



## 引言

许多应用都需要简单的 I/O 功能，例如使多个 LED 闪烁；然而，主机微控制器 (MCU) 或处理器可能没有足够的通用 I/O 引脚来执行这些任务。同步外设接口 (SPI) 支持在 MSP430™ 微控制器与主机之间进行串行通信，主机可用作支持 SPI 通信的 I/O 扩展器。

MSP430FR2433 MCU 可以是一个 SPI 外设器件，它使用增强型串行通信接口 (eUSCI) 模块接收来自主机的命令并控制 8 个通用 I/O 引脚。

以下功能可扩展：

- SPI 接口，可通过 8 个简单的 I/O 引脚进行扩展
- 设置 I/O 输出值 (端口、组或位)
- 读取 I/O 输入值 (端口、组或位)

## NOTE

用户可借助所需的 MCU 外设将此示例与任何 MSP430 LaunchPad™ 开发套件搭配使用。如需了解如何迁移引脚排列和外设，请参阅器件特定数据表。

## 实现

应连接用作控制器的主机处理器，使其通过 4 线 SPI 总线 [SPI 时钟 (SCLK)、MOSI、MISO 和 CS/STE] 从 MSP430FR2433 MCU 的 eUSCI\_A0 写入或读取数据。SPI 命令扩展了 8 个引脚。图 1 所示为 SPI I/O 扩展器接口方框图。

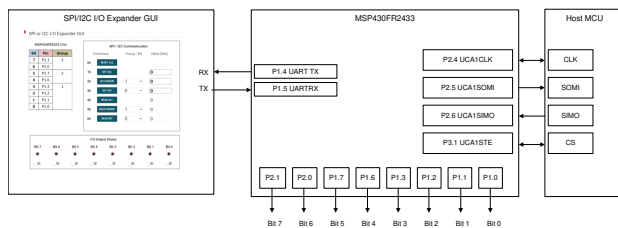


图 1. SPI I/O 扩展器方框图

主机处理器 SPI 配置如下：

- STE/CS 低电平有效的 4 引脚 SPI
- 时钟极性无效状态高电平
- 数据在第一个 UCLK 边沿发生变化并在下一个边沿捕获
- 最高有效位 (MSB) 在前，8 位字符长度

STE 引脚决定了是否启用 SPI 并且默认为低电平有效。通过发送 24 位报文来实现通信，其中第一个字节是命令，第二个字节选择组或位号，第三个字节是数据。然后 MSP430FR2433 器件将数据输出到软件中定义的映射 I/O 引脚或从中读取数据。MSP430FR2433 LaunchPad 开发板上的引脚排列和连接如图 2 中所示。

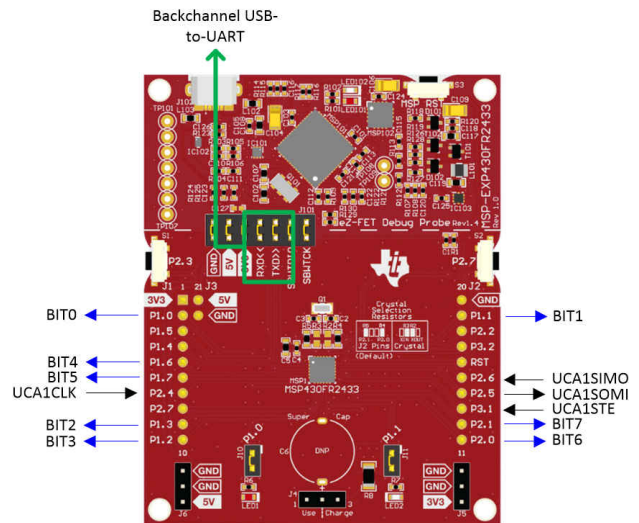


图 2. MSP430FR2433 LaunchPad 连接

主机发出的 24 位报文在 SPI 接口上与三个字节的数一起传输。第一个字节是主机命令，它告知外围器件应对引脚进行何种操作。命令选项包括“Reset All (0h)”、“Set All (1h)”、“Set Group (2h)”、“Set Bit (3h)”、“Read All (4h)”、“Read Group (5h)”和“Read Bit (6h)”。表 1 列出了 8 位主机命令值。

表 1. 主机命令：8 位

主机命令	值 (十六进制)
Reset All	0x00
Set All	0x01
Set Group	0x02
Set Bit	0x03
Read All	0x04
Read Group	0x05
Read Bit	0x06

8 位数据索引值决定了在使用“Set Group”、“Set Bit”、“Read Group”或“Read Bit”命令时将数据写入哪一个组或位编号。为 MSP430FR2433 示例代码定义的 8 位 I/O 端口将端口分为 3 组：组 1 (位 3-0)、组 2 (位 5-4) 和组 3 (位 7-6)。如果选择“Reset All”、“Set All”或“Read All”命令，则该字节“不用考虑”。表 2 列出了 8 位数据索引值。

表 2. 数据索引：8 位

数据索引/选择	值 (十六进制)
位 0	0x00
位 1/组 1	0x01
位 2/组 2	0x02
位 3/组 3	0x03
位 4	0x04
位 5	0x05
位 6	0x06
位 7	0x07
全部	不用考虑

数据值 (请参阅表 3) 告知要输出到 I/O 端口、指定组或指定位的值。对于设置命令 (1h、2h 或 3h)，数据 D7-D0 表示要发送到所选输出的 8 位值。对于“Reset All”命令或任何“Read”命令，该 8 位数据“不用考虑”。表 3 列出了 8 位数据值。

表 3. 数据值：8 位

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Reset All	X	X	X	X	X	X	X	X
Set All	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Set Group	X	X	X	X	D3	D2	D1	D0
Set Bit	X	X	X	X	X	X	X	D0
Read All	X	X	X	X	X	X	X	X
Read Group	X	X	X	X	X	X	X	X
Read Bit	X	X	X	X	X	X	X	X

## 性能

主机处理器使用指定的位速率将主机命令和数据发送到 MSP430FR2433 MCU。SPI I/O 扩展器代码示例中的位速率约为 1MHz。STE 启动主机命令和 STE 停止数据之间的时间取决于主机处理器的 SPI 配置。

MSP430FR2433 MCU 的动作时间取决于 CPU 时钟频率和器件的低功耗模式 (LPM) 设置。以下测试结果使用默认的 1MHz CPU 时钟频率和 LPM0 进行待机。可通过使用更高的 CPU 时钟频率来优化动作时间，这可能会增加代码大小来配置 CPU 时钟，也可使用更低的低功耗模式来让 CPU 更快速地从 LPM 模式唤醒。

## SPI or I2C I/O Expander GUI

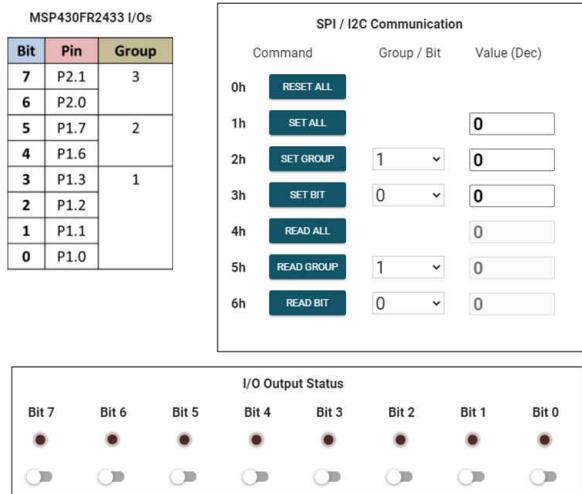


图 3. SPI I/O 扩展器 GUI

如图 3 中所示，GUI 用于 1) 监控启动的 SPI 事务并使用虚拟 LED 阵列来更新 MSP430FR2433 I/O 引脚的状态，或 2) 充当主机应用，通过 USB 转 UART 反向通道扩展 I/O 引脚。

当使用 GUI 作为监视器时，它会将数据值更新为通过 3 字节 SPI 事务启动的相关命令和组/位值。此外，如果发出设置命令，它将使用由事务的数据字节指定的值来更新虚拟 LED 阵列。例如，如果一个 3 字节的 SPI 事务是 0x03、0x02、0x01，则发出“Set Bit”命令，位 2 是指定位，它将写入值“1”。P1.2 将变高，GUI 将“Group/Bit”值更新为“2”，“Set Bit”行的“Data”值将更新为“1”。此外，位 2 的 LED 和开关将进入“ON”状态。

或者，GUI 可用作使用 USB 转 UART 反向通道的主机应用。用户可点击“Command”按钮为所有、组或位执行“Reset All”、“Set”或“Read”命令。确保在启动命令之前设置“Group/Bit”和/或“Data”值。此外，LED 下方的开关可用于单独设置或清除位。若要启动之前的相同命令，请将“Group/Bit”值更新为“2”，将“Data”值更新为“1”，然后点击“Set Bit”命令以启动命令。P1.2 将变高，位 2 LED 和开关将进入“ON”状态。

图 4 中提供了代码流程图，以简化对软件的理解。SPI 事务或 GUI 命令触发中断以设置或读取 I/O 值并更新 GUI。

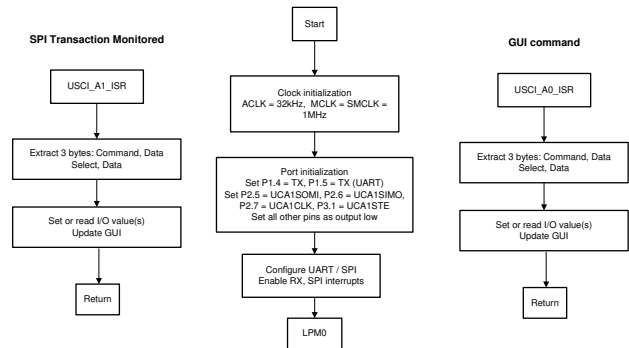


图 4. 软件流程图

## 开始使用

1. 观看培训视频“[SPI I/O 扩展器](#)”，该视频演示了如何使用串行外设接口将 SPI 数据从主机 MCU 扩展到辅助器件的 I/O 端口。
2. [订购 MSP430FR2433 LaunchPad 套件](#)以评估 SPI I/O 扩展器示例代码。
3. 下载并使用 [SPI I/O 扩展器示例 GUI](#) 测试此示例。
4. [评估 MSP430FR2433 LaunchPad 套件的 SPI I/O 扩展器示例代码](#)。

## 器件推荐

器件型号	主要特性
MSP430FR2433	16KB FRAM, 4KB SRAM, 10 位 ADC, UART/SPI/I2C, 计时器
MSP430FR2422	8KB FRAM, 2KB SRAM, 10 位 ADC, UART/SPI/I2C, 计时器

## 2 商标

MSP430™ and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司