
通过 SAMA5D2 MPU 实现 QTouch® PTC 子系统

简介

本文档提供了用于优化 Microchip SAMA5D2 内置 QTouch® 外设触摸控制器（Peripheral Touch Controller, PTC）模块的推荐配置值。如果将 PTC 与 SAMA5D2-PTC-EK 板搭配使用，则可以通过 XPRO1 和 XPRO2 连接器连接客户触摸面板。随后，SAMA5D2-PTC-EK 板或客户触摸面板均可用作主板。驱动程序和固件不改变。

参考文档

标题	文档类型	文档编号
运用 SAMA5D2 MPU 实现 QTouch® 解决方案	应用笔记	AN2472

目录

简介.....	1
参考文档.....	1
1. QTouch 外设触摸控制器 (PTC) 概述.....	4
2. 优化自电容或互电容测量参数.....	5
2.1. 优化条件和目标.....	5
2.2. 优化方法.....	5
2.3. 时序优化.....	12
2.4. 参数诊断.....	15
3. PTC 工具箱.....	17
3.1. PTC 控制台命令.....	17
4. 开发工具.....	19
4.1. 简介.....	19
4.2. SAMA5D2 PTC 软件.....	19
4.3. SAMA5D2 PTC 评估工具包板.....	19
4.4. 标准触摸板: QT1、QT2 和 QT6 Xplained Pro.....	20
4.5. 客户 PCB.....	21
4.6. 启动/校准时间.....	21
5. 抗噪建议.....	22
5.1. 简介.....	22
5.2. 传导噪声定义.....	22
5.3. 调节噪声性能.....	22
5.4. 灵活适应 VDDANA 的变化.....	22
6. 影响触摸灵敏度的各项因素.....	23
6.1. 传感器设计.....	23
6.2. 自电容测量的电极尺寸.....	23
6.3. 互电容测量的电极尺寸.....	23
6.4. 介电面板厚度和材料.....	23
6.5. 接地负载.....	23
6.6. 接地返回.....	24
7. 版本历史.....	25
7.1. 版本 A——2017 年 11 月.....	25
Microchip 网站.....	26
变更通知客户服务.....	26

客户支持..... 26

Microchip 器件代码保护功能..... 26

法律声明..... 27

商标..... 27

DNV 认证的质量管理体系..... 28

全球销售及服务网点..... 29

1. QTouch 外设触摸控制器 (PTC) 概述

QTouch 外设触摸控制器 (PTC) 子系统在作为按钮、滑块和滚轮使用的传感器上提供用于电容式触摸测量的内置硬件。PTC 支持互电容和自电容测量，无需任何外部元件。它能够出色提供灵敏度和抗噪性以及自校准功能，并且可最大限度地减少用户的灵敏度调节工作。

2. 优化自电容或互电容测量参数

本节定义了实现快速准确触摸传感器的最佳参数。

内容涵盖针对自电容或互电容两种触摸的优化方法。

2.1 优化条件和目标

节点和按键的优化取决于传感器的使用方式与外部条件，例如，触摸力度的强弱、是否在整个传感器表面上触摸等等。这些条件均会影响相关参数。优化取决于以下几点：

- 传感器金属与手指之间的隔离层厚度
- 接触条件下的手指触摸以及增量触摸值的评估结果
- 灵敏度目标
- 接触触摸条件下用于定义阈值的增量
- 接触触摸条件下的节点噪声测量结果
- 噪声抑制目标
- 传感器的补偿电容（Compensation Capacitance, CC）值的测量结果（用于获得时序参数）

注：节点索引为 0 到 n-1，遵循通道定义 1 到 n 的顺序。执行优化时，需触摸传感器逐个索引来完成。

2.1.1 随机降噪

噪声测量结果为均方根（Root Mean Square, RMS）值。

公式如下：

$$\text{RMS} = 1/N \cdot \sum_{n=0}^{N-1} (\text{sample} - \text{mean})^2$$

其中，N 约为 1024 个采样，“mean”为采样平均值。

未触摸传感器时，噪声小于 10 位值的 2 个 LSB。

在触摸条件下，噪声增大最高 10 到 20 倍。但是，这可以通过滤波电阻（Rs）或过采样来加以限制。

降噪的第一步是扩大电阻选择（Rsel）字段，以便提高模拟滤波的效率。

在第二步中，可利用过采样对噪声进行平均处理。但这样做的缺点是会降低触摸面板的扫描速度。

可接受噪声的目标基于触摸增量的信噪比（Signal-to-Noise Ratio, SNR）。

如果 SNR 值介于 18 和 34 dB 之间，则噪声处于可接受范围内。

2.2 优化方法

2.2.1 变量

数据采集

- idx = 通道索引
- 信号和参考，增量 = abs(信号 - 参考)
- CC = 补偿电容

- 按键状态

增量参数

- gaina = 模拟增益值
- gaind = 数字增益值
- Dyn = $1024 \times \text{GainD}$, 最大信号动态范围代码
- Rs = 串联电阻, 可通过 Rsel 选择器字段编程为 0、20、50 或 100 k Ω
- 检测阈值

时序参数

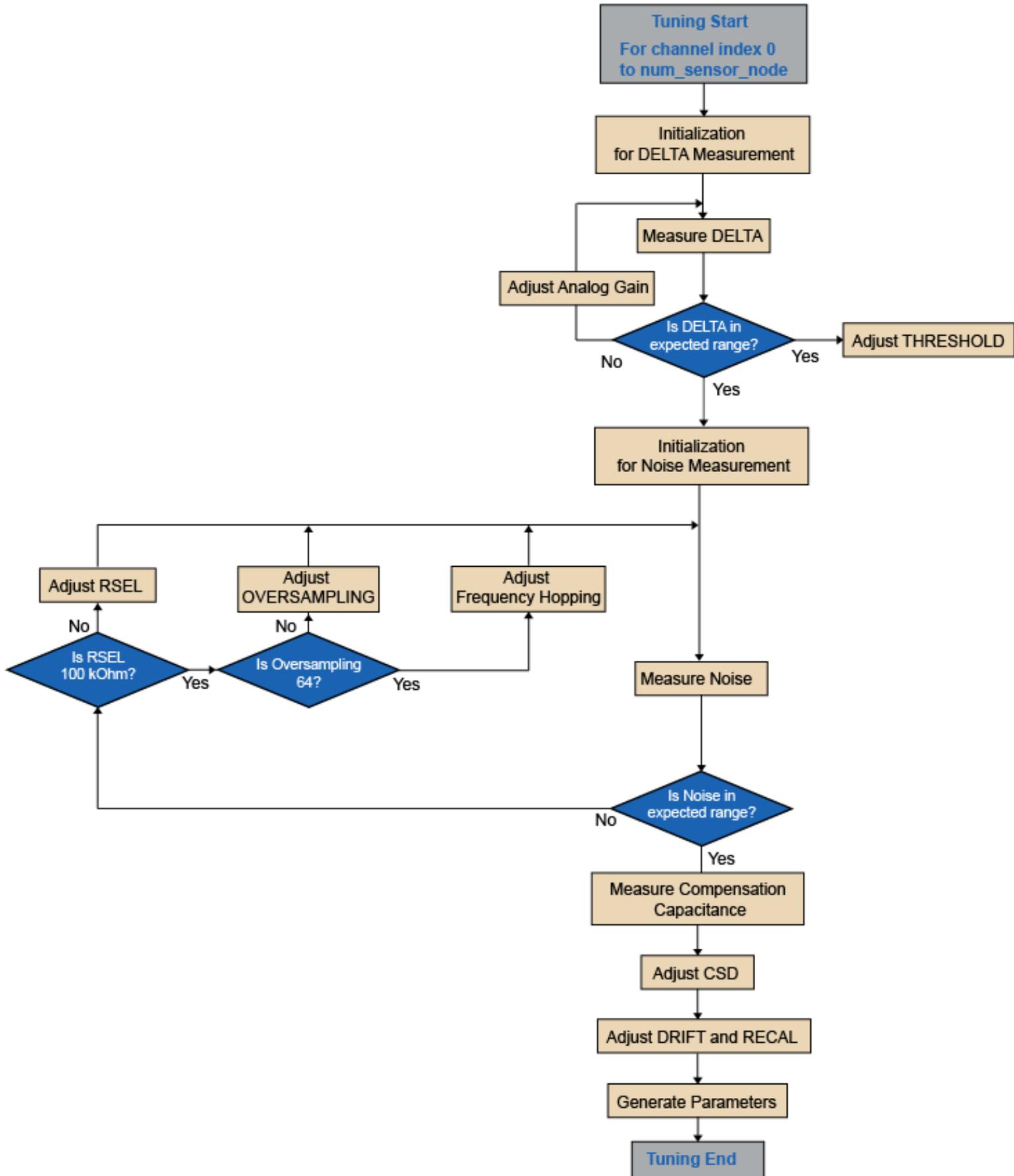
- CSD = 电荷共用延时
- OSR = 数字滤波器的过采样比
- Tb = 时基值 (以 μs 为单位, 始终为最快的 1 μs)

统计数据

- 均值 = $\{n \text{ 个(增量)之和}\}/n$, 即增量的平均值 (增量 = $\text{abs}(\text{信号} - \text{参考})$)
- Stdev = $\text{SQRT}(\{n \text{ 个(增量-均值)}^2\text{-之和}\}/n)$, 增量的标准差 (噪声测量)
- SNR = $20 \times \text{LOG}_{10}(\text{均值}/\text{Stdev})$, 增量的信噪比
- ENOB = $(\text{SNR} - 1.76)/6.02$, 传感器测量的有效位数
- Num = 用于均值、Stdev, SNR 和 ENOB 计算的采样数 (至少为 1024)

2.2.2 操作流程

以下流程图说明了优化流程。



2.2.3 增量测量参数初始化

邮箱参数

- CSD = 20
- Rs = 50 kΩ
- 时基 Tb = 1 μs (PRSC = 1)
- gaina = 16
- gaind = 1
- OSR = 64
- 阈值 = 4
- 滞后 = 25%
- 刷新 = 1
- 无跳频
- Rs、PRSC 和 CSD 均无自动校准

注：如果阈值非常低，则会限制影响增量值的 DRIFT 和 RECAL 函数。

漂移和重新校准参数设置为较大的时序值：

- Anti_Touch_Recal_thr = 50%
- Anti_Touch_Drift_Rate = 50
- Anti_Touch_Di = 50
- Drift_hold_time = 50
- Touch_DI = 3
- Touch_Drift_Rate = 50

2.2.4 增量测量

增量(idx)=abs(信号(idx) - 参考(idx))，其中 idx 是触摸面板上使用的指定通道的索引，idx = 0 至 63（最大值）。

在增量触摸测量期间，建议避免使用在 0 与增量之间上升或下降的转换值。

可通过设置参数降低噪声影响。在信号上应用低通滤波器可避免出现毛刺（使用高 RSEL 和最大 OVERSAMPLING）。

如果完整动态范围为 1024（未应用数字增益），增量必须介于 50 和最大值 200 之间。

必须在触摸条件下且当触摸增量接近其可达到的最大值时测量增量。

此过程会返回增量均值和所达到的最大值。

2.2.5 模拟增益调整

模拟增益是触摸电容 Ct 与内部可编程 Csh 积分电容值之比。此增益可提高测量灵敏度，但同时也会增加噪声捕捉和静态误差偏差，例如测量的失调误差和增益误差。请注意，灵敏度还取决于按键阈值。

模拟增益应尽可能保持在较低水平。推荐值为 1 或 2。

如果面板与手指之间的隔离层较厚（例如，4 mm 树脂玻璃），则推荐增益值为 4 或 8。

如果模拟增益为 16，则可能导致参考、噪声和 ADC 饱和度发生偏移。使用此值时务必小心，并且尽可能避免使用。

如果模拟增益超过 16，PTC 将达到饱和状态，无法正常工作。

使用模拟增益可以提高灵敏度，从而解决因传感器金属层与手指之间的介电覆盖层较厚而影响触摸效果的问题。

表 2-1. 示例：5 pF 互电容的模拟增益值与介电覆盖层间距

间距 (mm)	增益
0	1
1	2
2	2
3	4
4	4
5	8
6	8
>6	8 或 16

采样期间捕捉的噪声总是随着增益的增大而增加。因此，建议尽可能使模拟增益保持较低水平，但至少应为整个信号动态范围的 25% 至 45%（例如，对于数字增益 1，动态范围为 1024，因此增量信号的目标为达到 256 LSB）。

2.2.6 阈值调整

阈值 = 增量均值/2。

如果要提高灵敏度，阈值 = 增量均值/4。

根据漂移和重新校准行为，选择较低阈值可能会比较合适。

此字段中的值应考虑数字增益。因此，当 1024 动态范围（增益 = 1）内的测量阈值为 60 时，编程值必须为 $60 \times \text{gaind}$ 。

2.2.7 噪声测量参数初始化

邮箱参数

- 节点
 - CSD = 30
 - Rs = 0 kΩ
 - 时基 Tb = 1 μs
 - gaina = 先前增量优化步骤的调整值
 - gaind = 1
 - OSR = 1
 - Rs、PRSC 和 CSD 均无自动校准
- 按键
 - 阈值 = $4 \times \text{gaina}$
 - 滞后 = 25%
 - 无跳频

- 其他
 - 刷新 = 1

漂移和重新校准参数设置为较大的时序值：

- Anti_Touch_Recal_thr = 50%
- Anti_Touch_Drift_Rate = 50
- Anti_Touch_Di = 50
- Drift_hold_time = 50
- Touch_DI = 3
- Touch_Drift_Rate = 50

2.2.8 噪声测量

噪声能量通过计算增量与均值之差的 RMS 来测量。这实际上是称为增量采样的标准差 (Stdev) 的统计数据。

此标准差随后用于计算增量的 SNR，公式如下：

$SNR = 20 \times \text{LOG}_{10}(\text{均值}/\text{Stdev})$ 。

2.2.9 Rs 调整

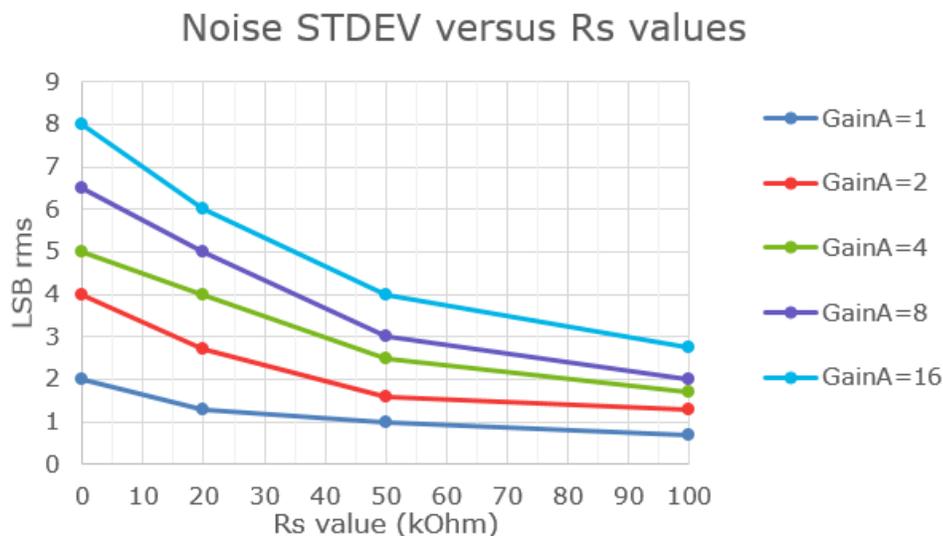
当噪声 SNR 太低时，可以通过增加 Rs 电阻来降低噪声，而不会影响增量均值。随后增加 RSEL 字段，直到 SNR 达到一个良好的值。

Rs 值和 OSR 应同时调整，以便获得最佳噪声性能。在未进行任何过采样的情况下，没有必要将 Rs 增加到 100 kΩ，否则可能导致出现一段较长的恒定延时，进而可能增加 CSD 以确保在采集期间使传感器完全充电。一般情况下，建议将 Rs 调整到 PTC 不再饱和（即，当存在噪声时，大多数单个采样在满量程的至少 10% 范围内）为止。实现此目标后，应调整 OSR，直到达到所需的 SNR。

2.2.10 QT1 板按钮示例

下述行为示例是在 QT1 按钮 1 板上测量噪声。

按钮电容约为 5 pF；滤波效果很不错，实际上降低了噪声均方根值。模拟增益和 Rs 之间的权衡结果如下：增益 = (1、2 或 4)，Rs = 50 kΩ。



2.2.11 过采样 (OSR) 调整

如果 R_s 达到最大值 100 k Ω 后噪声仍然过高，则有必要使用过采样来降低噪声。

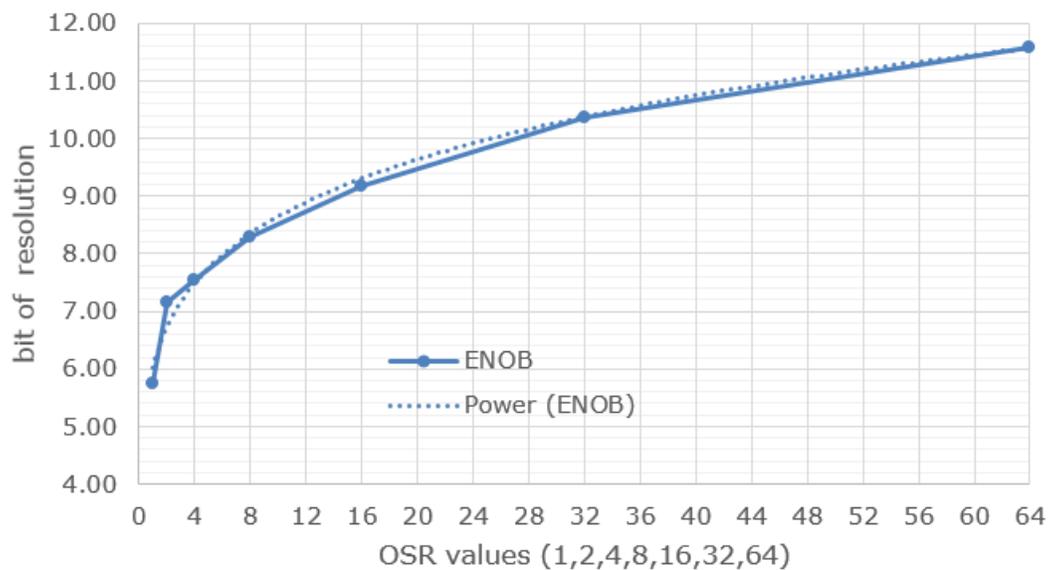
过采样通过对通道进行数字滤波来减少随机噪声。请注意，触摸条件下的噪声相对较高。

下表给出了在初始条件 ($R_s = 0$, 模拟增益 = 4) 下通过求平均值降噪时的 QT1 按钮示例。

从表中可以看出，有效位数 (Effective Number Of Bit, ENOB) (即 PTC 的分辨率) 不超过 12 位。数字增益不需要大于 4，在滤波条件下，有用的动态范围 ($Dyn = 1024 \times GainD$) 则为 4096。

动态	GainD	OSR	STDEV	SNR	ENOB
1024	1	1	5.00	36.31	5.74
2048	2	2	11.72	44.90	7.16
4096	4	4	17.98	47.23	7.55
8192	8	8	21.60	51.61	8.28
16384	16	16	23.14	57.02	9.18
32768	32	32	22.56	64.15	10.36
32768	32	64	11.94	71.57	11.59

ENOB



2.2.12 过采样与跳频

跳频可消除在特定频率下影响通道的任何同步噪声。

跳频仅保留 3 个采样数据中的 1 个，从而消除与中值点的偏差。当在跳频算法之前应用平均处理 (例如， $OVERSAMPLING = 16$) 时，则会对平均值应用采样过程。在这种情况下，噪声采样会在平均处理过程中与其他采样合并。数字滤波器降低了平均采样误差，但跳频仍然有效。

2.2.13 刷新与跳频

跳频是指 ADC 采样时序偏移几个时基 T_b （来自 12 MHz RC）周期。

刷新基于不同的时钟（慢时钟 32 μs 周期），它将触摸面板从一次扫描（所有索引）转移到另一次扫描（所有索引）。

刷新时序随后会在 12 MHz RC 的边沿通过测量引擎重新同步。这样会在 ADC 采样过程中引入随机延时，作用类似于扩频，产生的效果与跳频算法几乎相同。

第一次测试应仅使用刷新时间，然后检查噪声。如果仍然存在同步噪声故障，则可以激活跳频。

2.2.14 数字增益

数字增益与数字累加器滤波器（OVERSAMPLING）配合使用。设置数字增益值时，至少需要与过采样值相同。

2.3 时序优化

在初始化时，测量 CC 后将其值增加 20%，以便将工艺差异考虑在内并为计算提供一些安全裕量。

2.3.1 PRSC

为了保持快速触摸扫描，PRSC 字段保持为 0。测量时基 $T_b = 1 \mu\text{s}$ 。客户可能会使用其他值，但请注意，这样可能会降低测量速度。

2.3.2 补偿电容（CC）

补偿电容对于优化其他参数（例如 CSD、时钟速度和 R_s ）非常有用。

PTC 在初始化和参考漂移检测时测量传感器电容（comp_caps 字段）。这项测量是完全自动化的，并为用于按键检测的每个节点确定参考字段值。

CC 是一个集成电容，因器件间的硅工艺差异而不同，具体差值范围约为标称值的 $\pm 20\%$ 。

对于每个通道索引，均提取 CC 值。

示例：

在互电容中，X 和 Y 电极之间放置一个具有 10 pF 精确值的电容。

comp_caps 字段的测量值为十六进制值 1234。此电容随后进行如下计算： $CC = 1 \times (7\text{pF}) + 2 \times (0.7\text{pF}) + 3 \times (0.07\text{pF}) + 4 \times (0.007\text{pF}) = 8.638 \text{ pF}$ 。（comp_caps 更改为十进制）。

其中，大约 -14% 的误差主要归因于工艺差异。

确定 comp_caps 值对于时序优化至关重要。这些值必须增加 20%。对于之后的计算，使用值 $CC \times 1.2$ 是所能考虑到的最坏情况。

2.3.3 单节点采集时间：Tacq

PTC 采集时序取决于 picoPower 处理器（picoPower Processor, pPP）中经过 3 分频的时钟频率 12 MHz RC 以及随后的预分频比“prsc”。

最终使用的时钟如下：

- 对于不可编程的固定延时，对 4 MHz 进行 4 分频。
- 对于可编程延时（CSD）， $ADC_Clock = 4 \text{ MHz}$ 进行 $4 \times Prsc$ 分频

ADC_clock 定义时基周期 $T_b = 1 \mu\text{s}$ 、 $2 \mu\text{s}$ 、 $4 \mu\text{s}$ 或 $8 \mu\text{s}$ 。建议将 ADC_clock 保持在最快值 1 MHz ($T_b = 1 \mu\text{s}$)。无需降低此频率值。

时序还取决于 CSD 和过采样参数。

- ADC_clock 的 CSD (0 至 255) 是为了延长电容切换时间而引入的延时。
- 过采样参数用于定义滤波级别 X (1 至 64)，即用于求平均值的采样数。

下表列出了所有滤波器级别和最多 6 个 CSD 值对应的时序测量结果。这些值的精度为±20%。当 CSD 参数为 0 至 3 时，对测量时间没有影响，但会影响质量，建议使用 CSD = 3。

当 CSD = 4 及以上时，可通过如下简化公式估算采集时间：

$$T_{acq} = 3 \cdot T_b \times (OSR \times CSD + 4) + 3 \times X + 16 \quad (\mu s)$$

- T_b : 时基 (μs)
- X: 过采样滤波器级别 (1 到 64)
- CSD: 0 至 255

表 2-2. $T_b = 1 \mu s$ 时的 T_{acq} (μs)

Tacq/节点	PTC_FILTER_LEVEL_x						
	x=1	x=2	x=4	x=8	x=16	x=32	x=64
CSD=0							
CSD=1							
CSD=2	35	48	76	131	242	462	902
CSD=3							
CSD=4	36	51	81	141	261	501	981
CSD=5	39	57	93	165	309	597	1173
CSD=6	42	63	105	189	357	693	1365

表 2-3. $T_b = 2 \mu s$ 时的 T_{acq} (μs)

Tacq/节点	PTC_FILTER_LEVEL_x						
	x=1	x=2	x=4	x=8	x=16	x=32	x=64
CSD=0							
CSD=1							
CSD=2	59	87	142	252	472	912	1790
CSD=3							
CSD=4	60	87	141	249	465	897	1761
CSD=5	66	99	165	297	561	1089	2145
CSD=6	72	111	189	345	657	1281	2529

表 2-4. $T_b = 4 \mu s$ 时的 T_{acq} (μs)

Tacq/节点	PTC_FILTER_LEVEL_x						
	x=1	x=2	x=4	x=8	x=16	x=32	x=64
CSD							
CSD=0							
CSD=1	109	164	274	495	935	1816	3573
CSD=2							
CSD=3							
CSD=4	112	163	265	469	877	1693	3325
CSD=5	124	187	313	565	1069	2077	4093
CSD=6	136	211	361	661	1261	2461	4861

表 2-5. $T_b = 8 \mu s$ 时的 T_{acq} (μs)

Tacq/节点	PTC_FILTER_LEVEL_x						
	x=1	x=2	x=4	x=8	x=16	x=32	x=64
CSD							
CSD=0							
CSD=1	209	320	542	977	1860	3612	7146
CSD=2							
CSD=3							
CSD=4	211	310	508	904	1696	3280	6448
CSD=5	235	358	604	1096	2080	4048	7984
CSD=6	259	406	700	1288	2464	4816	9520

2.3.4 面板节点采集时间: T_{scan}

当面板使用计数节点时，面板总扫描时间的表达式如下：

$T_{scan} = (T_{acq} \text{ (从 } idx=0 \text{ 到 } count-1)) \text{ 之和} + 85 \mu s + \text{刷新} \times (20 \mu s)$ 。

“刷新”是一段可编程延时。此值最高为 100 时会引入一段最长 2 ms 的延时。

此延时基于 pPP 定时器和一个与 12 MHz RC 不同的时钟。

当“刷新”不为空时，会重新同步时钟，然后在采集期间引入自然抖动。这种抖动就像测量中的扩频一样，因此可以将同步噪声去相关。

2.3.5 CSD 优化与 R_s 串联滤波电阻

下表中各项数值对应的稳定时间限制为 5 Tau（推荐值）。

$R_s = 100 \text{ k}\Omega$		$R_s = 100 \text{ k}\Omega$	
CSD	C_y (pF)	T_{acq} (μs)	C_y (pF)

Tb (μs)	5	10	20	30		Tb (μs)	5	10	20	30
1	5	10	20	30		1	39	61	91	121
2	3	5	10	15		2	59	66	103	133
4	2	3	5	8		4	109	109	124	163
8	1	2	3	4		8	209	209	209	211
Rs = 50 kΩ						Rs = 50 kΩ				
CSD	Cy (pF)					Tacq (μs)	Cy (pF)			
Tb (μs)	5	10	20	30		Tb (μs)	5	10	20	30
1	3	5	10	15		1	35	39	61	76
2	2	3	5	8		2	59	59	66	91
4	1	2	3	4		4	109	109	109	112
8	1	1	2	2		8	209	209	209	209
Rs = 20 kΩ						Rs = 20 kΩ				
CSD	Cy (pF)					Tacq (μs)	Cy (pF)			
Tb (μs)	5	10	20	30		Tb (μs)	5	10	20	30
1	1	2	4	6		1	35	39	36	42
2	1	1	2	3		2	59	59	59	59
4	1	1	1	2		4	109	109	109	109
8	1	1	1	1		8	209	209	209	209
Rs = 0 kΩ						Rs = 0 kΩ				
CSD	Cy (pF)					Tacq (μs)	Cy (pF)			
Tb (μs)	5	10	20	30		Tb (μs)	5	10	20	30
1	0	0	0	0		1	35	35	35	35
2	0	0	0	0		2	59	59	59	59
4	0	0	0	0		4	109	109	109	109
8	0	0	0	0		8	209	209	209	209

2.4 参数诊断

在最终确定参数值之前，应检查以下各项：

- 检查增量值是否达到按键检测阈值。
- 检查噪声水平是否达到目标。
- 检查互电容和自电容值是否为最大值 30 pF。

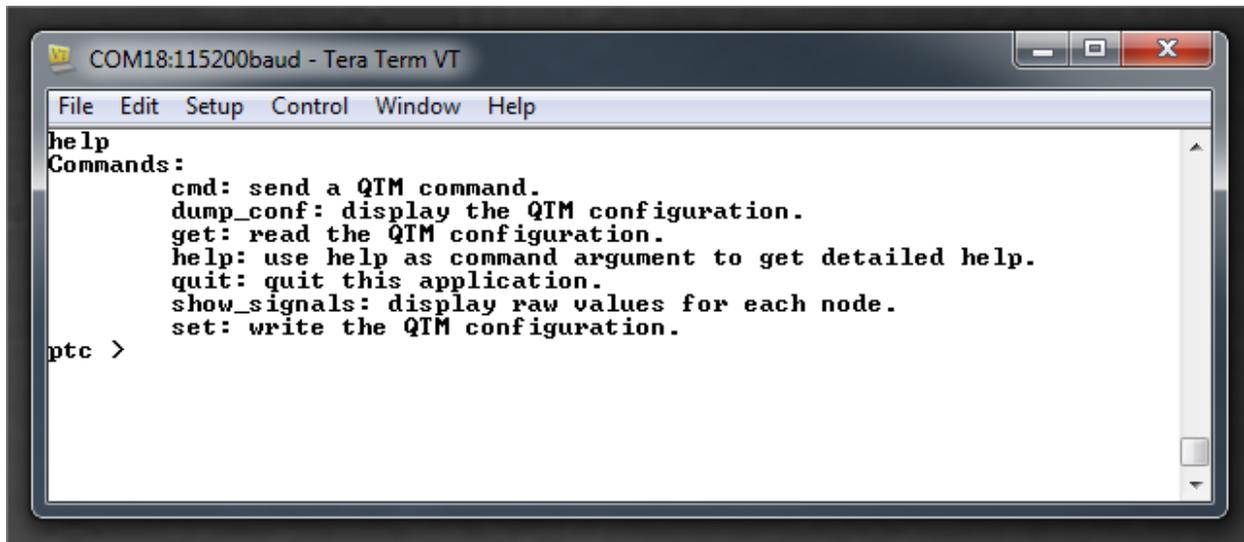
3. PTC 工具箱

PTC 工具箱提供了一些可在 VT100 兼容终端上使用的基本命令。SAMA5D2-PTC EK 板配有外部 UART 端口。此端口用于与 SAMA5D2 上运行的 PTC 工具箱通信。

3.1 PTC 控制台命令

PTC 工具箱是一组读/写控制台指令，用于配置 PTC 的拓扑和参数。

使用如下工具读取触摸信号的数据。



```
COM18:115200baud - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
help
Commands:
  cmd: send a QTM command.
  dump_conf: display the QTM configuration.
  get: read the QTM configuration.
  help: use help as command argument to get detailed help.
  quit: quit this application.
  show_signals: display raw values for each node.
  set: write the QTM configuration.
ptc >
```

3.1.1 帮助命令

- cmd: 发送 QTM (QTouch 邮箱) 命令
- dump_conf: 显示全部 QTM 配置
- get: 读取 QTM 配置
- help: 使用 help 作为命令参数获取详细帮助
- quit: 退出此应用程序
- show_signals: 显示每个节点的原始值
- set: 写入 QTM 配置

3.1.2 ptc> cmd 帮助

- cmd firm_version
- cmd init [number_of_nodes]
- cmd run [number_of_nodes]
- cmd status
- cmd stop
- cmd set_acq_mode_on_demand
- cmd set_acq_mode_timer [delay]

3.1.3 **ptc > get** 帮助

- get node_group_config
- get node_config [node number]
- get node_data [node number]
- get key_group_config
- get key_config [key number]
- get auto_scan_config
- get scroller_group_config
- get scroller_config [scroller number]
- get fh_autotune_config
- get fh_freq
- get touch_events

3.1.4 **ptc > set** 帮助

- set node_group_config
- set node_config [node number]
- set node_data [node number]
- set key_group_config
- set key_config [key number]
- set auto_scan_config
- set scroller_group_config
- set scroller_config [scroller number]
- set fh_autotune_config
- set fh_freq
- set touch_events

3.1.5 **ptc> show_signals** 帮助

- show_signals [output] [number of captures] [delay between captures] [nodes]
 - output: 强制项, 文件名的 stdout
 - number of captures: 要执行的捕捉次数
 - delay between captures: 连续两次捕捉之间的延时 (以微秒为单位)
 - nodes: 一连串节点 ID 或空 (即选择所有节点)
- 示例: 捕捉节点 0、1、2 和 3 的信号, 每 100 μ s 捕捉 10 次并在控制台上显示
- show_signals stdout 10 100 0 1 2 3

4. 开发工具

4.1 简介

在 SAMA5D2 器件上开发 QTouch 应用时，需要使用以下工具：

- SAMA5D2 PTC 评估工具包（SAMA5D2-PTC-EK）
- PTC 子系统固件
- 用户界面程序头文件

通过 Softpack 或 Linux 向用户提供驱动程序。所有配置均可通过控制台或配置文件获取。

4.2 SAMA5D2 PTC 软件

IAR 编译器的开发环境：

- 软件框架：<https://github.com/atmelcorp/atmel-software-package>

Linux 开发环境：

- Linux 驱动程序：<http://www.at91.com/linux4sam/bin/view/Linux4SAM/>

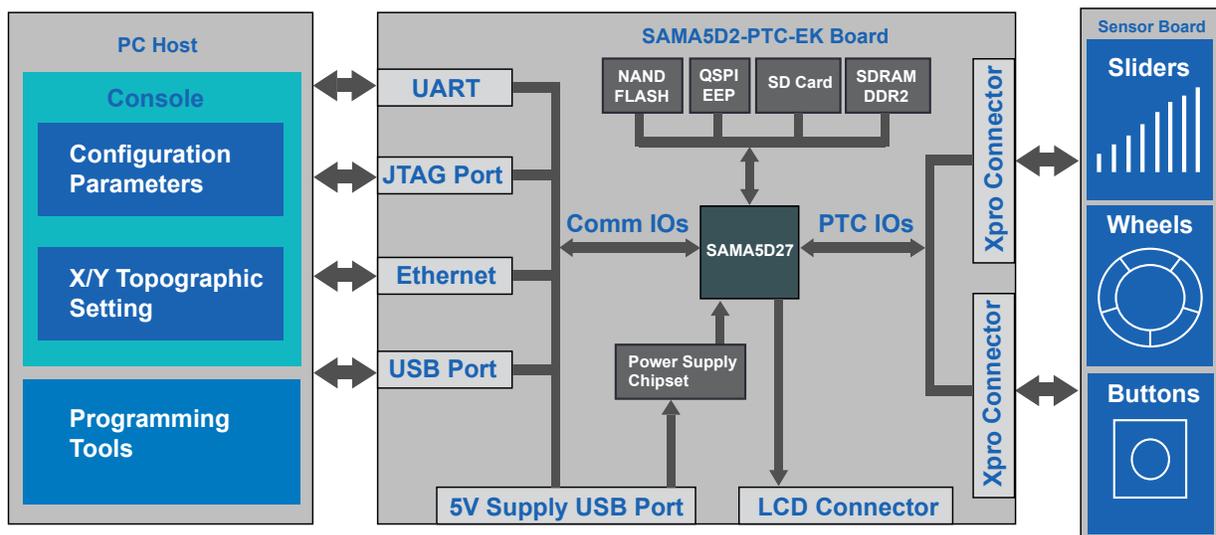
4.3 SAMA5D2 PTC 评估工具包板

SAMA5D2-PTC-EK 评估板可用于通过提供的开发工具操作 PTC。

SAMA5D2-PTC-EK 与现有触摸板（例如，ATQT1 滑块、滚轮、按钮（自电容和互电容配置））以及其他器件（例如 ATQT2 Surface 和 ATQT6 触摸板）兼容。此开发板通过 JTAG 或 USB SAMBA 端口（Linux）连接至 PC。UART 控制台用于以交互方式控制 PTC 拓扑和参数。

对于自定义触摸面板，需要针对新硬件调整 QTouch 库参数。同一 PC 主机连接可与一组 API 搭配使用。

图 4-1. PTC 工具配置



注：安装在电路板上的处理器为 SAMA5D27。

4.4 标准触摸板：QT1、QT2 和 QT6 Xplained Pro

QT1 Xplained Pro



- 表面尺寸：60 mm x 100 mm
- 10 个节点——自电容或互电容
- 指示触摸位置的 LED

有关详细信息，请参见 [QT1 Xplained Pro 扩展工具包](#)。

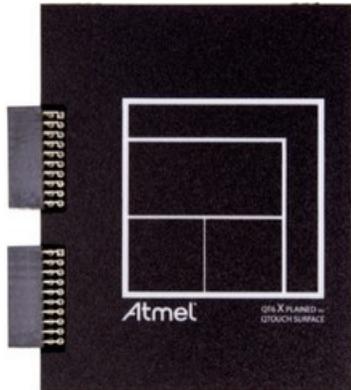
QT2 Xplained Pro



- 表面尺寸：38 mm x 32 mm
- 16 个节点（互电容）——10 mm 节点间距
- 14 mm 边缘触摸间隔
- 49 个指示触摸位置的 LED

有关详细信息，请参见 [QT2 Xplained Pro](#)。

QT6 Xplained Pro



- 表面尺寸：50 mm x 50 mm
- 64 个节点（互电容）——5 mm 节点间距
- 2 mm 边缘触摸间隔

有关详细信息，请参见 [QT6 Xplained Pro](#)。

4.5 客户 PCB

应用开发人员可以使用 Microchip QT Xplained 板或自己的触摸面板，并搭配使用相同的软件和驱动程序来优化触摸参数，从而实现自定义触摸配置。

最好将芯片放在同一 PCB 上的触摸按键附近，以缩短 X 和 Y 走线长度，从而减少出现 EMC 问题的可能性。长连接走线充当 RF 天线。Y（接收）线比 X（驱动）线更容易受到噪声拾取的影响。更重要的是，所有与信号相关的分立器件（电阻和电容）均应非常靠近芯片主体。芯片与各种电阻和电容之间的接线应尽可能短而直接，以便抑制噪声拾取。切勿在按键及其 Y 线周围使用地平面和走线。因为用作 AC 接地（例如 Vdd）的接地区域、走线和其他相邻信号导线均会吸收接收到的按键信号并降低信噪比（SNR），因此往往会适得其反。此外，按键周围的地平面还会使水膜效果变差。

4.6 启动/校准时间

PTC pPP 采用严格的初始化和自检序列。如果通过自检，则此序列的最后一步将使能串行通信接口。如果在启动过程中检测到安全关键型故障，则不会使能通信接口。

PTC 通过在初始化后立即校准所有按键来确定每个按键的参考电平。每个按键都独立校准，并与所有其他使能的按键同时进行。

5. 抗噪建议

5.1 简介

如果按键外形设计合理，信号增量值通常应在 60 到 256 个计数范围内。

与最小手指触摸之间的信号摆幅最好应超过 10 个计数，合理的目标是 15 个计数。设置信号阈值时，应保证必须小于由最小触摸引起的信号摆幅。

5.2 传导噪声定义

传导噪声是指外部电线和电缆承载的有害“噪声” RF 电压和电流。这种有害噪声可能源自 RF 发射器、开关模式电源和其他在 RF 范围存在电活动的互连器件。传导噪声通常处于共模（Common-Mode, CM）状态，并出现在器件的所有连接电缆上。如果未发生人机交互，电容式触摸应用通常不受 CM 噪声的影响。这是因为电源线在 VDD 和 GND 之间保持稳定的电压差，并且由于没有提供到噪声源参考（通常是地）的返回路径，因此电路会正常工作。

但是，一旦发生人机交互，用户的手指就会提供返回路径并将噪声高效地直接耦合到电容传感器中。当此噪声值增大到导致正常滤波算法失效时，触摸测量中将引入误差，系统也会变得不可靠。具体表现为检测不到触摸、虚假触摸，某些情况下甚至会导致系统完全锁定。因此，务必要了解触摸应用设计的操作环境，然后相应地采用适当技术来避免有害噪声干扰的影响。

5.3 调节噪声性能

PTC 经精心设计，可轻松打造电容式触摸解决方案，同时保持高质量的触摸特性与性能。但是，在任何触摸传感应用中，系统设计人员都必须考虑目标环境中的电气干扰如何影响传感器的性能。抗噪声是以增加触摸响应时间和功耗为代价的。系统设计人员必须对触摸传感器进行适当调节，以确保实现最佳抗噪声性能。

5.4 灵活适应 VDDANA 的变化

ADC 以用于为电容充电的电源电压作为参考电压。因此，测量信号与 VDDANA 无关。

6. 影响触摸灵敏度的各项因素

6.1 传感器设计

对于自电容，应确保传感器（包括电极和传感器走线）的电容不超过 30 pF。

对于互电容，应确保传感器电极的电容不超过 30 pF。

对于滑块/滚轮，应确保每个通道的电容不超过 30 pF。

补偿电容（CC）校准值可用于确定寄生电容是否过高。如果通道的 CC 校准值等于 16383，则认为通道已达到饱和状态。

将面板上的传感器聚集起来有助于实现更好的耐湿性。面对一组在位置上彼此靠近的传感器，“相邻按键抑制”耐湿性技术的效果会更为出色。

6.2 自电容测量的电极尺寸

电容变化与触摸目标和电极的表面积有关，表面积越大，电容的变化越大。如果电极表面积太小，将无法与手指之间达到最佳耦合，进而导致传感器的灵敏度有所降低。如果电极表面积太大，则可能会在接地返回路径（例如，外走线和地平面）附近增加更多寄生电容。

最佳电极尺寸是略微大于触摸目标（几毫米），以便支持略微偏离中心的触摸。触摸目标通常是手指，宽度一般为 8-12 mm 左右。

6.3 互电容测量的电极尺寸

互电容在 X 电极与 Y 电极之间测量。因此，敏感触摸区域是 X 电极和 Y 电极的间隙位置。通过增加场穿透能力和场密度可提高按键灵敏度。

通过增加 XY 间隙可提高穿过介电前面板的场穿透能力。XY 间隙越大，就有越多的感应场通过介电面板向用户触摸传播。理想情况下，XY 间隙应为 $T/2$ ，其中 T 为前面板厚度。如果 XY 间隙过大，则传感器可能存在邻近效应而不需要实际触摸。此外，传感器可能对湿气过度敏感。通过增加 X 电极和 Y 电极之间的交错量可增加场密度。这意味着在 QMatrix 按键中创建更多“齿形结构”。按键的交错量越多（同时仍遵循 $T/2$ 规则），灵敏度越高。

6.4 介电面板厚度和材料

介电前面板越厚，电极的灵敏度越低。材料的相对介电常数越高，传播电荷的能力越强。因此，采用高介电常数材料的电容式触摸传感器表现更为出色。例如，如果面板厚度为 2 mm，建议最小电极尺寸为 8 mm x 8 mm。

6.5 接地负载

对于自电容和互电容测量的 Y 线，在附近铺设接地走线或地平面会降低传感器的敏感度。原因是附近的接地会为电荷提供备用返回路径，进而增加寄生电容。因此，应尽可能使所有接地远离感应电极/走线/组件。如果需要通过地平面来屏蔽噪声或提供稳定的操作环境（在便携式设备中），可以使用排线接地图案。排线图案的表面积相对较小，可在降低负载的同时提供屏蔽效果。因此，最好始终让感应走线保持尽可能短，以便减少负载效应。

互电感测量的 X 线（发射器）始终处于驱动状态，因此几乎不受接地负载的影响。X 线几乎可以轻松铺设在任何位置（Y 线附近除外，因为 XY 耦合可能在这类位置形成虚假触摸传感器）。

6.6 接地返回

所有电容式触摸传感器均依靠返回路径将电荷从电极“传播”回传感器的电路地。由于人类的重量和体型较大，因此可被视为接地。因此，如果将配备电容式触摸传感器的产品连接到市电地，即可构成一条一致且质量良好的返回路径。灵敏度几乎保持不变，并且可以得到改善。

7. 版本历史

7.1 版本 A——2017 年 11 月

本应用笔记的初始版本。

Microchip 网站

Microchip 网站 <http://www.microchip.com/> 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如

果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2019, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-4208-0

DNV 认证的质量管理体系

ISO/TS 16949

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC[®] MCU 和 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®]跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器及模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 1-480-792-7200 传真: 1-480-792-7277 技术支持: http://www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 檳榔嶼 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-67-3636 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 赖阿南纳 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-7288-4388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 乔治亚州 电话: 1-678-957-9614 传真: 1-678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 1-512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 1-774-760-0087 传真: 1-774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 1-630-285-0071 传真: 1-630-285-0075 达拉斯 艾迪生, 德克萨斯州 电话: 1-972-818-7423 传真: 1-972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 1-248-848-4000 休斯敦, 德克萨斯州 电话: 1-281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 1-317-773-8323 传真: 1-317-773-5453 电话: 1-317-536-2380 洛杉矶 米申维耶霍, 加利福尼亚州 电话: 1-949-462-9523 传真: 1-949-462-9608 电话: 1-951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 1-919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 1-631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 1-408-735-9110 电话: 1-408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 1-905-695-1980 传真: 1-905-695-2078			