



SC7660/SC7A30E/SC7A20:MEMS 运动传感器

低功耗高精度三轴加速度传感器

前言介绍:

本文档主要介绍低电压、三轴线性输出、LGA 封装的 MEMS 加速度计，适用于 SC7660、SC7A30E 及 SC7A20，采用标准 I²C 串行接口通信，具备智能休眠、唤醒及状态监测功能。测量量程： $\pm 2g/$
 $\pm 4g/ \pm 8g/ \pm 16g$ ；数据输出率：
1Hz/10Hz/25Hz/50Hz/100Hz/200Hz/400Hz；中断信号可配置输出到相应的中断管脚，应用于设备运动状态监测；正常工作温度范围为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 。其他主要特征及典型应用如下：

主要特点

- 宽供电电压范围 1.71 ~ 3.6V
- 独立的 IO 口供电 (1.8V)
- 低功耗模式下电源电流低至 2 μ A
- I²C/SPI 数字接口
- 两路独立的可编程中断
- 6D/4D 方向检测
- 自由落体检测
- 运动检测
- 内嵌温度传感器

典型应用

- 运动检测
- 方向指示
- 振动控制
- 计步器
- 撞击检测
- 惯性导航
- 倾斜测量
- 游戏人机界面



目 录

前言介绍:	1
1. 工作模式	3
1.1 正常模式 (Normal)	3
1.2 掉电模式 (Power Down)	3
1.3 低功耗 (Low Power) 模式	4
2. 三轴数据读取操作	4
2.1 查询状态寄存器 STATUS 并读取数据	4
2.2 查询 DataReady(DRY)信号并读取数据	4
2.3 BDU 功能	4
2.4 加速度数据解析	5
2.5 加速度计的量程及灵敏度	5
3. 高通滤波器 (HPF)	6
3.1 高通滤波正常模式	7
3.2 高通滤波参考模式	7
3.3 高通滤波自动重置模式	8
4. 中断功能	8
5. 惯性中断功能	10
5.1 Duration (延时)	10
5.2 Threshold(阈值)	10
5.3 自由落体中断	11
5.4 唤醒中断	12
5.5 自由落体监测	12
6. 6D/4D 方向监测	12
6.1 6D 方向监测	12
6.2 4D 方向监测	14
7. 单击和双击识别	14
7.1 单击识别	15
7.2 双击识别	15
7.3 单击、双击识别寄存器	16
7.4 单击识别举例	18
7.5 双击识别举例	21
7.6 自由落体识别	24
8. 版本历史	27



1. 工作模式

三种工作模式：正常模式（Normal mode）、掉电模式（Power Down）、低功耗模式（Low power），正常模式能保证更高的三轴输出数据精度，低功耗模式能减少电流消耗。

根据 7A30E/7A20 规格书，XYZ 三轴的数据输出速率（ODR）、XYZ 三轴的数据使能控制（Xen、Yen、Zen）及工作模式的选择（Operating Modes）可通过寄存器 CTRL_REG1(20h) 和寄存器 CTRL_REG4(23h) 的 HR 来控制实现设置，如表 1、表 2 所示。

表 1 操作模式选择

Operating mode selection

Operating mode	CTRL_REG1[3] (LPen bit)	CTRL_REG4[3] (HR bit)	BW [Hz]	Turn-on time [ms]
Low power mode	1	0	ODR/2	1
Normal mode	0	1	ODR/9	7/ODR

表 2 数据输出速率选择

Data rate configuration

ODR3	ODR2	ODR1	ODR0	Power mode selection
0	0	0	0	Power-down mode
0	0	0	1	Normal/low power mode (1 Hz)
0	0	1	0	Normal/low power mode (10 Hz)
0	0	1	1	Normal/low power mode (25 Hz)
0	1	0	0	Normal/low power mode (50 Hz)
0	1	0	1	Normal/low power mode (100 Hz)
0	1	1	0	Normal/low power mode (200 Hz)
0	1	1	1	Normal/low power mode (400 Hz)
1	0	0	0	Low power mode (1.5 kHz)
1	0	0	1	Normal (1.250 kHz)/low power mode (5 kHz)

1.1 正常模式（Normal）

在此模式下，能保证更好的数据采样精度，XYZ 三轴的数据可按照设置好的 ODR（数据更新率）周期性的输出三轴数据寄存器。

1.2 掉电模式（Power Down）

在此模式下，除了 IIC 和 SPI 外所有的内部模块都被关闭以节省功耗，所有寄存器之前配置过的参数数据都被保存，而三轴输出的数据寄存器的数据不再更新，仍维持上一次正常工作时采样的数据。



1.3 低功耗（Low Power）模式

此模式的主要特点是功耗低，数据输出情况和正常模式一致，三轴数据可按照设置好的 ODR 周期性地输出三轴数据。

2. 三轴数据读取操作

2.1 查询状态寄存器 STATUS 并读取数据

当有 X、Y、Z 轴有数据更新时，对应状态标识寄存器 STATUS_REG(27h)的 ZYXDA、ZDA、YDA、XDA 位会自动置 1，此时可直接读取三轴数据寄存器 OUT_X_L(28H)、OUT_X_H(29H)、OUT_Y_L(2AH)、OUT_Y_H(2BH)、OUT_Z_L(2CH)、OUT_Z_H(2DH)，以上寄存器全部读取操作完成后，状态标识寄存器 STATUS_REG 的 ZYXDA、ZDA、YDA、XDA 位才能自动清 0。若在数据读取前，数据发生再次更新，上次数据会被自动覆盖，且此时 STATUS_REG 的 ZYXOR、ZOR、YOR、XOR 会自动置 1，而读完三轴数据寄存器内容后会自动清 0。若 CTRL_REG4(23h)的 BDU 位是置 0 的，数据会不断更新，上述状态标志变化情况仍然会发生。

2.2 查询 DataReady(DRY)信号并读取数据

通过配置相应的中断寄存器，可以将 STATUS_REG(27h)状态寄存器的 ZYXDA 位通过 INT1 脚反映。具体配置方法为：将 CTRL_REG3(22H)的 II_DRDY1 置 1，并通过配置 CTRL_REG6(25H)中的 H_LACTIVE 位来选择 INT 脚的极性（高电平有效或者是低电平有效）。当设置为高电平有效时（H_LACTIVE=0），三轴有新数据更新则 INT1 脚会自动升为高电平，此时完成三轴数据读操作后，ZYXDA，ZDA，YDA，XDA 位会自动清 0，同时 INT1 引脚自动降为低电平。相反，当设置为高电平有效时（H_LACTIVE=1），三轴有新数据更新则 INT1 脚会自动降为低电平，此时完成三轴数据读操作后，ZYXDA，ZDA，YDA，XDA 位会自动清 0，同时 INT1 引脚自动升为高电平。

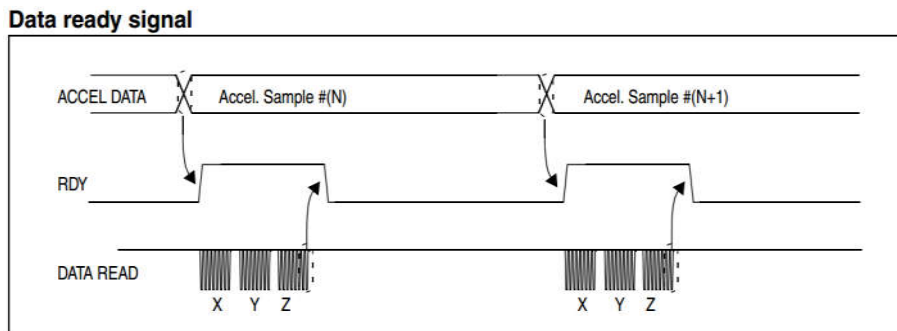


图 1 数据读取过程

2.3 BDU 功能

如果主机（MCU）读三轴数据寄存器内容的速度较慢，并且读写速度无法和 DRDY 信号或者状态寄存器标志位的更新速度同步，强烈建议一定要将寄存器 CTRL_REG4(23H) 的最高位 BDU 置 1。通过该方法可以保证读取的三轴输出数据（OUT_X_L~OUT_Z_H；



0x28-0x2D) 是同一时刻, 即某一个运动状态下的数据值。将 BDU 置 1 是为了使三轴数据不能自动连续更新, 直至某轴高位和低位数据都被读取, 才会有最新数据更新到该寄存器中。

2.4 加速度数据解析

采样后的加速度数据输出到寄存器 OUT_X_H (29H)、OUT_X_L(28H)、OUT_Y_H(2BH)、OUT_Y_L(2AH)、OUT_Y_H(2BH)、OUT_Z_H(2DH)、OUT_Z_L(2CH), 输出数据以二进制格式输出, 最高位为符号位, 故读取三轴数据需存储到无符号字符型变量后再做数据合并 (高位合并), 然后再强制转换为有符号整型数据输出。三轴寄存器以 16 位数据输出, 默认: 最高位在左, 最低位在右。

同时, 三轴的输出数据可交换高低位寄存器内容, 例如将 X 轴的高位数据存储于 28H 地址, 而 X 轴的低位数据存储于 29H 地址。该功能可通过寄存器 CTRL_REG4 (23H) BLE 位控制实现, BLE 配置为 0 也就是 Little Endian, 即表示加速度数据的低字节存放在输出寄存器的低 8 位地址, 加速度数据的高字节存放在输出寄存器的高 8 位地址。BLE 配置位 1 也就是 Big Endian, 即表示加速度数据的低字节存放在输出寄存器的低 8 位地址, 加速度数据的高字节存放在输出寄存器的高 8 位地址, 即表示加速度数据的低字节存放在输出寄存器的高 8 位地址, 加速度数据的高字节存放在输出寄存器的低 8 位地址。具体如表 3 所示。

表 3 数据输出高低位与 BLE 关系

Output data registers content vs. acceleration (FS = 2 g)				
Acceleration values	BLE = 0		BLE = 1	
	Register address			
	28h	29h	28h	29h
0 g	00h	00h	00h	00h
350 mg	E0h	15h	15h	E0h
1 g	00h	04h	04h	00h
-350 mg	20h	EAh	EAh	20h
-1g	00h	C0h	C0h	00h

2.5 加速度计的量程及灵敏度

输出的加速度数据如何来表示实际加速度大小, 主要是通过寄存器 CTRL_REG4(23H) 的 FS1、FS2 位来设置加速度计的量程, 不同的量程选择和不同工作模式组合对应的不同的灵敏度 (单位: mg/lsb 或 mg/digit) 和量程。如表 4 所示, 在不同的工作模式和量程下对应着不同的灵敏度。例如正常模式下, 高精度模式开启, FS0=0, FS1=0 时, 对应量程为 $\pm 2.0g$, 相对应的灵敏度为 1mg/digit, 当某轴数据输出为-1000 时, 将此数据乘以对应的灵敏度 1mg/digit, 那么此时的重力加速度为-1000mg, 也就是一个重力加速度大小。

表 4 加速度计的机械特性参数表

Mechanical characteristics						
Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Unit
FS	Measurement range ⁽²⁾	FS bit set to 00		± 2.0		
		FS bit set to 01		± 4.0		
		FS bit set to 10		± 8.0		
		FS bit set to 11		± 16.0		g
So	Sensitivity	FS bit set to 00		1		mg/digit
		FS bit set to 01		2		mg/digit
		FS bit set to 10		4		mg/digit
		FS bit set to 11		12		mg/digit



3. 高通滤波器（HPF）

加加速度计内置有高通滤波器，可将直流分量信号简单滤除，高通滤除操作可通过设置寄存器 CTRL_REG2(21H)的 HPM 位选择工作模式。CTRL_REG2(21H)寄存器的控制位描述如表 5，其中高通滤波配置的模式如表 6，高通滤波器内部框架结构图如图 2，高通滤波器截止频率设置参考表如表 7。

表 5 控制寄存器 2 的位描述表

CTRL_REG2 register							
HPM1	HPM0	HPCF2	HPCF1	FDS	HPCLICK	HPIS2	HPIS1
HPM1-HPM0		高通滤波模式选择位。默认值：00；参考 "高通滤波模式配置表"					
HPCF2 -HPCF1		高通滤波器截止频率选择位					
FDS		滤波数据选择。默认值：0； (0:内部滤波旁路（不使用）；1: 通过内部滤波后送至输出寄存器)					
HPCLICK		单击功能的高通滤波使能位；(0:不使用滤波；1:使用滤波)					
HPIS2		AOI 功能的高通滤波使能位（中断 2）；(0:不使用滤波；1:使用滤波)					
HPIS1		AOI 功能的高通滤波使能位（中断 1）；(0:不使用滤波；1:使用滤波)					

表 6 高通滤波模式配置表

HPM1	HPM0	高通滤波模式
0	0	正常模式 (读 HP_RESET_FILTER 时重置)
0	1	使用参考源信号
1	0	正常模式
1	1	中断事件时自动重置

High-pass filter connections block diagram

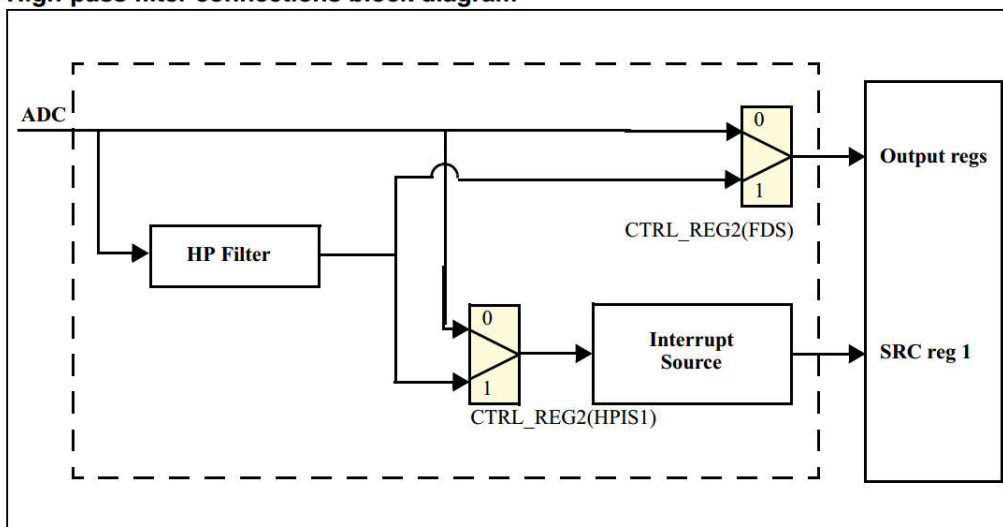


图 2 高通滤波器内部架构框图



表 7 高通滤波器截止频率设置（低功耗模式）

Low power mode - high-pass filter cut-off frequency [Hz]

HPC	f_t [Hz] @ 1Hz	f_t [Hz] @ 10Hz	f_t [Hz] @ 25Hz	f_t [Hz] @ 50Hz	f_t [Hz] @ 100Hz	f_t [Hz] @ 200Hz	f_t [Hz] @ 400Hz
00	0.02	0.2	0.5	1	2	4	8
01	0.008	0.08	0.2	0.5	1	2	4
10	0.004	0.04	0.1	0.2	0.5	1	2
11	0.002	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1

3.1 高通滤波正常模式

在本模式下，读取参考寄存器后高通滤波器会被重置，因此，可立即滤除加速度信号中直流信号。其滤波效果类似于图 3。

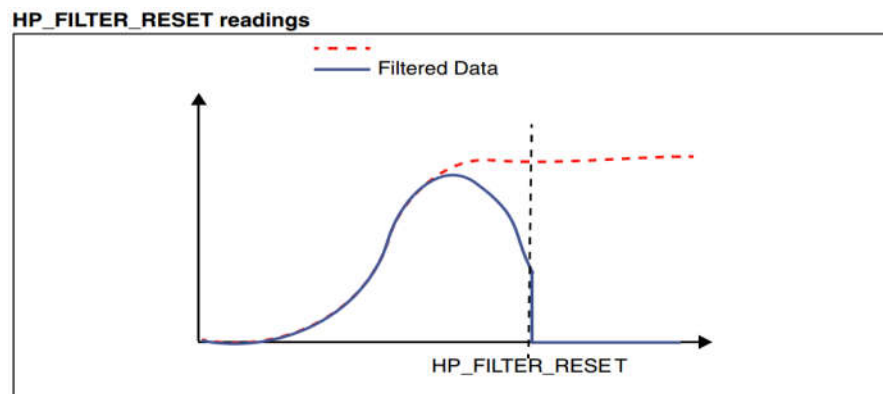


图 3 正常模式

3.2 高通滤波参考模式

在本模式下，参考寄存器内容与输入的加速度数据不同时，输出数据结果会被自动计算。寄存器内容使用二进制补码格式。其滤波效果类似于图 4。

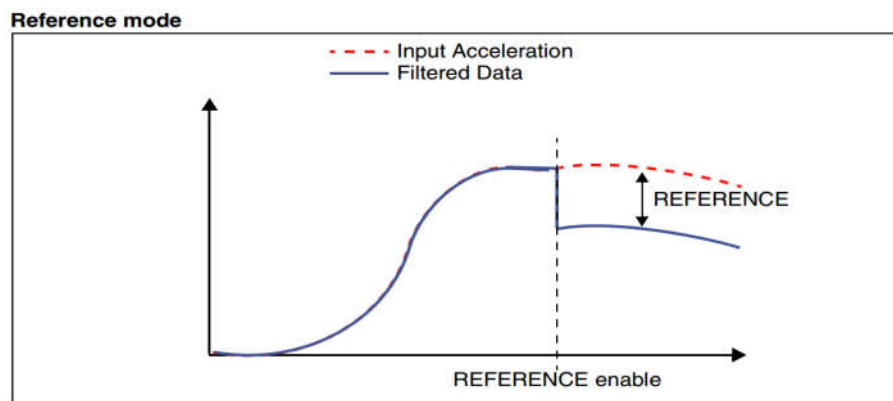


图 4 参考模式



3.3 高通滤波自动重置模式

在本模式下，当已配置的中断事件发生时，滤波器会自动重置。但使用 HP_RESET 可实现即时的滤波器置位。其滤波效果类似于图 5。

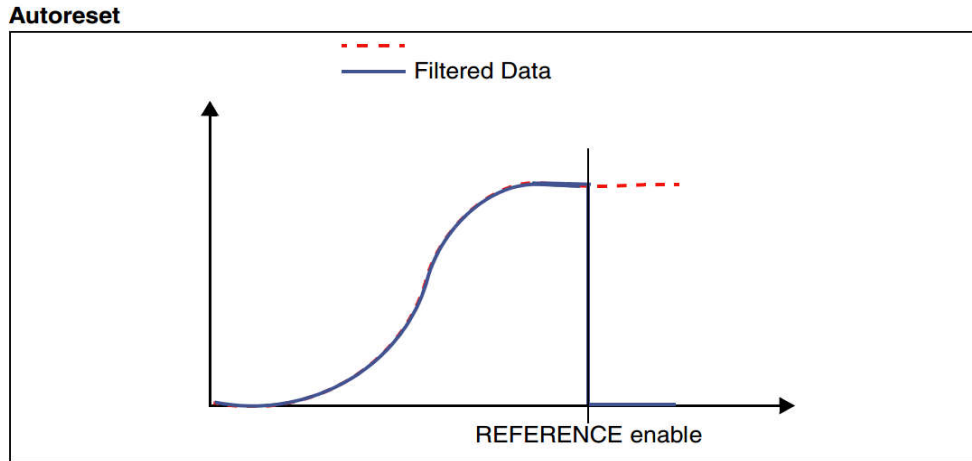


图 5 自动重置模式

4. 中断功能

速度传感器的自由落体、唤醒、6D 及 4D 的监测功能可通过读取中断寄存器实现状态判断，也可以将中断配置到外部中断引脚实现监测，例如 INT1 脚或 INT2 脚用被进行相关配置，从而实现状态中断监测功能，因此主机（MCU）可监测加速度计的中断引脚信号即可实现各运动状态监测。中断功能可通过寄存器 CTRL_REG3(22H)、CTRL_REG6(25H)、INT1_CFG(30H)、INT2_CFG(34H)来配置各个中断功能，寄存器的位描述如表 8 所示。

表 8 控制寄存器 3 的位描述表

CTRL_REG3(22h)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
I1_CLICK	I1_AOI1	I1_AOI2	I1_DRDY1	I1_DRDY2	HI1_WTM	I1_OVERRUN	--
I1_CLICK		CLICK 中断配置至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					
I1_AOI1		AOI1 中断配置至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					
I1_AOI2		AOI2 中断配置至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					
I1_DRDY1		DRDY1 中断配置至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					
I1_DRDY2		DRDY2 中断配置至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					
I1_WTM		FIFO 水印中断至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					
I1_OVERRUN		FIFO 过写中断至 INT1. 默认值：0； (0：不使能；1：使能)					



表 9 控制寄存器 6 的位描述表

CTRL_REG6(25h)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
I2_CLICK	I2_INT2	0	BOOT_I2	0	--	H_LACTIVE	--
I2_CLICK	CLICK 中断配置至 INT2。默认值：0 (0：不使能； 1：使能)						
I2_AOI2	AOI2 中断配置至 INT2。默认值：0 (0：不使能； 1：使能)						
BOOT_I2	BOOT 状态中断配置至 INT2。默认值：0 (0：不使能； 1：使能)						
H_LACTIVE	0: 中断信号高电平有效； 1: 中断信号低电平有效；						

表 10 中断 1、中断 2 配置寄存器的位描述表

INT1_CFG(30h) / INT2_CFG(34h)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
AOI	6D	ZHIE/ ZUPE	ZLIE/ ZDOWNE	YHIE/ YUPE	YLIE/ YDOWNE	XHIE/ XUPE	XLIE/ XDOWNE
AOI	“与/或”组合中断事件。默认值：0。参考“中断模式表”						
6D	6 方向检测功能使能位。默认值：0。参考“中断模式表”						
ZHIE/ ZUPE	Z 轴高事件或向上识别的使能中断，默认值：0。(0：不使能中断请求； 1：使能中断请求)						
ZLIE/ ZDOWNE	Z 轴低事件或向下识别的使能中断，默认值：0。(0：不使能中断请求； 1：使能中断请求)						
YHIE/ YUPE	Y 轴高事件或向上识别的使能中断，默认值：0。(0：不使能中断请求； 1：使能中断请求)						
YLIE/ YDOWNE	Y 轴低事件或向下识别的使能中断，默认值：0。(0：不使能中断请求； 1：使能中断请求)						
XHIE/ XUPE	X 轴高事件或向上识别的使能中断，默认值：0。(0：不使能中断请求； 1：使能中断请求)						
XLIE/ XDOWNE	X 轴低事件或向下识别的使能中断，默认值：0。(0：不使能中断请求； 1：使能中断请求)						

如表 10 所示，INT1_CFG 寄存器的 ZHIE、ZLIE、YHIE、YLIE、XHIE 和 HLIE 位可决定哪个轴的中断被使能或者哪个方向识别中断被使能。

表 11 中断模式配置表

AOI	6D	中断模式
0	0	“或”组合的中断事件
0	1	6 方向运动识别
1	0	“与”组合的中断事件
1	1	6 方向位置识别

如表 11 所示，AOI 位及 6D 位表示触发相应中断事件的规则为：若 AOI=0 为逻辑“或”，表示所配置好的所有中断事件只要有一个满足中断条件，就触发中断。若 AOI=1 为逻辑“与”，表示所配置好的所有中断事件必须所有都满足自身的中断条件，才能触发中断，相当于将所有中断进行了逻辑“与”操作。

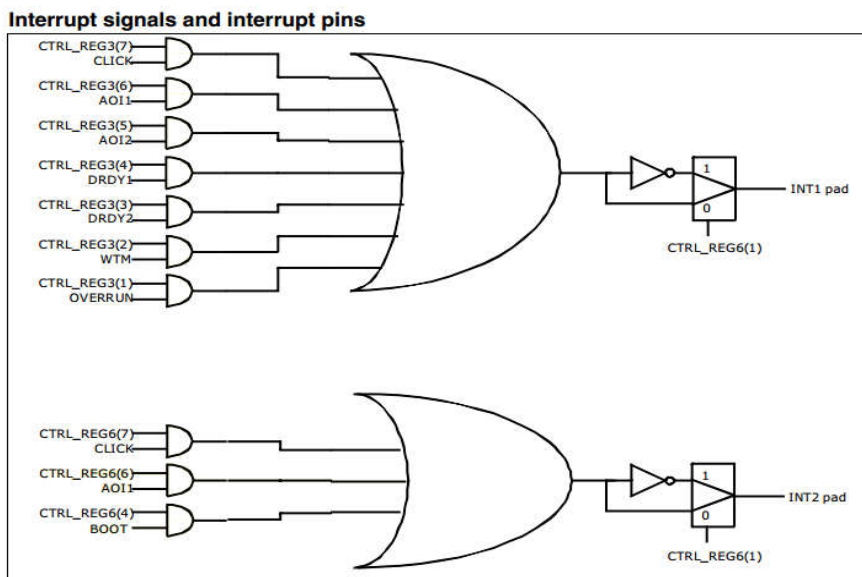


图 6 中断源和中断引脚的内部映射关系

5. 惯性中断功能

7A30E/7A20 提供两个惯性中断源 AOI1、AOI2 供用户使用，用户通过配置相关寄存器可实现惯性传感单元的 6D 监测、4D 监测、自由落体监测（FREE FALL）、唤醒中断。以上特殊功能的配置通过设置 INT1_CFG、INT1_THS、INT1_DURATION 寄存器实现。无论何时上述的中断条件发生改变并触发了中断后，通过读取 INT1_SRC 寄存器即可进行相关的判断操作。

5.1 Duration（延时）

Duration 表示惯性中断事件产生到被识别并产生相应动作之间的延迟时间，该延迟时间由 ODR 决定。Duration time=N/ODR，N 代表的数值由 Duration 寄存器决定。

5.2 Threshold(阈值)

Threshold 寄存器设定产生加速度值超过多少门限或者多少阈值才能产生中断响应。其中，每个 LSB 的大小由所选的量程决定，如表 12。

表 12 量程与阈值分辨率关系表

Threshold LSB value	
Full scale	Threshold LSB value (mg)
2	~16
4	~31
8	~63
16	~125



5.3 自由落体中断

自由落体或唤醒中断的选择是通过 INT1_CFG 寄存器的 AOI 位的设置实现，而监测任何自由落体及惯性唤醒的中断判断阈值是由 INT1_THS 寄存器设置。

中断判断阈值是无符号的 7 位值，监测 XYZ 三轴输出数据是否在 0g 附近的区域，即可判断设备目前是否处于自由落体状态。若输出值在阈值范围以内时，则会触发相应的中断。自由落体及唤醒中断如图 7。

Free-fall, wake-up interrupt generator

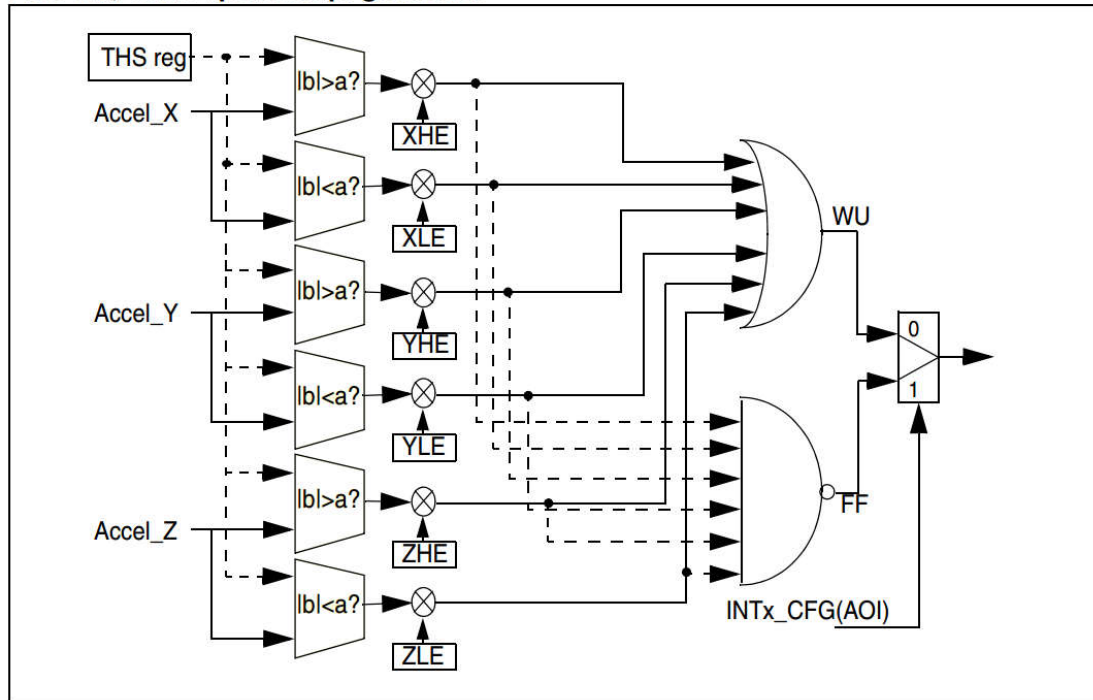


图 7 自由落体及唤醒中断

FF_WU_CFG high and low

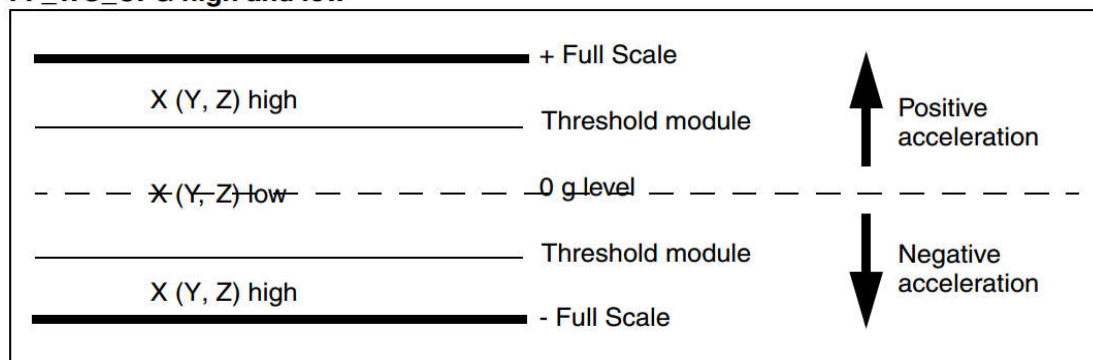


图 8 XYZ 轴输出高低信号及阈值关系

如图 8 所示，当 XYZ 轴的无符号加速度值高于 INT1_THS 寄存器设置的阈值时，XH、YH、ZH 高为真，触发相应中断。与之对应，当 XYZ 轴的无符号加速度值低于 INT1_THS 寄存器设置的阈值时，XL、YL、ZL 低为真，触发相应中断。



5.4 唤醒中断

自动唤醒中断由 INT1_CTRL 寄存器完成配置，当加速度计输出的数据大于所配置的轴阈值范围时，唤醒中断会自动触发，其发生过程如图 9。

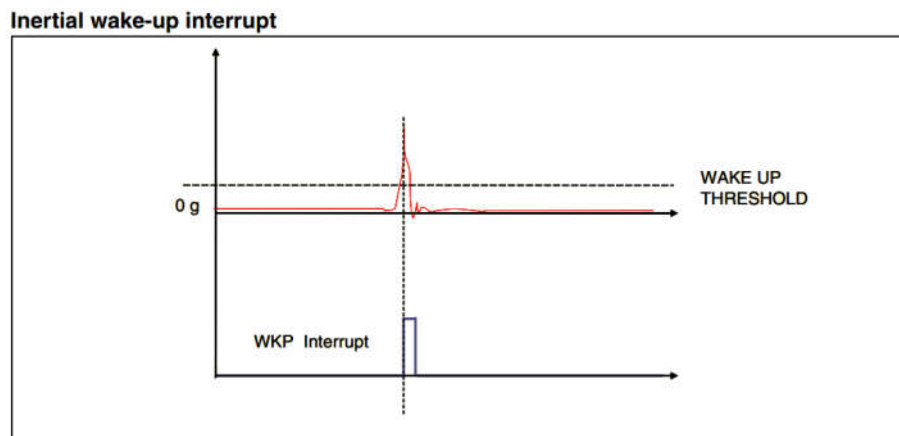


图 9 自动唤醒过程及中断信号图

5.5 自由落体监测

当加速度计设备处于自由落体过程中，三轴输出数据会不断趋于 0g。在实际情况下，自由落体区域是在 0g 轴线附近区域，在该区域以内时，加速度值比较小，足以触发中断并产生相应中断信号。如图 10 所示。

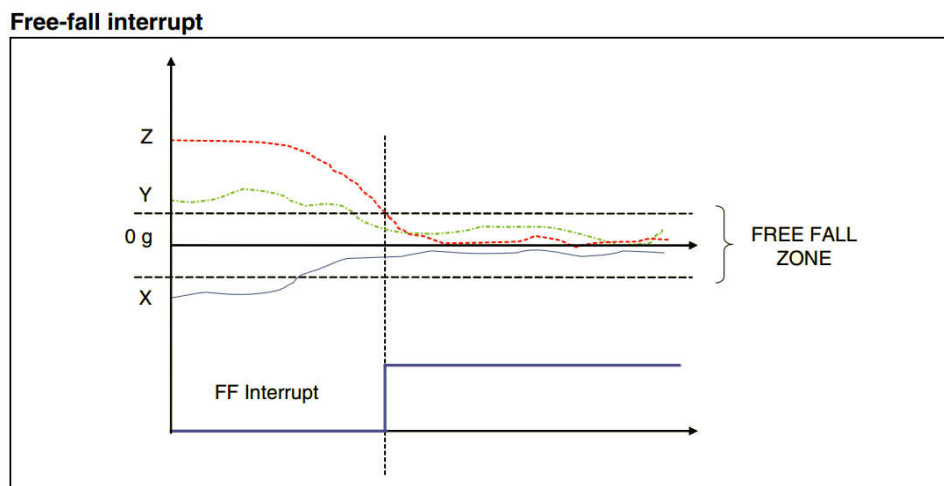


图 10 自由落体监测并中断响应

6. 6D/4D 方向监测

7A30E 具有自身空间位置检测能力，对于手持设备，它能够方便地实现节能及自动图像旋转目的。

6.1 6D 方向监测

6D 方向定位功能可通过使能 INT1_CFG 的 AOI 和 6D 位实现。当配置为 6D 功能且当



前加速度值大于阈值时，通过 INT1_SRC 寄存器的 ZH、ZL、YH、YL、XH 和 XL 可以知道产生中断的情况。例如：ZH（YH、XH）为 1 时，监测到的加速度大于该阈值正方向。ZL（YL、XL）为 1 时，监测到的加速度大于该阈值负方向。如图 11。

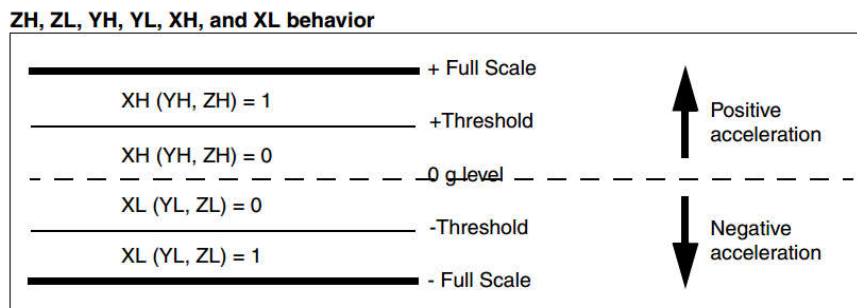


图 11 6D 三轴高低时间情况图

两种配置 6D 方向功能：

6D 运动识别：在这种配置时，当设备从一个方向（已知或未知）到另一个已知的方向会产生中断。中断有效的响应时间只有 1/ODR。

6D 位置识别：在这种配置时，当设备处于一个稳定的已知方向时会触发中断，只要保持位置不变中断就会持续触发。如图 12。

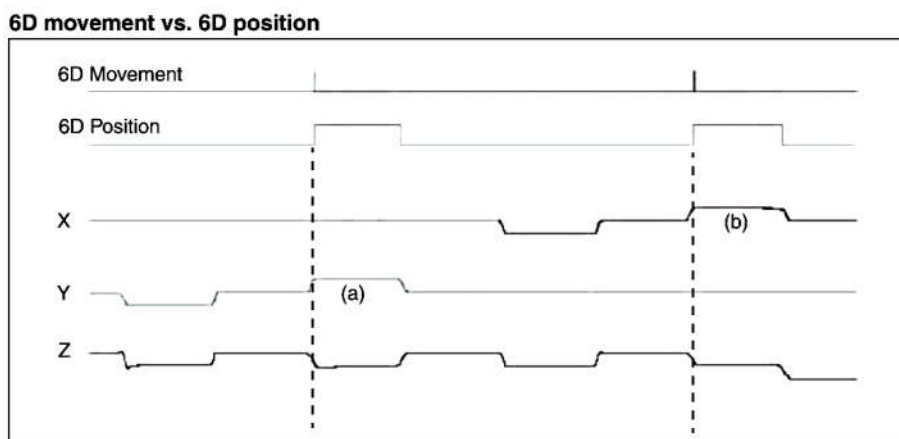


图 12 运动识别及位置识别

如上变化及触发图形所示，设备分别被配置为在 X 轴和 Y 轴 6D 运动识别 (INT1_CFG=0x4AH)、在 X 轴和 Y 轴 6D 位置识别 (INT1_CFG=0xCAH)，INT1_THS 设置为 0x21。如下图所示，装置在 X、Y 和 Z 轴上被配置为 6D 位置功能。在各位置上的 INT_SRC 寄存器值如图 13，在不同位置上的中断 1 的 SRC 寄存器输出值情况如表 13。

表 13 6D 位置下的中断 1 SRC 寄存器

INT1_SRC register in 6D position							
Case	IA	ZH	ZL	YH	YL	XH	XL
(a)	1	0	0	0	1	0	0
(b)	1	0	0	0	0	1	0
(c)	1	0	0	0	0	0	1
(d)	1	0	0	1	0	0	0
(e)	1	1	0	0	0	0	0
(f)	1	0	1	0	0	0	0



6D recognized positions

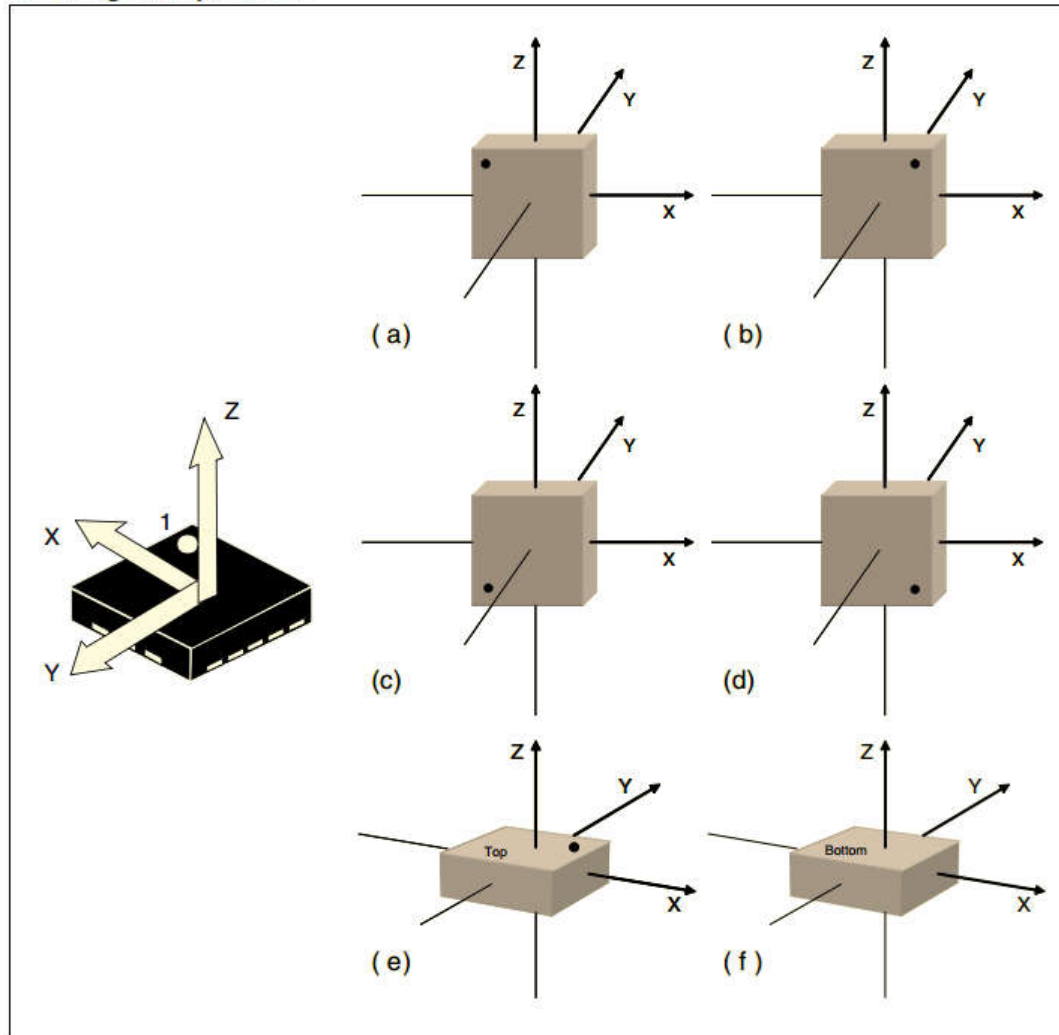


图 13 6D 位置识别图

6.2 4D 方向监测

4D 方向检测功能是 6D 功能的一部分，在手持设备多应用该功能。当 INT1_CFG 的 6D 位已被置 1，通过将 CTRL_REG5 的 D4D_INT1 位设置为 1 可使能 4D 方向监测功能。在这个配置时，Z 轴位置检测功能被禁用，因此减少了位置识别的情况。

7. 单击和双击识别

单击和双击的识别功能有助于创建一个小软件加载的人机界面，当设备在任何方向上配置了中断，那么在单击或双击时，相应的专用引脚就会输出一个中断信号。

如果传感器处于单击的输入刺激下，它会在引脚 INT1 和 INT2 上产生一个中断惯性中断请求。更为方便的是，设备处于双击输入刺激时，相应引脚也会产生相应中断请求信号，类似于鼠标双击按钮功能，其中双击间的间隔时间是可编程的。用户可对以上功能通过专用设置寄存器进行自由设置，设置单击和双击的刺激幅度和时间等参数，相应寄存器描述如



7.3 节中的描述。单击和双击识别工作独立于所选的输出数据率。

7.1 单击识别

如果设备被配置为单击事件识别,在选定的通道的输入加速度超过设定阈值时并在时间窗口内再次低于设定阈值,会产生一个中断,时间窗口的阈值(TIME_LIMIT)可由相应的寄存器进行设置。INT1_SRC 寄存器中的中断信号(IA)的持续时间由 TIME_LATENCY 寄存器设置决定。如图 14 的左侧,单击刺激信号已被识别,而右侧图中的单击操作尚未被识别,其原因为加速度下降到阈值以下时,已经超出了时间窗口的限制时间。

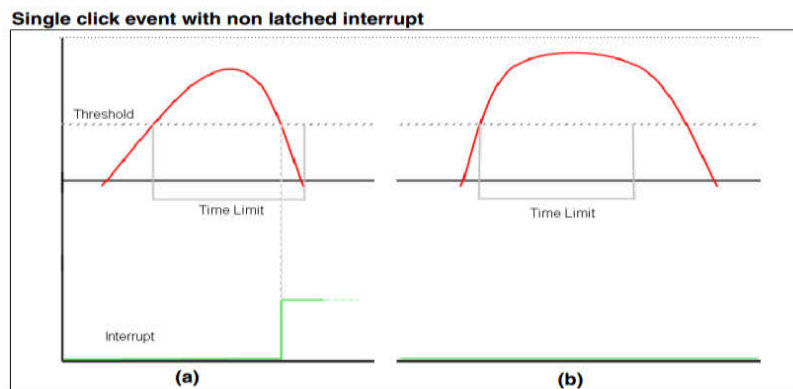


图 14 单击时间中的 TIME_LIMIT 设置

7.2 双击识别

如果设备被配置为双击事件检测,在第一次单击后,第二次单击被确认,则会产生一个中断。如果事件满足延迟和窗口寄存器设置的要求,双击操作就会被识别。与之前不同的是,在单击被识别后,第二次单击的识别程序会在一定延时后进行,延时设定值可在延时寄存器中设定。这意味着,在第一次单击被确认后,第二次单击的识别程序,会在延时窗口之后、时间限制窗口之前执行,在这期间加速度超过设定阈值并在时间限制窗口内再次低于该阈值,即可实现双击检测,如图 15 所示。

一旦第二次单击检测程序启动,第二次单击识别的规则与第一次识别的相同,加速度值在时间门限结束前必须返回到设定阈值门槛以下。由于输入信号的存在虚假跳跃,因此定义合适的延迟窗口是非常重要的,这样可以避免不必要的点击。

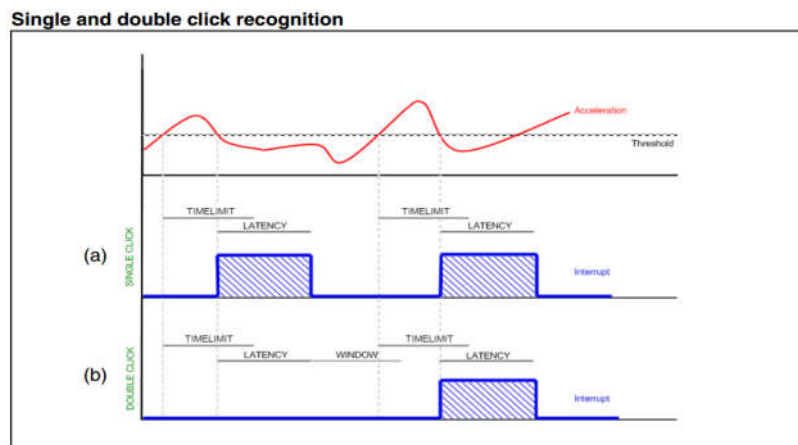


图 15 单击事件和双击事件



由图 15 可见，当设备的 CLICK_CFG 配置为双击识别模式时，为监测双击动作，首先需要监测单击状态，而后在判断在规定的时间及规则内有无发生双击事件。如图 16，双击配置参数如（a）即可识别到该双击事件，并产生中断信号；若双击配置参数如（b）则该双击事件则会被忽略，不做任何相应。对于的寄存器设置参考 7.3 节。

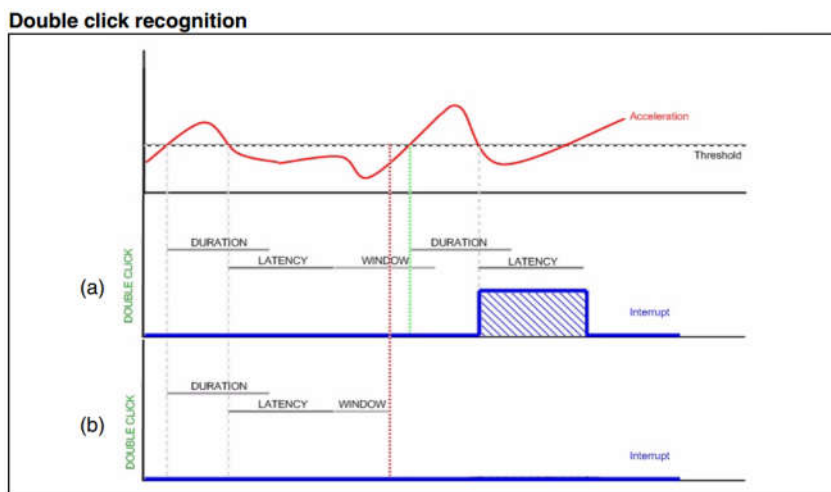


图 16 双击事件和正确识别分析图

7.3 单击、双击识别寄存器

点击配置寄存器（CLICK_CFG）的配置 XYZ 三个轴的单击及双击使能，使用过程中我们建议您：针对一个轴只开启单、双击功能中的一个功能，例如置位 38h.B5，则清除 38h.B4；当双击中断触发时，单击中断标志位也会置位，这时需要忽略该标志位，只是做甄别双击标志位操作即可。

表 14 单、双击事件中中断使能寄存器

CLICK_CFG (38h)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
--	--	ZD	ZS	YD	YS	XD	XS
ZD	Z 轴的双击事件中中断使能位。默认值：0 (0: 中断请求不使能； 1:使能加速度测量的中断请求，加速度值高于预设值时)						
ZS	Z 轴的单击事件中中断使能位。默认值：0 (0: 中断请求不使能； 1:使能加速度测量的中断请求，加速度值高于预设值时)						
YD	Y 轴的双击事件中中断使能位。默认值：0 (0: 中断请求不使能； 1:使能加速度测量的中断请求，加速度值高于预设值时)						
YS	Y 轴的单击事件中中断使能位。默认值：0 (0: 中断请求不使能； 1:使能加速度测量的中断请求，加速度值高于预设值时)						
XD	X 轴的双击事件中中断使能位。默认值：0 (0: 中断请求不使能； 1:使能加速度测量的中断请求，加速度值高于预设值时)						
XS	X 轴的单击事件中中断使能位。默认值：0 (0: 中断请求不使能； 1:使能加速度测量的中断请求，加速度值高于预设值时)						



表 15 单、双击中断标志位寄存器

CLICK_SRC(39h)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
--	IA	DCLICK	SCLICK	Sign	Z	Y	X
IA	中断触发标志位。默认值：0 (0：未产生任何中断；1：一个或多个中断已触发)						
DCLICK	双击检测使能。默认值：0 (0：双击事件未识别，1：双击事件已识别)						
SCLICK	单击检测使能。默认值：0 0：单击事件未识别，1：单击事件已识别)						
Sign	点击正负向检测标志位。0： 正方向检测，1： 负方向检测						
Z	Z 轴点击监测的中断标志位。默认值：0 (0：无中断，1：Z 轴高事件已触发(有中断))						
Y	Y 轴点击监测的中断标志位。默认值：0 (0：无中断，1：Y 轴高事件已触发(有中断))						
X	X 轴点击监测的中断标志位。默认值：0 (0：无中断，1：X 轴高事件已触发(有中断))						

注明：此处的 XYZ 轴的高事件不同于中断 1 中的事件，此处表示在点击情况下，三轴数据的绝对值大于设定 CLICK_THS (3Ah) 寄存器设置的阈值，从而触发了相应方向的高事件，即对应的单、双击事件，从而实现单双击识别。

表 16 单、双击阈值设置寄存器

CLICK_THS (3Ah)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
--	Ths6	Ths5	Ths4	Ths3	Ths2	Ths1	Ths0

Ths6-Ths0	CLICK-CLICK threshold. Default value: 000 0000
-----------	--

1 LSB = full scale/128

THS6 ~THS0 位定义的是开始点击检测程序的阈值。

表 17 阈值判断时间窗设置寄存器

TIME_LIMIT (3Bh)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
--	TLI6	TLI5	TLI4	TLI3	TLI2	TLI1	TLI0

TLI6-TLI0	CLICK-CLICK Time Limit. Default value: 000 0000
-----------	---

1 LSB = 1/ODR

TLI7 ~TLI0 定义最大的时间间隔限制值，从开始单击监测程序（选定轴输出值大于编程设定阈值）到轴输出数据下降到编程设定阈值以下的最大时间值。



表 18 单、双击中断持续时间设置寄存器

TIME_LATENCY (3Ch)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
TLA7	TLA6	TLA5	TLA4	TLA3	TLA2	TLA1	TLA0

TLA6-TLA0	CLICK-CLICK time latency. Default value: 0000 0000
-----------	--

1 LSB = 1/ODR

TLA7 ~ TLA0 定义了开始第一次点击检测完成后的一段无效检测时间,用于屏蔽干扰,该寄存器还有一项重要作用为: 设定 (IA) 中断信号的持续时间, 其值的设置, 直接关系到读取中断寄存器 (SRC) 的情况, 且该寄存器也可应用于双击识别监测的功能。

表 19 双击延时时间设置寄存器

TIME_WINDOW (3Dh)

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
TW7	TW6	TW5	TW4	TW3	TW2	TW1	TW0

TW7-TW0	CLICK-CLICK time window
---------	-------------------------

1 LSB = 1/ODR

TW7 ~ TW0 定义最大的时间间隔窗, 这个间隔窗从延时间隔 (TIME_LATENCY) 之后开始, 应用于双击识别。若在该时间间隔窗内没有发生再次点击事件 (轴数据都未超过设定阈值), 那么该轴的双击事件将不会触发和识别。

7.4 单击识别举例

测试实验的硬件连接: 采用四线连接测试, 即 VCC、GND、SDA、SCL; 具体电路实例如图 7.1。测试的冲击信号采用手动敲击电路放置的桌子, 或直接敲击电路板本身。

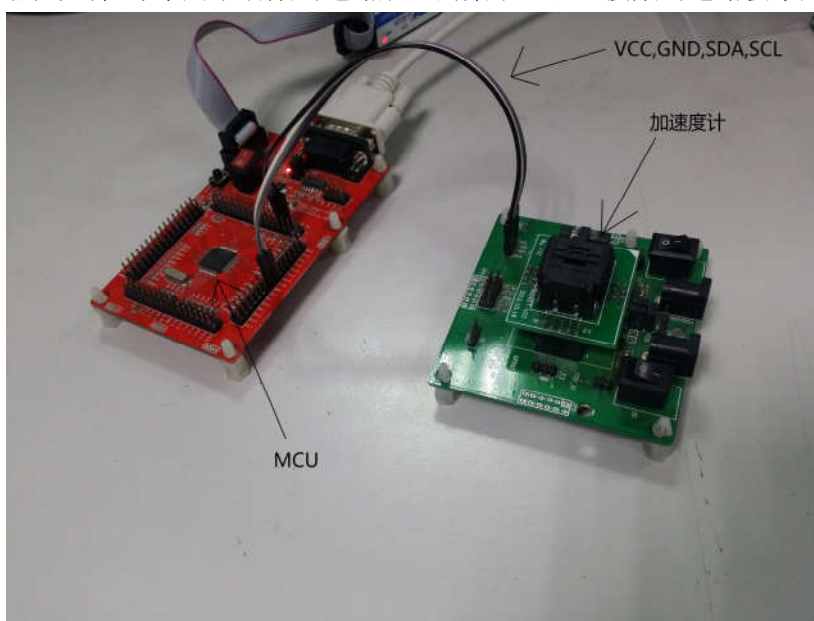


图 17 测试实验实物图



基本寄存器设置要求及说明：

- 1), 设置 ODR 为 25Hz, 并使能 XYZ 轴, 设置 0x20 寄存器为 0x37;
- 2), 打开高通滤波模式, 并将该功能作用于 CLICK 功能, 设置滤波截止频率;
- 3), 设置数据更新要求、并设置量程为 $\pm 2G$, 不打开高精度模式;
- 4), 设置 XYZ 轴单击中断功能使能, 设置寄存器 0x38 寄存器为 0x15;
- 5), 设置 CLICK 的阈值为 0x06, 即设置 0x3a 寄存器;
- 6), 设置时间限制窗口的时间为 6 个单位的 ODR 时间, 设置 0x3b 寄存器为 0x06;

7), 中断持续时间由 0x3c 寄存器决定, 设置持续时间为 2 个单位的 ODR 时间, 该寄存器的设置和单片机多久读一次 CLICK_SRC 寄存器的数据有关, 未将中断配置到引脚时, TIME_LATENCY 寄存器的设置决定了程序执行过程中, 是否会发生漏读或多读的情况。寄存器设置如表 20。

表 20 单击模式寄存器设置情况

CTRL_REG1	CTRL_REG2	CTRL_REG4	CLICK_CFG	CLICK_THS	TIME_LIMIT	TIME_LATENCY
0x20	0x21	0x23	0x38	0x3a	0x3b	0x3c
0x37	0xbc	0x80	0x15	0x06	0x06	0x02

设置完成后, 即可读取三轴转换完成的输出数据及对应的单击中断寄存器值 (0x39 CLICK_SRC 寄存器); 由于高通滤波器的作用, 在无外界刺激情况下, 三轴输出数据值基本在 0 附近, 如图 18; 在不同方向给予一定刺激信号 (施加冲击, 点击), 则输出一定幅值信号, 输出信号如图 19; 单击测试加速度计六个基本方向时, 串口输出的判别情况如图 20; 串口输出信号如图 21 的 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)。在触发过程中, 会出现不只是一个轴满足单击触发条件, 加速度计会选择最合适的一组作为单击中断触发输出, 其测试情况如图 22。



图 18 高通开启情况下三轴输出情况



图 19 给予适当敲击刺激输出

```

case 0x5c: printf("single click of nz; 0x39: 0x2x\n\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x54: printf("single click of pz; 0x39: 0x2x\n\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x5a: printf("single click of ny; 0x39: 0x2x\n\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x52: printf("single click of py; 0x39: 0x2x\n\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x59: printf("single click of nx; 0x39: 0x2x\n\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x51: printf("single click of px; 0x39: 0x2x\n\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;

```

图 20 单击测试时中断触发分类

```

num= 290, x= 1, y= 1, z= 1
num= 297, x= -1, y= 1, z= -1
num= 298, x= -1, y= -1, z= 0
num= 299, x= 0, y= -1, z= -2
num= 300, x= 0, y= -1, z= -1
num= 301, x= -4, y= 1, z= 7
num= 302, x= -1, y= -1, z= -13
num= 303, x= 1, y= 1, z= 8
num= 304, x= -1, y= -2, z= -6
num= 305, x= -1, y= 0, z= 4
single click of nz; 0x39: 0x5c

```

(a)

```

num= 217, x= -1, y= 0, z= -3
num= 218, x= -1, y= -1, z= 0
num= 219, x= 0, y= 0, z= -1
num= 220, x= 0, y= -1, z= -1
num= 221, x= 0, y= 0, z= 0
num= 222, x= 0, y= -1, z= -1
num= 223, x= 0, y= 0, z= 15
num= 224, x= 2, y= -3, z= 0
num= 225, x= 0, y= -1, z= -2
num= 226, x= -2, y= -4, z= 4
single click of pz; 0x39: 0x54

```

(b)

```

num= 170, x= -3, y= 0, z= -1
num= 171, x= 2, y= -1, z= 1
num= 172, x= -1, y= -1, z= 0
num= 173, x= -1, y= -2, z= 0
num= 174, x= -1, y= -2, z= -1
num= 175, x= -1, y= 0, z= 0
num= 176, x= 1, y= 0, z= 0
num= 177, x= 1, y= -1, z= 0
num= 178, x= -18, y= 3, z= 8
num= 179, x= 4, y= -1, z= 5
num= 180, x= -4, y= 1, z= 2
single click of nx; 0x39: 0x59

```

(c)

```

num= 979, x= -1, y= 0, z= -2
num= 980, x= 0, y= 1, z= -3
num= 981, x= -1, y= -1, z= 0
num= 982, x= 0, y= 0, z= -2
num= 983, x= 1, y= 1, z= -1
num= 984, x= -1, y= -1, z= -4
num= 985, x= 0, y= 0, z= -2
num= 986, x= -2, y= 0, z= 6
num= 987, x= 10, y= -2, z= -5
num= 988, x= -2, y= 4, z= 5
num= 989, x= -1, y= 1, z= -2
single click of px; 0x39: 0x51

```

(d)



```
num= 310, x= 0, y= 0, z= 0
num= 311, x= 0, y= 0, z= -1
num= 312, x= -1, y= -1, z= 2
num= 313, x= -1, y= 0, z= 1
num= 314, x= 2, y= -7, z= 8
num= 315, x= -1, y= 3, z= 1
num= 316, x= -1, y= 5, z= 4
num= 317, x= 0, y= -5, z= -2
num= 318, x= -1, y= 6, z= 3
num= 319, x= -1, y= -10, z= -5
num= 320, x= -2, y= 6, z= 2
num= 321, x= 1, y= -6, z= -2
single click of ny: 0x39: 0x5a
```

(e)

```
num= 184, x= 0, y= -1, z= 4
num= 185, x= -1, y= 0, z= 0
num= 186, x= 0, y= -3, z= 1
num= 187, x= 0, y= 0, z= -3
num= 188, x= 0, y= -1, z= 0
num= 189, x= -1, y= 0, z= 1
num= 190, x= 0, y= -2, z= 1
num= 191, x= 1, y= 57, z= 0
num= 192, x= -1, y= -7, z= 3
num= 193, x= 2, y= 13, z= 1
single click of py: 0x39: 0x52
```

(f)

图 21 6D 上的单击中断触发情况

```
num= 213, x= -1, y= 1, z= 0
num= 214, x= 0, y= 1, z= -3
num= 215, x= -2, y= 2, z= 2
num= 216, x= -1, y= 2, z= 0
num= 217, x= -2, y= 0, z= -1
num= 218, x= -1, y= 0, z= 1
num= 219, x= 0, y= 0, z= -1
num= 220, x= -1, y= 1, z= 0
num= 221, x= -10, y= -23, z= -1
num= 222, x= -2, y= -3, z= -33
num= 223, x= -4, y= 1, z= 11
single click of ny: 0x39: 0x5a
```

```
num= 124, x= 1, y= -3, z= 0
num= 125, x= 1, y= 2, z= 3
num= 126, x= 0, y= -2, z= 2
num= 127, x= 1, y= 3, z= 0
num= 128, x= 0, y= -2, z= 1
num= 129, x= 0, y= -1, z= 0
num= 130, x= 0, y= 1, z= 1
num= 131, x= -1, y= -2, z= 3
num= 132, x= -27, y= 40, z= 3
num= 133, x= -1, y= -6, z= 2
num= 134, x= -3, y= 7, z= 9
single click of py: 0x39: 0x52
```

图 22 单击中断触发事件

附加说明，三轴输出数据大小由手动敲击力度决定，测试发现，轻敲电路板点击测试效果更佳明显。且打开高精度模式时，TIME_LIMIT 寄存器可由原来的 0x08 改为 0x04；且 CLICK_THS 的阈值设置可为 0x04。

7.5 双击识别举例

双击识别的寄存器配置与单击基本一致，主要是增加了几个设置关于时间延迟窗口的设置寄存器配置，具体设置要求如下，相关寄存器设置情况如表 21。

- 1), 设置 ODR 为 25Hz，并使能 XYZ 轴，设置 0x20 寄存器为 0x37；
- 2), 打开高通滤波模式，并将该功能作用于 CLICK 功能，设置滤波截止频率；
- 3), 设置数据更新要求、并设置量程为±2G，不打开高精度模式；
- 4), 设置 XYZ 轴单击中断功能使能，设置寄存器 0x38 寄存器为 0x2a；
- 5), 设置 CLICK 的阈值为 0x06，即设置 0x3a 寄存器；
- 6), 设置时间限制窗口的时间为 8 个单位的 ODR 时间，设置 0x3b 寄存器为 0x08；
- 7), 中断持续时间由 0x3c 寄存器决定，设置持续时间为 2 个单位的 ODR 时间。

8), TIME_WINDOW 寄存器(0x3d)设置为 0x1f。设置延时窗口的时间为 25 个单位的 ODR 时间，约为 1s 的时间，该参数可视具体需求设置，再次仅为测试较长时间延时下的双击功能。



表 21 双击模式寄存器设置情况

序号/名称	1	2	3	4	5	6	7	TIME_WINDOW
寄存器	0x20	0x21	0x23	0x38	0x3a	0x3b	0x3c	0x3d
值 (value)	0x37	0xbc	0x80	0x2a	0x06	0x08	0x02	0x19

设置完成后,即可读取三轴转换完成的输出数据及对应的单击中断寄存器值;双击测试加速度计六个基本方向时,串口输出的判别情况如图 23;串口输出信号如图 24 的 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)。在触发过程中,会出现不只是一个轴满足双击触发条件,加速度计会选择最合适的一组作为双击中断触发输出,其测试情况如图 25。

```
case 0x7c: printf("double click of nz; 0x39: 0x%2x\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x74: printf("double click of pz; 0x39: 0x%2x\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x7a: printf("double click of ny; 0x39: 0x%2x\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x72: printf("double click of py; 0x39: 0x%2x\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x79: printf("double click of nx; 0x39: 0x%2x\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
case 0x71: printf("double click of px; 0x39: 0x%2x\n", (unsigned int)(unsigned char)templ);break;
```

图 23 双击测试时中断触发分类

```
num= 408, x= 0, y= 0, z= 1
num= 409, x= 0, y= 0, z= 1
num= 410, x= 1, y= 0, z= -5
num= 411, x= -1, y= 1, z= 9
num= 412, x= 0, y= -1, z= -4
num= 413, x= -1, y= -1, z= 6
num= 414, x= 1, y= -2, z= -4
num= 415, x= 0, y= 0, z= 4
num= 416, x= 0, y= -1, z= -1
num= 417, x= 0, y= -1, z= 2
num= 418, x= 0, y= 0, z= 1
num= 419, x= 0, y= -1, z= 1
num= 420, x= -1, y= -1, z= 0
num= 421, x= 0, y= -1, z= 1
num= 422, x= -1, y= 0, z= 0
num= 423, x= 0, y= 0, z= 1
num= 424, x= 0, y= -1, z= 0
num= 425, x= -1, y= 0, z= 0
num= 426, x= 0, y= -1, z= 0
num= 427, x= 0, y= 0, z= 1
num= 428, x= -1, y= -2, z= 1
num= 429, x= 0, y= 0, z= 2
num= 430, x= -1, y= -1, z= 0
num= 431, x= -1, y= -1, z= 1
num= 432, x= -1, y= -1, z= -2
num= 433, x= 0, y= -1, z= -1
num= 434, x= 0, y= -1, z= 0
num= 435, x= -1, y= -1, z= 0
num= 436, x= 3, y= -4, z= 24
num= 437, x= 2, y= -1, z= -22
num= 438, x= -2, y= 3, z= 15
num= 439, x= -1, y= -1, z= -11
num= 440, x= -1, y= 0, z= 4
num= 441, x= 0, y= -1, z= -3
num= 442, x= -1, y= 0, z= 2
double click of pz; 0x39: 0x74
```

(a)

```
num= 197, x= -1, y= 0, z= 1
num= 198, x= 0, y= 0, z= -1
num= 199, x= -1, y= 0, z= -1
num= 200, x= 0, y= -1, z= -1
num= 201, x= 1, y= -1, z= -1
num= 202, x= -1, y= 1, z= 0
num= 203, x= -1, y= 1, z= -1
num= 204, x= -1, y= -1, z= -1
num= 205, x= 0, y= -1, z= 0
num= 206, x= -1, y= 0, z= 1
num= 207, x= -1, y= -1, z= 0
num= 208, x= -1, y= -2, z= -2
num= 209, x= -1, y= -2, z= 1
num= 210, x= 2, y= 0, z= -8
num= 211, x= -1, y= -1, z= 2
num= 212, x= -1, y= -1, z= -6
num= 213, x= -1, y= -1, z= 0
num= 214, x= -1, y= -1, z= 2
num= 215, x= -1, y= -1, z= -1
num= 216, x= -1, y= 0, z= 2
num= 217, x= -1, y= 0, z= -1
num= 218, x= -1, y= 0, z= 1
num= 219, x= -1, y= 0, z= 1
num= 220, x= 0, y= -1, z= 0
num= 221, x= -1, y= -1, z= -1
num= 222, x= 0, y= 0, z= 1
num= 223, x= 0, y= -1, z= -1
num= 224, x= -1, y= 0, z= -1
num= 225, x= 0, y= 0, z= -9
num= 226, x= 2, y= -5, z= -20
num= 227, x= -3, y= 1, z= 17
num= 228, x= 1, y= -1, z= -11
num= 229, x= -2, y= 0, z= -1
num= 230, x= 0, y= 0, z= 3
num= 231, x= -1, y= 0, z= -1
double click of nz; 0x39: 0x7c
```

(b)



```
num= 416, x= 0, y= -1, z= -1
num= 417, x= -1, y= 0, z= 1
num= 418, x= -1, y= 0, z= -1
num= 419, x= -2, y= 1, z= 0
num= 420, x= 0, y= -1, z= 1
num= 421, x= 0, y= 0, z= 1
num= 422, x= 0, y= 0, z= -1
num= 423, x= -1, y= 0, z= -1
num= 424, x= 1, y= 4, z= 2
num= 425, x= -6, y= 22, z= -15
num= 426, x= -10, y= -25, z= -12
num= 427, x= 17, y= 14, z= 12
num= 428, x= -5, y= -6, z= -12
num= 429, x= -3, y= 1, z= 12
num= 430, x= 0, y= -4, z= -4
num= 431, x= 4, y= 1, z= 2
num= 432, x= -1, y= -1, z= -1
num= 433, x= 0, y= 1, z= -1
num= 434, x= 0, y= 1, z= -1
num= 435, x= 0, y= 0, z= -2
num= 436, x= -1, y= 0, z= 2
num= 437, x= -1, y= -1, z= -2
num= 438, x= -1, y= 1, z= 0
num= 439, x= -1, y= -1, z= -2
num= 440, x= -1, y= 0, z= 0
num= 441, x= -1, y= -1, z= -2
num= 442, x= 0, y= -1, z= -1
num= 443, x= -1, y= 0, z= -2
num= 444, x= 0, y= 0, z= 1
num= 445, x= 1, y= 0, z= -1
num= 446, x= 5, y= 12, z= 4
num= 447, x= 2, y= -1, z= -8
num= 448, x= 2, y= 2, z= 10
double click of py: 0x39: 0x72
```

(c)

```
num= 308, x= 0, y= -1, z= 2
num= 309, x= 0, y= 0, z= -1
num= 310, x= -2, y= -1, z= -1
num= 311, x= -1, y= -1, z= -1
num= 312, x= -1, y= -2, z= -2
num= 313, x= 0, y= 0, z= -1
num= 314, x= 0, y= -1, z= 1
num= 315, x= 0, y= 0, z= 1
num= 316, x= 0, y= 0, z= 0
num= 317, x= 3, y= -29, z= -3
num= 318, x= 3, y= 7, z= 6
num= 319, x= 8, y= 4, z= -20
num= 320, x= 14, y= -1, z= -3
num= 321, x= -8, y= 1, z= 3
num= 322, x= -2, y= -1, z= -5
num= 323, x= 0, y= 3, z= 6
num= 324, x= -3, y= -2, z= -7
num= 325, x= -1, y= 0, z= 6
num= 326, x= -1, y= -1, z= -5
num= 327, x= -2, y= 1, z= 2
num= 328, x= -1, y= -1, z= 0
num= 329, x= 0, y= -1, z= -1
num= 330, x= 0, y= 0, z= 1
num= 331, x= 0, y= -1, z= 1
num= 332, x= -1, y= 1, z= 0
num= 333, x= 1, y= -1, z= -1
num= 334, x= -1, y= 0, z= 1
num= 335, x= 0, y= 0, z= 0
num= 336, x= -1, y= -1, z= 1
num= 337, x= 0, y= 0, z= -3
num= 338, x= 1, y= -36, z= 5
num= 339, x= 9, y= 4, z= -7
num= 340, x= 6, y= 3, z= 0
double click of ny: 0x39: 0x7a
```

(d)

```
num= 251, x= 0, y= -1, z= -1
num= 252, x= -1, y= 1, z= -2
num= 253, x= -1, y= 0, z= -2
num= 254, x= 0, y= 1, z= 0
num= 255, x= -1, y= -1, z= -3
num= 256, x= -1, y= -1, z= 0
num= 257, x= 0, y= 1, z= -2
num= 258, x= -1, y= 0, z= -1
num= 259, x= 1, y= -1, z= -2
num= 260, x= -49, y= -3, z= -2
num= 261, x= 8, y= 5, z= 1
num= 262, x= -14, y= 10, z= -5
num= 263, x= 6, y= -12, z= -2
num= 264, x= -12, y= 2, z= -3
num= 265, x= 7, y= -1, z= -1
num= 266, x= -4, y= 0, z= -3
num= 267, x= 4, y= -1, z= -2
num= 268, x= -2, y= -2, z= 0
num= 269, x= 1, y= -1, z= 1
num= 270, x= -1, y= 0, z= 1
num= 271, x= -1, y= 0, z= -1
num= 272, x= 1, y= 0, z= 1
num= 273, x= 0, y= 0, z= 1
num= 274, x= 0, y= 0, z= 1
num= 275, x= -1, y= 0, z= 2
num= 276, x= 2, y= 1, z= 1
num= 277, x= 0, y= 0, z= 1
num= 278, x= 0, y= 0, z= 1
num= 279, x= 0, y= 0, z= -1
num= 280, x= -2, y= 0, z= 2
num= 281, x= 27, y= -1, z= 3
num= 282, x= -5, y= 0, z= 3
num= 283, x= 0, y= -5, z= -1
double click of px: 0x39: 0x71
```

(e)

```
num= 969, x= 0, y= 0, z= 1
num= 970, x= 0, y= -1, z= 0
num= 971, x= 0, y= -1, z= 0
num= 972, x= 0, y= -1, z= 2
num= 973, x= 34, y= 3, z= -1
num= 974, x= -8, y= -2, z= -2
num= 975, x= 3, y= -3, z= 5
num= 976, x= 3, y= 3, z= -5
num= 977, x= -7, y= -1, z= 3
num= 978, x= 3, y= -1, z= 2
num= 979, x= -4, y= 0, z= 0
num= 980, x= 2, y= 0, z= 0
num= 981, x= -3, y= -3, z= -1
num= 982, x= 1, y= -1, z= 1
num= 983, x= -2, y= 0, z= -1
num= 984, x= 0, y= -1, z= -2
num= 985, x= -1, y= 0, z= 1
num= 986, x= 0, y= 0, z= -1
num= 987, x= 0, y= -1, z= 0
num= 988, x= 0, y= -1, z= -1
num= 989, x= -1, y= 0, z= 2
num= 990, x= -1, y= -1, z= 1
num= 991, x= -1, y= 0, z= -1
num= 992, x= 0, y= 0, z= 0
num= 993, x= -1, y= -2, z= -2
num= 994, x= 1, y= -1, z= -1
num= 995, x= -1, y= 0, z= 0
num= 996, x= -1, y= -1, z= 0
num= 997, x= -1, y= -1, z= 0
num= 998, x= 25, y= 4, z= -2
num= 999, x= -13, y= -2, z= -7
num= 1000, x= 3, y= -1, z= 2
num= 1001, x= 1, y= 3, z= -6
double click of px: 0x39: 0x71
```

(f)

图 24 6D 双击中断响应测试情况



图 25 双击中断响应

7.6 自由落体识别

测试连接与点击测试一致，测试时将图 7.1 中的绿色电路板拿起并以一定的角度进行自由落体。关于自由落体测试的寄存器的配置及说明如下，相关寄存器设置情况如表 22。

- 1), 设置 ODR 为 25Hz, 并使能 XYZ 轴, 设置 0x20 寄存器为 0x57;
- 2), 设置不开通高通滤波模式;
- 3), 设置中断 1 不输出到中断引脚, CTRL_REG3(22h)设置为 0x00;
- 4), 设置数据更新要求 ODR=100Hz、并设置量程为±2G, 不打开高精度模式;
- 5), 设置中断 1 的请求可触发, 即设置寄存器 0x24 为 0x08, 如此设置, 后续可读取寄存器 INT1_SRC 从而判断中断是否触发, 测试时读取该寄存器值判断自由落体时间是否发生, 触发时该寄存器的值为 0x55。
- 6), 设置中断配置寄存器 INT1_CFG, 使得 XYZ 轴的低事件同时触发 (“与”组合), 此时设置寄存器 0x30 为 0x95;
- 7), 设置 XYZ 轴自由落体的低事件触发阈值为 0x1F, 即寄存器 0x32 设置为 0x1F;
- 8), 设置中断 1 持续时间为 5 个单位的 ODR 时间, 该持续时间与单双击测试类似, 设置的好坏可避免漏读或多读情况发生, 设置寄存器 0x33 为 0x05。

表 22 自由落体监测时的寄存器设置

1	2	3	4	5	6	7	8
0x20	0x21	0x22	0x23	0x24	0x30	0x32	0x33
0x57	0x00	0x00	0x00	0x08	0x95	0x1F	0x05



测试情况如图 26 的(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)，其中(g)中两张图为选择了两个任意角度进行自由落体测试。

```
x: -7      y: 0      z: 45
x: -15     y: -3     z: 46
x: -15     y: -4     z: 49
x: -10     y: 1      z: 46
x: -12     y: 1      z: 45
x: -11     y: 1      z: 43
x: -8      y: 2      z: 42
x: -10     y: 0      z: 42
x: -10     y: 2      z: 42
x: -8      y: 3      z: 38
x: -7      y: 2      z: 38
x: -7      y: -1     z: 44
x: -7      y: 1      z: 41
x: -7      y: 2      z: 40
x: -7      y: 3      z: 39
x: -8      y: 0      z: 38
x: -7      y: -1     z: 41
x: -6      y: 2      z: 39
x: -8      y: 1      z: 40
x: -8      y: 2      z: 39
x: -6      y: 2      z: 38
x: -6      y: 3      z: 41
x: -6      y: 3      z: 40
x: -5      y: 5      z: 37
x: -2      y: 9      z: 39
x: -3      y: 5      z: 33
x: 8       y: -5     z: 0
x: 0       y: -1     z: -14
x: -10     y: 4      z: -25
x: -35     y: 93     z: 26
x: -9      y: -67    z: 81
```

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE

(a) Z+

```
x: -6      y: -10     z: -80
x: -7      y: -12     z: -83
x: -7      y: -12     z: -83
x: -5      y: -12     z: -79
x: -6      y: -9      z: -75
x: -5      y: -8      z: -76
x: -7      y: -11     z: -75
x: -6      y: -9      z: -75
x: -6      y: -10     z: -73
x: -6      y: -10     z: -75
x: -6      y: -11     z: -76
x: -4      y: -9      z: -78
x: -4      y: -10     z: -77
x: -2      y: -11     z: -81
x: -2      y: -9      z: -79
x: -3      y: -8      z: -81
x: -3      y: -10     z: -82
x: -2      y: -9      z: -79
x: -2      y: -7      z: -78
x: -5      y: -7      z: -76
x: -6      y: -10     z: -74
x: -2      y: -2      z: -67
x: -1      y: -10     z: -22
x: -1      y: -2      z: -20
x: 2       y: -1      z: -24
x: 6       y: -5      z: -25
```

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE

(b) Z-



```
x: -3 y: 61 z: -26
x: -4 y: 62 z: -26
x: -4 y: 62 z: -25
x: -3 y: 64 z: -25
x: -2 y: 60 z: -25
x: -3 y: 62 z: -27
x: -2 y: 60 z: -23
x: -1 y: 61 z: -25
x: -1 y: 61 z: -24
x: 0 y: 60 z: -27
x: -2 y: 61 z: -25
x: -2 y: 64 z: -26
x: -3 y: 62 z: -26
x: -2 y: 62 z: -26
x: -3 y: 62 z: -24
x: -3 y: 60 z: -24
x: 0 y: 61 z: -24
x: 0 y: 61 z: -26
x: -1 y: 61 z: -24
x: -1 y: 60 z: -23
x: 2 y: 61 z: -24
x: 3 y: 62 z: -24
x: 2 y: 65 z: -26
x: -2 y: 60 z: -23
x: -1 y: 27 z: -22
x: 0 y: 22 z: -30
x: 15 y: 23 z: -31
x: 7 y: 20 z: -34
x: 2 y: 12 z: -31

temp value:0x65 INT1_SRC value:0x95
```

(c) Y+

```
x: -2 y: 61 z: -24
x: -2 y: 63 z: -22
x: -3 y: 60 z: -22
x: -5 y: 63 z: -23
x: -3 y: 62 z: -23
x: -1 y: 63 z: -21
x: -2 y: 63 z: -21
x: -4 y: 63 z: -24
x: -3 y: 61 z: -23
x: -2 y: 62 z: -21
x: -3 y: 62 z: -22
x: -3 y: 64 z: -20
x: -3 y: 63 z: -23
x: -3 y: 63 z: -21
x: -3 y: 63 z: -21
x: -3 y: 63 z: -22
x: -1 y: 61 z: -22
x: 0 y: 61 z: -20
x: -1 y: 62 z: -20
x: -1 y: 62 z: -19
x: -1 y: 58 z: -17
x: -1 y: 27 z: -20
x: -5 y: 18 z: -26
x: 5 y: 24 z: -32
x: 5 y: 17 z: -29
x: 1 y: 8 z: -28

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE
```

(d) Y-

```
x: 61 y: 6 z: -22
x: 60 y: 8 z: -24
x: 59 y: 9 z: -25
x: 59 y: 8 z: -24
x: 61 y: 7 z: -24
x: 62 y: 9 z: -22
x: 62 y: 9 z: -24
x: 62 y: 9 z: -22
x: 61 y: 10 z: -23
x: 63 y: 9 z: -22
x: 62 y: 7 z: -20
x: 63 y: 7 z: -21
x: 63 y: 8 z: -23
x: 62 y: 7 z: -22
x: 61 y: 7 z: -23
x: 62 y: 4 z: -20
x: 60 y: 4 z: -21
x: 61 y: 5 z: -21
x: 62 y: 2 z: -18
x: 52 y: 2 z: -16
x: 37 y: 13 z: -17
x: 28 y: 20 z: -54
x: 14 y: 4 z: -26
x: 10 y: -3 z: -27
x: 11 y: -6 z: -23
x: 23 y: 32 z: 12

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE
```

(e) X+



```
x: -63 y: -5 z: -21
x: -63 y: -3 z: -21
x: -61 y: -3 z: -21
x: -61 y: -4 z: -20
x: -62 y: -6 z: -22
x: -62 y: -6 z: -21
x: -63 y: -4 z: -22
x: -62 y: -4 z: -22
x: -62 y: -5 z: -20
x: -62 y: -6 z: -22
x: -63 y: -5 z: -23
x: -61 y: -5 z: -21
x: -61 y: -3 z: -19
x: -63 y: -1 z: -18
x: -63 y: -1 z: -19
x: -62 y: -2 z: -19
x: -62 y: -3 z: -20
x: -63 y: -3 z: -21
x: -64 y: -3 z: -19
x: -64 y: 0 z: -21
x: -62 y: 1 z: -19
x: -31 y: 2 z: -21
x: 0 y: -3 z: -22
x: -4 y: -2 z: -22
x: -8 y: 4 z: -24
x: -14 y: 3 z: -24
```

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE

(f) X-

```
x: -46 y: -21 z: -56
x: -45 y: -22 z: -55
x: -47 y: -20 z: -56
x: -47 y: -21 z: -57
x: -49 y: -20 z: -57
x: -48 y: -20 z: -57
x: -47 y: -20 z: -57
x: -47 y: -20 z: -56
x: -48 y: -21 z: -57
x: -48 y: -22 z: -57
x: -46 y: -20 z: -57
x: -46 y: -21 z: -56
x: -45 y: -20 z: -56
x: -46 y: -22 z: -58
x: -46 y: -21 z: -55
x: -46 y: -19 z: -56
x: -45 y: -20 z: -57
x: -45 y: -19 z: -58
x: -47 y: -20 z: -56
x: -47 y: -20 z: -57
x: -45 y: -20 z: -57
x: -47 y: -20 z: -58
x: -46 y: -20 z: -57
x: -46 y: -19 z: -57
x: -45 y: -18 z: -57
x: -48 y: -14 z: -56
x: -40 y: -13 z: -40
x: -3 y: 3 z: -25
x: -5 y: 4 z: -27
x: -9 y: 5 z: -30
x: -13 y: 4 z: -27
x: -26 y: -11 z: -20
x: -45 y: -31 z: -25
```

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE

```
x: 41 y: 22 z: 26
x: 38 y: 30 z: 20
x: 43 y: 31 z: -8
x: 37 y: 5 z: 41
x: 48 y: 20 z: 35
x: 44 y: 20 z: 35
x: 29 y: 26 z: 25
x: 47 y: 42 z: 33
x: 34 y: 35 z: 31
x: 37 y: 29 z: 30
x: 18 y: 23 z: 28
x: 4 y: 33 z: 19
x: 17 y: 36 z: 23
x: 27 y: 31 z: 25
x: 18 y: 32 z: 24
x: 25 y: 46 z: 31
x: 26 y: 34 z: 33
x: 21 y: 22 z: 32
x: 36 y: 28 z: 37
x: 28 y: 23 z: 32
x: 30 y: 34 z: 52
x: 34 y: 18 z: 37
x: 14 y: 37 z: 37
x: 7 y: 33 z: 27
x: -8 y: 29 z: 34
x: -1 y: 36 z: 12
x: 2 y: 35 z: 33
x: 19 y: 15 z: 40
x: -9 y: 13 z: 29
x: -9 y: 15 z: 12
x: -19 y: 27 z: 22
x: -23 y: 25 z: 32
```

FREE-FALL EVENT WAS HAPPENED AT HERE

(g) 其他情况

由双击测试情况可见，通过相关寄存器的配置，本加速度计可很好地监测设备目前所发生的动作情况。

8. 版本历史

日期	修改人	版本号	修改情况
2015-2	丁宁	1	Initial release
2016-4	周民	2	Modify1