
基于LSM303AGR的超紧凑高性能电子罗盘模块

引言

本文档旨在提供ST eCompass六轴惯性传感器模块相关的使用信息和应用提示。

LSM303AGR是系统级封装的3D数字磁力计和3D数字加速度计，具有数字I²C和3线SPI接口标准输出，在组合高分辨率模式下功耗250 μ A，在组合低功耗模式下功耗不超过60 μ A。由于磁力计和加速度计均具有超低噪声性能，始终具有低功耗特性，并结合了高传感精度，因此能够为客户提供最佳运动体验。器件具有超低功耗工作模式，可实现高级节能、智能睡眠唤醒以及恢复睡眠功能。

该器件的磁场动态范围高达 ± 50 高斯，其用户可选择的满量程加速度范围为 $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ 。

可以对LSM303AGR进行配置，使其产生用于磁场检测的中断信号，并自动补偿由较高应用层产生的硬磁偏移。它可配置为通过检测独立的惯性唤醒/自由落体事件以及通过器件自身的位置生成中断信号。中断发生器的阈值和时序可由终端用户动态设定。也可通过可自动编程的睡眠唤醒和恢复睡眠功能提高节能效率。

LSM303AGR集成了32级的先进先出（FIFO）缓冲器，允许用户存储加速度计数据，可减少主机处理器的干预。

LSM303AGR采用纤薄的小型塑料焊盘栅格阵列封装（LGA），可确保在更大的温度范围（ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）内正常工作。

SMD封装的超小尺寸和重量使其成为手持便携式应用的理想选择，如智能手机、物联网（IoT）连接设备，穿戴，以及需要减小封装尺寸和重量的其他应用。

目录

1	引脚说明	7
2	寄存器	9
3	磁力计	12
3.1	工作模式	12
3.1.1	空闲模式	13
3.1.2	高分辨率模式	13
3.1.3	低功耗模式	13
3.1.4	单次测量模式	13
3.2	磁力计低通滤波器	14
3.3	读取输出数据	14
3.3.1	启动序列	14
3.3.2	使用状态寄存器	15
3.3.3	使用数据准备就绪信号	15
3.3.4	使用块数据(BDU)功能	15
3.3.5	理解输出数据	16
	输出数据示例	16
3.4	磁力计偏移消除	17
3.5	磁力计硬磁补偿	18
3.6	中断产生	18
3.6.1	中断引脚配置	19
3.6.2	事件状态	19
3.6.3	阈值中断	19
3.7	磁力计自检	21
4	加速度计	23
4.1	工作模式	23
4.1.1	下电模式	24
4.1.2	高分辨率模式	24
4.1.3	正常模式	24
4.1.4	低功耗模式	25
4.1.5	切换模式	25
4.2	启动序列	25

4.2.1	读取加速度数据	26
	使用状态寄存器	26
	使用数据就绪(DRY)信号	26
	使用块数据更新 (block data update, BDU) 功能	27
4.2.2	理解加速度数据	27
	数据对齐	27
	大小端序选择	27
	加速度数据示例	27
4.3	高通滤波器	28
4.3.1	滤波器配置	29
	正常模式	29
	参考模式	30
	自动复位	30
4.4	中断产生	31
4.4.1	中断引脚配置	31
4.5	惯性中断	32
4.5.1	持续时间	33
4.5.2	阈值	33
4.5.3	自由落体和唤醒中断	34
	惯性唤醒	35
	不使用高通滤波器	36
	使用高通滤波器	37
4.5.4	自由落体检测	38
4.6	6D/4D方向探测	39
4.6.1	6D方向探测	39
4.6.2	4D方向	41
4.7	单击和双击识别	41
4.7.1	单击	41
4.7.2	双击	42
4.7.3	寄存器说明	44
	CLICK_CFG_A (38h)	44
	CLICK_SRC_A (39h)	45
	CLICK_THS_A (3Ah)	45
	TIME_LIMIT_A (3Bh)	46
	TIME_LATENCY_A (3Ch)	46
	TIME_WINDOW_A (3Dh)	46
	CTRL_REG3_A [中断CTRL寄存器] (22h)	47
4.7.4	示例1	48
	调整TAP_TimeLimit	48

	调整TAP_Latency.....	49
	调整TAP_Window.....	50
4.8	先进先出（FIFO）缓冲器.....	51
4.8.1	FIFO说明.....	51
4.8.2	FIFO寄存器.....	52
	控制寄存器5（0x24）.....	52
	FIFO控制寄存器（0x2E）.....	53
	FIFO状态寄存器（0x2F）.....	54
4.8.3	FIFO模式.....	55
	Bypass模式.....	55
	FIFO模式.....	55
	Stream模式.....	56
	Stream-FIFO模式.....	59
4.8.4	水位标志.....	60
4.8.5	从FIFO中读取数据.....	61
4.9	温度传感器.....	62
4.10	加速度计自检.....	62
5	版本历史.....	64



表格索引

表 1.	引脚说明	8
表 2.	寄存器	9
表 3.	工作模式的电流消耗	12
表 4.	工作模式	12
表 5.	单次测量模式（HR和LP模式）下的最大ODR	13
表 6.	低通滤波器、相对带宽和噪声	14
表 7.	CFG_REG_C_M寄存器	19
表 8.	INT_CTRL_REG_M寄存器	19
表 9.	工作模式选择	23
表 10.	数据速率配置	23
表 11.	工作模式的电流消耗	24
表 12.	操作模式转换的导通时间	25
表 13.	输出数据寄存器内容与加速度对比(FS = 2 g)	28
表 14.	高通滤波器模式配置	29
表 15.	低功耗模式 - 高通滤波器截止频率[Hz]	29
表 16.	参考模式LSB值	30
表 17.	CTRL_REG3_A寄存器	31
表 18.	CTRL_REG3说明	31
表 19.	CTRL_REG6寄存器	31
表 20.	CTRL_REG6寄存器	31
表 21.	中断模式配置	32
表 22.	正常模式下的持续时间LSB值	33
表 23.	阈值LSB值	33
表 24.	6D位置中的INT1_SRC_A寄存器	41
表 25.	CLICK_CFG_A寄存器	44
表 26.	CLICK_CFG_A说明	44
表 27.	真值表	44
表 28.	CLICK_SRC_A寄存器	45
表 29.	CLICK_SRC_A说明	45
表 30.	CLICK_THS_A寄存器	45
表 31.	CLICK_THS_A说明	45
表 32.	TIME_LIMIT_A寄存器	46
表 33.	TIME_LIMIT_A寄存器	46
表 34.	TIME_LATENCY_A寄存器	46
表 35.	TIME_LATENCY_A说明	46
表 36.	TIME_WINDOW_A寄存器	46
表 37.	TIME_LATENCY_A说明	46
表 38.	CTRL_REG3_A寄存器	47
表 39.	CTRL_REG3_A说明	47
表 40.	FIFO缓冲区填满示例（存储第51个采样集）	32
表 41.	FIFO溢出示例（存储第52个采样集同时丢弃第1个采样）	52
表 42.	CTRL_REG5_A中的FIFO使能位	52
表 43.	FIFO_CTRL_REG_A	53
表 44.	FIFO_SRC_REG_A	54
表 45.	FIFO_SRC_REG_A特性（假定FTH[4:0] = 15）	54
表 46.	CTRL_REG3_A (0x22)	54
表 47.	文档版本历史	64
表 48.	中文文档版本历史	64

图片目录

图 1.	引脚连接	7
图 2.	中断功能	20
图 3.	磁力计自检步骤	22
图 4.	数据准备就绪信号	26
图 5.	高通滤波器连接框图	28
图 6.	REFERENCE/DATACAPTURE_A读取	29
图 7.	参考模式	30
图 8.	自动复位	30
图 9.	中断信号和中断引脚	32
图 10.	自由落体、唤醒中断发生器	34
图 11.	自由落体和唤醒配置 - 高和低	35
图 12.	惯性唤醒中断	35
图 13.	自由落体中断	38
图 14.	ZH、ZL、YH、YL、XH和XL特性	39
图 15.	6D运动与6D位置对比	40
图 16.	6D识别位置	40
图 17.	使用非锁存中断的单击事件	42
图 18.	单击和双击识别	43
图 19.	双击识别	43
图 20.	短TimeLimit	48
图 21.	长TimeLimit	48
图 22.	短延迟	49
图 23.	长延迟	49
图 24.	短窗口	50
图 25.	长窗口	50
图 26.	FIFO_EN连接框图	53
图 27.	FIFO模式特性	56
图 28.	Stream模式快速读取特性	57
图 29.	Stream模式慢速读取特性	57
图 30.	Stream模式慢速读取（放大图）	58
图 31.	Stream-FIFO模式：中断未锁存	59
图 32.	Stream-FIFO模式：中断已锁存	60
图 33.	水位标志特性 - FTH[4:0] = 10	60
图 34.	FIFO读取 - FTH[4:0] = 10	61
图 35.	加速度计自检步骤	63

1 引脚说明

图1. 引脚连接

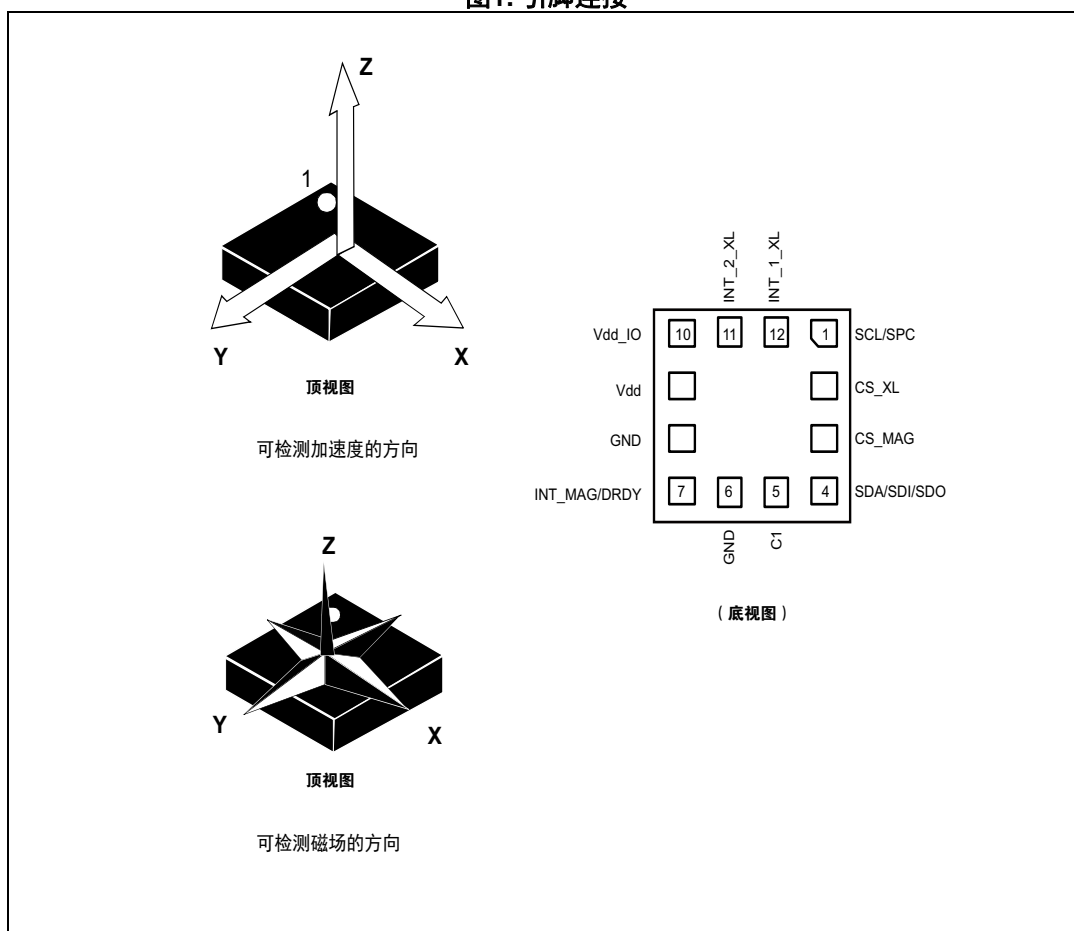


表1. 引脚说明

引脚#	名称	功能	引脚状态
1	SCL SPC	I ² C串行时钟 (serial clock, SCL) SPI串口时钟 (serial port clock, SPC)	默认值: 无上拉的输入
2	CS_XL	加速度计: SPI使能 I ² C/SPI模式选择 1: SPI空闲模式/ I ² C通信使能; 0: SPI通信模式/ I ² C禁用	默认值: 无上拉的输入
3	CS_MAG	磁力计: SPI使能 I ² C/SPI模式选择 1: SPI空闲模式/ I ² C通信使能; 0: SPI通信模式/ I ² C禁用	默认值: 无上拉的输入
4	SDA SDI SDO	I ² C串行数据 (serial data, SDA) SPI串行数据输入 (serial data input, SDI) 3线接口串行数据输出 (serial data output, SDO)	默认值: 无上拉的输入
5	c1	电容连接 (C1 = 220 nF)	
6	GND	0 V电源	
7	INT_MAG/DRDY	磁力计中断/数据准备就绪信号	高阻抗
8	GND	0 V电源	
9	Vdd	电源	
10	Vdd_IO	I/O引脚的供电	
11	INT_2_XL	加速度计中断2	输出强制接地
12	INT_1_XL	加速度计中断1	输出强制接地





2 寄存器

表2. 寄存器

寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
STATUS_REG_AUX_A	07h	-	TOR	-	-	-	TDA	-	-
RESERVED	08h-0Bh								
OUT_TEMP_L_A	0Ch	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUT_TEMP_H_A	0Dh	D15	D14	D13	D12	D11			
INT_COUNTER_REG_A	0Eh	IC7	IC6	IC5	IC4	IC3	IC2	IC1	IC0
WHO_AM_I_A	0Fh	0	0	1	1	0	0	1	1
TEMP_CFG_REG_A	1Fh	TEMP_EN1	TEMP_EN0	0	0	0	0	0	0
CTRL_REG1_A	20h	ODR3	ODR2	ODR1	ODR0	LPen	Zen	Yen	Xen
CTRL_REG2_A	21h	HPM1	HPM0	HPCF2	HPCF1	FDS	HPCLICK	HPIS2	HPIS1
CTRL_REG3_A	22h	I1_CLICK	I1_AOI1	I1_AOI2	I1_DRDY1	I1_DRDY2	I1_WTM	I1_OVERRUN	-
CTRL_REG4_A	23h	BDU	BLE	FS1	FS0	HR	ST1	ST0	SPI_ENABLE
CTRL_REG5_A	24h	BOOT	FIFO_EN	-	-	LIR_INT1	D4D_INT1	LIR_INT2	D4D_INT2
CTRL_REG6_A	25h	I2_CLICKen	I2_INT1	I2_INT2	BOOT_I2	P2_ACT	-	H_LACTIVE	-
REFERENCE /DATACAPTURE_A	26h	Ref7	Ref6	Ref5	Ref4	Ref3	Ref2	Ref1	Ref0
STATUS_REG_A	27h	ZYXOR	ZOR	YOR	XOR	ZYXDA	ZDA	YDA	XDA
OUT_X_L_A	28h	XD7	XD6	XD5	XD4	XD3	XD2	XD1	XD0
OUT_X_H_A	29h	XD15	XD14	XD13	XD12	XD11	XD10	XD9	XD8
OUT_Y_L_A	2Ah	YD7	YD6	YD5	YD4	YD3	YD2	YD1	YD0
OUT_Y_H_A	2Bh	YD15	YD14	YD13	YD12	YD11	YD10	YD9	YD8
OUT_Z_L_A	2Ch	ZD7	ZD6	ZD5	ZD4	ZD3	ZD2	ZD1	ZD0
OUT_Z_H_A	2Dh	ZD15	ZD14	ZD13	ZD12	ZD11	ZD10	ZD9	ZD8
FIFO_CTRL_REG_A	2E	FM1	FM0	TR	FTH4	FTH3	FTH2	FTH1	FTH0



表2. 寄存器 (续)

寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
FIFO_SRC_REG_A	2F	WTM	OVRN_FIFO	空	FSS4	FSS3	FSS2	FSS1	FSS0
INT1_CFG_A	30h	AOI	6D	ZHIE/ ZUPE	ZLIE/ ZDOWNE	YHIE/ YUPE	YLIE/ YDOWNE	XHIE/ XUPE	XLIE/ XDOWNE
INT1_SRC_A	31h	0	IA	ZH	ZL	YH	YL	XH	XL
INT1_THS_A	32h	0	THS6	THS5	THS4	THS3	THS2	THS1	THS0
INT1_DURATION_A	33h	0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
INT2_CFG_A	34h	AOI	6D	ZHIE	ZLIE	YHIE	YLIE	XHIE	XLIE
INT2_SRC_A	35h	0	IA	ZH	ZL	YH	YL	XH	XL
INT2_THS_A	36h	0	THS6	THS5	THS4	THS3	THS2	THS1	THS0
INT2_DURATION_A	37h	0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CLICK_CFG_A	38h	-	-	ZD	ZS	YD	YS	XD	XS
CLICK_SRC_A	39h	-	IA	Dclick	Sclick	符号	Z	Y	X
CLICK_THS_A	3Ah	-	Ths6	Ths5	Ths4	Ths3	Ths2	Ths1	Ths0
TIME_LIMIT_A	3Bh	-	TLI6	TLI5	TLI4	TLI3	TLI2	TLI1	TLI0
TIME_LATENCY_A	3Ch	TLA7	TLA6	TLA5	TLA4	TLA3	TLA2	TLA1	TLA0
TIME_WINDOW_A	3Dh	TW7	TW6	TW5	TW4	TW3	TW2	TW1	TW0
Act_THS_A	3Eh	-	Acth6	Acth5	Acth4	Acth3	Acth2	Acth1	Acth0
Act_DUR_A	3Fh	ActD7	ActD6	ActD5	ActD4	ActD3	ActD2	ActD1	ActD0
RESERVED	40h-44h								
OFFSET_X_REG_L_M	45h	Offset_X_7	Offset_X_6	Offset_X_5	Offset_X_4	Offset_X_3	Offset_X_2	Offset_X_1	Offset_X_0
OFFSET_X_REG_H_M	46h	Offset_X_15	Offset_X_14	Offset_X_13	Offset_X_12	Offset_X_11	Offset_X_10	Offset_X_9	Offset_X_8
OFFSET_Y_REG_L_M	47h	Offset_Y_7	Offset_Y_6	Offset_Y_5	Offset_Y_4	Offset_Y_3	Offset_Y_2	Offset_Y_1	Offset_Y_0
OFFSET_Y_REG_H_M	48h	Offset_Y_15	Offset_Y_14	Offset_Y_13	Offset_Y_12	Offset_Y_11	Offset_Y_10	Offset_Y_9	Offset_Y_8
OFFSET_Z_REG_L_M	49h	Offset_Z_7	Offset_Z_6	Offset_Z_5	Offset_Z_4	Offset_Z_3	Offset_Z_2	Offset_Z_1	Offset_Z_0
OFFSET_Z_REG_H_M	4Ah	Offset_Z_15	Offset_Z_14	Offset_Z_13	Offset_Z_12	Offset_Z_11	Offset_Z_10	Offset_Z_9	Offset_Z_8



表2. 寄存器 (续)

寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
WHO_AM_I_M	4Fh	0	1	0	0	0	0	0	0
CFG_REG_A_M	60h	COMP_TEMP_EN	REBOOT	SOFT_RST	LP	ODR1	ODR0	MD1	MD0
CFG_REG_B_M	61h	0	0	0	0	INT_on_DataOFF	Set_FREQ	OFF_CANC	LPF
CFG_REG_C_M	62h	0	INT_MAG_PIN	I2C_DIS	BDU	BLE	0	Self_test	INT_MAG
INT_CTRL_REG_M	63h	XIEN	YIEN	ZIEN	0	0	IEA	IEL	IEN
INT_SOURCE_REG_M	64h	P_TH_S_X	P_TH_S_Y	P_TH_S_Z	N_TH_S_X	N_TH_S_Y	N_TH_S_Z	MROI	INT
INT_THS_L_REG_M	65h	TH7	TH6	TH5	TH4	TH3	TH2	TH1	TH0
INT_THS_H_REG_M	66h	TH15	TH14	TH13	TH12	TH11	TH10	TH9	TH8
STATUS_REG_M	67h	Zyxor	zor	yor	xor	Zyxda	zda	yda	xda
OUTX_L_REG_M	68h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTX_H_REG_M	69h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTY_L_REG_M	6Ah	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTY_H_REG_M	6Bh	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTZ_L_REG_M	6Ch	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTZ_H_REG_M	6Dh	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8

3 磁力计

3.1 工作模式

磁力模块提供两种功耗模式：高分辨率（HR）模式和低功耗（LP）模式。

电源上电后，磁力计会自动配置为空闲模式。

使用CFG_REG_A_M寄存器的LP和MD位选择器件的功耗和工作模式。

下表总结了偏移消除禁用/使能时两种功耗模式的电流消耗。

表3. 工作模式的电流消耗

ODR (Hz)	电流消耗 (μA) (CFG_REG_A_M [LP] = 0) 高分辨率 CFG_REG_B_M [OFF_CANC] = 0	电流消耗 (μA) (CFG_REG_A_M [LP] = 1) 低功耗 CFG_REG_B_M [OFF_CANC] = 0	电流消耗 (μA) (CFG_REG_A_M [LP] = 0) 高分辨率 CFG_REG_B_M [OFF_CANC] = 1	电流消耗 (μA) (CFG_REG_A_M [LP] = 1) 低功耗 CFG_REG_B_M [OFF_CANC] = 1
10	100	25	120	50
20	200	50	235	100
50	475	125	575	235
100	950	250	1130	460

器件的工作模式可通过MD位来设置（参考下表）。在连续模式下，器件连续执行测量并将结果放入数据寄存器。如果选择了单次测量模式，器件将执行单次测量，将DRDY置为高电平并回到空闲模式。

表4. 工作模式

MD1	MD0	模式
0	0	Continue模式
0	1	单次模式
1	0	空闲模式
1	1	空闲模式

3.1.1 空闲模式

当磁力计处于空闲模式时，几乎所有的器件内部模块都会关闭，以最大限度地降低功耗。数字接口（I²C和SPI）仍然在工作，以便能够与器件进行通信。寄存器配置的内容会被保留，输出数据寄存器不再更新，可保持进入空闲模式前存储器中采样的最后数据。

3.1.2 高分辨率模式

在HR模式下，磁力计电路周期性地开启/关闭，其工作周期由ODR功能来由选择。数据中断生成激活。

3.1.3 低功耗模式

与高分辨率模式一样，在低功耗模式下，磁力计电路周期性地开启/关闭，其工作周期由ODR功能来由选择，并且数据中断生成激活。
二者的区别在于用来生成每个输出样本的样本数量不同，在低功耗模式下比在高分辨率模式中使用的样本数量少了四倍，从而确保了较低的功耗。

3.1.4 单次测量模式

LSM303AGR提供了高分辨率和低功耗模式下的单次测量模式。
通过在CFG_REG_A_M（60h）寄存器的MD[1:0]位写入01来使能单次测量模式。
在单次测量模式下，执行测量后，DRDY引脚置为高电平，输出寄存器中的数据可用，并通过将MD[1]位置为1自动将LSM303AGR配置为空闲模式。
单次测量与编程的ODR无关，而是取决于微控制器/应用处理器写入MD [1:0]位的频率。单次测量模式下可达到的最大ODR频率如下表所示。

表5. 单次测量模式（HR和LP模式）下的最大ODR

最大ODR	功耗模式（CFG_REG_A_M[LP]）
100 Hz	高分辨率（LP = “0”）
150 Hz	低功耗（LP = “1”）

在单次测量模式下，当ODR < 10 Hz时，使用以下公式
计算电流消耗：

$$(Current_consumption_10Hz - Current_consumption_in_power_down) / (10\ Hz / ODR) + Current_consumption_in_power_down$$

3.2 磁力计低通滤波器

使用数字低通滤波器降低噪声。滤波器可以通过设置CFG_REG_B_M寄存器中的LPF位来使能。下表所示为带宽和使用滤波器后的噪声。

表6. LPF、相对带宽和噪声

LPF	带宽 [Hz]	LP	噪声RMS [mG]
0	ODR / 2	0	4.5
1	ODR / 4	0	3
0	ODR / 2	1	9
1	ODR / 4	1	6

3.3 读取输出数据

3.3.1 启动序列

在器件上电阶段，磁力计默认配置为下电模式。
要启用磁力计并采集磁力数据，需要通过CFG_REG_A_M寄存器选择某一种工作模式。
可使用下列通用序列对磁力计进行配置：

- 1. 写入CFG_REG_A_M = 00h // Mag = 10 Hz（高分辨率和连续模式）
- 2. 写入CFG_REG_A_M = 01h // 磁力计数据准备就绪中断使能

在CFG_REG_A_M中写入01h而不是00h，这会使器件进入单次读取模式而不是连续模式。

3.3.2 使用状态寄存器

该器件具有一个STATUS_REG_M寄存器，应当对该寄存器进行轮询以检查一组新数据何时可用。当磁力计输出中有一组新的数据可用时，Zyxda位被置为1。

应当按照如下步骤进行读取：

1. 读取STATUS_REG_M
2. 如果Zyxda = 0，则进入1
3. 读取OUTX_L_REG_M
4. 读取OUTX_H_REG_M
5. 读取OUTY_L_REG_M
6. 读取OUTY_H_REG_M
7. 读取OUTZ_L_REG_M
8. 读取OUTZ_H_REG_M
9. 数据处理
10. 跳到步骤1

如果器件配置为单次测量模式而不是连续模式，那么执行一次后，程序将在步骤1停滞，因为器件执行单次测量，将DRDY位设置为高电平，并返回空闲模式。请注意，MD位会返回空闲模式位值。可以通过将MD位置为01h来触发另一次读取。

3.3.3 使用数据准备就绪信号

该器件可配置为具有一个硬件信号，以确定新的一组测量数据何时可以读取。

数据就绪信号由STATUS_REG_M寄存器的Zyxda位表示。通过将STATUS_REG_M寄存器的INT_MAG位置为1，可将信号驱动至INT_MAG/DRDY引脚。

当一组新数据生成并可读取时，数据准备就绪信号升高为1。当每个通道的高字节已被读取时（69h、6Bh、2Dh），信号复位。

3.3.4 使用块数据更新（block data update, BDU）功能

如果读取磁力计数据特别慢，并且不能（或者不需要）与STATUS_REG_M寄存器中的Zyxda事件位或驱动到INT/DRDY引脚的DRDY信号同步，那么强烈建议将CFG_REG_C_M寄存器中的BDU（块数据更新）位置为1。

此功能可以避免读取不同样本相关的值（输出数据的最高有效部分和最低有效部分）。特别是在BDU被激活的情况下，与每条通道相关联的数据寄存器始终会包含由器件生成的最新输出数据，但如果发起了对给定寄存器对（即OUTX_H_REG_M和OUTX_L_REG_M、OUTY_H_REG_M和OUTY_L_REG_M、OUTZ_H_REG_M和OUTZ_L_REG_M）的读取，读取数据的MSB和LSB部分之前，都会禁止刷新该寄存器对。

注: BDU只能确保LSB部分和MSB部分同一时刻被采样。例如, 如果读取速度非常慢, 则X和Y可在T1读取, Z在T2采样。

3.3.5 理解输出数据

测得的磁力数据被发送到OUTX_H_REG_M、OUTX_L_REG_M、OUTY_H_REG_M、OUTY_L_REG_M、OUTZ_H_REG_M和OUTZ_L_REG_M寄存器。这些寄存器分别容纳磁力信号在X、Y和Z轴上的最高有效部分和最低有效部分。

X、Y、Z通道的完整输出数据是由OUTX_H_REG_M & OUTX_L_REG_M、OUTY_H_REG_M&OUTY_L_REG_M、OUTZ_H_REG_M&OUTZ_L_REG_M共同提供的, 表示为二进制补码数。

磁力数据表示为16比特数字, 称为LSB。它必须乘以适当的灵敏度参数, $M_{So} = 1.5$, 以获得单位为mG的相应值。

输出数据示例

以下是一个简单的示例, 说明如何使用LSB数据并将其转换成mG。

从传感器获取原始数据:

OUTX_L_REG_M: 21h

OUTX_H_REG_M: 00h

OUTY_L_REG_M: 1Dh

OUTY_H_REG_M: FFh

OUTZ_L_REG_M: CBh

OUTZ_H_REG_M: FEh

将寄存器串联:

OUTX_H_REG_M & OUTX_L_REG_M: 0021h

OUTY_H_REG_M & OUTY_L_REG_M: FF1Dh

OUTZ_H和OUTZ_L: FECBh OUTZ_H_REG_M和OUTZ_L_REG_M

计算带符号的十进制值(二进制补码格式):

X: +33

Y: -227

Z: -309

应用灵敏度:

X: $+33 * 1.5 = +49.5 \text{ mG}$

Y: $-227 * 1.5 = -340.5 \text{ mG}$

Z: $-309 * 1.5 = -463.5 \text{ mG}$

3.4 磁力计偏移消除

偏移消除是在磁力传感器中执行置位和复位的结果。

偏移消除技术定义如下：

$$H_{\text{out}} = \frac{H_n - H_{n-1}}{2}$$

这里 H_n 和 H_{n-1} 是两个连续的磁场测量值，一个在置位脉冲之后，另一个在复位脉冲之后。

考虑磁力偏移（ H_{off} ），两个磁场测量值为：

- 置位： $H_n = H + H_{\text{off}}$
- 复位： $H_{n-1} = -H + H_{\text{off}}$

根据偏移消除技术来消除偏移：

$$H_{\text{out}} = \frac{H_n - H_{n-1}}{2} = \frac{2H + H_{\text{off}} + (-H_{\text{off}})}{2} = H$$

在器件中，通过将CFG_REG_B_M中的OFF_CANCEL位置为1使能偏移取消。如果禁用了偏移取消，仍将执行磁力传感器置位。可通过将CFG_REG_B_M中的Set_FREQ位置为0来配置置位脉冲频率。如果将Set_FREQ置为0，则置位脉冲每隔63个ODR释放一次，否则，如果将Set_FREQ置为1，则仅在下电后上电时释放置位脉冲。

如果用户执行单次读取，为了使能偏移消除，CFG_REG_B_M中的OFF_CANCEL位也必须置为1。使能此位后，脉冲极性将在单次读取和下一次读取之间发生反转。如果此功能使能，则用户必须使用以下公式手动消除偏移：

$$H_{\text{out}} = \frac{H_n + H_{n-1}}{2}$$

使用单次读取的偏移消除仅在读取时间接近时才有效，因此要确保偏移在两次连续读取之间不会漂移。

3.5 磁力计硬磁补偿

当磁性物体放置在磁力计附近时，会出现硬磁畸变，并在传感器输出中表现为永久偏置。硬磁校正包含了对来自硬磁畸变的磁力数据的补偿。

该操作定义如下：

$$H_{out} = H_{read} - H_{HI}$$

其中：

- H_{read} 为传感器读取的通用未补偿的磁场数据；
- H_{HI} 是硬磁畸变场；
- H_{out} 是补偿的磁数据。

硬磁畸变场的计算应由外部处理器执行。在完成硬磁畸变场的计算之后，可以补偿测得的磁数据。

该器件可以将硬磁数据存储于45h到4Ah的六个专用寄存器内。

每个寄存器都包含8位，因此，硬磁数据可以表示为16位二进制补码。

OFFSET_axis_REG_H_M寄存器包含硬磁数据的MSB，而OFFSET_axis_REG_L_M寄存器包含LSB。硬磁数据与磁输出数据具有相同的格式和权重。存储在专用寄存器中的硬磁值将自动从输出数据中减去。

3.6 中断生成

器件中断生成基于数据与可编程阈值之间的比较。为了生成中断，磁力计传感器必须处于活动工作模式（不是下电）。

要使能中断功能，必须将INT_CTRL_REG_M寄存器中的IEN位置为1。

用户可以选择要使能中断功能的轴。为此，需要正确设置INT_CTRL_REG_M中的XIEN、YENEN和ZIEN位。阈值可以通过设置INT_THS_L_REG_M和INT_THS_H_REG_M寄存器进行编程。阈值是绝对值，表示为15位无符号数。阈值具有与磁数据相同的灵敏度，并为三个轴的所有输出值所共用：它被视为绝对值，但在阈值任何一侧的磁场测量值均按正值或负值计算。

中断信号可独立地驱动至INT_MAG/DRDY引脚，或通过读取专用源寄存器位进行检查。

必须使用INT_CTRL_REG_M寄存器的IEA位来选择中断引脚极性。如果此位置为0（默认值），则中断引脚为低电平有效，并且当检测到相关中断条件时，位和引脚均从高电平变为低电平。否则，如果此位置为1（高电平有效），则中断引脚正常为低电平，并在达到中断条件时从低电平变为高电平。

INT_SOURCE_REG_M的IEL位可支持中断信号应用锁存模式。当IEL位置为1时，在断言中断引脚后，必须通过读取INT_SOURCE_REG_M才能将其复位。如果IEL位置为0，则当不再检测到中断条件时，中断信号自动复位。

3.6.1 中断引脚配置

该器件具有一个引脚，可激活引脚来生成数据准备就绪或中断信号。通过CFG_REG_C_M寄存器的指定位选择引脚功能。

表7. CFG_REG_C_M寄存器

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
0	INT_MAG_PIN	I2C_DIS	BDU	BLE	0	Self_test	INT_MAG

- INT_MAG_PIN：如使能，中断信号（INT_SOURCE_REG_M寄存器的INT位）被驱动至INT_MAG/DRDY引脚；
- INT_MAG：如使能，将磁力计DRDY引脚配置为数字输出。

中断控制寄存器用于使能和配置中断识别。

表8. INT_CTRL_REG_M寄存器

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
XIEN	YIEN	ZIEN	0	0	IEA	IEL	IEN

- XIEN：使能X轴的中断配置；
- YIEN：使能Y轴的中断配置；
- ZIEN：使能Z轴的中断配置；
- IEA：控制INT位的极性；
- IEL：控制INT位是锁存还是脉冲；
- IEN：使能中断生成

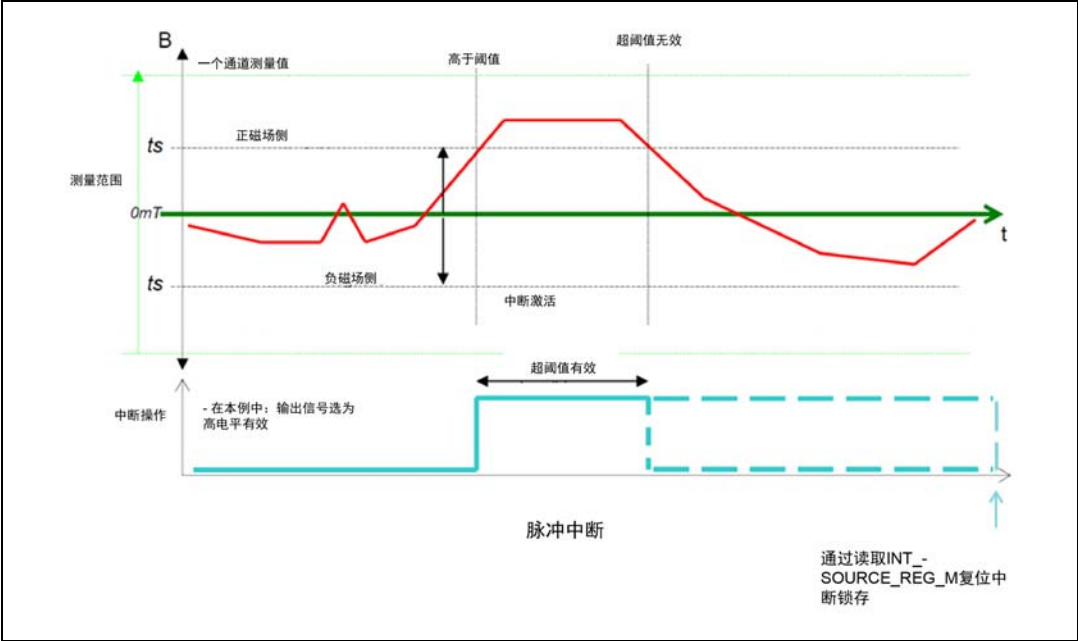
3.6.2 事件状态

如果多个中断信号发送到INT_MAG_PIN，则该引脚的逻辑电平位所选中断信号组合的‘或’。为了知道哪个事件生成了中断条件，应用应读取状态寄存器INT_SOURCE_REG_M（64h），这将导致事件被清除。

3.6.3 阈值中断

磁力计阈值中断可通过将IEN位置为1来使能，并使用XIEN、YIEN和ZIEN位使能指定轴上的识别功能。中断阈值可通过INT_THS_L_REG_M和INT_THS_H_REG_M寄存器进行编程。当磁数据超过正或负阈值时，会生成中断信号，并将关于中断类型的信息保存在INT_SOURCE_REG_M寄存器中。特别是当磁数据超过正阈值时，P_TH_S_axis位被置为1，而如果数据超过负阈值，则N_TH_S_axis位被置为1。如果磁数据处于正阈值和负阈值之间，则不会释放中断信号。

图2. 中断功能



通过将CFG_REG_C_M寄存器的相应位置为1，可将中断事件信号路由至INT_MAG/DRDY引脚；还可通过读取INT_SOURCE_REG_M寄存器的INT位对其进行检查。

如果锁存模式禁用（INT_CTRL_REG_M的IEL位置为0），则当检测不到超阈值条件时，中断信号会自动复位。如果锁存模式使能且中断信号被驱动至中断引脚，那么当发生超阈值事件且产生了中断引脚时，必须通过读取INT_SOURCE_REG_M寄存器来将其复位。

中断功能具有两种不同的方式：

- 典型：传感器读取的磁数据和可编程阈值之比；
- 高级：硬磁校正后的磁数据和可编程阈值之比。

这些方式可通过设置CFG_REG_B_M中的INT_on_DataOFF位进行配置。如果INT_on_DataOFF置为0，则选择典型方式，否则，如果置为1，则选择高级方式。

下面给出了阈值事件识别的基本软件程序。

1. 将00h写入CFG_REG_A_M // 开启磁力计
 // ODR = 10 Hz
2. 将40h写入CFG_REG_C_M // 中断驱动至INT_MAG/DRDY引脚
3. 将80h写入INT_THS_L_REG_M // 将阈值设置为等于128（以LSB表示）
4. 将E7h写入INT_CTRL_REG_M // 启用三个轴上的锁存高电平有效中断

示例代码中使用设置为192 mG（128 LSB * 1.5 mG / LSB）的阈值，并且事件由硬件通过INT_MAG/DRDY引脚进行通知。

3.7 磁力计自检

嵌入式自检功能可支持无需移动器件而对其功能进行检查。当磁力计自检使能时，电流会进入器件内部的线圈中。该电流会产生一个磁场，这将引起磁力计输出信号的变化。如果输出信号在幅度限制内变化，则传感器正常工作，接口芯片的参数在定义范围内。

当CFG_REG_C_M寄存器的Self_test位被禁用时，磁力计自检功能关闭；设置Self_test位将启用自检。

当磁力计自检功能激活时，传感器输出电平由作用在传感器上的磁场和施加电流所产生的信号的代数和给出。

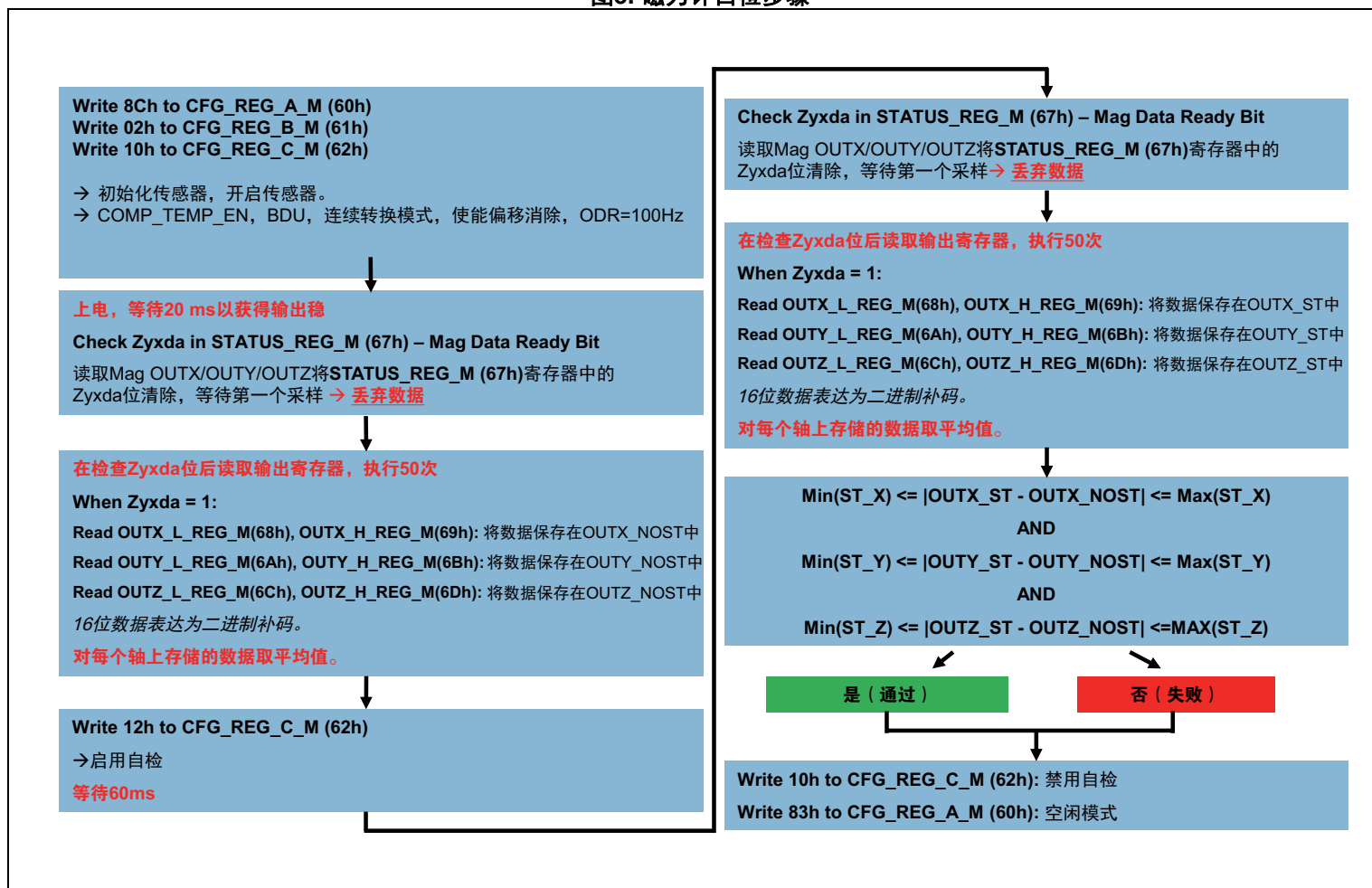
该过程包括：

1. 启用磁力计；
2. 启动自检之前，对五个采样取平均；
3. 启动自检之后，对五个采样取平均；
4. 计算每个轴的模差，并验证它是否落在给定范围内：数据表中给出了最小值和最大值。

完整的磁力计自检过程如[图 3](#)中所示。

注： *自检过程中保持器件静止。*

图3. 磁力计自检步骤



4 加速度计

4.1 工作模式

LSM303AGR提供三种不同的工作模式：高分辨率模式、正常模式和低功耗模式。

电源上电后，LSM303AGR执行一段5毫秒的启动程序来加载修整参数。启动完成后，器件会自动配置为下电模式。

参考LSM303AGR数据手册，CTRL_REG1_A的低功耗使能（LPen）位和CTRL_REG4_A的HR位用于选择工作模式（下电模式、正常模式和低功耗模式）和输出数据率（ODR[3:0]）（参见表 9和表 10）。

表9. 工作模式选择

工作模式	CTRL_REG1_A[3] (LPen位)	CTRL_REG4_A[3] (HR位)	BW [Hz]	导通时间 [ms]	灵敏度 @ ±2g [mg/位]
低功耗模式 (8 位数据输出)	1	0	ODR/2	1	16
正常模式 (10 位数据输出)	0	0	ODR/2	1.6	4
高分辨率模式 (12 位数据输出)	0	1	ODR/9	7/ODR	1
不允许	1	1	--	--	--

表10. 数据速率配置

ODR3	ODR2	ODR1	ODR0	功率模式选择
0	0	0	0	下电模式
0	0	0	1	HR/正常/低功耗模式（1 Hz）
0	0	1	0	HR/正常/低功耗模式（10 Hz）
0	0	1	1	HR/正常/低功耗模式（25 Hz）
0	1	0	0	HR/正常/低功耗模式（50 Hz）
0	1	0	1	HR/正常/低功耗模式（100 Hz）
0	1	1	0	HR/正常/低功耗模式（200 Hz）
0	1	1	1	HR/正常/低功耗模式（400 Hz）
1	0	0	0	低功耗模式（1.620 kHz）
1	0	0	1	HR/正常（1.344 kHz）； 低功耗模式（5.376 kHz）

表 11列出了不同工作模式下的典型功耗值。

表11. 工作模式的电流消耗

ODR [Hz]	低功耗模式 (8 位数据输出) [μA]	正常模式 (10 位数据输出) [μA]	高分辨率 (12 位数据输出) [μA]
1	3.7	3.7	3.7
10	4.4	5.4	5.4
25	5.6	8	8
50	7.7	12.6	12.6
100	11.7	22	22
200	20	40	40
400	36	75	75
1344	--	185	185
1620	102	--	--
5376	186	--	--

4.1.1 下电模式

器件处于下电模式时，器件内部几乎所有的模块都会被关闭，以最大限度地降低功耗。数字接口（I²C和SPI）仍然在工作，以便能够与器件进行通信。寄存器配置的内容会被保留，输出数据寄存器不再更新，因此可保持进入省电模式前存储器中采样的最后数据。

4.1.2 高分辨率模式

在HR模式下，会以通过ODR位选择的数据速率(ODR)生成数据，数据会用于通过CTRL_REG1_A的Zen、Yen和Xen位使能的轴。为已禁用的轴生成的数据为00h。

数据中断生成有效，通过INT1_CFG_A和INT2_CFG_A寄存器进行配置。

在高分辨率模式下，用来生成输出样本的样本数量大于低功耗模式下使用的数量，带宽为ODR/9。

4.1.3 正常模式

在正常模式下，会以通过ODR位选择的数据速率(ODR)生成数据，数据会用于通过CTRL_REG1_A的Zen、Yen和Xen位使能的轴。为已禁用的轴生成的数据为00h。

数据中断生成有效，通过INT1_CFG_A和INT2_CFG_A寄存器进行配置。

在正常模式下，用来生成输出样本的样本数量大于低功耗模式下使用的数量，带宽为ODR/2。

4.1.4 低功耗模式

在低功耗模式下，会以通过ODR位选择的数据速率(ODR)生成数据，数据会用于通过CTRL_REG1_A的Zen、Yen和Xen位使能的轴。为已禁用的轴生成的数据为00h。

数据中断生成有效，通过INT1_CFG_A和INT2_CFG_A寄存器进行配置。

在低功耗模式下，用来生成输出样本的样本数量小于高分辨率和正常模式下使用的数量，带宽为ODR/2。

4.1.5 切换模式

表 12中给出了转换到另一种操作模式的导通时间。

表12. 操作模式转换的导通时间

工作模式改变	导通时间[ms]
12位模式至8位模式	1/ODR
12位模式至10位模式	1/ODR
10位模式至8位模式	1/ODR
10位模式至12位模式	7/ODR
8位模式至10位模式	1/ODR
8位模式至12位模式	7/ODR

4.2 启动序列

器件通电后，会自动将校准系数从嵌入式闪存下载到内部寄存器。启动程序完成后，也就是大约5毫秒后，器件会自动进入下电模式。要导通器件并采集加速度数据，需要通过CTRL_REG1_A 选择其中一种工作模式并至少使能其中一个轴。

可使用下列通用序列对器件进行配置：

1. 写入CTRL_REG1_A
2. 写入CTRL_REG2_A
3. 写入CTRL_REG3_A
4. 写入CTRL_REG4_A
5. 写入CTRL_REG5_A
6. 写入CTRL_REG6_A
7. 写入REFERENCE/DATACAPTURE_A
8. 写入INT1_THS_A
9. 写入INT1_DUR_A
10. 写入INT1_CFG_A
11. 写入CTRL_REG5_A

4.2.1 读取加速度数据

使用状态寄存器

应对为器件提供的STATUS_REG_A进行轮询，以检查何时有可用的新数据集。读取数据的步骤如下：

1. 读取STATUS_REG_A
2. 如果STATUS_REG_A(3) = 0，则转至1
3. 如果STATUS_REG_A(7) = 1，说明一些数据已被重写
4. 读取OUTX_L_A
5. 读取OUTX_H_A
6. 读取OUTY_L_A
7. 读取OUTY_H_A
8. 读取OUTZ_L_A
9. 读取OUTZ_H_A
10. 数据处理
11. 跳到步骤1

第3步中进行的检查可了解读取速率是否适合数据生产速率。如果一个或多个加速度样本已被新数据覆盖，由于读取速率不够快，STATUS_REG_A的ZYXOR位会置1。

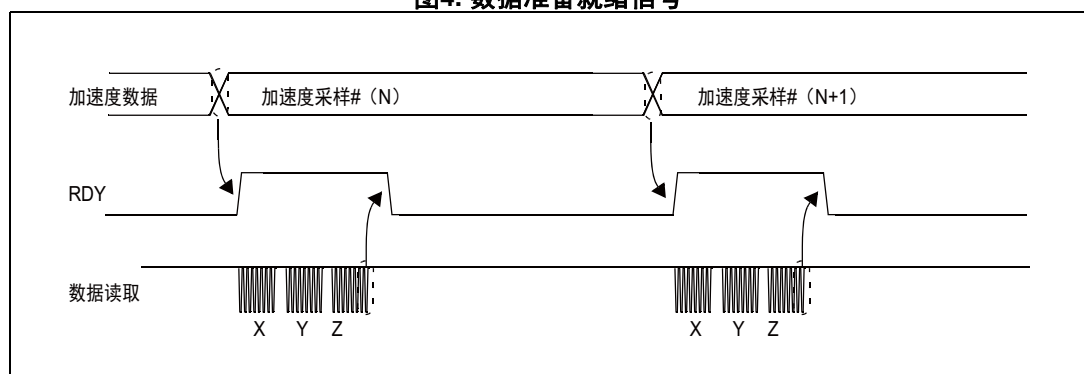
如果器件内存在的所有数据均已被读取，同时尚未生成新数据，上溢位会自动清零。

使用数据就绪(DRY)信号

可将器件配置为通过一个硬件信号决定何时新的测量数据集可供读取。此信号由STATUS_REG_A的XYZDA位表示。可通过将CTRL_REG3_A的I1_DRDY1位置1、通过CTRL_REG6_A的H_LACTIVE位将其极性设为低电平有效或高电平有效的方式将信号驱动到INT1引脚。

新的加速度数据集已生成并可供读取时，数据就绪信号会上升为1。所有已使能通道的数据高位部分（29h、2Bh、2Dh）均读取完毕后，中断会复位。

图4. 数据准备就绪信号



使用块数据更新（block data update, BDU）功能

如果加速度数据的读取速度特别慢并且不能通过STATUS_REG_A中存在的XYZDA位或通过RDY信号进行同步（或者不需要同步），则强烈建议将CTRL_REG4_A中的BDU（块数据更新）位置1。

此功能可避免读取与其它样本相关联的数值（加速度数据的最高有效部分和最低有效部分）。特别是在BDU被激活的情况下，与每条通道相关联的数据寄存器始终会包含由器件生成的最新加速度数据，但如果发起了对给定寄存器对（即OUT_X_H_A和OUT_X_L_A、OUT_Y_H_A和OUT_Y_L_A、OUT_Z_H_A和OUT_Z_L_A）的读取，读取数据的MSB和LSB部分之前，都会禁止刷新该寄存器对。

注： BDU仅会确保已同时对OUT_X(YZ)_L_A和OUT_X(XZ)_H_A进行采样。例如，如果读取速度过慢，可能会读取在T1采样的X和Y以及在T2采样的Z。

4.2.2 理解加速度数据

测得的加速度数据会发送至OUT_X_H_A、OUT_X_L_A、OUT_Y_H_A、OUT_Y_L_A、OUT_Z_H_A和OUT_Z_L_A寄存器。这些寄存器分别包含作用于X、Y和Z轴的加速度信号的最高有效部分和最低有效部分。

X（Y、Z）通道的完整加速度数据是由OUT_X_H_A & OUT_X_L_A（OUT_Y_H_A & OUT_Y_L_A、OUT_Z_H_A & OUT_Z_L_A）共同提供的，表示为二进制补码。

数据对齐

加速度数据表示为16位数，向左对齐（低四位无效）。

大小端选择

LSM303AGR允许交换加速度寄存器低位部分和高位部分的内容（即交换OUT_X_H_A与OUT_X_L_A的内容），以便符合小端和大端数据表示法的要求。

“小端模式”表示数字的低位字节存储在存储器的最低地址中，高位字节存储在最高地址中。（小端模式优先）。该模式相当于CTRL_REG4_A中的BLE位复位为0（默认配置）。

相反，“大端模式”表示数字的高位字节存储在存储器的最低地址中，低位字节存储在最高地址中。

加速度数据示例

表 13提供的几个基本示例中，会在器件受给定加速度影响的情况下读取数据寄存器中的数据。表中列出的数值均假定器件已进行准确校准（也就是没有偏移、没有增益误差），并且会真实显示BLE位的影响。

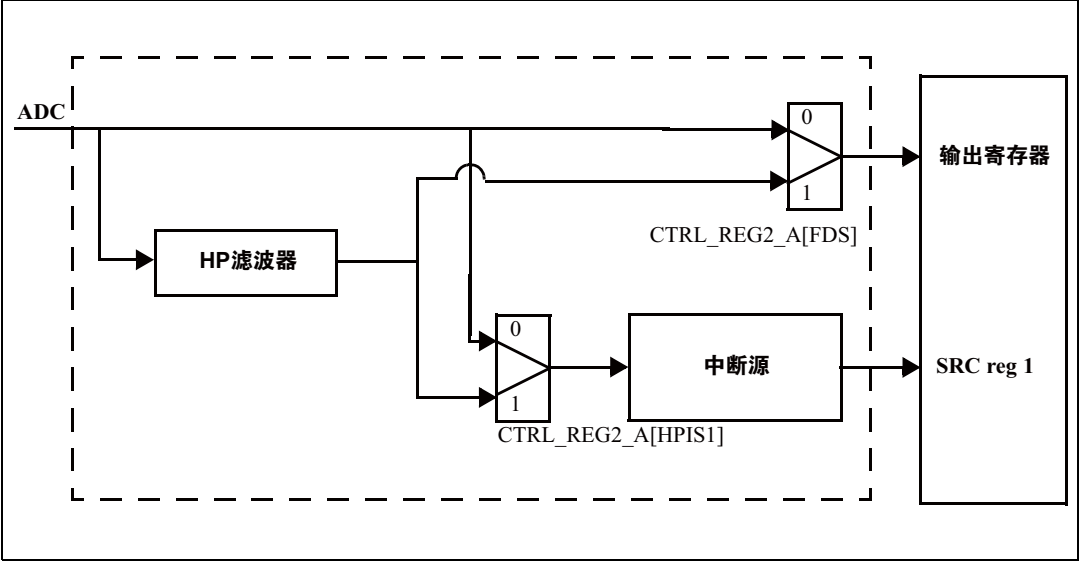
表13. 输出数据寄存器内容与加速度对比(FS = 2 g)

加 速 度 值	BLE = 0		BLE = 1	
	寄 存 器 地 址			
	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
-1 g	00h	C0h	C0h	00h

4.3 高通滤波器

LSM303AGR提供的嵌入式高通滤波功能可轻松去除测得加速度的DC分量。如 图 5 中所示，通过配置CTRL_REG2_A的FDS、HPIS2和HPIS1位，可以将滤波器独立应用于输出数据和/或中断数据。这意味着可以在中断生成作用于未滤波数据的同时获得已进行滤波的数据。

图5. 高通滤波器连接框图



4.3.1 滤波器配置

参照表 14，高通滤波器可具有两种工作模式：

表14. 高通滤波器模式配置

HPM1	HPM0	高通滤波器模式
0	0	正常模式（通过读取REFERENCE/DATACAPTURE_A寄存器复位）
0	1	滤波参考信号
1	0	正常模式
1	1	中断事件自动复位

高通滤波器的带宽取决于所选ODR和CTRL_REG2_A寄存器HPCF[2:1]位的置位。高通滤波器截止频率（ f_t ）如表 15所示。

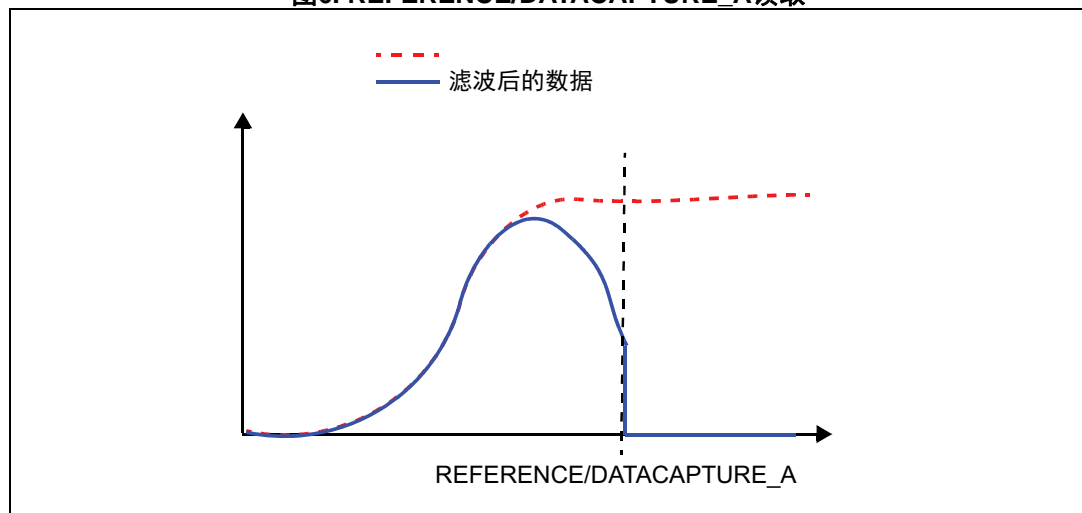
表15. 低功耗模式 - 高通滤波器截止频率[Hz]

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	f_t [Hz] @ 1.6 kHz	f_t [Hz] @ 5 kHz
00	0.02	0.2	0.5	1	2	4	8	32	100
01	0.008	0.08	0.2	0.5	1	2	4	16	50
10	0.004	0.04	0.1	0.2	0.5	1	2	8	25
11	0.002	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	4	12

正常模式

在该配置下通过读REFERENCE/DATACAPTURE_A寄存器可以复位高通滤波器，从而可立即删除加速度的DC分量。

图6. REFERENCE/DATACAPTURE_A读取



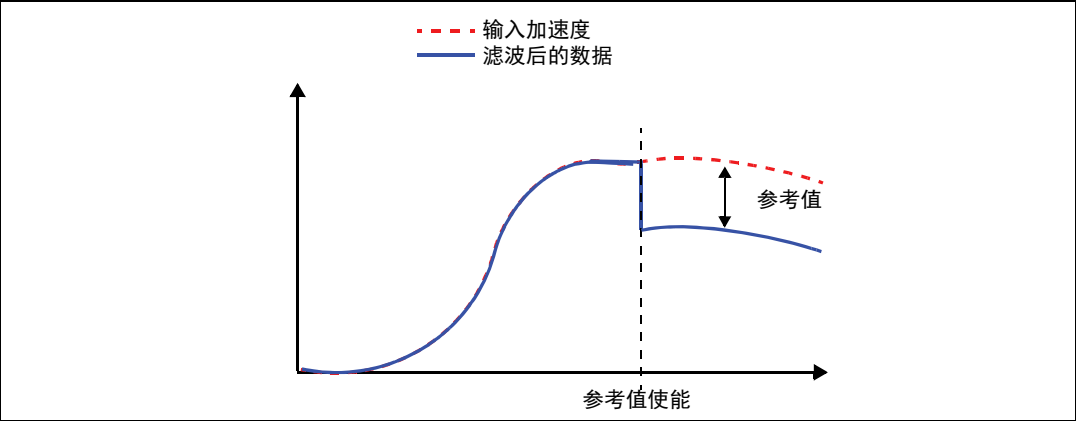
参考模式

在该配置下，输出数据会计算为输入加速度与REFERENCE/DATACAPTURE_A寄存器内容之差。该寄存器表示为二进制补码形式，这些7位寄存器的1 LSB 的值取决于所选满量程(表 16)。

表16. 参考模式LSB值

满量程	参考模式LSB值(mg)
2	~16
4	~31
8	~63

图7. 参考模式

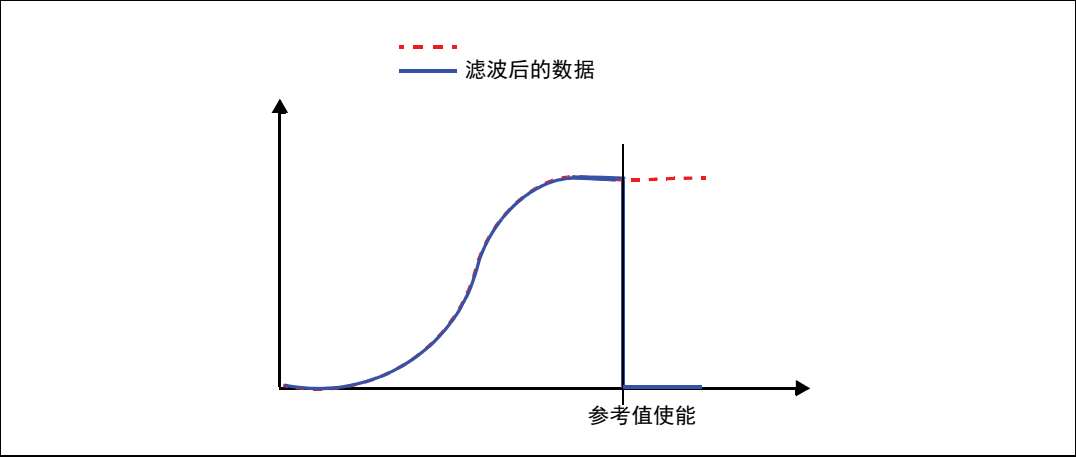


自动复位

在该配置下，发生配置的中断事件时，滤波器会自动复位。但会立即使用REFERENCE/DATACAPTURE_A将滤波器置位。

注：用于复位滤波器的XYZ数据集是中断后的数据集。

图8. 自动复位



4.4 中断生成

LSM303AGR中断信号可用作自由落体、唤醒、6D和4D定向检测以及点击检测。这些信号可驱动到两个中断引脚（INT1和INT2）。

4.4.1 中断引脚配置

器件提供的两个引脚可激活为生成数据就绪信号或中断信号。引脚功能是通过CTRL_REG3_A (22h)和CTRL_REG6_A (25h)选择的。请参考表 17和表 18以及图 9中提供的框图。

表17. CTRL_REG3_A寄存器

I1_CLICK	I1_AOI1	I1_AOI2	I1_DRDY1	I1_DRDY2	I1_WTM	I1_OVERRUN	-
----------	---------	---------	----------	----------	--------	------------	---

表18. CTRL_REG3说明

I1_CLICK	INT1上的CLICK中断。默认值0 (0: 禁用; 1: 启用)
I1_AOI1	INT1引脚上的AOI1中断。默认值0 (0: 禁用; 1: 启用)
I1_AOI2	INT1引脚上的AOI2中断。默认值0 (0: 禁用; 1: 启用)
I1_DRDY1	INT1引脚上的DRDY1中断。默认值0 (0: 禁用; 1: 启用)
I1_DRDY2	INT1引脚上的DRDY2中断。默认值0 (0: 禁用; 1: 启用)
I1_WTM	INT1上的FIFO水位标志中断。默认值0。 (0: 禁用; 1: 启用)
I1_OVERRUN	INT1上的FIFO溢出中断。默认值0。 (0: 禁用; 1: 启用)

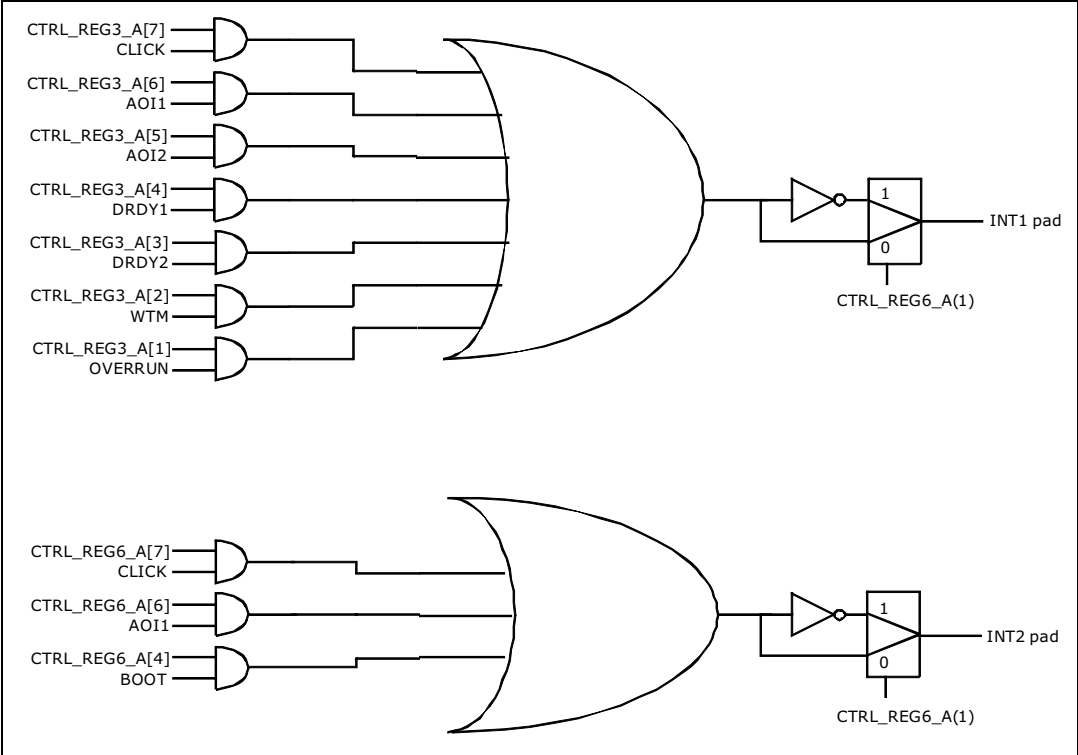
表19. CTRL_REG6 寄存器

I2_CLICKen	I2_INT1	I2_INT2	BOOT_I2	P2_ACT	-	H_LACTIVE	-
------------	---------	---------	---------	--------	---	-----------	---

表20. CTRL_REG6 寄存器

I2_CLICKen	INT2上的CLICK中断。默认值: 0 (0: 禁用; 1: 启用)
I2_INT1	INT2引脚上的中断1功能使能。默认值: 0 (0: 禁用; 1: 启用)
I2_INT2	INT2引脚上的中断2功能使能。默认值: 0 (0: 禁用; 1: 启用)
BOOT_I2	INT2引脚上的启动使能。默认值: 0 (0: 禁用; 1: 启用)
P2_ACT	INT2引脚上的活动中断使能。默认值: 0 (0: 禁用; 1: 启用)
HL_ACTIVE	中断有效。默认值: 0 0: 中断高电平有效; 1: 中断低电平有效

图9. 中断信号和中断引脚



4.5 惯性中断

LSM303AGR可提供两个惯性中断信号，并可通过多种方式对这两个信号进行定制化。中断生成行为中涉及到的寄存器是INT1_CFG_A、INT1_THS_A和INT1_DURATION_A。

表21. 中断模式配置

AOI	6D	中断模式
0	0	中断事件的OR（或运算）组合
0	1	6方向运动识别
1	0	中断事件的AND（与运算）组合
1	1	6方向位置识别

中断条件满足时，会生成中断信号，通过读取INT1_SRC_A寄存器，可以了解发生了什么情况。

4.5.1 持续时间

持续时间寄存器的内容会设置要识别的中断事件的最短持续时间。持续时间间隔和最大值取决于选择的ODR。

持续时间的测量单位为N/ODR，其中，N是持续时间寄存器的内容，ODR是50、100、400、1000 Hz。

表22. 正常模式下的持续时间LSB值

ODR (Hz)	持续时间LSB值 (ms)
1	1000
10	100
25	40
50	20
100	10
200	5
400	2.5
1000	1
1344	0.744
1620	0.617

4.5.2 阈值

阈值寄存器定义了中断生成电路使用的参考加速度。这些7位寄存器的1 LSB 的值取决于所选满量程(表 23)。

表23. 阈值LSB值

满量程	阈值LSB值 (mg)
2	~16
4	~31
8	~63
16	~125

4.5.3 自由落体和唤醒中断

LSM303AGR中断信号可当做自由落体和唤醒中断。中断条件满足时，会生成中断信号，通过读取INT1_SRC_A寄存器，可以了解发生了什么情况。

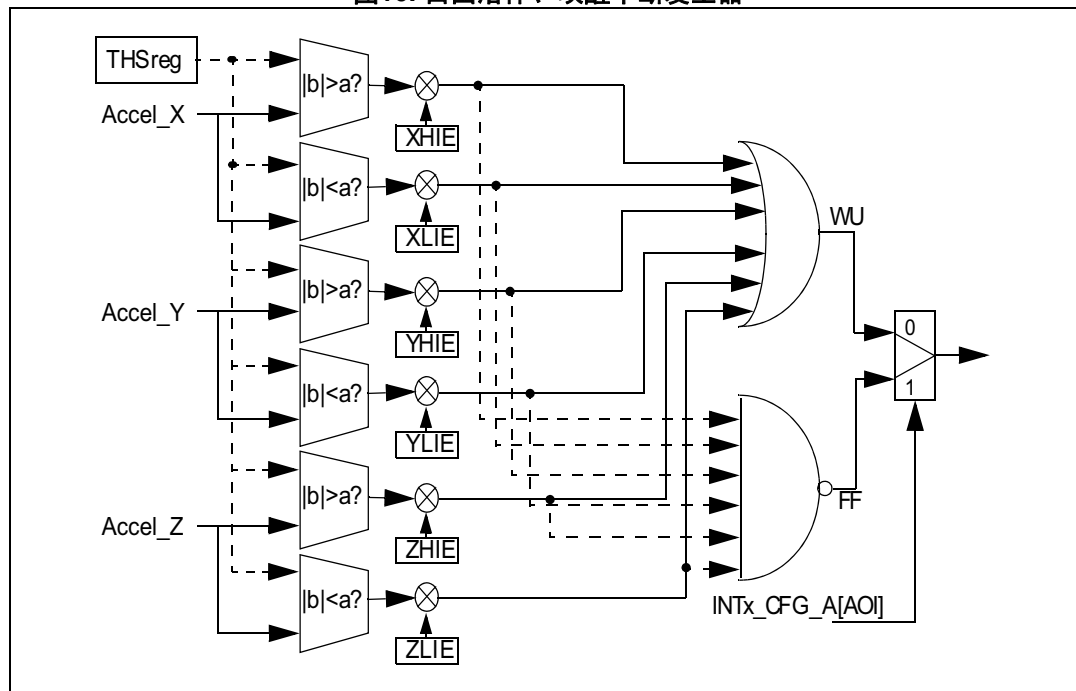
自由落体信号(FF)和唤醒信号(WU)中断生成块在图10中表示。

FF或WU中断生成是通过INT1_CFG_A寄存器中的AOI位选择的。如果AOI位为“0”，来自轴（通过INT1_CFG_A寄存器使能）比较器的信号会输入到逻辑OR中。在这种情况下，当至少有一个已使能轴超出写入到INT1_THS_A寄存器模块中的阈值时，会生成中断。如果AOI位为“1”，来自比较器的信号会进入“NAND”端口。在这种情况下，仅当所有已使能轴都超过写入到INT1_THS_A寄存器中的阈值时，才会生成中断信号。

CTRL_REG5_A寄存器的LIR_INT1和LIR_INT2位决定是否必须锁存中断请求。如果LIR_INT1位为“0”，当中断条件满足时，中断信号会变为高电平，如果中断条件不再满足，中断信号会立即恢复低电平。否则，如果LIR_INT1位为“1”，如果中断条件适用，即使条件恢复为非中断状态，中断信号也会保持高电平，直至对INT1_SRC_A寄存器执行读取操作。

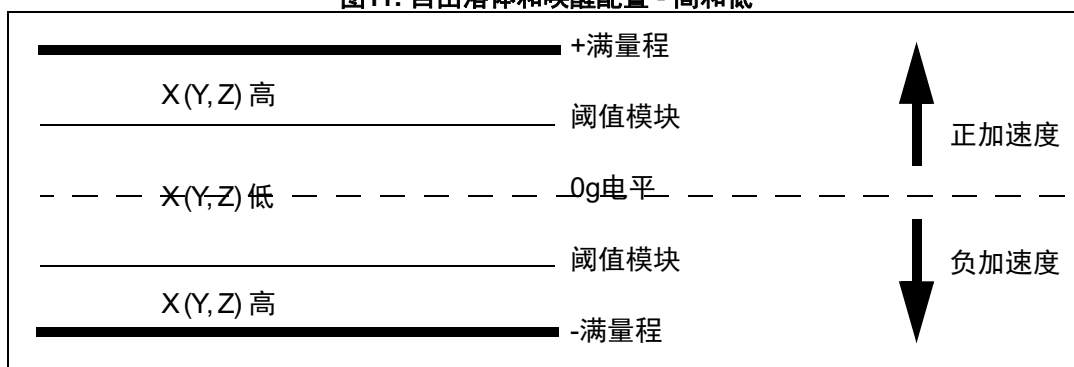
INT1_CFG_A寄存器的ZHIE、ZLIE、YHIE、YLIE、XHIE和HLIE位可决定必须对哪一个轴执行中断决策、并可决定必须超过哪个方向的阈值才能生成中断请求。

图10. 自由落体、唤醒中断发生器



系统检测任何自由落体或惯性唤醒事件所使用的阈值模块是由INT1_THS_A寄存器定义的。阈值表示为7位无符号数字，并且绕零重力水平对称。如果X (Y, Z)通道的无符号加速度值大于INT1_THS_A, XH (YH, ZH)为真。同样，如果X (Y, Z)通道的无符号加速度值小于INT1_THS_A, XL (YL, ZL)低电平为真。更多详情，请参阅图11。

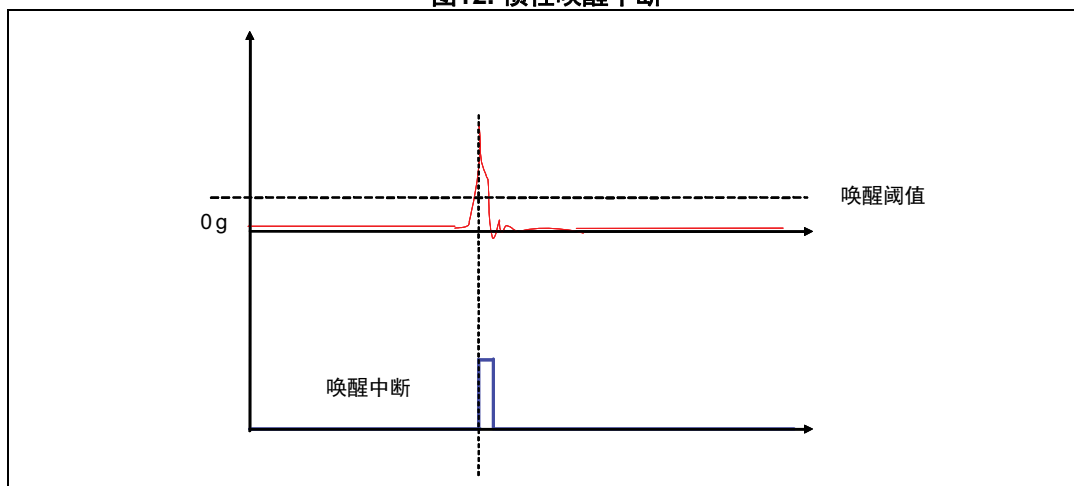
图11. 自由落体和唤醒配置 - 高和低



惯性唤醒

唤醒中断是指Act_THS_A寄存器的特定配置，该配置允许在已配置轴的加速度超过定义的阈值(图 12)时生成中断。

图12. 惯性唤醒中断



不使用高通滤波器

本段介绍的基本算法演示了惯性唤醒功能的实际应用。下列代码会将器件配置为可识别出沿X或Y轴方向的绝对加速度超过预设阈值的情况。

（本例中使用的是250 mg）。触发中断的事件会锁存在设备内，会使用INT1引脚指示发生该事件。

```
1   将A7h写入CTRL_REG1_A           // 打开传感器并使能X、Y和Z
                                     // ODR = 100 Hz
2   将00h写入CTRL_REG2_A           // 关闭高通滤波器
3   将40h写入CTRL_REG3_A           // 中断挂载到INT1引脚上
4   将00h写入CTRL_REG4_A           // FS = 2 g
5   将08h写入CTRL_REG5_A           // 中断已锁存
6   将10h写入INT1_THS_A             // 阈值 = 250 mg
7   将00h写入INT1_DURATION_A        // 持续时间 = 0
8   将0Ah写入INT1_CFG_A             // 使能XH和YH中断生成
9   轮询INT1焊盘；如果INT1=0，则转至8 // 轮询等待唤醒事件
10  读取INT1_SRC_A                  // 中断被触发，事件返回
11  （发生了唤醒事件；在此插入您的代码） // 事件处理
12  进入8
```

使用高通滤波器

以下代码中的基本例程展示了对已进行高通滤波的数据执行的惯性唤醒功能的实际应用。器件被配置为可识别出施加到X、Y或Z轴的加速度的高频分量超过预设阈值（本例中使用的阈值为250 mg）的情况。

触发中断的事件会锁存在设备内，会使用INT1引脚指示发生该事件。

```

1   将A7h写入CTRL_REG1_A           // 启动传感器，使能X、Y和Z
                                     // ODR = 100 Hz
2   将09h写入CTRL_REG2_A           // 高通滤波器作用于数据和中断1
3   将40h写入CTRL_REG3_A           // 中断挂载到INT1引脚上
4   将00h写入CTRL_REG4_A           // FS = 2 g
5   将08h写入CTRL_REG5_A           // 中断已锁存
6   将10h写入INT1_THS_A             // 阈值 = 250 mg
7   将00h写入INT1_DURATION_A        // 持续时间 = 0
                                     // 进行虚拟读取，将高通滤波器强制设为
8   读取REFERENCE/DATACAPTURE_A     // 当前加速度值
                                     // （也就是设置参考加速度/倾斜值）
9   将2Ah写入INT1_CFG_A             // 配置所需唤醒事件
10  轮询INT1焊盘；如果INT1=0，则转至9 // 轮询INT1引脚等待
                                     // 唤醒事件
11  （发生了唤醒事件；在此插入您的代码） // 事件处理
12  读取INT1_SRC_A                  // 返回触发了的中断并清除中断
13  （在此插入您的代码）           // 事件处理
14  转至9

```

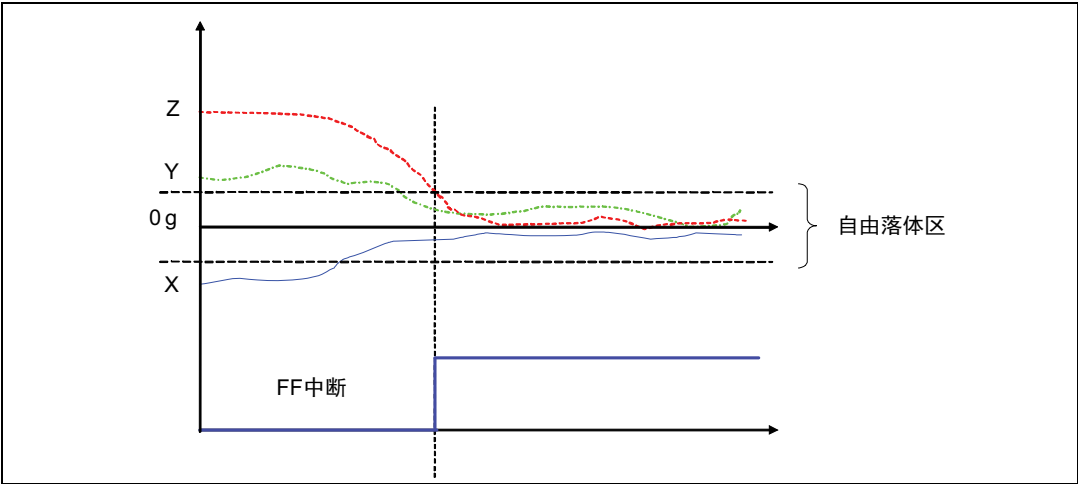
在第8步中，会对REFERENCE/DATACAPTURE_A寄存器执行虚拟读取，以便设置器件执行阈值比较时所参照的当前/参考加速度/倾斜状态。

可根据需要随时执行虚拟读取，以便将器件的方向/倾斜设为参考状态，无需等待滤波器稳定下来。

4.5.4 自由落体检测

自由落体检测是指利用INT1_CTRL寄存器的特定配置来识别器件是否在进行自由落体运动：沿所有轴测量的加速度均变为零。在实际情况下“自由落体区”定义为零重力水平附近，在该区域中，所有加速度都足够小，可生成中断(图 13)。

图13. 自由落体中断



本段介绍了使用自由落体检测的基础知识。还特别介绍了以下将器件配置为检测自由落体事件并发信号指示此类事件的软件例程：

1	将A7h写入CTRL_REG1_A	// 启动传感器，使能X、Y和Z // ODR = 100 Hz
2	将00h写入CTRL_REG2_A	// 关闭高通滤波器
3	将40h写入CTRL_REG3_A	// 中断挂载到INT1引脚上
4	将00h写入CTRL_REG4_A	// FS = 2 g
5	将08h写入CTRL_REG5_A	// 中断已锁存
6	将16h写入INT1_THS_A	// 将自由落体阈值设为 350 mg
7	将03h写入INT1_DURATION_A	// 设置最短事件持续时间
8	将95h写入INT1_CFG_A	// 配置自由落体识别
9	轮询INT1焊盘；如果INT1=0，则转至10	// 轮询等待自由落体事件的INT1引脚
10	（发生了自由落体事件；在此插入您的代码）	// 事件处理
11	读取INT1_SRC_A寄存器	// 清除中断请求
12	转至9	

示例代码利用设定为350 mg的阈值进行自由落体识别，并通过硬件信号INT1通知自由落体事件。在第7步，INT1_DURATION_A寄存器像这样进行了配置，从而可忽略短于 $3/DR = 3/100 \approx 30\text{ ms}$ 的事件，以避免假检测现象的发生。

发生自由落体事件后，对INT1_SRC_A寄存器的读取操作会清空请求，器件会准备好识别其他事件。

4.6 6D/4D定向检测

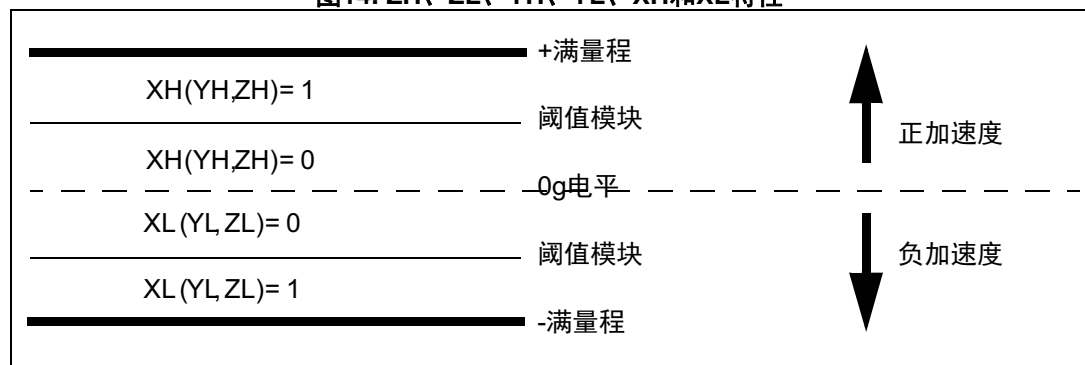
LSM303AGR的高级功能可检测器件在空间中的方向，从而可轻松为手持设备实施节能程序，并可实现图像自动旋转。

4.6.1 6D定向检测

6D定向方向功能可通过INT1_CFG_A寄存器的AOI和6D位启用。配置为实现6D功能时，INT1_SRC_A的ZH、ZL、YH、YL、XH和XL位会提供关于加速度值以及加速度信号的相关信息，当加速度值大于阈值时，会生成中断。更具体地说：

- 当感应到的加速度大于正方向阈值时，ZH (YH, XH)为1
- 当感应到的加速度大于负方向阈值时，ZL (YL, XL)为1。

图14. ZH、ZL、YH、YL、XH和XL特性



6D方向功能有两种可行的配置：

- 6D运动识别：在该配置下，当器件从一个方向（已知或未知方向）移动到另一已知方向时，会生成中断。中断的有效持续时间仅为1/ODR
- 6D位置识别：在该配置下，当器件在已知方向处于稳定状态时，会生成中断。只要位置保持不变（[图 15, \(a\) 和\(b\)](#)），中断就有效。

参考 [图 15](#)，6D运动行显示了当器件配置为在X和Y轴上实现6D运动识别(INT1_CFG_A = 0x4Ah)时中断的行为，而6D位置行则显示了当器件配置为在X和Y轴上实现6D位置识别(INT1_CFG_A = 0xCAh)时中断的行为。INT1_THS_A设为0x21。

参考 [图 16](#)，器件配置为在X、Y和Z轴上实现6D位置功能。[表 24](#)显示的是每个位置的INT1_SRC_A寄存器的内容。

图15. 6D运动与6D位置对比

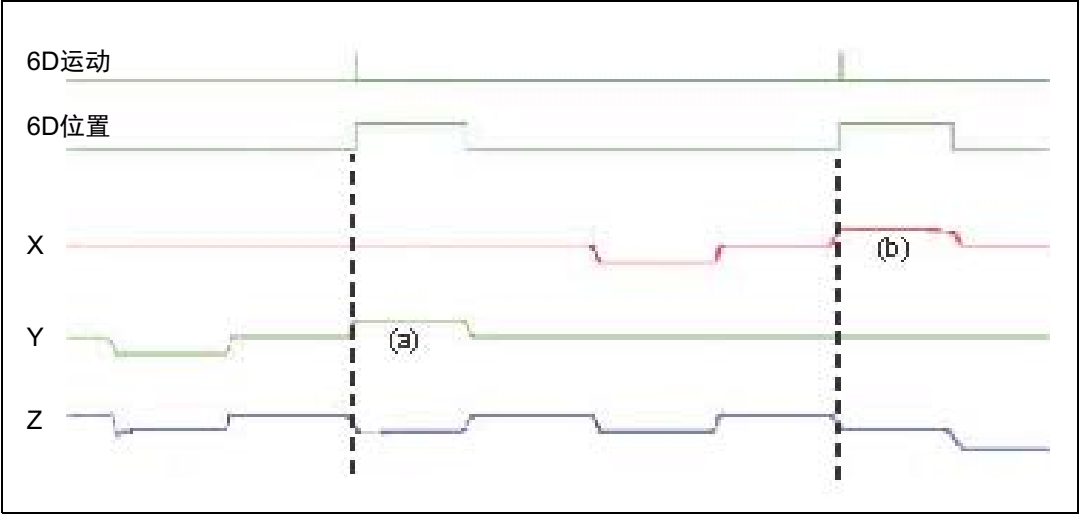


图16. 6D识别位置

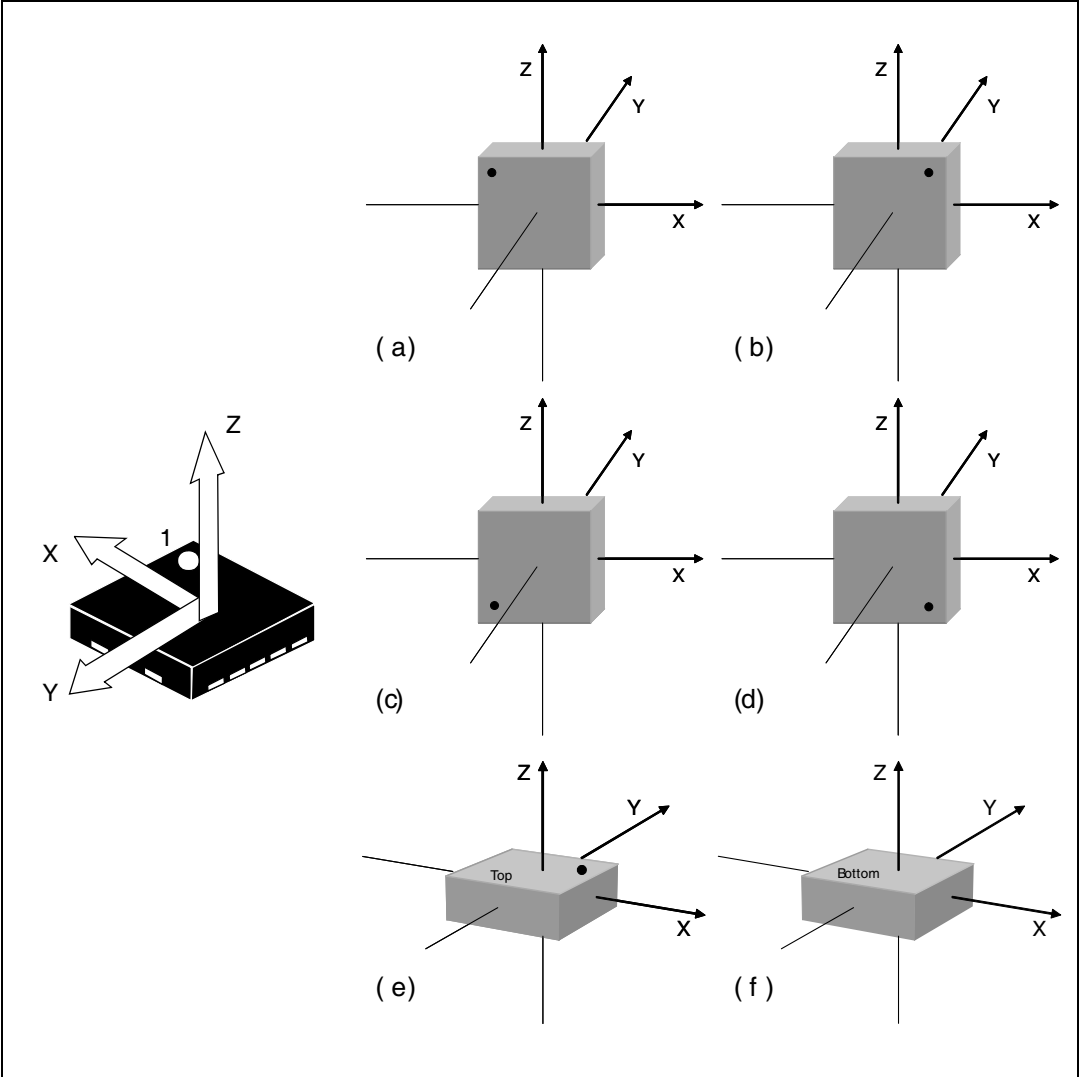


表24. 6D定位下的INT1_SRC_A寄存器

用例	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

4.6.2 4D方向

4D方向功能是6D方向功能的子集，专为在手持设备中实施而定义。当INT1_CFG_A的6D位设为1时，可通过将CTRL_REG5_A的D4D_INT1位置1来启用此功能。这种配置下，Z轴位置检测被禁用，因此位置识别减少为表 24的(a)、(b)、(c)和(d)的情形。

4.7 单击和双击识别

借助LSM303AGR中的单击和双击识别功能，无需载入软件便可创建人机接口。器件可配置为沿任意方向点击时在专用引脚上输出中断信号。

如果传感器受到单个输入刺激，则会在惯性引脚INT1和/或INT2上生成中断请求。更先进的功能可在识别到两次输入刺激（两个事件的间隔时间可通过程序设定）时生成中断请求，从而可实现类似鼠标按键的功能。

此功能完全可通过用户编程进行设定，用户可在程序中通过第 4.7.3节中介绍的专用寄存器组设定刺激的预期幅度和时间。

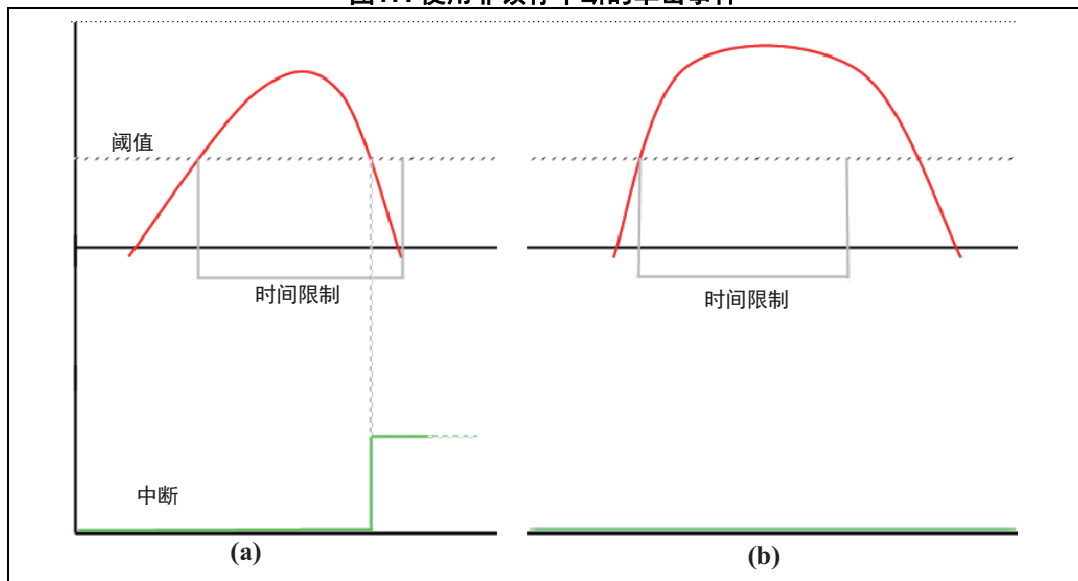
单击和双击识别分别以选定的输出数据速率工作。

4.7.1 单击

如果器件配置为实现单击事件识别，如果所选通道上的输入加速度超过设定的阈值、并且在由TIME_LIMIT_A寄存器定义的时窗内恢复至阈值以下，则会生成中断。

如果CTRL_REG_5_A寄存器的LIR_INT1和LIR_INT2位均未置位，中断将保持高电平，并会在延迟窗口的持续时间内一直处于高电平状态。如果LIR_INT1或LIR_INT2位置位，中断将保持高电平，直至CLICK_SRC_A被读取。

图17. 使用非锁存中断的单击事件



在图 17(a)中，已识别出点击事件，而在图 17(b)中还未识别出点击，因为加速度在Time Limit到期后降至阈值以下。

4.7.2 双击

如果器件配置为实现双击事件检测，当第一次点击后识别出第二次点击时，会生成中断。仅当事件满足延迟寄存器和窗口寄存器定义的规则时，才会识别第二次点击。

特别是在已识别了第一次点击后，第二次点击检测程序会延迟进行，延迟的时间间隔是延迟寄存器定义的。这意味着在识别出第一次点击后，仅当输入加速度在延迟窗口后、但在窗口到期(图 18 (a))前超过阈值、或者加速度在延迟到期(图 19 (b))后超过阈值的情况下才会开始执行第二次点击检测程序。

第二次点击检测程序启动后，会采用与识别第一次点击时一样的程序识别第二次点击：加速度必须在Time Limit到期前恢复为阈值以下。

请务必正确定义延迟窗口，以避免因输入信号虚假反弹出现不需要的点击。

图18. 单击和双击识别

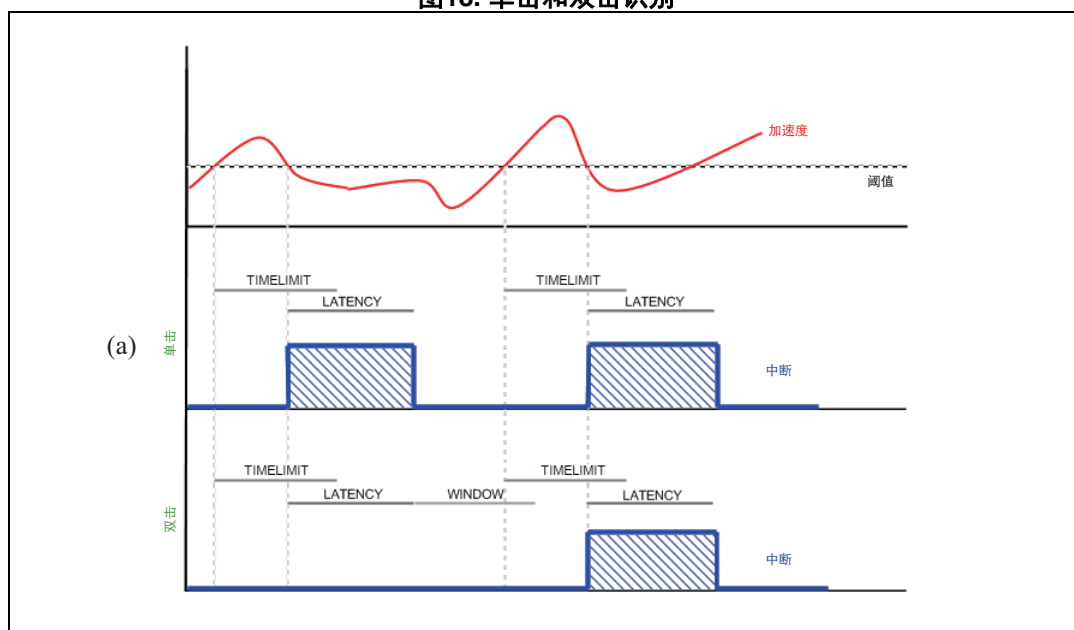
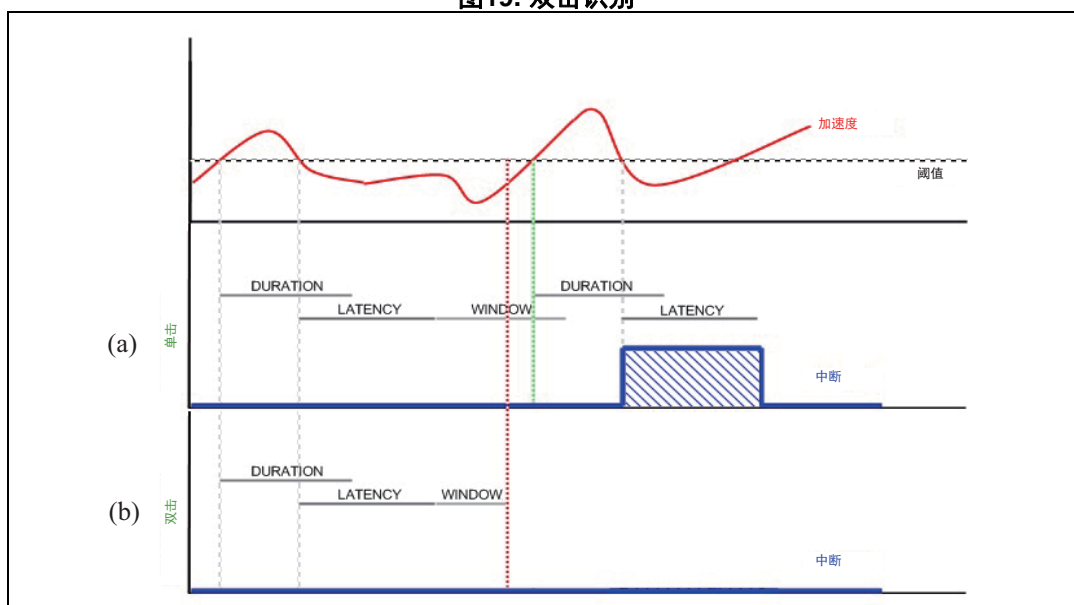


图 18通过图形介绍了单击事件(a)和双击事件(b)。器件能够通过将CLICK_CFG_A寄存器的设置从单击识别改为双击识别的方式区分(a)和(b)。

图19. 双击识别



在图 19(a)中，已正确识别出双击事件，而在图 19(b)中还未生成中断，因为输入加速度在窗口时间间隔到期后超过阈值。

4.7.3 寄存器说明

CLICK_CFG_A (38h)

表25. CLICK_CFG_A寄存器

-	-	ZD	ZS	YD	YS	XD	XS
---	---	----	----	----	----	----	----

表26. CLICK_CFG_A说明

ZD	在Z轴上启用中断双击。默认值：0 (0：禁用中断请求；1：对高于预设阈值的 测得加速度启用中断请求)
ZS	在Z轴上启用中断单击。默认值：0 (0：禁用中断请求；1：对高于预设阈值的 测得加速度启用中断请求)
YD	在Y轴上启用中断双击。默认值：0 (0：禁用中断请求；1：对高于预设阈值的 测得加速度启用中断请求)
YS	在Y轴上启用中断单击。默认值：0 (0：禁用中断请求；1：对高于预设阈值的 测得加速度启用中断请求)
XD	在X轴上启用中断双击。默认值：0 (0：禁用中断请求；1：对高于预设阈值的 测得加速度启用中断请求)
XS	在X轴上启用中断单击。默认值：0 (0：禁用中断请求；1：对高于预设阈值的 测得加速度启用中断请求)

表27. 真值表

ZD / YD / XD	ZS / YS / XS	点击输出
0	0	0
0	1	单
1	0	双
1	1	单击或双击



CLICK_SRC_A (39h)**表28. CLICK_SRC_A寄存器**

-	IA	DClick	SClick	符号	Z	Y	X
---	----	--------	--------	----	---	---	---

表29. CLICK_SRC_A说明

IA	中断有效。默认值：0 (0：未生成中断；1：已生成一个或多个中断)
DClick	双击检测使能。默认值：0 (0：双击检测禁用，1：双击检测使能)
SClick	单击检测使能。默认值：0 (0：单击检测禁用，1：单击检测使能)
符号	点击符号。0：正检测，1：负检测
Z	Z轴点击检测。默认值：0 (0：无中断，1：发生了Z轴置为高电平的事件)
Y	Y轴点击检测。默认值：0 (0：无中断，1：发生了Y轴置为高电平的事件)
X	X轴点击检测。默认值：0 (0：无中断，1：发生了X轴置为高电平的事件)

CLICK_THS_A (3Ah)**表30. CLICK_THS_A寄存器**

-	THS6	THS5	THS4	THS3	THS2	THS1	THS0
---	------	------	------	------	------	------	------

表31. CLICK_THS_A说明

THS6-THS0	点击阈值。默认值：000 0000
-----------	-------------------

1 LSB = 满量程/128。

THS6到THS0定义了系统启动点击检测程序所使用的阈值。阈值表示为6位无符号数。

TIME_LIMIT_A (3Bh)

表32. TIME_LIMIT_A寄存器

-	TLI6	TLI5	TLI4	TLI3	TLI2	TLI1	TLI0
---	------	------	------	------	------	------	------

表33. TIME_LIMIT_A寄存器

TLI7-TLI0	点击时间限制。默认值：000 0000
-----------	---------------------

1 LSB = 1/ODR。

TLI7到TLI0定义了启动点击检测程序（选定通道上的加速度超过设定的阈值）与加速度变回阈值以下所经过的最大时间间隔。

TIME_LATENCY_A (3Ch)

表34. TIME_LATENCY_A寄存器

TLA7	TLA6	TLA5	TLA4	TLA3	TLA2	TLA1	TLA0
------	------	------	------	------	------	------	------

表35. TIME_LATENCY_A说明

TLA7-TLA0	点击时间延迟。默认值：000 0000
-----------	---------------------

1 LSB = 1/ODR。

如果器件配置为实现双击检测，TLA7到TLA0定义了第一次点击检测后开始的时间间隔，在这段时间内会禁用点击检测程序。

TIME_WINDOW_A (3Dh)

表36. TIME_WINDOW_A寄存器

TW7	TW6	TW5	TW4	TW3	TW2	TW1	TW0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

表37. TIME_WINDOW_A说明

TW7-TW0	点击时窗
---------	------

1 LSB = 1/ODR。

如果器件配置为实现双击检测，TW7到TW0定义了延迟间隔结束后可经过的最大时间间隔，在这段时间内可开始点击检测程序。

CTRL_REG3_A [中断CTRL寄存器] (22h)**表38. CTRL_REG3_A 寄存器**

I1_CLICK	I1_AOI1	I1_AOI2	I1_DRDY1	I1_DRDY2	I1_WTM	I1_OVERRUN	-
----------	---------	---------	----------	----------	--------	------------	---

表39. CTRL_REG3_A 描述

I1_CLICK	点击中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)
I1_AOI1	AOI1中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)
I1_AOI2	AOI2中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)
I1_DRDY1	DRDY1中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)
I1_DRDY2	DRDY2中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)
I1_WTM	FIFO水位中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)
I1_OVERRUN	FIFO溢出中断在INT1引脚上。默认值：0 (0：禁用；1：启用)

4.7.4 示例

下图显示的是不同条件下的点击中断生成情况。截图是在运行演示套件GUI接口的电脑上获取的，ODR设为400 Hz，满量程设为4 g。LSM303AGR寄存器的内容已通过软件界面的专用面板进行修改，用户可在该面板中对嵌入了点击的功能的所有不同设置和特性进行评估。下例中，仅启用了X轴生成点击中断。

调整TAP_TimeLimit

图 20显示的是TAP_TimeLimit = 01h (2.5 ms)时执行的采集。使用该设置时，单击识别窗口较短，通常加速度不会及时降至阈值以下。

图 21中显示的是TAP_TimeLimit = 33h (127 ms)时完成的采集。使用该设置时，单击识别窗口较长，事件更容易识别。

图20. 短TimeLimit

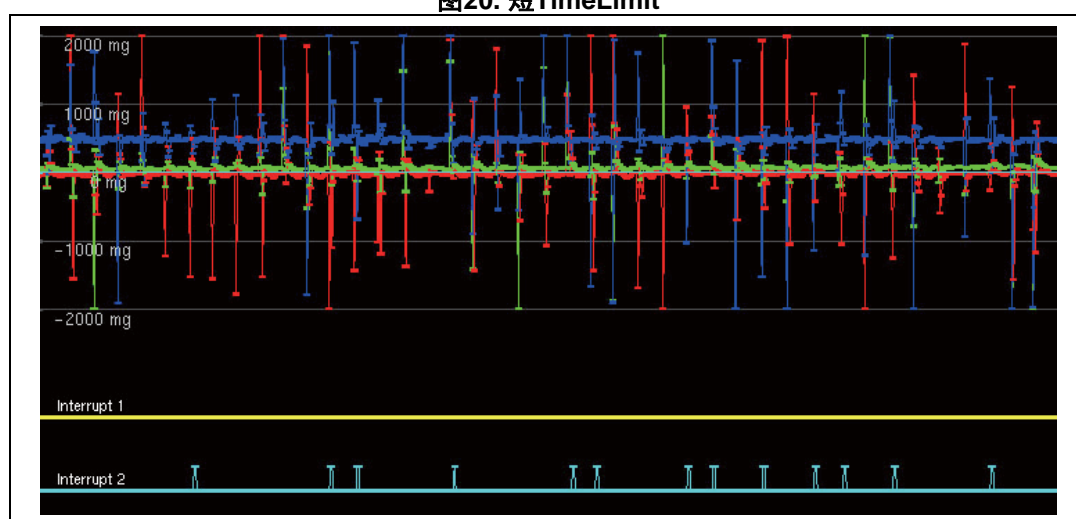
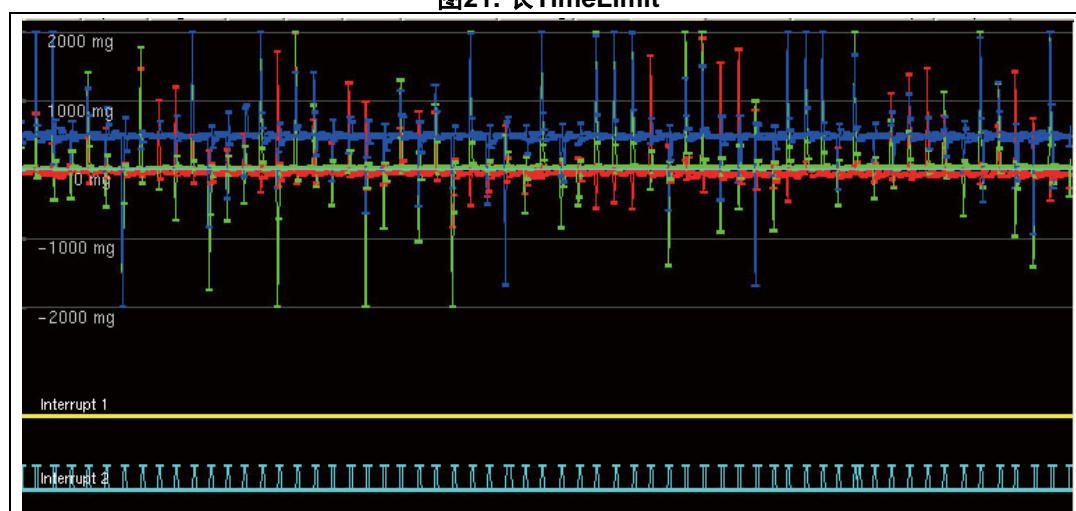


图21. 长TimeLimit



调整TAP_Latency

图 22显示的是TAP_Latency=15h (52 ms)时进行的采集。使用该设置时，器件几乎会将每个加速度尖峰识别为点击操作。

图 23中显示的是TAP_Latency = FFh (637 ms)时执行的采集。使用该设置时，器件会将每两个尖峰中的一个识别为点击操作。

图22. 短延迟

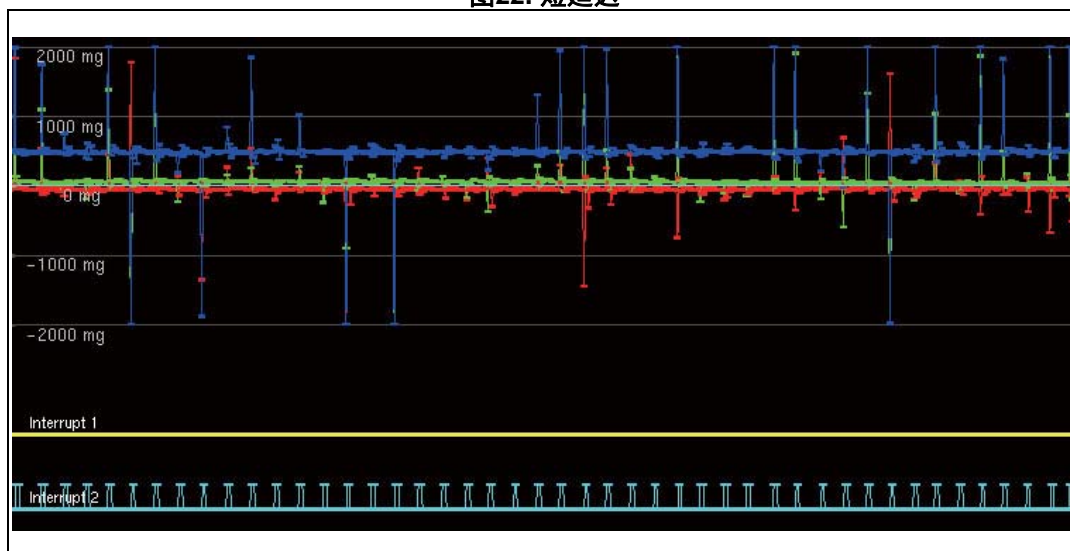
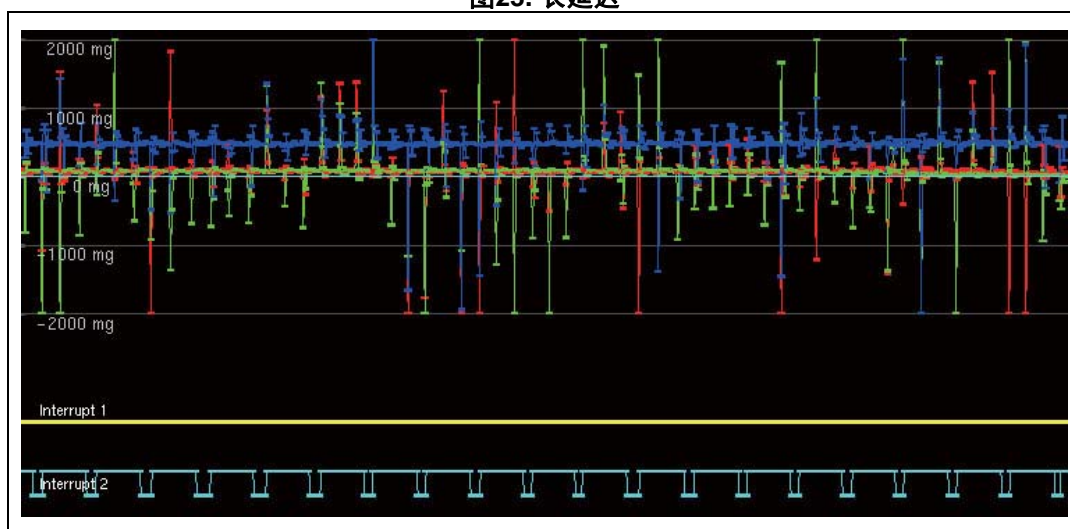


图23. 长延迟



调整TAP_Window

进行双击识别时，TAP_Latency+TAP_Window定义了将两次连续点击识别为双击事件的最大间隔时间。固定延迟可避免信号虚假反弹，可以像在电脑上调整鼠标属性的“双击速度”设置一样调整TAP_Window。

图 24显示的是TAP_Window=42h(1065ms)时进行的采集。使用该设置时，加速度的两个连续峰值间隔越远，第二个峰值出现在窗口之外。

图 25中显示的是TAP_Window = FFh (637 ms)时执行的采集。使用该设置时，器件会在第二个加速度峰值后正确生成双击中断。

图24. 短窗口

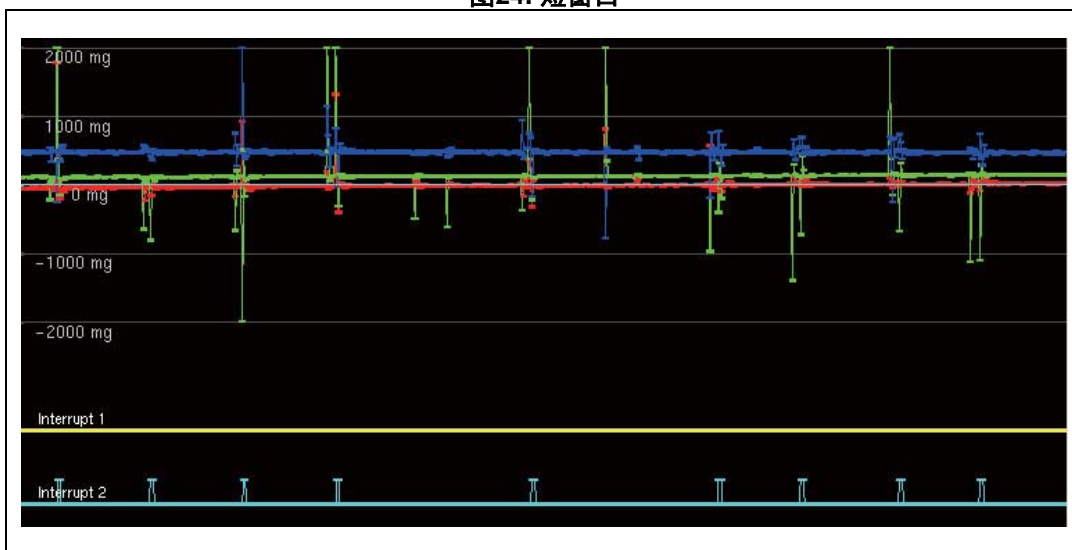
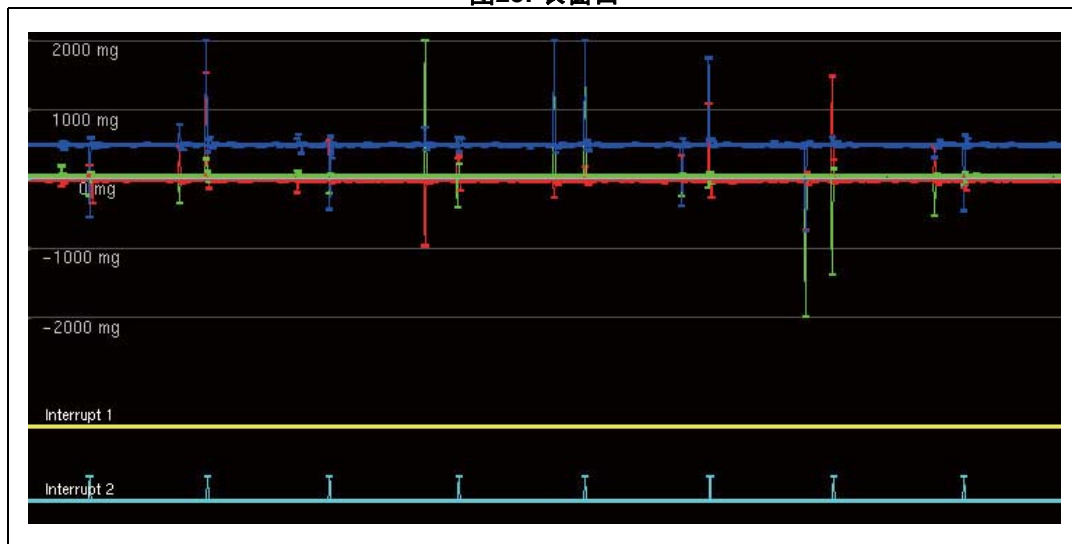


图25. 长窗口



4.8 先进先出（FIFO）缓冲区

为了限制主机处理器干预并便于对事件识别数据进行后处理，LSM303AGR为三条输出通道X、Y和Z分别嵌入了先进先出（FIFO）缓冲区。

使用FIFO可使系统实现一致的节能效率，仅当需要时才会唤醒，并会从FIFO批量输出重要数据。

FIFO缓冲区可在四种不同模式下工作，各个模式可确保在应用开发过程中实现高度灵活性：Bypass模式、FIFO模式、Stream模式和Stream-FIFO模式。

对于可编程水位标志等级和FIFO溢出事件，可以在INT1引脚上使能专用中断。

4.8.1 FIFO描述

FIFO缓冲区最多能为每条通道存储32个10位加速度采样；数据采用左对齐16位二进制补码形式存储。

数据样本集合由6个字节（XI、Xh、Yl、Yh、Zl和Zh）和组成，它们会以选定的输出数据速率（ODR）释放到FIFO中。

新样本集合会放在第一个空闲的FIFO位置中，缓冲区被占满后，新样本集合会覆盖最早的值。

表40. FIFO缓冲区填满示例（存储第32个采样集）

输出寄存器	0x28h	0x29h	0x2Ah	0x2Bh	0x2Ch	0x2Dh
	Xl (0)	Xh (0)	Yl (0)	Yh (0)	Zl (0)	Zh (0)
FIFO 索引	FIFO样本集合					
FIFO (0)	Xl (0)	Xh (0)	Yl (0)	Yh (0)	Zl (0)	Zh (0)
FIFO (1)	Xl (1)	Xh (1)	Yl (1)	Yh (1)	Zl (1)	Zh (1)
FIFO (2)	Xl (2)	Xh (2)	Yl (2)	Yh (2)	Zl (2)	Zh (2)
FIFO (3)	Xl (3)	Xh (3)	Yl (3)	Yh (3)	Zl (3)	Zh (3)
...
...
FIFO (30)	Xl (30)	Xh (30)	Yl (30)	Yh (30)	Zl (30)	Zh (30)
FIFO (31)	Xl (31)	Xh (31)	Yl (31)	Yh (31)	Zl (31)	Zh (31)

表41. FIFO溢出示例
(存储第33个样本集同时丢弃第1个样本)

输出寄存器	0x28h	0x29h	0x2Ah	0x2Bh	0x2Ch	0x2Dh
	Xl (1)	Xh (1)	Yl (1)	Yh (1)	Zl (1)	Zh (1)
FIFO 索引	FIFO样本集合					
FIFO (0)	Xl (1)	Xh (1)	Yl (1)	Yh (1)	Zl (1)	Zh (1)
FIFO (1)	Xl (2)	Xh (2)	Yl (2)	Yh (2)	Zl (2)	Zh (2)
FIFO (2)	Xl (3)	Xh (3)	Yl (3)	Yh (3)	Zl (3)	Zh (3)
FIFO (3)	Xl (4)	Xh (4)	Yl (4)	Yh (4)	Zl (4)	Zh (4)
...
...
FIFO (30)	Xl (31)	Xh (31)	Yl (31)	Yh (31)	Zl (31)	Zh (31)
FIFO (31)	Xl (32)	Xh (32)	Yl (32)	Yh (32)	Zl (32)	Zh (32)

表 40表示的是存储了32个样本时FIFO已满的状态，而表 41表示下一步，当第33个采样插入到FIFO中，同时第1个采样被覆盖。新的最早样本集合在输出寄存器中可用。

如果FIFO已使能，并且所处模式不是Bypass模式，LSM303AGR输出寄存器（28h到2Dh）始终会包含最早的FIFO样本集合。

4.8.2 FIFO寄存器

FIFO缓冲区由三个不同的加速度计寄存器进行管理，其中两个寄存器可使能并配置FIFO特性，第三个寄存器会提供关于缓冲区状态的信息。

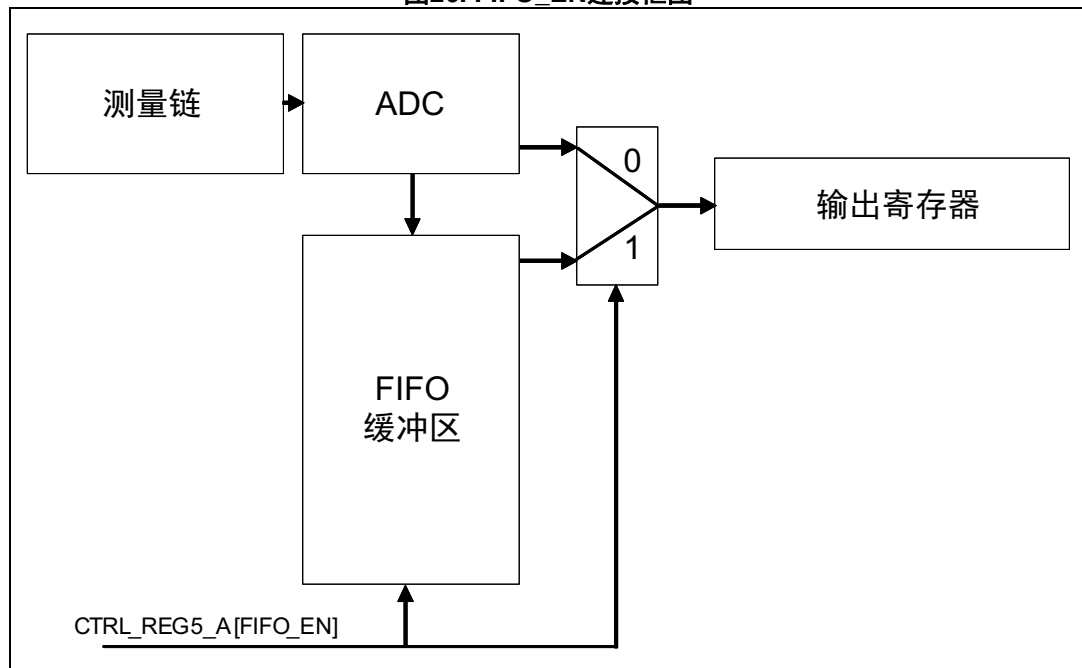
控制寄存器5（0x24）

CTRL_REG5_A中的FIFO_EN位必须设为1才能使能内部的先进先出缓冲区；如果该位置1，加速度计输出寄存器（28h到2Dh）不会包含当前加速度计值，但始终会包含FIFO中存储的最早值。

表42. CTRL_REG5_A中的FIFO使能位

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
X	FIFO_EN	X	X	X	X	X	X

图26. FIFO_EN连接框图



FIFO控制寄存器（0x2E）

该寄存器专用于FIFO模式选择和水位标志配置。

表43. FIFO_CTRL_REG_A

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
FM1	FM0	TR	FTH4	FTH3	FTH2	FTH1	FTH0

FM[1:0]位专用于定义FIFO缓冲区特性选择：

1. FM[1:0] = (0,0)：Bypass模式
2. FM[1:0] = (0,1)：FIFO模式
3. FM[1:0] = (1,0)：Stream模式
4. FM[1:0] = (1,1)：Stream-FIFO模式

用于激活Stream-FIFO模式的触发与已选INT1_SRC_A寄存器IA位的值相关，不取决于中断引脚值和极性。如果已选中断未驱动到中断引脚，也会生成触发。

FTH[4:0]位用于定义水位标志等级；如果FIFO内容超过该值，FIFO源寄存器中的WTM位会置“1”。

FIFO源寄存器 (0x2F)

该寄存器每个ODR会更新一次，会提供关于FIFO缓冲区状态的信息。

表44. FIFO_SRC_REG_A

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
WTM	OVRN_FIFO	空	FSS4	FSS3	FSS2	FSS1	FSS0

- 如果FIFO内容超过水位标志等级，WTM位会置1。
- 如果FIFO缓冲区已满，OVRN_FIFO位会置1；这意味着FIFO缓冲区包含32个未读样本。下一ODR时，新样本集合会替换最早的FIFO值。第一个样本集合已被读取时，OVRN_FIFO位会复位。
- 当所有FIFO样本已被读取并且FIFO为空时，EMPTY标志会置1。
- FSS[4:0]字段始终包含FIFO缓冲区中存储的当前未读样本数。FIFO使能后，该值会以ODR频率增加，直至缓冲区已满，随后，每次从FIFO读取一个样本集合，该值都会减小。

寄存器内容会与FIFO写操作和读操作同步更新。

表45. FIFO_SRC_REG_A特性 (假定FTH[4:0] = 15)

WTM	OVRN_FIFO	空	FSS[4:1]	未读FIFO样本	时序
0	0	1	00000	0	t0
0	0	0	00001	1	t0 + 1/ODR
0	0	0	00010	2	t0 + 2/ODR
...
0	0	0	01111	15	t0 + 15/ODR
1	0	0	10000	16	t0 + 16/ODR
...
1	0	0	11110	30	t0 + 30/ODR
1	0	0	11111	31	t0 + 31/ODR
1	1	0	11111	32	t0 + 32/ODR

可通过配置CTRL_REG3_A使能水位标志和FIFO溢出事件，以便在INT1引脚上生成专用中断。

表46. CTRL_REG3_A (0x22)

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
X	X	X	X	X	I1_WTM	I1_OVERRUN	X

- I1_WTM位会驱动INT1引脚上的水位标志(WTM)。
- I1_OVERRUN位会驱动INT1引脚上的溢出事件(OVRN)。

如果两个位均置“1”，INT1引脚状态为两个信号的逻辑或组合。

4.8.3 FIFO模式

LSM303AGR FIFO缓冲区可配置为在四种不同的模式下工作，可通过FIFO_CTRL_REG_A中的FM[1:0]字段选择工作模式。提供的配置可确保实现高度灵活性，并可增加应用开发中可使用的功能数。

Bypass、FIFO、Stream和Stream-FIFO模式在下面几段中进行了介绍。

Bypass模式

启用Bypass模式后，FIFO不可运行：缓冲区内容会被清空、输出寄存器（0x28到0x2D）会冻结为最后载入的值，在选择其他模式之前，FIFO缓冲区会保持空白状态。

请按照以下步骤配置Bypass模式：

1. 将控制寄存器5（0x24）中的FIFO_En位置“1”可使能FIFO。执行完此操作后，FIFO缓冲区会使能，但不会采集数据，数据寄存器冻结为上次加载的样本集合。
2. 将FIFO控制寄存器(0x2E)中的FM[1:0]字段设为“00”可激活Bypass模式。如果启用该模式，FIFO源寄存器(0x2F)会前置设为等于0x20。

当在不同模式下工作时，要停止和复位FIFO缓冲器，必须使用Bypass模式。请注意，将FIFO缓冲区置于Bypass模式会清除整个缓冲区的内容。

FIFO模式

在FIFO模式下，缓冲区会继续填入数据，直至填满为止（存储32个样本集合），随后，缓冲区会停止采集数据，FIFO内容保持不变，直至选择了另一模式。

请按照以下步骤配置FIFO模式：

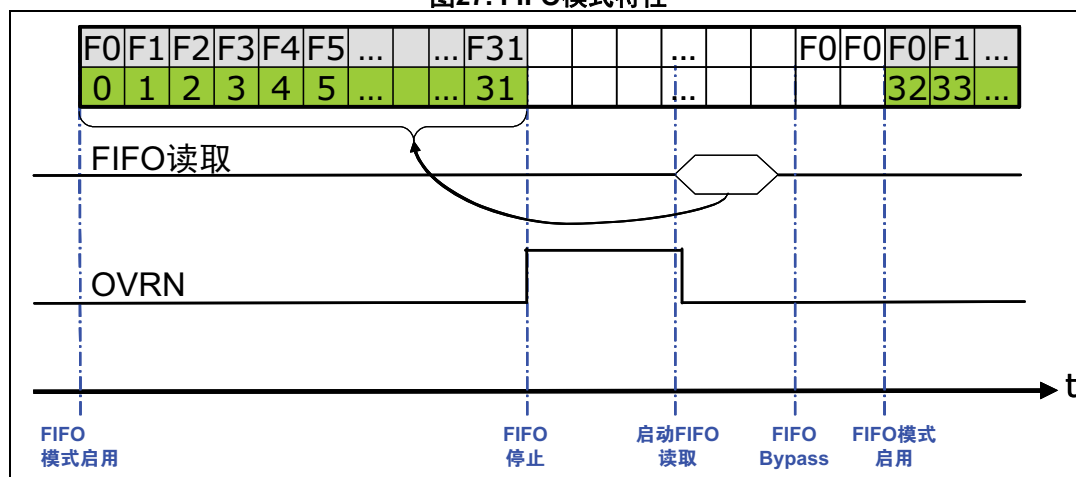
1. 将控制寄存器5（0x24）中的FIFO_EN位置“1”可使能FIFO。执行完此操作后，FIFO缓冲区会使能，但不会采集数据，数据寄存器冻结为上次加载的样本集合。
2. 将FIFO控制寄存器（0x2E）中的FM[1:0]字段设为“01”可激活Bypass模式。

选择该模式后，FIFO会开始进行数据采集，源寄存器(0x2F)也会根据存储的样本数发生变化。此过程结束时，如果选择了控制寄存器3中的I1_OVERRUN位，源寄存器会设为0xDF，OVRN标志会生成中断。如果OVRN_FIFO置为“1”，可重新获取数据，获取数据时会从输出寄存器读取32个样本集合，如果应用要求的样本数较少，还可以根据WTM标志（而不是OVRN）重新获取数据。由于在FIFO模式下数据采集已停止，并且不存在覆盖已获取数据的风险，因此通信速度并不重要。重新启动FIFO模式之前，请务必在读取程序之后退出Bypass模式。

推荐的程序如下：

1. 将FIFO_EN置1：使能FIFO
2. 将FM[1:0]设为(0,1)：使能FIFO模式
3. 等待OVRN或WTM中断
4. 从加速度计输出寄存器读取数据
5. 将FM[1:0]设为(0,0)：使能Bypass模式
6. 重复第2点及后续步骤

图27. FIFO模式特性



如果使能了FIFO模式，缓冲区会开始采集数据，并会以所选输出数据速率填入全部32个位置（从F0到F31）。缓冲区已满后OVRN_FIFO位会变为高电平，数据采集会永久停止；用户可随时读取FIFO内容，因为在选择Bypass模式之前，FIFO缓冲区的内容保持不变。读取程序包括32个6字节样本集合（共192字节），会从FIFO中存储的最早的样本（F0）开始获取数据。第一个样本集合已被读取时，OVRN_FIFO位会复位。Bypass模式设置会复位FIFO并允许用户再次使能FIFO模式。

Stream模式

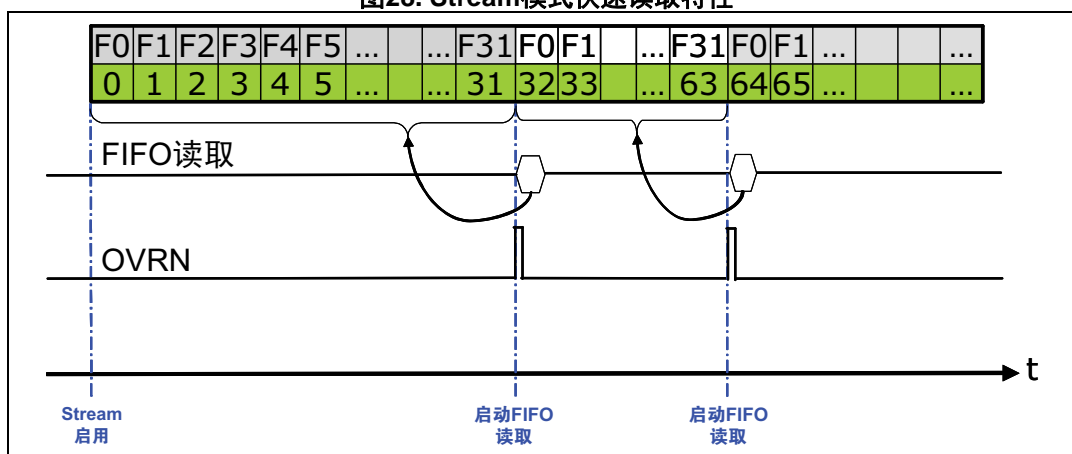
在Stream模式下，FIFO会继续填入数据，如果缓冲区已满，FIFO索引会从头开始使用，较早的数据会被当前数据替代。最早先的数据继续被覆盖，直至读取操作释放了FIFO位置。为了使FIFO位置的释放速度快于获得新数据的速度，主机处理器的读取速度至关重要。FM[1:0] Bypass配置用于停止该模式。

请按照以下步骤配置FIFO模式：

1. 将控制寄存器5 (0x24) 中的FIFO_EN位置“1”可使能FIFO。执行完此操作后，FIFO缓冲区会使能，但不会采集数据，数据寄存器冻结为上次加载的样本集合。
2. 将FIFO控制寄存器(0x2E)中的FM1:0I字段设为“10”可激活Stream模式。

如上所述，对于FIFO模式，如果OV_{RN}_FIFO置为“1”，可重新获取数据，获取数据时会从输出寄存器读取32个样本集合，如果应用要求的样本数较少，还可以根据WTM标志重新获取数据。

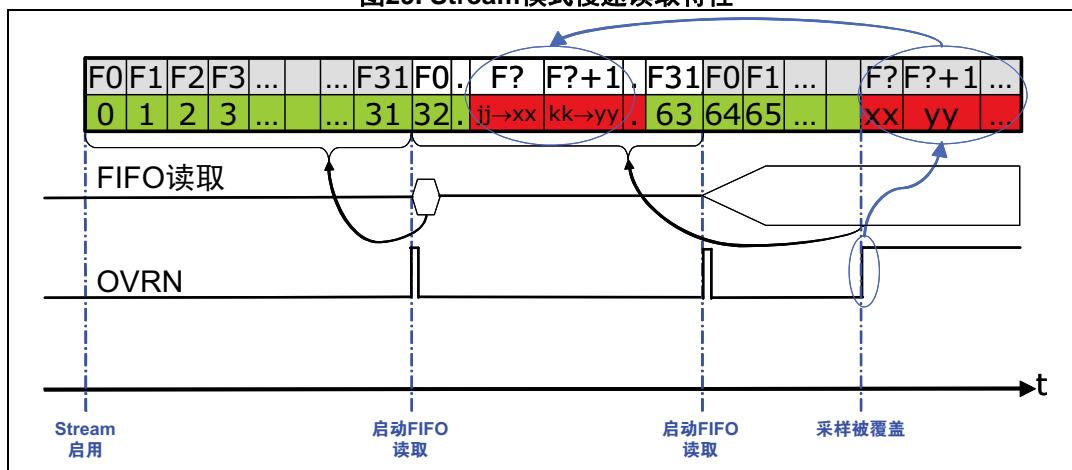
图28. Stream模式快速读取特性



在Stream模式下，FIFO缓冲区会以选定的输出数据速率持续填入数据（从F0到F31）。缓冲区填满后，OVRN标志会变为高电平，建议以快于 $1 \times \text{ODR}$ 的速度读取所有FIFO样本（192个字节），以便释放FIFO空间供新的加速度样本使用。这样可避免数据丢失，并可减少主机处理器干预，从而可提高系统效率。如果读取过程的速度不够快，可观察到三种不同的情况：

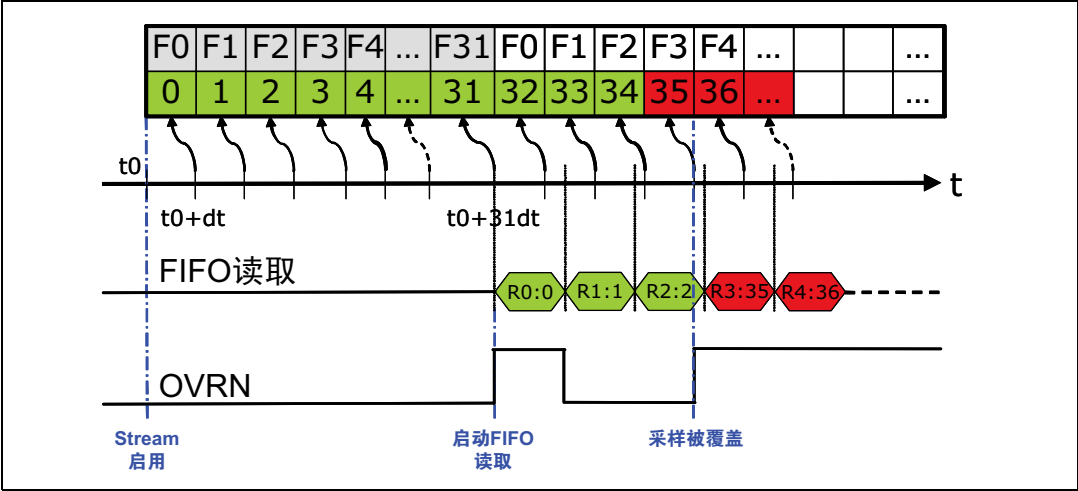
1. FIFO样本集合（6字节）的读取速度快于 $1 \times \text{ODR}$ ：由于新数据生成前已释放了FIFO位置，因此可正确地重新获取数据。
2. FIFO样本集合（6字节）的读取速度与 $1 \times \text{ODR}$ 同步：由于新数据生成前已释放了FIFO位置，因此可正确地重新获取数据，但没有用到FIFO的优势。这种情况相当于在发生数据就绪中断时读取数据，与标准的加速度计读取相比，不会限制主机处理器的干预。
3. FIFO样本集合（6字节）的读取速度比 $1 \times \text{ODR}$ 慢：在这种情况下，一些数据会丢失，因为数据恢复的速度不够快，无法为新的加速度数据释放FIFO位置。图29.正确恢复的样本数与当前ODR与FIFO样本集合读取速率之差相关。

图29. Stream模式慢速读取特性



在图29中，由于读取速度慢，不会重新获取来自“jj”的数据，因为这些数据会被系统生成的新加速度计样本所代替。

图30. Stream模式慢速读取（放大图）



使能Stream模式后，FIFO位置会在每个ODR时间帧结束时填入数据。OVRN标志置“1”后，必须立即开始读取过程，读取操作开始时数据会从FIFO中取出。读取命令发送到器件后，输出寄存器内容会移动到SPI/I²C寄存器，当前最早的FIFO值会移入输出寄存器，以执行下一次读取操作。如果读取速度比1*ODR慢，新样本插入到寻址位置后，可从FIFO重新获取一些数据。在图 30中，F3索引刷新后会开始执行第四条读取命令，此命令会中断数据读取。OVRN标志告知用户该事件已发生。本例中读取了三个正确样本，正确恢复的样本数取决于ODR和FIFO样本集合读取时间帧之差。

此模式是先前所述Stream模式与FIFO模式的结合。在Stream-FIFO模式下，FIFO缓冲区会在Stream模式下开始工作，并会在选定的中断发生后切换为FIFO模式。

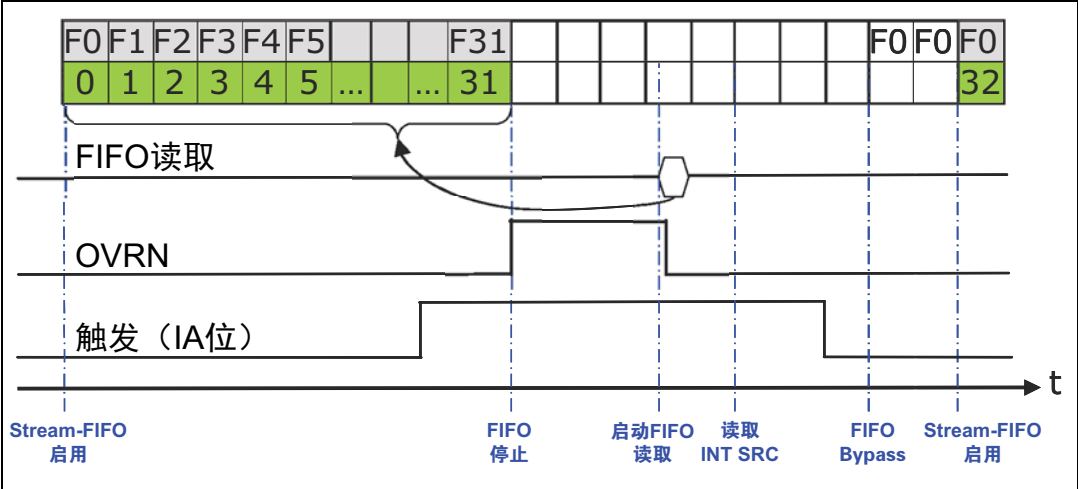
1. 使用寄存器INT1_CFG_A (0x30)配置所需中断发生器。
2. 根据配置的中断发生器配置FIFO控制寄存器(0x2E)中的TR位：将TR设为“0”可选择中断1，将TR设为“1”可选择中断2。
3. 将控制寄存器5 (0x24) 中的FIFO_EN位置“1”可使能FIFO。执行完此操作后，FIFO缓冲区会使能，但不会采集数据，数据寄存器冻结为上次加载的数据。
4. 将FIFO控制寄存器 (0x2E) 中的FM[1:0]字段设为“11”可激活Stream-FIFO模式。

在Stream模式下，FIFO缓冲区会继续填入数据，当缓冲区已满时，OVRN_FIFO位会置1，后续样本会覆盖原样本。发生触发时，可观察到两种不同情况：

1. 如果FIFO缓冲区已满(OVRN_FIFO = "1"), 则会在触发后收到第一个样本时停止采集数据。FIFO内容由触发事件前的30个样本、生成了中断的样本以及触发后的一个样本构成。
2. 如果FIFO未满(初始瞬态), 则会继续填入数据, 直至填满为止(OVRN_FIFO = "1"), 之后, 如果触发条件仍存在, FIFO会停止采集数据。

The diagram illustrates the Stream-FIFO mode operation. At the top, a FIFO buffer is shown with 36 slots. Slots 0-3 are red (FIFO read), slots 4-35 are green (FIFO write), and slots 36-40 are white. Data is written from F0 to F32. Below the buffer, four signals are shown: 'FIFO读取' (FIFO read), 'OVRN' (overflow flag), '触发 (IA位)' (trigger/IA bit), and 't' (time). The 'FIFO读取' signal is active during the red slots. The 'OVRN' signal is active when the buffer is full (slots 31-35). The '触发 (IA位)' signal is active during the green slots. The 't' axis shows the sequence of events: 'Stream-FIFO 启用' (enable), '中断丢失' (interrupt loss), 'FIFO 停止' (stop), and '启动FIFO 读取' (start FIFO read). A red double-headed arrow labeled 'ODR' indicates the output data rate.

图32. Stream-FIFO模式：中断锁存

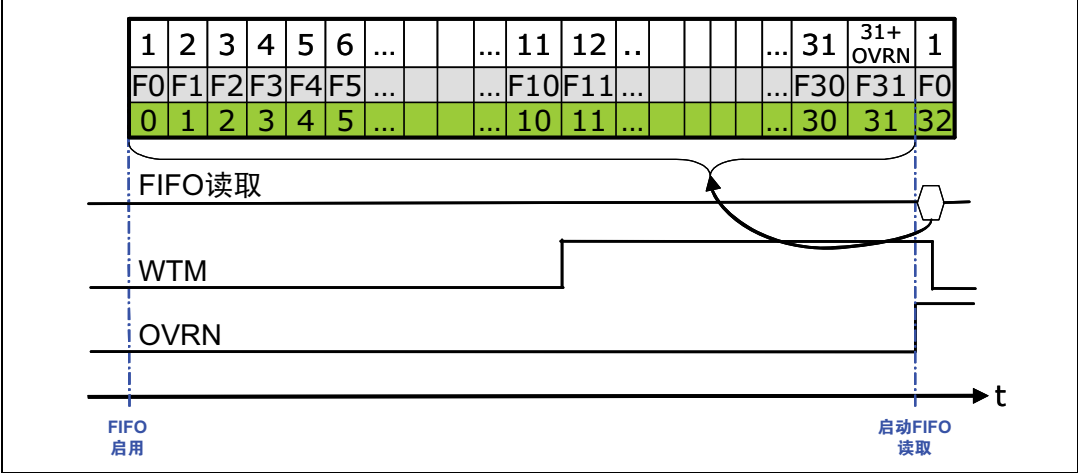


可使用Stream-FIFO来分析生成中断的数据历史；标准操作是在FIFO模式已触发、FIFO缓冲区已满并停止时读取FIFO内容。

4.8.4 水位标志

水位标志是可用于生成特定中断的可配置标志，可用于确定FIFO缓冲区何时包含的样本数至少为定义为水位等级的数目。用户可使用FIFO控制寄存器中的FTH[4:0]字段选择所需级别（范围为0到31），而FIFO源寄存器FSS[4:0]始终包含存储在FIFO中的样本数。如果FSS[4:0]大于FTH[4:0]，FIFO源寄存器中的WTM位会置1，相反，如果FSS[4:0]字段小于FTH[4:0]，WTM会置0。每个ODR频率FSS[4:0]会增加一步，而每次用户读取一组数据时，FSS[4:0]会减小一步。

图33. 水印特性 - FTH[4:0] = 10



在图 33中，第一行指示FSS[4:0]值，第二行指示相对FIFO位置，最后一行显示增加的FIFO数据。假定FTH[4:0] = 10，当第11个FIFO位置(F10)被填入数据时，WTM标志会从“0”变为“1”。图 34显示了当FIFO内容小于FTH[4:0]时，WTM标志变为低电平，这意味着第9个未读样本集合仍在FIFO中。可将CTRL_REG3_A中的I1_WTM位置为高电平，以此使能水位标志(WTM)，在INT1引脚上生成专用中断。

4.8.5 从FIFO读取数据

如果FIFO已使能，并且所处模式不是Bypass模式，读取输出寄存器（28h到2Dh）会返回最早的FIFO样本集合。

读取输出寄存器时，其内容会移至SPI/I²C输出缓冲区。FIFO位置上移一位，以便为接收的新样本释放空间，并使输出寄存器能够载入FIFO缓冲区中存储的当前最早的值。

整个FIFO内容是通过将加速度计输出寄存器执行32次读取操作读取的，FIFO缓冲区有新样本集合之前，所有其他的读取操作都会返回相同的最后值。

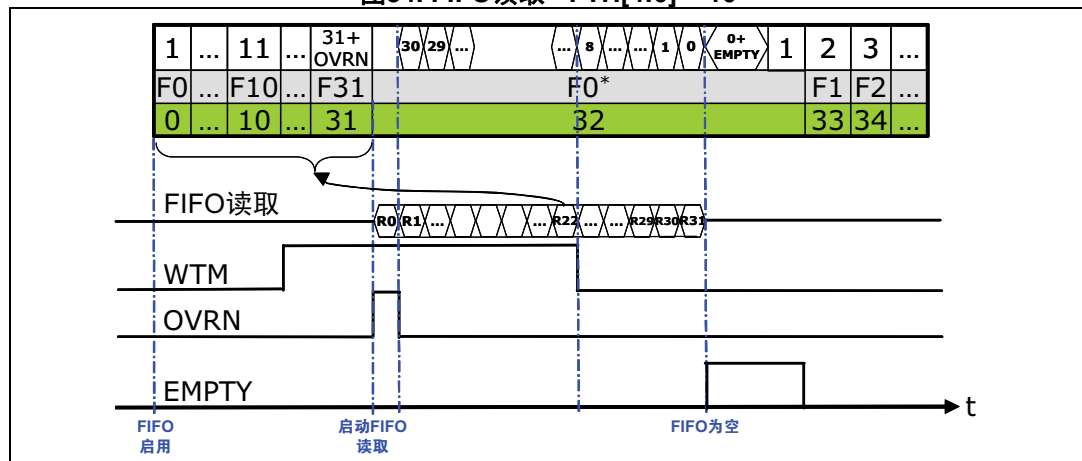
为了提高应用的灵活性，可使用每种读取字节组合从FIFO读取数据（例如：196次单字节读取，32次6字节读取，1次196字节的多字节读取等）。

建议以快于1*ODR的速度通过196字节多字节读取的方式来读取所有FIFO位置（6个输出寄存器乘以32个存储位置）。为了最大限度地减少主器件与从器件之间的通信，器件会自动更新读取地址；到达寄存器0x2D时，会回滚到0x28。

为了避免数据丢失，必须按照可用的串行通信速率选择正确的ODR。如果使用的是标准I²C模式（最大速率为100 kHz），单次样本集合读取会用时830 μs，而整体FIFO下载约用时17.57 ms。I²C速度低于SPI，它需要大约29个时钟脉冲才能开始通信（开始、从地址，器件地址+写入、重新启动、器件地址+读取），并且每个字节读取都需要额外9个时钟脉冲。如果遵循该建议，完整FIFO读取的执行速度会快于1*ODR，这意味着如果使用标准I²C，可选ODR必须低于57 Hz。

如果使用快速I²C模式（最大速率400 kHz），可选ODR必须低于228 Hz。

图34. FIFO读取 - FTH[4:0] = 10



在图34中，“Rx”表示6字节读取操作，“F0*”代表单个ODR时隙（示意图进行了放大）。

4.9 温度传感器

配有内部温度传感器。温度数据可通过将TEMP_CFG_REG_4(1Fh)寄存器的TEMP_EN[1:0]位置为1来使能。

为了检索温度传感器数据，必须将CTRL_REG4_A(23h)寄存器的BDU位置为1。

必须读取OUT_TEMP_L_A(0Ch)和OUT_TEMP_H_A(0Dh)寄存器。

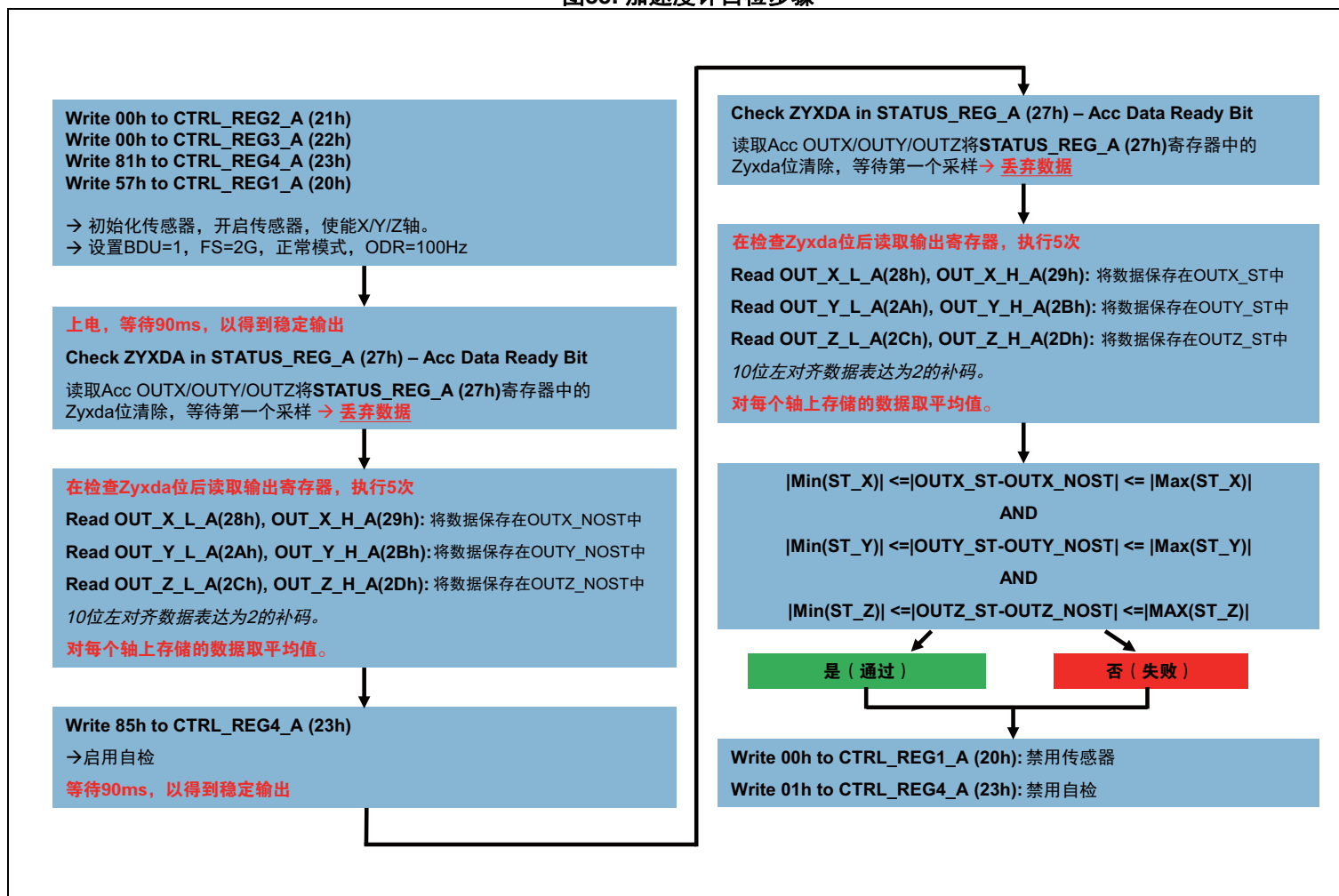
温度数据作为8位左对齐二进制补码数据保存在OUT_TEMP_H寄存器中。

4.10 加速度计自检

自检允许用户检查传感器功能而无需移动传感器。当自检使能时，传感器上会施加一个致动力，模拟一定的数据加速度。这种情况下，传感器输出会在其DC电平上表现出变化，该电平通过器件灵敏度关联到所选满量程。当自检功能激活时，器件输出电平由作用在传感器上的加速度和静电测试力的代数和给出。如果输出信号在给定范围（数据表中提供了最小值和最大值）内变化，则传感器正常工作，接口芯片的参数在定义范围内。

自检过程如下图所示。

图35. 加速度计自检步骤



5 版本历史

表47. 文档版本历史

日期	版本	变更
2016年4月12日	1	初始版本

表48. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2020年3月19日	1	中文初始版本

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。若需 ST 商标的更多信息，请参考 www.st.com/trademarks。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2020 STMicroelectronics - 保留所有权利