
8 位 AVR®内核可以做什么？

简介

作者：Microchip Technology Inc.的 Lloyd D. Clark 博士

8 位 AVR®单片机内核可以执行 100 多条不同的指令，其中的许多指令可在一个时钟周期内执行。AVR 内核（megaAVR®器件以及 tinyAVR® 0 和 1 系列器件）的现代化实现中包含双周期硬件乘法器。但是，如何将原始处理能力转化为实际的应用性能并非总是一目了然，在涉及采用高级语言编写和编译代码的影响时尤为如此。本白皮书涵盖了 AVR 内核的一些数字信号处理（Digital Signal Processing, DSP）应用并提供了它们所需的处理器利用率情况。上述应用使用片上模数转换器（Analog-to-Digital Converter, ADC）定期对传入的模拟信号进行采样，并使用 AVR 内核来对数字信号进行处理。这表示，应用必须实时运行并与传入采样率同步。应用代码采用 C 语言编写，但某些从 C 中调用的汇编语言 16 位 x 16 位乘法函数除外。

目录

简介.....	1
1. 相关器件.....	3
1.1. tinyAVR 0 系列.....	3
1.2. tinyAVR 1 系列.....	3
1.3. megaAVR 0 系列.....	4
2. 音频频移键控解调器.....	5
3. 具有 2 倍采样率和数字滤波功能的 AFSK 解调器.....	6
4. 具有 8 倍采样率和数字滤波功能的近超声波 FSK 解调器.....	7
5. 结论.....	8
6. 版本历史.....	9
Microchip 网站.....	10
变更通知客户服务.....	10
客户支持.....	10
Microchip 器件代码保护功能.....	10
法律声明.....	11
商标.....	11
DNV 认证的质量管理体系.....	12
全球销售及服务网点.....	13

1. 相关器件

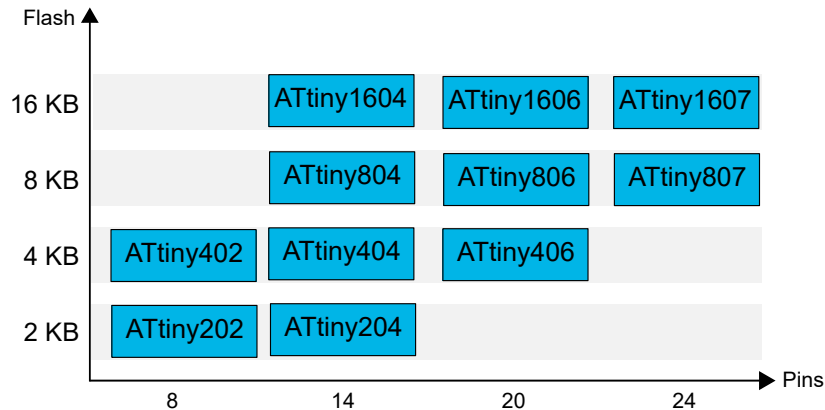
本章列出了本应用笔记的相关器件。

1.1 tinyAVR 0 系列

下图给出了 tinyAVR 0 系列，绘制了不同引脚数型号与存储器大小的关系：

- 垂直移植无需修改代码，因为这些器件在引脚和功能方面完全兼容。
- 水平向左移植会减少引脚数，进而减少可用的功能。

图 1-1. 器件系列概述



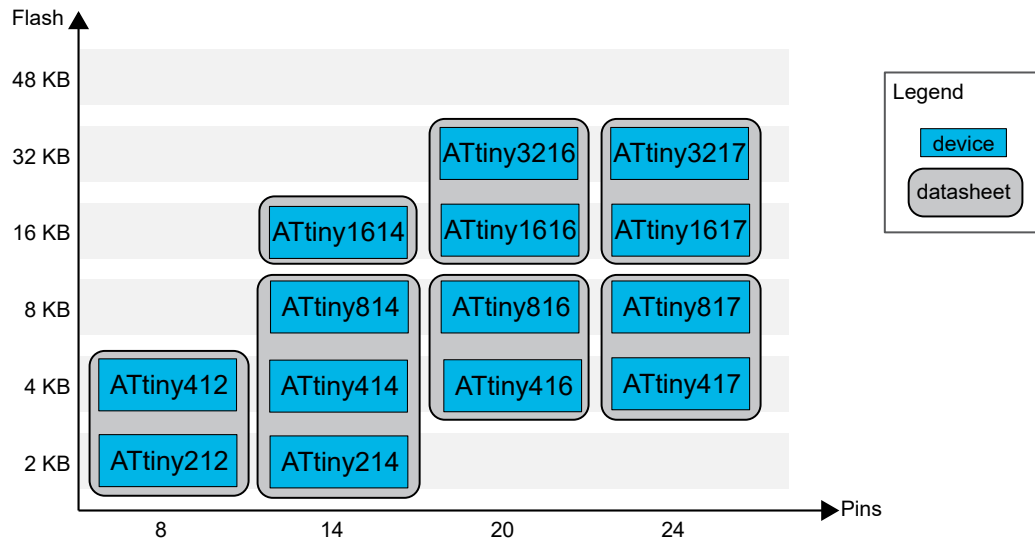
具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

1.2 tinyAVR 1 系列

下图给出了 tinyAVR 1 系列器件，绘制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 1-2. tinyAVR® 1 系列概述



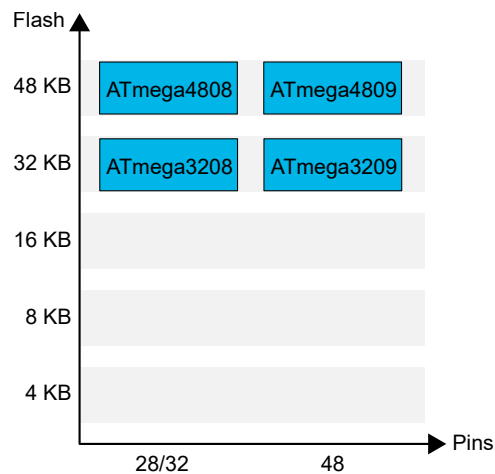
具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

1.3 megaAVR 0 系列

下图给出了 megaAVR 0 系列器件，绘制了不同引脚数型号与存储器大小的关系：

- 垂直移植无需修改代码，因为这些器件在引脚和功能方面完全兼容。
- 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 系列概述



具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM。

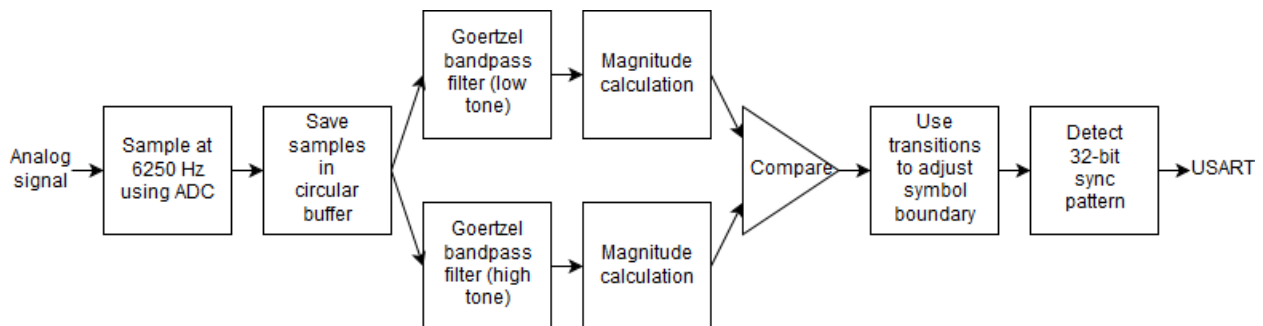
2. 音频频移键控解调器

要考虑的第一个应用是在 AVR ATmega328P 单片机上运行的支持特定区域报文编码（Specific Area Message Encoding, SAME）协议的音频移频键控（Audio Frequency Shift Keying, AFSK）解调器。有关协议和解调器设计的详细说明，以及作为入手点的第三方 C 源代码，请访问以下 URL：<http://swfitek.com/avr/SAME/>

在 SAME AFSK 协议中，位以 1.92 毫秒的持续时间发送，因此比特率为 520.83 bps。逻辑电平 0 由 3 个 1562.5 Hz 音频音调周期表示，逻辑电平 1 由 4 个 2083.3 Hz 音频音调周期表示。在开始发送时先发送一个 16 字节前导码，以便接收器可在开始数据发送之前轻松确定位之间的边界。

虽然解调器最初是在以 16 MHz 时钟频率运行的 ATmega328P 器件上实现的，但可轻松对其进行修改以适应其他 AVR 器件。将器件上的定时器/计数器和 ADC 设置为以逻辑电平 0 频率的 4 倍频率或逻辑电平 1 频率的 3 倍频率（即 6250 Hz）对传入的音频信号进行采样。这意味着有 $(16 \text{ MHz}/6250 \text{ Hz}) = 2560$ 个 CPU 周期可用于处理每个 ADC 采样。下图所示为解调器框图。

图 2-1. 解调器框图



每次接收到新的 ADC 采样时，都会将其加至由最新的 12 个 ADC 采样组成的循环缓冲区中。然后两个数字 Goertzel 带通滤波器（分别以逻辑电平 0 频率为中心和以逻辑电平 1 频率为中心）会对最新的这 12 个 ADC 采样进行滤波，随后计算各滤波器的输出幅值。比较两个滤波器的输出幅值以确定接收到的信号是表示逻辑电平 0 还是逻辑电平 1。执行一些额外的处理步骤来确定前导码的位转换情况并与之同步。实现同步后，经过解调的 ASCII 字符将输出到 USART。

AVR 内核性能通过使用 Atmel Studio 7.0.1645 编译 C 源代码并在 ATmega328P Xplained Mini 评估工具包上运行此源代码来确定。对代码进行了一些细微修改，使其包含了一些用于测量处理器利用率的计算，并使其对发送器中频率误差的容限度更高。（修改后的代码以及本文档后续章节中使用的所有代码均可在 Microchip 网站上与本白皮书相关的 *FSK_demod_code_for_AVR_core.zip* 文件中找到。）在最坏情况下，已知获取和处理一个 ADC 采样需要 749 个 CPU 时钟周期。该数值涵盖了所有滤波和同步操作，以及在 USART 上发送解调字符所用的时间。已知每个 ADC 采样有 2560 个 CPU 周期可用，因此内核利用率为 $(749/2560) \times 100\% = 29.3\%$ 。

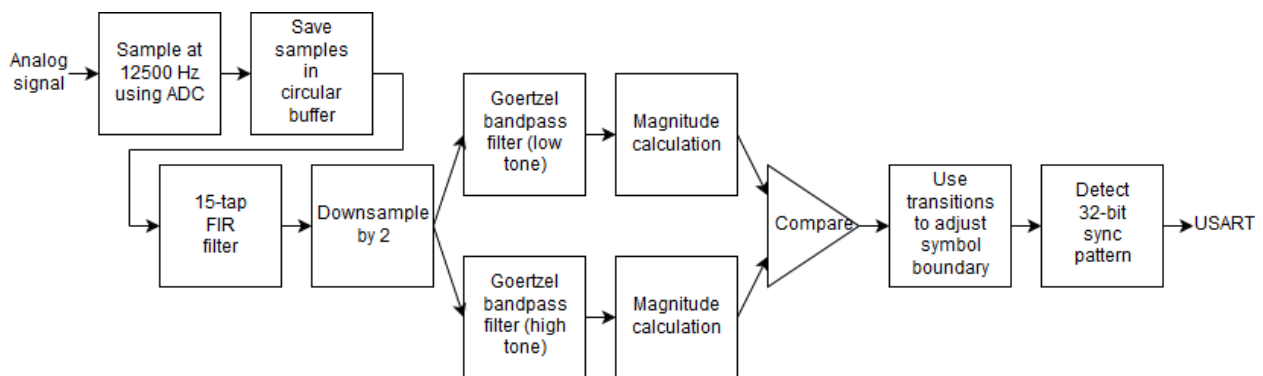
可将该结果解读为以下几个含义。这意味着，如果需要为应用添加其他功能，则有约 70% 的 AVR 内核处理能力仍然可供使用。另一种解读是，CPU 时钟频率可以从 16 MHz 降至 4.8 MHz 以降低功耗，而不会影响 AFSK 解调器功能。此外，也可以解读为，如果 CPU 时钟保持在 16 MHz，则 AFSK 比特率、音频频率和 ADC 采样率参数可缩放因数达 3.4，从而实现高达 1.77 kbps 的比特率。

3. 具有 2 倍采样率和数字滤波功能的 AFSK 解调器

上一节中介绍的 AFSK 解调器不具备任何数字滤波功能来防止混叠频率高于采样率一半 ($0.5 * 6250 \text{ Hz} = 3125 \text{ Hz}$)。例如, 假设在频率为 4687.5 Hz 时传入模拟信号存在干扰音调。由于采样率为 6250 Hz, 因此对 4687.5 Hz 模拟音调进行采样后, 其会以 $(6250 - 4687.5) \text{ Hz} = 1562.5 \text{ Hz}$ 的混叠频率出现在数字域中。该频率与 FSK 逻辑电平 0 信号的频率相同, 因此会干扰 FSK 解调器并阻止其正常工作。为避免这种干扰, 对于之前的解调器代码, 只能在 ADC 输入之前添加硬件模拟滤波器, 以衰减高于 3125 Hz 的信号频率。

另一种方法是, 以更高的速率对模拟信号进行采样, 执行一些数字滤波以衰减高于 3125 Hz 的频率, 然后对信号降低采样率。降低采样率的信号随后可按之前一样进行解调。以上一节中介绍的 AFSK 解调器代码为基础, 通过进行修改即可实现这种方法。下图所示为此类经修改解调器的框图。

图 3-1. 解调器框图



修改后的代码使用 ADC 对传入的模拟信号进行采样, 采样率为 12500 Hz, 是之前的采样率 (6250 Hz) 的二倍。12500 Hz 采样会经由 15 抽头 FIR (有限冲激响应) 滤波器进行滤波, 该滤波器经过专门设计, 在超出 3125 Hz 截止频率时可实现大于 44 dB 的衰减。FIR 滤波器抽头的实现精度为 10 位, 且 ADC 值的分辨率为 10 位, 因此采用 16 位 X16 位乘法运算来实现 FIR 滤波器。FIR 滤波器输出以 2 倍系数降低采样率, 从而以 6250 Hz 原始采样率生成信号, 然后将其馈入针对 6250 Hz 采样率设计的原始 FSK 解调器代码中。

想像一下在 4687.5 Hz 时干扰正弦波信号所发生的变化。因为信号以 12500 Hz 频率进行采样, 因此不会发生混叠——在信号的采样版本中, 它将以 4687.5 Hz 呈现。由于 FIR 滤波器在频率高于 3125 Hz 时的衰减大于 44 dB, 因此干扰信号将减小到 FIR 滤波器输出原始幅值的 1% 以下。在对信号降低采样率至 6250 Hz 之后, 将随即发生混叠, 并且信号将以 1562.5 Hz 呈现, 但信号幅值已减小到对 FSK 解调器性能的影响可忽略不计的程度。

将采样率加倍至 12500 Hz 并采用 16 MHz AVR 内核时钟即表示, 现在每个 ADC 采样有 $(16 \text{ MHz} / 12500 \text{ Hz}) = 1280$ 个 CPU 周期可用。已知该代码的 CPU 利用率不超过 792 个样本/ADC 采样, 因此 AVR 内核利用率为 $(792 / 1280) * 100\% = 62\%$ 。

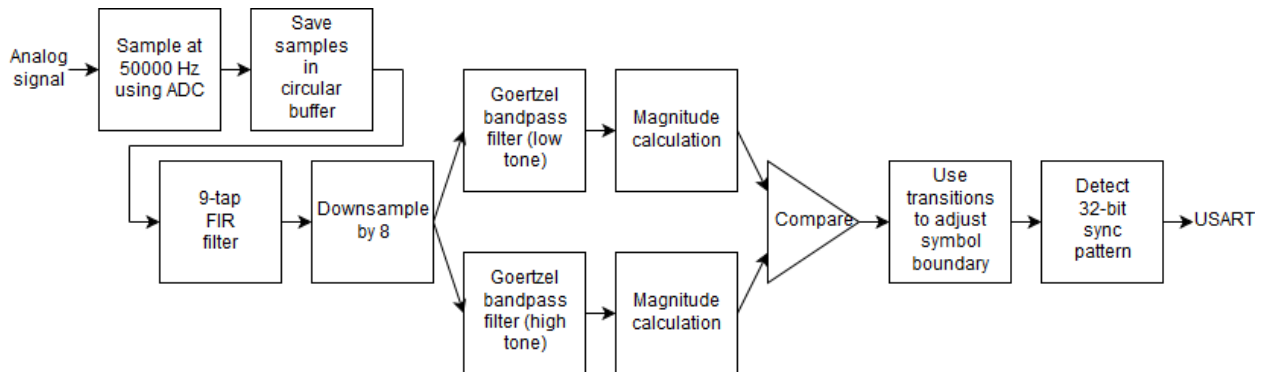
如前所述, 可将该数值解读为以下几个含义。这表示有 38% 的内核仍可用于为应用添加功能。另一种解读是, CPU 时钟频率可从 16 MHz 降低至 10 MHz, 而不会影响解调器性能。此外, 也可以解读为, 如果 CPU 时钟保持在 16 MHz, 则 AFSK 比特率、音频频率和 ADC 采样率参数可缩放因数达 1.6, 从而实现高达 833 bps 的 FSK 比特率。

4. 具有 8 倍采样率和数字滤波功能的近超声波 FSK 解调器

对应用代码进行进一步修改，以解调更具挑战性的 FSK 信号，该信号仍具有 1.92 毫秒的位持续时间，但对于逻辑电平 1 近超声波的频率为 16666.7 Hz，对于逻辑电平 0 近超声波的频率为 17187.5 Hz。在 1.92 毫秒位间隔内，这正好对应于 32 或 33 个正弦波周期。

对于此类应用，将器件上的定时器/计数器和 ADC 设置为以 50 kHz 的频率对模拟信号进行采样。下图所示为此类解调器的框图。

图 4-1. 解调器框图



中断服务程序将传入的 ADC 采样保存在循环缓冲区中，以便主处理循环对其进行处理。在主处理循环中，50 kHz 采样会经由 9 抽头 FIR 滤波器进行滤波（该滤波器经过专门设计，在低于 10 kHz 时可实现大于 40 dB 的衰减），进而从信号中移除典型的人声频率。FIR 滤波器抽头的实现精度为 10 位，且 ADC 值的分辨率为 10 位，因此采用 16 位 X16 位乘法运算来实现 FIR 滤波器。

FIR 滤波器输出以 8 倍系数降低采样率，以获得采样率为 6250 Hz 的信号。在降低采样率的信号中，16666.7 Hz 和 17187.5 Hz 的近超声频率分别混叠为 $(3 * 6250 - 16666.7)$ Hz 和 $(3 * 6250 - 17187.5)$ Hz，即 2083.3 Hz 和 1562.5 Hz。这表示，此后仍可使用原始 FSK 解调器代码。

已知内核以 16 MHz 运行，这意味着每个 50 kHz ADC 采样间隔有 320 个 CPU 周期，而每个 6250 Hz 降低采样率间隔有 2560 个 CPU 周期。处理器利用率按如下方式确定：

- 中断服务程序：65 个周期/50 kHz 采样 = $(65/320) * 100\% = 20.3\%$ CPU 利用率
- 9 抽头 FIR 滤波器和开销：468 个周期/6250 Hz 降低采样率 = $(468/2560) * 100\% = 18.3\%$ CPU 利用率
- FSK 解调器（包括 USART 发送）：718 个周期/6250 Hz 降低采样率 = $(718/2560) * 100\% = 28.0\%$ CPU 利用率

总 CPU 利用率为 $20.3\% + 18.3\% + 28.0\% = 66.6\%$ ，因此约三分之一的 CPU 仍可用于其他处理目的（如果需要）。或者，处理器时钟可以从 16 MHz 降至 10.7 MHz，而不会影响解调器。如果处理器时钟保持在 16 MHz，则 FSK 比特率和频率最大可成比例缩放 1.5 倍因数。

5. 结论

下表总结了 AVR 内核利用率结果。该表还提供了 20 MHz CPU 时钟一列，因为许多 AVR 器件将该时钟速度作为上限。

表 5-1. AVR®内核利用率结果

解调器类型	ADC 采样率	FIR 滤波器抽头	降低采样率系数	AVR®内核利用率 (16 MHz 时钟)	AVR 内核利用率 (20 MHz 时钟)
AFSK	6250 Hz	-	1	29.3%	23.4%
AFSK (带附加滤波功能)	12500 Hz	15	2	61.9%	49.5%
近超声波 FSK	50000 Hz	9	8	66.6%	53.3%

这些结果表明，即使在应用程序需要数字信号处理功能并且采用高级语言编写时，8 位 AVR 内核也足以支持高水平性能。下次针对涉及使用 ADC 对模拟信号进行采样并对该信号执行处理的项目评估单片机时，可以考虑在 8 位 AVR 单片机上进行原型设计。它的高性能、低功耗和低成本优势会让您获得意外惊喜。

6. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	2018 年 5 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。这样做的人极有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。

© 2018, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-3514-3

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. 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			