# TB3181

# 什么是 TWI？如何为 I2C 通信配置 TWI？

## 简介

双线接口（Two-Wire Interface，TWI）与 I2C 接口很类似，只是略有不同。TWI 外设通过由一根时钟线和一根数据线构成的独特双线总线提供元件接口。TWI 可用于与 I²C 兼容的器件，例如实时时钟（RTC）、存储器和传感器。与 I2C 类似，TWI 也支持标准速度（最高 100 kHz）和高速（最高 400 kHz）模式。某些 SAM MCU 支持高速 TWI，它在从器件高速模式下最高可达 3.4 MHz，此类产品中的 TWI 外设被称为高速 TWI（TWI High Speed，TWIHS）。可通过编程将 TWI 设置为主器件或从器件。

下表对 TWI 的功能和标准 I2C 规范进行了比较。

**表 1. TWI 与 I2C 标准的兼容性**

| 标准 I2C | TWI |
|---|---|
| 7 位或 10 位从器件寻址、重复启动（Sr）条件、ACK 和 NACK 管理、多主器件功能和时钟延长 | 支持 |
| 输入滤波 | 支持（部分 SAM3/SAM4 器件不支持） |
| START 字节（START + b000000001 + ACK + Sr）、斜率控制 | 不支持 |

TWI 外设适用于基于 Microchip Cortex®-M3、Cortex-M4 和 Cortex-M7 的 MCU。某些产品中存在多个 TWI 实例。有关详细信息，请参见产品数据手册。

© 2018 Microchip Technology Inc.

# 目录

简介 ..... 1

1. TWI 引脚、数据格式和模式 ..... 3

2. 如何配置 TWI ..... 5

3. 相关资源 ..... 8

Microchip 网站 ..... 9

变更通知客户服务 ..... 9

客户支持 ..... 9

Microchip 器件代码保护功能 ..... 9

法律声明 ..... 10

商标 ..... 10

DNV 认证的质量管理体系 ..... 11

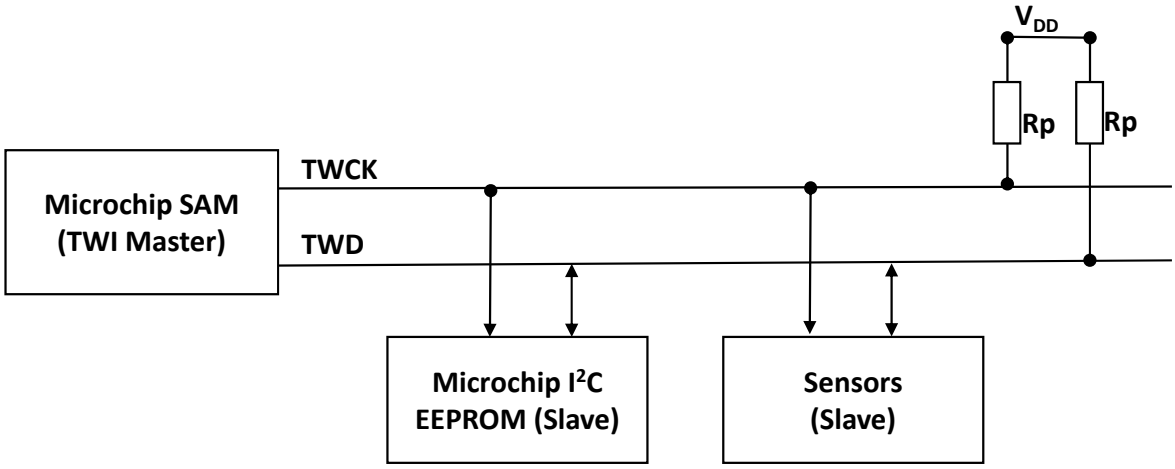
全球销售及服务网点 ..... 12

© 2018 Microchip Technology Inc.

# 1. TWI 引脚、数据格式和模式

TWI 引脚、TWI 时钟（TWCK）和 TWI 数据（TWD）均为双向线路，它们会通过电流源或上拉电阻连接到正电源电压。上拉电阻的值取决于总线的总电容（包括总线中每个从器件、接线、连接器、PCB 布线和总线 VDD 的输入电容）和 TWI 位速率。可连接到总线的从器件数量仅受最高总线容性负载（Cbus）的限制。根据 I2C 标准，最高 Cbus 值为 400pF。由于从低到高跳变的时间（上升时间或 tR）取决于上拉电阻（Rp）和总线电容构成的 RC 网络，因此计算得出的 Rp 值必须与 I2C 标准所要求的上升时间一致。可通过数据手册中提供的速度和上升时间值来计算此 Rp 值。

**图 1-1. SAM TWI 主器件和从器件关系框图**




**注：** 由于 TWI 的时钟延长功能，必须使用预估的总线电容正确计算出上拉电阻的值（Rp）。如果上拉电阻较弱，则上升时间会较长，从而导致 TWI 速度较慢。

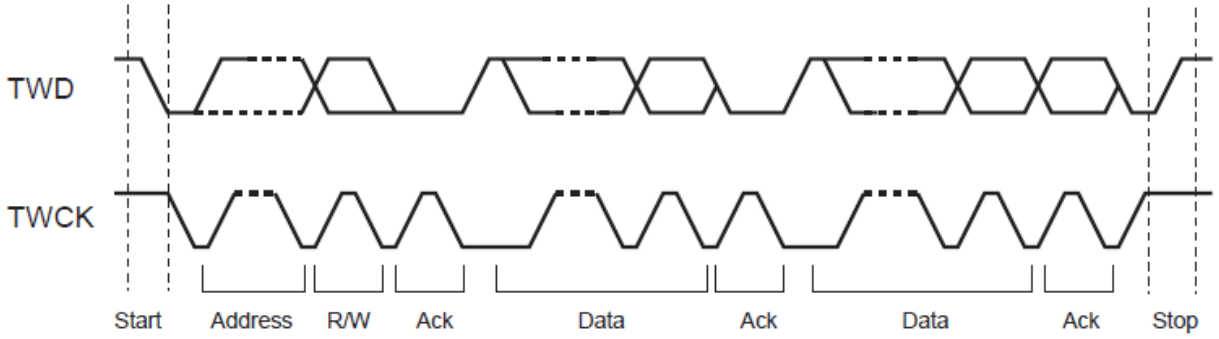
SAM TWI 器件（主器件或从器件）为其输入和输出缓冲器提供 3.3V 的电压。而连接的 I2C 器件则可能在其他电压下工作。要确定是否需要使用电压转换器，请参见数据手册中的电气规范章节，以了解 VIH、VIL 和 VOL 参数。Cortex-M7 I/O 无法承受 5V 电压。如果 Cortex-M7 MCU 在 3.3V 电压下工作，而 TWI 连接到 5V TWI 器件，则需要使用电压转换器。

与 I2C 类似，连接到总线的器件的输出级必须具备漏极开路或集电极开路才能实现线与（Wired-AND）功能。

**注：** 无需将 TWD 和 TWCK 编程为漏极开路。只要使能 TWI，此硬件就会将 TWD 和 TWCK 引脚配置为漏极开路端口模式。

TWI 数据传输格式与 I2C 数据传输格式类似，如下图所示：

图 1-2. TWI 传输格式



## 2. 如何配置 TWI

可以按下列步骤配置 TWI 外设。前三项配置是适用于主模式和从模式的通用配置。

**注：** 以下以 Cortex-M7 MCU 为例。在 Cortex-M3 或 Cortex-M4 MCU 中，某些寄存器和位名称可能不同。有关详细信息，请参见数据手册。

TWI 通用配置

配置步骤如下：

1. 通过编程并行输入和输出控制器（PIO），将 TWD 和 TWCK 配置为外设引脚。
2. 配置电源管理控制器（Power Management Controller，PMC）以使能 TWIHS 时钟。
3. 如果在中断模式下使用 TWI，请先对中断控制器编程，然后再配置 TWIHS。否则不需要进行此项配置。

TWI 主模式配置

数据手册中提供了各种应用示例的主器件读写操作流程图。

当主器件读取从器件中的位时，主器件需对最后一个字节返回无应答（NACK）信号以生成停止条件。要使用正确的时序处理这种情况，建议在读取接收保持寄存器（TWIHS_RHR）值之前，先为第二个到最后一个字节设置 STOP 位。如果主器件仅读取一个字节，建议在设置了重新启动位的情况下设置 STOP 位。如果未正确设置停止条件，则从器件将发送一个额外字节，否则无法释放总线来处理下一个事务。

在某些器件（例如 SAM4E）中，重复启动模式由器件自动处理，且没有用于控制重复启动的位。一旦设置了内部地址，就可以自动启用重复启动条件。

技巧：在某些情况下，I2C/TWI 通信可能会中断（生成或检测到总线错误或不正确的停止条件），而 I2C 总线继续保持繁忙状态。在这种情况下，请执行以下操作：

1. 禁止 TWI。
2. 在 PIO 输出模式下重新配置 TWCK 引脚。
3. 通过软件生成九个时钟脉冲以解锁 I2C 总线。
4. 当该总线处于空闲状态后，使能 TWI。
5. 将 TWCK 引脚配置为 TWI 时钟引脚。

TWI 从模式配置

数据手册中提供了各种应用示例的从器件读写操作流程图。

在从主器件端检测到启动或重复启动条件后，如果主器件发送的地址与从器件地址（SADR）字段中编程的从器件地址匹配，则系统将设置从器件访问（SVACC）标志，并且从器件读取（SVREAD）将指示传输的方向。在收到 TWI 的 SADR 之后，应答管理和数据传输与 I2C 协议中的方式相同。请参见本文末尾的参考部分。

TWI 时钟延长

时钟始终由主器件控制，但总线上的任何器件都可随时将其保持为低电平。通过这种方式，如果某个从器件需要更多时间来处理数据，则可暂时搁置事务。根据总线拓扑，如果 SCL 保持低电平，主器件将不能继续控制时钟。如果从器件在主器件释放后将 SCL 线拉为低电平，则表示正在执行时钟延长。

有些 I2C 主器件和从器件支持时钟延长，而有些则不支持。无论哪种情况，满足 I2C 总线时序要求都是一项艰巨的任务。在上述情形下，TWI 中断优先级应配置为高。如果未配置为高，则 MCU 可能会处理其他

© 2018 Microchip Technology Inc.

任务，而错过 I2C 总线时序来处理下一个活动。同时，还需要通过编写中断服务程序（ISR）来使 CPU 能够快速写入或读取字节，而不会占用太多时间。

请在 ISR 中执行以下步骤：

1. 检查错误状态位。如果存在错误，请在回调函数中进行处理。
2. 检查 TWI/ I2C 是处于发送器模式还是接收器模式。
3. 如果 TWI/ I2C 处于发送器模式：
   3.1. 从缓冲区发送数据。
   3.2. 递增指针。
4. 如果 TWI/ I2C 处于接收器模式：
   4.1. 读取数据并存储在缓冲区中。
   4.2. 递增指针。

数据处理可以在停止条件之后进行。

以下代码显示了一个时钟延长的示例。此代码适用于 SAMG55 中的从模式。SAMG55 中提供了灵活通信单元（FLEXCOM）。可以将 FLEXCOM 配置为 TWI、USART 或 SPI。可通过 ISR 程序来管理各种事件。

时钟延长代码示例

```
void FLEXCOM0_Handler(void)
{
    uint32_t status;
    status = TWI0->TWI_SR;
    /*** ERROR Interrupt Management ***/
    if (status & TWI_SR_OVRE)
        TWI_error_callback();
    if (status & TWI_SR_ARBLST)
        TWI_error_callback();
    /*** TWI Read Access detected ***/
    if ((status & TWI_SR_RXRDY)&&(status & TWI_SR_SVACC)) {
        TWI_read_callback();
    }
    /*** TWI Read Access detected ***/
    if (status & TWI_SR_EOSACC) {
        TWI_EOSACC_callback();
    }
    /*** TWI Read Access detected ***/
    if ((status & TWI_SR_SVACC)&&(status & TWI_SR_SVREAD)&&(status & TWI_SR_TXRDY)) {
        TWI_write_callback();
    }
}

/* TWI call-back to be modified according to Application need  */
void TWI_EOSACC_callback(void)
{
    first_data = 1;
}

void TWI_write_callback(void)
{
    FLEXCOM0->FLEXCOM_THR = databuff[++intAddr];
}

void TWI_read_callback(void)
{
    if (first_data) {
        first_data = 0;
        intAddr = FLEXCOM0->FLEXCOM_RHR;
        FLEXCOM0->FLEXCOM_THR = databuff[intAddr];
    } else {
        databuff[intAddr++] = FLEXCOM0->FLEXCOM_RHR;
```

```
    }
}
```

管理时钟延长的另一种方法是使用 DMA。数据手册中提供了 DMA 的配置步骤。

# 3. 相关资源

- SAM E70 数据手册：http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-11296-32-bit-Cortex-M7-Microcontroller-SAM-E70Q-SAM-E70N-SAM-E70J_Datasheet.pdf
- AT91-AN01：sing the Two-wire interface (TWI) in Master Mode on AT91SAM Microcontrollers: http://www.microchip.com/wwwappnotes/appnotes.aspx?appnote=en590839
- ASF 3.X 中的 TWI 主器件实现示例采用 EEPROM 作为从器件。TWI 从器件实现示例适用于各种 Cortex-M3、Cortex-M4 和 Cortex-M7 器件。
  - 适用于 Cortex-M7 的 TWIHS 主器件示例：http://asf.atmel.com/docs/3.34.1/sam.drivers.twihs.twihs_master_example.samv71_xplained_ultra/html/index.html
  - 高速从模式的 TWIHS 从器件示例：http://asf.atmel.com/docs/3.34.1/sam.drivers.twihs.twihs_slave_example.samv71_xplained_ultra/html/index.html
  - ASF 3.x 中的 TWI 从器件示例：http://asf.atmel.com/docs/latest/sam.drivers.twi.twi_slave_example.sam3u_ek/html/index.html
  - ASF 3.x 中的 TWI EEPROM 示例：http://asf.atmel.com/docs/3.34.1/sam.drivers.twi.twi_eeprom_example.sam3x_ek/html/index.html
  - ASF 3.x 中的双线接口（TWI）：http://asf.atmel.com/docs/latest/samg/html/group__sam__drivers__twi__group.html

© 2018 Microchip Technology Inc.

## 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、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.、SQI、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：

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。

## 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。

# 全球销售及服务网点

| 美洲 | 亚太地区 | 亚太地区 | 欧洲 |
|---|---|---|---|
| 公司总部<br>2355 West Chandler Blvd.<br>Chandler, AZ 85224-6199<br>电话：1-480-792-7200<br>传真：1-480-792-7277<br>技术支持：<br>http://www.microchip.com/support<br>网址：<br>www.microchip.com<br>亚特兰大<br>德卢斯，乔治亚州<br>电话：1-678-957-9614<br>传真：1-678-957-1455<br>奥斯汀，德克萨斯州<br>电话：1-512-257-3370<br>波士顿<br>韦斯特伯鲁，马萨诸塞州<br>电话：1-774-760-0087<br>传真：1-774-760-0088<br>芝加哥<br>艾塔斯卡，伊利诺伊州<br>电话：1-630-285-0071<br>传真：1-630-285-0075<br>达拉斯<br>艾迪生，德克萨斯州<br>电话：1-972-818-7423<br>传真：1-972-818-2924<br>底特律<br>诺维，密歇根州<br>电话：1-248-848-4000<br>休斯敦，德克萨斯州<br>电话：1-281-894-5983<br>印第安纳波利斯<br>诺布尔斯维尔，印第安纳州<br>电话：1-317-773-8323<br>传真：1-317-773-5453<br>电话：1-317-536-2380<br>洛杉矶<br>米申维耶霍，加利福尼亚州<br>电话：1-949-462-9523<br>传真：1-949-462-9608<br>电话：1-951-273-7800<br>罗利，北卡罗来纳州<br>电话：1-919-844-7510<br>纽约，纽约州<br>电话：1-631-435-6000<br>圣何塞，加利福尼亚州<br>电话：1-408-735-9110<br>电话：1-408-436-4270<br>加拿大 - 多伦多<br>电话：1-905-695-1980<br>传真：1-905-695-2078 | 中国 - 北京<br>电话：86-10-8569-7000<br>中国 - 成都<br>电话：86-28-8665-5511<br>中国 - 重庆<br>电话：86-23-8980-9588<br>中国 - 东莞<br>电话：86-769-8702-9880<br>中国 - 广州<br>电话：86-20-8755-8029<br>中国 - 杭州<br>电话：86-571-8792-8115<br>中国 - 南京<br>电话：86-25-8473-2460<br>中国 - 青岛<br>电话：86-532-8502-7355<br>中国 - 上海<br>电话：86-21-3326-8000<br>中国 - 沈阳<br>电话：86-24-2334-2829<br>中国 - 深圳<br>电话：86-755-8864-2200<br>中国 - 苏州<br>电话：86-186-6233-1526<br>中国 - 武汉<br>电话：86-27-5980-5300<br>中国 - 西安<br>电话：86-29-8833-7252<br>中国 - 厦门<br>电话：86-592-2388138<br>中国 - 香港特别行政区<br>电话：852-2943-5100<br>中国 - 珠海<br>电话：86-756-3210040<br>台湾地区 - 高雄<br>电话：886-7-213-7830<br>台湾地区 - 台北<br>电话：886-2-2508-8600<br>台湾地区 - 新竹<br>电话：886-3-577-8366 | 澳大利亚 - 悉尼<br>电话：61-2-9868-6733<br>印度 - 班加罗尔<br>电话：91-80-3090-4444<br>印度 - 新德里<br>电话：91-11-4160-8631<br>印度 - 浦那<br>电话：91-20-4121-0141<br>日本 - 大阪<br>电话：81-6-6152-7160<br>日本 - 东京<br>电话：81-3-6880- 3770<br>韩国 - 大邱<br>电话：82-53-744-4301<br>韩国 - 首尔<br>电话：82-2-554-7200<br>马来西亚 - 吉隆坡<br>电话：60-3-7651-7906<br>马来西亚 - 槟榔屿<br>电话：60-4-227-8870<br>菲律宾 - 马尼拉<br>电话：63-2-634-9065<br>新加坡<br>电话：65-6334-8870<br>泰国 - 曼谷<br>电话：66-2-694-1351<br>越南 - 胡志明市<br>电话：84-28-5448-2100 | 奥地利 - 韦尔斯<br>电话：43-7242-2244-39<br>传真：43-7242-2244-393<br>丹麦 - 哥本哈根<br>电话：45-4450-2828<br>传真：45-4485-2829<br>芬兰 - 埃斯波<br>电话：358-9-4520-820<br>法国 - 巴黎<br>电话：33-1-69-53-63-20<br>传真：33-1-69-30-90-79<br>德国 - 加兴<br>电话：49-8931-9700<br>德国 - 哈恩<br>电话：49-2129-3766400<br>德国 - 海尔布隆<br>电话：49-7131-67-3636<br>德国 - 卡尔斯鲁厄<br>电话：49-721-625370<br>德国 - 慕尼黑<br>电话：49-89-627-144-0<br>传真：49-89-627-144-44<br>德国 - 罗森海姆<br>电话：49-8031-354-560<br>以色列 - 赖阿南纳<br>电话：972-9-744-7705<br>意大利 - 米兰<br>电话：39-0331-742611<br>传真：39-0331-466781<br>意大利 - 帕多瓦<br>电话：39-049-7625286<br>荷兰 - 德卢内市<br>电话：31-416-690399<br>传真：31-416-690340<br>挪威 - 特隆赫姆<br>电话：47-7289-7561<br>波兰 - 华沙<br>电话：48-22-3325737<br>罗马尼亚 - 布加勒斯特<br>电话：40-21-407-87-50<br>西班牙 - 马德里<br>电话：34-91-708-08-90<br>传真：34-91-708-08-91<br>瑞典 - 哥德堡<br>电话：46-31-704-60-40<br>瑞典 - 斯德哥尔摩<br>电话：46-8-5090-4654<br>英国 - 沃金厄姆<br>电话：44-118-921-5800<br>传真：44-118-921-5820 |

© 2018 Microchip Technology Inc.