



应用手册

AN2292

PSoC™ CapSense™的布局指南

作者：Ryan Seguine、Mark Lee

相关项目：否

相关器件系列：CY8C21x34、CY8C24794

相关应用手册：AN2233a、AN2277、AN2293、AN2318

摘要

本应用手册将从PCB布局、覆盖厚度、材料选择和底板设计方面来介绍PSoC CapSense应用的布局指南。

引言

电容式传感是一种在前置面板显示、消费类电子和汽车应用中迅速获得广泛推广的接口技术。该技术为我们带来了无限商机。由于涉及到的应用数不胜数，因此这里讲的设计原理只能作为基本指南。本文将介绍一些关于PSoC CapSense的布局和系统设计指南。

PSoC CapSense解决方案的基本电路和固件相对简单，开关操作环境的物理设计则更加简单。设计电容式传感系统时主要应考虑三方面的问题：印制电路板（PCB）、覆盖材料以及与PCB或电容传性感无关的其他因素。

如欲了解PSoC CapSense的电气和物理特性，请参见应用手册《AN2233a：电容性开关扫描》。如欲了解CSR用户模块（UM）的有关介绍，请参见UM数据表单。

PCB指南

PCB的布局应尽可能减小非按钮、滑块、触摸板等元件的影响。我们把按钮、滑块和触摸板元件作为导电材料来看待，如铜就是构成按钮、滑块或触摸板的仅有的材料。

从按钮、滑块和触摸板到PSoC的供电线迹不在有效传感范围内，因此不是按钮、滑块和触摸板元件的一部分。电路无效传感部分仅仅起到减小传感区内检测到目标能力的作用。

与电容式传感无关的PCB线迹和目标也会对按钮、滑块和触摸板元件造成影响，这种影响通常是有害的。

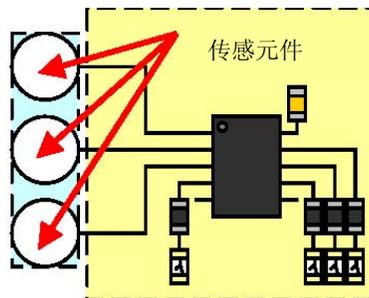


图1. 传感元件定义

PCB布局要尽可能减小这些相互影响，或者，即使不能减小到最小，也要让所有电容性元件都统一。CSR用户模块确实提供相关算法，能调整阵列中所有物体的原生电容（native capacitance）的差异，不过要尽可能保持阵列的平衡。以下各部分将介绍一些最明显的影响因素，并给出电路板布局的准则。

按钮

按钮是连接到PSoC的唯一的电容性物体。如果手指等导电物体只局部遮住激活区域，那么按钮不必对电容的微小改变做出反应，只需确定是否存在导电物体。

形状

在许多电容性开关设计中，传感电容器的两个“极板”实际上是相邻的PCB焊盘或线迹。图2给出了一些按钮形状示例。

图2给出了用于电容性触摸传感的各种按钮的形状。图2中上面一行按钮显示了开关外壳非常薄的情况下使用的交叉式线迹（inter-digitated traces）。这种结构在按钮极其有限的情况下能更好地与启动按钮隔开。图中下面一行按钮显示了突出于周围接地层的专用大焊盘，可实现更大范围的传感。

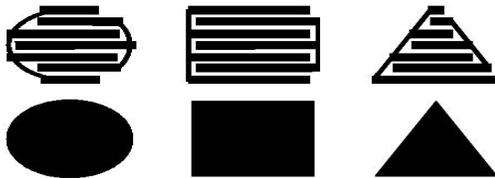


图2. 按钮形状

图3给出了被接地层环绕的专用大按钮形状的示范。

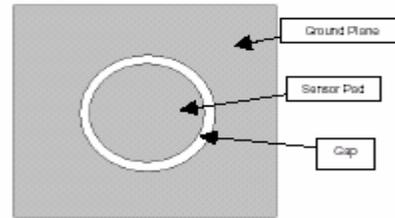


图3. 突出于接地层的大按钮

接地层
传感器焊盘
间隙

尺寸

在所有条件相同的情况下，较大按钮的性能通常更好。如果两个按钮连接到具有相同线迹的PSoC上，如果尺寸不同，那么灵敏度也不一样。

PSoC的有效按钮区域由线迹末端的较大导电焊盘决定（图1）。通常，在没有故意压下拇指的情况下，我们应让按钮的大小对应于手指的接触面积，如图4所示。

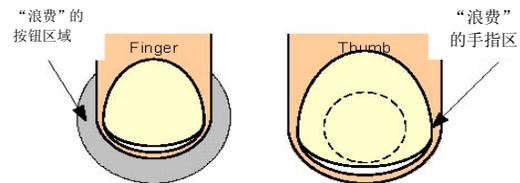


图4. 按钮大小和手指尺寸

按钮越大，灵敏度越高。不过，按钮尺寸的上限由待感测导电物体的有效面积决定（对人的大拇趾来说，约为0.8英寸）。图5显示了按钮灵敏度与按钮大小的基本关系。

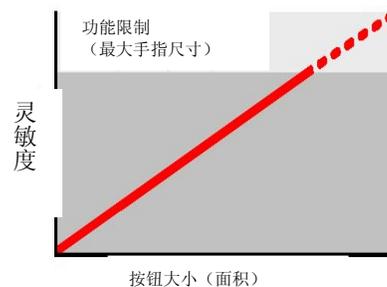


图5. 按钮大小和灵敏度的关系

为了通过较厚（大于2.5mm）的材料实现传感，我们推荐按钮的直径至少应为0.4英寸（10mm）。较小的按钮也能工作，但性能会下降。

按钮间距

如果按钮高度有限，而且按钮间距很小，那么按钮间可能会相互影响。电容元件应当接地，尽可能避免按钮间的相互干扰，并减小对噪声的灵敏度。空置的电容器按钮造成的输入损失应编程设为“强”GPIO驱动模式。

按钮离地净高

如果可能，接地层应与按钮放置在电路板的同一层上。按钮和接地层之间的净高对按钮的电容设置发挥至关重要的作用。在本应用手册中，按钮电容用 C_p 表示。按钮和接地层边缘的电场线如图6所示。 C_p 的大小与该电场有关。

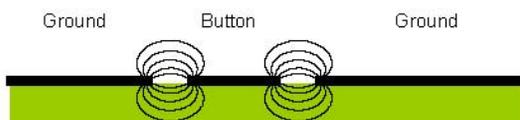


图6. 按钮和接地层之间的边缘场

当按钮净高增加时电容 C_p 减小。图7显示了三种按钮大小（直径为5mm、10mm和15mm）的情况下净高与 C_p 的关系曲线。在本例中，电路板采用FR4材料，厚度为0.062英寸（1.57mm），按钮上部没有覆盖层，接地层与按钮同位于电路板上，按钮下没有金属层。

对大多数的设计来说，开始时最好选用直径为10mm，离地净高为0.020英寸（0.5mm）的按钮。

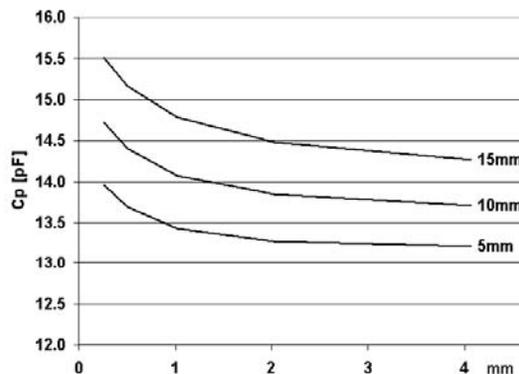


图7. 按钮电容 (C_p) 与按钮离地净高和按钮直径之间的函数关系

按钮下方金属衬垫的影响

图6显示了电路板的按钮侧细节。电路板的非按钮侧没有显示，不过我们推荐在按钮下放置金属填充区，以控制按钮的电容。金属衬垫可提高按钮计数的信号电平，又不会加大噪声电平。对厚度为0.062英寸（1.57mm）的FR4电路板来说，在不使用手指的情况下，如采用金属衬垫，按钮原始计数根据配置因素的不同可增加2%至20%。如果手指按下按钮，在采用金属衬垫的情况下，按钮原始计数也会略有增加。这种响应的差异有助于调节灵敏度（计数的差异）。按钮下放置的金属层不会提高灵敏度，但会增加原始计数。

金属衬垫可为接地方式或浮动方式，因为其安装方式对按钮的灵敏度影响微乎其微。金属衬垫接地或浮动可能受其他因素的影响，但按钮的灵敏度与此无关。

噪声

CSR用户模块配置的张弛振荡器包括可数字编程的电流源，该电流源是一款数模转换器（DAC）。我们用SetScanSpeed函数在软件中设置ScanSpeed参数，该函数的介绍请见CSR用户模块数据表单。就给定的DAC电流电平而言，提高ScanSpeed参数会增加按钮的计数。CSR用户模块经过配置，可以提供两种测量方法：周期测量和频率测量。

对两种方法来说，若计数数量为 n ，那么 n 将随ScanSpeed线性增长，且噪声包络随 n 的平方根而增加。从噪声、计数和ScanSpeed之间的关系看，计数和噪声之比与ScanSpeed的平方根成正比。这就是说，如果您的系统能够承受更长的按钮扫描速率，那么您就能通过提高ScanSpeed来改善信噪比（SNR）。

CSR用户模块中，位于张弛振荡器中心的DAC电流通过SetDacCurrent函数在软件中进行设置。一般情况下，在模拟电路中，噪声电平会随着偏置电流的提高而下降。我们在一个应用中观察发现，DAC电流为 $8.8\mu\text{A}$ 时，产生 $\pm 10\%$ 的 3σ 的噪声； $4.4\mu\text{A}$ 时为 $\pm 20\%$ ； $2.2\mu\text{A}$ 时为上下 $\pm 30\%$ 。这是手指触摸按钮时的原始计数噪声电平。如果未触摸按钮，那么噪声电平大大低于1%的信号电平。

如果灵敏度较高，那么我们可以降低DAC电流以节约电源，同时又不会以牺牲按钮的性能为代价。如果覆盖层较厚，或环境噪声较大，在一定的电流电平下，可能没有足够的噪声容限。在这种情况下，只有提高DAC的电流，才能使按钮正常工作。

覆盖层的厚度会影响噪声电平。图8、9和10给出的实测特性曲线显示了覆盖层厚度的增加与噪声之间的关系。图8给出了手指触摸按钮与手指没有触摸按钮时平均原始按钮计数与覆盖层厚度的函数关系。图9和图10显示了在绝对计数和在平均原始计数的百分比的情况下， 3σ 的噪声包络与覆盖层厚度的函数关系。

手指触摸按钮时的噪声电平很大程度上取决于环境。手指作为天线，将噪声从荧光灯、电动机和其他噪声源耦合于按钮。

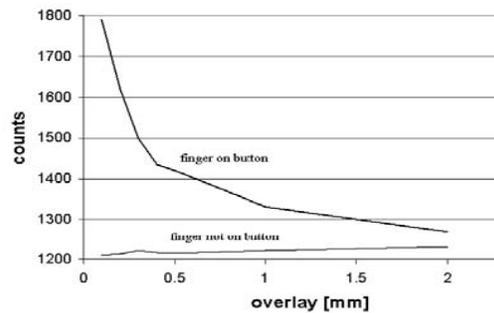


图8. 平均计数与覆盖层厚度的函数关系

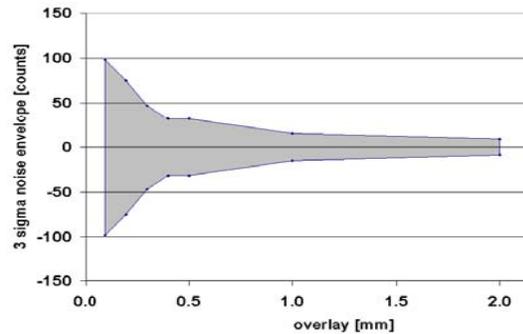


图9. 手指触摸按钮时噪声包络与覆盖层厚度的函数关系

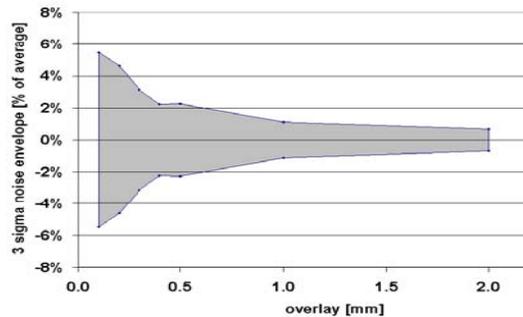
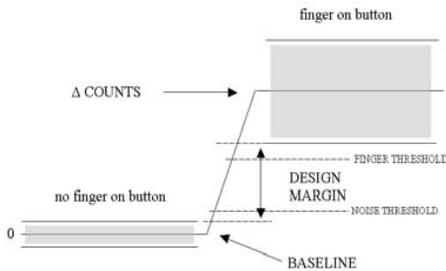


图10. 噪声包络与平均计数的函数关系

CSR用户模块包括触摸阈值和噪声阈值，如图11所示。上述参数在PSoC Designer的Device Editor中设置。手指按在按钮上时，计数将发生变化。

如果变化数值超过触摸阈值，那么按钮设为ON状态。如果变化数值低于噪声阈值的水平，那么按钮设为OFF状态。噪声包络定义了设计余量，如图11所示。触摸阈值和噪声阈值需照图设置。手指未触摸按钮时，噪声阈值设为高于噪声包络。手指触摸按钮时，触摸阈值设为低于噪声包络。如前所述，手指触摸按钮时的噪声很大程度上取决于按钮使用环境中的噪声源。



计数 手指没有触摸按钮 手指触摸按钮 触摸阈值 噪声阈值 设计余量 基线

图11. 手指和噪声阈值大小决定了设计余量

按钮设计范例

下面我们将给出一个设计范例。我们假定您是一位经验丰富的PSoC用户，希望在项目中使用CapSense按钮。CSR用户模块数据表里有范例代码，为软件侧的设计提供了良好的开端。我们首先要定义以下内容：按钮直径和离地净高、电路板材料、电路板厚度、覆盖层材料、覆盖层厚度、按钮扫描速率和CSR方法。DAC电流电平和ScanSpeed将在设计过程中确定。如欲了解有关CapSense的更多基本情况，敬请参阅应用手册AN2233a。

我们选择的按钮直径为10mm，净高为1mm，电路板材料为FR4，电路板厚度为0.062英寸(1.57mm)，覆盖层材料为丙烯酸，覆盖层厚度为1mm，这样，我们就能根据图7中的曲线图来确定C_p的值。如果不使用覆盖层，那么按钮的C_p为14.1pF。该值包括路由电容和PSoC引脚电容。张弛振荡器的斜升时间T_{charge}由方程式(1)计算得出。

$$T_{charge} = C_{Button} * V_{BG} / I_{charge} + t_x \quad (1)$$

- C_{Button} 为按钮电容。
- V_{BG} 为CSR的带隙电压
- I_{charge} 为DAC电流
- t_x是常量 (由CSR内部构件决定)

C_{Button}在手指不触摸按钮时为C_p，在手指触摸按钮时为C_p + C_F，即增加了手指触摸按钮的电容。V_{BG}为1.3V。t_x为0.2us。I_{charge}在软件中设置，8.8μA是设计中比较适用的起始点。电流低于该值，就会增加计数的噪声电平；电流高于该值，就会增大系统的功耗。为了将I_{charge}设为8.8μA，函数SetDacCurrent应传递参数0x80和0 (128*0.069μA)。关于此函数的更多细节，请参见CSR用户模块。T_{charge}的设置范围通常为10μs到20μs。如充电时间较长，会导致扫描率较慢。如果充电时电较短，将导致量化效应，这一点本节随后部分还将讨论到。

计数在一定时间T_{count}内在CSR用户模块中积累，这一时间段由ScanSpeed参数设置。在周期测量中，

$$T_{count} = (\text{ScanSpeed} - 2) * T_{charge} \quad (2)$$

在频率测量中，

$$T_{count} = (\text{ScanSpeed} - 2) / (f_{clock} / 255) \quad (3)$$

其中：

f_{clock}为24MHz

如使用周期测量法，手指触摸按钮将增加按钮的原始计数n。如使用频率测量法，手指触摸按钮将降低计数。这两种情况请见方程式(4)和(5)。在周期测量中，

$$n = T_{count} * f_{clock} \quad (4)$$

在频率测量中，

$$n = T_{count} / T_{charge} \quad (5)$$

本例使用的是周期测量法，扫描速率T_{count}每按一下约为40μsec。这时方程式(1)计算为：

$$\begin{aligned} T_{charge} &= 14.1pF * 1.3V / 8.8\mu A + 0.2\mu s \\ &= 2.28\mu s \end{aligned} \quad (6)$$

方程式(2)计算为：

$$40\mu s = (\text{ScanSpeed} - 2) * 2.28\mu s \quad (7)$$

改变方程式 (7) 的形式, 解出整数ScanSpeed:

$$\text{ScanSpeed} = 20, \text{ 且 } T_{\text{count}} = 41\mu\text{s} \quad (8)$$

手指不触摸按钮的情况下, 开关未激活, 根据方程式(4), 原始计数的计算如下:

$$n = 41\mu\text{s} * 24\text{MHz} = 984 \text{ 次} \quad (9)$$

如图8所示, 1mm的覆盖层在周期测量法情况下会使计数增加约10%。

$$n_{\text{finger}} = 984 * 1.1 = 1082 \text{ 次} \quad (10)$$

如果手指没有触摸按钮, 那么噪声电平非常低, 低于基线计数的1%。如果手指触摸按钮, 那么噪声电平是覆盖层厚度的函数。从图10可以看出, 覆盖层厚度为1mm时, 手指触摸按钮情况下, 噪声电平约为1.2%。我们在方程式 (9) 和 (10) 中代入 3σ 的噪声电平, 估算出按钮计数如下:

$$n = 984 \pm 5 \text{ 次} \quad (11)$$

$$n_{\text{finger}} = 1082 \pm 13 \text{ 次} \quad (12)$$

如手指没有触摸按钮, 按钮计数为979到989之间的随机数。如手指触摸按钮, 那么按钮计数将在1069到1095之间。手指是否触摸按钮之间的设计余量为 $1069 - 989 = 80$ 次。

这就是操作理论。系统进行配置, 然后在按钮按下时监控计数, 将理论与实际进行对比。图12显示了按钮按下时系统的原始计数。检测到的结果与预测非常吻合。

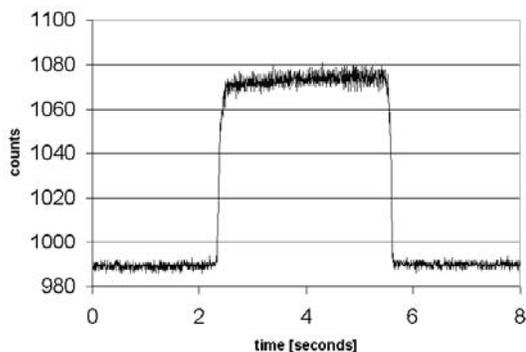


图12. 设计范例中按钮按下过程中检测到的计数

灵敏度和量化误差

张弛振荡器的标称频率 f_{osc} 正好是手指没有触摸按钮时的充电时间的倒数:

$$f_{\text{osc}} = 1 / T_{\text{charge}} \quad (13)$$

系统的灵敏度是手指触摸按钮时的计数减去手指没有触摸按钮时的计数。用周期测量法时, 手指触摸按钮时计数下降, 因此采用周期测量法时的灵敏度计算如下:

$$\text{灵敏度} = n_{\text{finger}} - n \quad (14)$$

采用频率测量法时, 手指触摸按钮时计数增加, 因此采用频率测量法时的灵敏度计算如下:

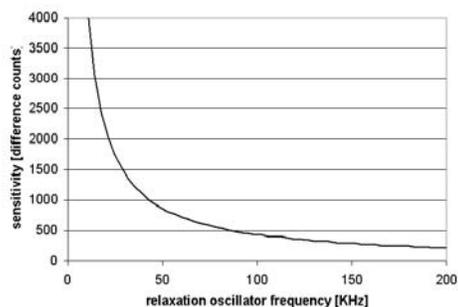
$$\text{灵敏度} = n - n_{\text{finger}} \quad (15)$$

PSoC同步响应于张弛振荡器中24MHz的时钟比较器:

$$T_{\text{sync}} = 1 / f_{\text{clock}} * \text{INT} (T_{\text{charge}} * f_{\text{clock}}) \quad (16)$$

采用周期测量法时, 考虑到量化效应, 我们可用 T_{sync} 代替方程式 (2) 中的 T_{charge} , 从而估算出灵敏度。

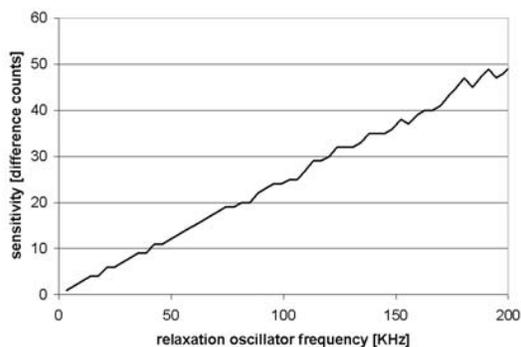
图13显示, 采用周期测量法情况下, 灵敏度是 f_{osc} 的函数。本例中的参数ScanSpeed为20, 手指没有触摸按钮时 $C_{\text{button}} = 15\text{pF}$, 触摸按钮时为 16.5pF 。DAC 电流为 $2.2\mu\text{A}$, 这时张弛振荡器频率约为 100kHz , 这也是推荐工作频率。请注意, 采用周期法时, 灵敏度随标称张弛振荡器频率的增加而下降, 尽管已考虑到量化效应, 函数曲线仍较平滑。提高张弛振荡器的频率可加快按钮的扫描速率, 不过会降低按钮的灵敏度。这在采用周期测量法进行系统设计时使我们要做权衡考虑的问题。



灵敏度 (计数差值) 张弛振荡器频率

图13. 用周期测量法, 考虑到量化效应时对按钮灵敏度的估算

采用频率测量法时，计算灵敏度的方法也与上述类似。图14显示，采用频率法时，灵敏度是 f_{osc} 的函数。本例中，参数ScanSpeed为255，手指没有触摸按钮时 $C_{button}=15pF$ ，触摸按钮时为 $16.5pF$ 。DAC电流为 $2.2\mu A$ ，这时张弛振荡器频率约为100 kHz。



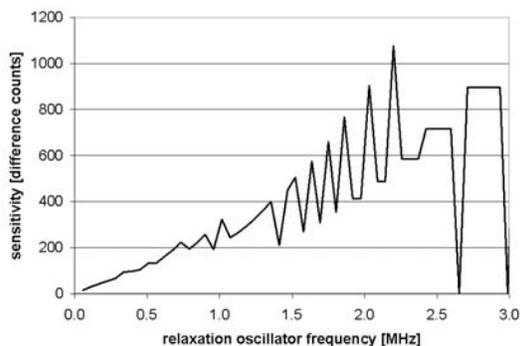
灵敏度（计数差值） 张

弛振荡器频率

图14. 用频率测量法，考虑到量化效应时对按钮灵敏度的估算

请注意，采用频率法时，灵敏度随标称张弛振荡器频率的升高而升高。

提高张弛振荡器的频率可加快按钮的扫描速率，也会提高按钮的灵敏度。这时采用频率测量法的优势之一，不过这种优势也有其局限性。如果张弛振荡器的频率设为1MHz或更高，那么就难以很好地定义按钮的灵敏度，如图15所示。



灵敏度（计数差值） 张弛振荡器频率

图15. 高频情况下采用频率测量法时的量化效应

采用频率测量法将振荡器的频率设为2.0—2.5MHz，这样做可得到高的灵敏度，不过我们并不推荐这样做。

如果振荡器频率较高，那么系统参数略有改变，就会导致灵敏度变化很大。如图15所示，灵敏度甚至可能降为零。

滑块

滑块是连接到PSoC的一组呈一条直线相连的电容器物体。滑块通常是直线型的，沿直线运动，不过只要不与其他电容式传感元件交叉，也能沿其他形状的路线运动。滑块根据相邻电容元件间的差动电容变化确定导电物体的质心（质量中心）位置，该导电物体分辨率要比其采用插值算法计算出实际分辨率要高。

尺寸与布局

元件越大，保持时间越长，这一原理也适用于滑块，但其有效值也有上限。手指等导电物体在某一时间不仅只与一个滑块元件耦合，这是由于内插位置要求一个以上元件的数据。

为了确保导电物体与一个以上的元件耦合，每个元件必须足够小，这样手指就能覆盖其外边缘。不过，元件也要足够大，这样才能通过应用覆盖层工作（进行传感）。

由于滑块元件实际上是两个其他的按钮之间插入的按钮，按钮的大小也适用于滑块。滑块元件的区域应与0.4英寸（1.0cm）的按钮相同，即0.125平方英寸（3.14平方厘米）。此外，我们也能使用比这个尺寸还小的滑块元件，不过其灵敏度会有所降低。

为了在滑块元件之间有更多的覆盖层，在元件之间实现更好的差动变化，我们可采用锯齿形状。这种形状的点数不限，不过通常一两个点就足够了。图16给出了相对大小尺寸的设计示意图。

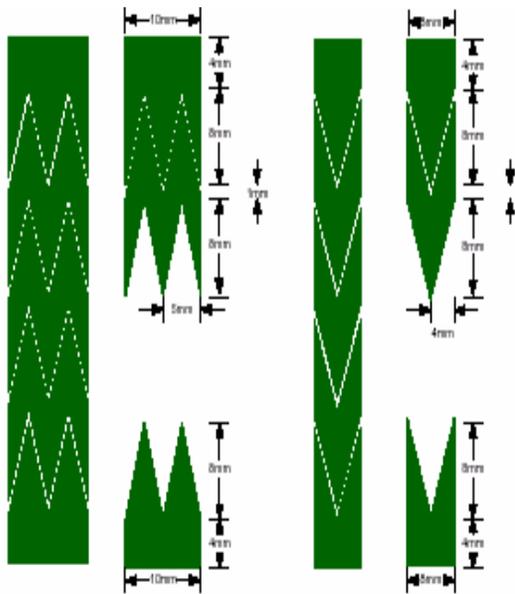


图16. 滑块元件的形状

间距

滑块元件的间距与周围的接地层有关，这一点与按钮的要求相同。滑块元件和接地层之间的间距为0.020英寸（0.5 mm），这能将二者间的边缘电容降到足够小，对传感的影响非常小。

当PSoC不能有效地传感引脚时，传感引脚接地，因此有源的滑块元件两侧都由更多的接地层包围。正由于此，我们应在滑块元件间保持同样的间距，即0.020英寸(0.5mm)。减小间距的确实会让按钮彼此更加靠近，但在传感时滑块元件间的附加边缘电容往往超过了这种彼此靠近、适合内插的优势。

双工法

如果IO很重要，那么将两个滑块元件接到一个PSoC引脚上能使被PSoC传感的滑块数量加倍，也会使直线距离加倍。CSR用户模块向导支持用户选择这种接法，不过滑块中元件的引脚分配是给定的。图17给出了同向双工滑块的示例，同向双工滑块最少要采用6个引脚。表1显示了基本的双工法表。图18和图19显示了PSoC收集到的有关手指位置的数据。

在图18和19中，我们注意到，连接到PSoC引脚的两个元件的电容都有所增加。尽管在不止一处检测到电容变化，但两处中只有一处位置的所有相邻元件的电容都高于基准。

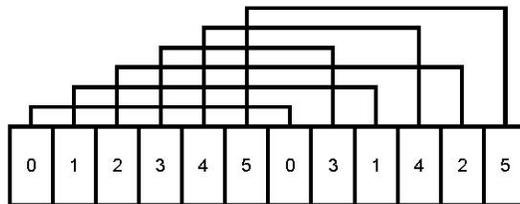


图17. 同向双工滑块的基本示例(六引脚)

表1. 常见双工表

6引脚, 12元件 8引脚, 16元件 10引脚, 20元件

6 Pins, 12 Elements	8 Pins, 16 Elements	10 Pins, 20 Elements
3	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
3	6	6
3	7	7
1	0	8
4	3	9
2	6	0
5	1	3
	4	6
	7	9
	2	1
	5	4
		7
		2
		5
		8

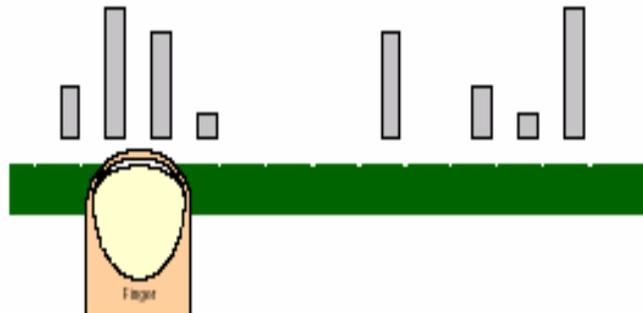


图18. 手指按住滑块左侧时的滑块数据

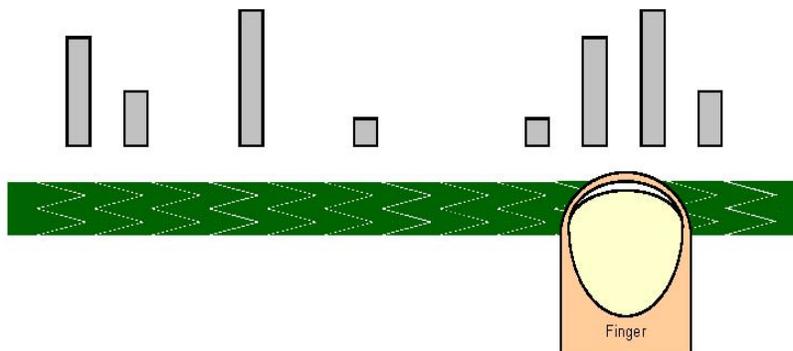


图19. 手指按住滑块右侧时的滑块数据

触摸板

触摸板与滑块类似，也是一组电容元件的集合，可检测手指等导电物体的位置，其分辨率大于原生的分辨率。触摸板能在两个轴上定义位置。不过，尽管增加了这种功能，但需要付出一定的代价，即覆盖层材料厚度只能为0.5 mm，传感区域也相应缩小。

尺寸

触摸板的尺寸由设计要求决定，同时也受电容元件尺寸的物理限制。如滑块一样，导电物体也应接触或耦合于一个以上元件。

布局

触摸板应用可采用许多不同的布局，这些布局均具有两组电容元件：**x轴**和**y轴**元件。**x轴**和**y轴**上对应的元件必须在覆盖的区域上交迭（不是绝对的），以便多一行和一列以上的电容元件检测手指的按压。**x轴**和**y轴**多重检测是内插的要求，有关介绍见滑块部分。

请注意，以下布局仅供参考，可能受现有专利的限制。

触摸板布局的目的是最大限度地扩大铜等导体所覆盖的区域，以满足定义行列所需的空间。我们可以选择三角形、方形、六边形、八边形等。图20和图21给出了不同形状的示例。

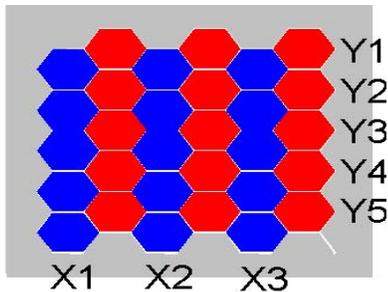


图20. 六边形触摸板布局

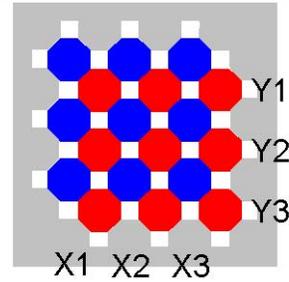


图21. 八边形触摸板布局

在上述两种布局情况下，对一般触摸板来说，我们应用符合传感元件轮廓的接地层围绕触摸板，这能在PSoC设备只有一个引脚工作时模拟内部围绕元件的接地传感元件的效果。

PSoC到触摸板的线迹处于2层PCB板的底层。重要的是将所有线迹延长到电路板的边缘，这使PSoC引脚的存取更加一致。

非CapSense PCB元件

在设计电容式传感应用时，重要的是不仅要考虑直接与传感相关的电路，还要想到整个电路对各种传感器元件及其线迹的影响。PCB元件常对灵敏度造成负面影响。电容器、连接器、电阻器以及其他IC等硬件元件会使其接触到的按钮的 C_p （原生电容）有所升高。线迹即便与传感无关，也会耦合于传感元件。高频通信线路会影响张弛振荡器。正由上述及其他各种原因，电容式传感设计应考虑整个电路板的布局，并进行优化。

电路板的尺寸

PCB的尺寸不管大小，通常由设计的物理限制决定。

电路板的面积

就电容式传感来说，整个电路板的面积并不重要。重要的是传感元件和线迹覆盖的面积。较好的做法是尽可能缩短PSoC到传感器的距离，从而缩小覆盖区域。具体做法之一，就是将PSoC置于传感元件的中心，这有助于优化电路板的面积。

电路板的厚度

标准的PCB厚度通常不会对电容式传感应用造成影响。基于0.020、0.047和0.063英寸厚度的PCB设计完全能通过材料覆盖层完成传感工作。较薄的FR4乃至Kapton可能会降低灵敏度。如果对电路板的材料或电路板的厚度没有具体的设计要求，那么我们建议PCB的原型应采用典型的按钮和接地层，这样 C_p 的特性能够得以确定。随着电路板厚度的缩小， C_p 会不断增加。如本应用说明前面所述，灵敏度由 C_p 决定，因此电路板的厚度对CapSense系统的性能来说，非常重要。

电路板无按钮侧位于按钮下的金属层或接地层通常会发挥积极作用。如果采用多层电路板，那么内层上转换开关下的区域应清空。如欲了解按钮下放金属垫板的效果，请参见本应用说明的按钮部分。

电容式传感线迹

如前所述，PSoC到传感器的线迹通过提高 C_p 值并降低SNR可降低这些传感器的灵敏度。线迹越长，就会增加不与手指位置互动的传感电路的并行电容，从而导致信号下降，不利于信号传输。线迹越长，会使线迹受到更多电路内部和外部噪声源的影响，从而导致噪声增大。

长度

缩短PSoC到传感器的线迹还有助于避免其他设计元件与传感线迹发生耦合，所以要尽可能缩短PSoC到传感器的线迹。根据路由需要，尽可能减少通路的数量，从而缩短线迹长度。

宽度

线迹的宽度会增加系统中铜覆盖的面积，从而提高传感器的 C_p ，同时也会增加与其他层上元件的耦合。0.0065英寸到0.008英寸的线迹宽度对大多数应用而言都足够了。

位置

只要可能，电容式传感线迹的放置位置应尽可能减少与其他设计元件（如其他电容式传感线迹）之间的互动。

此外，使线迹位于PCB上与用户相反的一面可减小手指接触线迹的影响，从而确保传感器引脚上的所有电容变化都是手指（或其他导电物体）与有源传感区互动的结果，而不是手指与线迹互动的结果。

电容式传感线迹不要接近或并行于高频通信线路，如I2C或主SPI。通信线路的频率会改变振荡器的性能，从而影响电容式传感的性能。如果我们需要让通信线路与传感器引脚交叉，那么应确保二者彼此垂直，如图22和23所示。

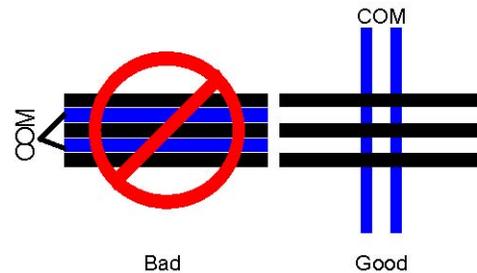


图22. 传感和通信线路的多层处理

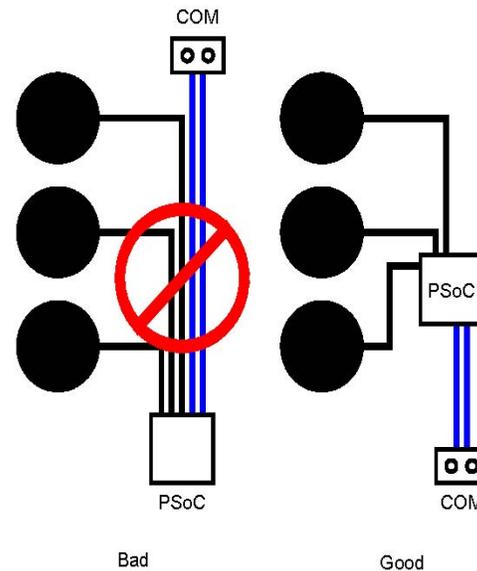


图23. 传感和通信线路在同一层上的处理

减小通信线迹和传感器线迹之间互动的有效方法之一，就是通过端口分配来实现隔离。图24显示了采用32引脚QFN封装时的基本隔离情况。通信和寻址引脚分配于端口1。其他三个端口完成传感工作。由于不同功能间彼此隔离，因此能确保PSoC的通信和传感线迹不会发生相交。

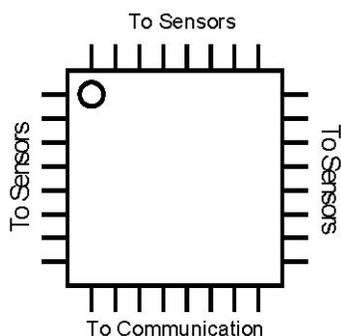


图24. 通信与传感之间的端口隔离

接地层

为减小地面和传感线迹之间的互动，大多数CapSense电路中均采用了接地层。不过，有时又需要地面与传感线迹之间的互动。大多数应用中，接地层应位于电路板的传感器侧。如欲了解按钮、接地层以及二者之间的间隔的有关信息，敬请参见本应用说明的按钮部分。

在各种设计中，如果对垂直高度的要求很严格且金属和其他物体的位置靠近传感PCB的话，那么在传感器之间的接地层有助于保护电路，并能获得较一致的结果，不过代价是会对灵敏度造成一定影响。就传感应用而言，数据的可靠性通常是最重要的因素。金属和传感元件间保持互动，就能提高可靠性。

位置

如果电路板的高度限制不那么严格，而且PCB的非传感器侧也没有什么具体要求，那么我们可使传感线迹沿着PCB板的非传感器层连接至传感器。接地层位于电路板的顶层，以避免系统因与传感线而不是传感器发生互动而发生误检。

如果电路板的高度限制严格，且PCB的非传感器侧有其他元件，那么我们既可以让线迹位于按钮的同一层，也可以不这么做。接地层应位于非传感器侧，覆盖按钮下面的区域。

填充率

就接地层在传感器层上的设计而言，40%的填充率有助于保护传感线迹，同时又不会与其发生过多互动。如果接地层位于非传感器层，需要与其他设计元件隔离，那么60-80%的填充率才有助于保护电路。100%的填充率并不需要，只会增加每个传感器的 C_p 值，发挥的保护作用不会大于填充率为60-80%的情况。

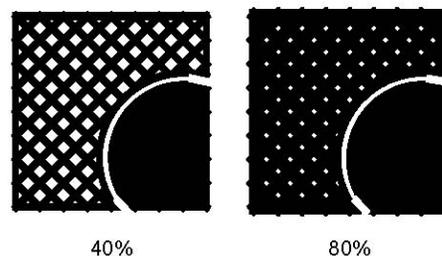


图25. 部分接地层填充率

其他电路板元素

连接器、电容器、电阻器和其他IC等其他PCB元件耦合于电容式传感器和线迹，就会影响传感和灵敏度。我们应努力限制这种互动，以提高SNR，进而提高传感电路的灵敏度。

连接到其他电路板元件（如ISSP编程器）的传感线对外部噪声更敏感，由于线路中金属区增大，其 C_p 值也更高。我们建议，电容式传感应用中的传感线只连接到传感器，从而避免在编程引脚P1[0]和P1[1]放置转换开关。

靠近电路上较大金属元件的传感器和传感线迹将与金属元件发生互动，往往会造成不良影响。我们建议，传感器和传感线迹应与其他电路元件相隔离，这对天线和其他信号发送/接收元件尤其如此。如欲了解有关信息，请参见应用说明AN2318的“PSoC CapSense(TM)应用的EMC设计考虑”部分。

覆盖层

根据设计，一般不允许最终用户接触裸露的PCB或只采用阻焊技术。通常，PCB表面上通常有一个材料覆盖层，避免用户接触电路，同时也保护电路不受环境的影响。

属性

CapSense应用中的覆盖层不能有传导性。金属和其他导电材料放在两个导体面板（如手指和传感器）之间时，不会形成电容介质。

根据方程式（17）计算并行面板电容的值。

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad (17)$$

A/d 之比反映了简单系统的形状。 A 是导体面板的面积， d 是面板间的距离， ϵ_r 是传感器间材料的介质常量（即介电常数），而 ϵ_0 是自由空间的介电常数。

电容式传感器的形状比并行面板电容器更复杂，传感器的导体包括手指和PCB铜导体。总体说来，函数 $f(A,d)$ 反映了这种电容系统的形状。方程式(18)给出了形状、介质常量和系统电容之间的关系。

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 f(A,d) \quad (18)$$

与并行面板电容器相似，传感器的电容也与 ϵ_r 成正比。

不同的材料

表2给出了一些常见覆盖层材料的介质常量。如果材料的介质常量在2.0至8.0之间，那么就非常适合电容式传感应用。

表2. 常见材料的介质常量

材料	ϵ_r
空气	1.0
丽光板	4.6~4.9
玻璃（标准）	7.6~8.0
玻璃（陶瓷）	6.0
Mylar®聚脂薄膜	3.2
树脂玻璃	2.8
ABS	3.8~4.5
木质	1.2~2.5

空气的介质常量为1.0，不太适用于电容式传感应用。事实上，通过空气传感的难度比通过ABS塑料传感要大四倍，不过这并不是说ABS覆盖层的灵敏度肯定比空气大四倍。如果材料的介质常量较高，那么在覆盖层厚度相同的情况下，它给出的计数要略高于介质常量较低的其他材料。正由于此，我们建议在传感器和覆盖层材料间不要有空气间隔。从机械角度看，我们也应消除空气间隔。请见以下的粘合剂部分。

按钮和接地层之间的距离是一个对原始计数影响大于覆盖层材料介质常量的设计参数。调节按钮与接地层之间的距离以及选择适当的覆盖层材料均能增加原始计数，但前者比后者要容易得多。这一特点对设计工作很有利，因为覆盖层的介质常量很难进行批次控制，而PCB的特性则可以严格控制。

厚度

如图26所示，覆盖层的厚度与灵敏度成反比。如欲了解这一特性的具体示例，请见本应用说明的按钮部分。

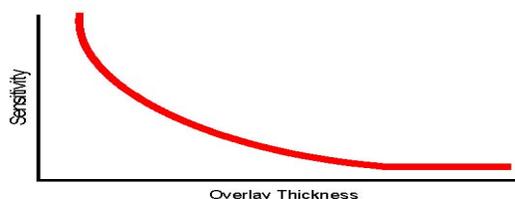


图26. 覆盖层厚度与灵敏度的关系

表3列出了针对不同PSoC CapSense应用建议采用的最大覆盖层厚度。

表3. 设计元件覆盖层厚度

设计元件	
按钮	小于 4.0毫米
滑块	小于 1.0毫米
触摸板	小于 0.5毫米

粘合剂

覆盖层材料不得与传感PCB间断接触。为了确保连续接触，应采用粘合剂。选择粘合剂时，重要的是粘合剂不能保持电荷。使用“双面胶”会影响电容式传感电路的性能，因为胶带本身具有一些传导电荷吸收属性。

3M提供两种广泛使用的覆盖层粘合剂**467**和**468**，都是双面带有粘性的，而且不保持电荷。这两种粘合剂多年来被标签和薄膜开关等制造商广泛使用，已被视为业界标准。这两种粘合剂都足够薄，不会影响传感元件。如欲了解上述粘合剂的全部信息以及如何获得原型设计所需的样品，请参见3M公司的网站 (<http://www.3m.com>) 上的“产品”页面。

底板

我们在前面章节讨论有关特定设计元件时已提到了CapSense应用中底板对电容式传感器灵敏度的影响，这主要是底板与传感器和从IC到传感器的线迹发生互动而造成的。

影响传感用的三种最常见的底板设计元件分别是金属支撑结构、通信线缆以及传感PCB和覆盖层材料间的分隔。

后者在上面覆盖层部分已讨论过了。只要可能，金属支撑结构就必须与传感元件和线迹相隔离。如果需要支撑结构，我们建议采用非金属结构。如果必须要金属支撑结构，那么建议接地层的填充率应达到**80%**，以保护电路。

通信线缆和有线会与传感元件互动，将自己的高频信号强加给张弛振荡器。只要可能，通信线缆就必须与传感器和线迹相隔离，也可采用填充率为**80%**的接地层与传感器隔离。如欲了解有关内容，请参见应用说明AN2318。

结论

电容式传感特性和深奥的电场使设计面临着一些极其复杂的挑战。针对各种设计，不可能有万能的设计方案。我们只能凭借实践经验，提供一些有效的指南，帮助布局和设计工程师找到前进的方向。有时电容式传感可能要进行多次设计修改，才能找到最佳的应用布局。不过，我们只要根据过去的成功经验，了解当前的设计工作，就能够减少设计修改，加速设计进程。

作者简介

姓名: Ryan Seguine
职务: 产品市场营销工程师
背景: 2004年荣获华盛顿大学理学学士学位
联系方式: rxi@cypress.com



姓名: Mark Lee
职务: 高级应用工程师
背景: 1992年荣获华盛顿大学电气工程博士学位
联系方式: olr@cypress.com

赛普拉斯半导体公司
地址: 林恩伍德市D大厦西南街162号2700
邮编: 98087
电话: 800.669.0557
传真: 425.787.4641

<http://www.cypress.com/>

© 赛普拉斯半导体公司2005年版权所有。保留所有权利。

PsoC是赛普拉斯半导体公司的注册商标

“可编程片上系统”、PsoC、PSoC Designer和PSoC Express均是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。美国制造。