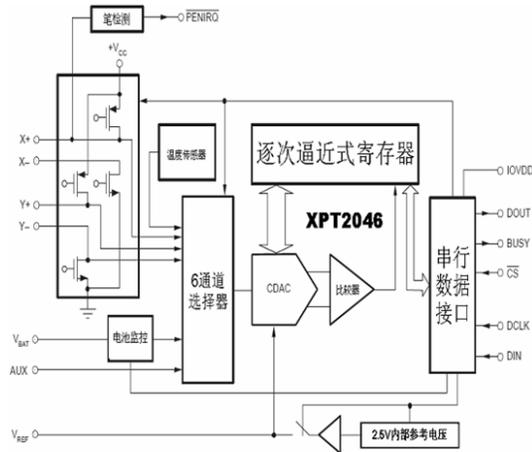


图 3. XPT2046 的内部原理

通过原理图可以发现, XPT2046通过串行数据接口将并行的数据转换为串行数据后, 由DOUT输出。通过送入命令字, 可以读取X+、X-、Y+、Y-、电源电压以及ADC辅助输入通道AUX的状态。同时, 它能够在检测到有笔划输入时通过PENIRQ端口输出一个中断信号, 从而可以作为中断源触发子程序的执行。但是在本项目中采用的是查询的方式读取输入, 因此未用到该端口。连接DSP与触摸显示屏的电路原理图如下:

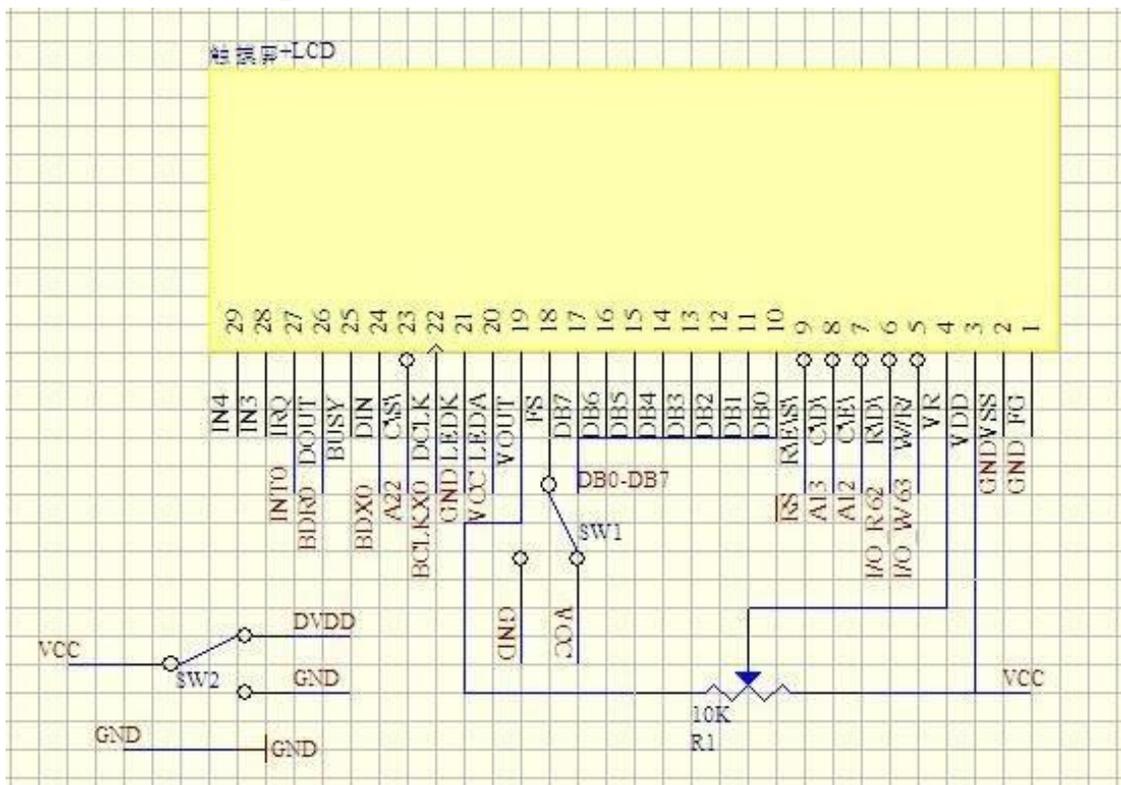


图 4. 屏幕与 DSP 连接电路图

图 4. 采集笔迹流程图

5.2 显示模块

5.2.1 综述

显示模块采用显示屏控制器T6963C，以实验箱上的液晶显示屏为中心器件，通过触摸屏的输入相应输出笔迹信息或显示控制提示。T6963C芯片是具有67个引脚的贴片式芯片。其芯片封装如下图所示：

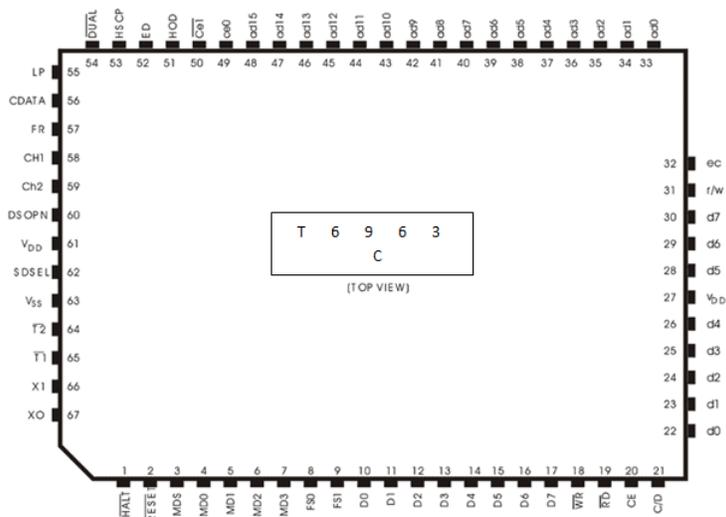


图 . T6963C 封装图

T6963C的主要特点如下几点所示：

- (1) T6063C 是点阵式液晶图形显示控制器，它能直接与 80 系列的 8 位微处理器接口；
- (2) T6063C 的字符字体由硬件设置，其字体有 4 种：5×8、6×8、7×8、8×8；
- (3) T6063C 的占空比可从 1/16 到 1/128；
- (4) T6063C 可以图形方式、文本方式及图形和文本方式进行显示，以及文本方式下的特征显示，还可以实现图形拷贝操作等等；
- (5) T6063C 具有内部字符发生器CGROM，共有128个字符，T6063C可管理64K显示缓冲区及字符发生器CGRAM。并允许MPU随时访问显示缓冲区，也可以进行位操作。

从T6963C的特点可以看出，在需要显示输入的笔迹时，可以采用图形方式显示；若需同时显示菜单，可以采用文本与图形共同显示方式显示；在显示控制命令时，可以采用文本方式显示。由于T6963C允许对缓冲区进行位操作，因此使得对显示点迹的精确控制成为可能。此外，由于缓冲区的大小有限，因此每次能够显示的字符数也是有限的。

实际使用的是DSP实验箱上已集成的显示屏与控制器，因此不必进行电路连接，只需要了解各个引脚的功能，再通过相应信号控制显示效果即可。

5.2.2 T6963C 的各引脚功能

T6963C 的各个引脚功能分别阐释如下：

- (1) D0—D7: T6063C与MPU接口的数据总线，三态；
- (2) /RD, /WR: 读、写选通信号，低电平有效，输入信号；
- (3) /CE: T6063C的片选信号，低电平有效；
- (4) C/D: 通道选择信号，1为指令通道，0为数据通道；
- (5) /RESET, /HALT: /RESET为低电平有效的复位信号，它将行、列计数器和显示寄存器清零，关显示；/HALT具有/RESET的基本功能，还将中止内部时钟振荡器的工作；
- (6) DUAL, SDSEL:

DUAL=1为单屏结构，DUAL=0为双屏结构；

SDSEL=0为一位串行数据传输方式，SDSEL=1为二位并行数据传输方式；

- (7) MD2, MD3: 设置显示窗口长度，从而确定了列数据传输个数的最大值，其组合逻辑关系如下：

MD3	1	1	0	0
MD2	1	0	1	0
每行字符数	32	40	64	80

- (8) MDS, MD1, MD0: 设置显示窗口宽度（行），从而确定T6063C的帧扫描信号的时序和显示驱动的占空比系数，当DUAL=1时，其组合功能如下：

MDS	0	0	0	0	1	1	1	1
MD1	1	1	0	0	1	1	0	0
MD0	1	0	1	0	1	0	1	0
字符行	2	4	6	8	10	12	14	16
总行数	16	32	48	64	80	96	112	128
占空比	1/16	1/32	1/48	1/64	1/80	1/96	1/112	1/128

当DUAL=0时，以上设置中的字符行和总行数增至原来的2倍，其它都不变，这种情况下的液晶屏结构为双屏结构；

- (9) FS1, FS0: 显示字符的字体选择

FS1	1	1	0	0
FS0	1	0	1	0
字体	5×8	6×8	7×8	8×8

- (10) XI, XO: 振荡时钟引脚；
- (11) AD0—AD15: 输出信号，显示缓冲区16位地址总线；
- (12) D0—D7: 三态，显示缓冲区8位数据总线；
- (13) R/W: 输出，显示缓冲区读、写控制信号；
- (14) /CE: 输出，显示缓冲区片选信号，低电平有效；
- (15) /CE0, /CE1: 输出，DUAL=1时的存储器片选信号；
- (16) T1, T2, CH, CH2: 用来检测T6063C工作使用情况，T1, T2作为测试信号输入端，CH, CH2

作为输出端；

(17) HOD, HSCP, LODLSCP (CE1), EDLP, CDATA, FR为T6063C驱动部信号。

5.2.3 在任意位置显示点迹的流程

笔迹识别系统实现的基础就是将触摸屏上所书写的笔迹在显示屏上相应位置出来。这就涉及到两个问题。一是如何进行触摸屏的校准；二是如何将液晶屏上相应坐标位置点亮。

- 问题1的解决方法：对触摸屏上的所有点的坐标进行转换，由于触摸屏的尺寸是240*128，液晶屏的尺寸是128*64。使用坐标转换公式：

$$y = (y - Y \min) \times 128 / (Y \max - Y \min)$$

$$x = (X \max - x) \times 64 / (X \max - X \min)$$

- 问题2的解决方法：使用位操作指令：

无参数	1 1 1 1 N3 N2 N1 N0
-----	---------------------

该指令可将显示缓冲区某单元的某一位清零或置1，该单元地址当前地址指针提供。N3=1置1，N3=0清零。其中N2~N0：操作位，对应该单元的D0~D7位。

下面是显示或者是擦除任意一个位置点的具体方法。对于二值显示屏来说，其显示状态无外乎显示和不显示一个点这两种状态。而在任意位置画点，是我们随心所欲的画线，画圆，画矩形的等 GUI 函数的基础。为了让这个位置有一个参考点，我们有必要定义一个坐标系。在这里，我定义的坐标系如下：

0,0-----127,0



0,63-----127,63

0,0 代表屏幕的左上角，127,63 代表屏幕的右下角。

对于屏幕上面任意一个点，如果我们想要点亮它，必须先读出此点的状态，然后再修改该点，最后送出去，即读----修改----写。按照这个步骤，然后再运用位操作指令可以很方便的完成画点的函数。

具体实现过程如下：

draw_dots:

```

st      #0020h, *ar4      ;X坐标
ld      #0, a             ;Y坐标
add     #0, a
ld      *AR4, a
                        ;*ar3中存放地址指针的高位字节
                        ;ar4指向汉字在数据空间中存放的起始位置
rpt     #16-1
rol     a
RPT     #3-1
ROR     A
sth     a, *ar3
and     #0ffffh, a
rpt     #13-1
ror     a
ST      #14h, *ar2
MPY     *AR2, #10h, b
add     *ar3, b
add     #0200h, b
sub     #7, a
abs     a

```

;设置地址指针的参数和指令代码(24h)

```

sfta    b, 8
sth     b, *ar1
and     #0ffffh, b
sfta    b, -8
stl     b, *ar2
portw   *ar2, 0cfffh

```

```

        call    delay

        portw  *ar1,0cfffh
        call    delay
        st     #ADPSET,*ar1
        portw  *ar1,0efffh
        call    delay

;画点函数

loop:

        or     #0f8h,a
        stl    a,*ar1
        portw  *ar1,0efffh
        call    delay
    
```

5.2.4 软件模块

- LCD全屏幕点亮

;设置地址指针的参数 (0200h)

```

        call    rwcheck
        st     #00h,*ar1
        call    wr_data
        call    rwcheck
        st     #02h,*ar1
        call    wr_data
    
```

;设置地址指针的指令代码 (24h)

```

        st     #ADPSET,*ar1
        call    wr_com
    
```

;设置为自动写 (0B0h)

```

        call    rwcheck
        st     #AWRON,*ar1
        call    wr_com
    
```

;共写400h字节

```

        ld     #400h,b
    
```

GRAPHY_LOOP:

```

        sub    #1,b
        call    autowcheck
    
```

```

        st      #0ffh, *ar1
        call   wr_data

        bc     GRAPHY_LOOP, bneq
        nop

;设置自动写结束(0B2h)
        call   rwcheck
        st     #AWROFF, *ar1
        call   wr_com

        nop
    
```

● LCD清屏

;设置地址指针的参数(0000h)

lcd_empty:

```

        st      #00h, *ar1
        portw   *ar1, 0cfffh
        call   delay
        st      #00h, *ar1
        portw   *ar1, 0cfffh
        call   delay
    
```

;设置地址指针的指令代码(24h)

```

        st      #ADPSET, *ar1
        portw   *ar1, 0efffh
        call   delay
    
```

;设置为自动写(0B0h)

```

        st      #AWRON, *ar1
        portw   *ar1, 0efffh
        call   delay
    
```

;共清除80h次

```

        ld      #80h, a
        ld      #1h, b
    
```

TEXT_LOOP:

```

        st      #00h, *ar1
        sub     b, a
        portw   *ar1, 0cfffh
        call   delay
        bc     TEXT_LOOP, aneq
    
```

;设置自动写结束(0B2h)

```

        st      #AWROFF, *ar1
        portw   *ar1, 0efffh
    
```

call delay

;设置地址指针的参数 (0200h)

```

st    #00h, *ar1
portw *ar1, 0cffffh
call  delay
st    #02h, *ar1
portw *ar1, 0cffffh
call  delay

```

;设置地址指针的指令代码 (24h)

```

st    #ADPSET, *ar1
portw *ar1, 0efffh
call  delay

```

;设置为自动写 (0B0h)

```

st    #AWRON, *ar1
portw *ar1, 0efffh
call  delay

```

;共清零400h字节

```

ld    #400h, a
ld    #1h, b

```

GRAPHY_LOOP:

```

sub   b, a
st    #00h, *ar1
portw *ar1, 0cffffh
call  delay
bc    GRAPHY_LOOP, aneq
nop

```

;设置自动写结束 (82h)

```

st    #AWROFF, *ar1
portw *ar1, 0efffh
call  delay

```

nop

● LCD汉字显示

display_hanzi:

```

call  lcd_empty
ld    #10h, a          ;一个16*16点阵的汉字字模有
16(10h)行点阵
ld    #00h, b          ;b中存放地址指针的低位字节
stm   #program1_data1, ar4

```

```

; *ar3中存放地址指针的高位字节
; ar4指向汉字在数据空间中存放的起始位置
display_out:
    sub    #1h, a
; 设置地址指针的参数和指令代码(24h)
    stl    b, *ar1
    portw  *ar1, 0cfffh
    call   delay
    st     #03h, *ar1
    portw  *ar1, 0cfffh
    call   delay
    st     #ADPSET, *ar1
    portw  *ar1, 0efffh
    call   delay
; 设置为自动写(0B0h)
    st     #AWRON, *ar1
    portw  *ar1, 0efffh
    call   delay
; 正常显示汉字
    portw  *ar4+, 0cfffh      ; 一个字占16*16个比特, 每行有16个点, 即两个字节
    call   delay
    portw  *ar4+, 0cfffh
    call   delay

; 关自动读
    st     #AWROFF, *ar1
    portw  *ar1, 0efffh
    call   delay
; 修改地址指针的低位字节
    add    #10h, b
    bc     display_out, aneq

    nop
    nop

```

5.3. 中心算法

为能有效对采集所得笔迹进行鉴别，需要采用符合触摸输入情境的图像识别算法。据前所述，触摸屏采集到的电压数据能够被转换为一组唯一的坐标以供存储或是进一步运算。因此，要实现签名锁的功能即等效于实现两组离散坐标的相似度计算并根据计算结果给出判断结果。笔迹识别算法包括

- 基于小波变换的笔迹识别算法
- 基于纹理的笔迹识别算法
- 基于字形的笔迹识别算法
- 基于笔劲的笔迹识别算法

本系统中采用的主要算法是基于密度特征的二值图象识别算法。

5.3.1 算法原理

笔迹识别的一般过程包括

- ① 去除采集到笔迹信息中的噪声信息(可省略)；
- ② 去除由于下笔位置不同引起的位置误差；
- ③ 去除由于下笔时方向不同引起的方向误差；
- ④ 去除由于书写大小不同引起的缩放误差,也就是将签名归一化；
- ⑤ 预处理获取的笔迹信息,提取出签名的“骨架”,也就是将集中在有效点周围的杂散点去除的过程,对应的图像处理算法为腐蚀细化算法；
- ⑥ 提取出预处理后笔迹的特征信息；
- ⑦ 将提取出的笔迹信息与标准笔迹信息相比较,得出判决结果。

为了简化计算步骤以及与当前的硬件情境相匹配，将原本笼统的笔迹识别问题转化为一个较为简单的二值图像识别问题，进一步而言，可以认为是将一组二值图片与一幅二值图片相匹配的过程。任何一幅图像在经由二值化的过程之后，都能成为二值图像。所谓图像的二值化，就是将图像上的像素点的灰度值设置为0或255，也就是将整个图像呈现出明显的只有黑和白的视觉效果。显然，触摸屏采集到的一组坐标点可以看做是一幅二值图像。因此，可以采用现有的二值图像识别算法进行笔迹识别的过程。

由之前的分析可以看出，笔迹识别过程中最复杂的部分是对所得笔迹进行处理的过程。只要克服了图像的平移，旋转与缩放问题，再进行相似度的比对便不在话下了。综合所得资料，我们首先提出了三种可行的算法：

- ① 基于MATLAB二值图像相似度算法的笔迹识别算法；
- ② 基于密度特征的笔迹识别算法；
- ③ 基于边缘特征与神经网络不变性的笔迹识别算法。

之后对三种算法进行分析，就复杂度而言，③>①>②，就识别精准度而言③>②>①，二值图像密度特征的好处是不必进行去旋转与去缩放等过程。因此本系统中采用密度特征算法。

选定算法之后，需要整理出算法的中心思路以使用汇编或C语言实现，算法的实现步骤如下几步所示：

➤ 第一步：求重心

遍历图片上的所有点 (i, j)，求得重心坐标为 (x, y)。设 $f(i, j)$ 在 (i, j) 对应点非零时为 1，在对应点为空时为 0。

$$\bar{x} = \frac{\sum_i \sum_j i \times f(i, j)}{\sum_i \sum_j f(i, j)}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i \sum_j j \times f(i, j)}{\sum_i \sum_j f(i, j)}$$

➤ 第二步：求有效点到重心的距离

遍历矩阵，根据 (i, j) 对应点是否为 1 判断该点是否为有效点。如果是有效点，通过两点距离计算公式计算出该点到重心 (x, y) 的距离，存入一个距离数组 ds 内。

➤ 第三步：求密度分布特征向量

密度分布特征是一个 20 维向量，需要分两步计算出来。

1. 前 10 维计算

前 10 维是根据有效点到重心的距离算出来的。设前 10 维为 (i₀, i₁, i₂……, i₉)。

先求 ds 的最大值 dm；

求出 dm 后将 (0, dm) 等分为 10 个区间 i₀, i₁, i₂……, i₉；

统计 i_k (k ∈ (0, 9)) 内有效点的个数 n (即距离数组内属于该区间的点数)，则 i_k=n。

2. 后 10 维计算

后 10 维的计算遵循规律如下：

$$i_k = \begin{cases} |i_1 - i_0| & , k = 10 \\ |2i_{k-10} - i_{k-11} - i_{k-9}| & , 11 \leq k \leq 18 \\ |i_9 - i_8| & , k = 19 \end{cases}$$

➤ 第四步：根据标准矩阵特征向量 h 与待匹配矩阵特征向量 m 完成鉴定

先对 h 与 m 进行归一化。前 10 维与后 10 维的归一化是分开进行的。

然后分别计算归一化后的 h 与 m 对应前 10 维向量之间的欧式距离 dr 与后 10 维向量之间的欧氏距离 ddr；

最后计算出相似度 (2-0.5dr-0.5ddr) / 2。相似度越趋近 1，说明越相似。

可以根据实验所得的统计值自己设定阈值来改善检测效果。

5.3.2 算法的代码实现

在了解了算法的主要步骤之后，下一步就是通过汇编实现算法的各个步骤。由于汇编语言自身的限制，原算法中的一些计算或是流程需要相应进行简化或更改实现方式。

一方面，由于存储浮点数较之于存储整数需要占据更多的内存空间，因此凡是在原算法中可能会出现浮点数的位置都需要采用取整或改变计算方法的措施用于避免。第一步中，在计算重心坐标时进行了除运算，可能会导致浮点数的出现。这里需要采用向最近点取整以避免之。

第四步采用了归一化的方式将两个向量的长度统一，以采用欧式距离代替两向量之间的夹角。此处可以不使用归一化而是将两个向量的各值分别乘以对方的长度（需要取整以避免小数），这样就可以在一个更高的标度上计算欧式距离，这种方法仍能避免由于两个向量长度不同而出现的欧氏距离的长度无法代替夹角大小的问题。在随后计算相似度的过程中，算法在归一化长度的基础上将所得结果做了翻转，以使得所求得数值与相似度成正比。但实际上使用与相似度成反比的欧式距离也可以直接比对，因此将最后一步省略。

另一方面，由于DSP中的开方运算至少会占用超出100个时钟周期并且实现尤为复杂，因此需要采用其它运算替代或是避免开方。在第二步与第四步计算距离的过程中，由于开方运算并不影响数值大小的相对性，故可省略开方运算的步骤。但是由于不开方可能会出现溢出的情形，因此采用其它算法进行替代。一个选择是牛顿迭代法。牛顿迭代法又称为牛顿-拉弗森方法，它是一种在实数域和复数域上近似求解方程的方法。在这里我们要求解一个任意数a的平方根，那么等效于求解方程 $X^2-a=0$ 的根。亦即求 $f(x)=X^2-a$ 的零点。具体步骤如下：

① 取数 $X_0=0F$ ；

② 计算 $X_1=X_0-\frac{f(X_0)}{f'(X_0)}=0F-\frac{0E1-a}{1E}$ ；

③ 计算 $f(X_1)$ ；

④ 继续计算 $X_2=X_1-\frac{f(X_1)}{f'(X_1)}$ 与 $f(X_2)$ ；

⑤ 循环上述过程直至计算至 X_{20} ，即为所求。

在上面取 $X_0=0F$ 的原因是触摸屏上任两点间的最大距离为 $\sqrt{(0FF)^2+(0FF)^2}=168H$ ，取

$X_0=0F$ 后，经过20次循环迭代，足以求出所需的零点或与之充分接近。

同时，由于 DSP 的编程要求是尽量不要出现除法，因此在编程时应当避免出现除法运算或使用其余近似算法代替。本程序中使用替代算法，即用循环 15 次的符号数减法来完成除法运算，如下所示，设被除数放在 ar1 地址内，除数放在 ar2 地址内：

```
rsbx sxm
ld *ar1,a
rpt #0fh
subc *ar2,a
stl a,*ar3
sth a,*ar4
```

第一条符号位扩展，表明为符号数计算；然后将被除数装入累加器A中；rpt #0fh指令表示下一条指令循环执行15次，subc表示累加器A中的数带标志位减去AR2指向的减数，完成了15次减法后，除法完成，所得的商放在A的低16位中，余数放在A的高16位数中，再接下来两条指令分别是存储商和余数。这样，就完成了使用减法替代除法的整个过程。

6 系统测试与结果

6.1 主要仪器仪表

Tektronix TDS 1002 示波器、万用表、PC 机、wintech 510 JTAG 调试器

6.2 调试电路的方法和技巧

当硬件设计从布线到焊接安装完成之后，就开始进入硬件调试阶段，调试大体分为以下几步。

1. 硬件静态的调试

① 排除逻辑故障

这类故障往往由于设计和加工制板过程中工艺性错误所造成的。主要包括错线、开路、短路。排除的方法是首先将焊制完成的电路板认真对照原理图，看两者是否一致。应特别注意电源系统检查，以防止电源短路和极性错误，并重点检查信号线之间是否存在短路。充分利用万用表的短路测试功能，可以缩短排错时间。

② 排除元器件失效

造成这类错误的原因有两个：一个是元器件买来时就已坏了；另一个是由于安装错误，造成器件烧坏。可以采取检查元器件与设计要求的型号、规格和安装是否一致。在保证安装无误后，用替换方法排除错误。

③ 排除电源故障

在通电前，一定要检查电源电压的幅值和极性，否则很容易造成集成块损坏。加电后检查各插件上引脚的电位，一般先检查 VCC 与 GND 之间电位，若在 5V~4.8V 之间属正常。若有高压，联机仿真器调试时，将会损坏仿真器等，有时会使应用系统中的集成块发热损坏。

2 联机仿真调试

联机仿真必须借助仿真开发装置、示波器、万用表等工具。这些工具是 DSP 开发的最基本工具。信号线是联络 DSP 开发板和外部器件的纽带，如果信号线连结错误或时序不对，那么都会造成对外围电路读写错误。C5000 DSP 的信号线大体分为读、写信号线、片选信号线、时钟信号线、外部程序存储器读选通信号（PSEN）、地址锁存信号（ALE）、复位信号等几大类。这些信号大多属于脉冲信号，对于脉冲信号借助示波器（这里指通用示波器）用常规方法很难观测到，必须采取一定措施才能观测到。应该利用软件编程的方法来实现。

对于电平类信号，观测起来就比较容易。一般对于和开关电路有关的电平信号，随着开关状态的变化，输出电平也会相应发生变化。分别检测开关不同状态下对应的输出电平值，即可得知电平类信号是否正确。

总而言之，对于脉冲触发类的信号我们用软件来配合测试，并把程序编为死循环，再利用示波器观察；对于电平类触发信号，我们直接用示波器观察。

6.3 调试故障、产生原因及排除方法

①利用 wintech 仿真器连接 PC 与实验箱，打开 CCS 时出错“Error connecting to the target”。

产生原因：USB 连接线阻值过大或线缆已损坏。

排除方法：更换 USB 连接线并重试。

②在利用触摸屏中断读取触摸屏的输入信号时，发现中断输入信号高电平正常，低电平为 2V，过高，从而无法正常产生所需中断。

产生原因：在将外围电路连接至 dsp 时，忽视了 dsp 引脚已连接实验箱上的其余模块，而对有效信号造成了串扰。

排除方法：其一是直接将干扰源消除，即将接至其它模块上的线割断，在其它模块未被用到时此法可行；其二是用查询代替中断，从而避免使用中断端口。在实验中我们采用此方法。

③在利用触摸屏读取笔迹输入信号时，发现当触摸点位置由屏幕左侧向右侧滑动时，输出电压并非线性变化而是在中心出现一个最大值后，再突然跌至最小值，又逐渐增加至最大值。

产生原因：分析该现象可知相当于输出电压值作为自变量产生了两个重复的因变量映射。由于输出电压模拟值经由 ADC 变为数字值，因此该数字量由最小到最大变化两次的最可能原因是少读取了一位数值。以此类推，出现的错误还可能是产生 4 个、8 个、16 个…… 2^n 个最大值，分别对应于少读取了 2 位、3 位、4 位……n 位的情形。

排除方法：检查时序，发现由于程序编写问题导致读取的数据高位丢失，修改程序多读取一位，问题得到解决。

④在调试显示屏的过程中，需要利用读写使能信号选通，发现低电平抖动严重，出现一个接近高电平的信号峰值。同时，在需要对显示屏缓冲串口写入命令字的时候，发现无法有效写入命令字从而导致无屏显。

产生原因：在排除了软件问题后，推断应当是硬件出现了问题。几个可能的原因如下：

- 1、复位端有问题，芯片未正确复位，导致初始状态不正确。
- 2、使能端电路接触不好，在被人为拉低时仍可能受到高电平影响（如电源的杂波干扰）从而造成低电平不稳定；
- 3、T6963 芯片内部问题或显示屏已损毁。

排除方法：对原因 1，用进行手动复位来排除，但问题仍未得到解决；对原因 2，根据老师的指导接上了下拉电阻与滤波电容，使得低电平最大值降到了毫伏量级，但显示屏仍然无法正常显示；对原因 3，实测中发现液晶屏出现过正常状态，说明屏幕的显示功能尚有，但正常状态的持续时间不长，又恢复到无法写入的状态，最终通过直接使用 dsp 开发板上的液晶屏解决了此问题。由于所用驱动基本相同，故显示屏硬件问题是毋庸置疑的。

6.4 系统测试及结果分析



图 6.4.1 系统实物图

系统连接完成后，即可对其进行测试。根据测试结果，该系统能够对同一个人正常情况下两次认真录入的笔迹信息进行识别并输出正确结果提示；能够对不同人在互相不知道笔迹特征的情况下录入的相同文字进行识别并输出错误结果提示。识别准确率达到 80% 以上。因此，可以判定该系统能够完成计划目标所提出的功能。

6.5 误差定性分析

由于触摸屏灵敏度的限制以及采用算法的局限性，在笔迹识别的过程中出现的误差是不可避免的，从而导致在识别较复杂的笔迹时准确率较低。出现的误差主要是由以下几点引起的。

1) 触摸屏引入误差

根据之前分析的触摸屏控制器 XPT2046 的原理可知，触摸屏实际上相当于一组滑动变阻器，触摸笔的位置相当于滑动杆的位置。在改变触摸笔位置时，由于电阻的变化引起输出电压的变化。由此可见，触摸屏输出的模拟电压是一个连续的变

量。但是，经 SNR ADC 之后，模拟电压被变为数字电压，数模转换失真显然是不可避免的。同时，在使用中触摸屏可能会由于外界电压的干扰出现飘移，即由于输出电压上叠加一个干扰电压而使得测量值出现偏差的情形。这种误差可以通过进行屏幕校准消除。

2) 显示误差

在显示屏输出时，容易发现显示屏的输出并非一条连续均匀的点迹，而是显得粗细不均，每一个笔迹有效点的周围都有一组杂点。造成这种现象的原因有二：

触摸屏查询周期短。一次落笔的连续过程实际上由按压屏幕上不同区域的离散步骤组成。而每个步骤都有一定的延时 ΔT_n 。在 ΔT_n 内 DSP 对触摸屏进行多次查询，而这多次查询的结果不尽相同，是一组取值接近的坐标电压值，经过 ADC 后便得到一组互相接近的坐标值。

由触摸屏转换到显示屏的过程需要经过一个转换，设触摸屏尺寸为 $m*n$ ，显示屏尺寸为 $p*q$ ，当前触摸屏获取的坐标为 (x, y) ，转换后的坐标为 (i, j) ，则有转换公式如下：

$$\begin{cases} i = \frac{x}{m} * p \\ j = \frac{y}{n} * q \end{cases}$$

由于转换中存在取整的问题，因此在转换后显示效果与原输入相比存在一些差异。

3) 预处理算法舍入误差

在预处理算法中，不同因素导致计算出的密度特征矢量与实际相比存在一定偏差。首先，在计算开方时我们采用了牛顿迭代法替代开方运算。但是根据牛顿迭代算法的实现方法，在处理较大的被开方数的运算时，由于迭代次数有限，利用导数与坐标轴交点逼近被开方值的方法必然存在一定误差，同时被开方值越大，误差越大。可以通过增加迭代次数的方法尽量减少误差。其次，在计算重心等运算中，为避免使用占存储空间更大且运算更复杂的浮点数进行运算，进行了向最近点取整操作，也使得最终得到的向量产生误差。

4) 密度分布算法缺陷引入误差

根据密度分布算法的原理，可知计算密度分布特征的过程就是统计一组圆环与圆内有效笔迹点数。显然这种算法以严格的一一对应性为代价换取了旋转不变性。因此，即使用户输入两种完全不同的笔迹，只要其分布特征相似，那么鉴定结果一定会出现偏差。解决或是减小这种误差可以通过改进算法解决。比如可进一步将所有圆环划分为固定数量的扇区，再分别统计每个扇区内的笔迹点数，产生具有方向性的笔迹矢量。这样就使得沿半径方向分布特征相近但沿周长方向分布特征不同的笔迹能够被有效鉴别开来。为了保证旋转不变性，还应当将两个矢量循环移位后对比以得到最大相似度，再与阈值对比。

5) 用户输入引起的人为误差

根据密度分布特征的原理可知，在输入存在噪点（如单个离散点）时，若噪点离笔迹重心的距离较大，则会使得整体重心产生一定偏移。噪点点迹数目越多，引起的偏移量就越大。由于重心发生了偏移 Δ ，计算出的密度分布向量就会出现一定

的偏差。例如若真实的点迹密度 ρ 由中心向四周呈现逐渐减小的特征，则偏移后的点迹密度可能会呈现先增大再减小的特征，使得测量出现错误。噪点可能由于用户在输入笔迹时不慎按压了空白区域引起。同时，若用户同时触碰屏幕上的两个区域，则输出一定会发生错误。

7 结语

“千淘万漉虽辛苦，吹尽狂沙始到金。”从最初的愿景到最终的成品，从单个的元件到完整的系统，从完成写字的简单功能到密码锁、打地鼠，乃至笔迹识别，我们淘尽了一个一个硬件的错误，修正了一段一段代码的 bug，吹尽了迷惘与疑惑的狂沙，终究换得了项目完满完成这一块“真金”，成功实现了用触摸屏进行笔迹识别的功能。

回顾这一段历程，有太多珍贵的东西值得我们总结、记录与慢慢体悟。但最珍贵的，还是比赛给我们留下的难忘记忆。记得最初找到汪老师，与她共同探寻我们“宏伟计划”可行性时的万分期待与几丝觥觥；记得得到朱老师相助，因借得 DSP 实验箱而雄关漫道从头越时的欣喜与希望；记得为寻求合适的屏幕，去广埠屯漫寻店家不遇时的疲惫与疑惑；记得搜遍识别算法，惶惶然不得其法时的惊惶与迷惘；记得技穷智竭却无法打通液晶屏时的无奈与纠结；记得整日忙碌后从实验室归去时的疲惫与欣然……最令人难以忘怀的，无疑是看到系统正常工作后的自得与喜悦。从来没有哪个学期末在如此的紧张中度过，也从来没有哪一刻，我们能够像完成一切工作时一样，如此满足与骄傲，胸中自豪洋溢。作为第一个我们实际参加的开发项目，比赛教会了我们很多。

回忆一次次经过的坎坷与挫折，可以发现最终的成果与每个成员的全力付出与通力合作息息相关。正是所有人对比赛那份共同的兴趣与责任感，使得我们在追求共同的目标时都能够不遗余力，奋勇向前。在显示屏因种种原因无法正常工作时，大家献计献策，虽未解决问题，共同的探讨却能够使每个人看到自己没有认识到的方面，收获新的体悟；在实验结束后互相交流时，不同的问题却能够触发出新的灵感，创造新的机遇。协作使得我们充分认识到自己的缺点与不足，在取人之长，补己之短的同时，每人都能够发挥出自己最好的一面，负责硬件的成员以示波器与万用表为中心，编写软件的成员以代码编辑环境为主体，撰写文档的成员将全部精力投入到对项目进度的研究与文字表达中去，并行操作，有条不紊，高效的合作使得每个人的效率能够被发挥到最大值。

同时，充分的计划与果敢的决断也无疑是完成项目的必备条件。在后期由于考试的影响，我们耽搁下两到三周，项目进度被滞后，时间也并未停下匆匆前行的脚步。面对严峻的局势，我们首先决定，每个人都应当将自己所有的全部时间与精力付出到项目之中去，在这个前提下，我们在每一天结束后总结今天的项目进展情况，并据此对第二天的任务作出提前计划与安排，这样，大家都不至于对自己要干什么感到困惑，保证了执行效力。其次，在每天项目进行，当有成员遇到问题后，可以及时将遇到的问题通告给全组成员，再实时根据该任务的优先级决定是否变更任务安排以及时解决可能对进度造成严重影响的问题，这样做有效规避了因为某个成员受到难题的阻碍从而影响并行性的问题。最后，由于项目的时间限制，对之前规划中的某些要点必须作出果断的修改或放弃，以顺应局势要求，保证项目最终能够得以完成。在最初，我们的计划是自己购买 DSP 芯片以及相关器件，作出一个成型的小型系统，但在充分讨论了成本问题以及实现难度后，我们迅速放弃了该计划而使用 DSP 系统板作为我们项目的载体。现在

看来，这个决定是十分正确的，保证了我们没有因为花费太多时间在不熟悉的硬件上从而葬送比赛。在调试液晶屏时，经过三天的调试，我们仍对于出现的无法写入的问题毫无头绪，随后我们果断放弃了使用自己购买的液晶屏的想法，主动去找朱明老师并幸运的求得了一块带液晶屏的实验板，通过使用这块硬件已经调试通过的实验板，我们的进度有了质的飞跃，迅速进入了相对较为简单的软件流程。这也是和领导者的决断能力分不开的。

总之，比赛既是一次应用各种硬软件知识冶炼出符合要求的产品的过程，也是一次个人能力接受种种困难磨砺的过程。求知如采金，狂沙洗净，金玉方现，愿每个人都能从这次历程中，得到有益的启示。

8 致谢

此次比赛成品的完成源自多方襄助，我们十分感激，在此言谢。

首先对指导我们比赛的汪小燕教授表示感谢。从比赛开始到完结，我们多次聆听汪教授的教诲，也多次主动找汪教授求助。汪教授不仅在方法上给予了我们许多指导，也为我们提供了实验场所与部分元件。正是汪教授孜孜不倦的责任感，督促着我们全身心投入本次比赛的整个进程，并最终制成了能够正常工作的成品。

其次对多次帮助我们的朱明老师表示衷心的感谢。朱明老师虽然仅是 DSP 的授课老师而并非我们的指导老师，却不辞劳苦，为我们提供了从硬件方面的实验箱与调试器到软件方面的驱动的技术支持。同时，在我们遇到不懂的问题时，我们也多次去叨扰朱明老师，并获得了很多极其宝贵的意见与建议。在整个比赛的过程中，朱明老师对我们提供的帮助难以衡量，我们表示最为诚挚的感谢。

再次对提供实验场所的龚军老师表示感谢。虽然原本安排的实验室提供了标准的实验配置，但鉴于 DSP 实验的特殊性，若有 DSP 实验箱与调试器的辅助，实验调试效率会提高超过一个数量级。龚军老师为我们提供了 DSP 实验室的实验场所与实验箱，即使在周末也顺应我们的要求开放实验室，从而使得我们得以享有更好的实验环境。同时龚军老师也为我们解决了一些实验中遇到的问题，对我们助益良多，在此言谢。

最后对 TI 公司表示特别感谢。正是由于 TI 公司在器件等方面的支持，我们才有了创作自己选择的课题的平台，在此对 TI 公司以及 TI 在 DSP 方面做出的贡献表示谢意与敬佩。

9 参考文献

- 【1】 朱明，陈明欣，汪安民. TMS320C54xx DSP 实用技术（第二版）[M]. 北京. 清华大学出版社. 2007-1
- 【2】 林晓霞，杨晓东. 二值图像的模式识别方法[J]. 福建电脑，2005-6
- 【3】 黄春木，周利莉. 密度分布特征及其在二值图像检索中的应用. 中国图象图形学报，2008-2（12）
- 【4】 洪流，张荫锡. 神经网络的二值图形识别技术[C]. 广西北海，全国光电技术学术交流会. 2000-11
- 【5】 陈雪峰，徐华军，一种二值图像特征提取的新理论[J]. 计算机工程与科学，2011(33)
- 【6】 孙刚. 用 DSP 实时抽取二值图象 MARKER 质心坐标的系统设计[D]. 大连理工大学硕士学

位论文. 2000-3

【7】 LCD 控制器 T6963 使用手册

10 附录

附件列表（附件参见各文件夹目录）

- 1) /附件资料/硬件设计项目文档 Protel 电路原理图： 1.ddb
- 2) /附件资料/工程目录： bijishijie
- 3) /PPT 与视频/答辩 PPT
- 4) /PPT 与视频/演示视频资料