TB3269

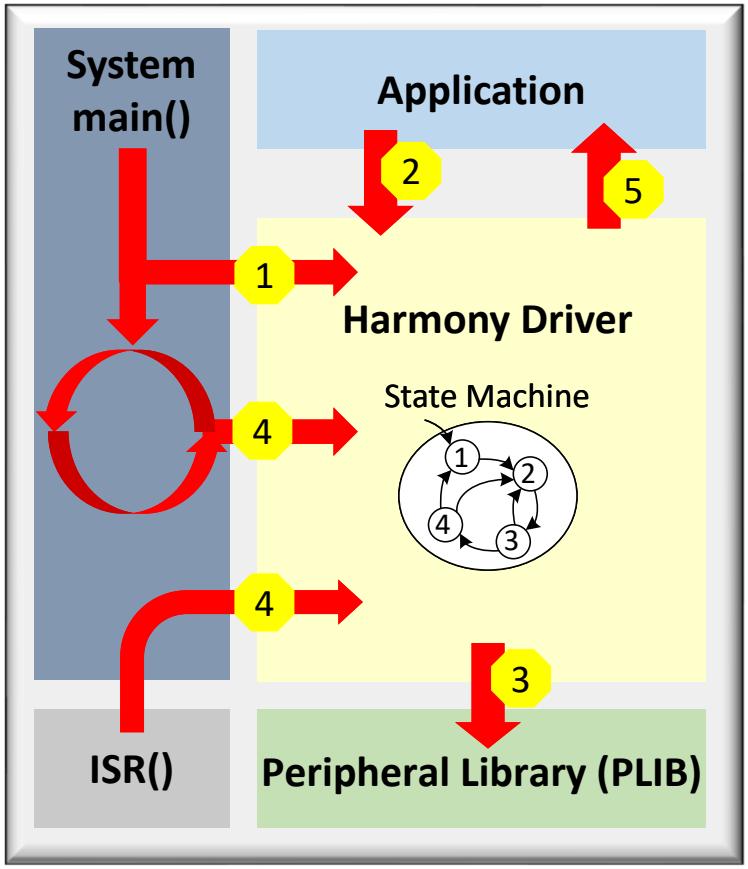
MPLAB® Harmony v3 同步和异步驱动程序的区别及其何时使用

简介

MPLAB® Harmony v3 驱动程序为外设和其他系统资源提供了一个简单和抽象的 C 语言接口。其中一部分函数对于所有器件驱动程序是相似的，而另一部分函数则是特定的驱动程序或外设所独有的。驱动程序接口函数通常与给定外设在任何特定硬件上的具体实现方式无关，与各系统中存在的外设实例数也无关。应用程序可以通过调用驱动程序接口来控制外设并与之轻松交互。

下图给出了 MPLAB Harmony v3 驱动程序执行流程：

图 1. MPLAB Harmony v3 驱动程序执行流程图



1. 系统初始化器件驱动程序。
2. 应用程序调用驱动程序 API。
3. 驱动程序使用与硬件交互的外设库启动其操作。

4. 从中断现场运行驱动程序状态机，或者通过连续轮询器件的方式来运行驱动程序状态机。例如，大多数 MPLAB Harmony v3 外设驱动程序由中断驱动，这意味着驱动程序状态机不会在循环中等待操作完成。操作完成后，将通过中断通知驱动程序。但某些驱动程序例外，比如 SD 卡驱动程序需要确定是否插入 SD 卡，大多数中间件都具有从超级循环中运行的状态机。
5. 驱动程序完成操作并通知应用程序。

MPLAB Harmony v3 允许用户将驱动程序配置为以下任一工作模式：*同步*（阻断）或*异步*（非阻断）。本文档将介绍*同步*和*异步*工作模式及其使用方法。

目录

简介 1

1. MPLAB Harmony v3 驱动程序特性 4

2. MPLAB Harmony v3 驱动程序的关键概念 5

3. 异步和同步驱动程序 8

4. 异步驱动程序和同步驱动程序的使用建议 10

5. 参考资料 11

Microchip 网站 12

产品变更通知服务 12

客户支持 12

Microchip 器件代码保护功能 12

法律声明 12

商标 13

质量管理体系 13

全球销售及服务网点 14

1. MPLAB Harmony v3 驱动程序特性

异步和同步驱动程序模式

- **异步模式**
  - 非阻断应用程序接口（Application Program Interface，API）。
  - 支持多个请求排队。*异步*驱动程序的每个实例都有专用队列。
  - 在裸机和 RTOS 环境中无缝运行。
  - 中断和线程安全。
- **同步模式**
  - 阻断 API
  - 仅支持 RTOS 环境
  - 中断和线程安全

注： 有关*异步*和*同步*驱动程序模式的更多信息，请参见异步和同步驱动程序部分。

多客户端支持

该特性可无缝处理客户端特定差异。*同步*和*异步*驱动程序都允许一个驱动程序实例有多个客户端。例如，具有多个 SPI 从器件的 SPI 驱动程序实例可以有多个应用程序客户端。SPI 从器件特定的信息（例如时钟相位、时钟极性、时钟速度和片选）均由 SPI 驱动程序根据提交请求的客户端进行处理。

多实例支持

该特性可无缝处理外设的多个实例。假如有三个 SPI 实例：SPI0、SPI1 和 SPI2。SPI 驱动程序可通过创建三个驱动程序实例并分别为其连接一个客户端来管理三个外设实例。

高速缓存管理

驱动程序可在具有数据高速缓存的器件上（例如，在 PIC32MZ、SAME70 和 SAMV71 上）管理与高速缓存相关的操作，从而简化应用程序开发。

2. MPLAB Harmony v3 驱动程序的关键概念

原子性

启动后不可分割且不可中断的操作（指令序列）属于原子操作。被读/写时无法再细分的数据项属于原子数据项。

对于需要 CPU 独占访问权的共享数据或指令，必须具备原子性。需要阻止共享访问的指令序列称为临界*代码段*，需要阻止共享访问的数据称为*临界数据*。

通过保护临界代码或临界数据可以实现原子性。其中一种保护临界区的方法是加锁，在访问共享资源前加锁并在访问结束后解锁。

中断安全

“中断安全”代码序列是指在发生中断时不会改变输出或功能行为的代码序列。要实现“中断安全”，目标代码序列必须具有原子性（不可分割且不可中断），并且必须在进入序列前禁止相关的中断。

在 MPLAB Harmony v3 中，可以使用中断系统服务 API 全局禁止中断，也就是说可以使用 API `SYS_INT_Enable()` 使能 `SYS_INT_Disable()`，并且可以使用 API `SYS_INT_Restore()` 恢复先前保存的状态。但是，MPLAB Harmony v3 库是模块化的，并且按照约定会遵循其他库的抽象化操作，永远不会尝试直接访问其他库的内部资源。根据该约定，系统中应尝试访问驱动程序所拥有的内部资源的代码只有驱动程序代码自身。

这意味着，在大多数情况下无需通过全局禁止中断来确保 MPLAB Harmony v3 驱动程序正确、可靠地运行。在对数据结构或外设硬件执行非原子访问时，驱动程序会暂时屏蔽其拥有的外设的中断。这样，可以防止驱动程序自己的中断驱动任务函数对同样由该程序接口函数访问的数据造成损坏。

这可以使用中断系统服务来实现，中断系统服务与全局禁止所有中断相比更加高效，因为它允许更高优先级的中断（不影响驱动程序），从而避免了响应时间延迟。下面举例说明了如何使用中断系统服务来实现。

```
// 禁止 SPI0 的中断。
Bool spiIntStatus; = false;
spiIntStatus = SYS_INT_SourceDisable(SPI0_IRQn);

// 恢复 SPI0 的中断。
SYS_INT_SourceRestore(spiIntStatus, SPI0_IRQn);
```

这些函数也可以用于保护驱动程序的接口函数对与其中断服务程序（Interrupt Service Routine，ISR）共用的资源进行的非原子访问。 在使用具有裸机配置的*异步*驱动程序时，该方法可确保在不全局禁止中断的情况下对共享资源进行安全访问。

如果某段代码必须具备真正的原子性（不可中断），则可以使用中断系统服务函数在短时间内全局禁止中断，如以下示例所示。

```
Bool interruptState;

// 保存全局中断状态并禁止中断
interruptState = SYS_INT_Disable();
// 临界段

// 恢复中断状态
SYS_INT_Restore(interruptState);
```

线程安全

在基于 RTOS 的环境中，驱动程序与其客户端可能分别在各自的 RTOS 线程中运行。如果 RTOS 是抢占式的，则调度程序可能会随时中断任何一个线程并切换到另一个线程。如果另一个线程碰巧访问了同一共享资源或执行了相同的代码临界段，则必须保护该代码段并保证其原子性。具有此类保护的代码序列称为“线程安全”代码。在 MPLAB Harmony v3 框架中，可通过使用 MPLAB Harmony 操作系统抽象层（Operating System Abstraction Layer，OSAL）提供的方法来实现线程安全。

MPLAB Harmony v3 驱动程序可在由中断驱动的系统中高效运行。如果由中断驱动的系统在基于 RTOS 的环境中运行，通常从中断现场调用驱动程序的任务函数。可以使用互斥锁来防止不同的线程同时访问共享资源。但是，这不会阻止 ISR 访问共享资源或临界代码。如果使用互斥锁来实现线程安全，则必须按照上文中断安全部分中针对裸机环境的说明，通过暂时禁止（屏蔽）相关的中断源来加强互斥锁。

回调函数

在非阻塞方法中，还可以使用回调机制代替状态轮询来检查传输状态。例如，应用程序通过驱动程序注册一个回调函数并提出传输请求。驱动程序会在驱动程序客户端提交的请求完成时回调先前注册的函数。

MPLAB Harmony v3 提供了驱动程序特定的 API 来注册回调函数。例如，*异步* SPI 驱动程序提供了 API `DRV_SPI_TransferEventHandlerSet()`，这允许客户端设置传输事件处理函数，以便驱动程序在排队的传输完成后进行回调。

注： 由于回调是从中断现场调用的，因此在实现回调函数时必须遵循以下准则：

- 处理方式必须与 ISR 相同
- 必须简短
- 请勿调用不具备中断安全性的应用程序函数
- 请勿调用其他驱动程序的接口函数

阻断 API

阻断 API 会挂起执行流程，直到执行完其函数并返回结果。

例如，以下代码给出了 I²C 驱动程序*同步*模式 API `DRV_I2C_WriteTransfer`。

```
DRV_I2C_WriteTransfer(app_eepromData.i2cHandle, APP_EEPROM_I2C_SLAVE_ADDR, (void
*)app_eepromData.i2cTxBuffer, 2);
```

调用 API `DRV_I2C_WriteTransfer()`时，执行流程将被阻断，直到请求的字节传输到 EEPROM。

非阻断 API

非阻断 API 在接收应用程序请求后会立即返回，但不提供结果。非阻断 API 调用的结果通过*异步*事件单独提供。应用程序验证事件后执行进一步的操作。

以下代码示例展示了 I²C 驱动程序*异步*模式 API `DRV_I2C_WriteReadTransferAdd()`的用法，该 API 为非阻断 API。

```
void APP_EEPROM_I2CEventHandler ( DRV_I2C_TRANSFER_EVENT event,
DRV_I2C_TRANSFER_HANDLE transferHandle, uintptr_t context)
{
    switch(event)
    {
        case DRV_I2C_TRANSFER_EVENT_COMPLETE:
            /* I2C 传输完成。*/
            app_eepromData.reqStatus = APP_EEPROM_REQ_STATUS_DONE;
        break;

        case DRV_I2C_TRANSFER_EVENT_ERROR:
            app_eepromData.reqStatus = APP_EEPROM_REQ_STATUS_ERROR;
        break;

        default:
        break;
    }
}

int main ( void )
{
    /* 初始化所有模块 */
     ……
```

```
    /* 打开 I2C 驱动程序 */
    app_eepromData.i2cHandle = DRV_I2C_Open( DRV_I2C_INDEX_0,
DRV_IO_INTENT_READWRITE );
    if(app_eepromData.i2cHandle == DRV_HANDLE_INVALID)
    {
        app_eepromData.state = APP_STATE_ERROR;
    }
    else
    {
        /* 为 EEPROM 注册 I2C 传输完成事件处理程序。*/
        DRV_I2C_TransferEventHandlerSet(app_eepromData.i2cHandle,
APP_EEPROM_I2CEventHandler, 0);

        /* 提交 I2C 传输以从 EEPROM 读取存储的温度值。*/
        DRV_I2C_WriteReadTransferAdd(app_eepromData.i2cHandle,
                APP_EEPROM_I2C_SLAVE_ADDR, app_eepromData.i2cTxBuffer, 1,
                app_eepromData.i2cRxBuffer, 5, &app_eepromData.transferHandle);

        /* 在控制台上显示读取的温度 */
    }

     ……
}
```

在主函数中，应用程序使用 I²C 驱动程序注册回调函数（事件处理程序“APP_EEPROM_I2CEventHandler”）。 控制权会在 I²C 请求提交后立即返回，调用 DRV_I2C_WriteReadTransferAdd()。驱动程序将在完成请求后通过回调函数（事件处理程序）事件通知应用程序。

同步

MPLAB Harmony v3 提供了同时具有阻断和非阻断使用模型的驱动程序接口函数。在某些情况下，开发人员会希望使用阻断模型。例如，阻断文件系统样式读/写函数，直到整个传输完成之后再返回。

在裸机环境中，很难实现阻断要求。基于 RTOS 的设计能够灵活地实现阻断要求。MPLAB Harmony v3 提供了同步驱动程序来实现应用程序的阻断要求。同步驱动程序本质上是阻断的。尽管 API 是阻断的，但数据传输仍从中断现场进行。

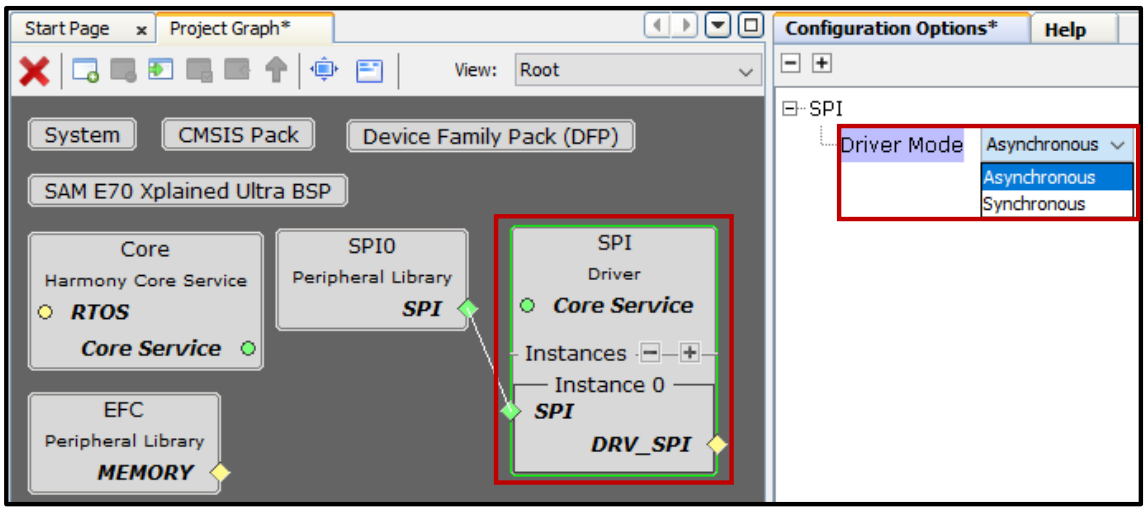
注： MPLAB Harmony v3 OSAL 为 MPLAB Harmony v3 框架组件（驱动程序和中间件等）提供了一致的接口。该接口负责处理可用/受支持 RTOS 内核之间的底层差异，并确保能够在裸机和 RTOS 环境中正确运行。

3. 异步和同步驱动程序

配置

MPLAB Harmony v3 允许用户使用 MPLAB Harmony v3 配置器（MPLAB Harmony Configurator，MHC）Project Graph（项目图）驱动程序配置将驱动程序配置为*同步*或*异步*模式。例如，下图显示了如何配置 SPI 驱动程序工作模式。

图 3-1. MPLAB Harmony v3 SPI 驱动程序模式配置



注： 要将驱动程序配置为*同步*或*异步*模式，用户应在 MHC Project Graph 中单击驱动程序模块。例如，在上图中，单击突出显示的 SPI 模块可显示驱动程序配置模式。

差异

下表提供了可用于执行读写操作的 SPI *同步*和*异步*驱动程序 API。

表 3-1. MPLAB Harmony v3 SPI 异步和同步驱动程序 API 以及 SPI PLIB API

SPI 异步驱动程序 API	SPI 同步驱动程序 API	SPI PLIB API
`DRV_SPI_WriteTransferAdd`	`DRV_SPI_WriteTransfer`	`SPI0_Write (…)`
		`SPI1_Write (…)`
`DRV_SPI_ReadTransferAdd`	`DRV_SPI_ReadTransfer`	`SPI0_Read (…)`
		`SPI1_Read (…)`

注： 无论选择哪种驱动程序模式（*同步*或*异步*），SPI 驱动程序都使用相同的底层 PLIB API。

下表提供了两种驱动程序模式下生成的 SPI 驱动程序 API 的差异。

表 3-2. SPI 异步和同步驱动程序 API 的差异

SPI 异步驱动程序 API	SPI 同步驱动程序 API
`DRV_SPI_WriteTransferAdd`	`DRV_SPI_WriteTransfer`
`DRV_SPI_ReadTransferAdd`	`DRV_SPI_ReadTransfer`
`DRV_SPI_WriteReadTransferAdd`	`DRV_SPI_WriteReadTransfer`
`DRV_SPI_TransferEventHandlerSet`	N/A

.....（续）	
SPI 异步驱动程序 API	**SPI 同步驱动程序 API**
DRV_SPI_TransferStatusGet	N/A

下表提供了两种驱动程序模式下生成的通用 SPI 驱动程序 API。

表 3-3. 通用 SPI 异步和同步驱动程序 API

SPI 驱动程序 API
DRV_SPI_Initialize
DRV_SPI_Status
DRV_SPI_Open
DRV_SPI_Close
DRV_SPI_TransferSetup

下表汇总了同步驱动程序与异步驱动程序之间的差异。

表 3-4. 同步驱动程序和异步驱动程序之间的差异汇总

异步驱动程序	同步驱动程序
非阻断 API	阻断 API
在裸机环境中无缝运行，支持在 RTOS 环境中运行	适用于 RTOS 环境
驱动程序的每个实例都有专用队列。驱动程序支持多个请求排队。	向驱动程序发送的请求会阻断应用程序，直到提交的请求得到处理。因此无需队列。
通过传输句柄识别传输请求。通过将传输句柄传递给 API，客户端可以使用轮询或回调机制获取传输请求状态。例如： *轮询机制*：API DRV_SPI_TransferStatusGet() 可用于轮询排队的传输请求的状态。 *回调机制*：通过驱动程序调用 API DRV_SPI_TransferEventHandlerSet() 来注册回调函数，以便在传输请求完成时通过事件进行通知。	由于 API 是阻断的，并且 API 的返回值指示传输状态，因此无需传输句柄。
中断和线程安全	中断和线程安全

注： 无论选择哪种驱动程序模式，MPLAB Harmony v3 配置器（MHC）都负责生成 PLIB API。
UART、I^2、SPI、SDSPI 和存储器件（MX25L、AT25DF、NVM 和 SST26）外设均同时支持同步驱动程序（仅在 RTOS 环境中）和异步驱动程序。

SDMMC、外部 EEPROM（AT24 和 AT25）、SPI 闪存（AT25DF）和 SQI 闪存（MX25L 和 SST26）仅支持异步驱动程序。

4. 异步驱动程序和同步驱动程序的使用建议

*同步*驱动程序适用于 RTOS 环境，而*异步*驱动程序适用于裸机环境。

*异步*驱动程序（非阻断 API）适用于在裸机或非基于 RTOS 的环境中运行的应用程序。在裸机环境中，建议通过实现状态机编程模型的方式来实现应用程序。在状态机编程模型中，应用程序应避免忙于等待循环，以免浪费 CPU 带宽。因此，模块的函数不得阻断等待外部操作（特别是可能永远无法完成的操作）完成，否则可能会阻断整个系统。如果函数必须等待外部操作，则模块必须将该操作拆分为较小的任务，以便稍后执行。这些小任务在超级循环中运行。在超级循环中运行的任务包括应用程序任务和驱动程序任务。应用程序任务通过状态标志确认驱动程序操作是否完成。

当 MPLAB Harmony v3 驱动程序在*异步*模式下运行时，应用程序通过驱动程序注册的*异步*回调事件（如回调函数中所述）来获取驱动程序任务完成状态。除回调机制外，在*异步*模式下运行的 MPLAB Harmony v3 驱动程序还为应用程序任务提供了状态函数来检查驱动程序任务完成状态。例如，SPI 驱动程序提供了状态检查 API `DRV_SPI_TransferStatusGet()`。

*同步驱动程序（阻断 API）*适用于基于 RTOS 的应用程序环境。在基于 RTOS 的应用程序环境中，阻断接口可以接受并且符合要求。当线程中的*同步*驱动程序 API 阻断等待任务完成（例如，I^2C 驱动程序 API `DRV_I2C_WriteTransfer()`阻断等待字节传输）时，RTOS 调度程序将确保被争用的线程不会无期限地阻断控制流。RTOS（特别是抢占式调度）可确保在当前线程被阻断时，可以立即运行下一个高优先级线程。有关使用 MPLAB Harmony v3 同步驱动程序的阻断行为和实现的更多信息，请参见中断安全、线程安全、同步和阻断 API 部分。

5. 参考资料

1. MPLAB Harmony GitHub： github.com/Microchip-MPLAB-Harmony

2. SAM E70 Xplained Ultra 用户指南：ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM-E70-Xplained-Ultra-User-Guide-70005389A.pdf

3. SAM E70/S70/V70/V71 系列数据手册： ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM-E70-S70-V70-V71-Family-Data-Sheet-DS60001527D.pdf

4. 使用 FreeRTOS 的 SAM E70/S70/V70/V71 MCU Harmony v3 驱动程序入门： microchipdeveloper.com/harmony3:same70-getting-started-tm-drivers-freertos

5. 使用 FreeRTOS 的 PIC32MZ EF MCU Harmony v3 驱动程序和中间件入门： microchipdeveloper.com/harmony3:pic32mz-get-start-tm-drvr-middlware-freertos

6. 面向 MPLAB Harmony v2 用户的 MPLAB Harmony v3 应用程序开发指南： ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/MPLAB_Harmonyv3_Application_Development_%20Guide_for_%20MPLAB_Harmonyv2_Users_DS00003388A.pdf

7. MPLAB Harmony Core 帮助： microchip-mplab-harmony.github.io/core/frames.html?frmname=topic&frmfile=index.html

8. 如何安装 MPLAB Harmony v3 软件开发框架： ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/How_to_Setup_MPLAB_%20Harmony_v3_Software_Development_Framework_DS90003232C.pdf

9. 使用 MPLAB Harmony v3 的 MPLAB Harmony 配置器（MHC）在 SAM 单片机上创建“Hello World”应用程序：ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Creating_Hello_World_%20Application_on_SAM_Using_MHC_DS90003231A.pdf

10. 使用 MPLAB Harmony v3 的 MPLAB Harmony 配置器（MHC）在 PIC32 单片机上创建“Hello World”应用程序： ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Creating_Hello_World_Applicatio_%20on_PIC32_Microcontrollers_Using_MPLAB_Harmonyv3_MHC_DS90003259A.pdf

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。

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规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，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。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重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

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。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。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“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、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、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、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、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、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、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、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 和 Symmcom 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。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN： 978-1-5224-7886-7

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 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话：480-792-7200 传真：480-792-7277 技术支持： www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com **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** 米慎维荷，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	**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：45-4485-5910 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