

四线电阻式触摸屏控制与校准

作者：Svyatoslav Paliy

相关项目：是

相关器件系列：CY8C27443、CY8C24423

PSoC Designer版本：4.1

摘要

本应用手册介绍了采用PSoC™器件的四线电阻式触摸屏的两种控制方式与一种校准算法。

前言

电阻式触摸屏广泛用于各种类型的设计中。其结构简单，成本低，且使用方法易于被用户掌握。虽然操作简单，但触摸屏器件几乎都要求进行校准，以便将触摸屏坐标转换成实际屏幕坐标（LCD或其它）。

触摸屏结构

四线触摸屏的结构如图1所示，由两个透明层构成，透明层的内表面均涂了薄薄一层导电材料。当触摸屏表面受到的压力（如通过触笔或手指进行按压）足够大时，顶层与底层之间会产生接触，从而使电阻层发生接触。

第一种测量方法

触摸可以由三个参数界定。第一和第二参数分别是X触摸点位置和Y触摸点位置。第三参数即为“触摸压力”，可使触摸屏区分手指接触和触笔接触。图2说明的是被触摸和未被触摸的屏幕的等效电路。

每个测量周期均采用不同的电压组合。在本项目中，触摸屏接Vdd是指切换PsoC端口驱动模式为‘strong’并把逻辑值设为‘high’。接地是指将端口驱动模式设为‘strong’并把逻辑值设为‘low’。PSoC输出级漏电阻较低，其感应也小。校准算法可以对这种差异进行补偿。

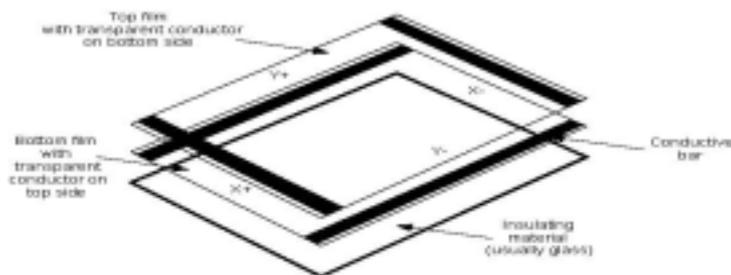


图1. 四线触摸屏结构

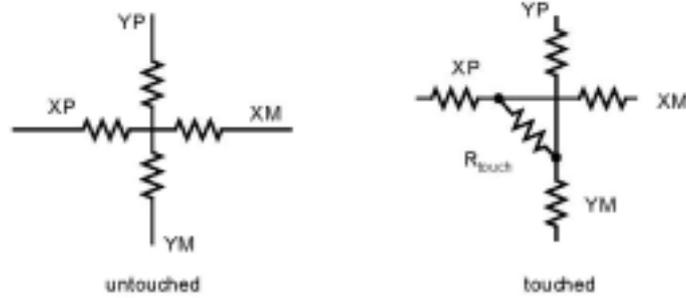


图2. 触摸屏等效电路

所有测量都可以通过可编程增益放大器 (PGA) 和增强型模数转换器 (ADC) 来进行。触摸屏与PSoC使用同一电源。ADC的配置是用于测量GND- V_{dd} 的范围。因此,测量并不取决于电源的电压。

图3说明的是触摸屏测量周期的各种方式。通过将XP连接到 V_{dd} 且XM接地可以测定X触点在X轴平面的位置。从YP或YM触摸屏连接器上测得的电压与触点X坐标成比例。

通过将YP连接到 V_{dd} 且YM接地可以测定Y触点在Y轴平面的位置。从YP或YM触摸屏连接器上测得的电压与触点Y坐标成比例。

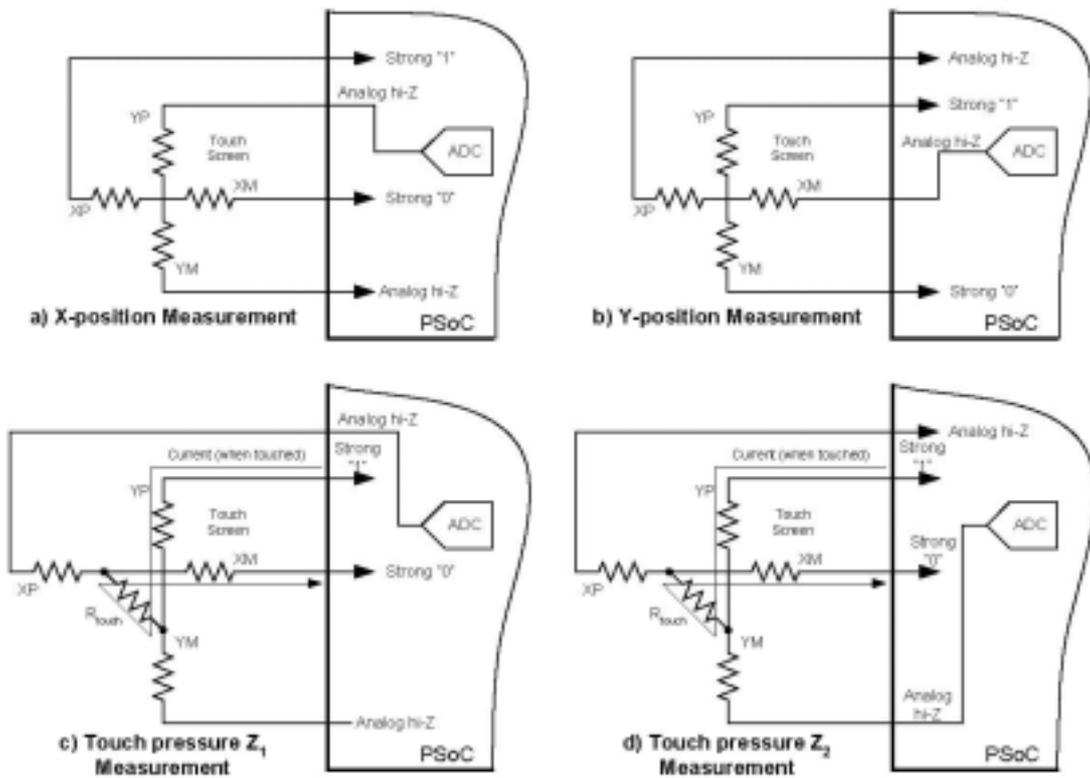


图3. 各种参数测量

若测量触摸压力，需将压力与电阻联系起来。

由于触摸压力最常用于确定是手指或触笔的存在，而不是接触的强度，因此没必要进行高精度压力测量。在本项目中，压力测量所采用的是具有8位分辨率的ADC，而不是用于X和Y位置测量的12位分辨率。

测量触摸压力的方法有数种。本应用手册中只介绍其中的两种方法。

第一个方法要求X平面电阻已知，并对X触点位置（X）以及触摸屏的两个附加截面电阻（Z₁ 和 Z₂）可以测量；得知YP（V_{dd}）电压与XM（接地）电压并测量XP（Z₁）与YM（Z₂）值。利用等式1可以计算出触点电阻。

第二种方法要求X平面和Y平面电阻值已知，仅可以测量Z₁的值。利用等式2可以计算出触摸压力。

相关项目使用第一种方法和等、式1，因为这种算法简单得多。

触笔中断与功耗

如果用户长期不触摸屏幕，则无需运行或测量。于是触摸屏进入休眠状态，等待触笔中断。一旦用户触摸，则产生一个中断，于是触摸屏控制器唤醒并测量相关触摸参数。

电压通过电阻器作用于触摸屏XP的连接器的，在触摸状态下电阻的阻值相当于交叉供电触摸屏最大电阻的四倍（甚至更高）。设计过程中，建议交叉供电触摸屏的阻值应大于1 kΩ。因此，可使用阻值为5.6K的内部上拉电阻。将连接至触摸屏XP连接器的端口引脚设置为上拉模式并设置逻辑状态为‘high’。将连接至XM连接器的端口引脚设置为数字输入，下降沿将触发中断。如果触摸屏仍未被触摸，XM将保持在逻辑高状态。如果用户触摸屏幕，则XM电压下降至逻辑低电平，从而触发中断，而中断会唤醒PSoC。

$$R_{\text{touch}} = R_{x_plate} \frac{X}{2^{\text{ADC_resolution}}} \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1 \right) \quad (1)$$

$$R_{\text{touch}} = (X) \frac{R_{x_plate}}{2^{\text{ADC_resolution}}} \left(\frac{2^{\text{ADC_resolution}}}{Z_1} - 1 \right) - R_{y_plate} \left(1 - \frac{Y}{2^{\text{ADC_resolution}}} \right) \quad (2)$$

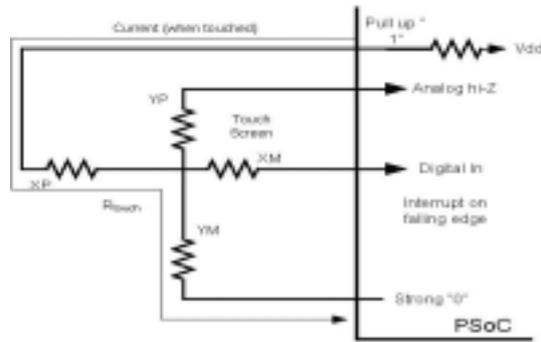


图4. 等待触笔中断的触摸屏

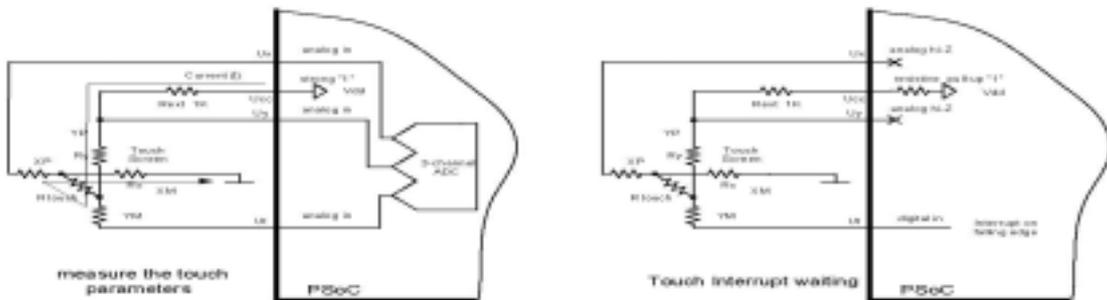


图5. 第二种触摸屏参数测量方法

第二种测量方法

第二种方法同样也对三种参数进行测量。对X触点位置、Y触点位置以及触摸压力同时进行测量。这种方法可以消除因取样率高而导致的触摸屏电源方案转换问题，但需要一个3 通道ADC。触摸屏连接与端口引脚设置如图5所示。

根据简单型网络理论，电路中的电流计算公式为：

$$I = \frac{U_{cc} - U_T}{R_{ext}}; \quad (3)$$

因此，根据如下公式可得出电阻 R_x 、 R_t 和 R_y 的值：

$$\begin{aligned} R_x &= \frac{U_x}{I} = \frac{R_{ext}(U_x - U_y)}{U_{cc} - U_T}; \\ R_t &= \frac{R_{ext}(U_t - U_x)}{U_{cc} - U_T}; \\ R_y &= \frac{R_{ext}(U_y - U_t)}{U_{cc} - U_T}; \end{aligned} \quad (4)$$

因为 R_{ext} 是恒定的，进一步校准以便将触摸屏和显示坐标联系起来。 R_{ext} 可以忽略，那么X、Y和T可根据等式5计算出来：

$$\begin{aligned} X &= \frac{U_x}{U_{cc} - U_y} \\ Y &= \frac{U_y - U_t}{U_{cc} - U_y} \\ T &= \frac{U_t - U_x}{U_{cc} - U_y} \end{aligned} \quad (5)$$

第二种测量触笔中断方案

上文介绍了触笔中断休眠模式与唤醒的好处及要求。为了等待笔中断，设计人员必须将电源端口引脚转换为上拉模式，同时允许连接至YM的引脚的下降沿可以触发中断。

触摸屏校准

在很多情况下，触摸屏安装在LCD或另一个显示器上。在此情况下，触摸屏测量的数据必须转换为真实的屏幕坐标点。

本手册中提出的校准算法可以消除缩放比例因素以及触摸屏的机械不同轴性 (mechanical misalignment)。

校准算法面临的挑战是必须将触摸屏测量出来的坐标系转换成准确描绘显示器上某一点的坐标系。

$$[X_D, Y_D] = \bar{f}([X_T, Y_T]) \quad (6)$$

图6表示的是某些未对准触摸屏和显示器的坐标。该图也表明，可以将显示器的每个点表示为 $P_D = [X_D, Y_D]$ ，并可以将触摸屏上的每个点表示为 $P_T = [X_T, Y_T]$ 。但可能会有如下三个因素导致结果错误：

- 相对于显示器坐标，触摸屏坐标发生旋转。
- 坐标的线性移动。
- 缩放比例因素

下列表达式考虑了所有这三个因素：

$$\begin{aligned} X_D &= A(X_T) + B(T_T) + C \\ Y_D &= D(X_T) + E(T_T) + F \end{aligned} \quad (7)$$

这些关系式提出了六个校准系数。因此，需要三个取样点来求得线性方程组 (8) 的解，并得到校准系数的值。

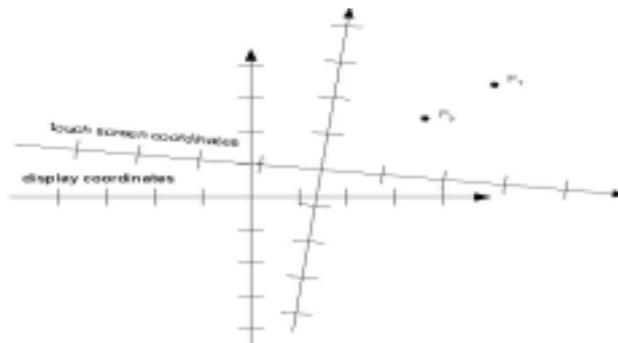


图6. 显示器与触摸屏未对准。显示器与触摸屏坐标。

$$\begin{aligned}
X_{D0} &= A(X_{T0}) + B(T_{T0}) + C \\
X_{D1} &= A(X_{T1}) + B(T_{T1}) + C \\
X_{D2} &= A(X_{T2}) + B(T_{T2}) + C \\
Y_{D0} &= D(X_{T0}) + E(T_{T0}) + F \\
Y_{D1} &= D(X_{T1}) + E(T_{T1}) + F \\
Y_{D2} &= D(X_{T2}) + E(T_{T2}) + F
\end{aligned} \tag{8}$$

未知数可以在方程式 (9) 中求解：

$$\begin{aligned}
A &= \frac{(X_{D0} - X_{D2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{D1} - X_{D2})(Y_{T0} - Y_{T2})}{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2})} \\
B &= \frac{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{D1} - Y_{D2}) - (X_{D1} - X_{D2})(Y_{T0} - Y_{T2})}{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2})} \\
C &= \frac{Y_{T0}[X_{T2}(X_{D1}) - X_{T1}(X_{D2})] + Y_{T1}[X_{T0}(X_{D2}) - X_{T2}(X_{D0})] + Y_{T2}[X_{T1}(X_{D0}) - X_{T0}(X_{D1})]}{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2})} \\
D &= \frac{(Y_{D0} - Y_{D2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (Y_{D1} - Y_{D2})(Y_{T0} - Y_{T2})}{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2})} \\
E &= \frac{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{D1} - Y_{D2}) - (Y_{D0} - Y_{D2})(X_{T1} - X_{T2})}{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2})} \\
F &= \frac{Y_{T0}[X_{T2}(Y_{D1}) - X_{T1}(Y_{D2})] + Y_{T1}[X_{T0}(Y_{D2}) - X_{T2}(Y_{D0})] + Y_{T2}[X_{T1}(Y_{D0}) - X_{T0}(Y_{D1})]}{(X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2})}
\end{aligned} \tag{9}$$

所有表达式的右边包含同样的分母。这对整数算法非常有用。假设分母为K，即可得到方程式 (10)。将K代入方程式 (8)，即可得到方程式 (11)。

方程式 (8) 所要求的所有运算都可以整数计算进行。

$$\begin{aligned}
K &= (X_{T0} - X_{T2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{T1} - X_{T2})(Y_{T0} - Y_{T2}) \\
A' &= (X_{D0} - X_{D2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (X_{D1} - X_{D2})(Y_{T0} - Y_{T2}) \\
B' &= (X_{T0} - X_{T2})(X_{D1} - X_{D2}) - (X_{D0} - X_{D2})(X_{T1} - X_{T2}) \\
C' &= Y_{T0}((X_{T2})(X_{D1}) - (X_{T1})(X_{D2})) + Y_{T1}((X_{T0})(X_{D2}) - (X_{T2})(X_{D0})) + Y_{T2}((X_{T1})(X_{D0}) - (X_{T0})(X_{D1})) \\
D' &= (Y_{D0} - Y_{D2})(Y_{T1} - Y_{T2}) - (Y_{D1} - Y_{D2})(Y_{T0} - Y_{T2}) \\
E' &= (X_{T0} - X_{T2})(Y_{D1} - Y_{D2}) - (Y_{D0} - Y_{D2})(X_{T1} - X_{T2}) \\
F' &= Y_{T0}((X_{T2})(Y_{D1}) - (X_{T1})(Y_{D2})) + Y_{T1}((X_{T0})(Y_{D2}) - (X_{T2})(Y_{D0})) + Y_{T2}((X_{T1})(Y_{D0}) - (X_{T0})(Y_{D1}))
\end{aligned} \tag{10}$$

$$X_D = \frac{A'(X_T) + B'(T_T) + C'}{K} \tag{11}$$

$$Y_D = \frac{D'(Y_T) + E'(T_T) + F'}{K}$$

为得到最佳结果,第一个取样点必须位于距离屏幕左上方大约10%处。第2、第3点分别位于距离中心和边缘大约10%处(参见图7)。在校准过程中,点1、2、3必须按升序触摸。

在使用前,必须对每个含有触摸屏的器件进行校准。没有必要每次在器件上电后都进行校准。但是,为谨慎起见,在每个独立内存中都应保存校准参数。在每次校准后器件被使用时,器件都会读取这些系数并用于计算真实屏幕坐标。

在CY8C24423器件上实施第一种测量方法

在CY8C24423器件采用第一种测量方法。图8是相关示意图。使用的是X平面电阻为800Ω、Y平面电阻为600Ω的电阻式触摸屏。

PSoC上的触摸屏控制器先读取触摸屏参数“X触点位置”、“Y触点位置”和“触摸压力”,然后将该参数通过串行接口传输。因为该接口不是本应用手册的重点,所以使用的是类似UART的串行接口。实际应用中可使用不同的接口,如SPI或I2C总线。

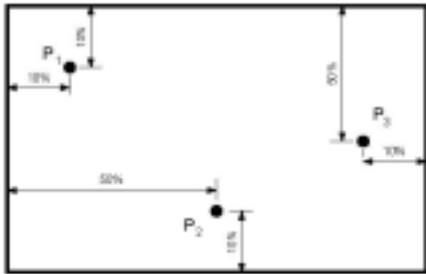


图7. 屏幕上校准点的布置

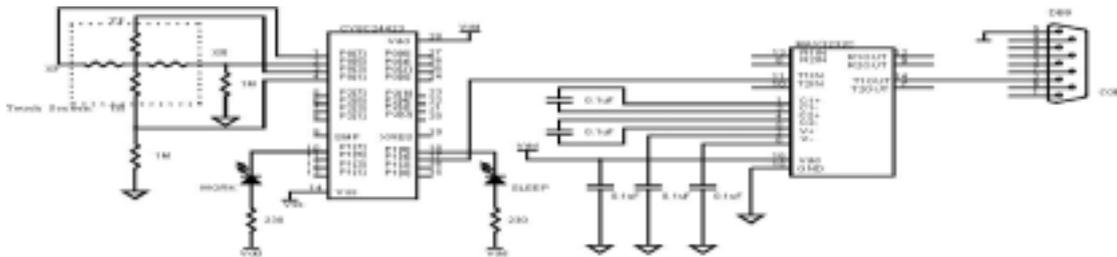


图8. CY8C24423 器件中的触摸屏控制器

采用两个发光二极管显示触摸屏控制器的当前状态（休眠或工作状态）。如果用户在两秒钟内不触摸屏幕，则器件进入休眠模式。

图9是触摸屏参数测量程序的流程图。

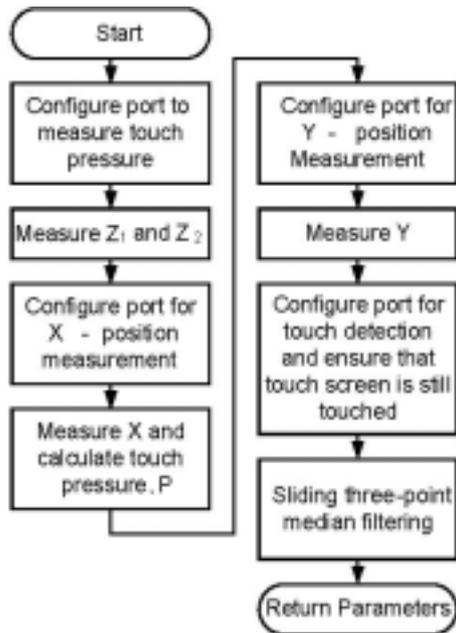


图9. 触摸屏参数测量程序图

只要触摸压力不大于固定值，该测量值是可以接受的。否则，将视为屏幕未被触摸。为避免触摸时间过短造成的失真，我们采用了3点滑动中值滤波(three-point sliding median filtering)。具有两种状态的状态机制控制所有测量。

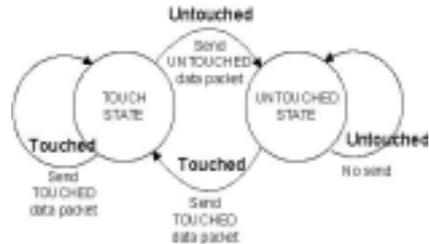


图10. 用于控制的状态机制

器件可通过串行接口传送数据包。TOUCHED数据包包含触摸参数，而UNTOUCHED数据包只用来表明某次触摸的结束。如果用户触摸了触摸屏，则TOUCHED数据包将被发送，直到用户释放触摸屏为止。之后，UNTOUCHED数据包被发送至接口。在用户释放触摸屏后，UNTOUCHED数据包只发送一次。

如图11所示，TOUCHED数据包包含1个启动标记符“T”，1个包含X触点位置的两字节，1个包含Y触点位置的两字节，1个包含触摸压力的一字节，以及1个结束标记符“E”。UNTOUCHED数据包只包含标记符“U”。

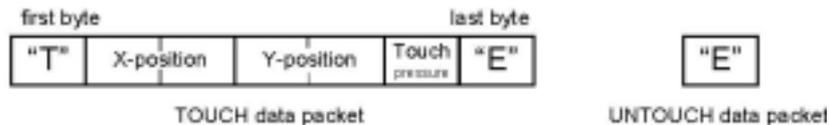


图11. 触摸屏控制器使用的数据包

注：图11中UNTOUCHED数据包应为‘U’

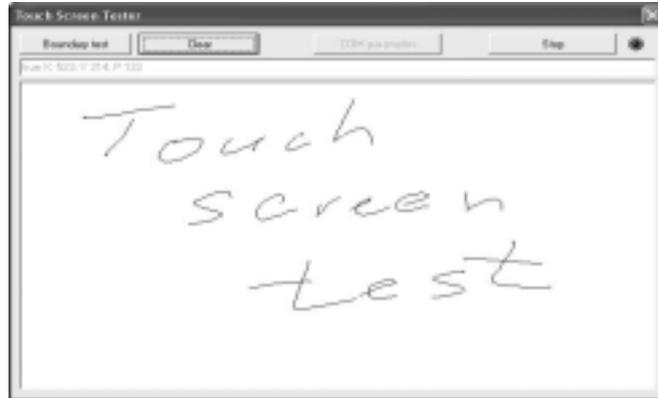


图12. 触摸屏控制器的测试应用

Cypress已开发出可读取COM端口并显现数据的PC应用程序，用于评估与测试。

在CY8C27443器件上实施第二种测量方法

CY8C27443器件采用第二种测量方法。该方法要求3通道输入ADC。在该设计中，采用了一个带内置触摸板的BP320240C LCD。读者可在Bolymin网站上找到有关BP320240C的产品说明书。

该测量方法也需执行校准算法。该算法可将LCD点转换为触摸屏点。

触摸屏控制器功能的简化原理图如图14所示。

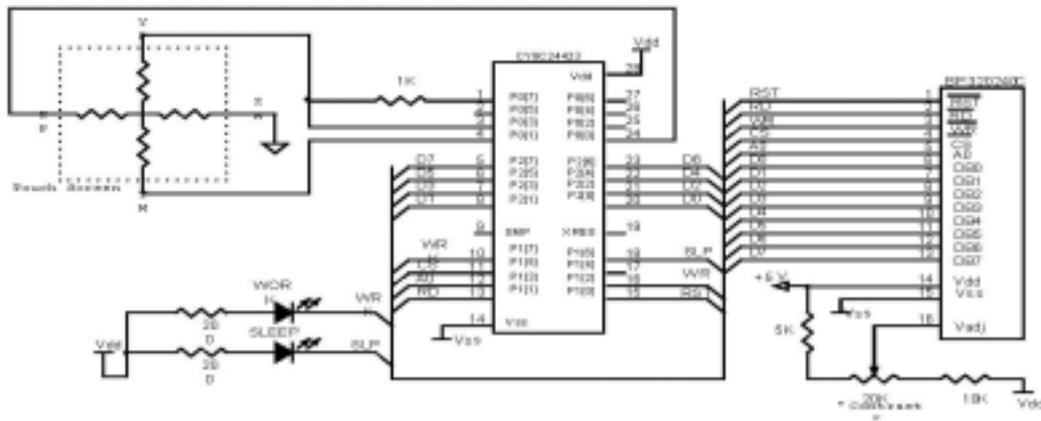


图13. CY8C27443的LCD与触摸屏控制器

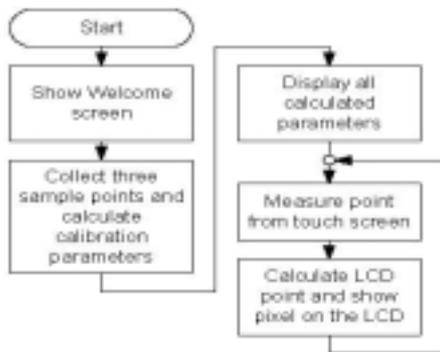


图14. CY8C27443的触摸屏控制器简化算法流程

由于本应用是以触摸屏使用为例写的一个样本，所以在每次器件上电后都需进行校准。实际应用中，在制造或服务阶段需进行校准，系数应写入非易失性存储器中并储存起来以便下次使用。

图15包含在CY8C27443控制下带有触摸屏的LCD图片。

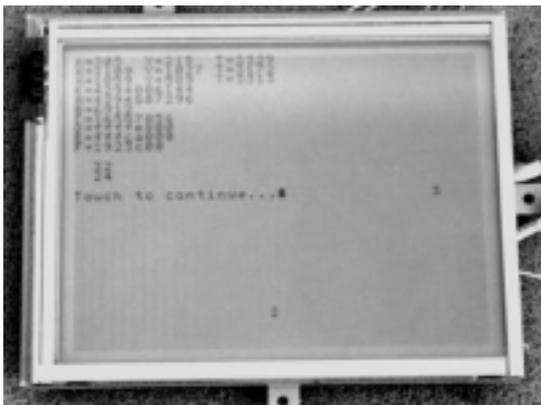
第一个图片是欢迎屏幕。图15b显示的是用于校准的屏幕，计算校准参数时，必须采集3个触摸取样点。图15c显示的是计算出的参数输出。最后一张图片显示的是绘画模式。在该模式下，触摸的每个点都在LCD上显示。



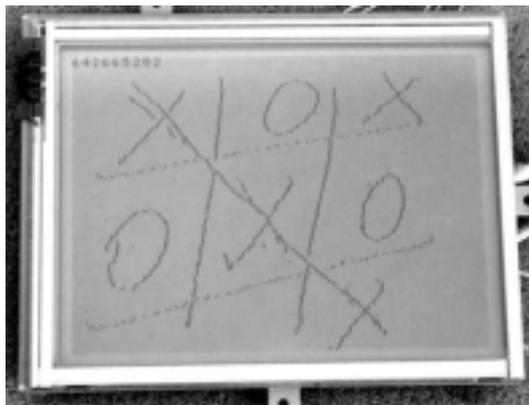
a) 欢迎屏幕



b) 校准屏幕



c) 计算出的参数输出



d) 绘画模式

图15. LCD快照

关于LCD

该设计中使用的LCD是安装在S1D3305控制器之上。有关该控制器的产品说明书可以从美国埃普森公司网站（Epson Electronic America）上获得。由于该控制器可用于不同的LCD分辨率，所以要求以特定的LCD参数进行初始化。

一般初始化的程序可以参见控制器的产品说明书。命令与数据的写入流程如图16所示。

LCD控制器的功能被设置为两层。第一层是使用内置8x8字体生成器的文本平面，第二层是图形平面。S1D3305产品说明书介绍了如何在特定模式下设置显示器。

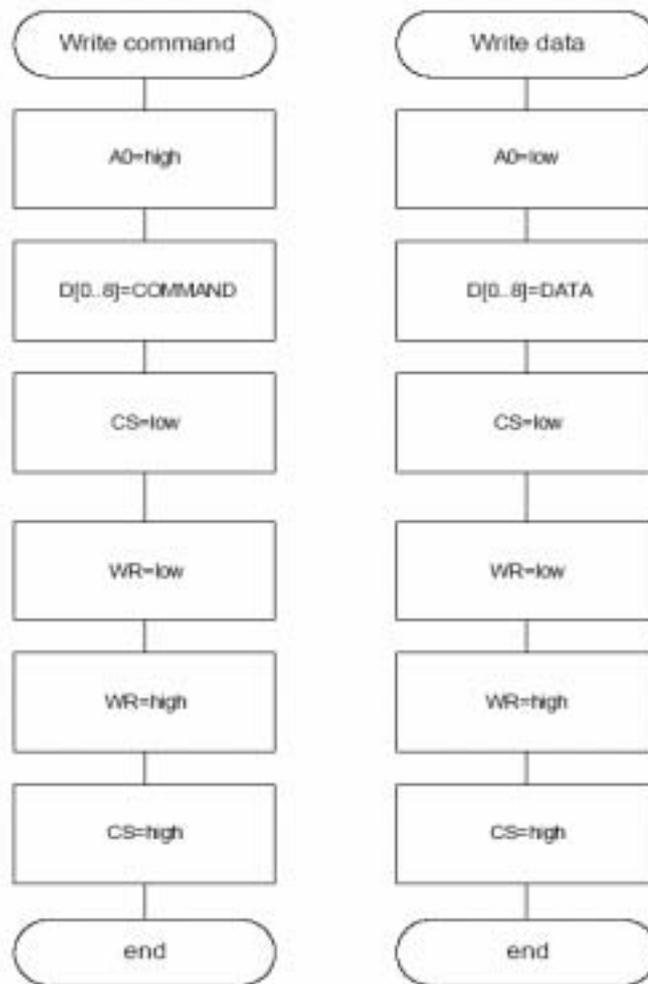


图16. 命令与数据写入流程图

总结

本应用手册介绍了两种触摸屏控制方法，一种校准算法，以及PSoC控制的触摸屏样例。

附件介绍了在CY8C27443与CY8C24423上实施的两种不同的控制方法，同时介绍了一种使用户能够测试触摸屏控制器的PC应用。

关于作者

姓名： Svyatoslav Paliy

职务： 应用程序工程师

背景介绍： Svyatoslav于2000年荣了利沃夫伊万弗兰科(Lviv Polytechnic)国立大学(乌克兰)理科硕士学位。其兴趣广泛，其中包括内置系统、Windows和Linux系统编程

联系方式： 你可以发电子邮件至：svt@isto.lviv.ua.

参考书目

[1] Data sheet for BP320240C 的产品说明书可从下列网址下载：

<http://www.bolymin.com.tw/product/data/BP320240C.pdf>.

[2] S1D3305 的产品说明书可从下列网址下载：

http://www.eea.epson.com/go/Prod_Admin/Categories/EEA/IC/ASSP/Display_IC/LCD_Controllers/go/Resouces/Manuals/s1d1335tm.

赛普拉斯半导体公司

地址：Bothell市东南街17号22027 201室

邮编：98021

电话：877.751.6100

传真：425.939.0999

<http://www.cypress.com/> / <http://www.cypress.com/support/mysupport.cfm>

© 赛普拉斯半导体公司2004年版权所有。保留所有权利。

PSoC™、PSoC（可编程片上系统）以及PSoC Designer™均为赛普拉斯半导体公司的商标。

本文提到的所有其他商标或注册商标均是其各自所有者的财产。

本文包括的信息如有更改，恕不另行通知。