
使用带 TCA 和 TCB 的 CCL 与正交编码器接口

简介

作者：Kristian Saxrud Bekken, Microchip Technology Inc.

增量式正交编码器提供一种低成本的方法来测量带有运动部件的系统中的运动，因此在许多学科的大量应用中广泛使用。一些典型示例包括测量物理控制轮的位置或测量电机中的转子角度和速度。

一些 AVR® 单片机（如 AVR XMEGA® E5）包括专用的正交解码功能，但解码也可以通过利用功能较少的小型控制器上一些独立于内核的外设来实现。本应用笔记介绍了如何使用 AVR 通过组合可配置定制逻辑（CCL）、事件系统（EVSYS）、16 位定时器/计数器类型 A（TCA）和 16 位定时器/计数器类型 B（TCB）等独立于内核的外设（Core Independent Peripheral, CIP）来解码和跟踪来自增量式位置传感器的正交编码信号。

所述设置使用八个 I/O 引脚。如果使用本应用笔记提供的代码基于 ATtiny1617 实现，则器件可以解码频率最高达 2.5 MHz 的正交脉冲。

特性

- 使用 CIP 解码正交编码增量式位置数据的设置：
 - 可配置定制逻辑（CCL）
 - 事件系统（EVSYS）
 - 16 位定时器/计数器类型 A（TCA）
 - 16 位定时器/计数器类型 B（TCB）
- 最高 16 位分辨率
- 与器件无关
- RAM 使用率最低
- 内核使用率最低

目录

简介.....	1
特性.....	1
1. 相关器件.....	4
1.1. tinyAVR® 0 系列.....	4
1.2. tinyAVR 1 系列.....	4
1.3. megaAVR® 0 系列.....	5
2. 增量位置传感器信号的正交编码.....	6
3. 所需的器件资源.....	7
4. 实现概述.....	8
5. CPU 流程和位置解码.....	10
6. 可配置定制逻辑（CCL）设置.....	12
7. 定时器/计数器的设置.....	15
8. 事件系统设置.....	16
9. 端口设置和器件的具体详细信息.....	17
10. 性能和限制.....	18
11. 进一步开发.....	20
12. 从 Atmel START 获取源代码.....	21
13. 术语和缩写.....	22
14. 版本历史.....	23
Microchip 网站.....	24
变更通知客户服务.....	24
客户支持.....	24
Microchip 器件代码保护功能.....	24
法律声明.....	25
商标.....	25
DNV 认证的质量管理体系.....	26

全球销售及服务网点..... 27

1. 相关器件

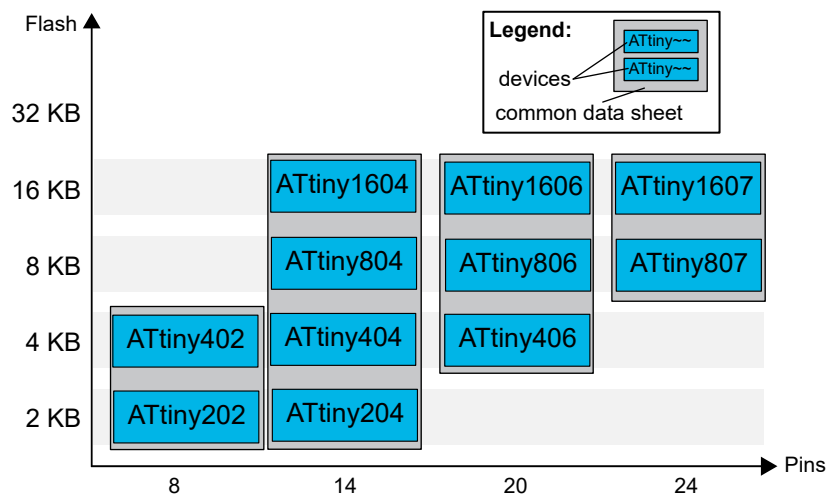
本章列出了文中涉及的相关器件。

1.1 tinyAVR® 0 系列

下图所示为 tinyAVR 0 系列器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 在垂直方向上，无需修改代码即可实现移植，因为这些器件的引脚和功能完全兼容。
- 水平向左移植会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-1. tinyAVR® 0 系列概览



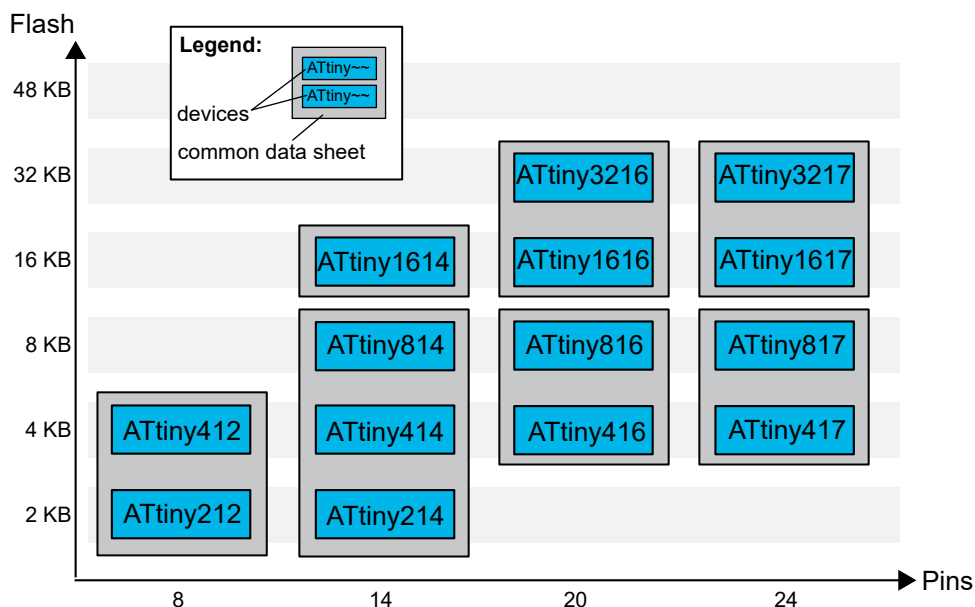
具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

1.2 tinyAVR 1 系列

下图所示为 tinyAVR 1 系列器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 垂直向上移植无需修改代码，因为这些器件引脚兼容并可提供相同或更多的功能。而向下移植可能需要修改代码，因为某些外设的可用实例数减少。
- 水平向左移植会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-2. tinyAVR® 1 系列概览



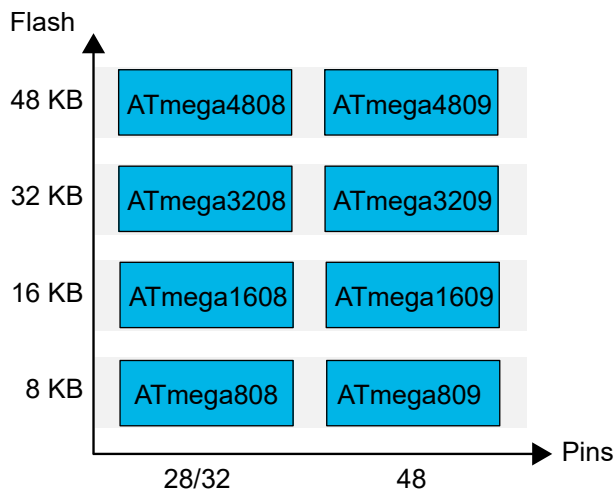
具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

1.3 megaAVR® 0 系列

下图所示为 megaAVR 0 系列器件，注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 无需修改代码即可实现垂直移植，因为这些器件的引脚和功能完全兼容。
- 水平向左移植会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-3. megaAVR® 0 系列概览



具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

2. 增量位置传感器信号的正交编码

增量位置传感器通常称为增量编码器，通过检测线性或角度位移的离散步阶来测量运动。将不会检测关于实际位置或角度的信息，只会得知发生了与已知离散步阶相对应的运动这一事实。这些步阶在传感器的物理运动包络内具有相等的间隔。要获得关于实际位置和速度的信息，需要通过单片机或其他外部电路来跟踪检测到的增量。这是增量编码器与绝对编码器的主要区别，后者可以在启动后直接提供正确的位置数据而无需运动。另一方面，增量编码器需要在循环上电时置于已知位置，以便提供正确的位置数据。

增量旋转编码器的成本很低，因此广泛应用于许多行业和应用中，其分辨率范围为每转几个计数到每转几千个计数。此外，还存在线性增量编码器。

最简单形式的增量编码器具有单个输出线，输出线上的信号翻转可指示每个位置增量。该信号不提供有关移动方向的信息。当需要检测方向时，通常使用双通道正交编码输出。

增量正交编码器的两个输出通道通常载有两个相位相差 90 度的方波信号 A 和 B。对于每个增量步阶，信号电平交替翻转一次。当将信号组合成两位值时，一个编码器周期内的四个连续步阶的值提供包含位置增量和运动方向的格雷码信号，如下面的表和两个图中所示。一个编码器周期由四个编码器计数组成。由于信号采用格雷码，因此每个增量只翻转一个位。这有助于信号错误检测并实现更可靠的解码。

表 2-1. 正交信号编码

正向		负向	
A	B	A	B
0	0	0	0
1	0	0	1
1	1	1	1
0	1	1	0

图 2-1. 正向波形

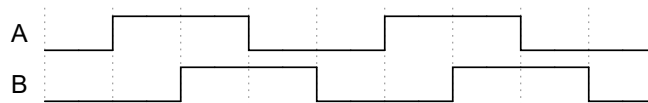
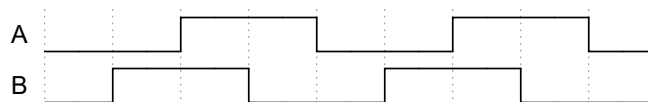


图 2-2. 负向波形



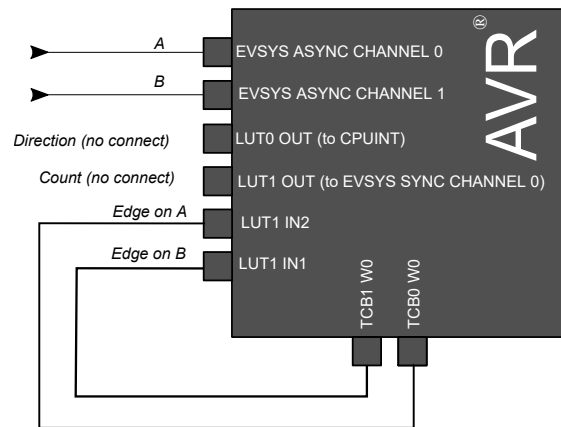
许多增量编码器还提供额外的第三个信号，称为索引脉冲或 Z 脉冲。该信号仅在传感器的运动包络中的一个特定位置上变为高电平，这意味着每机械旋转一圈，旋转编码器产生一个脉冲。这可以用作位置校准的精确参考点。

3. 所需的器件资源

实现所述设置所需的资源包括：

- 1 个 16 位定时器/计数器类型 A (TCA)
- 2 个 16 位定时器/计数器类型 B (TCB)
- 1 个可配置定制逻辑 (CCL)，带 2 个可用 LUT
- 4 个事件通道 (3 个异步和 1 个同步)
- 8 个 I/O 引脚，可以按照下图所示进行设置

图 3-1. 实现所需的 I/O 引脚



4. 实现概述

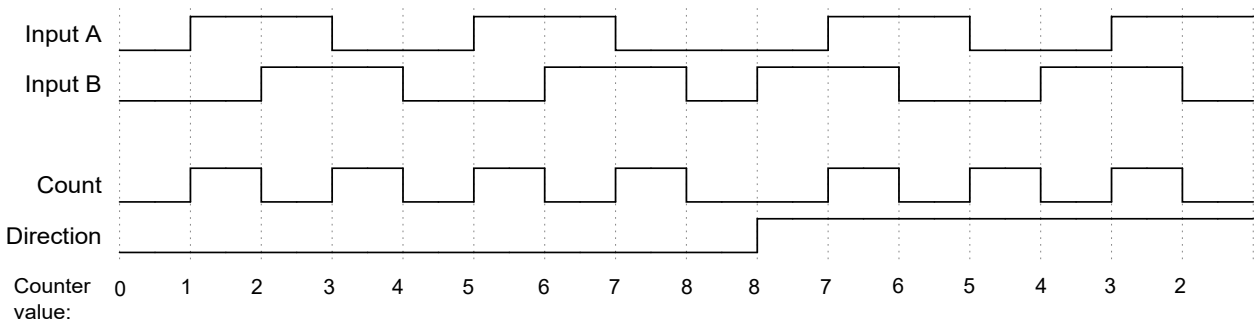
本应用笔记重点介绍来自自由增量编码器产生的正交脉冲的两个二进制信号。一个信号用于计数增量脉冲，一个信号用于跟踪计数方向。凭借独立于内核的外设（例如可配置定制逻辑（CCL）、事件系统（EVSYS）和定时器/计数器），可将许多操作从 CPU 卸载。由于计数信号和方向信号都可以通过采用正交信号作为输入的逻辑表达式生成，因此我们的想法是使用可配置定制逻辑（CCL）模块解析这些表达式。然后这两个信号可以通过事件系统传送给能够计数事件的 16 位定时器/计数器类型 A（TCA）。计数器值将根据计数信号和配置的方向增加或减少。定时器/计数器的寄存器保存要映射到物理位置的计数器值和计数方向。

计数信号必须指示两个正交输入中的哪一个包含前一个边沿。如果前一个边沿在 A 上，则计数信号应为低电平，如果前一个边沿在 B 上，则计数信号应为高电平。因此，计数器值将在计数信号的每个边沿递增或递减一次。同一通道上的任何连续边沿均指示方向变化，不得在计数信号上产生边沿。将每个输入通过事件系统传送给使能双事件边沿检测的 16 位定时器/计数器类型 B（TCB）后，可在没有 CPU 干预的情况下执行边沿检测。

方向信号表示运动的物理方向，由两个正交输入信号之一上的最后一个边沿指示。

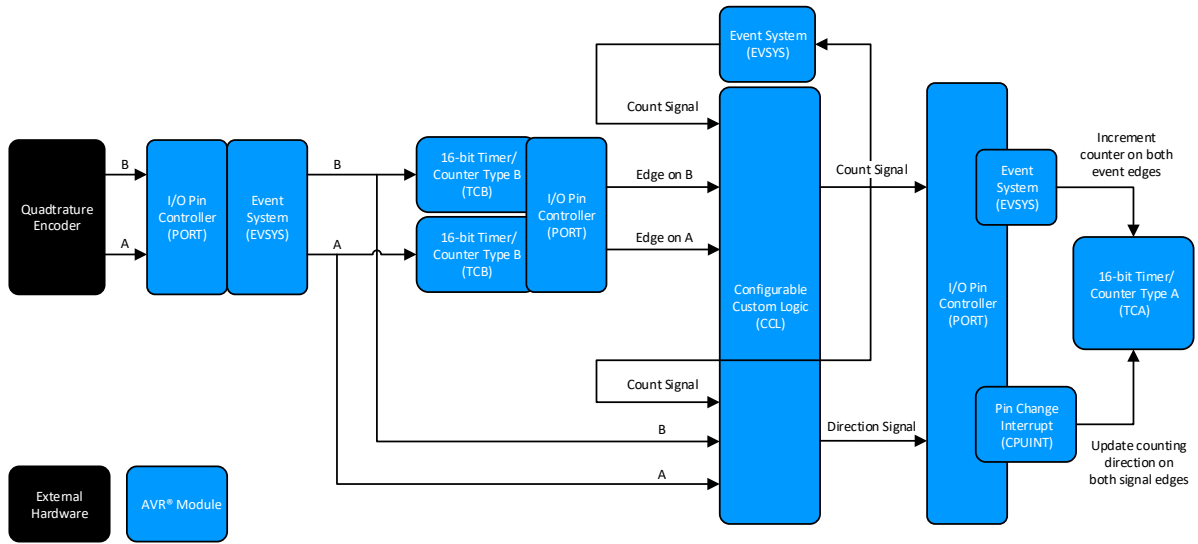
下面的第一个图概述了所需的计数信号、方向信号、计数器值以及输入信号。

图 4-1. 解码方案的期望波形和计数器值



通过将尽可能多的操作移至外设（而不是在 CPU 上执行），可增加可用的闪存、SRAM 和 CPU 周期，这样便可留下更多余量来实现附加功能。下图概述了如何设置外设及外设之间的信号流。

图 4-2. 模块和信号应用概览



由于 16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 的单个事件输入用于计数增量脉冲，因此引脚变化中断用于更新定时器计数方向。

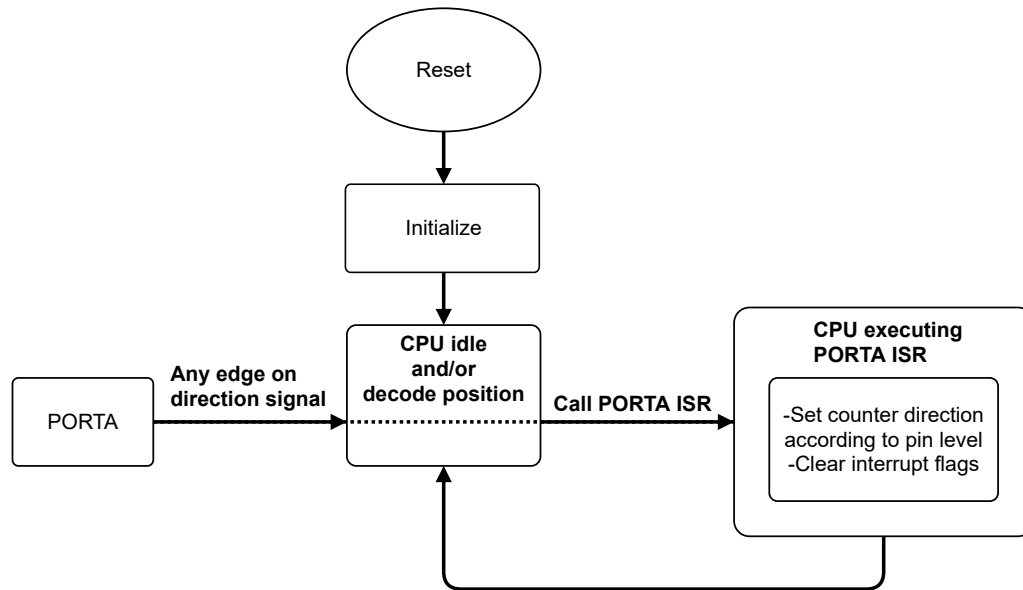
下面几节将提供有关如何配置不同模块的说明。

5. CPU 流程和位置解码

在本应用笔记随附的代码中，除了在方向变化后更新 TCA 的方向设置，CPU 仅用于将 TCA 数据映射到实际位置值。位置映射以基本轮询方式通过主循环完成，而方向更新由引脚变化中断执行。为了展示侧重于实际正交解码设置的示例，这里不包含更出色的位置值映射方式。此外，这种映射的速率和方式被视为高度特定于最终应用，因此这部分代码最有可能需要修改。

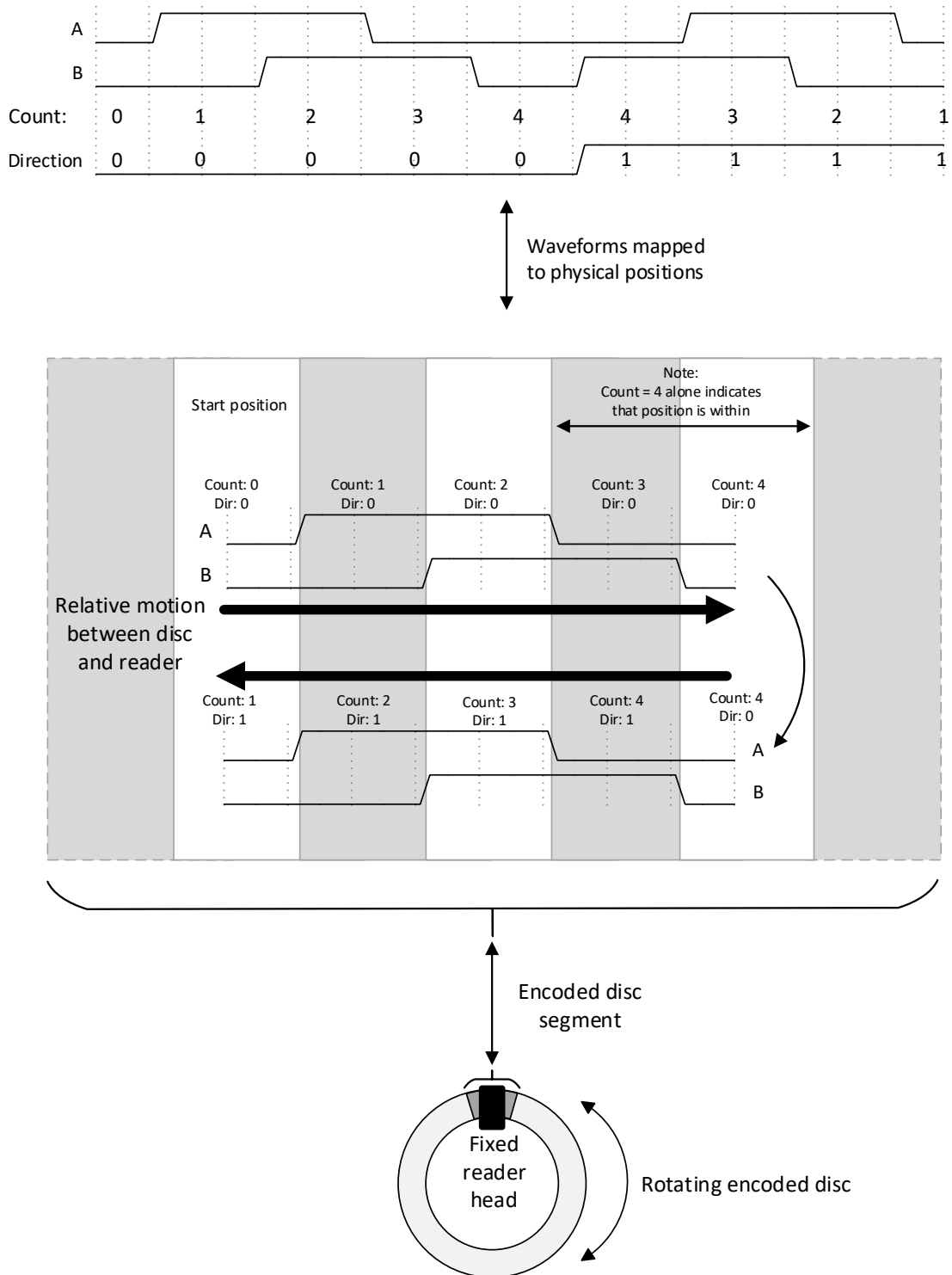
下图说明了如何使用 CPU。

图 5-1. CPU 执行流程概览



该解码方案的原理是仅基于与方向变化不对应的正交脉冲递增或递减计数器值。因此，单独的计数器值仅表示物理位置处于与[计数器 - 1，计数器 + 1]对应的区间中。这样便导致不确定性（即精度）达到两个相邻编码器脉冲之间距离的两倍。通过另外检查方向值，可将不确定性减少一半，因为它能够识别实际位置处于两个区间（[计数器 - 1，计数器]或[计数器，计数器 + 1]）中的哪一个。下图概述了解码原理，其中包括正交波形与读码器和旋转编码器的编码盘之间相对运动的映射。

图 5-2. 物理位置解码示例，旋转编码器段



在代码示例中，每次物理方向改变时仅更新方向位，从这个意义上来说，计数器值和方向位的更新是独立的。这可以最大限度地减少触发方向变化中断时所需的 CPU 周期。因此，在将计数器值映射到其对应的物理位置之前，需要考虑方向位的值，即从计数器值中减去方向位的值。

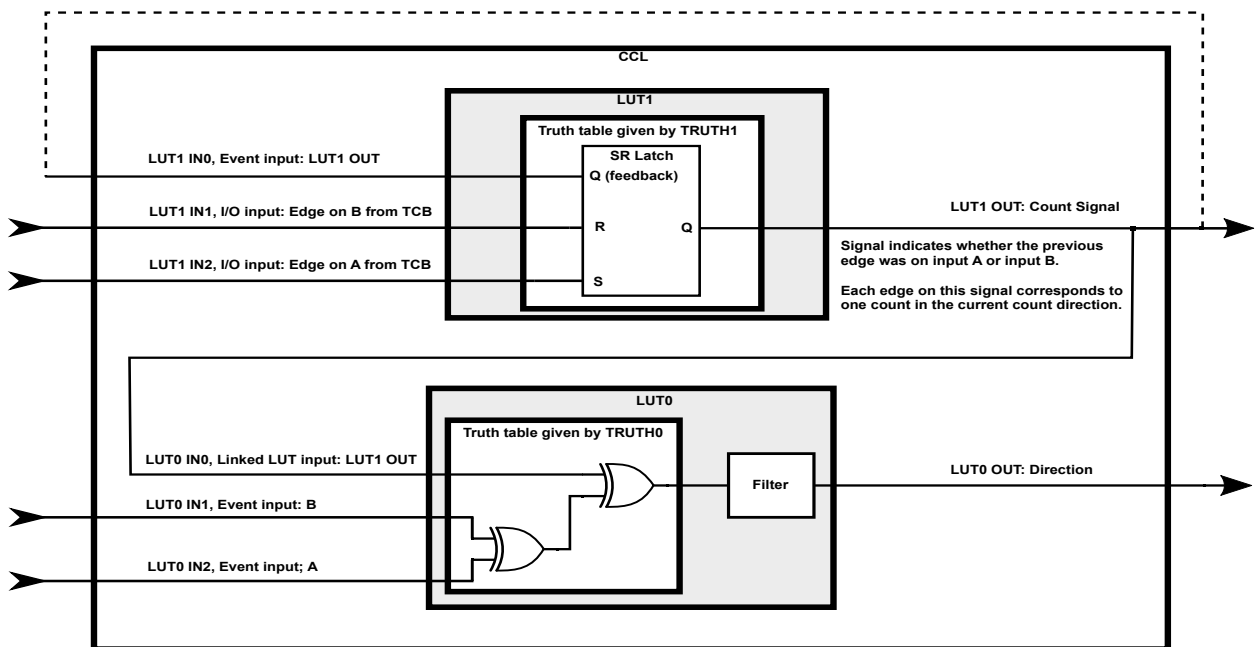
6. 可配置定制逻辑（CCL）设置

可配置定制逻辑（CCL）模块通过用作胶连逻辑来创建计数信号和方向信号。该模块包含多个查找表（Look-Up Table, LUT），每个查找表都可以基于其三个输入执行逻辑运算。输入可从大量内部和外部信号中选择。

本应用笔记中使用了两个 LUT；生成的每个信号对应一个。每个 LUT 的基本行为由其 TRUTH 寄存器给出。TRUTH 寄存器定义 LUT 的真值表，该真值表将三个输入的各个逻辑组合映射到真或假（高电平或低电平）输出值。TRUTH 寄存器中的每个位代表八种可能的输入值组合之一，相应位的值表示该组合的 LUT 输出值。

下图给出了此应用的可配置定制逻辑（CCL）配置的概览。

图 6-1. 可配置定制逻辑（CCL）设置



LUT1 设置

LUT1 用于产生一个指示哪个正交输入通道包含最后检测到的边沿的信号。该信号的每个边沿对应于一个正交计数。此功能相当于 SR 锁存器，它将连接到每个正交信号的边沿检测器的输出作为输入。下面是通用高电平有效 SR 锁存器的真值表。

表 6-1. SR 锁存器真相表

S	R	OUT
0	0	保持状态（无变化）
0	1	0（清零）
1	0	1（置 1）
1	1	禁止状态

为此，设置的基础是此 LUT 具有以下三个输入：

- LUT 的当前输出
- 指示 B 上的边沿的信号选通

- 指示 A 上的边沿的信号选通

LUT 输出通过事件系统反馈到 IN0。

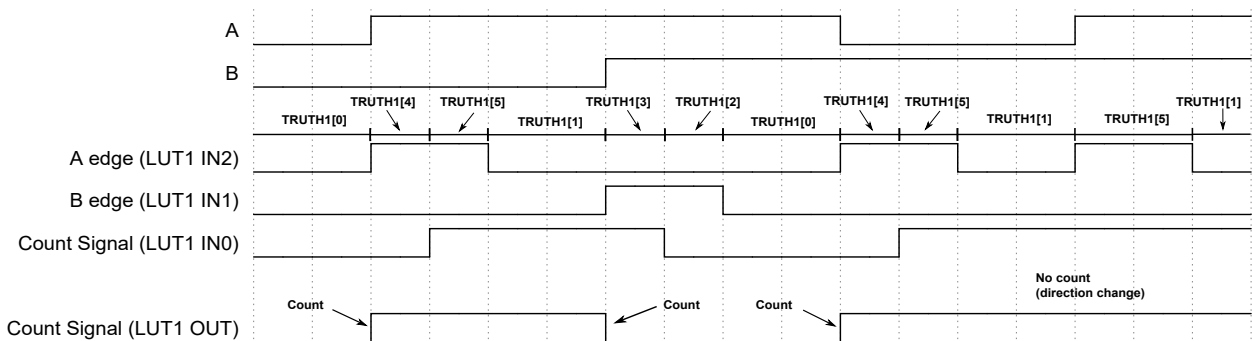
通过设置如下表所示的 TRUTH1 寄存器来实现上述 SR 锁存器功能，其中“A 上的边沿”用作“置 1”条件，“B 上的边沿”用作“清零”条件。OUT 列中 TRUTH1[0-7]给出的位组合“0b00110010”相当于十六进制值 0x32，是写入 TRUTH1 寄存器的 8 位结果值。

表 6-2. LUT1 的真值表

IN[2]	IN[1]	IN[0]	OUT (TRUTH1)	对应的 SR 锁存器输出
A 上的边沿	B 上的边沿	计数信号反馈	计数信号输出	
0	0	0	0 (TRUTH1[0])	保持状态 (无变化)
0	0	1	1 (TRUTH1[1])	保持状态 (无变化)
0	1	0	0 (TRUTH1[2])	0 (清零)
0	1	1	0 (TRUTH1[3])	0 (清零)
1	0	0	1 (TRUTH1[4])	1 (置 1)
1	0	1	1 (TRUTH1[5])	1 (置 1)
1	1	0	0 (TRUTH1[6])	禁止状态
1	1	1	0 (TRUTH1[7])	禁止状态

下面的波形显示了输入信号示例序列的输出信号，以及每个输入值组合的 LUT1 真值表中对应的行。此外，还包括实际的 A 和 B 输入信号。此图的主要目的是显示 LUT 输入和输出之间的映射。因此，为清晰起见，LUT1 IN0 和 IN1 上的脉冲长度以及从 LUT1 OUT 至 LUT1 IN0 的延时经过放大处理。

图 6-2. LUT1 示例波形



LUT0 设置

LUT0 用于产生指示任何给定时间的正交脉冲方向的信号，进而指示每个计数的总脉冲计数应增加还是减少。为此，设置的基础是 LUT0 具有以下三个输入：

- LUT1 的输出指示哪个通道包含前一个边沿
- B
- A

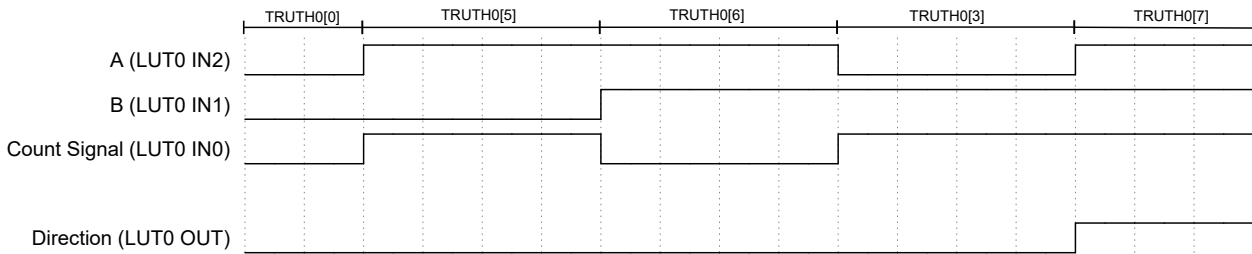
如最初包括的图中的 LUT0 所示，方向信号通过执行一系列 XOR 运算（两个一组）来创建。第一个运算以 A 和 B 信号作为输入，而第二个运算以计数信号和第一个 XOR 的输出作为输入。为了按所述方式配置 LUT，需要根据下表设置其 TRUTH 寄存器。输出列中 TRUTH1[0-7] 给出的位组合 0b10010110 相当于十六进制值 0x96，是写入 TRUTH0 寄存器的 8 位结果值。

表 6-3. LUT0 的真值表

IN[2]	IN[1]	IN[0]	输出 (TRUTH0)
A	B	来自 LUT1 的计数信号	方向信号
0	0	0	0 (TRUTH0[0])
0	0	1	1 (TRUTH0[1])
0	1	0	1 (TRUTH0[2])
0	1	1	0 (TRUTH0[3])
1	0	0	1 (TRUTH0[4])
1	0	1	0 (TRUTH0[5])
1	1	0	0 (TRUTH0[6])
1	1	1	1 (TRUTH0[7])

下面的波形显示了包含方向变化的输入信号示例序列的输出信号，以及每个输入值组合的 LUT0 真值表中对应的行。

图 6-3. LUT0 示例波形



从 A 和 B 输入信号到计数信号存在传播延时。因此，当接收到导致计数信号变化的正交脉冲时，变化将在 LUT0 IN1 或 IN2 上发生相应变化后到达 LUT0 IN0。如果未对 LUT 输出进行滤波，则会在 LUT0 OUT 上产生毛刺，这将不必要地调用方向更新中断。使能 LUT0 中的滤波器可缓解此问题。

7. 定时器/计数器的设置

本章介绍本应用笔记中使用的两个不同定时器模块 16 位定时器/计数器类型 B (TCB) 和 16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 的设置。

16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 设置

16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 用于跟踪由 A 和 B 上的正交脉冲指示的累积增量运动。

16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 有一个事件输入，配置为计数事件信号的两个边沿。它还具有可配置的计数方向。通过将产生的计数信号设置为事件输入并根据产生的方向信号更新计数器方向，定时器/计数器可以跟踪需要 CPU 仅更新计数方向的增量编码器脉冲。

此外，设置的计数器周期对应于在计数器值复位为零之前要计数的编码器增量的总数。对于跟踪始终位于给定角度区间内的控制转盘或轴的位置的应用，编码器计数中给出的测量窗口的大小可能小于或等于 16 位。在这些情况下，应设置计数器周期，以便使零和周期值表示测量窗口的端点，同时包括足够的缓冲区来避免计数器下溢或上溢。

在测量窗口不受约束或大于 16 位的旋转应用中，计数器周期应设置为编码器分辨率减 1。考虑到零位置的存在，必须减去 1，以便使惟一位置的总数等于编码器分辨率。对于这些应用，仅在编码器每转内跟踪位置，因此如果需要跨多转跟踪位置，还必须计数累加的转数。

16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 在没有任何比较通道或波形输出的正常模式下使用。

16 位定时器/计数器类型 B (TCB) 设置

16 位定时器/计数器类型 B (TCB) 的两个实例用于检测正交输入信号 A 和 B 上的边沿。两者的配置相同。

16 位定时器/计数器类型 B (TCB) 有一个事件输入并且能够基于两个事件边沿触发操作。操作由配置的 TCB 模式决定。在单触发模式下，可以在检测到输入事件的边沿时启动单个计数序列。如果 TCB 波形输出使能，它将保持高电平，直到计数器达到比较值。

TCB 配置为边沿检测器，在检测到事件输入的上升沿和下降沿时输出可配置长度的信号选通。这可以通过使能以下功能实现：

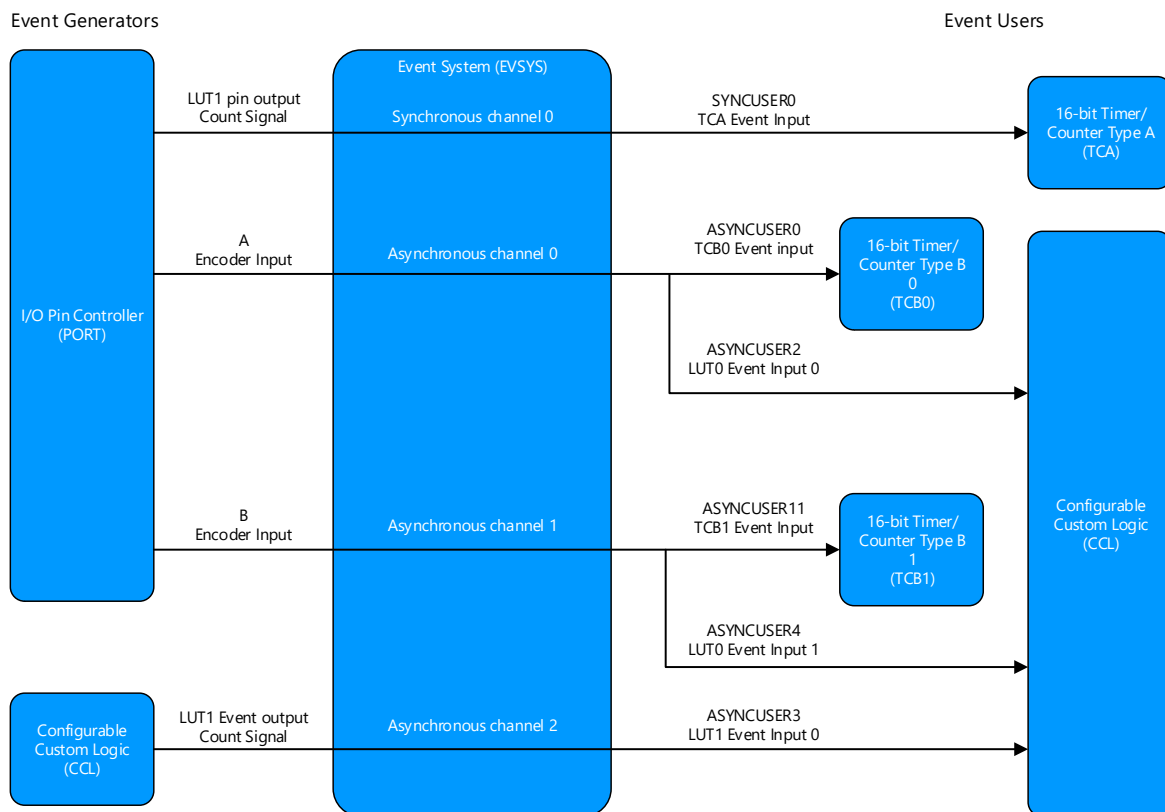
- 单触发模式
- 支持双边沿检测的事件输入
- 异步波形输出

可将正交输入通过 I/O 引脚控制器 (PORT) 模块和事件系统 (EVSYS) 连接到两个 16 位定时器/计数器类型 B (TCB) 实例的事件输入来利用该配置。然后通过相应的输出引脚将异步波形输出连接到可配置定制逻辑 (CCL)。

8. 事件系统设置

事件系统用于在器件上的模块之间内部连接信号。下图所示为本应用笔记使用的事件系统配置的概览。

图 8-1. 事件系统概览



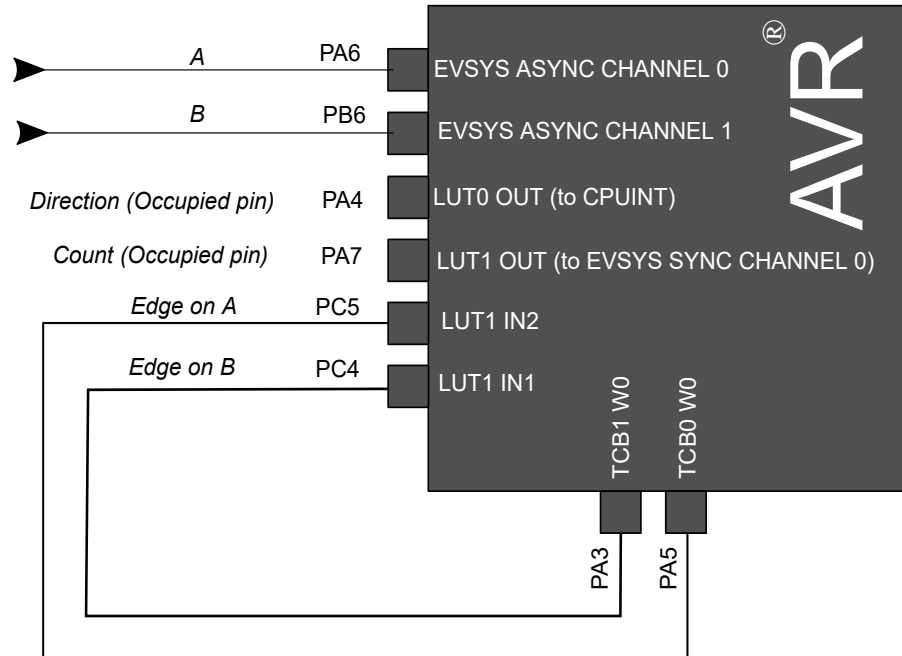
两个编码器输入均从 I/O 引脚控制器（PORT）模块连接到异步事件通道。然后，它们将传送到可配置定制逻辑（CCL）和两个 16 位定时器/计数器类型 B（TCB）模块，方法是将事件用户寄存器配置到正确的事件通道。

LUT1 的输出既可以直接用作异步通道 2 的事件发生器，也可以通过引脚间接用作同步通道 0 的发生器，如上图中的顶部和底部箭头所示。原因在于，16 位定时器/计数器类型 A（TCA）模块只接受同步事件，而可配置定制逻辑（CCL）则生成异步事件。因此，该应用需要通过 I/O 引脚控制器（PORT）模块传送异步事件以生成同步事件。

9. 端口设置和器件的具体详细信息

要实现所述的设置，共需要 8 个器件引脚。4 个引脚配置为输入，另外 4 个配置为输出。下图给出了基于 ATtiny1617 器件实现应用时的特定引脚分配及其用法示例。随附的代码专为 ATtiny1617 编写，但只需少量工作，便可将其移植到具有所需外设的其他器件上。

图 9-1. 基于 ATtiny1617 的实现的引脚连接概览



两个编码器输入连接到完全异步的引脚 PA6 和 PB6 以实现最短输入延时。配置的另外两个引脚输入 PC4 和 PC5 由器件上的 LUT1 使用，物理连接到 TCB 模块的输出引脚 PA3 和 PA5。这是为了利用 TCB 的异步引脚输出最大限度地缩短从 TCB 模块到 LUT1 的延时。

使用的最后两个引脚是两个 LUT 的输出引脚 PA4 和 PA7。为了更新 16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 计数方向，PA4 还配置为检测引脚上信号的两个边沿并启动 PORTA ISR 的执行，此 ISR 用于处理实际的方向更新。PA7 在事件系统中用作同步通道 0 的事件发生器，因为需要将计数信号连接到 16 位定时器/计数器类型 A (TCA)。

10. 性能和限制

本章介绍了一些实验解码性能数据，以及为所述设置确定的一组限制和注意事项。如果要在物理应用中使用该设置，应当考虑这一点。

实验性能数据

通过使用模拟正交脉冲来激励器件，已经采用以 20 MHz 时钟频率运行的 ATtiny1617 通过实验探究了解码方案在最大可接受正交频率方面的性能。应将这些数据看作没有明显噪声时桌面设置中测试器件的最大值。

对于单向正交信号，器件可以成功计数最高约 2.5 MHz 的输入脉冲。对于旋转编码器而言，这对应于每分钟 75000 转，每转提供 2000 个计数。

当编码器的振动方式为其中一个输入信号连续翻转其电平（对应于每个边沿的方向变化）时，用于更新计数方向的中断服务程序可由其中的每一个边沿启动。与启动和执行中断相关的延时降低了可获得的解码频率。连续方向变化的最大可接受频率约为 500 kHz。

为了进行比较，还测试了纯粹基于中断的解码方案。中断服务程序决定针对每个正交脉冲进行递增计数还是递减计数，以便使解码不受方向变化的影响。基于中断的解决方案的最大解码频率约为 220 kHz。

与独立于内核的方法相比，基于 CPU 的解决方案有两个优点：一是可以通过实现软件滤波器来提高抗噪性，二是提高了信号处理的灵活性。但代价是降低最大解码频率。

注意事项和限制

已确定的主要限制包括抗噪声能力较低以及需要使用中断来更新定时器/计数器的计数方向。

噪声抑制

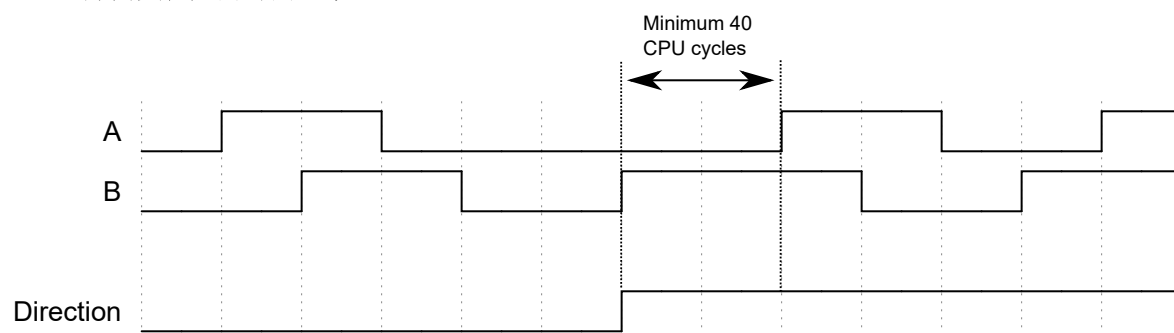
除了对输入信号进行边沿检测之外，本应用中还使用程度较低的内部信号滤波。因此，解码方案对输入线路上的噪声和虚假尖峰十分敏感。具体来说，持续时间长于一个 CPU 时钟周期的虚假脉冲可能被检测为正交计数或方向变化。通过降低 CPU 时钟频率可以提高抗噪性，但这会相应降低解码带宽。另一种选择是在必要时添加一定程度的外部滤波或信号调理。如果虚假脉冲检测不可缺少，则利用包含此功能的正交编码器的索引脉冲信号将减少功能影响。

中断驱动的计数方向更新

使用中断来更新 16 位定时器/计数器类型 A (TCA) 的计数方向有一些功能影响。它会导致正交解码不能完全独立于内核，因为当检测到方向改变时，CPU 需要执行中断服务程序。处理中断所需的 CPU 周期会使方向变化的最大频率低于来自单向运动的正交脉冲的最大频率。

通过检查处理方向变化中断所需的指令，已发现从相应的中断标志置 1 到中断服务程序完成约需要 40 个 CPU 周期。这非常符合上面关于性能数据部分的描述：在 20 MHz 的 CPU 频率下，连续方向变化的最大频率约为 500 kHz。主要结果是，方向变化和随后的正交脉冲之间的时间应大于或等于 40 个 CPU 周期，以保持正确方向。具体如下图所示：

图 10-1. 方向变化后的时间约束



11. 进一步开发

本应用笔记随附的代码根据正交解码方案设置器件。它还以轮询方式展示了计数和方向值到物理编码器角度的转换。下面介绍了可以根据需要添加的其他功能的一些建议。

有关进一步改进的建议：

- 将物理位置或角度的转换移到 **RTC** 中断，以根据应用需要执行
- 添加 **sleepwalking** 模式以在不需 **CPU** 时降低功耗
- 添加编码器速度估算。这可通过以已知的时间间隔检查编码器计数的差值来完成，例如，基于来自 **RTC** 的周期性中断。
- 通过在检测到脉冲时将计数器设置为已知值，添加对索引脉冲检测的支持以提高稳健性。此外，如果将索引脉冲用作精确参考点，还可以提高精度。

12. 从 Atmel | START 获取源代码

示例代码可通过 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。可以通过下面提供的直接示例代码链接或 Atmel | START 首页上的 *BROWSE EXAMPLES*（浏览示例）按钮，为 Atmel Studio 和 IAR Embedded Workbench® 下载代码。

Atmel | START 网页：start.atmel.com

示例代码

- 使用带 TCA 和 TCB 的 CCL 与正交编码器接口：
 - http://start.atmel.com/#example/Atmel:quadrature_decoding_using_ccl_with_tca_and_tcb:1.0.0::Application:Quadrature_Decoding_using_CCL_with_TCA_and_TCB:

有关详细信息和示例项目的相关信息，请按 Atmel | START 中的 *User guide*（用户指南）按钮。*User guide* 按钮可以在该网页中找到，方法是在 Atmel | START 项目配置器中的仪表盘视图中单击项目名称。

Atmel Studio

在 Atmel | START 的网页中单击 *DOWNLOAD SELECTED EXAMPLE*（下载所选示例），为 Atmel Studio 下载 .atzip 文件形式的代码。要从 Atmel | START 下载文件，请单击 *EXPORT PROJECT*（导出项目），然后单击 *DOWNLOAD PACK*（下载包）。

双击下载的 .atzip 文件，项目将导入到 Atmel Studio 7.0。

IAR Embedded Workbench

有关如何在 IAR Embedded Workbench 中导入项目的信息，请打开 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 首页右上角的 *About*（关于）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。

13. 术语和缩写

表 13-1. 术语和缩写

短语/缩写	说明
CPU	中央处理单元。常用于单片机内核。
ISR	中断服务程序
信号选通	短脉冲或信号
CCL LUT	可配置定制逻辑查找表。AVR CCL 模块包含 LUT。
测量窗口	编码器应测量的位置集
格雷码	一种编码数字信号的方法，其中信号值中只有一位在信号序列中的两个值之间变化
事件	器件上的内部信号，可以通过事件系统直接在外设之间连接
RTC	实时计数器

14. 版本历史

文档版本	日期	备注
C	2018 年 10 月	更新了“相关器件”章节以包括 8/16 KB megaAVR 0 系列器件。
B	2018 年 2 月	更新了“相关器件”章节以包括 tinyAVR 0 系列和 megaAVR 0 系列器件。
A	2017 年 8 月	文档初始版本。

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: 978-1-5224-4335-3

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. 钱德勒, 亚利桑那州 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: http://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: 45-4450-2828 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: 49-7131-72400 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 米镇维荷, 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			