

# AN3641

# 采用 tinyAVR<sup>®</sup> 2 系列实现高性价比的低功耗 PIR 运动检测

### 特性

- 12 位 ADC, 差分测量
- ADC 采样累加,最多 1024 个采样
- 可编程增益放大器(Programmable Gain Amplifier, PGA),最高 16 倍增益
- 搭配使用内置的 ADC 与 PGA 对信号进行放大、过采样和分析
- 在突发模式下使用硬件求平均值
- 通过事件系统使用周期性中断定时器(Periodic Interrupt Timer, PIT)触发 ADC
- 与典型的无源红外(Passive InfraRed, PIR)解决方案相比,降低了物料清单(Bill of Material, BoM)成本
- 使用数据流协议在 Microchip 数据可视化器中显示数据
- 使用功率调试器在 Microchip 数据可视化器中显示功耗

## 简介

作者: Kjetil Kirkholt, Microchip Technology Inc.

本应用笔记介绍如何使用 tinyAVR<sup>®</sup> 2 系列单片机内置的 12 位差分 ADC 与 PGA,以及如何在使用无源红外(PIR)传感器收集测量结果的同时最大限度地降低电流消耗。

在本应用示例中,将对来自 PIR 传感器的信号进行放大、过采样、数字滤波和分析以确定是否发生了运动,同时使用 ATtiny1627 Curiosity Nano (DM080104) 板上的 LED0 来指示何时检测到运动。测量数据可以发送到串行终端,然后 在数据可视化器应用程序或 Atmel Studio 的数据可视化器插件中显示。

PIR 传感器的输出信号非常小,通常不到 1 mV。为了能够检测到运动,同时避免误检,需要先将信号放大,然后再由 ADC 采样。在典型的 PIR 解决方案中,信号需要通过多个具有高增益的运算放大器(运放)级来实现放大。相比之 下,本应用示例中则无需使用外部运放,信号完全通过单片机(MCU)内置的 PGA 实现放大。ADC 支持突发采样,该采样方式会自动将转换结果(可配置数量)累加到单个 ADC 结果中(采样累加)。本应用示例累加 16 个采样,这将 12 位 ADC 的分辨率提高了 2 位。如果需要,可以对信号进行最多 1024 次过采样,将 ADC 分辨率提高 5 位(达到 17 位)。

有关过采样的更多信息,请参见 ADC Oversampling with tinyAVR 0- and 1-series, and megaAVR 0-series 产品简介。

为便于演示,本应用示例使用了 ATtiny1627 Curiosity Nano 板、Curiosity Nano Base for Click boards<sup>™</sup>和修改版 MIKROE-3339 PIR Click boards<sup>™</sup>。

可从 Atmel START 获取示例代码,以重现本文中所述的结果:

- 带 tinyAVR 2 系列 ADC 的 PIR 传感器
  - start.atmel.com/#example/
     Atmel%3AApplication\_AVR\_Examples%3A1.0.0%3A%3AApplication%3APIR\_Motion\_Detection%3A

可从 GitHub 获取裸机代码示例(不使用 Atmel START 驱动程序):



View Code Examples on GitHub Click to browse repositories 有关该应用的更多信息,请参见演示工作原理和代码实现部分。 有关 ADC 性能和常规配置的更多详细信息,请参见器件数据手册。

# 目录

特性	<u>-</u>	1
简グ	·	1
1.	框图	4
2.	PIR 传感器理论	5
3.	演示工作原理	7
	<b>3.1.</b> 配置、定制与调整 <b>PIR</b> 应用的采样、滤波和检测参数	7
	<ul> <li>3.2. 使件准备工作</li></ul>	8
	<ul><li>3.3. 读件设置</li></ul>	. 11
	3.5. 运行示例	. 11
4.	源代码概述	13
	4.1. MCU 和外设配置	13
	4.2. 流程图	.14
	4.3. 时序图	.15
	4.4. 代码实现	15
5.	总结	19
6.	在 <i>数据可视化器</i> 中绘图	20
7.	绘制功耗图	21
	7.1. 功耗	22
8.	从 Atmel START 获取代码示例	.24
9.	从 GitHub 获取代码示例	25
10.	版本历史	.26
Mic	rochip 网站	.27
产品	变更通知服务	.27
客户	'支持	27
产品	标识体系	.28
Mic	rochip 器件代码保护功能	28
法律	t声明	28
商板	<u>.</u>	28
质量	管理体系	.29
全球	销售及服务网点	30

## **1.** 框图

图 1-1. 系统框图



### 2. PIR 传感器理论

PIR 传感器检测的是由传感器元件"看到"的红外辐射量的变化,具体取决于传感器正前方运动对象的温度和表面特性。

当有人在传感器与背景之间穿过时,传感器会检测到温度从环境温度变为人体温度再变回环境温度。传感器随后会将入射红外辐射的变化转换为输出电压(VPIR(t))的变化,如 PIR 传感器运动检测原理图所示。当运动对象的温度与背景相同但表面特性有所不同时,传感器也会检测到不同的辐射模式。

#### 图 2-1. PIR 传感器运动检测原理





下图给出了以下情况下从传感器捕捉的原始数据在数据可视化器中的曲线图:将一只手放在传感器上方并在一小段时间内保持不动,然后移开。

1	No Movement	. Move	ment in	Movement	! Mov	amont away		lovomont
6000	No novement	front	of sensor	stopped	fro	om sensor		lovement
5000							1	
4000							1	
3000								
2000								
1000								
0								
1000							1	
2000								
3000								
4000							1	
5000								
5000								

### 图 2-2. PIR 传感器运动检测原始数据(使用数据可视化器显示)

### 3. 演示工作原理

在采用 PIR 传感器的应用中,需要为传感器留出一段时间进行预热。预热期间,PIR 传感器会在其当前视野内达到 IR 辐射平衡,从而"获悉"其环境以稳定输出信号。在此期间,保持传感器视野内的环境不受干扰非常重要。可通过在应用固件中更改 PIR\_WARMUP\_TIME\_MS 定义调整预热时间。预热期间,LEDO 将以 1 Hz 的频率闪烁。当 LEDO 停止 闪烁时,表示预热完成,系统进入正常工作状态。

现在,只要有人在传感器正前方挥手或行走就会被检测到,与此同时 LED0 会以 4 Hz 的频率闪烁。当运动停止时, LED0 熄灭。

### 3.1 配置、定制与调整 PIR 应用的采样、滤波和检测参数

鉴于演示应用的创建方式,可以轻松修改采样参数、滤波参数和检测阈值参数。这些参数均位于项目的 main.c 文件 中。调整这些参数可以定制设计,从而优化设计的信号完整性、检测范围和功耗。

#### 3.1.1 采样参数

- PIR\_OVERSAMPLE\_RATE
  - 此参数设置信号过采样的次数。增大此参数将提高分辨率,从而扩大检测范围,但也会增加功耗。减小此参 数将缩小检测范围,但会降低功耗。
- PIR\_SAMPLE\_RATE\_PER\_SECOND
  - 此参数设置每秒采样数。增大此参数将加快应用对运动的响应速度、扩大检测范围,但也会增加功耗。减小 此参数将减慢响应速度、缩小检测范围,但会降低功耗。
- PIR\_PGA\_GAIN
  - 此参数设置 PGA 增益。增大或减小此参数会影响 PGA 增益,从而增大或减小 ADC 的输入信号,最终影响 系统的有效检测范围。更改增益对功耗没有影响。

#### 3.1.2 滤波和检测算法参数

- PIR\_WARMUP\_TIME
  - 此参数设置 PIR 预热时间。此参数应根据应用中所选 PIR 传感器需要的预热时间进行调整。
- PIR\_DETECTION\_THRESHOLD
  - 此参数设置应用的检测阈值。减小此参数可以扩大系统对于运动的有效检测范围,但同时会增加由于环境温度的突然变化或其他干扰而导致误检的几率。增大此参数会缩小检测范围,但同时会降低误检的几率。此参数设置得过大会导致无法检测到运动。
- PIR\_LONG\_TERM\_FILTER\_RANGE
  - 此参数设置长期滤波器的长度。更改此参数时需小心谨慎,同时还要兼顾

PIR\_SHORT\_TERM\_FILTER\_RANGE 和 PIR\_DETECTION\_THRESHOLD 参数,否则可能会影响系统的 有效检测范围并增加功耗。

- PIR\_SHORT\_TERM\_FILTER\_RANGE
  - 此参数设置短期滤波器的长度。更改此参数时需小心谨慎,同时还要兼顾
    - PIR\_LONG\_TERM\_FILTER\_RANGE 和 PIR\_DETECTION\_THRESHOLD 参数,否则可能会影响系统的有效检测范围并增加功耗。

#### 3.1.3 调试接口参数

- PIR\_DEBUG\_MESSAGES
  - 如果已定义此参数,则将允许通过 UART 向数据可视化器发送调试数据。添加此参数会增加系统功耗,如果 低功耗至关重要,则应将其删除。

#### 图 3-1. 数据可视化器(存在运动)



### 3.2 硬件准备工作

- ATtiny1627 Curiosity Nano (DM080104) : www.microchip.com/developmenttools/ProductDetails/DM080104
- 适用于 Click boards<sup>™</sup>的 Curiosity Nano 基板(AC164162): www.microchip.com/DevelopmentTools/ ProductDetails/AC164162
- MIKROE-3339 Click 板: www.mikroe.com/pir-click

#### 3.2.1 Click 板修改

在本演示中,Click 板需要经过修改之后才能使用,具体修改为移除运放增益级和其他一些组件。

PIR Click 板用于演示目的。Click 板初始配备用于放大信号的运放解决方案,如下图所示。但是,要演示 tinyAVR<sup>®</sup>2 系列单片机可以使用内置 PGA 和差分 ADC 来放大来自 PIR 传感器的原始信号,需要将此运放解决方案移除。

#### 图 3-2. Click boards<sup>™</sup>的初始版本及原理图



下图用红色 X 标出了 Click 板中需要移除的多余组件。新增的连接和组件用蓝色标出。移除 U2、R9、R10、R1 和 PWR LED 不是初始信号链的一部分,移除它们有助于最大限度地降低功耗。

#### 图 3-3. Click boards<sup>™</sup>的修改计划及原理图



电阻 R5 从 30 kΩ 改为 470 kΩ。R5 与 C8 (100 nF)组合构成一个截止频率为 3.38 Hz 的低通滤波器。此滤波器将同时传输来自 PIR 传感器的完整交流信号以及直流偏压,并滤除高频噪声。

电阻 R11 从 100 kΩ 改为 470 kΩ,电容 C1 从 10 μF 改为 2.2 μF。R11 与 C1 组合构成一个截止频率为 0.154 Hz 的低 通滤波器。此滤波器将阻止来自 PIR 的大部分交流信号,仅将传感器直流偏压传输到 ADC 的负输入。

#### 图 3-4. Click boards<sup>™</sup>的修改版本及原理图



两个滤波器的截止频率应根据应用需求以及系统要检测的运动类型来选择。

#### 3.2.1.1 使用 MPLAB<sup>®</sup> Mindi<sup>™</sup>模拟仿真器仿真滤波器

连接 PIR 传感器后(如上图所示),直流偏压将同时施加到 ADC 的正输入和负输入。由于 ADC 配置为差分模式,因此直流偏压被消除,整个 ADC 范围将可用于交流信号。

使用 MPLAB Mindi 模拟仿真器,可以施加仿真的 PIR 信号,与此同时仿真两个低通滤波器的行为。通过仿真,还可以 呈现在 ADC 差分输入移除直流偏压后的 ADC 差分信号。

仿真 PIR 信号时,在800 mV偏压上施加频率为 1 Hz 幅值为1 mV的正弦波。

#### 图 3-5. MPLAB<sup>®</sup> Mindi<sup>™</sup>滤波器仿真



两个低通滤波器与 ADC 差分输入相结合可有效构成一个带通滤波器。下图显示了使用 MPLAB Mindi 仿真两个滤波器 与差分 ADC 相结合时的频率响应。

#### 图 3-6. MPLAB<sup>®</sup> Mindi<sup>™</sup>滤波器响应



有关 MPLAB Mindi 模拟仿真器的更多信息、下载地址和使用方法,可访问以下网址:www.microchip.com/mplab/mplab-mindi。

### 3.3 硬件设置

本节提供有关硬件设置和引脚配置的信息,如下所示

图 3-7. 硬件设置的直观表示



#### 表 3-1. 引脚配置和 Click boards<sup>™</sup>

Curiosity Nano 适配器插 槽	Click boards <sup>™</sup>	Curiosity Nano 适配器引脚名称	MCU 引 脚名称
Slot 3	修改版 PIR Click	AN3	PA5
		PWM3	PB4

### 3.4 软件准备工作

- Atmel Studio 7 (版本 7.0.1931 或更高版本)
- Atmel Studio ATtiny\_DFP 版本 1.4.310 或更高版本
- 数据可视化器(独立或 Atmel Studio 中的扩展项)

### 3.5 运行示例

- 1. 将修改版 Click 板连接到适用于 Click 板的 Curiosity Nano 基板的slot 3。
- 2. 将 ATtiny1627 Curiosity Nano 连接到适用于 Click 板的 Curiosity Nano 基 板。
- 3. 使用 USB 线缆将 ATtiny1627 Curiosity Nano 连接到计算机。

**AN3641** 演示工作原理

- 4. 下载应用程序,如章节 8. 从 Atmel START 获取代码示例或章节 9. 从 GitHub 获取代码示例中所述。
- 5. 选择两个代码项目之一并对 ATtiny1627 进行编程。
- 6. 在传感器正前方挥手或行走,然后观察红色 LED 的闪烁情况。

## 4. 源代码概述

### 4.1 MCU 和外设配置

- CPU 时钟:工作模式下为 10 MHz,待机休眠模式下为 5 MHz
- 使用的外设:
  - ADC (差分模式)
    - PGA 设为 16 倍增益
    - ADC MUXPOS 输入通道为 AIN9: 引脚 PB4
    - ADC MUXNEG 输入通道为 AIN5: 引脚 PA5
    - ADC 参考电压: 1.024V
    - ADC 时钟: 2.5 MHz(F<sub>CPU</sub>/2)
    - ADC 由事件系统触发
  - RTC/PIT:
    - RTC 时钟以 1024 Hz 运行
    - PIT/256 通过事件系统连接到 ADC。转换触发速率为 4 Hz。
    - PIT/256 连接到事件输出引脚 PB7。检测到运动时的 LED0 翻转速率为 4 Hz。
    - PIT/1024 连接到事件输出引脚 PB7。预热期间的 LED0 翻转速率为 1 Hz。
  - 事件系统
    - 将 PIT 连接到 ADC
    - 将 PIT 连接到 LED0
  - USART0:
    - TXD: PB2
    - RXD: PB3
    - 波特率: 115200, ADC 结果发送到串行终端

## 4.2 流程图

图 4-1. 固件流程图



## 4.3 时序图 图 4-2. 固件时序图



### 4.4 代码实现

代码分为以下几个主要部分:

- 外设初始化
- 主循环
- 预热和滤波器创建
- 更新平均滤波器
- 检查运动
- 处理 ADC 中断程序

#### 4.4.1 外设初始化

可以使用 START 驱动程序来初始化 ATtiny1627 中的外设。由于本应用笔记重点介绍 ADC,因此这里仅详细介绍裸机 ADC 初始化。

```
void ADC 0 init()
   ADC0.CTRLB = ADC PRESC_DIV2_gc;
                                              /* 系统时钟被 2 分频 */
   ADC0.CTRLF = PIR OVERSAMPLE RATE;
                                              /* 采样累加 */
   ADC0.CTRLC = ADC_REFSEL_1024MV_gc
                                              /* 内部1.024Ⅴ参考电压 */
           | (TIMEBASE_VALUE << ADC_TIMEBASE_gp); /* 时基值 */
   ADC0.CTRLE = 0 \times 12;
                                         /* 采样持续时间 */
   ADC0.DBGCTRL = ADC DBGRUN bm;
                                            /* 调试运行:已使能 */
   ADC0.COMMAND = ADC DIFF bm
                                            /* 使能差分 ADC 转换 */
             | ADC MODE BURST gc;
                                           /* 突发累加 */
```

## **AN3641** 源代码概述

```
ADC0.INTCTRL = ADC RESRDY bm;
                                          /* 允许结果就绪中断 */
                                         /* 通过 PGA */
   ADC0.MUXNEG = ADC VIA PGA gc
            ADC MUXNEG AIN5 gc;
                                         /* ADC 输入引脚 5, PIR 传感器 */
                                         /* 通过 PGA */
   ADC0.MUXPOS = ADC VIA PGA gc
                                         /* ADC 输入引脚 9, PIR 传感器 */
            | ADC_MUXPOS_AIN9_gc;
   ADC0.PGACTRL = ADC_PGAEN_bm
                                          /* 使能 PGA */
             | PIR PGA GAIN
                                       /* 增益 */
             ADC_ADCPGASAMPDUR_15CLK_gc
                                                /* PGA 采样持续时间 */
             ADC_PGABIASSEL_1_2X_gc;
                                                /* PGA 偏置设为 1/2 */
   ADC0.CTRLA = ADC_ENABLE_bm /* 使能 ADC */
| ADC_RUNSTDBY_bm; /* 让 ADC 以待机休眠模式运行 */
                                         /* 清零 ADC 结果就绪中断标志 */
   ADC0.INTFLAGS = ADC RESRDY bm;
}
```

在示例应用程序中, ADC 在 ADC\_0\_init() 部分初始化。

已使能 PGA 来放大来自 PIR 传感器的信号,并且可通过更改 main.c 中的定义 PIR\_PGA\_GAIN 来调整增益。ADC 以*差分模式*和 突发模式运行,累加采样并进一步放大信号。累加采样数可在 PIR OVERSAMPLE RATE 中调整。

在*差分模式*下, ADC 会测量两个输入之间的电压差。

在*突发模式*下,单次触发后便会尽可能快地累加一连串 n 次转换,然后将转换结果累加到单次 ADC 结果中。

#### 4.4.2 主代码

在主函数中,初始化后,MCU将进入while(1)循环,即进入待机休眠模式。MCU 仅在 ADC 转换完成时被唤醒。随后 会更新滤波器,并确定是否发生运动。为了降低平均功耗,进入待机休眠模式之前应降低外设时钟速度,唤醒后再重 新提高外设时钟速度,以便快速更新滤波器并确定是否发生运动。但是,只有在 PIR\_OVERSAMPLE\_RATE 中配置的累 加 ADC 采样数大于 8 时才能如此来回更改时钟速度,否则更改时钟速度的时间比进行 ADC 转换的时间还要长,这样 反而会增加功耗。

```
int main (void)
   /* 初始时钟设为 5
MHz.
   /* 如果 ADC 累加的采样数小于 16,则 MCLKCTRLB 中的 CLKCTRL_PDIV_2X_gc 和 ADC0.CTRLB =
ADC PRESC DIV4 gc;
   /* 应用于降低平均功耗
*/
   ccp write io((void *)&(CLKCTRL.MCLKCTRLB), CLKCTRL PDIV 4X gc | 1 << CLKCTRL PEN bp ); /*
将主时钟4分频 */
                            /* 初始化 IO 引脚 */
   IO_init();
   EVENT_SYSTEM_0_init();
                                 /* 初始化事件系统 */
                               /* 初始化 PIT */
   RTC init();
   #ifdef PIR DEBUG MESSAGES
                              /* 如果定义了 SEND SERIAL DATA,则初始化 USART */
   USART init();
   #endif
                               /* 初始化 ADC */
   ADC 0 init();
   SLPCTRL.CTRLA = SLPCTRL SMODE STDBY gc; /* 选择待机休眠模式 */
                            /* 允许全局中断 */
   sei();
                                   /* 运行预热并收集 ADC 数据以创建滤波器 */
   warm_up_and_filter_creation();
   while (1)
   {
       /* 当 ADC 以休眠模式运行时,降低主时钟速度以降低外设时钟树功耗 */
       /* 仅在 ADC 配置为累积 8 个以上采样时才有效。
                                                                              */
```

## **AN3641** 源代码概述

```
/* 如果累加采样数小于 16,则应删除下面这行代码
      ccp_write_io((void *)&(CLKCTRL.MCLKCTRLB), CLKCTRL PDIV 4X gc | 1 <<
CLKCTRL PEN bp ); /* 将主时钟4分频 */
                               /* 进入休眠模式 */
      sleep mode();
      /* 提高主时钟速度以在工作模式下更快地运行代码,这样将降低平均功耗 */
      /* 如果累加采样数小于16,则应删除下面这行代码
      ccp_write_io((void *)&(CLKCTRL.MCLKCTRLB), CLKCTRL_PDIV_2X_gc | 1 <<
CLKCTRL_PEN_bp ); /* 将主时钟 2 分频 */
      update_average_filters(); /* 使用新的测量结果更新滤波器 */
                              /* 通过检查两个滤波器之间的增量来确定是否发生了运动 */
      check_for_movement();
      #ifdef PIR DEBUG MESSAGES /* 如果定义了 SEND SERIAL DATA,则将数据发送到数据可视化器 */
      usart tx(adc result, long term average, short term average, filter delta);
      #endif
   }
}
```

#### 4.4.3 预热和滤波器创建

这部分代码属于系统初始化的一部分,在主循环之前运行。预热时间只是一个延时循环,让 PIR 传感器有时间适应 IR 辐射,具体可在定义 PIR\_WARMUP\_TIME\_MS 中进行调整。PIT 通过事件系统连接到 ATtiny1627 Nano 上的 LED 0, 它将使 LED 0 在预热和滤波器创建这部分代码的整个执行过程中以 1 Hz 的频率闪烁,向用户指示系统正在预热。

预热时间结束后,使用以下命令启动 ADC:

ADC0.COMMAND |= ADC\_START\_EVENT\_TRIGGER\_gc;

MCU 进入待机休眠模式。

PIT 配置为通过事件系统启动 ADC 转换。当 PIT 发送事件以启动 ADC 转换时, ADC 将启动并按照配置执行转换, 待转换完成后发出结果就绪(REDRDY)中断以唤醒 MCU。可以在定义 PIR\_SAMPLE\_RATE\_PER\_SECOND 中配置 PIT 发送事件的频率。

```
void warm up and filter creation()
   uint8_t i = 0;
   EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = EVSYS USER CHANNEL2 gc; /* 使 LED0 以 1 Hz 的频率闪烁,指示正在预热 */
   /* 在此处放置预热延时/代码 */
    delay ms(PIR WARMUP TIME MS);
   /* 预热延时/代码结束位置 */
                                                  /* 使能 ADC 由事件触发*/
   ADC0.COMMAND |= ADC START EVENT TRIGGER gc;
   while(i < PIR LONG TERM FILTER RANGE)
    £
       sleep mode();
                                                  /* 进入待机休眠模式并等待 ADC 完成转换 */
       accumulated long term average = accumulated long term average + adc result;
       if (i < PIR SHORT TERM FILTER RANGE)
       ł
           accumulated short term average = accumulated short term average + adc result;
       i++;
   }
   EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = 0; /* 预热和平均滤波器创建完成, LEDO 停止闪烁 */
}
```

#### 4.4.4 更新平均滤波器

平均滤波器用于对 PIR 传感器测量中的噪声进行平均处理。这么做有助于在噪声较高时降低误检的几率。 short\_term\_average 滤波器为最近四次 ADC 测量结果的平均值,可在定义 PIR\_SHORT\_TERM\_FILTER\_RANGE 中进行调整。每次添加新的 ADC 测量时,减去 1/(滤波器大小)即可。这样,滤波器会不断更新,以此跟踪 ADC 测量

**AN3641** 源代码概述

结果中的快速变化,例如运动。对于每次新的 ADC 测量,long\_term\_average 滤波器会换出 1/(滤波器大小)。 long\_term\_average 滤波器较慢,但除了在系统中较慢的漂移之外,还会跟踪测量结果中的噪声并对其进行平均处 理。当未发生运动时,两个滤波器将收敛在同一个值附近,并且 filter\_delta 将保持较低水平。当发生运动时,来 自 PIR 的信号将发生变化,并且 filter\_delta 将增大,因为 short\_term\_average 跟随信号变化的速度比 long term average 快。

```
void update_average_filters()
{
    accumulated_long_term_average
    -= accumulated_long_term_average / PIR_LONG_TERM_FILTER_RANGE; /* 从累加的滤波器值中减去 1/x */
    accumulated_short_term_average / PIR_SHORT_TERM_FILTER_RANGE; /* 从累加的滤波器值中减去 1/y
*/
    accumulated_long_term_average += adc_result; /* 将新的 ADC 测量结果 (1/x) 加到累加的滤波器值中 */
    accumulated_short_term_average += adc_result; /* 将新的 ADC 测量结果 (1/y) 加到累加的滤波器值中 */
    long_term_average = accumulated_long_term_average / PIR_LONG_TERM_FILTER_RANGE; /* 将
    accumulated_long_term_average blog_term_average //
    short_term_average = accumulated_short_term_average //
    short_term_average = accumulated_short_term_average //
    short_term_average blog_term_average //
    filter_delta = long_term_average - short_term_average; /* 获取两个滤波器之间的增量 */
}
```

#### 4.4.5 检查运动

这部分代码会将 filter\_delta 的绝对值与 PIR\_DETECTION\_THRESHOLD 进行比较,以确定是否发生运动。只要 检测到运动,PIT 就会连接到 LED0 并使其以 4 Hz 的频率闪烁。

```
void check_for_movement()
{
    if (abs(filter_delta) > PIR_DETECTION_THRESHOLD )
    {
        EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = EVSYS_USER_CHANNEL3_gc; /* 检测到运动, LED0 闪烁 */
        }
        else
        {
            EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = 0; /* 无运动, LED0 停止闪烁 */
        }
}
```

### 4.4.6 ADC 结果就绪中断程序

当 ADC 转换完成且已累加所配置数量的采样后,将调用 ADC 结果就绪中断程序。转换完成后的结果将被读取并存储 在 adc\_result 中。

```
ISR (ADC0_RESRDY_vect)
{
    adc_result = ADC0.RESULT; /* 读取 ADC 结果寄存器 */
    ADC0.INTFLAGS = ADC_RESRDY_bm; /* 清零 ADC 结果就绪中断标志 */
}
```

## 5. 总结

本应用笔记所述示例展示了如何使用 ATtiny1627 和 tinyAVR 2 系列器件内置的 12 位差分 ADC 与可编程增益放大器来 设计低功耗且经济高效的小尺寸 PIR 运动检测解决方案。

与初始版 Click 板配置相比,该解决方案将显著降低 BOM 成本并减少电路板占用空间,具体方式为在信号链中节省两个运放、六个电阻和四个电容。此外,还可以在固件(而非硬件)中调整灵敏度、检测阈值、滤波和信号增益,这意味着开发人员在创建代码时可以根据应用需求进行调整和更改。通过使用 PIR 信号,开发人员可以在固件中实现智能算法,从而凸显产品差异化。

所选系统配置在环境温度下的总电流消耗约为 13.7 μA。如果采用初始偏置配置,仅 Click 板的电流消耗就会达到 11 μA 左右。增大偏置电阻 R6 会降低 Click 板的功耗,但传感器的输出信号也会随之变小。

功耗取决于应用,并且会根据 PIR 传感器的配置、采样和滤波参数而变化,这同时也会影响检测范围和/或灵敏度。当应用需求较低时,可考虑调整这些参数以进一步降低功耗。

下表举例列出了一些设置及其对应的 MCU 功耗。

#### 表 5-1. MCU 平均功耗

设置	MCU 功耗
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 4 Hz	1.5 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 2	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 8 Hz	2.1 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 2	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 16 Hz	3.5 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 2	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 4 Hz	2.7 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 16	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 8 Hz	4.6 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 16	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 16 Hz	8.6 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 16	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 4 Hz	6.1 µA
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 64	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 8 Hz	11.4 µA
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 64	
PIR_SAMPLE_RATE_PER_SECOND = 16 Hz	21.7 μΑ
PIR_OVERSAMPLE_RATE = 64	

### 6. 在数据可视化器中绘图

以下说明介绍了如何使用数据流协议在数据可视化器中绘制 USART 数据。 注: 有关数据可视化器的详细信息,请参见数据可视化器用户指南。

- 1. 打开**数据可视化器**。
- 2. 在**数据可视化器**中,打开 <u>Configuration > External Connection > Serial Port</u>(配置 > 外部连接 > 串行端口)。
- 3. 选择 Curiosity 虚拟 COM 端口,波特率: 115200,然后选择 Connect (连接)。
- 4. 打开<u>Configuration > Protocols > Data Streamer</u>(配置 > 协议 > Data Streamer)。
- 5. 在 Data Stream Control Panel (数据流控制面板)的 Configuration (配置)下,浏览到配置文件,然后选择Load (加载)。
  - 注: 在本例中, 配置文件为tiny2\_PIR\_datastreamer.cfg, 可以在示例源代码项目文件夹中找到。
  - 注: 有关数据流协议的更多详细信息,请参见数据可视化器用户指南的"数据流协议"部分。
- 1. 打开 <u>Configuration > Visualization > Graph</u>(配置 > 可视化 > 图)。
- 2. 使用下图中的红色箭头如图所示拖动连接,以进行绘图。

#### 图 6-1. 数据可视化器中的数据流图



要调整图中的Y轴,请按以下步骤操作:

- 1. 在 Graph 中的 Configuration 下,取消选中 Automatically Fit Y (自动调整 Y)。
- 2. 单击绘图区域内的某个位置。
- 3. 按住 Ctrl 键的同时滚动鼠标滚轮。

要调整图中的X轴,请按以下步骤操作:

- 1. 单击绘图区域内的某个位置。
- 2. 按住 Shift 键的同时滚动鼠标滚轮。

注: 有关数据可视化器 > Graph 的更多详细信息,请参见数据可视化器用户指南的"图形"部分。

## 7. 绘制功耗图

以下说明介绍了如何使用功率调试器在数据可视化器中分析功耗。

#### 注:

- 有关功率调试器的详细信息,请参见 Power Debugger User's Guide
- 有关数据可视化器的详细信息,请参见Data Visualizer User's Guide

#### 功率调试器连接:

- 1. 将功率调试器的其中一个参考地引脚连接到 Curiosity Nano 板上的接地引脚。
- 2. 将 Curiosity Nano 板上的 VOFF 引脚连接到接地引脚以断开 USB 电源与 tinyAVR 器件之间的连接。
- 3. 将 Curiosity Nano 板上的 VBUS 引脚连接到功率调试器上测量电路 A 的输入电流引脚。
- 4. 将功率调试器上测量电路 A 的输出电流引脚连接到 Curiosity Nano 板上的 VTG 引脚。

功率调试器的测量电路 A 现在串联在 USB 电源与 tinyAVR 单片机之间,可以测量使用的总电流。

#### 图 7-1. 功率调试器连接



数据可视化器设置:

- 1. 打开数据可视化器。
- 2. 在数据可视化器中打开 Configuration > Visualization > Power Debugging (配置 > 可视化 > 功率调试)。
- 3. 在 **DGI Control Panel**(DGI 控制面板)窗格中,选择 *Power Debugger Data Gateway > Connect*(功率调试 器数据网关 > 连接)。
- 4. 选中 Power (功率)复选框。
- 5. 在 Power Analysis (功耗分析) 窗格中,展开 Control Panel (控制面板)中的 Channel A (通道 A)下拉菜 单。
- 6. 在 Power Analysis 窗格中,将 DGI Control Panel 窗格中 A Current (A 电流)的插头拖到 Current (电流) 插座。
- 7. 在 DGI Control Panel 中按下 Start(启动)。
- 8. 可选:选中 Cursors(光标)下拉菜单中的 Enabled(已使能)复选框以使能光标。

#### 图 7-2. 数据可视化器中的功率调试图



### 7.1 功耗

使用代码中的初始设置,平均功耗非常低,如下图所示。

#### 图 7-3. 功耗分析, MCU 的平均电流消耗



### 图 7-4. 功耗分析,四次突发







## 8. 从 Atmel START 获取代码示例

代码示例可通过 Atmel START 获得, Atmel START 是一种基于 Web 的工具,可通过图形用户界面(Graphical User Interface, GUI) 配置应用程序代码。通过下面的示例代码直接链接或通过 Atmel START 主页上的 Browse Examples(浏览示例) 按钮,可以为 Atmel Studio、MPLAB<sup>®</sup> X 和 IAR Embedded Workbench<sup>®</sup>下载代码。

Atmel START 网页: http://start.atmel.com/。

#### 代码示例

- 带 tinyAVR 2 系列 ADC 的 PIR 传感器
  - start.atmel.com/#example/Atmel%3AApplication\_AVR\_Examples%3A1.0.0%3A%3AApplication% 3APIR\_Motion\_Detection%3A

有关详细信息和示例项目的相关信息,请单击 Atmel START 中的 User Guide(用户指南)。User Guide 按钮位于示例浏览器中,在 Atmel START 项目配置器中的仪表板视图中单击项目名称即可看到。

#### Atmel Studio

在 Atmel START 的示例浏览器中单击 **Download selected example**(下载所选示例),下载 Atmel Studio 对应的代码并保存为.atzip 文件。要从 Atmel START 下载文件,单击 **Export project**(导出项目),然后单击 **Download pack**(下载数据包)。

双击下载的.atzip 文件,将项目导入到 Atmel Studio 7.0。

#### MPLAB<sup>®</sup> X

单击 **Export project**,然后单击 **Download pack** 从 Atmel START 下载 MPLAB X IDE 对应的代码并保存为.atzip 文件。

要在 MPLAB X 中打开 Atmel START 示例,从 MPLAB X 中的菜单选择 *File > Import > START MPLAB Project*(文件 > 导入 > START MPLAB 项目),并导航到.atzip 文件。

#### IAR Embedded Workbench®

有关如何在 IAR Embedded Workbench 中导入项目的信息,请打开 Atmel START User Guide (Atmel START 用户指 南),选择 Using Atmel Start Output in External Tools (使用外部工具中的 Atmel Start 输出),然后选择 IAR Embedded Workbench。单击 Atmel START 起始页右上角的 *Help*(帮助)或项目配置器中右上角的 Help And Support (帮助和支持),均可找到 Atmel START 用户指南的链接。

## 9. 从 GitHub 获取代码示例

示例代码可通过 GitHub 获得, GitHub 是一个基于 Web 的服务器,可通过图形用户界面(GUI)提供应用程序代码。 代码示例可在 Atmel Studio 或 MPLAB X 中打开。要在 MPLAB X 中打开 Atmel Studio 项目,从 MPLAB X 的菜单中 选择 *File > Import > Atmel Studio Project*(文件 > 导入 > Atmel Studio 项目),然后导航至.cproj文件。 GitHub 网页: GitHub.

#### 代码示例

可通过在 GitHub 示例浏览器中搜索器件名称(例如, ATtiny1627)来查找 tinyAVR 2 系列器件的示例代码。



View Code Examples on GitHub Click to browse repositories

单击 Clone(克隆)或 download(下载)按钮从 GitHub 的示例页面下载代码,并保存为.zip 文件。

# 10. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	2020年11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。

## 产品标识体系

欲订货或获取价格、交货等信息,请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

## 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中。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 任何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,不得暗中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。

© 2022, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-6683-0074-9

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、 DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、POP、RealView、SecurCore、 Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINK-PLUS、ULINKpro、µVision 和 Versatile 是 Arm Limited(或其子公司)在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

### 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。



# 全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部	澳大利亚 - 悉尼	印度 - 班加罗尔	奥地利 - 韦尔斯
2355 West Chandler Blvd.	电话: 61-2-9868-6733	电话: 91-80-3090-4444	电话: 43-7242-2244-39
Chandler, AZ 85224-6199	中国 - 北京	印度 - 新德里	传真: 43-7242-2244-393
电话: 480-792-7200	电话: 86-10-8569-7000	电话: 91-11-4160-8631	丹麦 - 哥本哈根
传真: 480-792-7277	中国 - 成都	印度 - 浦那	电话: 45-4485-5910
技术支持:	电话: 86-28-8665-5511	电话: 91-20-4121-0141	传真: 45-4485-2829
www.microchip.com/support	中国 - 重庆	日本 - 大阪	芬兰 - 埃斯波
网址:	电话: 86-23-8980-9588	电话: 81-6-6152-7160	电话: 358-9-4520-820
www.microchip.com	中国 - 东莞	日本 - 东京	法国 - 巴黎
亚特兰大	电话: 86-769-8702-9880	电话: 81-3-6880-3770	电话: 33-1-69-53-63-20
德卢斯,佐治亚州	中国 - 广州	韩国 - 大邱	传真: 33-1-69-30-90-79
电话: 678-957-9614	电话: 86-20-8755-8029	电话: 82-53-744-4301	德国 - 加兴
传真: 678-957-1455	中国 - 杭州	韩国 - 首尔	电话: 49-8931-9700
奥斯汀,德克萨斯州	电话: 86-571-8792-8115	电话: 82-2-554-7200	德国 - 哈恩
电话: 512-257-3370	中国 - 香港特别行政区	马来西亚 - 吉隆坡	电话: 49-2129-3766400
波士顿	电话: 852-2943-5100	电话: 60-3-7651-7906	德国 - 海尔布隆
韦斯特伯鲁,马萨诸塞州	中国 - 南京	马来西亚 - 槟榔屿	电话: 49-7131-72400
电话: 774-760-0087	电话: 86-25-8473-2460	电话: 60-4-227-8870	德国 - 卡尔斯鲁厄
传真: 774-760-0088	中国 - 青岛	菲律宾 - 马尼拉	电话: 49-721-625370
芝加哥	电话: 86-532-8502-7355	电话: 63-2-634-9065	德国 - 慕尼黑
艾塔斯卡,伊利诺伊州	中国 - 上海	新加坡	电话: 49-89-627-144-0
电话: 630-285-0071	电话: 86-21-3326-8000	电话: 65-6334-8870	传真: 49-89-627-144-44
传真: 630-285-0075	中国 - 沈阳	台湾地区 - 新竹	德国 - 罗森海姆
达拉斯	电话: 86-24-2334-2829	电话: 886-3-577-8366	电话: 49-8031-354-560
阿迪森,德克萨斯州	中国 - 深圳	台湾地区 - 高雄	以色列 - 若那那市
电话: 972-818-7423	电话: 86-755-8864-2200	电话: 886-7-213-7830	电话: 972-9-744-7705
传真: 972-818-2924	中国 - 苏州	台湾地区 - 台北	意大利 - 米兰
	电话: 86-186-6233-1526	电话: 886-2-2508-8600	电话: 39-0331-742611
话维,密歇根州	中国 - 武汉	泰国 - 曼谷	传真: 39-0331-466781
电话: 248-848-4000	电话: 86-27-5980-5300	电话: 66-2-694-1351	意大利 - 帕多瓦
	中国 - 西安	越南 - 胡志明市	电话: 39-049-7625286
电话: 281-894-5983	电话: 86-29-8833-7252	电话: 84-28-5448-2100	荷兰 - 德卢内市
<b>印第安纳波利斯</b>	中国 - 厦门		电话: 31-416-690399
佑巾小斯维小,印弗女纳州 + X 017 770 0000	电话: 86-592-2388138		传真: 31-416-690340
电话: 317-773-8323	中国 - 珠海		挪威 - 特隆赫姆
传具: 317-773-5453	电话: 86-756-3210040		电话: 47-72884388
电话: 317-536-2380			波兰 - 华沙
<b>治伦</b> 机 来植始带 加利语尼亚胡			电话: 48-22-3325737
本俱维何,加利佃尼亚州			罗马尼亚 - 布加勒斯特
电话: 949-462-9523			电话: 40-21-407-87-50
传兵: 949-402-9008			西班牙 - 马德里
电话: 951-273-7800			电话: 34-91-708-08-90
			传真: 34-91-708-08-91
巴山: 919-044-/51U 如始 如始Ы			瑞典 - 哥德堡
如今, 如参り川 中子 621 425 6000			电话: 46-31-704-60-40
巴山: 031-433-0000 又同会 加利道日亚山			瑞典 - 斯德哥尔摩
王門書,川小酒化业/T 山子 409 725 0140			电话: 46-8-5090-4654
电话: 408-735-9110			英国 - 沃金厄姆
电话: 408-436-4270			电话: 44-118-921-5800
			传真: 44-118-921-5820
电话: 905-095-1980			
传具: 905-695-2078			