
利用外设触摸控制器实现带内置表面手势识别的触摸板

简介

作者: Ankit Tripathi, Microchip Technology Inc.

在过去的二十年里，智能小工具的问世促使电容式触摸表面或触摸板在人机界面（Human Machine Interface, HMI）领域的应用得到了广泛普及。随着业界对触摸需求的日益增长，触摸传感技术也在不断朝着可靠、稳健的方向迈进。因此，对于消费类电子、可穿戴设备、家用电器、家庭自动化、工业、医疗和汽车领域的各种产品而言，电容式触摸界面无疑都是一项必不可少的用户需求。许多设备目前都已使用电容式触摸表面替代机械按钮。

本应用笔记将演示 AVR® DA 单片机的 2D 触摸表面实现，其中使用片上外设触摸控制器（Peripheral Touch Controller, PTC）和 Microchip 触摸库实现集成手势识别。具体将演示 AVR DA 单片机的高级低功耗触摸测量功能，以及如何使用 PTC 外设（令 CPU 处于待机休眠模式）以最大限度地降低功耗。

我们借助 Microchip AVR128DA48 Curiosity Nano、Curiosity Nano 触摸适配器、QT2 Xplained Pro 扩展板和 Microchip 触摸库实现了基本的贪吃蛇演示程序来演示 2D 触摸表面手势。补充固件借助 Microchip 的 Atmel START 开发而成，QTouch®配置器（嵌入到 Atmel START 中）用于配置触摸表面参数。



[View Code Example on GitHub](#)
Click to browse repository

目录

简介.....	1
1. 特性.....	4
2. AVR® DA MCU 系列概述.....	5
2.1. 相关器件.....	5
3. AVR® DA 外设触摸控制器.....	6
3.1. PTC 低功耗模式.....	6
4. 电容式触摸表面和 2D 手势.....	8
4.1. 2D 触摸板和表面手势.....	8
5. 应用概述.....	9
5.1. 贪吃蛇游戏基本介绍.....	9
5.2. 实现.....	9
6. 硬件概述.....	10
6.1. 开发板.....	10
6.2. 硬件设置.....	10
6.3. 引脚配置.....	11
7. 固件.....	12
7.1. Microchip 触摸库.....	13
7.2. 触摸表面传感器配置.....	13
7.3. 低功耗触摸配置.....	13
7.4. 手势实现.....	14
7.5. LED 矩阵驱动器和贪吃蛇游戏算法.....	14
7.6. 软件工具.....	15
8. 演示设置.....	16
9. 触摸表面性能测量.....	17
9.1. 单片机配置详细信息.....	17
9.2. 功耗.....	17
9.3. 程序与数据存储器.....	17
9.4. 触摸响应时间.....	18
9.5. CPU 利用率.....	18
10. 贪吃蛇游戏演示性能测量.....	19
10.1. 单片机配置详细信息.....	19
10.2. 功耗.....	19
10.3. 程序与数据存储器.....	19
11. 参考资料.....	21
12. 附录: QT2 表面传感器设计规范.....	22

12.1. 触摸板分辨率.....	22
13. 版本历史.....	24
Microchip 网站.....	25
产品变更通知服务.....	25
客户支持.....	25
Microchip 器件代码保护功能.....	25
法律声明.....	25
商标.....	26
质量管理体系.....	26
全球销售及服务网点.....	27

1. 特性

本应用笔记涵盖以下内容：

- AVR DA PTC 概述
- 2D 电容式触控表面和手势
- 使用 Microchip 触摸库实现单击和滑动手势识别
- 使用 PTC 外设实现稳健的低功耗电容式传感
- 用于 LED 矩阵显示控制器的基于 I²C 的 LED 多路开关驱动器
- 贪吃蛇游戏应用

有关 PIC®、AVR、SAM 和 PIC32 器件以及电容式触摸传感软件库和工具的入门信息，请访问 <https://microchipdeveloper.com/touch:start>。

2. AVR® DA MCU 系列概述

AVR DA 系列单片机搭载 AVR CPU（含硬件乘法器），运行速度最高为 24 MHz，同时配有 32/64/128 KB 闪存、4/8/16 KB SRAM 和 512 字节 EEPROM，并采用 28、32、48 或 64 引脚封装。该系列采用 Microchip 的最新技术与灵活的低功耗架构，其中包括事件系统、SleepWalking、精确的模拟特性、高级外设以及外设触摸控制器（PTC）。

注： 具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。有关更多信息，请参见具体器件数据手册。

2.1 相关器件

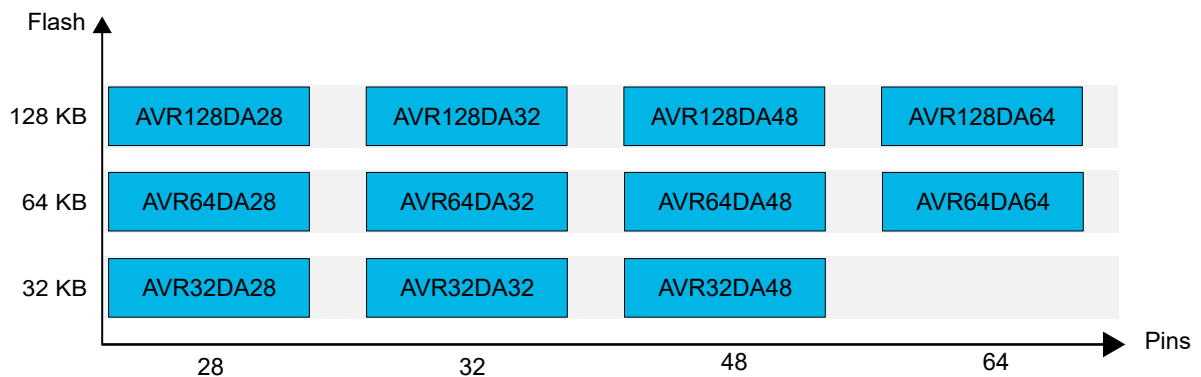
本章列出了本文档的相关器件。

2.1.1 AVR DA 系列概述

下图所示为 AVR® DA 器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 从下到上迁移无需修改代码，因为这些器件的引脚和功能完全兼容
- 从右到左迁移会减少引脚数，进而减少可用的功能

图 2-1. AVR® DA 系列概览



具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM。

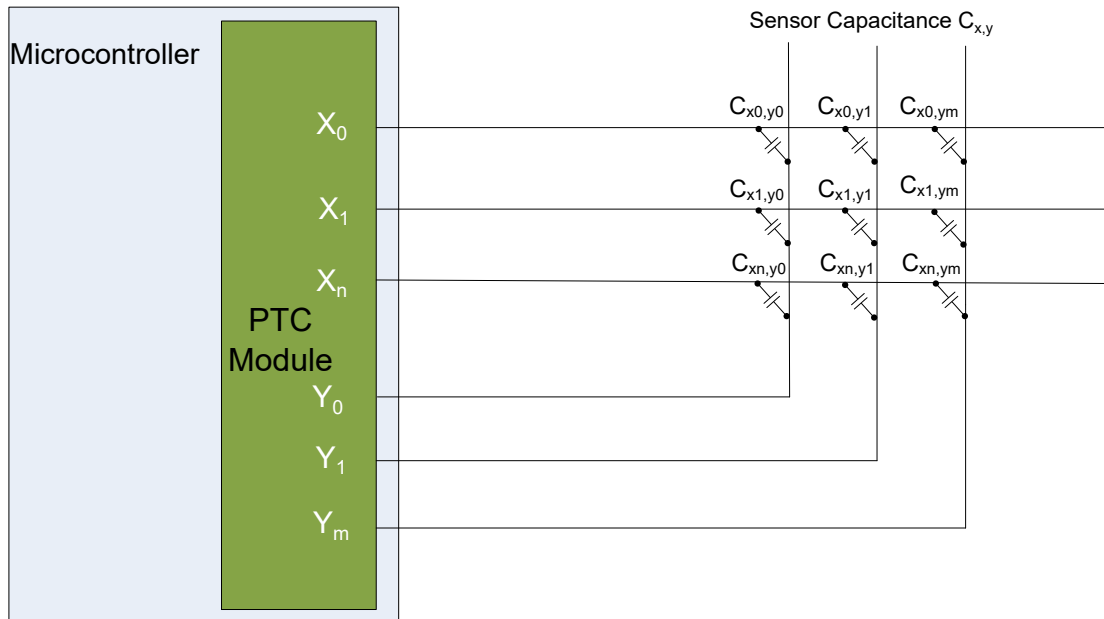
3. AVR® DA 外设触摸控制器

AVR DA 系列单片机内置 PTC 模块，可在电容式触摸传感器上自主执行触摸数据采集，无需任何 CPU 干预。

PTC 外设同时支持按钮、滑动条、滚轮和 2D 表面传感器的自电容和互电容传感方法。将 PTC 外设与 Microchip 触摸库搭配使用，可以为触摸界面带来前所未有的丰富组合设计。

根据器件封装类型和器件配置，AVR DA 单片机最多可提供 46 个 PTC 通道。46 个 PTC 通道最多可用作 46 个自电容传感按钮或 529 个互电容传感节点。有关传感通道可用性的更多详细信息，请参见具体器件数据手册。

图 3-1. 互电容传感器配置



利用 AVR DA 系列器件内置的 PTC，Microchip 触摸库可以在不同的环境条件下带来稳健的触摸体验。PTC 具备 SleepWalking 功能，借助事件系统可以在单个低功耗传感器上自主执行触摸传感。



重要：

1. 要访问 PTC 外设和 Microchip 触摸库，必须使用 Atmel START 配置 PTC 并将库链接到应用软件。有关更多详细信息，请参见 [Atmel START QTouch®电容式传感库分步指南](#)。
2. Microchip 触摸库支持在单个界面上以各种形式组合使用按钮、滑动条、滚轮、接近传感和触摸表面。

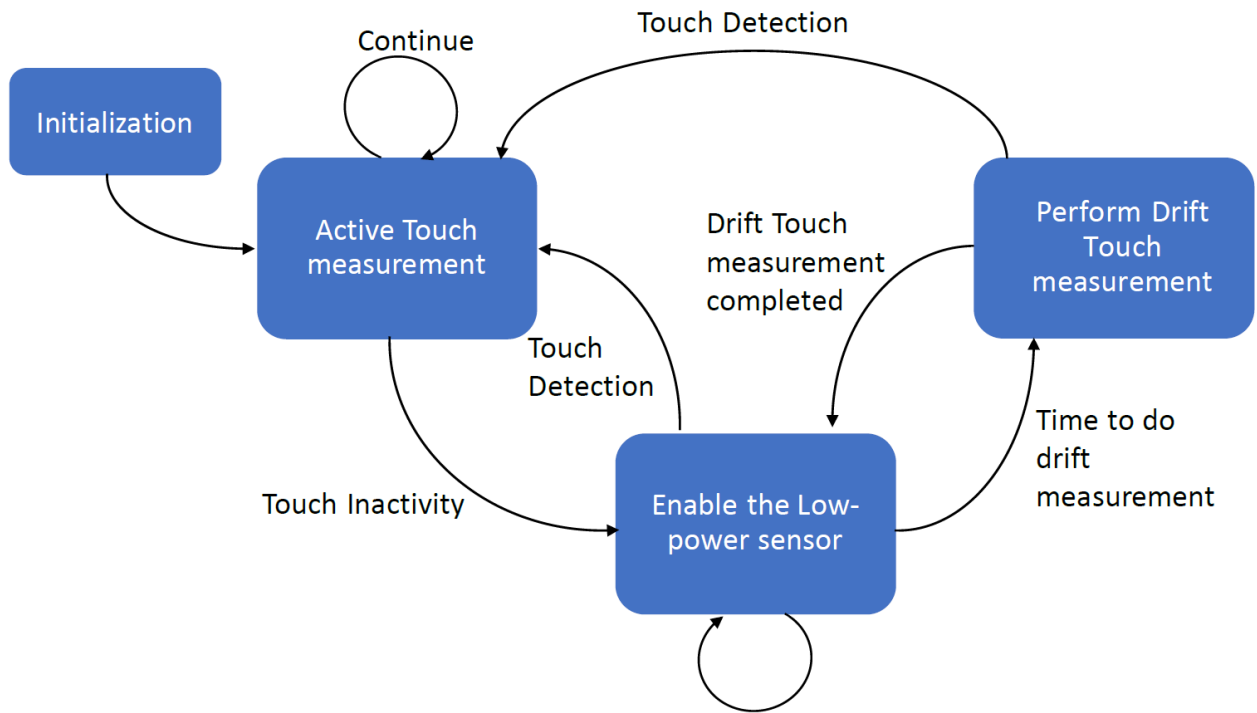
3.1 PTC 低功耗模式

PTC 支持低功耗模式，可利用 SleepWalking 功能在指定的低功耗传感器上自主执行触摸传感。当低功耗触摸应用运行时，CPU 处于待机模式。该机制利用事件系统，允许 CPU 在没有触摸活动报告时处于休眠模式，从而最大限度地降低功耗。一旦在低功耗传感器上检测到有效的触摸事件，PTC 就会产生中断来唤醒 CPU。

要实现低功耗触摸应用，应将低功耗传感器配置为唤醒源。可以组合使用多个通道构成单个传感器，用于从低功耗模式中唤醒。一旦在低功耗传感器上检测到有效触摸，就会发出中断唤醒 CPU 以执行进一步处理。在运行期间，固件会在低功耗模式和主动测量模式之间切换，以跟踪由于环境温度和湿度变化而导致的电容变化。因此，Microchip 触摸库会使用漂移算法调整传感器参考值，从而补偿信号值的变化。通常，漂移测量周期设置为长于低功耗测量周期，以此降低平均功耗。

有关更多详细信息，请参见[低功耗传感器设计用户指南](#)。

图 3-2. 低功耗模式事件驱动触摸应用状态机



4. 电容式触摸表面和 2D 手势

电容式触摸表面或触摸板属于二维传感器，其中的电极按行和列排列成矩阵。触摸板在 X 和 Y 维度上跟踪手指位置，并支持单指和多指触摸操作。

为获得最佳触摸性能，需要专门针对应用和要求定制传感器设计。有关表面传感器设计指南的更多详细信息，请参见 [AN2934——Capacitive Touch Sensor Design Guide](#)。

4.1 2D 触摸板和表面手势

Microchip 触摸库为触摸表面提供板上手势检测。该库还提供双指手势识别和双指 X/Y 位置报告。在芯片上检测到手势后会报告给主机。Microchip 触摸库支持以下多种手势：

- 单击并按住
- 多次单击——单指和双指
- 滑动——单指和双指
- 滑动并按住
- 滚动和旋转
- 缩放

图 4-1. 触摸手势



5. 应用概述

本应用笔记以贪吃蛇游戏作为演示应用来演示 AVR DA PTC 外设的高级触摸功能和低功耗工作模式。该应用采用 2D 电容式触摸表面，支持手势识别，并搭配使用 PTC 和事件系统作为触摸表面的唤醒源。

5.1 贪吃蛇游戏基本介绍

贪吃蛇游戏是一款经典的电子游戏，玩家需要在一个有边界或无边界的屏幕画面中控制蛇（通常用一条线来表示）的方向，寻找食物。蛇每吃一口就能得到一定的积分，而且蛇的身子会越来越长，蛇移动时的障碍主要是自己的身体，蛇不能咬到自己的身体。

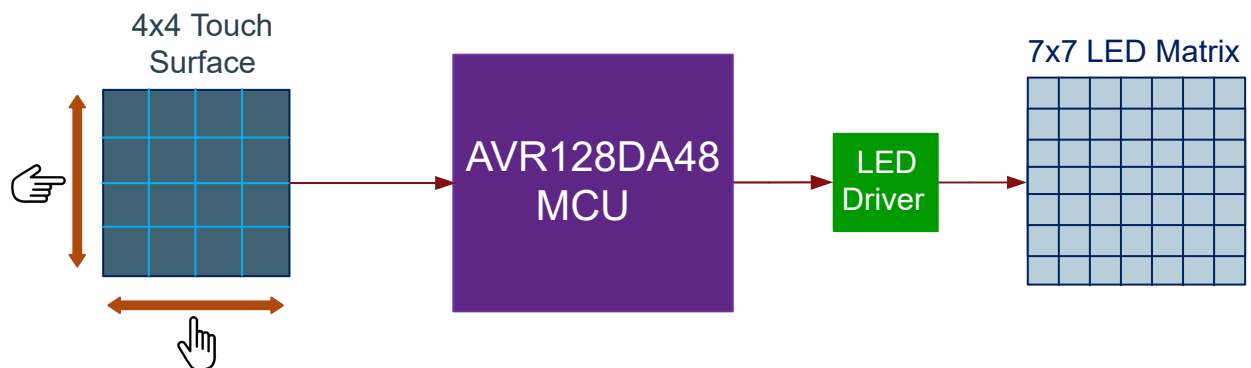
在本演示中，我们通过向上、向下、向左和向右的滑动命令来控制蛇向食物的方向移动。每次提供给蛇的食物在屏幕画面上的坐标都是随机的。蛇每吃一次食物，就会增加一定长度。当蛇咬到自己的身体时，游戏结束。

5.2 实现

在本演示中，使用 7 x 7 LED 矩阵作为显示屏来显示蛇和食物位点。使用合适的 LED 驱动器/多路开关通过 I²C 串行通信来驱动 LED。为了输入导航命令，演示将使用支持单击、滑动、滚动等 2D 手势的 4 x 4 电容式触摸表面。要改变蛇的方向，需要在触摸表面上使用以下手势：向上、向下、向左和向右滑动。应用程序代码在 AVR DA 单片机上运行。将内置 PTC 外设与 Microchip 触摸库搭配使用，可以轻松集成触摸表面以进行 2D 手势识别。

本演示使用的是 AVR128DA48 单片机，但 AVR DA 系列的其他单片机同样可以实现。

图 5-1. 贪吃蛇游戏系统框图



重要： 有关使用 Atmel START 创建触摸项目的分步指南，请参见 Microchip 开发人员帮助中的 [QTouch®项目创建简介](#)。

6. 硬件概述

贪吃蛇游戏演示使用的是 Microchip 的开发工具包。这有助于实现快速开发和部署演示。建议使用类似的开发板快速进行原型设计。

6.1 开发板

- **AVR128DA48 Curiosity Nano:** Curiosity Nano 板支持多种 PIC 和 AVR 单片机，可实现快速原型设计和简化设计评估。该板还提供完整的编程和调试功能，可在整个开发过程中予以支持。
- **QT2 Xplained Pro 扩展工具包:** 可使用 PTC 模块评估互电容触摸表面的扩展板。该工具包包含一块带有 4 x 4 触摸表面的扩展板，并配有一个用作显示屏的 7 x 7 蓝色 LED 矩阵。LED 矩阵由 I²C 多路开关 LED 驱动器驱动。
- **Curiosity Nano 触摸适配器:** 每个 Curiosity Nano 板都与 Curiosity Nano 触摸适配器板兼容。该基板包括一个适用于所有 Curiosity Nano 板的插座和两个 Xplained 接头插座，可使用各种 Microchip Touch Xplained 板轻松扩展设计。该板用于连接 AVR128DA48 Curiosity Nano 和 QT2 Xplained 板。

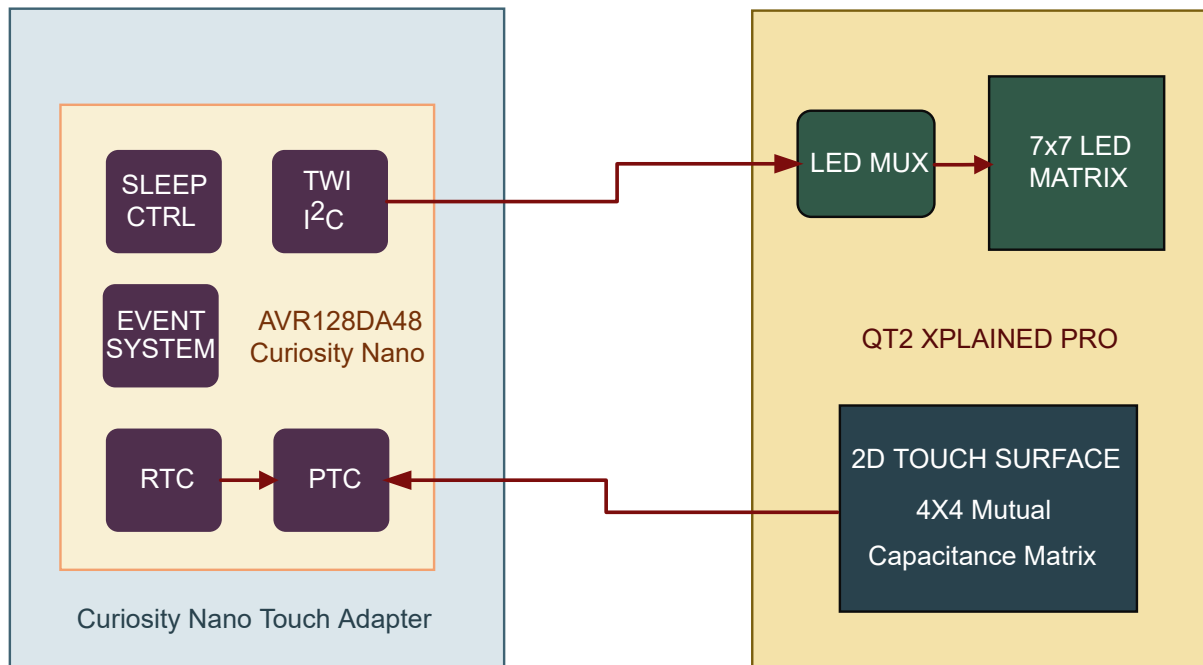
图 6-1. AVR128DA48 Curiosity Nano 触摸适配器板、QT2 Xplained 板和 AVR128DA48 Curiosity Nano



6.2 硬件设置

演示使用的开发板为卡扣式，无需外部连接即可实现演示。下图给出了所有三块板卡接后的硬件连接。

图 6-2. 硬件框图



6.3 引脚配置

下表列出了 QT2 Xplained Pro 扩展板的连接配置。除了触摸和 LED 矩阵，Curiosity Nano 虚拟 COM 端口上配备了可选的 USART 接口，以便使用 2D 触摸表面实用程序调试触摸数据。

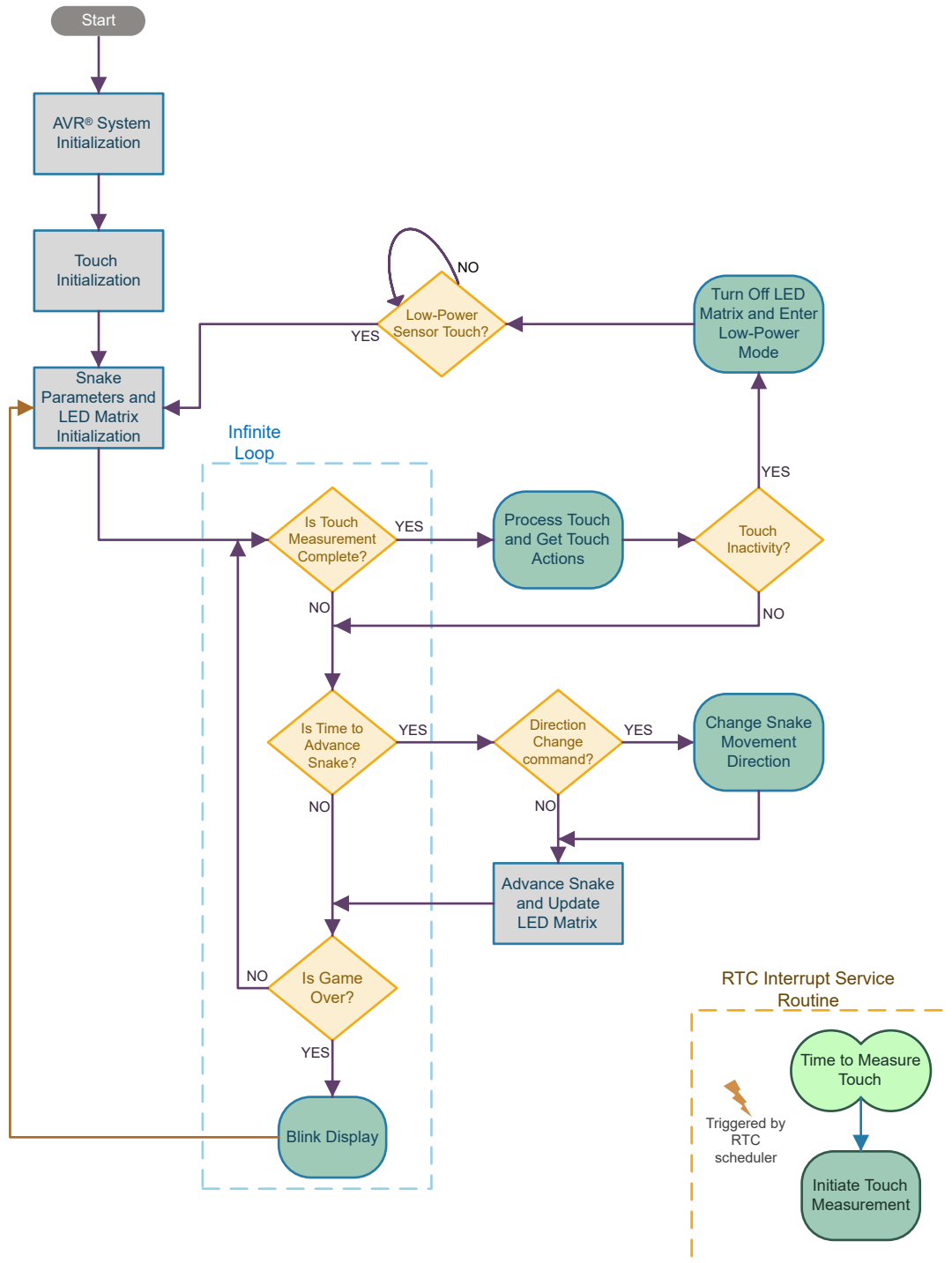
表 6-1. 贪吃蛇游戏演示的引脚详细信息

序号	引脚名称	端口	外设	引脚功能
1	SDA	PC2	TWI_0	LED 多路开关 I ² C
2	SCL	PC3	TWI_0	LED 多路开关 I ² C
3	X1	PD2	PTC	QT2 触摸 X 线路
4	X2	PD3	PTC	QT2 触摸 X 线路
5	X3	PA6	PTC	QT2 触摸 X 线路
6	X4	PD4	PTC	QT2 触摸 X 线路
7	Y1	PD6	PTC	QT2 触摸 Y 线路
8	Y2	PA5	PTC	QT2 触摸 Y 线路
9	Y3	PD7	PTC	QT2 触摸 Y 线路
10	Y4	PA4	PTC	QT2 触摸 Y 线路
11	Tx	PC1	USART_2	调试 UART
12	Rx	PC0	USART_2	调试 UART

7. 固件

本演示的应用程序代码使用 Atmel START 生成。TWI、UART 和 PTC 外设以及 Microchip 触摸库的配置通过 Atmel START 完成。贪吃蛇游戏算法和 LED 矩阵驱动器应用程序代码集成到固件中。贪吃蛇游戏演示应用程序代码的流程如图 7-1 所示。

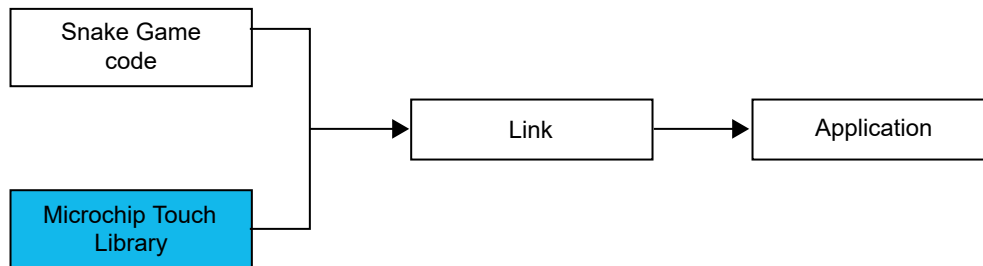
图 7-1. 应用程序流程图



7.1 Microchip 触摸库

Microchip 触摸库支持一系列 AVR、PIC、SAM 和 PIC32 单片机上的自电容和互电容触摸传感器。该库为 PTC 配置、传感器数据采集和触摸状态更新提供所需的应用程序编程接口（Application Programming Interface, API）。QTouch 配置器（嵌入到 Atmel START 中）提供了一个无缝接口，可将 Microchip 触摸库整合到用户应用程序中。

图 7-2. 触摸库的使用



注：有关更多详细信息，请参见 [QTouch®模块化库外设触摸控制器用户指南](#)。

7.2 触摸表面传感器配置

使用 Atmel START 配置 QT2 Xplained Pro 2D 表面，以实现单指手势检测。传感器的各种配置参数如下表所示：

表 7-1. 触摸表面传感器配置参数

参数	值
传感器类型	互电容
触摸测量周期	20 ms
模拟增益	1
数字增益	2
电荷共享延时	2
滤波等级	16
传感器阈值大小	25
表面分辨率（位）	7 位

7.3 低功耗触摸配置

当传感器完成初始化后，器件默认以主动测量模式启动。如果 20 秒内未检测到触摸活动，器件将自动切换到低功耗模式。在切换到低功耗模式之前，将使能事件系统，并将指定的传感器配置为低功耗传感器。本应用演示组合使用所有通道构成单个节点（Node_8），用作低功耗传感器。这样，整个表面上的触摸都会唤醒单片机。

有关使用 PTC 实现低功耗触摸应用的更多信息，请参见[低功耗触摸设计指南](#)。表 7-2 列出了为低功耗触摸检测配置的参数。

表 7-2. 低功耗触摸传感器配置参数

参数	值
低功耗/自动扫描按键	集总节点 8

..... (续)	
参数	值
集总节点 X 线路	X21、X16、X6 和 X17
集总节点 Y 线路	Y22、Y5、Y23 和 Y4
集总节点电荷共享延时	0
低功耗测量周期	64 ms
触摸非活动超时	20s
漂移测量周期	5s

7.4 手势实现

本应用演示以单击和滑动手势为例进行了演示。手势配置如下：

表 7-3. 手势配置参数

参数	值
单击超时	200 ms
滑动超时	700 ms
单击区域	20
水平和垂直滑动距离	30
手势测量周期	10 ms

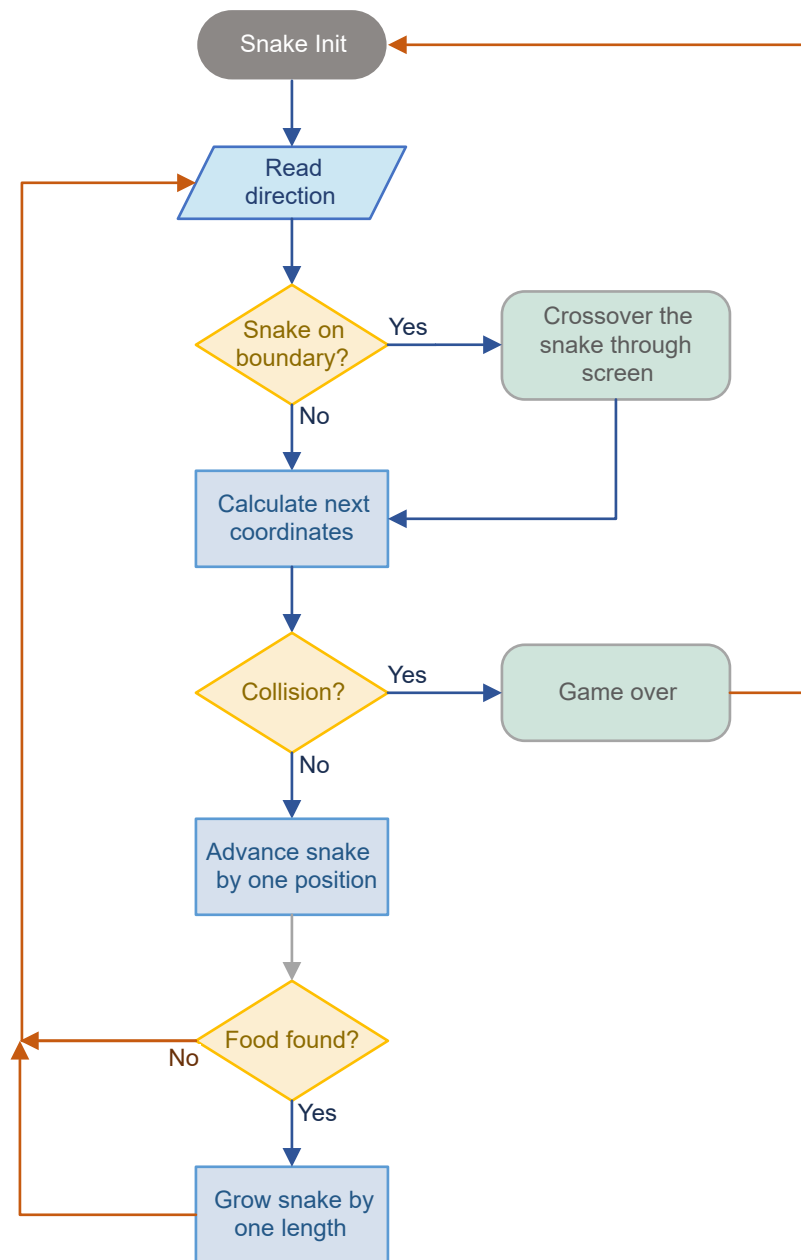
Microchip 触摸库的手势检测算法负责检测触摸表面上的有效单击和滑动手势事件（即向上、向下、向左和向右）。当检测到有效的单击或滑动手势事件时，相应的手势检测标志位将置 1。应用程序代码会读取手势信息并根据接收到的命令设置蛇的方向。

7.5 LED 矩阵驱动器和贪吃蛇游戏算法

QT2 Xplained Pro 板上的所有 LED 均由 LED 矩阵驱动器（IS31FL3728）驱动，该驱动器通过 I²C 控制。有关如何连接 LED 矩阵驱动器的详细说明，请参见 <http://www.issi.com/> 上的驱动器器件数据手册。在贪吃蛇游戏演示中，我们实现了一个基于 I²C 的合适驱动器。LED 驱动器相关的代码程序位于 LEDdriver.c 文件中。

我们在贪吃蛇游戏算法中编写了模块化代码来演示触摸表面的功能。贪吃蛇算法相关的代码程序位于 Snake.c 文件中。图 7-3 给出了贪吃蛇游戏算法的应用程序流程。

图 7-3. 贪吃蛇算法流程图



7.6 软件工具

在整个应用固件开发过程中使用 Microchip 的集成开发环境（Integrated Development Environment, IDE）、编译器 and 图形代码生成器，以提供无缝的用户体验。下面是用于本演示应用的工具：

- Atmel Studio 7.0.2397
- Atmel START
- AVR-Dx_DFP v1.0.21
- AVR GCC 编译器

注： 为了运行演示，安装的工具版本不得低于上面提供的版本。本示例未使用之前版本的工具进行测试。

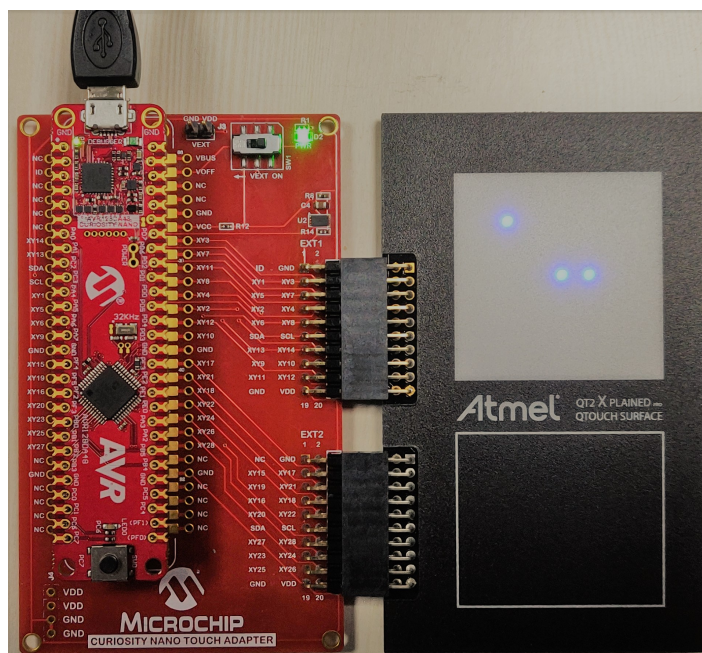
8. 演示设置

以下滑动手势可用于控制蛇向食物的方向移动：

- 向上
- 向下
- 向左
- 向右

蛇每吃一次食物，就会增加一定长度。如果超过 20 秒没有记录到任何活动，演示将进入待机休眠模式。要将其唤醒，只需在 QT2 板的触摸表面上单击任意位置即可。

图 8-1. 贪吃蛇游戏演示



9. 触摸表面性能测量

本章提供触摸表面性能因素的测量数据，例如触摸响应时间、CPU 利用率、程序和数据存储器要求以及触摸表面解决方案的功耗。测量数据仅针对触摸表面配置，不包括贪吃蛇游戏的功能实现。

用于测量触摸参数的硬件如下：

- AVR128DA48 Curiosity Nano 开发板
- Curiosity Nano 触摸适配器板
- QT2 Xplained Pro 扩展工具包
- 功率调试器

9.1 单片机配置详细信息

下表详细列出了为贪吃蛇游戏应用配置的 AVR128DA48 单片机以及外设的工作条件。

表 9-1. 单片机配置

参数	值
单片机	AVR128DA48
系统时钟	24 MHz (OSCHF)
单片机工作电压	3.3V
RTC 时钟	1 kHz (OSC32K/32)
RTC 中断周期	20 ms
低功耗模式下的 RTC 中断周期	5s
PTC 时钟	2 MHz

9.2 功耗

AVR128DA48 单片机在工作模式和休眠模式下运行时的功耗值是在仅配置触摸表面的情况下测得。表 9-2 列出了工作和休眠模式下的功耗数据。

表 9-2. 触摸表面电流消耗数据

序号	状态	电流
1	工作状态	5.7 mA
2	无漂移补偿的低功耗状态	13 μ A
3	带漂移补偿的低功耗状态	31 μ A

注： 带漂移补偿的低功耗模式下的电流消耗是单片机在待机期间和漂移测量期间（5s）的平均电流消耗。

9.3 程序与数据存储器

下表列出了带手势实现的触摸表面功能（不包括贪吃蛇游戏功能）和各种编译器优化级别所需的程序和数据存储器：

表 9-3. 触摸表面存储器消耗

序号	优化级别	程序存储器	数据存储器
1	-OO	14510 字节	830 字节

..... (续)

序号	优化级别	程序存储器	数据存储器
2	-O1	12856 字节	830 字节
3	-O2	12932 字节	830 字节
4	-O3	13580 字节	830 字节
5	-Os	12874 字节	830 字节

9.4 触摸响应时间

响应时间是指触摸表面对手指触摸事件作出响应所需的时间。其中包括单片机在表面传感器节点上采集触摸数据以及对采集数据进行后处理以报告有效触摸事件所需的时间。每秒报告的触摸事件数量随着响应时间的缩短而增加。

表 9-4. 触摸响应时间

序号	触摸测量周期	检测集成器	单次测量所需的时间	触摸响应时间
1	20 ms	2	1.7 ms	5.1 ms

注： 触摸响应时间取决于检测集成器（Detect Integrator, DI）设置。为实现最佳响应时间和触摸灵敏度，需要根据传感器设计调整 DI 参数。

9.5 CPU 利用率

根据触摸表面测量周期的后处理阶段所需的时间，可以确定触摸测量的 CPU 利用率。触摸检测的 CPU 利用率通常表示为测量周期的百分比。下表列出了不同测量周期值的工作和休眠模式下触摸应用程序（不包括贪吃蛇游戏功能）的 CPU 利用率：

表 9-5. 触摸表面应用程序的 CPU 利用率

序号	CPU 状态	工作模式下的测量周期	低功耗休眠模式下的测量周期	CPU 负载
1	工作	20 ms	64 ms	9%
2	休眠	20 ms	64 ms	0%
3	工作	40 ms	64 ms	5%
4	休眠	40 ms	64 ms	0%

10. 贪吃蛇游戏演示性能测量

本章提供贪吃蛇游戏应用演示的特性数据。

10.1 单片机配置详细信息

下表详细列出了为贪吃蛇游戏应用配置的 AVR128DA48 单片机以及外设的工作条件。

表 10-1. 单片机配置

参数	值
单片机	AVR128DA48
系统时钟	24 MHz (OSCHF)
单片机工作电压	3.3V
RTC 时钟	1 kHz (OSC32K/32)
RTC 中断周期	20 ms
低功耗模式下的 RTC 中断周期	5s
PTC 时钟	2 MHz

10.2 功耗

对功耗影响较大的因素有许多，例如工作电压、工作频率、CPU 工作周期、休眠模式、工作温度等。在实际应用中，当 CPU 空闲、不执行任何主动计算时，单片机通常会进入休眠模式。这在很大程度上缩短了单片机的工作周期，从而降低了单片机的平均功耗。

下表详细列出了使用触摸表面的贪吃蛇游戏演示的单片机功耗。

表 10-2. 贪吃蛇游戏演示电流消耗

序号	状态	电流
1	工作状态	5.8 mA
2	无漂移补偿的低功耗状态	13 μ A
3	带漂移补偿的低功耗状态	31 μ A

注：

带漂移补偿的低功耗模式下的电流消耗是单片机在待机期间和漂移测量期间（5s）的平均电流消耗。单片机每五秒从低功耗模式唤醒一次，以测量传感器节点的漂移。

10.3 程序与数据存储器

下表列出了各种编译器优化级别的应用的程序和数据存储器要求。

表 10-3. 贪吃蛇游戏演示存储器消耗

序号	优化	程序存储器	数据存储器
1	-O0	22328 字节	1216 字节
2	-O1	16608 字节	1216 字节
3	-O2	16936 字节	1216 字节

..... (续)

序号	优化	程序存储器	数据存储器
4	-O3	18322 字节	1216 字节
5	-Os	16446 字节	1216 字节

11. 参考资料

1. [AVR DA 产品系列页面](#)
2. [AVR128DA48 产品页面](#)
3. [使用 START 配置触摸入门](#)
4. [Microchip 触摸库](#)
5. [AVR128DA48 Curiosity Nano 评估工具包](#)
6. [QT2 Xplained Pro 扩展工具包](#)
7. [Curiosity Nano 触摸适配器](#)

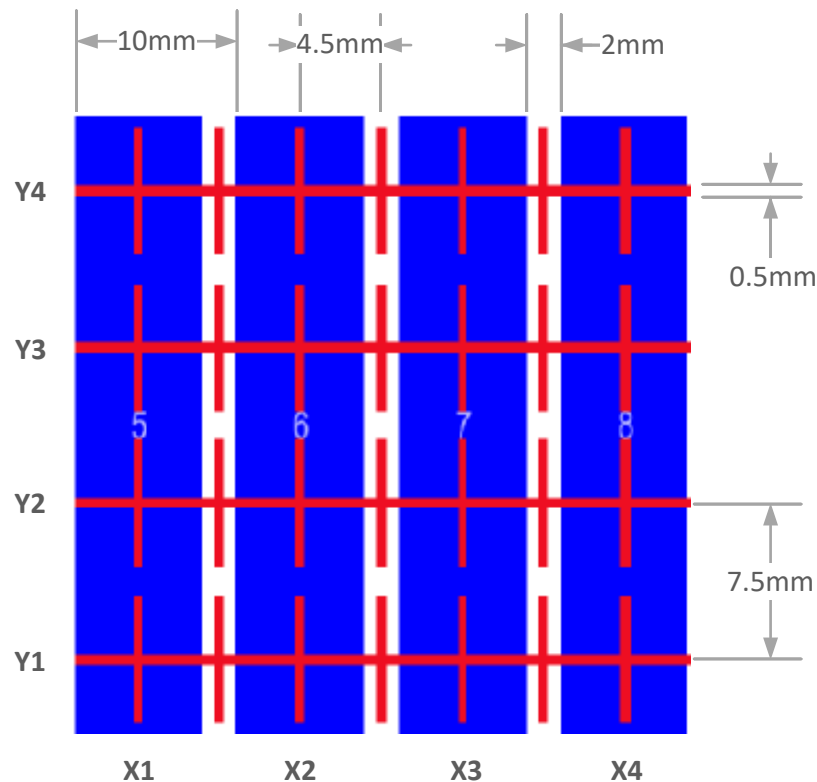
12. 附录：QT2 表面传感器设计规范

QT2 Xplained Pro 具有 4 x 4 互电容触摸表面。触摸板的传感器节点采用灌铜 X 设计布局。QT2 Xplained Pro 触摸板既可用于触摸表面，也可配置为 4 x 4 按钮阵列。

表 12-1. 表面设计参数

参数	值
行间距	7.5 mm
列间距	10 mm
Y 电极宽度	0.5 mm
YY 间距	4.5 mm
X 电极宽度	8 mm
X 电极间距	2 mm
前面板厚度	0.5 mm
前面板材料	Lexan (PC)

图 12-1. QT2 传感器节点布局



12.1 触摸板分辨率

分辨率是指每个传感器区域内报告的位置数。其值范围为 2 至 12 位（即 4 至 4096 个位置）。

X 轴总分辨率 = X 线路数 x 一个传感器的位置数。

Y 轴总分辨率 = Y 线路数 x 一个传感器的位置数。

触摸板分辨率 (dpi) = 一英寸区域内可用的传感器数 x 一个传感器的位置数。

一英寸区域内可用的传感器数 = 一英寸区域 (mm) / 一个传感器区域 (mm)。

在本应用中，使用 QT2 Xplained Pro 扩展板作为触摸表面。其上的一个传感器区域为 8 mm x 8 mm，固件采用 7 位的位置分辨率。使用上述计算公式，QT2 触摸表面设计的触摸板分辨率总计为 102 dpi。

表 12-2 列出了一个传感器区域为 8 mm x 8 mm 并且采用不同分辨率输入时，4X x 4Y 传感器配置下可能的位置和分辨率。

表 12-2. 触摸表面 DPI 计算

序号	分辨率	X 轴位置	Y 轴位置	触摸板分辨率 (dpi)
1	6 位	64	64	51
2	7 位	128	128	102
3	8 位	256	256	203

13. 版本历史

文档版本	日期	备注
B	2020 年 5 月	根据最新商标，将 AVR [®] MCU DA (AVR-DA) 更新为 AVR [®] DA MCU，AVR-DA 更新为 AVR DA。
A	2020 年 3 月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站 (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。我们的网站提供以下内容：

- **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**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **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

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知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，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

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 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 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 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 产品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规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- 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。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。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，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。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损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，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、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、NVM Express、NVMe、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom 和 Trusted Time 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 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。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-5224-9054-8

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

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: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 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 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 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 - 珠海 电话: 86-756-3210040	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 - 槟榔屿 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 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 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: 45-4485-5910 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: 49-7131-72400 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 - 若那那市 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: 47-72884388 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, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			