
tinyAVR[®] 1系列的ADC过采样

特性

- 通过过采样提高Microchip tinyAVR[®] 1系列器件的ADC分辨率
- 平均值计算和抽取
- 已实现了ATtiny817的Atmel START示例项目可将10位分辨率提高到12位分辨率
- 在源代码中显示配置选项以选择：
 - ADC输入引脚
 - ADC采样率
- ADC结果通过USART发送到串行终端。将显示测得的模拟输入电压（单位：V）——为进行比较，将同时显示过采样结果和正常结果。

简介

Microchip tinyAVR[®] 1系列控制器提供10位分辨率的模数转换器。在大多数情况下，10位分辨率已足够，但在某些情况下，需要更高的精度。可使用特殊的信号处理技术提高测量的分辨率。通过使用称为“过采样和抽取”的方法，可以实现更高的分辨率，而无需使用外部ADC。例如，使用10位ADC时，可通过过采样技术实现12位结果。本应用笔记说明了该方法的工作原理，以及该方法正常工作所需满足的条件。本应用笔记还提供了用于实现此过采样技术的源代码（符合上述工作原理）。

目录

| | |
|------------------------------|----|
| 特性 | 1 |
| 简介 | 1 |
| 1. 相关器件 | 3 |
| 1.1 tinyAVR 1系列 | 3 |
| 2. 工作原理 | 4 |
| 2.1 采样频率 | 4 |
| 2.1.1 ADC时钟限制 | 4 |
| 2.2 过采样和抽取 | 4 |
| 2.3 噪声 | 4 |
| 2.4 平均值计算 | 7 |
| 2.5 “过采样和抽取”在何时起作用? | 8 |
| 3. 从Atmel START获取源代码 | 10 |
| 4. 源代码概述 | 11 |
| 5. 宏配置 | 12 |
| 6. 应用程序流程图 | 13 |
| 7. 过采样演示应用程序的工作原理 | 14 |
| 8. 版本历史 | 15 |
| Microchip网站 | 16 |
| 变更通知客户服务 | 16 |
| 客户支持 | 16 |
| Microchip器件代码保护功能 | 16 |
| 法律声明 | 17 |
| 商标 | 17 |
| DNV认证的质量管理体系 | 18 |
| 全球销售及服务网点 | 19 |

1. 相关器件

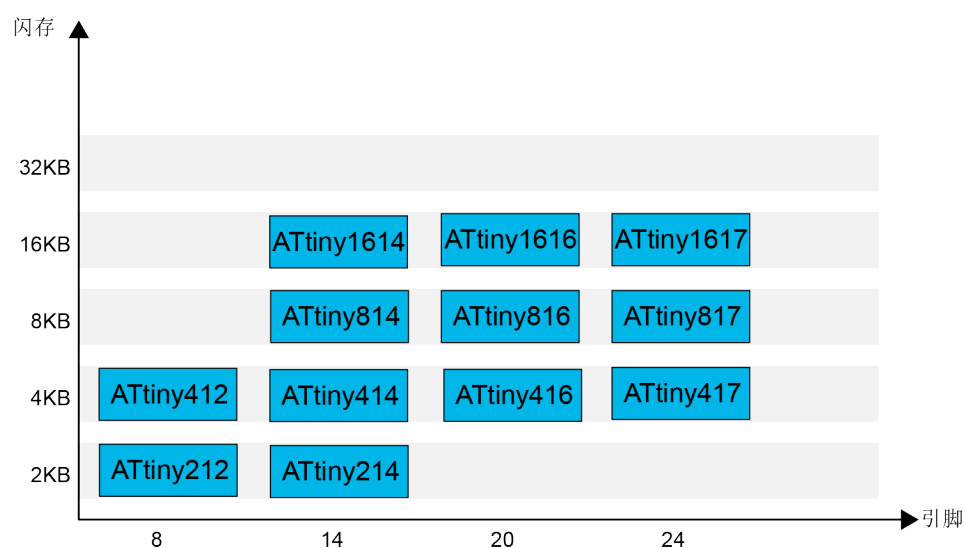
本章列出了本文档的相关器件。

1.1 tinyAVR 1系列

下图给出了tinyAVR 1系列器件，说明了不同引脚数型号与存储器大小的关系。

- 垂直向上移植无需修改代码，因为这些器件的引脚彼此兼容，可提供相同甚至更多的功能。而向下移植可能需要修改代码，因为某些外设的可用引脚数较少。
- 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[®] 1系列器件概览



具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的SRAM和EEPROM。

2. 工作原理

本章说明了过采样如何处理所有必要的数学细节。

2.1 采样频率

奈奎斯特定理指出，信号的采样带宽必须至少为信号带宽的两倍才能准确重建波形；否则，高频分量将在所关注频谱（通带）内的某一频率处发生混叠。根据奈奎斯特定理，所需的最小采样频率是奈奎斯特频率。

公式2-1. 奈奎斯特频率

$$f_{nyquist} > 2 \times f_{signal}$$

其中， f_{signal} 是输入信号中所关注的最高频率。如果采样频率高于 $f_{nyquist}$ ，则称为“过采样”。不过，此采样频率仅仅是理论上的绝对最小采样频率。实际上，用户通常希望尽可能使用最高采样频率，以便尽可能得出所测量信号在时域中的最佳表示。因此，可以说在大多数情况下输入信号均已进行过采样。

采样频率是CPU时钟的预分频结果；预分频系数越小，得到的ADC时钟频率越高。在某个点上，较高的ADC时钟会降低转换精度，因为有效位数（Effective Number of Bit，ENOB）将减少。

2.1.1 ADC时钟限制

如果Microchip tinyAVR[®] 1系列器件要获得10位分辨率的转换结果，ADC时钟频率最大应为1.5 MHz。当ADC时钟为1.5 MHz时，采样频率为150 ksp/s，这会将采样信号的上限频率限制在75 kHz左右。

2.2 过采样和抽取

过采样技术需要更多的采样。这些额外的采样可以通过对信号进行过采样来实现。分辨率每增加n位，就必须对信号进行 4^n 次过采样。以下公式给出了信号采样时必须使用的频率：

公式2-2. 过采样频率

$$f_{oversampling} = 4^n \times f_{nyquist}$$

2.3 噪声

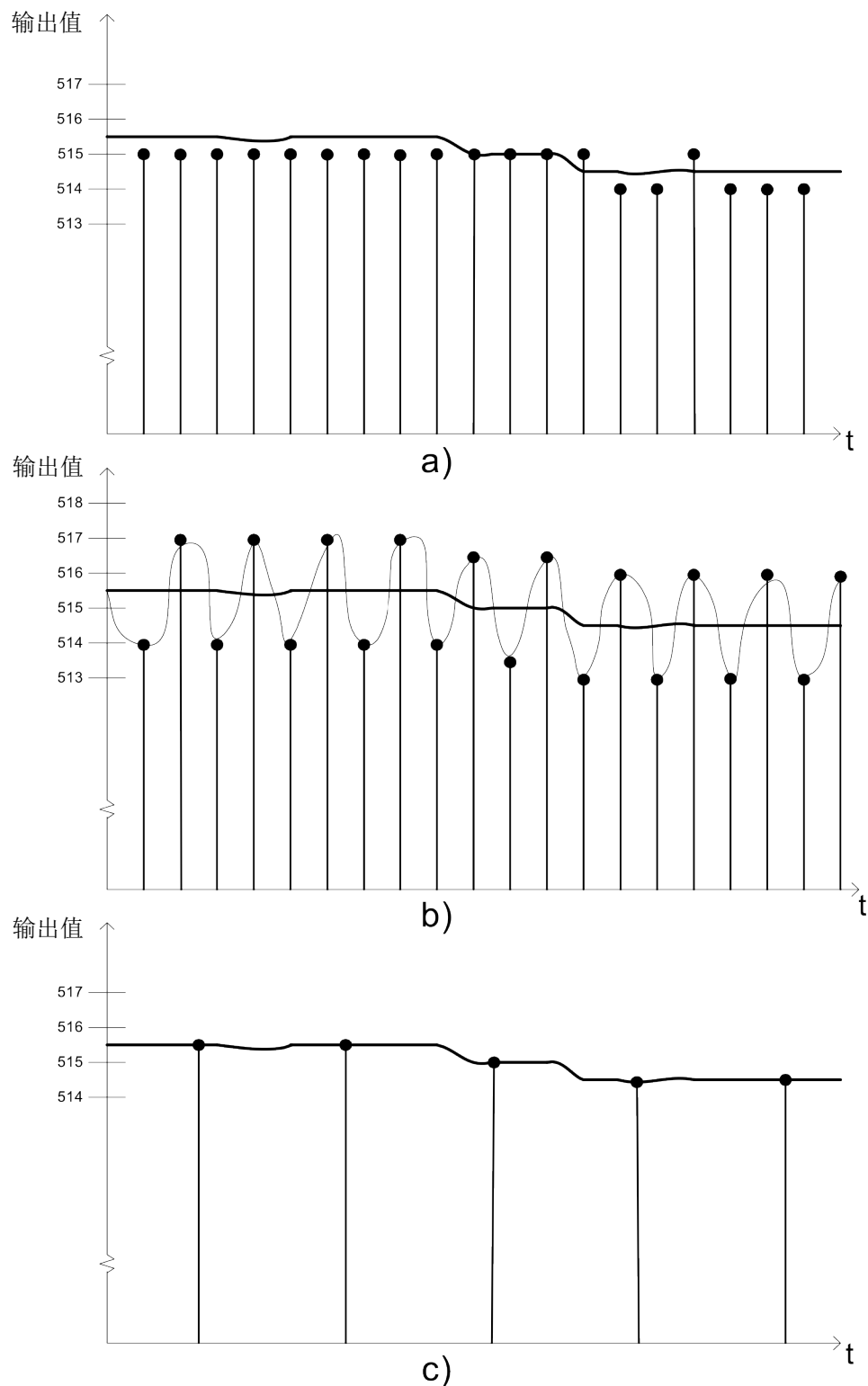
为使此方法正常工作，在转换过程中所关注的信号分量不应有很大的变化。然而，成功提高分辨率的另一个标准是在采样时输入信号必须略微变化。这看似矛盾，但此时的变化意味着只有几个LSB。此变化应看作信号的噪声分量。当对信号进行过采样时，应存在噪声，以满足信号略微变化这一要求。ADC的量化误差至少为0.5 LSB。因此，噪声幅值必须超过0.5 LSB才能切换LSB。1-2 LSB的噪声幅值甚至更好，因为这将确保几次采样结束时不会得到相同的值。

使用抽取技术时的噪声标准：

- 在转换期间，所关注的信号分量不应存在明显变化
- 信号中应存在一些噪声
- 噪声的幅值应至少为1 LSB

通常在转换过程中会存在一些噪声。噪声可以是热噪声、来自CPU内核的噪声、I/O端口切换和电源变化等。在大多数情况下，此噪声足以使该方法生效。但在特殊情况下，可能需要人为地在输入信号中添加一些噪声。这种方法称为抖动。图2-3 (a)所示的问题是所测量信号的电压值介于两个量化级之间。对四次采样执行平均值计算也于事无补，因为结果同样会是低值。图2-3 (b)所示为人为地向输入信号中添加一些噪声，转换结果的LSB将发生切换。将其中四次采样相加可使量化级减半，从而得出可更好地表示输入值的结果，如图2-3 (c)所示。ADC的“虚拟分辨率”从10位提高到11位。此方法称为“抽取”，将在“平均值计算”一节中详细说明。

图2-3. 将分辨率从10位提高到11位

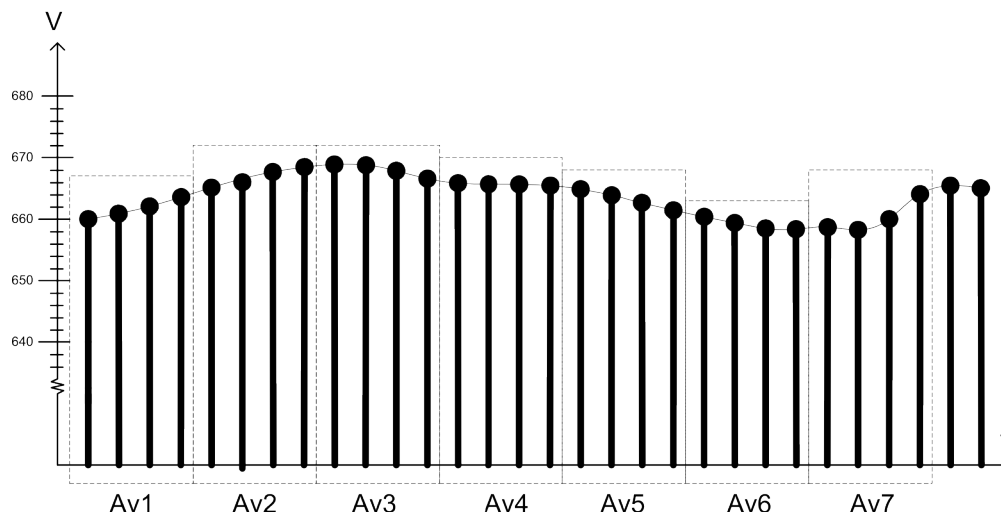


使用此方法的另一个原因是提高信噪比。增加有效位数ENOB会将噪声扩散到增大的二进制数上。噪声对每个二进制位的影响将会降低。采样频率加倍会使带内噪声降低3 dB，并使测量分辨率提高0.5位。

2.4 平均值计算

平均值计算的常规含义是添加 m 次采样，并将结果除以 m ，这称为常规平均值计算。对ADC测量数据进行平均值计算相当于使用低通滤波器，其优势是衰减信号波动或噪声，并使输入信号中的尖峰变平。为此，经常会用到移动平均法。其工作原理是取 m 个读数、将这些读数放入一个循环队列并对最新的 m 个读数求平均值。由于每次采样均表示最后的 m 个样本，因此会稍有延时。此过程中重叠或不重叠窗口均可。下图所示为七个（Av1-Av7）独立的移动平均法结果（没有重叠）。

图2-4. 移动平均法原理



请务必记住，常规平均值计算不会提高转换的分辨率。抽取或插值为平均值计算方法，与过采样相结合可以提高分辨率。

按照与常规平均值计算相同的方法，将通过对信号进行过采样实现的 m 次额外采样的值相加，但不要向常规平均值计算那样将结果除以 m ，而是转为将结果右移 n 位（其中， n 是分辨率所需增加的位数）以正确换算答案。将二进制数右移1位相当于将二进制数除以系数2。

从公式2-2可以看出，将分辨率从10位提高到12位（即将分辨率增加2位），需要将 4^2 （16）个10位值相加。16个10位值的和将产生一个14位的结果，其中最后两位不能保存有价值的信息。

要“恢复”到12位表示形式，需要换算结果。以下公式中给出的 sf 是一个换算系数，要正确换算结果， 4^n 次采样的和应除以该系数。 n 是所需增加的位数。

公式2-3. 换算系数

$$sf = 2^n$$

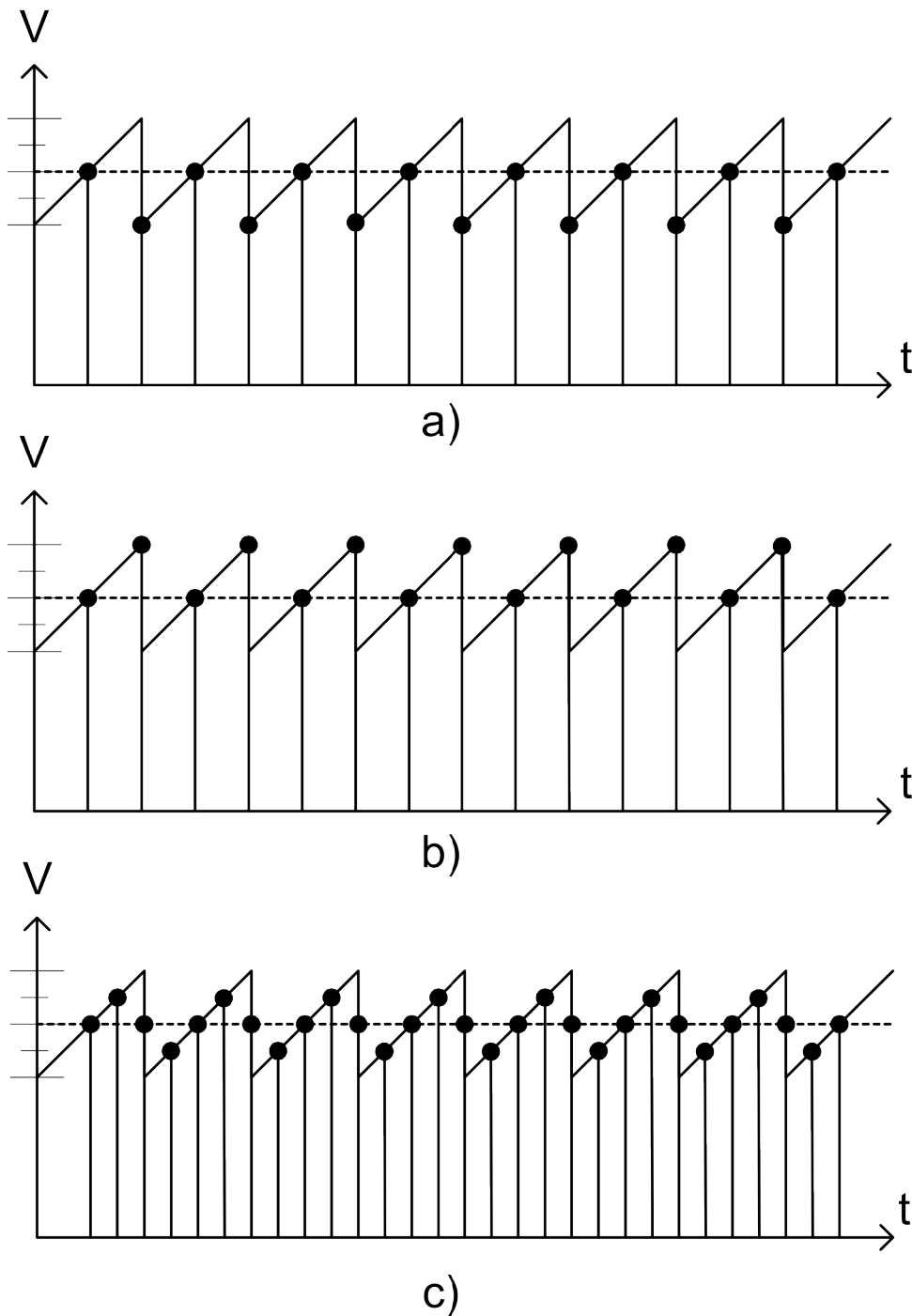
如上所述（将分辨率从10位增加到12位），换算系数 sf 为 2^2 ，即等于4。

2.5 “过采样和抽取”在何时起作用？

通常在信号包含一些噪声时起作用。这种噪声经常具有高斯噪声的特性，通常称为白噪声或热噪声，通过宽频谱识别，并且总能量在整个频率范围内均等分布。在这些情况下，如果噪声的幅值足以切换ADC转换的LSB，则“过采样和抽取”的方法将起作用。

在其他情况下，可能需要人为地在输入信号中添加一些噪声信号。此方法称为抖动。此噪声的波形应为高斯噪声，不过周期性波形也同样有效。此噪声信号应采用的频率取决于采样频率。经验表明：“添加m次采样时，噪声信号周期不应超过m次采样的周期”。噪声的幅值应至少为1 LSB。当人为地向信号添加噪声时，请务必记住噪声的平均值为零；过采样不足可能会导致偏移，如下图所示。

图2-6. 采样不足导致的偏移



点画线表示锯齿波信号的平均值。上图(a)所示的采样会导致负偏移，而(b)中的采样会导致正偏移。图(c)中的采样足够，避免了偏移。要人为地生成噪声信号，可使用其中一个AVR[®]计数器。由于计数器和ADC使用相同的时钟源，因此可以使噪声和采样频率同步以避免偏移。

3. 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起始页上的**BROWSE EXAMPLES**（浏览示例）按钮，下载Atmel Studio 7和IAR Embedded Workbench®对应的代码。

Atmel | START Web页面：<http://start.atmel.com/>

示例代码

tinyAVR® 0和1系列以及megaAVR® 0系列的ADC过采样：<http://start.atmel.com/>

#example/Atmel:adc_oversampling_with_tinyavr_1_series:

1.0.0::Application:ADC_Oversampling_with_tinyavr_1-series:

有关详细信息和示例代码的相关信息，请按下Atmel | START中的*User guide*（用户指南）按钮。

*User guide*按钮可以在示例浏览器中找到，然后在Atmel | START项目配置器中的仪表板视图中单击项目名称。

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，请单击**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，项目将导入到Atmel Studio 7。

IAR嵌入式工作台

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起始页右上角的**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。

4. 源代码概述

过采样演示应用程序已针对ATtiny817 Xplained Pro板进行了开发和测试。

- CPU时钟（默认）为3.33 MHz
- 使用的外设：
 - ADC、USART和VREF
 - ADC输入通道为AIN 5引脚PA5
 - ADC分辨率为10位
 - ADC时钟CLK_PER进行4分频
 - USART：波特率为9600，TXD：PB2
 - VREF：ADC参考电压为2.5V

在Atmel START中配置的项目会生成外设驱动程序函数和文件，以及初始化所有驱动程序的main()函数。

- 驱动程序的头文件和源文件分别位于src和include文件夹中。
- 在atmel_start.c文件中，函数atmel_start_init()初始化项目中的MCU、驱动程序和中间件。

5. 宏配置

下面是`main.c`文件中的宏配置。

- 最大输入电压

```
#define MAX_VOL 2.5
```

最大输入电压配置为**2.5**，用以计算测得的ADC读数的电压。

注：ADC参考电压已配置为**2.5V**。

- ADC输入通道

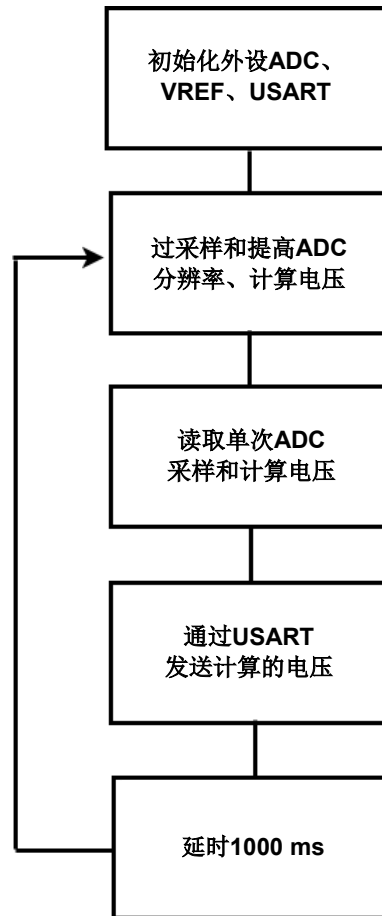
```
#define ADC_CHANNEL 5
```

ADC输入信号已连接到通道**5**：AIN5（引脚PA5）。

6. 应用程序流程图

图6-1所示为完整的应用程序流程。

图6-1. 应用程序流程图



7. 过采样演示应用程序的工作原理

在提供的示例源代码中，ADC转换在函数`process_single_sampled()`和`process_oversampled()`中完成。为进行比较，过采样的ADC结果和正常的ADC结果都通过USART发送到串行终端。将显示测得的模拟输入电压（单位：V）。

在函数`process_single_sampled()`中，ADC采样累加器已配置为1。将只读取一次采样的ADC结果。此处不进行过采样。

函数`process_oversampled()`演示了如何完成过采样，分辨率从10位增加到了12位。在函数`process_oversampled()`中，要从10位ADC获得12位分辨率，需要读取16次ADC采样，然后将ADC结果之和右移2位（即除以4）。

为提高分辨率，ADC分辨率每增加 n 位，就必须对信号进行 4^n 次过采样。要实现12位ADC，您需要将分辨率增加2位。因此，必须对信号进行 4^2 次采样，即额外采样16次。ADC具有可配置的累加器设置，该累加器配置为进行16次采样。之后，ADC结果寄存器中的结果将是16次采样之和。换算系数 sf 通过 $sf = 2^n$ 给出。换算系数就是要将结果换算为所需位宽时，结果应除以的数字。在本示例中，结果增加2位。因此，换算系数为 $2^2 = 4$ 。结果应该除以4，也可以右移2位。

在`process_single_sampled()`和`process_oversampled()`函数中，将读取ADC结果，测量电压将通过标准库函数`dtostrf`转换为字符串，每隔1秒通过USART发送到PC的串行终端。

8. 版本历史

表8-1.

| 文档版本 | 日期 | 备注 |
|------|---------|--------|
| A | 11/2017 | 初始文档版本 |

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、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoq徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、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、chipKIT、chipKIT徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch徽标、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。

© 2018, Microchip Technology Incorporated, 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2813-8

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、非易失性存储器和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

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚
Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 **Austria - Wels**
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦
Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**
Tel: 49-7131-67-3636

德国 **Germany - Karlsruhe**
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**
Tel: 47-7289-7561

波兰 **Poland - Warsaw**
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚
Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820