



MSP430F5 系列 16 位超低功耗单片机模块原理

第 16 章 SPI 串行同步通讯接口模式

版本: 1.1

发布日期: 2008.9. 最后更新日期:2010.8.

原文: TI slau208.pdf (5xxfamily User's Guide)

翻译: 张桂兴 西北工业大学

编辑: DC 微控网总版主

注: 以下文章是翻译 TI slau208.pdf 文件中的部分内容。由于我们翻译水平有限, 有整理过程中难免有所不足或错误; 所以以下内容只供参考. 一切以原文为准。

文章更新详情请密切留意微控技术论坛。

第 16 章 SPI 串行同步通讯接口模式

这个 5 系列通用串行通信接口支持一个硬件模块下的多通道串行通信模式。本章节主要讨论同步外围接口的运行或称 SPI 模式的运行。

16.1 USCI 的概述

通用串行通信接口模块支持多道串行通信模式。不同的 USCI 支持不同的模式。每一个不同的 USCI 模式分别以不同的字母命名。例如，USCI-A 就与 USCI-B 不同，等等。如果在一个器件上应用多于一种能被识别出来的 USCI 模块，这些模块的名字就随着数量的增加而被命名。例如，如果一个器件有两种 USCI-A 模块，那么它们将被命名为 USCI-A0 和 USCI-A1。如果这种情况出现的话，请看特殊器件的数据手册来决定哪种器件使用哪种模块。

USCI-Ax 系列模块支持：

- UART 模式；
- 用于 IrDA 通信的脉冲整形；
- 用于 LIN 通信的波特率自动检测；
- SPI 模式；

USCI-Bx 系列模块支持：

- I²C 模式；
- SPI 模式；

16.2 USCI 介绍：SPI 模式

在同步模式下，USCI 通过 3 个或者 4 个引脚把 MSP430 连接到一个外部系统中，这些引脚分别是：UCxSIMO，UCxSOMI，UCxCLK，和 UCxSTE。选择 SPI 模式有两种情况：当“同步位”置“1”；根据 UC 模式的位来选择。

SPI 模式特性包括：

1. 7~8 位的数据长度；
2. 最高有效位在前或者最低有效位在前的数据发送和接受；
3. 3 引脚或者 4 引脚 SPI 的运行
4. 主/从模式；
5. 独立的发送和接收移位寄存器；
6. 分离的发送和接收缓冲寄存器；
7. 连续地进行发送和接收；
8. 极性和相位控制可选的时钟；
9. 主模式下可编程的时钟频率；
10. 对接收和发送的独立的中断能力；
11. LPM4 下的从模式工作；

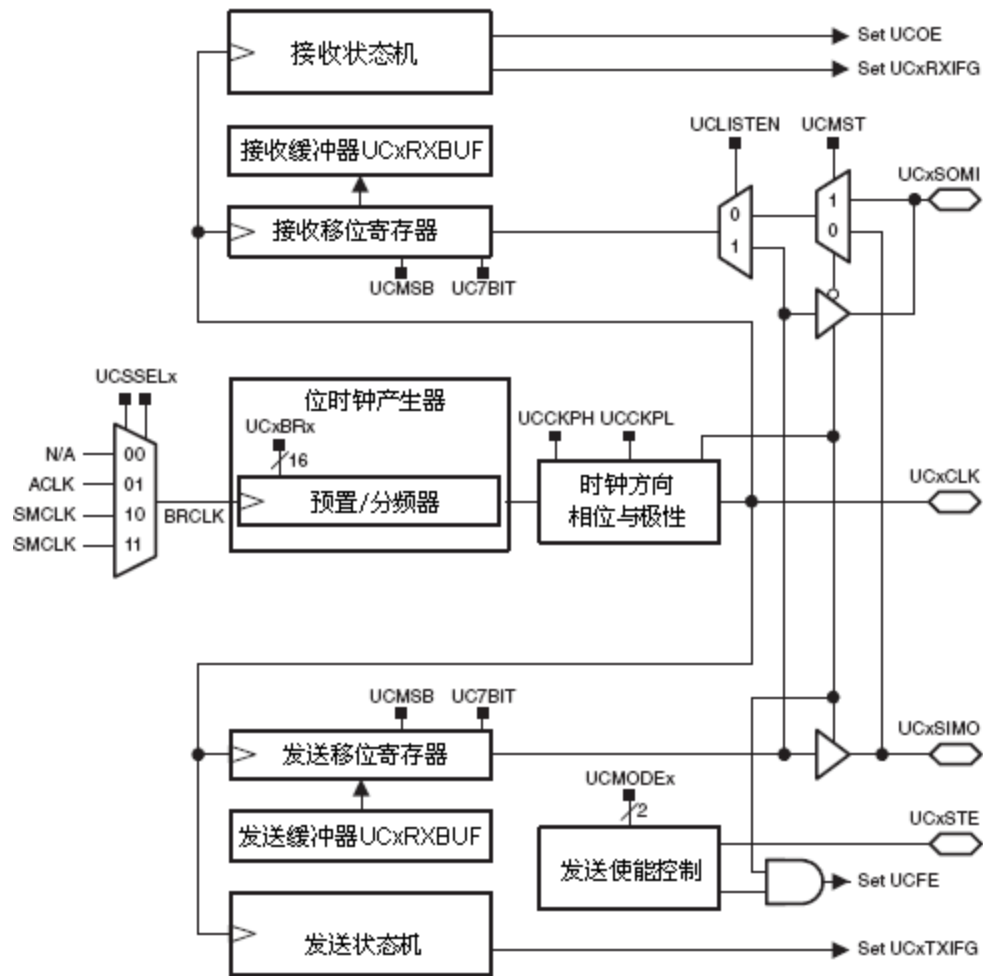


图16-1 USCI 模块示意图 SPI模式

图 16-1 展示了 SPI 模式配置下的 U S C I

16.3 USCI 的运行：SPI 模式

在 SPI 模式下，数据的发送和接收是由多个器件共享一个由时钟运行的，该时钟是由一个主机提供的。

一个额外的引脚：UCxSTE，是用来使一个器件能够执行接收和发送数据功能，它由主机控制。

三个或四个信号用于 SPI 的数据交换

UCxSIMO:是指从模式输入，主模式输出：主模式下 UCxSIMO 是数据输出线；从模式下 UCxSIMO 是数据输入线。

UCxSOMI:是指主模式输入、从模式输出：主模式下 UCxSOMI 是数据输入线；从模式下 UCxSOMI 是数据输出线

UCxCLK : USCI SPI 的时钟 主模式： UCxCLK 是一种输出，从模式是一种输入。

UCxSTE: 从模式下的发送使能端。用于 4 个引脚的模式中，且允许在一条单总线上有多个主机，但不用于 3 脚模式。表格 16-1 描述了 UCxSTE 运行模式。

Table 16-1 UCxSTE 运行模式

UCMODEx	UCxSTE 有效状态	UCxSTE	从机	主机
01	高	0	不活动	活动
		1	活动	不活动
10	低	0	活动	不活动
		1	不活动	活动

16.3.1 通用串行通信接口的初始化和复位

通用串行通信接口的复位功能是由一个 PUC 或者由 UCSWRST 位来完成。一个 PUC 之后，UCSWRST 位会自动置“1”，使 USCI 保持在一个复位的情况下。当 UCSWRST 位被置“1”时，它会使 UCRXIE、UCTXIE、UCRXIFG、UCOE 和 UCFE 位复位，同时令 UCTXIFG 位置“1”。清除 UCSWRST 位会使 USCI 处于运行状态。

注意：初始化或者重配置 USCI 模块

推荐的 USCI 初始化/重配置过程如下：

- 1、令 UCSWRST=1；（BIS,B #UCSWRST,&UCxCTL1）；
- 2、当 UCSWRST=1 时初始化所有 USCI 寄存器（包括 UCxCTL1）；
- 3、配置端口；
- 4、通过软件令 UCSWRST=0（BIC,B #UCSWRST,&UCxCTL1）；
- 5、通过 UCRXIE 和/或 UCTXIE 使中断能够工作（可选择的）。

16.3.2 字符格式

在 SPI 模式下的 USCI 模块支持由 UC7BIT 位选择的 7~8 位字符长度。在 7 位数据模式下，“LSB 是按要求进行的，而 MSB 是一直复位。” UCNSB 位控制着数据发送的方向且选择低位在前还是高位在前。

注意：字符格式缺省

发送时 SPI 字符缺省值的情况下是低位在前。考虑到与其它的 SPI 接口进行通信，也许需要它的高位在前的模式。

注意：图形的字符格式

本章所有的图像都是用高位在前的模式。

16.3.3 主模式

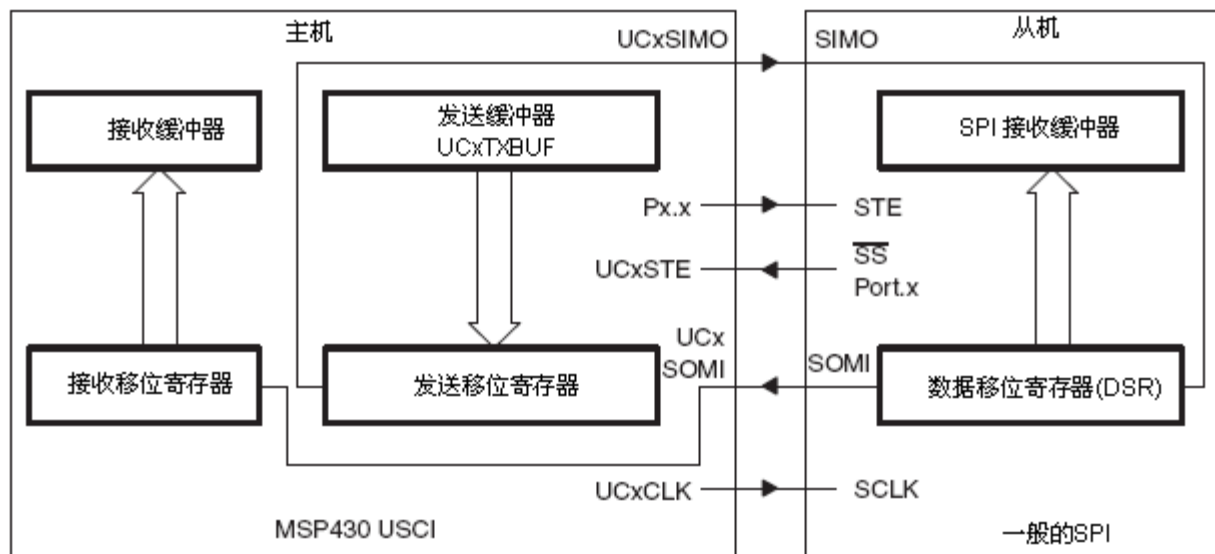


图16-2 USCI主机和外部从机

图 16-2 说明了在 3 脚或者 4 脚的配置总 USCI 作为一个主机。当数据移动到数据发送缓冲区时，USCI 开始数据发送。当 TX 移位寄存器为空的时候，缓冲区的数据被移动到 TX 移位寄存器，开始在 UCxSIMO 口进行数据发送，并且该口同时开始由 UCMSB 位的设置决定的高位在前还是低位在前模式。在相反的时钟边沿，在 UCxSOMI 端的数据被移位到数据接收寄存器。当字符数据被接收时，被接收的数据就会从 RX 寄存器被移动到数据接收缓冲区，UCxRXBUF 而且接收中断标志位 UCRXIFG 被置“1”，这就意味着数据的接收和发送工作已经完成。

令发送中断标志位 UCTXIFG=1 意味着数据已经从接收缓冲区被移动到发送移位寄存器，而且数据发送缓冲区已经准备好了发送一组新的数据，但并不意味着数据的发送和接收的工作已经完成了。

在主模式下，为了接收数据到 USCI，数据必须被写到发送缓冲区，因为数据的接受和发送是并行工作的。

4 线的 SPI 主模式

在 4 引脚的主模式中，UCxSTE 被用于防止与另外的主机发生冲突，并且如表格 16-1 所示的那样控制本主机。当 UCxSTE 处于主模式不工作的状态中：

- UCxSIMO 和 UCxCLK 被置“1”用来输入，并且不再驱动总线。
- 出错位 UCFE 被置“1”来报告通信整体性的错误需要用户处理。
- 内部的状态：机器复位，移位工作被终止。

如果数据被写入到发送缓冲区而 UCxTSE 却使主机停止工作，那么只要 UCxSTE 回到主机工作状态，刚才的数据就会进行发送。如果一个工作中的数据发送被 UCxTSE 终止了，即不工作的状态，那么当 UCxTSE 回到主机工作的状态时刚才的数据必须被重新写入到数据发送缓冲区。在 3 引脚的主模式中不用 UCxSTE 输入信号。

16.3.4 从模式

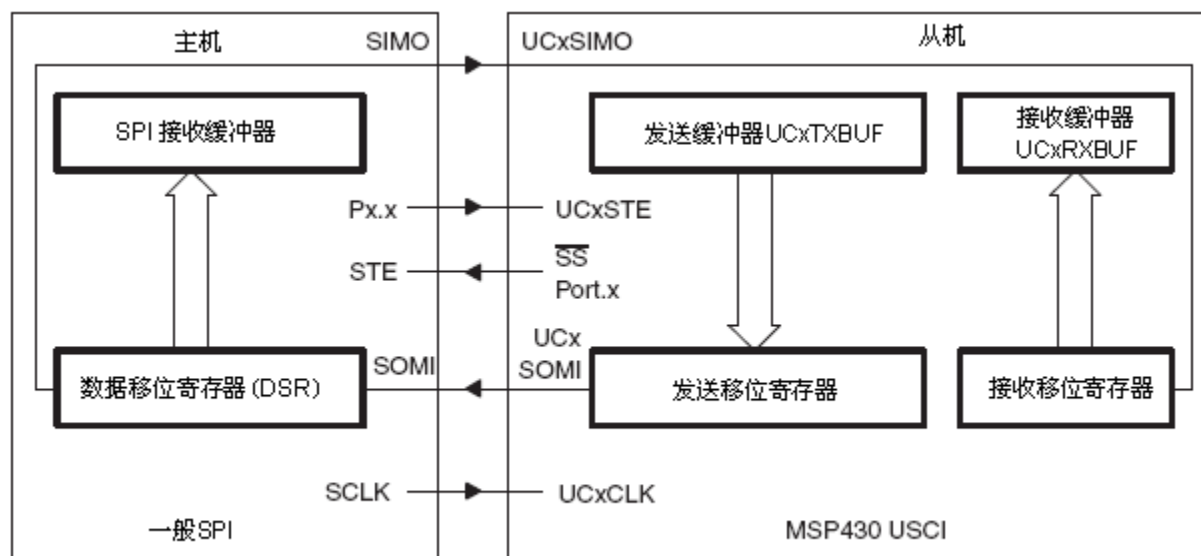


图16-3 USCI从机和外部主机

图 16-3 表示了 3 脚和 4 脚的配置中的 USCI。UCxCLK 用于 SPI 的时钟输入而且必须有外部主机供电（supply）。数据移动的速率是由这个时钟决定的而不是由内部的位时钟发生器决定的。

在 SPI 输入时钟被发送到 UCxSOMI 口之前就要把数据写到发送缓冲区并移动到发送移位寄存器。在时钟的另一边沿在 UCxSIMO 端的数据要被移动到接收移位寄存器里，并且要在当这一组数据被接收时把 UCxSIMO 发出的数据移动到接收缓冲区。当数据由接收移位寄存器移动到接收缓冲区时，接收的中断标志位被置“1”，表明了数据已被接收。当之前传送的数据在新的数据到来之前没有被接收缓冲区读到时会出现超限错误，同时超限错误标志位被置“1”。

4 线的 SPI 从模式

在 4 引脚的 SPI 从模式下，UCxSTE 被从模式用来使发送和接受处于工作状态，它由 SPI 主机提供。当 UCxSTE 处于从模式活动状态时，从动装置处于正常工作的状态。

当 UCxSTE 处于停止状态时；

- 任何在 UCxSIMO 口进行中的接受工作将会停止；
- UCxSOMI 被置于输入的方向；
- 移位工作也会停止，一直到 UCxSTE 过渡到从模式下的活动状态。

这种 UCxSTE 输入信号的功能不用于 3 脚的模式当中。

16.3.5 SPI 使能

当通过清除 UCSWRST 位来使 USCI 模块工作时，说明它已经准备好了数据的接收和发送。主模式下位时钟产生器已经准备好了，但不用于计时或者产生任何时钟。从模式下位时钟产生器被停止而由主机来提供时钟。发送或者接收的工作提示是由 UCBUSY=1 来说明的。

一个 PUC 或者令 UCSWRST=1 将会使 USCI 立刻停止，并且任何活动的传输都被终止。

发送使能

在主模式下，向发送数据的缓冲区写数据会激活位时钟产生器而且数据也开始了发送。

从模式下， 当一个主机提供一个时钟时数据才开始发送，而且在 4 脚模式中，还得需要 UCxSTE 处于活动状态。

接收使能

当发送处于激活状态时，SPI 接收数据。接收和发送的工作同时运行。

16.3.6 串行时钟控制

UCxCLK 由 SPI 总线上的主机提供。当 UCMST=1 时，位时钟是由 UCxCLK 引脚上的 USCI 位时钟产生器提供。之前的位时钟发生器被选作了 UCSSELx 位。 当 UCMST=0 时，USCI 时钟是由主机 UCxCLK 引脚提供，此时位时钟产生器没有使用，并且 UCSSELx 位并不在意。SPI 的数据接收器和发送器并行工作同时使用同个时钟源。

位于位速率控制寄存器 UCxxBR1 和 UCxxBR0 中的 16 位值的 UCBRx 是 USCI 时钟源的关键因素。主模式下产生的最大的位时钟是 BRCLK。在 SPI 模式中不使用调制的方法，同时 SPI 模式时的 USCI-A 模块下 UCAxMCTL 应该被清零。UCAxCLK/UCBxCLK 的频率公式如下：
$$f_{\text{BITCLOCK}} = f_{\text{BRCLK}} / \text{UCBRx};$$

16.3.6.1 串行时钟的极性与相位

UCxCLK 的极性和相位是通过 USCI 的 UCCKPL 和 UCCKPH 控制位而被独立配置的。每种情况下的时钟都显示在图 16-4 中。

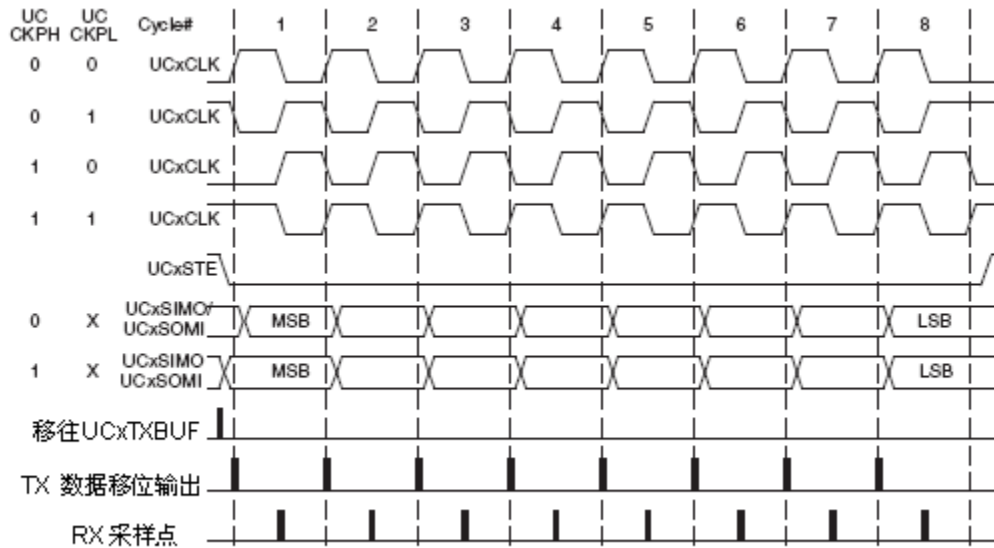


图16-4 USCI SPI时序 且UCMSB=1

16.3.7 将 SPI 模式用于低功耗的模式

为了运用低功耗模式，USCI 模块提供了自动的时钟供电。当 USCI 的时钟源由于仪器在一个低功耗模式下而停止工作，USCI 模块在需要的时候就会自动地使时钟工作。当 USCI 模块回到停滞的状态时时钟仍然处于工作状态。USCI 模块回到停滞的状态后，时钟源的控制还原到其控制位的设置上。

在 SPI 从模式下不需要内部时钟源，因为时钟是由外部的宿主提供的。在机器是 LPM4 且所有时钟源都没有工作的情况下而在从模式下操纵 USCI 是有可能的。接收或者发送的中断的信号都可以在任何低功耗模式下激活 CPU。

16.3.8 SPI 中断

USCI 只有一个由发送和接收共享的一个中断向量。USCI-Ax 和 USCI-Bx 不共享同一个中断向量。

SPI 发送中断的运行

发送中断标志位 UCTXIFG 是由发送器置“1”的，以便用来指示发送缓冲区 UCxTXBUF 做好接收下一个字符的准备。如果 UCTXIE 和 GIE 也被置位“1”，那么一个中断到来的时候就会产生一个中断请求。如果一个字符被写入发送数据缓冲区那么 UCTXIFG 就会被自动地复位。当一个 PUC 或者 UCSWRST=1 时 UCTXIFG 被置“1”而且 UCTXIE 被复位。

注意：SPI 模式下写数据到 UCxTXBUF

当 UCTXIFG=0 时写入发送缓冲区的数据可能会导致错误的数据发送。

SPI 接收中断的运行

每次当接收一个字符并把字符装载到数据接收缓冲区时接收数据的中断标志位 UCRXIFG 就会被置“1”。当 UCRXIE 和 GIE 被置“1”时也会有一个中断请求的发生。UCRXIFG 和 UCRXIE 也会由一个 PUC 复位信号或者 UCSWRST=1 的系统来复位。当读取接受数据缓冲区时接受中断标志位会自动复位。

中断向量发生器：UCxIV

USCI 的中断向量标志位具有先后次序且被联合起来产生一个单一的中断向量。中断向量寄存器 UCxIV 被用来决定哪个标志位请求中断。最高优先级的标志位使中断在寄存器里产生一个能够被计算或者能够加到程序计数器里的数值，目的是自动地进入到恰当的软件流程。没有作用的中断将不会影

响中断向量寄存器的值。

UCxIV 的软件编程实例：

```

USCI-SPI-ISR
    ADD      &UCB0IV,PC ; 把偏移地址加到跳转的表格上
    RETI
    JUMP     RXIFG-ISR ; 向量 2: 接受中断标志位
TXIFG-ISR
    ...      ; 向量 4: 发送中断标志位
    ...      ; 中断任务开始执行
    RETI
RXIFG-ISR
    ...      ; 向量 2
    ...      ; 终端任务开始执行
    RETI
    ...      ; 返回

```

16.4 USCI 寄存器：SPI 模式

在表 16-2 中列出了 SPI 模式下的可用的 USCI 的寄存器。表 16-3 中列出了字可访问的寄存器。

表 16-2. USCI-xx 寄存器

寄存器	简写	类型	地址偏移	初始状态
USCI-Ax 控制寄存器 0	UCAxCTL0	字节-读/写	+01h	复位和 PUC
USCI-Bx 控制寄存器 0	UCAxCTL0	字节-读/写	+01h	001h 和 PUC
USCI-xx 控制寄存器 1	UCxxCTL1	字节-读/写	+00h	001h 和 PUC
USCI-xx 位率控制寄存器 0	UcxxBR0	字节-读/写	+06h	复位和 PUC
USCI-xx 位率控制寄存器 1	UcxxBR1	字节-读/写	+07h	复位和 PUC
USCI-Ax 调整寄存器	UCAxMCTL	字节-读/写	+08h	复位和 PUC
USCI-xx 状态寄存器	UCxxSTAT	字节-读/写	+0Ah	复位和 PUC
Reserved-读为 0		字节-只读	+0Bh	000h
USCI-xx 接收缓冲器寄存器	UCxxRXBUF	字节-读/写	+0Ch	复位和 PUC
Reserved-读为 0		字节-只读	+0Dh	000h
USCI-xx 中断使能寄存器	UCxxIE	字节-读/写	+1Ch	复位和 PUC
USCI-xx 中断标志寄存器	UCxxIFG	字节-读/写	+1Dh	002h 和 PUC
USCI-xx 中断向量寄存器	UCxxIV	字-只读	+1Eh	复位和 PUC

表 16-3. 字写入 USCI-xx 寄存器

字寄存器	简写	高字节寄存器	低字节寄存器	地址偏移
USCI-xx 控制字寄存器 0	UCxxCTLW0	UCxxCTL0	UCxxCTL1	+00h
USCI-xx 位率控制字寄存器	UCxxBRW	UCxxBR1	UCxxBR0	+06h
USCI-xx 中断控制寄存器	UCxxICTL	UCxxIFG	UCxxIE	+1Ch

UCAxCTL0, USCI-Ax 控制寄存器 0

UCBxCTL0, USCI-Bx 控制寄存器 0

7	6	5	4	3	2	1	0
UCCKPH	UCCKPL	UCMSB	UC7BIT	UCMST	UCMODEx		UCSYNC=1
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0 ⁽¹⁾ rw-1 ⁽²⁾

UCCKPH Bit 7 时钟相位选择

- 0 数据变化是在第一个 UCLK 边沿和捕获在后面的边沿。
- 1 数据捕获是在第一个 UCLK 边沿和变化在后面的边沿。

UCCKPL Bit 6 时钟极性选择
0 无活动时钟状态为低
1 无活动时钟状态为高

UCMSB Bit 5 最高有效位选择，控制接收和发送寄存器的方向。
0 LSB 先发
1 MSB 先发

UC7BIT Bit 4 字符长度。选择 7 位或者 8 位字符长度
0 8 位数据
1 7 位数据

UCMST Bit 3 主模式选择
0 从机模式
1 主机模式

UCMODEx Bit 2-1 USCI 模式。当 UCSYNC=1 时 UCxMODEx 位选择同步模式。
00 3 线 SPI。
01 4 线 SPI，带 UCxSTE 高有效：当 UCxSTE=1 时从机使能。
10 4 线 SPI，带 UCxSTE 代有效：当 UCxSTE=0 时从机使能。
11 IIC 模式

UCSYNC Bit 0 同步模式使能
0 异步模式
1 同步模式

- (1) UCAxCTL0 (USCI-Ax)
- (2) UCBxCTL0 (USCI-Bx)

UCAxCTL1, USCI-Ax 控制寄存器 1
UCBxCTL1, USCI-Bx 控制寄存器 1

7	6	5	4	3	2	1	0
UCSSELx		Unused					UCSWRST
rw-0	rw-0	rw-0 r0 ⁽²⁾	rw-0	rw-0	rw-0	rw-0	rw-1

UCSSELx 位 7-6 USCI 时钟源选择。这些位在主模式下选择 BRCLK 作为时钟源。UXCLK 一直用于从模式下
00 NA
01 ACLK
10 SMCLK
11 SMCLK

Unused 位 5-1 未被使用

UCSWRST 位 0 软件复位使能
 0 关闭。USCI 复位释放工作。
 1 使能。USCI 逻辑在复位状态。

(1) UCAxCTL1 (USCI-Ax)

(2) UCBxCTL1 (USCI-Bx)

UCAxBR0, USCI-Ax 位速率控制寄存器 0

UCBxBR0, USCI-Bx 位速率控制寄存器 0

7	6	5	4	3	2	1	0
UCBRx							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UCAxBR1, USCI-Ax 位速率控制寄存器 1

UCBxBR1, USCI-Bx 位速率控制寄存器 1

7	6	5	4	3	2	1	0
UCBRx							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UCBRx 位时钟预定标度器 {UCxxBR0 和 UCxxBR1} 的 16 位值构成了标度值。

UCAxMCTL, USCI-Ax 模块控制寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0
rw = 0	rw = 0	rw = 0	rw = 0	rw = 0	rw = 0	rw = 0	rw = 0

位 7-0 Write as 0.

UCAxSTAT, USCI-Ax 状态寄存器

UCBxSTAT, USCI-Bx 状态寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
UCLISTEN	UCFE	UCOE	Unused			UCBUSY	
rw-0	rw-0	rw-0	rw-0 ⁽¹⁾ r0 ⁽²⁾	rw-0 ⁽¹⁾ r0 ⁽²⁾	rw-0 ⁽¹⁾ r0 ⁽²⁾	rw-0 ⁽¹⁾ r0 ⁽²⁾	r-0

UCLISTEN 位 7 使能 UCLISTEN 位选择回送模式。
 0 关闭。
 1 使能。发送输出是在内部反馈到接收端。

UCFE 位 6 框架错误标志位，这一位用于 4 线模式中指示总线的冲突。
 0 没错误
 1 总线存在冲突

UCOE Bit 5 超限错误标志位 当一位字符被转移到数据接收缓冲区时而前一位字符还没有进行读取时，这一位此时有效。
 当接收缓冲区读取字符时 UCOE 会自动清零，而且不允许软件对其清零。否则将不能正确地工作。

- 0 没错误。
1 存在超限错误。

Unused 位 4-1 未被使用

UCBUSY 位 0 USCI 忙状态。这一位用来指示数据的发送和接受工作是否正在进行。
0 没活动
1 发送或接收中

- (1) UCAxSTAT (USCI-Ax)
(2) UCBxSTAT (USCI-Bx)

UCAxRXBUF, USCI-Ax 的接收缓冲寄存器

UCBxRXBUF, USCI-Bx 的接收缓冲寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
UCRXBUFx							
r	r	r	r	r	r	r	r

UCRXBUFx 位 7-0 接受数据缓冲区是用户通道而且它包括上一次从数据接收移位寄存器接收的字符。读取缓冲区时使接受错误位复位，即 UCRXIFG。在 7 位数据模式中，接收缓冲区是最低有效位有效 (LSB justified) 而最高有效位一直处于复位状态。

UCAxTXBUF, USCI-Ax 的发送缓冲寄存器

UCBxTXBUF, USCI-Bx 的发送缓冲寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
UCTXBUFx							
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

UCTXBUFx 位 7-0 数据发送缓冲区是用户通道而且一直保存着数据等待数据被移到发送移位寄存器且被发送。向发送缓冲区写数据同时也就清除了发送标志位。其最高有效位不被使用而复位。

UCAxIE, USCI-Ax 中断使能寄存器

UCBxIE, USCI-Bx 中断使能寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						UCTXIE	UCRXIE
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	rw-0	rw-0

Reserved 位 7-2 保留位

UCTXIE 位 1 发送中断使能
0 中断关闭
1 中断使能

UCRXIE 位 0 接收中断使能
 0 中断关闭
 1 中断使能

UCAxIFG, USCI-Ax 中断标志寄存器

UCBxIFG, USCI-Bx 中断标志寄存器

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved						UCTXIFG	UCRXIFG
r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0	rw-1	rw-0

Reserved 位 7-2 保留位

UCTXIFG 位 1 发送中断标志。当 UCxxTXBUF 为空时它被置“1”。
 0 没有中断发生
 1 发生中断

UCRXIFG 位 0 接受中断标志。UCxxRXBUF 已经接受了一个完整的字符后该标志位被置“1”。
 0 没有中断发生
 1 发生中断

UCAxIV USCI-Ax 中断向量寄存器

UCBxIV USCI-Bx 中断向量寄存器

15	14	13	12	11	10	9	8
0	0	0	0	0	0	0	0
r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0	r0
7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	UCIVx		0
r0	r0	r0	r-0	r-0	r-0	r-0	r-0

UCIVx 位 15-0 USCI 中断向量列表

UCAxIV/UCBxIV 目录	中断源	中断标志	中断优先
000h	没中断发生	--	
002h	数据接收	UCRXIFG	最高
004h	发送缓冲器空	UCTXIFG	最低