

---

## ISM330DLC: 面向工业应用具有数字输出的 3D 加速度和 3D 陀螺仪

### 引言

本文档旨在提供 ST **ISM330DLC iNEMO** 六轴惯性传感器模块相关的使用信息和应用提示。

**ISM330DLC** 是系统级封装的 3D 数字加速度计和 3D 数字陀螺仪，具有数字 I<sup>2</sup>C/SPI 串口标准输出，在组合高性能工作模式下 6 轴功耗 0.75 mA。

该器件具有动态的用户可选择的满量程加速度范围：±2/±4/±8/±16 g，且角速率范围为±125/±250/±500/±1000/±2000 dps。

其中的智能特性可简化并优化应用设计，允许在功率受限的应用中使用复杂的运动检测信息。

经过配置，ISM330DLC 可利用硬件识别出的自由落体事件、6D 方向、单击和双击感应、活动或不活动、唤醒事件，来生成中断信号。

可使用不同连接模式与外部传感器相连，从而实现额外的功能，例如传感器集合（sensor hub）、辅助 SPI 等。

集成 4 Kbyte 的智能先进先出（FIFO）缓冲器，支持对有效数据（包括加速度计和陀螺仪数据、外部传感器数据、时间戳和温度数据）进行动态批处理。

ISM330DLC 采用小型塑料焊盘网格阵列封装（LGA-14L），可确保在更大的温度范围（-40 °C 至+85 °C）内正常工作。

## 1 引脚说明

图 1. 引脚连接

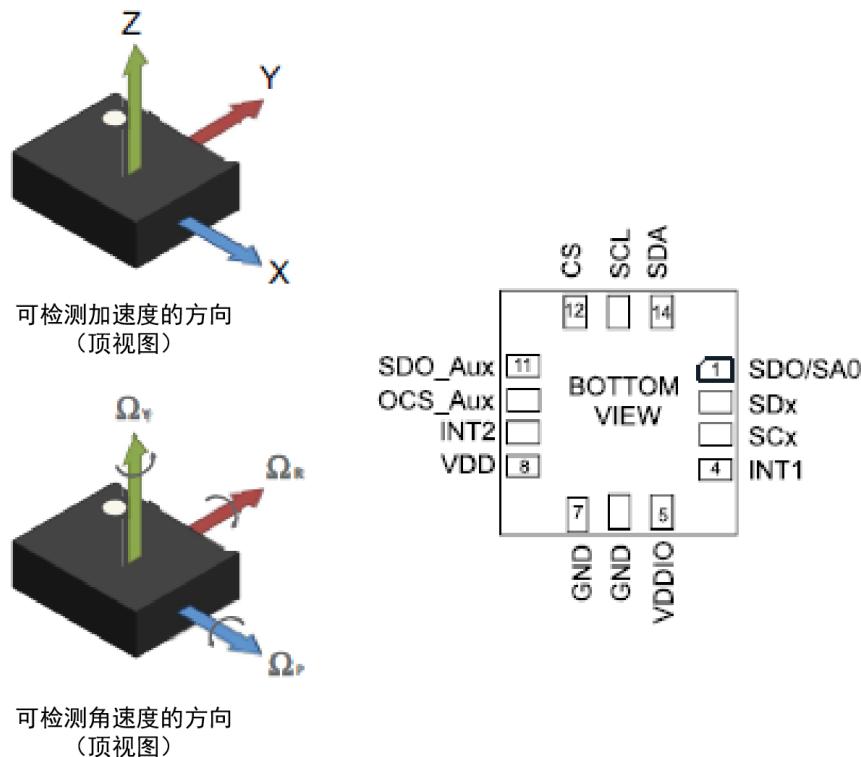


表 1. 引脚状态

引脚#	名称	模式 1 功能	模式 2 功能	模式 3/4 功能	引脚状态模式 1	引脚状态模式 2	引脚状态模式 3/4
1	SDO SA0	SPI 4 线接口串行数据输出 (serial data output, SDO) 器件地址的 I <sup>2</sup> C 最低有效位 (SA0)	SPI 4 线接口串行数据输出 (serial data output, SDO) 器件地址的 I <sup>2</sup> C 最低有效位 (SA0)	SPI 4 线接口串行数据输出 (serial data output, SDO) 器件地址的 I <sup>2</sup> C 最低有效位 (SA0)	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 12h 中位 SIM = 1 (SPI 3 线)，则 上拉使能。	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 12h 中位 SIM = 1 (SPI 3 线)，则 上拉使能。	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 12h 中位 SIM = 1 (SPI 3 线)，则 上拉使能。
2	SDx	连接到 VDDIO 或 GND	I <sup>2</sup> C 串行数据主机 (MSDA)	辅助 SPI 3/4 线接口串行数据输入 (SDI) 和 SPI 3 线串行数据输出 (SDO)	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 1 Ah 中的位 PULL_UP_EN = 1，则 上拉使能。	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 1 Ah 中的位 PULL_UP_EN = 1，则 上拉使能。	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 1 Ah 中的位 PULL_UP_EN = 1，则 上拉使能。
3	SCx	连接到 VDDIO 或 GND	I <sup>2</sup> C 串行时钟主机 (MSDA)	辅助 SPI 3/4 线接口串行端口时 钟 (SPC_Aux)	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 1 Ah 中的位 PULL_UP_EN = 1，则 上拉使能。	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 1 Ah 中的位 PULL_UP_EN = 1，则 上拉使能。	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 1 Ah 中的位 PULL_UP_EN = 1，则 上拉使能。
4	INT1	可编程中断 1	可编程中断 1	可编程中断 1	默认值: 输出强制接地	默认值: 输出强制接地	默认值: 输出强制接地
5	Vdd_IO	I/O 引脚的供电	I/O 引脚的供电	I/O 引脚的供电			
6	GND	0 V 电源	0 V 电源	0 V 电源			
7	GND	0 V 电源	0 V 电源	0 V 电源			
8	Vdd	电源	电源	电源			
9	INT2	可编程中断 2 (INT2) / 数据使 能 (Data enable, DEN)	可编程中断 2 (INT2) / 数据使 能 (DEN) / I <sup>2</sup> C 主线外部同步信 号 (MDRDY)	可编程中断 2 (INT2) / 数据使 能 (Data enable, DEN)	默认值: 输出强制接地	默认值: 输出强制接地	默认值: 输出强制接地
10	OCS	保持断开	保持断开	辅助 SPI 3/4 线接口使能	默认值: 带上拉的输入。 (请参见下方的注释禁用上拉)	默认值: 带上拉的输入。 (请参见下方的注释禁用上拉)	输入无上拉
11	SDO_Aux	连接到 VDDIO 或保持断开	连接到 VDDIO 或保持断开	辅助 SPI 3/4 线接口: 保持断开/ 辅助 SPI 4 线接口串行数据输出 (serial data output, SDO_Aux)	默认值: 带上拉的输入。 (请参见下方的注释禁用上拉)	默认值: 带上拉的输入。 (请参见下方的注释禁用上拉)	默认值: 无上拉的输入。如果寄存器 70h 中的位 SIM_OIS = 1 (Aux_SPI 3 线)，则上拉使能。
12	CS	I <sup>2</sup> C/SPI 模式选择 (1: SPI 空闲 模式/I <sup>2</sup> C 通信使能; 0: SPI 通 信模式/I <sup>2</sup> C 禁用)	I <sup>2</sup> C/SPI 模式选择 (1: SPI 空闲 模式/I <sup>2</sup> C 通信使能; 0: SPI 通 信模式/I <sup>2</sup> C 禁用)	I <sup>2</sup> C/SPI 模式选择 (1: SPI 空闲 模式/I <sup>2</sup> C 通信使能; 0: SPI 通 信模式/I <sup>2</sup> C 禁用)	默认值: 带上拉的输入。如果寄存器 13h 中的位 I2C_disable = 1，则上拉 禁用。	默认值: 带上拉的输入。如果寄存器 13h 中的位 I2C_disable = 1，则上拉 禁用。	默认值: 带上拉的输入。如果寄存器 13h 中的位 I2C_disable = 1，则上拉 禁用。
13	SCL	I <sup>2</sup> C 串行时钟 (SCL) /SPI 串口 时钟 (SPC)	I <sup>2</sup> C 串行时钟 (SCL) /SPI 串口 时钟 (SPC)	I <sup>2</sup> C 串行时钟 (SCL) /SPI 串口 时钟 (SPC)	输入无上拉	输入无上拉	输入无上拉
14	SDA	I <sup>2</sup> C 串行数据 (SDA) / SPI 串 行数据输入 (SDI) / 3 线接口串 行数据输出 (SDO)	I <sup>2</sup> C 串行数据 (SDA) / SPI 串行 数据输入 (SDI)，3 线制接口串 行数据输出 (SDO)	I <sup>2</sup> C 串行数据 (SDA) / SPI 串行 数据输入 (SDI)，3 线制接口串 行数据输出 (SDO)	输入无上拉	输入无上拉	输入无上拉

内部上拉值范围从 30 kΩ 至 50 kΩ，取决于 VDDIO。

注: 禁用引脚 10-11 上上拉的步骤

1. 从主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口: 在地址 00h 的寄存器中写入 80h
2. 从主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口: 在地址 05h 的寄存器中写入 01h (禁用引脚 10 & 11 上的上拉)
3. 从主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口: 在地址 00h 的寄存器中写入 00h

## 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
FUNC_CFG_ACCESS	01h	FUNC_CFG_EN	0	0	0	0	0	0	0
SENSOR_SYNC_TIME_FRAME	04h	0	0	0	0	TPH_3	TPH_2	TPH_1	TPH_0
SENSOR_SYNC_RES_RATIO	05h	0	0	0	0	0	0	RR_1	RR_0
FIFO_CTRL1	06h	FTH_7	FTH_6	FTH_5	FTH_4	FTH_3	FTH_2	FTH_1	FTH_0
FIFO_CTRL2	07h	FIFO_TIMER_EN	0	0	0	FIFO_TEMP_EN	FTH_10	FTH_9	FTH_8
FIFO_CTRL3	08h	0	0	DEC_FIFO_GYRO2	DEC_FIFO_GYRO1	DEC_FIFO_GYRO0	DEC_FIFO_XL2	DEC_FIFO_XL1	DEC_FIFO_XL0
FIFO_CTRL4	09h	STOP_ON_FTH	ONLY_HIGH_DATA	DEC_DS4_FIFO2	DEC_DS4_FIFO1	DEC_DS4_FIFO0	DEC_DS3_FIFO2	DEC_DS3_FIFO1	DEC_DS3_FIFO0
FIFO_CTRL5	0Ah	0	ODR_FIFO_3	ODR_FIFO_2	ODR_FIFO_1	ODR_FIFO_0	FIFO_MODE_2	FIFO_MODE_1	FIFO_MODE_0
DRDY_PULSE_CFG	0Bh	DRDY_PULSED	0	0	0	0	0	0	0
INT1_CTRL	0Dh	0	0	INT1_FULL_FLAG	INT1_FIFO_OVR	INT1_FTH	INT1_BOOT	INT1_DRDY_G	INT1_DRDY_XL
INT2_CTRL	0Eh	0	0	INT2_FULL_FLAG	INT2_FIFO_OVR	INT2_FTH	INT2_DRDY_TEMP	INT2_DRDY_G	INT2_DRDY_XL
WHO_AM_I	0Fh	0	1	1	0	1	0	1	0
CTRL1_XL	10h	ODR_XL3	ODR_XL2	ODR_XL1	ODR_XL0	FS_XL1	FS_XL0	LPF1_BW_SEL	BW0_XL
CTRL2_G	11h	ODR_G3	ODR_G2	ODR_G1	ODR_G0	FS_G1	FS_G0	FS_125	0
CTRL3_C	12h	BOOT	BDU	H_LACTIVE	PP_OD	SIM	IF_INC	BLE	SW_RESET
CTRL4_C	13h	DEN_XL_EN	SLEEP	INT2_on_INT1	DEN_DRDY_INT1	DRDY_MASK	I2C_disable	LPF1_SEL_G	0
CTRL5_C	14h	ROUNDING2	ROUNDING1	ROUNDING0	DEN_LH	ST1_G	ST0_G	ST1_XL	ST0_XL
CTRL6_C	15h	TRIG_EN	LVL1_EN	LVL2_EN	XL_HM_MODE	USR_OFF_W	0	FTYPE_1	FTYPE_0
CTRL7_G	16h	G_HM_MODE	HP_G_EN	HPM1_G	HPM0_G	0	ROUNDING_STATUS	0	0
CTRL8_XL	17h	LPF2_XL_EN	HPCF_XL1	HPCF_XL0	HP_REF_MODE	INPUT_COMPOSITE	HP_SLOPE_XL_EN	0	LOW_PASS_ON_6D
CTRL9_XL	18h	DEN_X	DEN_Y	DEN_Z	DEN_XL_G	0	SOFT_EN	0	0
CTRL10_C	19h	0	0	TIMER_EN	0	TILT_EN	FUNC_EN	0	0
MASTER_CONFIG	1Ah	DRDY_ON_INT1	DATA_VALID_SEL_FIFO	0	START_CONFIG	PULL_UP_EN	PASS_THROUGH_MODE	IRON_EN	MASTER_ON
WAKE_UP_SRC	1Bh	0	0	FF_IA	SLEEP_STATE_IA	WU_IA	X_WU	Y_WU	Z_WU
TAP_SRC	1Ch	0	TAP_IA	SINGLE_TAP	DOUBLE_TAP	TAP_SIGN	X_TAP	Y_TAP	Z_TAP
D6D_SRC	1Dh	DEN_DRDY	D6D_IA	ZH	ZL	YH	YL	XH	XL

根据保密协议 - 不可复制

寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
STATUS_REG / STATUS_SPIAux	1Eh	0	0	0	0	0	TDA / GYRO_ SETTLING	GDA / GDA	XLDA / XLDA
OUT_TEMP_L	20h	Temp7	Temp6	Temp5	Temp4	Temp3	Temp2	Temp1	Temp0
OUT_TEMP_H	21h	Temp15	Temp14	Temp13	Temp12	Temp11	Temp10	Temp9	Temp8
OUTX_L_G	22h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTX_H_G	23h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTY_L_G	24h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTY_H_G	25h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTZ_L_G	26h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTZ_H_G	27h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTX_L_XL	28h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTX_H_XL	29h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTY_L_XL	2Ah	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTY_H_XL	2Bh	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUTZ_L_XL	2Ch	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTZ_H_XL	2Dh	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
SENSORHUB1_REG	2Eh	SHub1_7	SHub1_6	SHub1_5	SHub1_4	SHub1_3	SHub1_2	SHub1_1	SHub1_0
SENSORHUB2_REG	2Fh	SHub2_7	SHub2_6	SHub2_5	SHub2_4	SHub2_3	SHub2_2	SHub2_1	SHub2_0
SENSORHUB3_REG	30h	SHub3_7	SHub3_6	SHub3_5	SHub3_4	SHub3_3	SHub3_2	SHub3_1	SHub3_0
SENSORHUB4_REG	31h	SHub4_7	SHub4_6	SHub4_5	SHub4_4	SHub4_3	SHub4_2	SHub4_1	SHub4_0
SENSORHUB5_REG	32h	SHub5_7	SHub5_6	SHub5_5	SHub5_4	SHub5_3	SHub5_2	SHub5_1	SHub5_0
SENSORHUB6_REG	33h	SHub6_7	SHub6_6	SHub6_5	SHub6_4	SHub6_3	SHub6_2	SHub6_1	SHub6_0
SENSORHUB7_REG	34h	SHub7_7	SHub7_6	SHub7_5	SHub7_4	SHub7_3	SHub7_2	SHub7_1	SHub7_0
SENSORHUB8_REG	35h	SHub8_7	SHub8_6	SHub8_5	SHub8_4	SHub8_3	SHub8_2	SHub8_1	SHub8_0
SENSORHUB9_REG	36h	SHub9_7	SHub9_6	SHub9_5	SHub9_4	SHub9_3	SHub9_2	SHub9_1	SHub9_0
SENSORHUB10_REG	37h	SHub10_7	SHub10_6	SHub10_5	SHub10_4	SHub10_3	SHub10_2	SHub10_1	SHub10_0
SENSORHUB11_REG	38h	SHub11_7	SHub11_6	SHub11_5	SHub11_4	SHub11_3	SHub11_2	SHub11_1	SHub11_0
SENSORHUB12_REG	39h	SHub12_7	SHub12_6	SHub12_5	SHub12_4	SHub12_3	SHub12_2	SHub12_1	SHub12_0
FIFO_STATUS1	3Ah	DIFF_FIFO_7	DIFF_FIFO_6	DIFF_FIFO_5	DIFF_FIFO_4	DIFF_FIFO_3	DIFF_FIFO_2	DIFF_FIFO_1	DIFF_FIFO_0
FIFO_STATUS2	3Bh	WaterM	OVER_RUN	FIFO_FULL_ SMART	FIFO_EMPTY	0	DIFF_FIFO_10	DIFF_FIFO_9	DIFF_FIFO_8
FIFO_STATUS3	3Ch	FIFO_PATTERN_7	FIFO_PATTERN_6	FIFO_PATTERN_5	FIFO_PATTERN_4	FIFO_PATTERN_3	FIFO_PATTERN_2	FIFO_PATTERN_1	FIFO_PATTERN_0
FIFO_STATUS4	3Dh	0	0	0	0	0	0	FIFO_PATTERN_9	FIFO_PATTERN_8
FIFO_DATA_OUT_L	3Eh	DATA_OUT _FIFO_L_7	DATA_OUT _FIFO_L_6	DATA_OUT _FIFO_L_5	DATA_OUT _FIFO_L_4	DATA_OUT _FIFO_L_3	DATA_OUT _FIFO_L_2	DATA_OUT _FIFO_L_1	DATA_OUT _FIFO_L_0

寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
FIFO_DATA_OUT_H	3Fh	DATA_OUT _FIFO_H_7	DATA_OUT _FIFO_H_6	DATA_OUT _FIFO_H_5	DATA_OUT _FIFO_H_4	DATA_OUT _FIFO_H_3	DATA_OUT _FIFO_H_2	DATA_OUT _FIFO_H_1	DATA_OUT _FIFO_H_0
TIMESTAMP0_REG	40h	TIMESTAMP0_7	TIMESTAMP0_6	TIMESTAMP0_5	TIMESTAMP0_4	TIMESTAMP0_3	TIMESTAMP0_2	TIMESTAMP0_1	TIMESTAMP0_0
TIMESTAMP1_REG	41h	TIMESTAMP1_7	TIMESTAMP1_6	TIMESTAMP1_5	TIMESTAMP1_4	TIMESTAMP1_3	TIMESTAMP1_2	TIMESTAMP1_1	TIMESTAMP1_0
TIMESTAMP2_REG	42h	TIMESTAMP2_7	TIMESTAMP2_6	TIMESTAMP2_5	TIMESTAMP2_4	TIMESTAMP2_3	TIMESTAMP2_2	TIMESTAMP2_1	TIMESTAMP2_0
SENSORHUB13_REG	4Dh	SHub13_7	SHub13_6	SHub13_5	SHub13_4	SHub13_3	SHub13_2	SHub13_1	SHub13_0
SENSORHUB14_REG	4Eh	SHub14_7	SHub14_6	SHub14_5	SHub14_4	SHub14_3	SHub14_2	SHub14_1	SHub14_0
SENSORHUB15_REG	4Fh	SHub15_7	SHub15_6	SHub15_5	SHub15_4	SHub15_3	SHub15_2	SHub15_1	SHub15_0
SENSORHUB16_REG	50h	SHub16_7	SHub16_6	SHub16_5	SHub16_4	SHub16_3	SHub16_2	SHub16_1	SHub16_0
SENSORHUB17_REG	51h	SHub17_7	SHub17_6	SHub17_5	SHub17_4	SHub17_3	SHub17_2	SHub17_1	SHub17_0
SENSORHUB18_REG	52h	SHub18_7	SHub18_6	SHub18_5	SHub18_4	SHub18_3	SHub18_2	SHub18_1	SHub18_0
FUNC_SRC1	53h	0	0	TILT_IA	0	0	HI_FAIL	SI_END_OP	SENSORHUB_ END_OP
FUNC_SRC2	54h	0	SLAVE3_NACK	SLAVE2_NACK	SLAVE1_NACK	SLAVE0_NACK	0	0	0
TAP_CFG	58h	INTERRUPTS_ ENABLE	INACT_EN1	INACT_EN0	SLOPE_FDS	TAP_X_EN	TAP_Y_EN	TAP_Z_EN	LIR
TAP_THS_6D	59h	D4D_EN	SIXD_THS1	SIXD_THS0	TAP_THS4	TAP_THS3	TAP_THS2	TAP_THS1	TAP_THS0
INT_DUR2	5Ah	DUR3	DUR2	DUR1	DUR0	QUIET1	QUIET0	SHOCK1	SHOCK0
WAKE_UP_THS	5Bh	SINGLE_ DOUBLE_TAP	0	WK_THS5	WK_THS4	WK_THS3	WK_THS2	WK_THS1	WK_THS0
WAKE_UP_DUR	5Ch	FF_DUR5	WAKE_DUR1	WAKE_DUR0	TIMER_HR	SLEEP_DUR3	SLEEP_DUR2	SLEEP_DUR1	SLEEP_DUR0
FREE_FALL	5Dh	FF_DUR4	FF_DUR3	FF_DUR2	FF_DUR1	FF_DUR0	FF_THS2	FF_THS1	FF_THS0
MD1_CFG	5Eh	INT1_INACT_ STATE	INT1_SINGLE_TAP	INT1_WU	INT1_FF	INT1_ DOUBLE_TAP	INT1_6D	INT1_TILT	INT1_TIMER
MD2_CFG	5Fh	INT2_INACT_ STATE	INT2_SINGLE_TAP	INT2_WU	INT2_FF	INT2_ DOUBLE_TAP	INT2_6D	INT2_TILT	INT2_IRON
MASTER_CMD_CODE	60h	MASTER_ CMD_CODE7	MASTER_ CMD_CODE6	MASTER_ CMD_CODE5	MASTER_ CMD_CODE4	MASTER_ CMD_CODE3	MASTER_ CMD_CODE2	MASTER_ CMD_CODE1	MASTER_ CMD_CODE0
SENS_SYNC_SPI_ ERROR_CODE	61h	ERROR_CODE7	ERROR_CODE6	ERROR_CODE5	ERROR_CODE4	ERROR_CODE3	ERROR_CODE2	ERROR_CODE1	ERROR_CODE0
OUT_MAG_RAW_X_L	66h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUT_MAG_RAW_X_H	67h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUT_MAG_RAW_Y_L	68h	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUT_MAG_RAW_Y_H	69h	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
OUT_MAG_RAW_Z_L	6Ah	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUT_MAG_RAW_Z_H	6Bh	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8



寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
INT_OIS	6Fh	INT2_DRDY_OIS	LVL2_OIS	-	-	-	-	-	-
CTRL1_OIS	70h	BLE_OIS	LVL1_OIS	SIM_OIS	MODE4_EN	FS1_G_OIS	FS0_G_OIS	FS_125_OIS	OIS_EN_SPI2
CTRL2_OIS	71h	0	0	HPM1_OIS	HPM0_OIS	0	FTYPE_1_OIS	FTYPE_0_OIS	HP_EN_OIS
CTRL3_OIS	72h	DEN_LH_OIS	FS1_XL_OIS	FS0_XL_OIS	FILTER_XL_CONF_OIS_1	FILTER_XL_CONF_OIS_0	ST1_OIS	ST0_OIS	ST_OIS_CLAMPDIS
X_OFSTUSR	73h	X_OFSTUSR_7	X_OFSTUSR_6	X_OFSTUSR_5	X_OFSTUSR_4	X_OFSTUSR_3	X_OFSTUSR_2	X_OFSTUSR_1	X_OFSTUSR_0
Y_OFSTUSR	74h	Y_OFSTUSR_7	Y_OFSTUSR_6	Y_OFSTUSR_5	Y_OFSTUSR_4	Y_OFSTUSR_3	Y_OFSTUSR_2	Y_OFSTUSR_1	Y_OFSTUSR_0
Z_OFSTUSR	75h	Z_OFSTUSR_7	Z_OFSTUSR_6	Z_OFSTUSR_5	Z_OFSTUSR_4	Z_OFSTUSR_3	Z_OFSTUSR_2	Z_OFSTUSR_1	Z_OFSTUSR_0



## 2.1 嵌入功能寄存器

该器件可用的嵌入功能寄存器列表在表 3. 嵌入功能寄存器中给出。

当 FUNC\_CFG\_ACCESS (01h) 寄存器中的 FUNC\_CFG\_EN 位置为 1 时，嵌入功能寄存器可供访问。

**提示**

所有对嵌入功能寄存器内容的修改必须在加速度计和陀螺仪传感器处于掉电模式时进行。

表 3. 嵌入功能寄存器

寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
SLV0_ADD	02h	Slave0_add6	Slave0_add5	Slave0_add4	Slave0_add3	Slave0_add2	Slave0_add1	Slave0_add0	rw_0
SLV0_SUBADD	03h	Slave0_reg7	Slave0_reg6	Slave0_reg5	Slave0_reg4	Slave0_reg3	Slave0_reg2	Slave0_reg1	Slave0_reg0
SLAVE0_CONFIG	04h	Slave0_rate1	Slave0_rate0	Aux_sens_on1	Aux_sens_on0	Src_mode	Slave0_numop2	Slave0_numop1	Slave0_numop0
SLV1_ADD	05h	Slave1_add6	Slave1_add5	Slave1_add4	Slave1_add3	Slave1_add2	Slave1_add1	Slave1_add0	r_1
SLV1_SUBADD	06h	Slave1_reg7	Slave1_reg6	Slave1_reg5	Slave1_reg4	Slave1_reg3	Slave1_reg2	Slave1_reg1	Slave1_reg0
SLAVE1_CONFIG	07h	Slave1_rate1	Slave1_rate0	write_once	0	0	Slave1_numop2	Slave1_numop1	Slave1_numop0
SLV2_ADD	08h	Slave2_add6	Slave2_add5	Slave2_add4	Slave2_add3	Slave2_add2	Slave2_add1	Slave2_add0	r_2
SLV2_SUBADD	09h	Slave2_reg7	Slave2_reg6	Slave2_reg5	Slave2_reg4	Slave2_reg3	Slave2_reg2	Slave2_reg1	Slave2_reg0
SLAVE2_CONFIG	0Ah	Slave2_rate1	Slave2_rate0	0	0	0	Slave2_numop2	Slave2_numop1	Slave2_numop0
SLV3_ADD	0Bh	Slave3_add6	Slave3_add5	Slave3_add4	Slave3_add3	Slave3_add2	Slave3_add1	Slave3_add0	r_3
SLV3_SUBADD	0Ch	Slave3_reg7	Slave3_reg6	Slave3_reg5	Slave3_reg4	Slave3_reg3	Slave3_reg2	Slave3_reg1	Slave3_reg0
SLAVE3_CONFIG	0Dh	Slave3_rate1	Slave3_rate0	0	0	0	Slave3_numop2	Slave3_numop1	Slave3_numop0
DATAWRITE_SRC_MODE_SUB_SLV0	0Eh	Slave_dataw7	Slave_dataw6	Slave_dataw5	Slave_dataw4	Slave_dataw3	Slave_dataw2	Slave_dataw1	Slave_dataw0
MAG_SI_XX	24h	MAG_SI_XX_7	MAG_SI_XX_6	MAG_SI_XX_5	MAG_SI_XX_4	MAG_SI_XX_3	MAG_SI_XX_2	MAG_SI_XX_1	MAG_SI_XX_0
MAG_SI_XY	25h	MAG_SI_XY_7	MAG_SI_XY_6	MAG_SI_XY_5	MAG_SI_XY_4	MAG_SI_XY_3	MAG_SI_XY_2	MAG_SI_XY_1	MAG_SI_XY_0
MAG_SI_XZ	26h	MAG_SI_XZ_7	MAG_SI_XZ_6	MAG_SI_XZ_5	MAG_SI_XZ_4	MAG_SI_XZ_3	MAG_SI_XZ_2	MAG_SI_XZ_1	MAG_SI_XZ_0
MAG_SI_YX	27h	MAG_SI_YX_7	MAG_SI_YX_6	MAG_SI_YX_5	MAG_SI_YX_4	MAG_SI_YX_3	MAG_SI_YX_2	MAG_SI_YX_1	MAG_SI_YX_0
MAG_SI YY	28h	MAG_SI YY_7	MAG_SI YY_6	MAG_SI YY_5	MAG_SI YY_4	MAG_SI YY_3	MAG_SI YY_2	MAG_SI YY_1	MAG_SI YY_0
MAG_SI_YZ	29h	MAG_SI_YZ_7	MAG_SI_YZ_6	MAG_SI_YZ_5	MAG_SI_YZ_4	MAG_SI_YZ_3	MAG_SI_YZ_2	MAG_SI_YZ_1	MAG_SI_YZ_0
MAG_SI_ZX	2Ah	MAG_SI_ZX_7	MAG_SI_ZX_6	MAG_SI_ZX_5	MAG_SI_ZX_4	MAG_SI_ZX_3	MAG_SI_ZX_2	MAG_SI_ZX_1	MAG_SI_ZX_0
MAG_SI_ZY	2Bh	MAG_SI_ZY_7	MAG_SI_ZY_6	MAG_SI_ZY_5	MAG_SI_ZY_4	MAG_SI_ZY_3	MAG_SI_ZY_2	MAG_SI_ZY_1	MAG_SI_ZY_0
MAG_SI_ZZ	2Ch	MAG_SI_ZZ_7	MAG_SI_ZZ_6	MAG_SI_ZZ_5	MAG_SI_ZZ_4	MAG_SI_ZZ_3	MAG_SI_ZZ_2	MAG_SI_ZZ_1	MAG_SI_ZZ_0
MAG_OFFX_L	2Dh	MAG_OFFX_L_7	MAG_OFFX_L_6	MAG_OFFX_L_5	MAG_OFFX_L_4	MAG_OFFX_L_3	MAG_OFFX_L_2	MAG_OFFX_L_1	MAG_OFFX_L_0
MAG_OFFX_H	2Eh	MAG_OFFX_H_7	MAG_OFFX_H_6	MAG_OFFX_H_5	MAG_OFFX_H_4	MAG_OFFX_H_3	MAG_OFFX_H_2	MAG_OFFX_H_1	MAG_OFFX_H_0
MAG_OFFY_L	2Fh	MAG_OFFY_L_7	MAG_OFFY_L_6	MAG_OFFY_L_5	MAG_OFFY_L_4	MAG_OFFY_L_3	MAG_OFFY_L_2	MAG_OFFY_L_1	MAG_OFFY_L_0

根据保密协议 - 不可复制



寄存器名	地址	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
MAG_OFFY_H	30h	MAG_OFFY_H_7	MAG_OFFY_H_6	MAG_OFFY_H_5	MAG_OFFY_H_4	MAG_OFFY_H_3	MAG_OFFY_H_2	MAG_OFFY_H_1	MAG_OFFY_H_0
MAG_OFFZ_L	31h	MAG_OFFZ_L_7	MAG_OFFZ_L_6	MAG_OFFZ_L_5	MAG_OFFZ_L_4	MAG_OFFZ_L_3	MAG_OFFZ_L_2	MAG_OFFZ_L_1	MAG_OFFZ_L_0
MAG_OFFZ_H	32h	MAG_OFFZ_H_7	MAG_OFFZ_H_6	MAG_OFFZ_H_5	MAG_OFFZ_H_4	MAG_OFFZ_H_3	MAG_OFFZ_H_2	MAG_OFFZ_H_1	MAG_OFFZ_H_0

### 3 工作模式

ISM330DLC 提供了 3 种可能的操作配置：

- 只有加速度计活动，陀螺仪掉电；
- 只有陀螺仪活动，加速度计掉电；
- 加速度计和陀螺仪均活动，且具有独立的 ODR。

该器件提供了较宽的 VDD 电压范围（从 1.71 V 至 3.6 V）和 1.62 V 至 3.6 V 的 VDDIO 范围。为避免潜在冲突，在上电时序期间，建议在主机侧将连接至器件 IO 引脚的管脚设置成高阻态。此外，为保证器件能正确断电，建议将 VDD 线接地的持续时间保持至少 100μs。

施加电源后，ISM330DLC 执行一段 15 ms 的启动程序来加载修整参数。启动完成后，加速度计和陀螺仪均自动配置为掉电模式。

加速度计和陀螺仪可分别配置为四种不同的功耗模式：掉电，低功耗，正常和高性能模式。它们可以具有不同的数据输出频率而不受任何限制。陀螺仪传感器还能够设置为睡眠模式，以降低其功耗。

当加速度计和陀螺仪均工作时，加速度计与陀螺仪同步，两个传感器的数据率是彼此的整数倍。

参考 ISM330DLC 数据手册，可以利用 CTRL1\_XL 寄存器的输出数据率 (ODR\_XL) 位和 CTRL6\_C 寄存器的高性能禁止 (XL\_HM\_MODE) 位，来选择功耗模式和加速度计的输出数据率（表 4. 加速度计 ODR 和功耗模式选择）。

**表 4. 加速度计 ODR 和功耗模式选择**

ODR_XL [3:0]	ODR [Hz], 此时 XL_HM_MODE = 1	ODR [Hz], 此时 XL_HM_MODE = 0
0000	掉电	掉电
1011	1.6 Hz (仅低功耗)	12.5 Hz (高性能)
0001	12.5 Hz (低功耗)	12.5 Hz (高性能)
0010	26 Hz (低功耗)	26 Hz (高性能)
0011	52 Hz (低功耗)	52 Hz (高性能)
0100	104 Hz (正常模式)	104 Hz (高性能)
0101	208 Hz (正常模式)	208 Hz (高性能)
0110	416 Hz (高性能)	416 Hz (高性能)
0111	833 Hz (高性能)	833 Hz (高性能)
1000	1.66 kHz (高性能)	1.66 kHz (高性能)
1001	3.33 kHz (高性能)	3.33 kHz (高性能)
1010	6.66 kHz (高性能)	6.66 kHz (高性能)

可以利用 CTRL2\_G 寄存器的输出数据率 (ODR\_G) 位和 CTRL7\_G 寄存器的高性能禁止 (G\_HM\_MODE) 位，来选择功耗模式和陀螺仪传感器的输出数据率（表 5. 陀螺仪 ODR 和功耗模式选择）。

**表 5. 陀螺仪 ODR 和功耗模式选择**

ODR_G [3:0]	ODR [Hz], 此时 G_HM_MODE = 1	ODR [Hz], 此时 G_HM_MODE = 0
0000	掉电	掉电
0001	12.5 Hz (低功耗)	12.5 Hz (高性能)
0010	26 Hz (低功耗)	26 Hz (高性能)

ODR_G [3:0]	ODR [Hz], 此时 G_HM_MODE = 1	ODR [Hz], 此时 G_HM_MODE = 0
0011	52 Hz (低功耗)	52 Hz (高性能)
0100	104 Hz (正常模式)	104 Hz (高性能)
0101	208 Hz (正常模式)	208 Hz (高性能)
0110	416 Hz (高性能)	416 Hz (高性能)
0111	833 Hz (高性能)	833 Hz (高性能)
1000	1.66 kHz (高性能)	1.66 kHz (高性能)
1001	3.33 kHz (高性能)	3.33 kHz (高性能)
1010	6.66 kHz (高性能)	6.66 kHz (高性能)

表 6. 功耗 显示了不同工作模式下功耗典型值。

表 6. 功耗

ODR [Hz]	只有加速度计 (在 Vdd = 1.8 V 时)	只有陀螺仪 (在 Vdd = 1.8 V 时)	组合 [Acc + Gyro] (在 Vdd = 1.8 V 时)
掉电	-	-	10 $\mu$ A
1.6 Hz (低功耗)	4.5 $\mu$ A	-	-
12.5 Hz (低功耗)	9 $\mu$ A	255 $\mu$ A	280 $\mu$ A
26 Hz (低功耗)	14 $\mu$ A	270 $\mu$ A	300 $\mu$ A
52 Hz (低功耗)	25 $\mu$ A	300 $\mu$ A	350 $\mu$ A
104 Hz (正常模式)	44 $\mu$ A	350 $\mu$ A	440 $\mu$ A
208 Hz (正常模式)	85 $\mu$ A	460 $\mu$ A	550 $\mu$ A
12.5 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
26 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
52 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
104 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
208 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
416 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
833 Hz (高性能)	180 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
1.66 kHz (高性能)	190 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
3.33 kHz (高性能)	190 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A
6.66 kHz (高性能)	190 $\mu$ A	620 $\mu$ A	750 $\mu$ A

### 3.1 掉电模式

当加速度计/陀螺仪处于掉电模式时，该器件几乎所有的内部模块都会断开，以减小功耗。数字接口（ $\text{I}^2\text{C}$  和 SPI）仍然在工作，以便能够与器件进行通信。保留配置寄存器的内容而不更新输出数据寄存器，可保持进入掉电模式前存储器中采样的最后数据。

### 3.2 高性能模式

高性能模式下，所有的加速器/陀螺仪电路始终接通，并通过 ODR\_XL/ODR\_G 位来选择生成数据的数据率。数据中断产生是活动的。

### 3.3 正常模式

高性能模式能够确保其在噪声方面具有最佳性能，而正常模式可进一步降低电流消耗。加速度计/陀螺仪数据读取链自动接通和断开，以便节能。陀螺仪件中，只有驱动电路是始终工作的。

数据中断产生是活动的。

### 3.4 低功耗模式

低功耗模式与正常模式可使用的输出数据率不同。低功耗模式下，低速 ODR 使能。可以通过 ODR\_XL 位为加速度计选择四个低速 ODR：1.6 Hz、12.5 Hz、26 Hz 和 52 Hz。可以通过 ODR\_G 位为陀螺仪选择三个低速 ODR：12.5 Hz、26 Hz 和 52 Hz。

数据中断产生是活动的。

### 3.5 陀螺仪睡眠模式

当陀螺仪处于睡眠模式时，陀螺仪块的振荡驱动电路保持激活。相比于陀螺仪掉电模式，从睡眠模式到低功耗/正常/高性能模式的接通时间大幅度减少。

如果陀螺仪未被配置为掉电模式，则当 CTRL4\_C 寄存器的睡眠模式使能（SLEEP）位被置为 1 时，不论所选陀螺仪 ODR 为何，它都将进入睡眠模式。

### 3.6 连接模式

ISM330DLC 提供了四种不同的连接模式，本文档中作了详细描述：

- 模式 1：这是默认启用的连接模式； $\text{I}^2\text{C}$  从接口或 SPI (3-/4-线) 串口可用。当器件配置为连接模式 1 时，SCx/SDx 引脚不能浮空。建议将二者连接到 VDDIO，以便优化器件启动过程中的功耗。
- 模式 2：它是传感器集合模式； $\text{I}^2\text{C}$  从接口或 SPI (3-/4-线) 串口和用于外部传感器连接的  $\text{I}^2\text{C}$  接口主机可用。[第 6 节 模式 2 - 传感器集合 \(sensor hub\) 模式](#) 中描述了此连接模式。
- 模式 3：除了主  $\text{I}^2\text{C}$  从接口或 SPI (3/4 线) 串口，还有一个用于外部器件连接（即照相机模块）的辅助 SPI (3/4 线) 串口只对陀螺仪可用。[第 7 节 模式 3 和模式 4 - 辅助 SPI 模式](#) 中描述了此连接模式。
- 模式 4：除了主  $\text{I}^2\text{C}$  从接口或 SPI (3/4 线) 串口，还有一个用于外部器件连接的辅助 SPI (3/4 线) 串口对陀螺仪和加速度计均可用。[第 7 节 模式 3 和模式 4 - 辅助 SPI 模式](#) 中描述了此连接模式。

### 3.7 加速度计带宽

加速度计采样链路由 4 个级联主模块表示：一个模拟抗混叠低通滤波器，一个 ADC 转换器，一个数字低通滤波器和复合数字滤波器组。

[图 2. 加速度计滤波链（模式 1/2/3）](#) 所示为器件配置为模式 1、模式 2 或模式 3 时的加速度计采样链配置，而 [图 3. 加速度计滤波链（模式 4）](#) 所示为模式 4 时的配置。

来自机械部件的模拟信号在被 ADC 转换之前，会由模拟低通抗混叠滤波器进行滤波。抗混叠滤波器仅在高性能模式下启用，其带宽取决于所选加速度计 ODR，如下表所示。

表 7. 加速度计模拟滤波器带宽

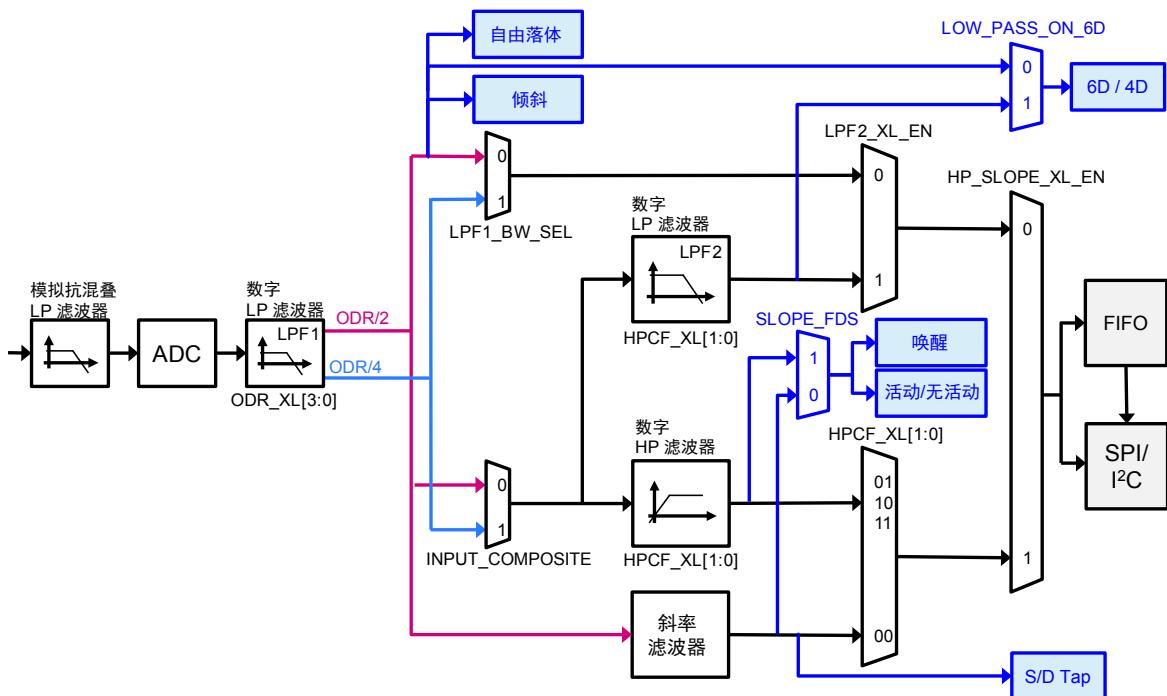
加速度计 ODR [Hz]	模拟滤波器 BW [Hz]
≥ 1666	1500

加速度计 ODR [Hz]	模拟滤波器 BW [Hz]
< 1666	400

通过将 CTRL1\_XL 寄存器中的 BW0\_XL 位置为 1，在加速度计  $ODR \geq 1666$  Hz 的情况下，模拟滤波器带宽也可以设置为 400 Hz。

数字 LPF1 滤波器可提供两个具有不同截止频率的输出；可以通过 CTRL1\_XL 寄存器的 LPF1\_BW\_SEL 位和 CTRL8\_XL 寄存器的 INPUT\_COMPOSITE 位选择所需的 LPF1 输出。

图 2. 加速度计滤波链（模式 1/2/3）



参照图 2. 加速度计滤波链（模式 1/2/3）和图 3. 加速度计滤波链（模式 4），LPF1 滤波器的“ODR/2”输出的截止频率在高性能模式下等于  $ODR/2$ ，在低功耗/正常模式下等于 740Hz。无论选择何种功耗模式，“ODR/4”输出的截止频率始终等于  $ODR/4$ 。

最后，由一个低通数字滤波器（LPF2）、一个高通数字滤波器和一个斜率滤波器组成的组合滤波器组处理数字信号。

当 ISM330DLC 配置为模式 1/2/3 时，CTRL8\_XL 寄存器可用来配置复合滤波器组和加速度计滤波链的总带宽，如中所示。参考该表，在低通路径侧，如果  $LPF2_XL\_EN = 0$ ，则带宽列是指 LPF1 带宽；如果  $LPF2_XL\_EN = 1$ ，则带宽列指 LPF2 带宽。在高通路径侧，如果  $HPCF_XL[1:0] = 00b$ ，则带宽列表示斜率滤波器带宽；如果  $HPCF_XL[1:0] = 01b / 10b / 11b$ ，则带宽列表示 HP 滤波器带宽。

表 8. 模式 1/2/3 下的加速度计带宽选择 对于加速度计滤波链的各种配置，针对要丢弃的样本还提供了最大（最坏情况）的稳定时间。第 3.9 节 加速度计和陀螺仪开启/关断时间中有进一步的细节描述。

**表 8. 模式 1/2/3 下的加速度计带宽选择**

HP_SLOPE_XL_EN	LPF2_XL_EN	LPF1_BW_SEL	HPCF_XL[1:0]	INPUT_COMPOSITE	带宽	Max. 总稳定时间最大值 <sup>(1)</sup> (要去弃的采样数)
0 (低通路径)	0	0	-	-	ODR/2	14
		1	-	-	ODR/4	14
	1	-	00	1 (低噪声) 0 (低延迟)	ODR/50	40
			01		ODR/100	80
			10		ODR/9	15
			11		ODR/400	320
			00		ODR/4	14
1 (高通路径)	-	-	01	0	ODR/100	80
			10		ODR/9	15
			11		ODR/400	320

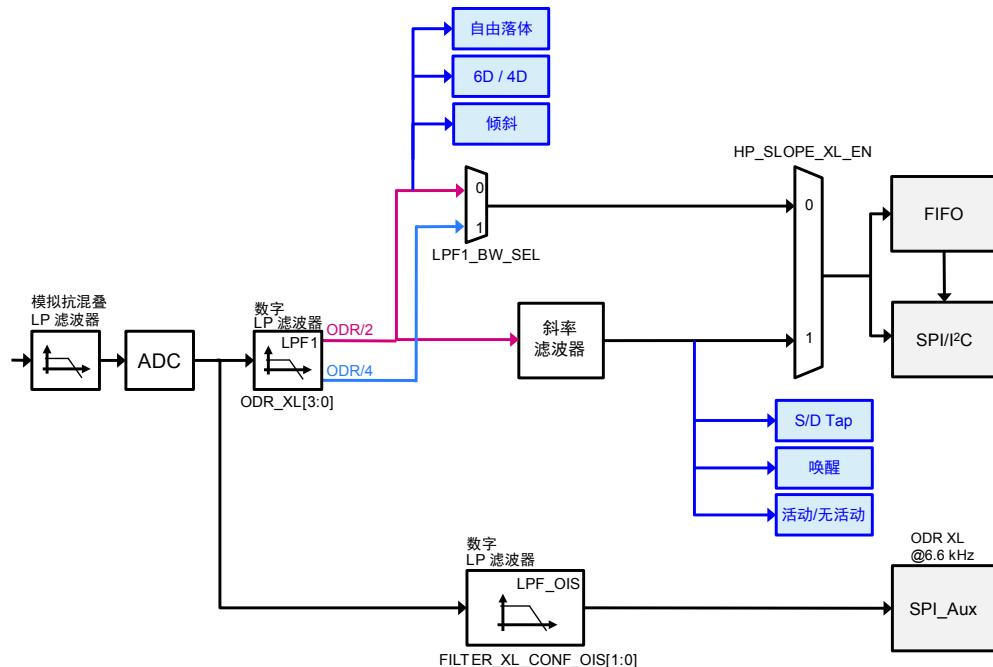
1. 最终值的 99% 时的稳定时间

通过将 HP\_SLOPE\_XL\_EN 位置为 0，可选择复合滤波器模块的低通路径。如果 LPF2\_XL\_EN 位置为 0，则无需应用额外的滤波器；如果 LPF2\_XL\_EN 位置为 1，那么除 LPF1 外还需应用 LPF2 滤波器，并可通过配置 CTRL8\_XL 寄存器的 HPCF\_XL [1:0] 字段来设置加速度计链的总带宽。

通过将 CTRL8\_XL 寄存器的 LOW\_PASS\_ON\_6D 位置为 1，LPF2 低通滤波器还可用于 6D/4D 功能。

通过将 HP\_SLOPE\_XL\_EN 位置为 1，可以选择复合滤波器模块的高通路径：HPCF\_XL [1:0] 字段除了能用于使能 LPF1 滤波器之外，还可以使能斜率滤波器（HPCF\_XL[1:0] = 00b 时）或数字高通滤波器（其他 HPCF\_XL [1:0] 配置）。HPCF\_XL [1:0] 字段也可用来选择 HP 滤波器的截止频率。

参考模式功能可用于加速度计传感器：启用此功能后，当前的 X、Y、Z 加速度计采样将在内部存储，并从所有后续输出值中减去。为了使能参考模式，必须将 CTRL8\_XL 寄存器的 HP\_REF\_MODE 位和 HP\_SLOPE\_XL\_EN 位置为 1，并且 HPCF\_XL [1:0] 字段的值必须不等于 00b。当启用参考模式功能时，LPF2 滤波器和 HP 滤波器都不可用。启用参考模式之后的第一个加速度计输出数据必须被丢弃。

**图 3. 加速度计滤波链（模式 4）**

当 ISM330DLC 配置为模式 4 时，加速度计滤波链如所示。在该配置下，有两个不同的数据链：

- GP（通用）链中的加速度计数据提供给主 I<sup>2</sup>C/SPI，ODR 可选范围为 1.6 Hz 到 6.66 kHz。
- OIS 链用于控制回路稳定性，其中的加速度计数据提供给辅助 SPI，ODR 固定为 6.66 kHz。

注：当 LSM6DSM 配置为模式 4 时，加速度计 UI 链侧只有斜率滤波器可用，而 LPF2 和 HP 滤波器不可用：如欲使用模式 4，建议避免使用模式 1/2/3 下使用的参考模式、LPF2 和 HP 滤波器。

CTRL3\_OIS 寄存器的 FILTER\_XL\_CONF\_OIS[1:0]位可用于选择加速度计 OIS 链总带宽：其值还取决于 GP 侧的加速度计 ODR 值（通过 CTRL1\_XL 寄存器中的 ODR\_XL[3:0]位定义），如下表所述。

**表 9. OIS 链 (XL ODR = 6.66 kHz) - 模式 4 下的加速度计带宽选择**

FILTER_XL_CONF_OIS[1:0]	ODR_XL = 0 Hz (掉电)		ODR_XL ≥ 800 Hz		Max. 总稳定时间最大值 (要丢弃的样本) <sup>(1)</sup>
	BW	相位延迟 @ 20 Hz	BW	相位延迟 @ 20 Hz	
00	140 Hz	9.39°	128 Hz	11.5°	40
01	68.2 Hz	17.6°	66.5 Hz	19.7°	80
10	636 Hz	2.96°	329 Hz	5.08°	15
11	295 Hz	5.12°	222 Hz	7.23°	25

1. 最终值的 99% 时的稳定时间

[第 7 节 模式 3 和模式 4 - 辅助 SPI 模式](#)中提供了模式 4 连接模式的详细描述。

### 3.7.1 加速度计斜率滤波器

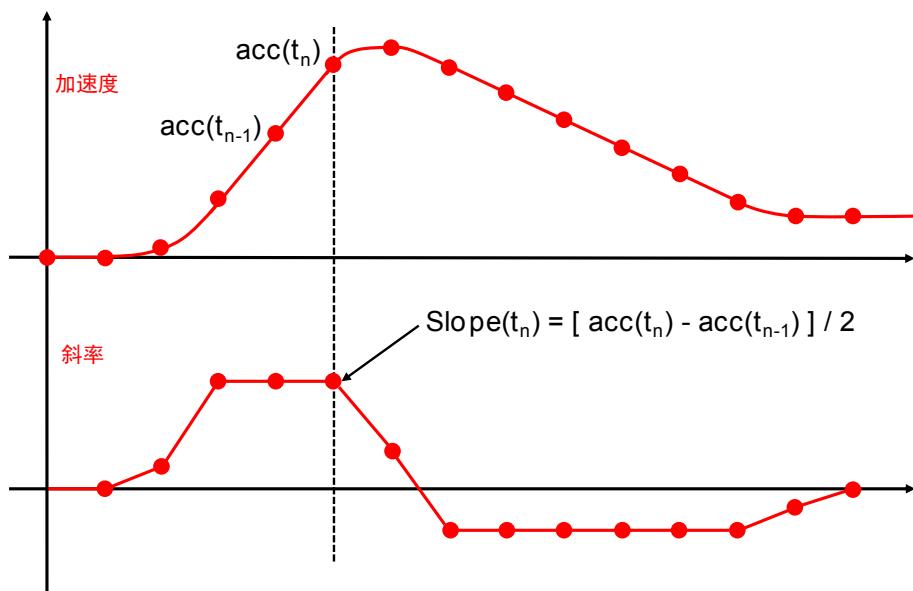
如[图 2. 加速度计滤波链 \(模式 1/2/3\)](#)中所示，ISM330DLC 器件嵌入了一个数字斜率滤波器，该滤波器还可用于某些嵌入式功能，如单/双击识别、唤醒检测和活动/不活动。

该斜率滤波器输出数据利用以下公式进行计算：

$$\text{slope}(t_n) = [\text{acc}(t_n) - \text{acc}(t_{n-1})]/2$$

[图 4. 加速度计斜率滤波器中举例说明了斜率数据信号的示例。](#)

图 4. 加速度计斜率滤波器

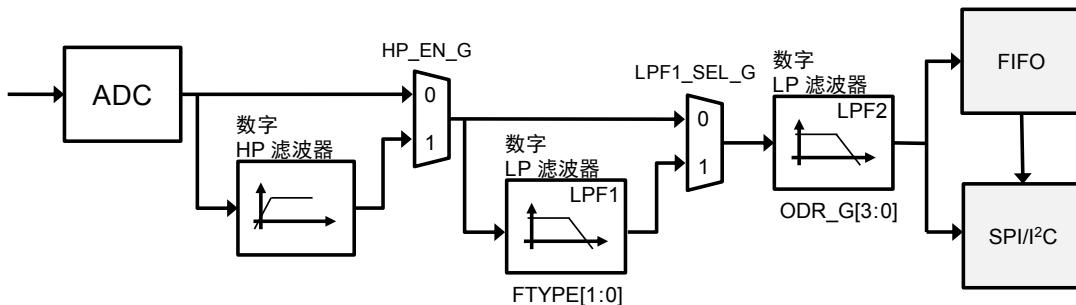


### 3.8 陀螺仪带宽

在 ISM330DLC 器件中，陀螺仪滤波链依赖于所使用的连接模式。

当选择模式 1 或模式 2 时，陀螺仪滤波链配置如图 5. 陀螺仪数字链 - 模式 1 和模式 2 所示。它是三个滤波器的级联：可选数字高通滤波器（HPF）、可选数字低通滤波器（LPF1）和数字低通滤波器（LPF2）。

图 5. 陀螺仪数字链 - 模式 1 和模式 2



可通过将 CTRL7\_G 寄存器的 HP\_EN\_G 位置为 1，来使能数字高通滤波器。根据下表，可以通过 CTRL7\_G 寄存器的 HPM\_G [1:0] 字段，来选择数字 HP 滤波器的截止频率。

注：嵌入式 HP 滤波器仅能在高性能模式下使用。如果陀螺仪配置为低功耗/正常模式，则无论 CTRL7\_G 寄存器的 HP\_G\_EN 位配置为何，该高通滤波器都要被旁路。

表 10. 陀螺仪数字 HP 滤波器截止频率选择

HPM_G[1:0]	高通滤波器截止频率 [Hz]
00	0.016
01	0.065
10	0.260
11	1.040

数字 LPF1 滤波器可以通过将 CTRL4\_C 寄存器的 LPF1\_SEL\_G 位置为 1 来使能，其带宽可以通过 CTRL6\_C 寄存器的字段 FTYPE\_ [1:0] 来选择。

注：数字 LPF1 滤波器仅能在高性能模式下使用。如果陀螺仪配置为低功耗/正常模式，则无论 CTRL4\_C 寄存器中的 LPF1\_SEL\_G 位配置为何，LPF1 滤波器都要被旁路。

数字 LPF2 滤波器不能由用户配置（不管选择的功耗模式如何），其截止频率取决于所选的陀螺仪 ODR。当陀螺仪 ODR 等于 6.66kHz 时，LPF2 滤波器被旁路。

下表汇总了在 CTRL4\_C 寄存器的 LPF1\_SEL\_G 位和 CTRL6\_C 寄存器的 FTYPE\_ [1:0] 的不同配置下，总的陀螺仪带宽。

表 11. 模式 1/2 下的陀螺仪总带宽选择

陀螺仪 ODR [Hz]	LPF1_SEL_G	FTYPE[1:0]	截止频率[Hz] (@ 20 Hz 时的相位延迟)
12.5	0	-	4
	1	00	4
	1	01	4
	1	10	4
	1	11	4

陀螺仪 ODR [Hz]	LPF1_SEL_G	FTYPE[1:0]	截止频率[Hz] (@ 20 Hz 时的相位延迟)
26	0	-	8
	1	00	8
	1	01	8
	1	10	8
	1	11	8
52	0	-	17
	1	00	17 (144°)
	1	01	17 (146°)
	1	10	17 (149°)
	1	11	17 (142°)
104	0	-	33
	1	00	33 (75°)
	1	01	33 (77°)
	1	10	33 (79°)
	1	11	33 (73°)
208	0	-	67
	1	00	67 (40°)
	1	01	67 (42°)
	1	10	67 (45°)
	1	11	67 (39°)
416	0	-	137
	1	00	138 (23°)
	1	01	131 (25°)
	1	10	121 (28°)
	1	11	138 (21°)
833	0	-	312
	1	00	245 (14°)
	1	01	195 (17°)
	1	10	155 (19°)
	1	11	293 (13°)
1666	0	-	988
	1	00	315 (10°)
	1	01	224 (12°)
	1	10	168 (15°)
	1	11	505 (8°)
3333	0	-	1161
	1	00	343 (8°)
	1	01	234 (10°)
	1	10	172 (12°)
	1	11	925 (6°)

陀螺仪 ODR [Hz]	LPF1_SEL_G	FTYPE[1:0]	截止频率[Hz] (@ 20 Hz 时的相位延迟)
6666	0	-	1250
	1	00	351 (7°)
	1	01	237 (9°)
	1	10	173 (11°)
	1	11	937 (5°)

当模式 3 或模式 4 使能时，陀螺仪数字链如图 6. 陀螺仪数字链 - 模式 3 和模式 4 所示。在该配置下，有两个不同的数据链：

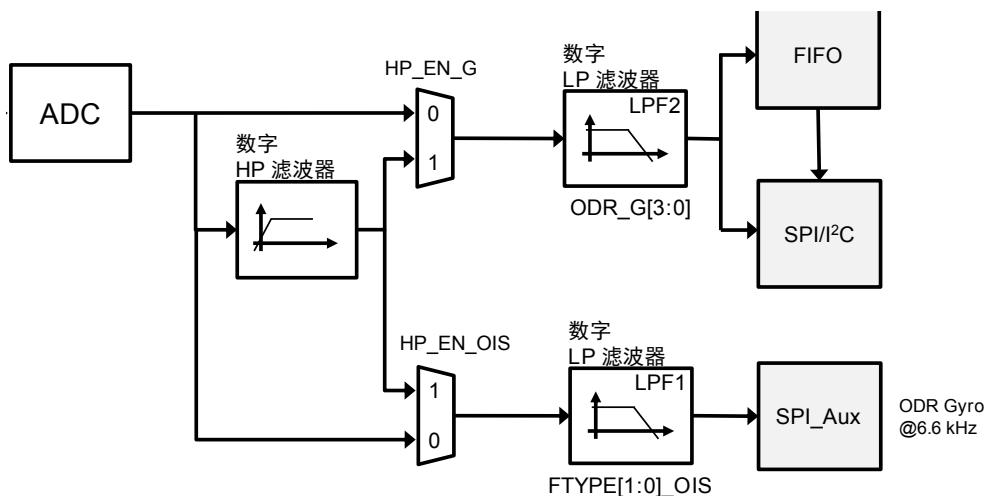
- GP（通用）链中的陀螺仪数据提供给主 I<sup>2</sup>C/SPI，ODR 可选范围为 12.5 Hz 到 6.66 kHz。
- OIS 链用于控制回路稳定性，其中的陀螺仪数据提供给辅助 SPI，ODR 固定为 6.66 kHz。

在模式 3/4 下，LPF2 滤波器专用于 GP 链；GP 侧的总带宽取决于陀螺仪 ODR 值，如表 12. GP 链 - 模式 3/4 下的陀螺仪总带宽选择所示。

表 12. GP 链 - 模式 3/4 下的陀螺仪总带宽选择

陀螺仪 ODR [Hz]	截止[Hz]
12.5	4
26	8
52	17
104	33
208	67
416	137
833	312
1666	988
3333	1161
6666	1250

图 6. 陀螺仪数字链 - 模式 3 和模式 4



GP 和 OIS 链共享数字 HP 滤波器，但该滤波器一次只能应用于一条链：

- 如果 CTRL7\_G 寄存器的 HP\_EN\_G 位置 1，HP 滤波器只用于 GP 链，不论 CTRL2\_OIS 寄存器的 HP\_EN\_OIS 位如何；
- 如果 HP\_EN\_G 位置为 0 且 HP\_EN\_OIS 位置为 1，则 HP 滤波器应用于 OIS 链。

根据下表，可以通过 CTRL2\_OIS 寄存器的 HPM\_[1:0]\_OIS 字段，来选择 OIS 链上数字 HP 滤波器的截止频率。

**表 13. OIS 链 - 模式 3/4 下的陀螺仪数字 HP 滤波器截止频率选择**

HPM_[1:0]_OIS	高通滤波器截止频率 [Hz]
00	0.016
01	0.065
10	0.260
11	1.040

当辅助 SPI 使能时，LPF1 数字低通滤波器只在 OIS 链上可用。这种情况下，可通过 CTRL2\_OIS 寄存器的 FTYPE\_[1:0]\_OIS 字段选择 OIS 链总带宽，如表 14. OIS 链（陀螺仪 ODR = 6.66 kHz）- 陀螺仪总带宽选择（模式 3/4）所示。

**表 14. OIS 链（陀螺仪 ODR = 6.66 kHz）- 陀螺仪总带宽选择（模式 3/4）**

FTYPE_[1:0]_OIS	带宽[Hz] (@ 20 Hz 时的相位延迟)
00	351 Hz (7°)
01	237 Hz (9°)
10	173 Hz (11°)
11	937 Hz (5°)

注：数字 LPF1 滤波器只能在模式 3/4 使能时在陀螺仪 GP 链上使用。如欲使用模式 3/4，建议避免使用 LPF1 滤波器。

第 7 节 模式 3 和模式 4 - 辅助 SPI 模式中提供了模式 3 连接模式的详细描述。

### 3.9 加速度计和陀螺仪开启/关断时间

加速度计读取链路包含了低通滤波，能够提高信噪比性能并降低混叠效应。因此，切换加速度计的功耗模式时，或改变加速度计的 ODR 时，必须考虑滤波器的稳定时间。

当 ISM330DLC 配置为模式 1/2/3 时，用于切换加速度计功耗模式或加速度计 ODR 的最大总开启/关闭时间（LPF2 和 HP 滤波器禁用）显示于 表 15. 模式 1/2/3 下的加速度计开启/关闭时间（LPF2 和 HP 禁用）

注：加速度计 ODR 时序不受功耗模式更改的影响（新的配置在当前周期完成后生效）。

**表 15. 模式 1/2/3 下的加速度计开启/关闭时间（LPF2 和 HP 禁用）**

起始模式	目标模式	最大开启/关闭时间 <sup>(1)</sup>
下电模式	低功耗/正常	See 表 16
下电模式	高性能	See 表 16
低功耗/正常	高性能	见表 16 + 丢弃 1 个额外样本
低功耗/正常	低功耗/正常（ODR 改变）	See 表 16
高性能	低功耗/正常	见表 16 + 丢弃 1 个额外样本

起始模式	目标模式	最大开启/关闭时间 <sup>(1)</sup>
高性能 @ ODR ≤ 833 Hz	高性能 @ ODR ≤ 833 Hz	见表 16 + 丢弃 1 个额外样本
高性能 @ ODR ≤ 833 Hz	高性能 @ ODR > 833 Hz	见表 16 + 丢弃 1 个额外样本
高性能 @ ODR > 833 Hz	高性能 @ ODR ≤ 833 Hz	见表 16 + 丢弃 1 个额外样本
高性能 @ ODR > 833 Hz	高性能 @ ODR > 833 Hz	丢弃 5 个样本
低功耗/正常/高性能	下电模式	1 μs

1. @ 最终值的 99% 时的稳定时间

表 16. 模式 1/2/3 下要丢弃的加速度计样本

目标模式 加速度计 ODR [Hz]	要丢弃的采样数 (LPF1_BW_SEL = 0 和 LPF2_XL_EN = 0 以及 HP_SLOPE_XL_EN = 0)	要丢弃的采样数 (LPF1_BW_SEL = 1 和 LPF2_XL_EN = 0 以及 HP_SLOPE_XL_EN = 0) OR (HPCF_XL = 00 和 HP_SLOPE_XL_EN = 1)
1.6 (低功耗)	0 (第一个采样正确)	1
12.5 (低功耗)	0 (第一个采样正确)	1
26 (低功耗)	0 (第一个采样正确)	1
52 (低功耗)	0 (第一个采样正确)	1
104 (正常)	0 (第一个采样正确)	1
208 (正常)	0 (第一个采样正确)	1
12.5 (高性能)	0 (第一个采样正确)	1
26 (高性能)	0 (第一个采样正确)	1
52 (高性能)	1	1
104 (高性能)	1	2
208 (高性能)	1	2
416 (高性能)	1	2
833 (高性能)	1	2
1666 (高性能)	2	2
3333 (高性能)	3	4
6666 (高性能)	13	13

当 ISM330DLC 配置为模式 4 时，用于切换 GP 链上加速度计功耗模式或加速度计 ODR 的最长总稳定时间仍然是表 15. 模式 1/2/3 下的加速度计开启/关闭时间 (LPF2 和 HP 禁用) 中所示的值；OIS 链的最长稳定时间如表 9. OIS 链 (XL ODR = 6.66 kHz) - 模式 4 下的加速度计带宽选择的最右边一列所示。

切换其模式或改变陀螺仪 ODR 时，还必须考虑陀螺仪传感器的开启/关断时间。

当 ISM330DLC 配置为模式 1/2 时，用于切换陀螺仪功耗模式或陀螺仪 ODR 的最大总开启/关闭时间 (HP 滤波器禁用) 如表 17. 模式 1/2 下的陀螺仪开启/关闭时间 (HP 禁用) 所示。

注：陀螺仪 ODR 时序不受功耗模式更改的影响（新的配置在当前周期完成后生效）。

表 17. 模式 1/2 下的陀螺仪开启/关闭时间 (HP 禁用)

起始模式	目标模式	最大开启/关闭时间 <sup>(1)</sup>
下电模式	睡眠	70 ms
下电模式	低功耗/正常	70 ms + 丢弃 1 个样本
下电模式	高性能	70 ms + 见表 18 或 表 19
睡眠	低功耗/正常	丢弃 1 个样本
睡眠	高性能	见表 18 或 表 19
低功耗/正常	高性能	丢弃 2 个样本
低功耗/正常	低功耗/正常 (ODR 改变)	丢弃 1 个样本
高性能	低功耗/正常	丢弃 1 个样本
高性能	高性能 (ODR 改变)	丢弃 2 个样本
低功耗/正常/高性能	下电模式	1 μs, 如果 XL 和 Gyro 在 PD 中 300 μs, 如果 XL 不在 PD 中

1. @ 最终值的 99% 时的稳定时间

表 18. 模式 1/2 下要丢弃的陀螺仪样本 (LPF1 禁用)

陀螺仪 ODR [Hz]	要丢弃的采样数
12.5 Hz	2
26 Hz	3
52 Hz	3
104 Hz	3
208 Hz	3
416 Hz	3
833 Hz	3
1.66 kHz	135
3.33 kHz	270
6.66 kHz	540

表 19. 对于所有 ODR, 模式 1/2 下要丢弃的陀螺仪样本 (LPF1 使能)

陀螺仪 ODR [Hz]	FTYPE[1:0]	要丢弃的采样数
12.5 Hz	00	2
	01	2
	10	2
	11	2
26 Hz	00	3
	01	3
	10	3
	11	3
52 Hz	00	3
	01	3
	10	3
	11	3

陀螺仪 ODR [Hz]	FTYPE[1:0]	要丢弃的采样数
104 Hz	00	4
	01	4
	10	4
	11	4
208 Hz	00	4
	01	4
	10	5
	11	4
416 Hz	00	5
	01	6
	10	6
	11	5
833 Hz	00	7
	01	8
	10	9
	11	6
1.66 kHz	00	135
	01	135
	10	135
	11	135
3.33 kHz	00	270
	01	270
	10	270
	11	270
6.66 kHz	00	540
	01	540
	10	540
	11	540

当 ISM330DLC 配置为模式 3/4 时，用于切换 GP 链上陀螺仪功耗模式或陀螺仪 ODR 的最长总导通时间仍然是和 (HP 和 LPF1 禁用案例) 中所示的值；OIS 链的最长导通时间如所示。

表 20. OIS 链（陀螺仪 ODR = 6.66 kHz）- 模式 3/4 下的陀螺仪开启/关闭时间

GP 链 陀螺仪电流模式	OIS 链 陀螺仪启动模式	OIS 链 陀螺仪目标模式	最大值陀螺仪 开启时间 <sup>(1)</sup>
掉电	下电模式	模式 3 / 4	70 ms + 见 表 21
陀螺仪 ODR > 0 低功耗/正常/高性能	下电模式	模式 3 / 4	见 表 21
-	模式 3	模式 4	第一个采样正确

1. 最终值的 99% 时的稳定时间

表 21. 模式 3/4 下要丢弃的陀螺仪样本

FTYPE[1:0]	要丢弃的采样数
00	27
01	36
10	48
11	19

注：当陀螺仪 OIS 链处于建立阶段时，STATUS\_REG/STATUS\_SPIAux 寄存器的 GYRO\_SETTLING 位等于 1。在该建立阶段读取的数据无效；建议检查此位的状态以了解何时有有效数据可用，以使导通时间最小化。

### 3.9.1 OIS 链使能/禁用时的 GP 链稳定时间

加速度计和陀螺仪 GP 链受 OIS 链使能/禁用的影响。

下表所示为 OIS 接口打开/关闭时 GP 侧必须丢弃的加速度计/陀螺仪样本数。

表 22. OIS 使能/禁用时的 GP 链稳定时间

GP 起始模式	目标模式	GP 链传感器	模式 3/4 使能时的稳定时间 <sup>(1)</sup>	模式 3/4 禁用时的稳定时间 <sup>(1)</sup>
陀螺仪 高性能	使能然后禁用模式 3/4， GP 侧 ODR 无变化	陀螺仪	第一个采样正确	第一个采样正确
加速度计 高性能	使能然后禁用模式 4，GP 侧 ODR 无变化	加速度计	第一个采样正确	第一个采样正确
陀螺仪 低功耗/正常	使能然后禁用模式 3/4， GP 侧 ODR 无变化	陀螺仪	第一个采样正确 (陀螺仪切换至高性能模 式)	第一个采样正确 (陀螺仪切换至低功耗/正 常模式)
加速度计 低功耗/正常	使能然后禁用模式 4，GP 侧 ODR 无变化	加速度计	参见表 15：低功耗/正常模 式至高性能模式的案例 (加速度计切换至高性能 模式)	参见表 15：高性能至低功 耗/正常模式的案例 (加速度计回到低功耗/正 常模式)

1. 最终值的 99% 时的稳定时间

注：当模式 3 使能时，只有陀螺仪 OIS 链导通；由于不考虑加速度计 OIS 链，加速度计 GP 链不受模式 3 使能的影响。。

陀螺仪 GP 和加速度计 GP 的稳定时间相互独立。一个传感器的 ODR 或功耗模式变化不影响另一个的建立。

通过读取 CTRL1\_OIS 寄存器中的 OIS\_EN\_SPI2 位，可以从 GP 侧检测到 OIS 链的每次使能/禁用事件。从 GP 侧访问时，该寄存器为只读。

## 4 模式 1 - 读取输出数据

### 4.1 启动序列

当器件上电时，器件会自动从嵌入的内存中加载校准系数到内部寄存器中。当启动程序完成时，即，约 15 ms 后，加速度计和陀螺仪自动进入掉电模式。

要启用加速度计并通过主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口采集加速度数据，需要通过 **CTRL1\_XL** 寄存器选择某一种工作模式。

以下通用线序可用来配置加速度计：

1. 写 **CTRL1\_XL** = 60h // Acc = 416Hz (高性能模式)
2. 写 **INT1\_CTRL** = 01h // INT1 上，Acc 数据准备就绪中断

要启用陀螺仪并通过主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口采集角速度数据，需要通过 **CTRL2\_G** 来选择某一种工作模式。

以下通用序列可用来配置陀螺仪：

1. 写 **CTRL2\_G** = 60h // Gyro = 416Hz (高性能模式)
2. 写 **INT1\_CTRL** = 02h // INT1 上，Gyro 数据准备就绪中断

### 4.2 使用状态寄存器

该器件具有一个 **STATUS\_REG** 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。当一组新数据在加速度计输出上可用时，**XLDA** 位被置为 1；当一组新数据在陀螺仪输出上可用时，**GDA** 位被置为 1。

对于加速度计（陀螺仪也是类似的），应当按照如下步骤对输出寄存器进行读取：

1. 读 **STATUS**
2. 如果 **XLDA** = 0，则进入 1
3. 读 **OUTX\_L\_XL**
4. 读 **OUTX\_H\_XL**
5. 读 **OUTY\_L\_XL**
6. 读 **OUTY\_H\_XL**
7. 读 **OUTZ\_L\_XL**
8. 读 **OUTZ\_H\_XL**
9. 数据处理
10. 调到步骤 1

## 4.3 使用数据准备就绪信号

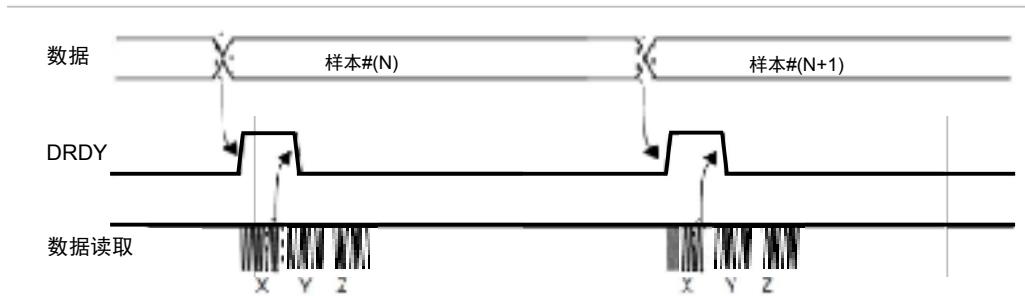
该器件可配置为具有一个硬件信号，以确定新的一组测量数据何时可以读取。

对于加速度计传感器，数据准备就绪信号由 **STATUS\_REG** 寄存器的 **XLDA** 位表示。通过将 **INT1\_CTRL** 寄存器的 **INT1\_DRDY\_XL** 位置为 1，可将该信号驱动至 **INT1** 引脚，通过将 **INT2\_CTRL** 寄存器的 **INT2\_DRDY\_XL** 位置为 1，将其驱动至 **INT2** 引脚。

对于陀螺仪传感器，数据准备就绪信号由 **STATUS\_REG** 寄存器的 **GDA** 位表示。通过将 **INT1\_CTRL** 寄存器的 **INT1\_DRDY\_G** 位置为 1，可将该信号驱动至 **INT1** 引脚，通过将 **INT2\_CTRL** 寄存器的 **INT2\_DRDY\_XL** 位置为 1，将其驱动至 **INT2** 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。数据就绪信号可以是锁存的或不锁存：如果 **DRDY\_PULSE\_CFG** 寄存器的 **DRDY\_PULSED** 位被置为 0（默认值），则数据就绪信号被锁存，并且当其中某一个的较高部分（对于加速度计，为 29h、2Bh、2Dh；对于陀螺仪，为 23h、25h、27h）被读取时，中断复位。如果 **DRDY\_PULSE\_CFG** 寄存器的 **DRDY\_PULSED** 位置为 1，则数据就绪信号是脉冲的，并且在中断引脚上的脉冲持续时间为 75 $\mu$ s。脉冲模式不适用于总是锁存的 **XLDA** 和 **GDA** 位。

图 7. 数据准备就绪信号



### 4.3.1 DRDY 屏蔽功能

如果将 **CTRL4\_C** 寄存器的 **DRDY\_MASK** 位置为 1，则加速度计和陀螺仪数据准备就绪信号会被屏蔽，直至完成传感器滤波器稳定建立。

当 FIFO 处于活动状态且 **DRDY\_MASK** 位置为 1 时，存储在 FIFO 中的加速计/陀螺仪无效采样可以等于 7FFFh、7FFEh 或 7FFDh。这样，存储在 FIFO 缓冲器中的无效采样被加上了一个标签，因此在数据后端处理过程中，可以容易地识别出它们并将其丢弃。

注：**DRDY\_MASK** 位仅对加速度计 **LPF1** 和陀螺仪 **LPF2** 数字滤波器稳定时间起作用。

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

如果读取加速度计/陀螺仪数据特别慢，并且不能（或者不需要）与 STATUS\_REG 寄存器中的 XLDA/GDA 位或驱动到 INT1/INT2 引脚的 DRDY 信号同步，那么强烈建议将 CTRL3\_C 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采样相关的值（输出数据的最高有效部分和最低有效部分）。特别地，当 BDU 被激活时，每个信道相关的数据寄存器中始终包含器件产生的最新输出数据，但是，一对给定读数（即 OUTX\_H\_XL(G) 和 OUTX\_L\_XL(G), OUTY\_H\_XL(G) 和 OUTY\_L\_XL(G), OUTZ\_H\_XL(G) 和 OUTZ\_L\_XL(G)）被初始化的情况下，这对读数不能更新，直至数据的 MSB 和 LSB 部分均被读取。

**请注意：** 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。

## 4.5 解析输出数据

测得的加速度数据被发送到 OUTX\_H\_XL、OUTX\_L\_XL、OUTY\_H\_XL、OUTY\_L\_XL、OUTZ\_H\_XL 和 OUTZ\_L\_XL 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。

测得的角速率数据被发送到 OUTX\_H\_G、OUTX\_L\_G、OUTY\_H\_G、OUTY\_L\_G、OUTZ\_H\_G 和 OUTZ\_L\_G 寄存器。这些寄存器分别容纳角速率信号在 X、Y 和 Z 轴上的最高有效部分和最低有效部分。

X、Y、Z 信道的完整输出数据由 OUTX\_H\_XL(G) & OUTX\_L\_XL(G) 的串联，OUTY\_H\_XL(G) & OUTY\_L\_XL(G) 的串联，OUTZ\_H\_XL(G) & OUTZ\_L\_XL(G) 的串联给出，以二进制补码形式存储。

加速度数据和角速率数据均表示为 16 比特的数字。

### 4.5.1 大小端模式选择

ISM330DLC 允许输出数据寄存器的高低部分（即，OUTX\_H\_XL(G) 与 OUTX\_L\_XL(G)，以及 OUT\_TEMP\_H 与 OUT\_TEMP\_L）进行交换，以便兼容小端序和大端序数据表示。

“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。这种模式对应于 TCTRL3\_C 寄存器的 BLE 位置为 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。这种模式对应于 TCTRL3\_C 寄存器的 BLE 位置为 1。

## 4.5.2

## 输出数据示例

表 23. 输出数据寄存器内容 vs. 加速度 ( $FS\_XL = 2\ g$ ) 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 24. 输出数据寄存器内容 vs. 角速率 ( $FS\_G = 245\ dps$ ) 提供了陀螺仪数据的一些基本示例，当器件施加了给定的角速率时，在数据寄存器中读取出这些数据。

下表所列的值是在理想器件校准的假设下给出的（即，无偏移，无增益误差，……），实际显示了 BLE 位的影响。

表 23. 输出数据寄存器内容 vs. 加速度 ( $FS\_XL = 2\ g$ )

加速度值	BLE = 0		BLE = 1	
	寄存器地址			
	OUTX_H_XL (29h)	OUTX_L_XL (28h)	OUTX_H_XL (29h)	OUTX_L_XL (28h)
0 g	00h	00h	00h	00h
350 mg	16h	69h	69h	16h
1 g	40h	09h	09h	40h
-350 mg	E9h	97h	97h	E9h
-1 g	BFh	F7h	F7h	BFh

表 24. 输出数据寄存器内容 vs. 角速率 ( $FS\_G = 245\ dps$ )

角速率值	BLE = 0		BLE = 1	
	寄存器地址			
	OUTX_H_G (23h)	OUTX_L_G (22h)	OUTX_H_G (23h)	OUTX_L_G (22h)
0 dps	00h	00h	00h	00h
100 dps	2Ch	A4h	A4h	2Ch
200 dps	59h	49h	49h	59h
-100 dps	D3h	5Ch	5Ch	D3h
-200 dps	A6h	B7h	B7h	A6h

## 4.6

## 加速度计偏移寄存器

ISM330DLC 提供了加速度计偏移寄存器 ( $X\_OFS\_USR$ 、 $Y\_OFS\_USR$ 、 $Z\_OFS\_USR$ )，可用于零 g 偏移校正，或者用来将偏移量应用于加速度计输出数据（通常）。

在偏移寄存器中设置的偏移值从测得的 Z 轴加速度值内部减去，并内部添加到测得的 X 轴和 Y 轴加速度值上；内部处理的数据随后被发送到加速计输出寄存器和 FIFO（如果启用）。这些寄存器值以二进制补码的形式表示为 8 位字，必须在 [-127, 127] 的范围内。

应用于偏移寄存器值的权重 [ $g/LSB$ ] 独立于加速度计所选的满量程，并可利用  $CTRL6\_C$  寄存器的  $USR\_OFF\_W$  位进行配置：

- $2^{-10}g/LSB$ ，如果  $USR\_OFF\_W$  位置为 0；
- $2^{-6}g/LSB$ ，如果  $USR\_OFF\_W$  位置为 1。

## 4.7

## 环行功能

环行功能可用来自动寻址 ISM330DLC 寄存器，以进行循环突发模式读取。基本上，伴随多字节读取操作，所读取的寄存器地址会自动从模式的第一个寄存器转到最后一个寄存器，然后返回第一个寄存器。

## 4.7.1

## FIFO 输出寄存器环行

对 FIFO 输出寄存器  $FIFO\_DATA\_OUT\_L$  (3Eh) 和  $FIFO\_DATA\_OUT\_H$  (3Fh) 执行多字节读取操作时，环行功能自动使能。

## 4.7.2

## 中断源寄存器环行

ISM330DLC 器件的中断源寄存器也可以应用环行功能，能够识别在一次多重读取中是否产生了新数据或是否检测到新的中断事件。

通过将 CTRL7\_G 寄存器的 ROUNDING\_STATUS 位置为 1，可以使能源寄存器上的环形功能。当该功能使能时，通过多次读取操作，正在读取的寄存器地址在 WAKE\_UP\_SRC (1Bh)、TAP\_SRC (1Ch)、D6D\_SRC (1Dh)、STATUS\_REG (1Eh) 和 FUNC\_SRC1 (53h) 上自动循环，并返回到 WAKE\_UP\_SRC (1Bh)。

## 4.7.3

## 传感器输出寄存器环行

以下输出寄存器组也可以使能环行功能：

- 陀螺仪输出寄存器，从 OUTX\_L\_G (22h) 到 OUTZ\_H\_G (27h);
- 加速度计输出寄存器，从 OUTX\_L\_XL (28h) 到 OUTZ\_H\_XL (2Dh);
- 第一组传感器集合 (sensor hub) 输出寄存器，从 SENSORHUB1\_REG (2Eh) 到 SENSORHUB6\_REG (33h);
- 第二组传感器集合 (sensor hub) 输出寄存器，从 SENSORHUB7\_REG (34h) 到 SENSORHUB12\_REG (39h)。

输出寄存器环行模式可利用 CTRL5\_C 寄存器的 ROUNDING[2:0]位进行配置，如表 25. 输出寄存器环行模式所示。

表 25. 输出寄存器环行模式

ROUNDING[2:0]	环行模式
000	无环行
001	只有加速度计
010	只有陀螺仪
011	陀螺仪 + 加速度计
100	只有第 1 组传感器集合 (sensor hub)
101	加速度计 + 第 1 组传感器集合 (sensor hub)
110	陀螺仪 + 加速度计 + 第 1 组传感器集合 (sensor hub) + 第 2 组传感器集合 (sensor hub)
111	陀螺仪 + 加速度计 + 第 1 组传感器集合 (sensor hub)

## 4.8 边沿感应和电平感应数据使能 (DEN)

通过使能 CTRL6\_C 中的 TRIG\_EN、LVL1\_EN 和 LVL2\_EN 位, ISM330DLC 可允许外部触发电平识别。

有四种不同模式可供选择 (表 26. DEN 配置) :

- 边沿感应触发模式
- 电平感应触发模式
- 电平感应锁存模式
- 电平感应 FIFO 使能模式

数据使能 (DEN) 输入信号在 INT2 引脚上被驱动, 当其中一个触发模式使能时, INT2 被配置为输入引脚。

DEN 功能仅在陀螺仪数据上被默认激活。要将此功能扩展到加速度计数据, CTRL4\_C 中的 DEN\_XL\_EN 位必须置为 1。

DEN 有效电平默认为低电平。通过将 CTRL5\_C 中的 DEN\_LH 位置为 1, 可以将其更改为高电平有效。

表 26. DEN 配置

TRIG_EN	LVL1_EN	LVL2_EN	功能
1	0	0	边沿感应触发模式
0	1	0	电平感应触发模式
0	1	1	电平感应锁存模式
1	1	0	电平感应 FIFO 使能模式

### 4.8.1 边沿感应触发模式

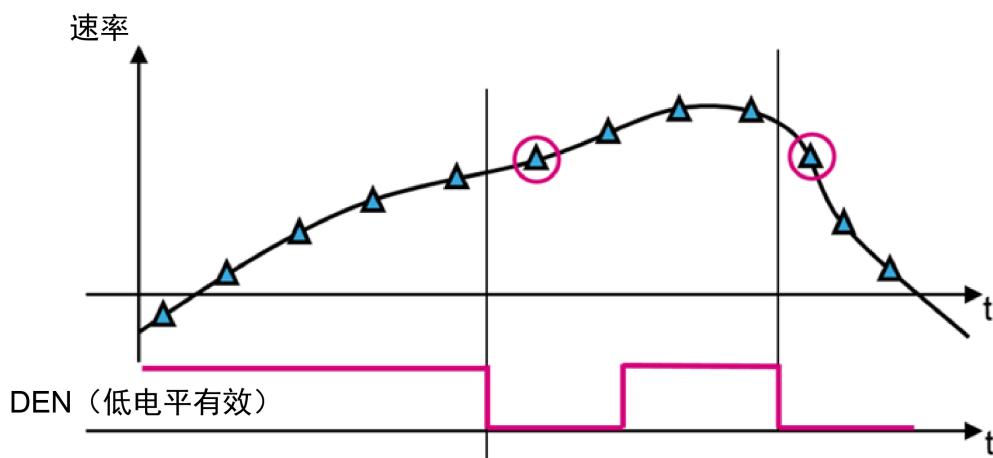
可以通过将 CTRL6\_C 中的 TRIG\_EN 位置为 1, 并将 CTRL6\_C 中的 LVL1\_EN、LVL2\_EN 位置为 0, 来启用边沿感应触发模式。

只有当低通滤波器 LPF2 禁用 (CTRL8\_XL 寄存器中的 LPF2\_XL\_EN = 0) 时, 边沿感应触发才工作。

一旦使能了边沿感应触发模式, FIFO 缓冲器和输出寄存器就会被填充上 DEN 输入信号每个上升沿 (如果 DEN\_LH 位等于 1) 或下降沿 (如果 DEN\_LH 位等于 0) 之后所获取的第一个采样。

图 8. 边沿感应触发模式, DEN 低电平有效 用红色圆圈表示在下降沿之后 (DEN 低电平有效) 采集的采样。

图 8. 边沿感应触发模式, DEN 低电平有效



边沿感应触发模式启用后, 仅对陀螺仪输出寄存器起作用。DRDY\_G 仅与下采样数据相关, 而加速度计输出寄存器和 DRDY\_XL 则根据 ODR\_XL 进行更新。如果 DEN\_XL\_EN 位置为 1, 则加速度计传感器也会被下采样。这种情况下, 陀螺仪和加速度计必须设置为 ODR 相同的组合模式。通过将陀螺仪设置为掉电模式, 可以使用加速度计独立模式。这种情况下, DRDY\_XL 只与下采样数据相关。

请注意, 在更新数据寄存器之前, DEN 触发器会内部锁存: 如果在此事件之后发生触发事件, 那么 DEN 将在下一个 ODR 中进行确认。

对于 FIFO 中的边沿感应触发器，有三种可能的配置，描述如下：

1. 只有陀螺仪处于触发模式，不能保存在 FIFO 中：这种情况下，FIFO 只与加速度计相关，并且正常工作。
2. 只有陀螺仪处于触发模式，存储于 FIFO 中：这种情况下，FIFO\_CTRL3 寄存器的陀螺仪抽取位 DEC\_FIFO\_GYRO [2:0] 必须置为 001（FIFO 中的陀螺仪传感器不带抽取）。要实现它，FIFO 需由外部触发器驱动。采用这种配置时，由于在触发发生时也写入了加速度计数据，所以可能发生加速度计数据重复或丢失。
3. 陀螺仪和加速度计处于触发模式，并保存在 FIFO 中：通过将 DEN\_XL\_EN 置为 1，并将 FIFO\_CTRL3 寄存器的陀螺仪和加速度计抽取位 DEC\_FIFO\_GYRO [2:0] 和 DEC\_FIFO\_XL [2:0] 置为 001（FIFO 中的陀螺仪和加速度计无抽取）。这种情况下，当触发发生时，两个传感器的数据都会写入 FIFO 中。

在下面所示的例子中，FIFO 被配置为将陀螺仪数据和加速度计数据都存储在 FIFO 缓冲器中；当 DEN 信号切换时，数据在上升沿写入 FIFO 中。

- ```

1. 将 09h 写入 FIFO_CTRL3           // 使能 FIFO 中的陀螺仪和加速度计（无抽取）
2. 将 26h 写入 FIFO_CTRL5           // 将 FIFO 设置为连续模式，FIFO ODR = 104 Hz
3. 将 80h 写入 CTRL6_C              // 使能边沿感应触发
                                         // INT2 引脚切换我输入模式（DEN 信号）
4. 将 80h 写入 CTRL4_C              // 将 DEN 功能扩展到加速计传感器
5. 将 40h 写入 CTRL1_XL             // 开启加速度计：ODR_XL = 104 Hz, FS_XL = ±2g
6. 将 4Ch 写入 CTRL2_G              // 开启陀螺仪
                                         // ODR_G = 104 Hz, FS_G = ±2000 dps

```

#### 4.8.2 电平感应触发模式

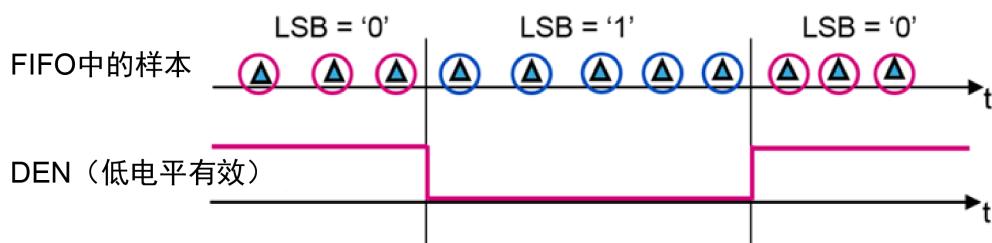
可以通过将 CTRL6\_C 中的 LVL1\_EN 位置为 1，并将 CTRL6\_C 中的 TRIG\_EN、LVL2\_EN 位置为 0，来使能电平感应触发模式。

一旦使能电平感应触发模式，那么如果 DEN 电平有效，则所选数据（在输出寄存器和 FIFO 中）的 LSB 位将被替换为 1；如果 DEN 电平未被激活，则所选数据的 LSB 位会被替换为 0。所选数据可以是加速度计或陀螺仪传感器的 X、Y、Z 轴，可通过 CTRL9\_XL 中的 DEN\_X、DEN\_Y、DEN\_Z 和 DEN\_XL\_G 位来定义。

所有数据都可以根据 FIFO 设置存储在 FIFO 中。

图 9. 电平感应触发模式，DEN 低电平有效 以红色圆圈显示 LSB = 0（DEN 未激活）时存储在 FIFO 中的样本，蓝色圆圈表示 LSB = 1（DEN 激活）时存储在 FIFO 中的样本。

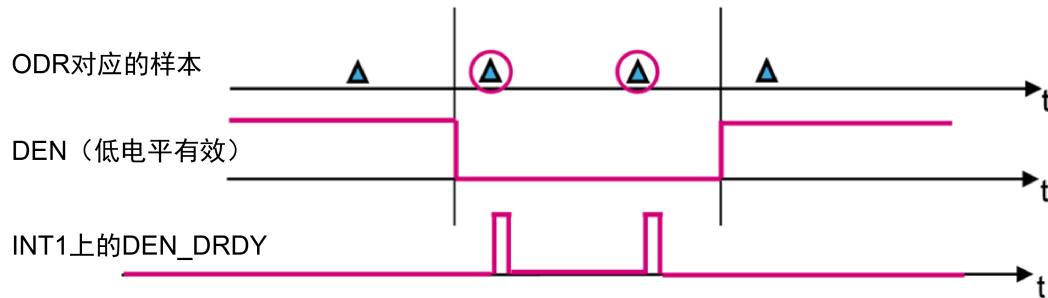
图 9. 电平感应触发模式，DEN 低电平有效



当电平感应触发模式使能时，DEN 信号也可用于过滤 INT1 引脚上的数据就绪信号。只有在 DEN 引脚处于活动状态时，INT1 才会显示数据就绪信息。为此，CTRL4\_C 寄存器的 DEN\_DRDY\_INT1 位必须置为 1。中断信号可以根据 DRDY\_PULSE\_CFG 寄存器的 DRDY\_PULSED 位进行锁存或脉冲。

图 10. 电平感应触发模式，DEN 低电平有效，DEN\_DRDY 在 INT1 上 显示了当 DEN 电平低（有效状态）时 INT1 上的数据就绪示例。

图 10. 电平感应触发模式, DEN 低电平有效, DEN\_DRDY 在 INT1 上



#### 4.8.3 电平感应锁存模式

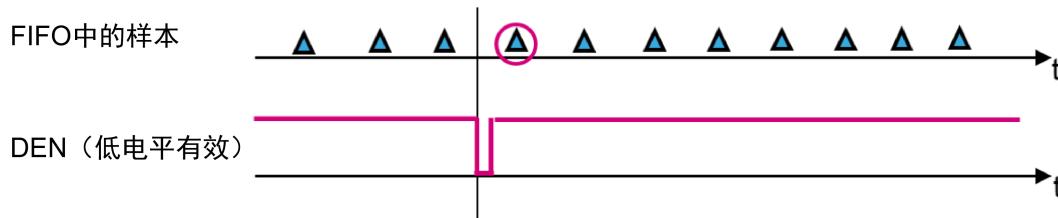
可以通过将 CTRL6\_C 中的 LVL1\_EN 和 LVL2\_EN 位设置为 1，并将 CTRL6\_C 中的 TRIG\_EN 位设置为 0，来使能电平感应锁存模式。

当使能电平感应锁存模式时，所选数据（在输出寄存器和 FIFO 中）的 LSB 位通常设置为 0，并且仅在 DEN 引脚上一个脉冲之后的第一个采样时变为 1。

数据可以通过 CTRL9\_XL 中的 DEN\_X、DEN\_Y、DEN\_Z 和 DEN\_XL\_G 位来选择。

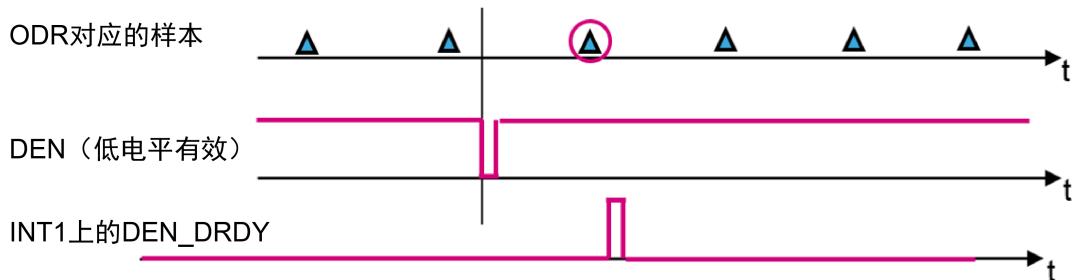
图 11. 电平感应锁存模式, DEN 低电平有效 显示了 DEN 低电平有效时电平感应锁存模式的示例。在 DEN 引脚上的脉冲之后，带红色圆圈的采样在 LSB 位上的值为 1。所有其他样本的 LSB 位都为 0。

图 11. 电平感应锁存模式, DEN 低电平有效



当使能电平感应锁存模式，并且 CTRL4\_C 寄存器的 DEN\_DRDY\_INT1 位设置为 1 时，INT1 引脚上会产生一个脉冲，对应于 DEN 脉冲出现后产生的第一个采样可用（见图 12. 电平感应锁存模式, DEN 低电平有效, DEN\_DRDY 在 INT1 上）。

图 12. 电平感应锁存模式, DEN 低电平有效, DEN\_DRDY 在 INT1 上



#### 4.8.4 启用电平感应 FIFO

可通过将 CTRL6\_C 中的 TRIG\_EN 和 LVL1\_EN 位设置为 1，并将 CTRL6\_C 中的 LVL2\_EN 位设置为 0，来启用电平感应 FIFO 使能模式。

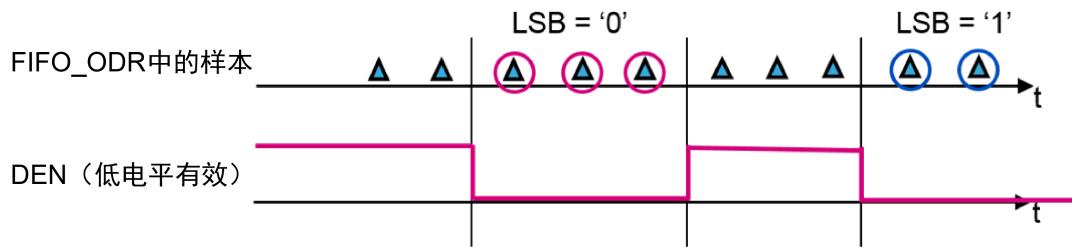
一旦启用了电平感应 FIFO 使能模式，只有当 DEN 引脚为有效状态时，才会将数据存储到 FIFO 中。

此模式下，所选数据的 LSB 位（在输出寄存器和 FIFO 中），对于奇数 DEN 事件，会替代为 0，对于偶数 DEN 事件，会替代为 1。该功能可将当前 DEN 激活窗口期间存储在 FIFO 中的数据与下一个 DEN 激活窗口期间存储在 FIFO 中的数据区分开来。

所选数据可以是加速度计或陀螺仪传感器的 X、Y、Z 轴。数据可以通过 CTRL9\_XL 中的 DEN\_X、DEN\_Y、DEN\_Z 和 DEN\_XL\_G 位来选择。

图 13. 电平感应 FIFO 使能模式，DEN 低电平有效中显示了电平感应 FIFO 使能模式的示例，红圈表示存储在 FIFO 中、LSB 位为 0 的采样，而蓝圈表示 LSB 位为 1 的采样。

图 13. 电平感应 FIFO 使能模式，DEN 低电平有效



#### 4.8.5 用于 DEN 冲压的 LSB 选择

当使用电平感应模式（触发或锁存）时，可以选择哪个 LSB 必须包含与 DEN 引脚特性有关的信息。根据 CTRL9\_XL 寄存器的 DEN\_X、DEN\_Y、DEN\_Z 和 DEN\_XL\_G 位，可以在加速度计或陀螺仪轴上标记此信息。将 DEN\_X、DEN\_Y、DEN\_Z 位置为 1 时，DEN 信息会被标记在由 DEN\_XL\_G 位选择的传感器对应轴的 LSB 中。通过将 DEN\_XL\_G 设置为 0，可将 DEN 信息标记在选定的陀螺仪轴中，而将 DEN\_XL\_G 设置为 1，可将 DEN 信息标记在所选的加速度计轴中。

默认情况下，这些位被配置为包含所有陀螺仪轴上的信息。

#### 4.8.6 OIS DEN 模式

通过 CTRL1\_OIS 寄存器中的 LVL1\_OIS 位和 INT\_OIS 寄存器中的 LVL2\_OIS 位，可以只对 OIS 链上的陀螺仪使能电平感应模式：

- 当 LVL1\_OIS = 1 且 LVL2\_OIS = 0 时，选择电平感应触发模式；
- 当 LVL1\_OIS = 1 且 LVL2\_OIS = 1 时，选择电平感应锁存模式。

可以通过 CTRL3\_OIS 寄存器中的 DEN\_LH\_OIS 位设置 DEN 有效电平：

- 当 DEN\_LH\_OIS = 0 时，DEN 为低电平有效；
- 当 DEN\_LH\_OIS = 1 时，DEN 为高电平有效。

一旦使能了两种 OIS DEN 模式之一，所有三个轴的 LSB 位会如上一段所述发生变化。在这种情况下，不可能只选择一个或两个轴。

## 5 中断生成

ISM330DLC 器件中，中断产生仅以加速度计数据为基础，因此要产生中断，加速度计传感器必须设置为活动工作模式（不能处于掉电模式）；陀螺仪传感器可配置为掉电模式，因为它与中断产生无关。

可对中断发生器进行配置，来检测：

- 自由落体；
- 唤醒；
- 6D/4D 方向检测；
- 单击和双击感测；
- 活动/不活动识别；
- 相对倾斜；
- 时间戳。

所有这些中断信号，以及 FIFO 中断信号，可被独立地驱动至 INT1 和 INT2 中断引脚，或通过读取特定源寄存器位分别对其进行检测。

必须使用 CTRL3\_C 寄存器的 H\_LACTIVE 位来选择中断引脚极性。如果该位置为 0（默认值），则中断引脚为高电平激活，当检测到相关中断条件时，这些引脚从低电平变为高电平。否则，如果 H\_LACTIVE 位置为 1（低电平激活），则中断引脚正常为高电平，当达到中断条件时，从高电平变为低电平。

CTR3\_C 的 PP\_OD 位允许将中断引脚逻辑电路从推挽更改为开漏。如果 PP\_OD 位置为 0，则中断引脚处于推挽配置（对于高电平和低电平均为低阻抗输出）。当 PP\_OD 位置为 1 时，只有中断活动状态是低阻抗输出。

TAP\_CFG 的 LIR 位可支持中断信号应用锁存模式。LIR 位置为 1 时，中断引脚一旦被声明，就必须通过读取相关中断源寄存器才能将其复位。如果 LIR 位置为 0，则当不再检测到中断条件或一定时间后，中断信号可自动复位。

### 5.1 中断引脚配置

该器件具有两个引脚，可激活引脚来生成数据准备就绪或中断信号。这些引脚的功能，对于 INT1 引脚是通过 MD1\_CFG 和 INT1\_CTRL 寄存器来进行选择，对于 INT2 引脚是通过 MD2\_CFG 和 INT2\_CTRL 寄存器来进行选择。

以下概述给出了这些中断控制寄存器的简要描述；这些比特的默认值等于 0，对应于“禁用”。要使能引脚上特定中断信号的线路，须将有关位置为 1。

表 27. INT1\_CTRL 寄存器

| b7 | b6 | b5                     | b4                    | b3           | b2            | b1              | b0               |
|----|----|------------------------|-----------------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| 0  | 0  | INT1_<br>FULL_<br>FLAG | INT1_<br>FIFO_<br>OVR | INT1_<br>FTH | INT1_<br>BOOT | INT1_<br>DRDY_G | INT1_<br>DRDY_XL |

- INT1\_FULL\_FLAG: INT1 上 FIFO 全满标志中断
- INT1\_FIFO\_OVR: INT1 上 FIFO 溢出标志中断
- INT1\_FTH: INT1 上 FIFO 阈值中断
- INT1\_BOOT: INT1 上启动中断
- INT1\_DRDY\_G: INT1 上陀螺仪数据准备就绪
- INT1\_DRDY\_XL: INT1 上加速度计数据准备就绪

表 28. MD1\_CFG 寄存器

| b7               | b6              | b5      | b4      | b3              | b2      | b1        | b0         |
|------------------|-----------------|---------|---------|-----------------|---------|-----------|------------|
| INT1_INACT_STATE | INT1_SINGLE_TAP | INT1_WU | INT1_FF | INT1_DOUBLE_TAP | INT1_6D | INT1_TILT | INT1_TIMER |

- INT1\_INACT\_STATE: INT1 上非活动中断
- INT1\_SINGLE\_TAP: INT1 上单击中断
- INT1\_WU: INT1 上唤醒中断
- INT1\_FF: INT1 上自由落体中断
- INT1\_DOUBLE\_TAP: INT1 上双击中断
- INT1\_6D: INT1 上 6D 检测中断
- INT1\_TILT: INT1 上倾斜中断
- INT1\_TIMER: INT1 上定时器中断

表 29. INT2\_CTRL 寄存器

| b7 | b6 | b5             | b4            | b3       | b2             | b1          | b0           |
|----|----|----------------|---------------|----------|----------------|-------------|--------------|
| 0  | 0  | INT2_FULL_FLAG | INT2_FIFO_OVR | INT2_FTH | INT2_DRDY_TEMP | INT2_DRDY_G | INT2_DRDY_XL |

- INT2\_FULL\_FLAG: INT2 上 FIFO 全满标志中断
- INT2\_FIFO\_OVR: INT2 上 FIFO 上溢标志中断
- INT2\_FTH: INT2 上 FIFO 阈值中断
- INT2\_DRDY\_TEMP: INT2 上温度数据准备就绪
- INT2\_DRDY\_G: INT2 上陀螺仪数据准备就绪
- INT2\_DRDY\_TEMP: INT2 上温度数据准备就绪

表 30. MD2\_CFG 寄存器

| b7               | b6              | b5      | b4      | b3              | b2      | b1        | b0        |
|------------------|-----------------|---------|---------|-----------------|---------|-----------|-----------|
| INT2_INACT_STATE | INT2_SINGLE_TAP | INT2_WU | INT2_FF | INT2_DOUBLE_TAP | INT2_6D | INT2_TILT | INT2_IRON |

- INT2\_INACT\_STATE: INT2 上非活动中断
- INT2\_SINGLE\_TAP: INT2 上单击中断
- INT2\_WU: INT2 上唤醒中断
- INT2\_FF: INT2 上自由落体中断
- INT2\_DOUBLE\_TAP: INT2 上双击中断
- INT2\_6D: INT2 上 6D 检测中断
- INT2\_TILT: INT2 上倾斜中断
- INT2\_IRON: INT2 上软铁/硬铁中断

如果多个中断信号发送到同一个引脚上 (INTx)，则该引脚的逻辑电平位所选中断信号组合的“或”。要识别出是什么事件产生了中断条件，则须读取相关源寄存器：WAKE\_UP\_SRC、D6D\_SRC、TAP\_SRC、FUNC\_SRC1 和 FUNC\_SRC2。

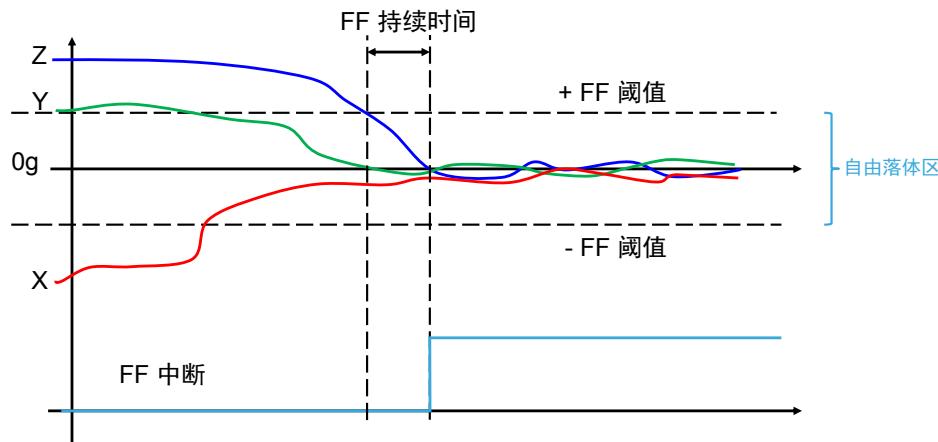
CTRL4\_C 寄存器的 INT2\_on\_INT1 引脚能够驱动 INT1 引脚上的所有已使能中断信号进行逻辑“或”（通过将该位置为 1）。当该位置为 0 时，中断信号分配到 INT1 和 INT2 引脚上。

必须通过设置 TAP\_CFG 寄存器中的 INTERRUPTS\_ENABLE 位来使能基本中断 (6D/4D、自由落体、唤醒、点击、不活动)。

## 5.2 自由落体中断

自由落体检测涉及特定的寄存器配置，可以识别器件何时处于自由落体：沿各轴所测得的加速度均为 0。真实情境下，一个“自由落体区域”定义为大约零-g 水平，其中所有加速度均足够小，可以产生中断。自由落体事件检测关联了可配置的阈值和持续时间参数：阈值参数定义了自由落体区幅度；持续时间参数定义了可识别的自由落体中断事件的最小持续时间（图 14. 自由落体中断）。

图 14. 自由落体中断



通过将 TAP\_CFG 寄存器中的 INTERRUPTS\_ENABLE 位置为 1，可使能该自由落体中断信号，将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_FF 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_FF 位置为 1，可将该中断信号驱动至两个中断引脚上；还可通过读取 WAKE\_UP\_SRC 寄存器的 FF\_IA 位对其进行检查。

如果锁存模式禁用 (TAP\_CFG 的 LIR 位置为 0)，则当检测不到自由落体条件时，中断信号会自动复位。如果锁存模式使能且自由落体中断信号被驱动至中断引脚，那么当发生自由落体事件且声明了中断引脚时，必须通过读取 WAKE\_UP\_SRC 寄存器来将其复位。如果使能了锁存模式，但是中断信号未驱动至中断引脚，那么锁存功能不起作用。

FREE\_FALL 寄存器用来配置阈值参数；无符号阈值与 FF\_THS[2:0]字段值的值相关，如表 31. 自由落体阈值 LSB 值 所示。此表中给出的值对于每个加速度计满量程值均有效。

表 31. 自由落体阈值 LSB 值

| FREE_FALL - FF_THS[2:0] | 阈值 LSB 值 [mg] |
|-------------------------|---------------|
| 000                     | 156           |
| 001                     | 219           |
| 010                     | 250           |
| 011                     | 312           |
| 100                     | 344           |
| 101                     | 406           |
| 110                     | 469           |

| FREE_FALL - FF_THS[2:0] | 阈值 LSB 值 [mg] |
|-------------------------|---------------|
| 111                     | 500           |

持续时间在 N/ODR\_XL 中测得，其中 N 为 FREE\_FALL / WAKE\_UP\_DUR 寄存器 FF\_DUR[5:0] 字段的内容，ODR\_XL 为加速度计数据率。

下面给出了自由落体事件识别的基本 SW 程序。

1. 将 60h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 416 Hz, FS\_XL = ±2 g
2. 将 81h 写入 TAP\_CFG // 使能中断并锁存中断
3. 将 00h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 设置事件持续时间 (FF\_DUR5 位)
4. 将 33h 写入 FREE\_FALL // 设置 FF 阈值 (FF\_THS[2:0] = 011b)  
// 设置六个采样事件持续时间 (FF\_DUR[5:0] = 000110b)
5. 将 10h 写入 MD1\_CFG // FF 中断驱动至 INT1 引脚

示例代码中利用设置为 312mg 的阈值，用于自由落体识别，该事件由硬件通过 INT1 引脚进行通知。FREE\_FALL / WAKE\_UP\_DUR 寄存器的 FF\_DUR[5:0] 字段像这样配置：忽略短于  $6/\text{ODR}_\text{XL} = 6/412 \text{ Hz} \approx 15 \text{ ms}$  的事件，以避免错误检测。

### 5.3 唤醒中断

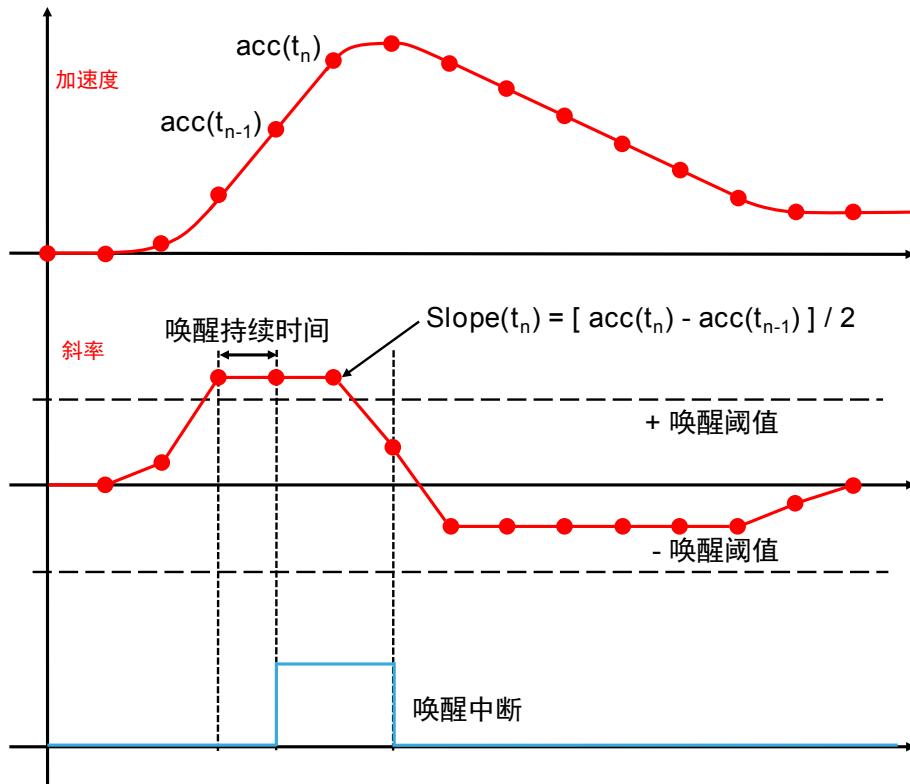
ISM330DLC 器件中，唤醒功能可利用斜率滤波器（更多详细信息参见第 3.7.1 节 加速度计斜率滤波器）或高通数字滤波器来实现，如图 2. 加速度计滤波链（模式 1/2/3）所示。所用滤波器可通过 TAP\_CFG 寄存器的 SLOPE\_FDS 位来选择：如果该位被置为 0（默认值），则使用斜率滤波器；如果被置为 1，则使用 HPF 数字滤波器。如果模式 4 使能，则使用斜率滤波器实现唤醒功能，无论 SLOPE\_FDS 位的值是多少。

如果一定数量的连续滤波数据超出了所配置阈值，则产生唤醒中断信号（图 15. 唤醒中断（利用斜率滤波器））。该无符号阈值由 WAKE\_UP\_THS 寄存器的 WK\_THS[5:0] 位来定义；这 6 比特的 1 LSB 值取决于所选加速度计满量程： $1 \text{ LSB} = (\text{FS}_\text{XL})/(2^6)$ 。阈值可应用于正负数据：对于唤醒中断生成，滤波数据的绝对值必须大于阈值。

持续时间参数定义了所识别的唤醒事件的最小持续时间；其值由 WAKE\_UP\_DUR 寄存器的 WAKE\_DUR[1:0] 位来设置：1 LSB 对应于  $1/\text{ODR}_\text{XL}$  时间，这里 ODR\_XL 为加速度计输出数据率。要避免因输入信号寄生尖峰而产生不期望的唤醒中断，适当定义持续时间参数是非常重要的。

通过将 TAP\_CFG 寄存器中的 INTERRUPTS\_ENABLE 位置为 1，可使能该中断信号，将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_WU 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_WU 位置为 1，可将该中断信号驱动至两个中断引脚上；还可通过读取 WAKE\_UP\_SRC 寄存器的 WU\_IA 位对其进行检查。WAKE\_UP\_SRC 寄存器的 X\_WU、Y\_WU、Z\_WU 位指示哪个轴触发了唤醒事件。

图 15. 唤醒中断（利用斜率滤波器）



如果锁存模式禁用（TAP\_CFG 的 LIR 位置为 0），则当滤波数据低于阈值时，中断信号会自动复位。如果锁存模式使能且唤醒中断信号被驱动至中断引脚，那么当发生唤醒事件且声明了中断引脚时，必须通过读取 WAKE\_UP\_SRC 寄存器来将其复位。如果使能了锁存模式，但是中断信号未驱动至中断引脚，那么锁存功能不起作用。

以下给出使用高通数字滤波器进行唤醒事件识别的基本 SW 程序。

1. 将 60h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 416 Hz, FS\_XL = ±2 g
2. 将 90h 写入 TAP\_CFG // 使能中断并应用高通数字滤波器；锁存  
// 模式禁用
3. 将 00h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 无持续
4. 将 02h 写入 WAKE\_UP\_THS // 设置唤醒阈值
5. 将 20h 写入 MD1\_CFG // 唤醒中断驱动至 INT1 引脚

由于持续时间被置为 0，因此每个 X、Y、Z 滤波数据超出所配置阈值时，会生成唤醒中断信号。本例中，WAKE\_UP\_THS 寄存器的 WK\_THS 字段被置为 000010b，因此活动/不活动阈值为  $62.5 \text{ mg} (= 2 * \text{FS}_X / 2^6)$ 。由于唤醒功能利用斜率/高通数字滤波器实现，因此有必要考虑此功能使能后滤波器的稳定时间。例如，当使用斜率滤波器时（不过对于使用高通数字滤波器可以做类似考虑），唤醒功能基于阈值与两次(x,y,z)采样（当前和前次）加速度差的一半相比较（参考第 3.7.1 节 加速度计斜率滤波器）。

在第一个采样处，斜率滤波器输出计算为当前采样[例如， $(x,y,z) = (0,0,1g)$ ]与前次采样 $(x,y,z)=(0,0,0)$ （因为前次采样不存在）之差的一半。因此，在 z 轴上，斜率滤波器的第一个输出值为 $(1g - 0)/2=500\text{ mg}$ ，发生伪中断事件的情况下，该值可能会大于阈值。中断信号保持为高电平，并持续 1 个 ODR，然后变为低电平。

要避免产生这种伪中断，可以有多种解决方案。下面三个备选解决方案（对于斜率滤波器的情形）：

- 忽略第一个产生的唤醒信号；
- 将中断信号驱动到 INT1/2 引脚前，增加一段高于 1 个 ODR 的等待时间；
- 初始时设置一个较高的 ODR（833 Hz），这样会在较短时间内产生最初的 2 个采样，然后按上述步骤设置所需 ODR（例如 12.5 Hz）并驱动中断信号至引脚：

1. 将 00h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 无持续
2. 将 02h 写入 WAKE\_UP\_THS // 设置唤醒阈值
3. 将 80h 写入 TAP\_CFG // 使能中断并应用斜率滤波器；锁存模式禁用
4. 将 70h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 833 Hz, FS\_XL = ±2 g
5. 等待 4 ms // 插入（减少）等待时间
6. 将 10h 写入 CTRL1\_XL // ODR\_XL = 12.5 Hz
7. 将 20h 写入 MD1\_CFG // 唤醒中断驱动至 INT1 引脚

## 5.4 6D/4D 定向检测

ISM330DLC 器件具有检测空间中器件方向的能力，能够容易地实现移动设备的节能程序和自动图像旋转。

### 5.4.1 6D 定向检测

可以检测器件在空间中的六个方向；当器件从一个方向转向另一个方向时，中断信号被声明。只要保持其位置，中断就不会重新声明。

对于两个连续采样，当只有一个轴超出所选阈值，其他两轴上测得的加速度值低于阈值时，会产生 6D 中断：D6D\_SRC 寄存器的 ZH, ZL, YH, YL, XH, XL 位表示出哪个轴触发了 6D 事件。

更具体地说：

表 32. D6D\_SRC 寄存器

| b7       | b6     | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|----------|--------|----|----|----|----|----|----|
| DEN_DRDY | D6D_IA | ZH | ZL | YH | YL | XH | XL |

- 当器件从一个方向转向另一个方向时，D6D\_IA 被置为高电平。
- 当垂直于 Z(Y, X) 轴的面几乎是平面，Z(Y, X) 轴上测得的加速度为正且绝对值大于阈值时，ZH (YH, XH) 被置为高电平。
- 当垂直于 (Y, X) 轴的面几乎是平面，Z(Y, X) 轴上测得的加速度为负且绝对值大于阈值时，ZL (YL, XL) 被置为高电平。

TAP\_THS\_6D 寄存器的 SIXD\_THS[1:0] 位用来选择阈值，该阈值用于检测器件方向变化。表 33. 4D/6D 功能阈值中给出的阈值对于每种加速度计满量程值均有效。

表 33. 4D/6D 功能阈值

| SIXD_THS[1:0] | 阈值[degrees] |
|---------------|-------------|
| 00            | 80          |
| 01            | 70          |

| SIXD_THS[1:0] | 阈值[degrees] |
|---------------|-------------|
| 10            | 60          |
| 11            | 50          |

通过将 CTRL8\_XL 寄存器的 LOW\_PASS\_ON\_6D 位置为 1，此低通滤波器 LPF2 还可用于 6D 功能。如果模式 4 使能，则 LFP2 不应用于 6D 功能，无论 LOW\_PASS\_ON\_6D 位的值是多少。

通过将 TAP\_CFG 寄存器中的 INTERRUPTS\_ENABLE 位置为 1，可使能该中断信号，将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_6D 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_6D 位置为 1，可将该中断信号驱动至两个中断引脚上；还可通过读取 D6D\_SRC 寄存器的 D6D\_IA 位对其进行检查。

如果锁存模式禁用（TAP\_CFG 的 LIR 位置为 0），则中断信号仅激活 1/ODR\_XL[s]，然后自动失效（ODR\_XL 为加速度计输出数据率）。如果锁存模式使能，并且 6D 中断信号被驱动至中断引脚，那么当方向发生了改变且中断引脚被声明时，对 D6D\_SRC 寄存器的读取会清除请求，器件将识别另一个不同的方向。如果使能了锁存模式，但是中断信号未驱动至中断引脚，那么锁存功能不起作用。

参考图 16. 6D 识别方向中所示的六种可能情形，表 34. 6D 定位下的 D6D\_SRC 寄存器中显示了每个位置对应的 D6D\_SRC 寄存器内容所示。

图 16. 6D 识别方向

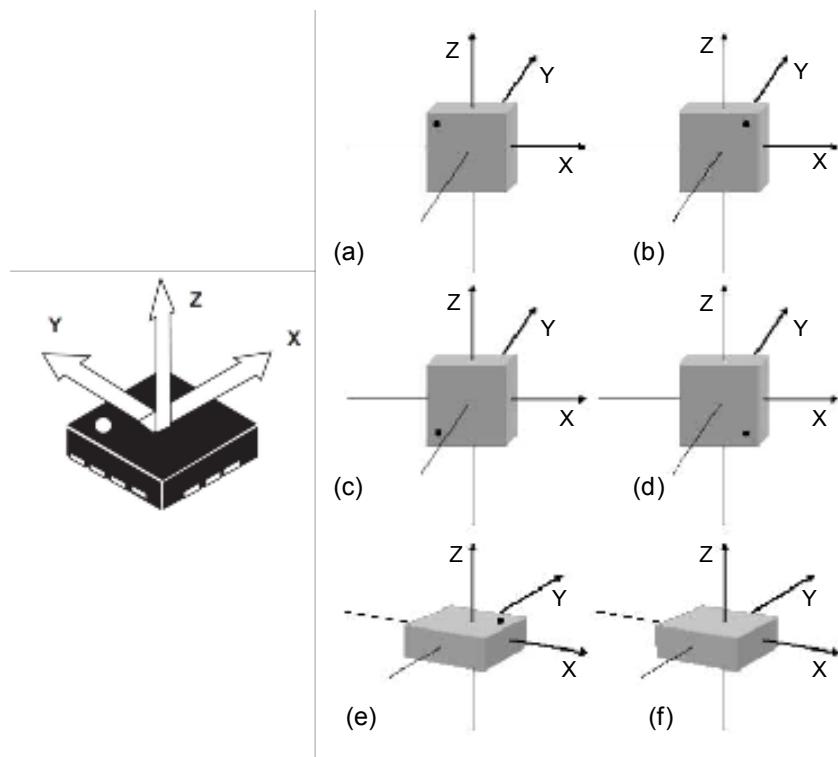


表 34. 6D 定位下的 D6D\_SRC 寄存器

| 用例  | D6D_IA | ZH | ZH | YH | YL | XH | XL |
|-----|--------|----|----|----|----|----|----|
| (a) | 1      | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| (b) | 1      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |

| 用例  | D6D_IA | ZH | ZH | YH | YL | XH | XL |
|-----|--------|----|----|----|----|----|----|
| (c) | 1      | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| (d) | 1      | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  |
| (e) | 1      | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| (f) | 1      | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |

6D 方向检测的基本 SW 例程如下。

1. 将 60h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计
2. 将 80h 写入 TAP\_CFG // 使能中断；锁存模式禁用
3. 将 40h 写入 TAP\_THS\_6D // 设置 6D 阈值 (SIXD\_THS[1:0] = 10b = 60 degrees)
4. 将 01h 写入 CTRL8\_XL // 将 LPF2 滤波器用于 6D 功能
5. 将 04h 写入 MD1\_CFG // 6D 中断驱动至 INT1 引脚

#### 5.4.2 4D 方向检测

4D 方向功能是 6D 功能的子集，它被专门定义来进行移动设备中的纵向和横向计算。它可通过将 TAP\_THS\_6D 寄存器的 D4D\_EN 位置为 1 来使能。这种配置下，Z 轴位置检测被禁用，因此位置识别减少为表 34. 6D 定位下的 D6D\_SRC 寄存器的(a)、(b)、(c)和(d)的情形。

#### 5.5 单击和双击识别

ISM330DLC 具有单击和双击识别功能，能够在极少软件负载的情况下帮助创建人机界面。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。

如果传感器施加单个输入激励，那么它会在惯性中断引脚 INT1 和/或 INT2 上产生中断请求。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。

ISM330DLC 器件中，单击和双击识别功能利用两个连续加速度采样之间的斜率来检测点击事件；斜率数据利用以下公式计算：

$$\text{slope}(t_n) = [\text{acc}(t_n) - \text{acc}(t_{n-1})] / 2$$

此功能可完全由用户编程，利用专门的寄存器组对所期望的斜率数据幅度和时序进行编程。

单击和双击识别独立于所选输出数据率而工作。对于这些功能，建议的加速度计 ODR 为 416 Hz 和 833 Hz。

要启用单击和双击识别功能，必须将 TAP\_CFG 寄存器中的 INTERRUPTS\_ENABLE 位置为 1。

## 5.5.1

## 单击

如果器件配置为单击事件检测，那么当所选通道的斜率数据超出了所编程阈值时，会产生一个中断，并在 Shock 时间窗口内返回低电平。

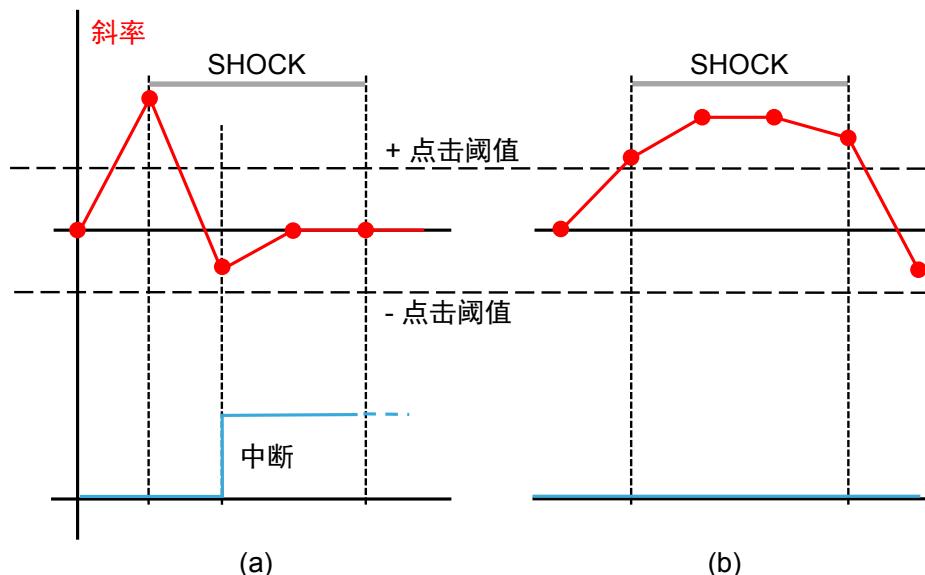
在单击情况下，如果 TAP\_CFG 寄存器的 LIR 位被置为 0，则中断在 Quiet 窗口持续时间内保持激活。

为了在单击中断信号上使能锁存功能，LIR 位和 MD1\_CFG (MD2\_CFG) 的 INT1\_DOUBLE\_TAP (或 INT2\_DOUBLE\_TAP) 位必须置为 1：中断保持激活，直至 TAP\_SRC 寄存器被读取。

要实现仅使能单击识别，则 WAKE\_UP\_THS 的 SINGLE\_DOUBLE\_TAP 位必须置为 0。

图 17. 单击事件识别的情况(a)中识别出了单击事件，而在情况(b)中，由于在经过 Shock 时间窗口之后斜率数据低于阈值，因此未识别出点击。

图 17. 单击事件识别



## 5.5.2 双击

如果器件配置为双击事件检测，那么在第一次点击后、识别出第二次点击时，生成中断。只有当事件满足 Shock、Latency 和 Duration 时间窗口所定义的规则时，才进行第二次点击识别。

特别地，识别出第一次点击后，第二次点击检测过程会延迟 Quiet 时间所定义的时间间隔。这意味着，识别出第一次点击后，只有在 Quiet 窗口之后、Duration 窗口结束前，斜率数据超过阈值时，才开始第二次点击识别过程。

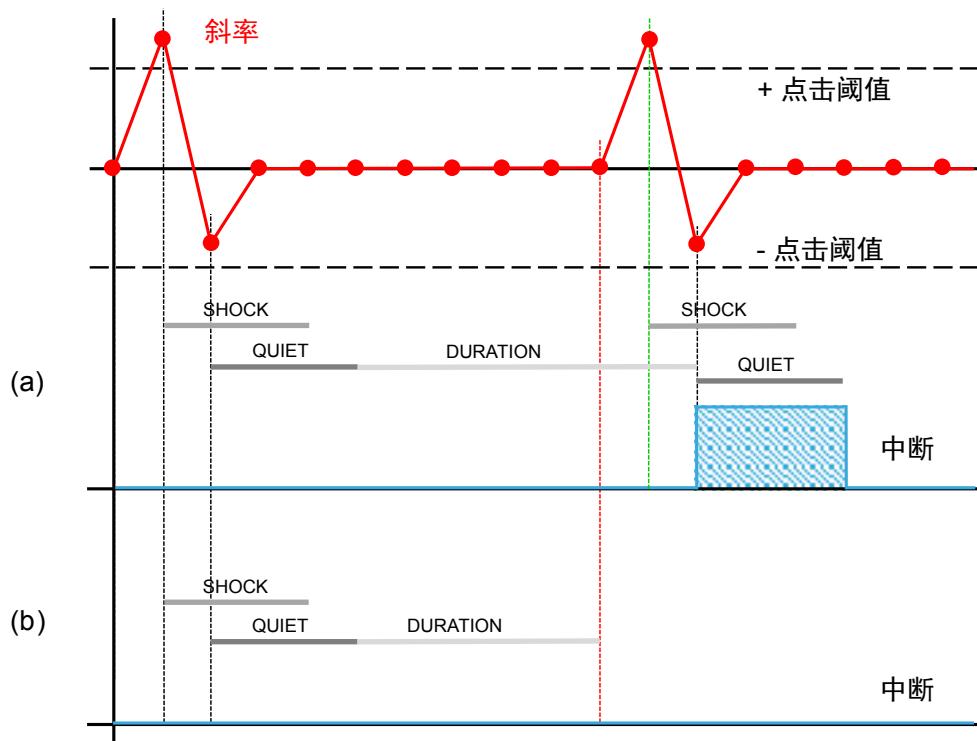
图 18. 双击事件识别 (LIR 位 = 0) 的情况(a)中，正确识别出了双击事件，而在情况(b)中，由于在经过窗口间隔之后斜率数据超出了阈值，因此未产生中断。

一旦第二次点击检测过程开始，则会按照与第一次相同的规则来识别第二次点击：在 Shock 窗口结束之前，斜率数据必须返回到低于阈值之下。

要避免因输入信号伪突变而产生不期望的点击，适当定义 Quiet 窗口是非常重要的。

在双击情况下，如果 TAP\_CFG 寄存器的 LIR 位被置为 0，则中断在 Quiet 窗口持续时间内保持激活。如果 LIR 位被置为 1，则中断保持激活直至 TAP\_SRC 寄存器被读取。

图 18. 双击事件识别 (LIR 位 = 0)



## 5.5.3

## 单击和双击识别配置

可对 ISM330DLC 器件进行配置，使其在任一方向发生点击（一次或两次）时均输出中断信号：TAP\_CFG 寄存器的 TAP\_X\_EN、TAP\_Y\_EN 和 TAP\_Z\_EN 位必须置为 1，分别使能 X、Y、Z 方向上的点击识别。此外，TAP\_CFG 寄存器的 INTERRUPTS\_ENABLE 位必须设置为 1。

点击识别功能的可配置参数为点击阈值和 Shock、Quiet 及 Duration 时间窗。

TAP\_THS\_6D 寄存器的 TAP\_THS[4:0]位用来选择用于检测点击事件的无符号阈值。这 5 个比特的 1 LSB 值取决于所选加速度计满量程：1 LSB =  $(FS\_XL)/(2^5)$ 。无符号阈值可应用于正负斜率数据上。

*注：通过 TAP\_THS\_6D 寄存器的 TAP\_THS [4:0]位设置的点击阈值（以 mg 为单位）必须高于通过 WAKE\_UP\_THS 寄存器的 WK\_THS [5:0]位设置的唤醒阈值（以 mg 为单位）。*

Shock 时间窗口定义了超阈值事件的最大持续时间：在 Shock 窗口结束前，加速度必须返回到低于阈值之下，否则不能检测到该点击事件。INT\_DUR2 寄存器的 SHOCK[1:0]位用来设置 Shock 时间窗口值：这几个位的默认值为 00b，对应于 4/ODR\_XL 的时间，这里 ODR\_XL 为加速度计输出数据率。如果 SHOCK[1:0]位被置为其他不同的值，那么 1 LSB 对应于 8、ODR\_XL 的时间。

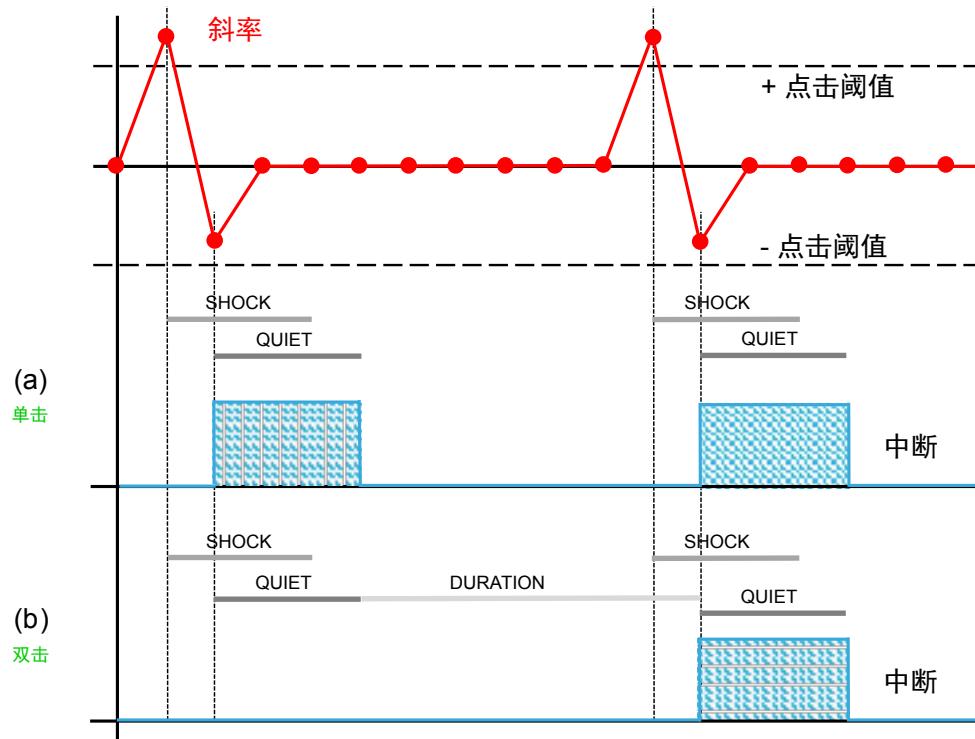
双击情况下，Quiet 时间窗口定义了第一次点击识别后的时间，期间不能发生超阈值。当锁存模式禁用（TAP\_CFG 的 LIR 位置为 0）时，Quiet 时间还定义了中断脉冲的长度（单击和双击情况下均如此）。INT\_DUR2 寄存器的 QUIET[1:0]位用来设置 Quiet 时间窗口值：这几个位的默认值为 00b，对应于 2/ODR\_XL 的时间，这里 ODR\_XL 为加速度计输出数据率。如果 QUIET[1:0]位被置为其他不同的值，那么 1 LSB 对应于 4/ODR\_XL 的时间。

双击情况下，Duration 时间窗口定义了连续两次检测到点击之间的最大时间。Duration 时间周期在第一次点击的 Quiet 时间结束后开始。INT\_DUR2 寄存器的 DUR[3:0]位用来设置 Duration 时间窗口值：这几个位的默认值为 0000b，对应于 16/ODR\_XL 的时间，这里 ODR\_XL 为加速度计输出数据率。如果 DUR[3:0]位被置为其他不同的值，那么 1 LSB 对应于 32/ODR\_XL 的时间。

图 19. 单击和双击识别 (LIR 位 = 0) 显示了单击事件 (a) 和双击事件 (b)。这些中断信号可被驱动至两个中断引脚，单击情况下通过将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_SINGLE\_TAP 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_SINGLE\_TAP 位置为 1 来实现，双击情况下通过将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_DOUBLE\_TAP 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_DOUBLE\_TAP 位置为 1 来实现。

如果加速度计处于不活动状态，则不产生单击/双击中断（更多详细信息见第 5.6 节 活动/不活动识别）。

图 19. 单击和双击识别 (LIR 位 = 0)



还可通过读取 TAP\_SRC (1Ch) 寄存器来检查点击中断信号，如表 35. TAP\_SRC 寄存器所述。

表 35. TAP\_SRC 寄存器

| b7 | b6     | b5         | b4         | b3       | b2    | b1    | b0    |
|----|--------|------------|------------|----------|-------|-------|-------|
| 0  | TAP_IA | SINGLE_TAP | DOUBLE_TAP | TAP_SIGN | X_TAP | Y_TAP | Z_TAP |

- 当检测到单击或双击事件时，TAP\_IA 置为高电平。
- 当检测到单击时，SINGLE\_TAP 置为高电平。
- 当检测到双击时，DOUBLE\_TAP 置为高电平。
- TAP\_SIGN 指示检测到点击事件时的加速度符号。符号为正时它为低电平，符号为负时它为高电平。
- 当在 X (Y、Z) 轴上检测到点击事件时，X\_TAP (Y\_TAP、Z\_TAP) 置为高电平。

单击和双击识别独立工作。将 WAKE\_UP\_THS 寄存器的 SINGLE\_DOUBLE\_TAP 位置为 0，则仅使能单击识别；双击识别被禁用，不能被检测到。当 SINGLE\_DOUBLE\_TAP 为 1 时，单击和双击识别均使能。

如果锁存模式使能，且中断信号被驱动至中断引脚，则指定到 SINGLE\_DOUBLE\_TAP 的值还会影响中断信号的特性：当它被置为 0 时，单击中断信号可应用锁存模式；当它被置为 1 时，只有双击中断信号可应用锁存模式。锁存的中断信号保持激活，直至 TAP\_SRC 寄存器被读取。如果使能了锁存模式，但是中断信号未驱动至中断引脚，那么锁存功能不起作用。

#### 5.5.4 单击示例

下面给出了单击检测的基本 SW 程序。

- 将 60h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 416 Hz, FS\_XL = ±2 g
- 将 8Eh 写入 TAP\_CFG // 使能 X、Y、Z 轴上的点击检测
- 将 89h 写入 TAP\_THS\_6D // 设置点击阈值
- 将 06h 写入 INT\_DUR2 // 设置 Quiet 和 Shock 时间窗口
- 将 00h 写入 WAKE\_UP\_THS // 只使能单击 (SINGLE\_DOUBLE\_TAP = 0)
- 将 40h 写入 MD1\_CFG // 单击中断驱动至 INT1 引脚

本例中，TAP\_THS\_6D 寄存器的 TAP\_THS 字段被置为 01001b，因此点击阈值为  $562.5 \text{ mg} (= 9 * \text{FS}_\text{XL} / 2^5)$ 。INT\_DUR2 寄存器的 SHOCK 字段被置为 10b：当斜率数据超出所编程阈值时，产生中断，并在 38.5 ms ( $= 2 * 8 / \text{ODR}_\text{XL}$ ) 内返回到低于该阈值，这段时间对应于 Shock 时间窗口。

INT\_DUR2 寄存器的 QUIET 字段被置为 01b：由于锁存模式禁用，中断会保持高电平并持续 Quiet 窗口的时间，因此为 9.6 ms ( $= 1 * 4 / \text{ODR}_\text{XL}$ )。

#### 5.5.5 双击示例

下面给出了双击检测的基本 SW 程序。

- 将 60h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 416 Hz, FS\_XL = ±2 g
- 将 8Eh 写入 TAP\_CFG // 使能 X、Y、Z 轴上的点击检测
- 将 8Ch 写入 TAP\_THS\_6D // 设置点击阈值
- 将 7Fh 写入 INT\_DUR2 // 设置 Duration、Quiet 和 Shock 时间窗口

5. 将 80h 写入 WAKE\_UP\_THS // 使能单击 & 双击 (SINGLE\_DOUBLE\_TAP = 1)
6. 将 08h 写入 MD1\_CFG // 双击中断驱动至 INT1 引脚

本例中, TAP\_THS\_6D 寄存器的 TAP\_THS 字段被置为 01100b, 因此点击阈值为  $750 \text{ mg} (= 12 * \text{FS}_\text{XL} / 2^5)$ 。要实现中断生成, 在第一次和第二次点击过程中, Shock 结束前, 斜率数据必须返回到低于阈值。INT\_DUR2 寄存器的 SHOCK 字段被置为 11b, 因此 Shock 时间为  $57.7 \text{ ms} (= 3 * 8 / \text{ODR}_\text{XL})$ 。对于中断生成, 第一次点击识别后, 在 Quiet 时间窗口内斜率数据不能超阈值。而且, 由于锁存模式禁用, 因此中断会保持高电平, 并持续 Quiet 窗口的时间。INT\_DUR2 寄存器的 QUIET 字段被置为 11b, 因此 Quiet 时间为  $28.8 \text{ ms} (= 3 * 4 / \text{ODR}_\text{XL})$ 。

要使连续两次检测到的点击之间时间达到最大, INT\_DUR2 寄存器的 DUR 字段被置为 0111b, 因此 Duration 时间为  $538.5 \text{ ms} (= 7 * 32 / \text{ODR}_\text{XL})$ 。

## 5.6 活动/不活动识别

活动/不活动识别功能能够减少系统功耗, 可支持开发新型智能应用。

当活动/不活动识别功能激活时, ISM330DLC 器件能够自动将加速度计采样率降低至 12.5 Hz, 当检测到唤醒中断事件时增加加速度计 ODR 和带宽。在 ISM330DLC 中这个功能可以扩展到陀螺仪, 有三种可能的选择:

- 陀螺仪配置不变;
- 陀螺仪进入睡眠模式;
- 陀螺仪进入掉电模式。

利用此功能, 根据用户所选的加速事件, 系统可以高效地从低功耗模式转换成全性能模式, 反之亦然, 因此可以保证节能和灵活性。

使用活动/不活动功能所允许的最大加速度计 ODR (可通过 CTRL1\_XL 寄存器的 ODR\_XL [3:0]位来配置) 为 3.3 kHz。

通过将 INTERRUPTS\_ENABLE 位置为 1, 并配置 TAP\_CFG 寄存器的 INACT\_EN 位, 可使能活动/不活动识别功能。[表 36. 不活动事件配置](#) 中总结了不活动事件的可能配置。

**表 36. 不活动事件配置**

| INACT_EN[1:0] | 加速度计                     | 陀螺仪         |
|---------------|--------------------------|-------------|
| 00            | 不活动事件禁用                  | 不活动事件禁用     |
| 01            | XL ODR = 12.5 Hz (低功耗模式) | 陀螺仪配置不变     |
| 10            | XL ODR = 12.5 Hz (低功耗模式) | Gyro 处于睡眠模式 |
| 11            | XL ODR = 12.5 Hz (低功耗模式) | 陀螺仪处于掉电模式   |

ISM330DLC 器件中, 可以利用斜率滤波器 (更多详细信息见[第 3.7.1 节 加速度计斜率滤波器](#)) 或高通数字滤波器来实现活动/不活动识别功能, 如[图 2. 加速度计滤波链 \(模式 1/2/3\)](#) 中所示。所用滤波器可通过 TAP\_CFG 寄存器的 SLOPE\_FDS 位来选择: 如果该位被置为 0 (默认值), 则使用斜率滤波器; 如果被置为 1, 则使用高通数字滤波器。如果模式 4 使能, 则使用斜率滤波器实现活动/不活动识别功能, 无论 SLOPE\_FDS 位的值是多少。

此功能可完全由用户编程, 利用专门的寄存器组对所期望的滤波数据幅度和时序进行编程 ([图 20. 活动/不活动识别 \(利用斜率滤波器\)](#) )。

该无符号阈值由 WAKE\_UP\_THS 寄存器的 WK\_THS[5:0]位来定义; 这 6 比特的 1 LSB 值取决于所选加速度计满量程:  $1 \text{ LSB} = (\text{FS}_\text{XL})/(2^6)$ 。该阈值可适用于正负滤波数据。

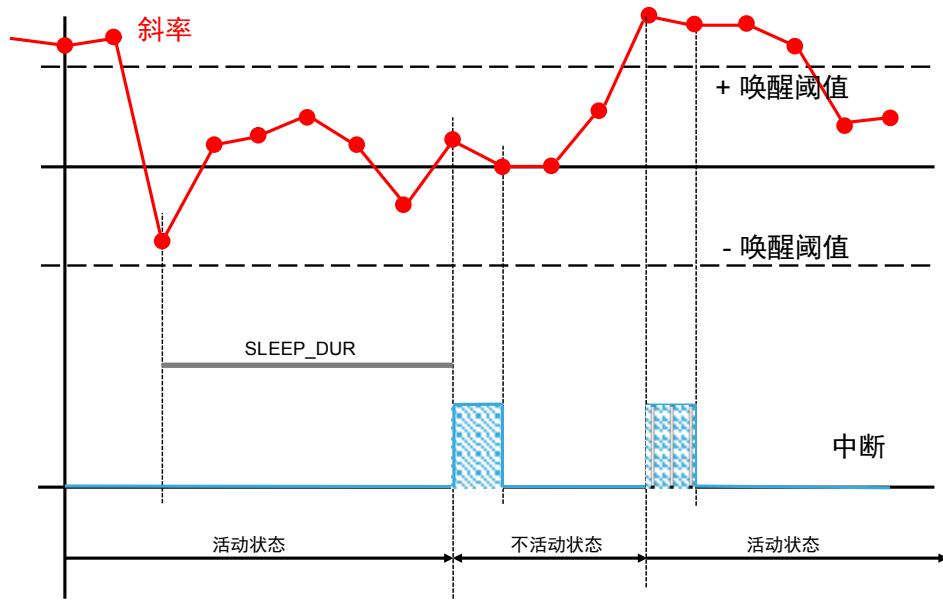
当一定数量的连续 X、Y、Z 滤波数据小于所配置阈值时, 忽略 CTRL1\_XL 寄存器的 ODR\_XL [3:0]位 (不活动), 加速度计被内部地设置为 12.5 Hz, 尽管 CTRL1\_XL 内容保持不变。陀螺仪的特性随着 TAP\_CFG 寄存器 INACT\_EN 位的配置而变化。待识别的不活动状态的持续时间由 WAKE\_UP\_DUR 寄存器的 SLEEP\_DUR[3:0]位来定义: 1 LSB 对应于  $512/\text{ODR}_\text{XL}$  的时间, 这里 ODR\_XL 为加速度计输出数据率。

当检测到不活动状态时, 中断被置为高电平并持续  $1/\text{ODR}_\text{XL}[\text{s}]$  的时间周期, 然后自动失效。

当一个轴上有一个采样的 X、Y、Z 滤波数据大于阈值时, 会立即恢复 CTRL1\_XL 寄存器设置 (活动), 并且陀螺仪恢复到先前的状态。

当检测到活动状态时，中断被置为高电平并持续  $1/\text{ODR\_XL}[\text{s}]$  的时间周期，然后自动失效。当使能活动/不活动检测功能时，通过将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_INACT\_STATE 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_INACT\_STATE 位置为 1，可将其状态驱动至两个中断引脚；还可通过读取 WAKE\_UP\_SRC 寄存器的 SLEEP\_STATE\_IA 位来对其进行检查。

图 20. 活动/不活动识别（利用斜率滤波器）



活动/不活动检测的基本 SW 例程如下所示：

1. 将 50h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 208 Hz, FS\_XL = ±2 g
2. 将 40h 写入 CTRL2\_G // 开启陀螺仪  
// ODR\_G = 104 Hz, FS\_G = ±250 dps
3. 将 02h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 设置不活动检测的持续时间
4. 将 02h 写入 WAKE\_UP\_THS // 设置活动/不活动阈值
5. 将 E0h 写入 TAP\_CFG // 使能中断  
// 不活动配置：加速度计配置为 12.5 LP，陀螺仪配置为掉电  
// 使能斜率滤波器
6. 将 80h 写入 MD1\_CFG // 活动/不活动中断驱动至 INT1 引脚

本例中，WAKE\_UP\_THS 寄存器的 WK\_THS 字段被置为 000010b，因此活动/不活动阈值为  $62.5 \text{ mg} (= 2 * \text{FS}_X / 2^6)$ 。

进行不活动检测前，X、Y、Z 斜率数据必须小于所配置阈值并持续一段时间，该时间由 WAKE\_UP\_DUR 寄存器的 SLEEP\_DUR 字段定义：该字段被置为 0010b，对应  $4.92 \text{ s} (= 2 * 512 / \text{ODR}_X)$ 。经过这段时间之后，加速度计 ODR 内部设置为 12.5 Hz，陀螺仪内部设置为掉电模式。

如果（至少）一个轴的斜率数据大于阈值，则会检测到活动状态并立即恢复 CTRL1\_XL 寄存器设置和开启陀螺仪。

## 5.7 启动状态

器件上电后，ISM330DLC 执行一段 15 ms 的启动程序来加载修整参数。启动完成后，加速度计和陀螺仪均自动配置为掉电模式。启动时间内，寄存器不可访问。

上电后，可通过将 CTRL3\_C 寄存器的 BOOT 位置为 1，来重载修调参数。

不需要切换设备电源线，器件控制寄存器内容不被修改，因此启动后器件工作模式不变。如果需要复位至控制寄存器的默认值，可通过将 CTRL3\_C 寄存器的 SW\_RESET 位置为 1 来实现。SW\_RESET 过程会花费 50  $\mu$ s；复位状态由 CTRL3\_C 寄存器 SW\_RESET 位的状态为信号：当复位完成时，该位自动置为低电平。

启动状态信号可通过将 INT1\_CTRL 寄存器的 INT1\_BOOT 位置为 1，来把启动状态信号驱动至 INT1 中断引脚：当正在运行启动时此信号被置为高电平，启动过程结束时此信号被重新置为低电平。

重启流程如下：

1. 将陀螺仪设置为掉电模式；
2. 将加速度计设置为高性能模式；
3. 将 CTRL3\_C 寄存器的 BOOT 为设置为 1；
4. 等待 15 ms。

复位流程如下：

1. 将陀螺仪设置为掉电模式；
2. 将加速度计设置为高性能模式；
3. 将 CTRL3\_C 寄存器的 SW\_RESET 为设置为 1；
4. 等待 50  $\mu$ s（或等待至 CTRL3\_C 寄存器的 SW\_RESET 位返回 0）。

为了避免冲突，重启和 SW 复位不能同时执行（不要同时将 CTRL3\_C 寄存器的 BOOT 位和 SW\_RESET 位同时置为 1）。上述流程必须顺序执行。

## 5.8 相对倾斜

倾斜度检测功能支持检测何时发生活动改变（例如，当电话在前口袋中用户从坐到站或从站到坐时）：在 ISM330DLC 器件中，仅使用加速度计即可在硬件中实现它。

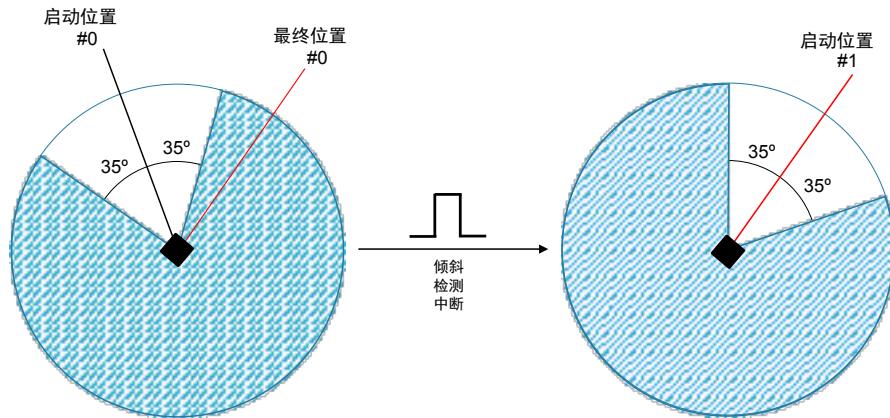
要使能倾斜探测器，需要将 CTRL10\_C 寄存器的 FUNC\_EN 位和 TILT\_EN 位置为 1。

如果器件配置为用于倾斜度检测，那么当器件距起始位置的倾斜角度大于 35 度时，会产生一个中断。起始位置定义为倾斜检测使能时器件的位置，或上一次倾斜中断产生时的器件位置。

使能此功能后，要产生第一次倾斜中断，器件距起始位置的倾斜角度应大于 35 度并持续 2 秒的时间。产生第一次倾斜中断后，当器件距离上次中断检测时的器件位置的倾斜角度大于 35 度时（不需要等待 2 秒），倾斜中断信号即被置为高电平。

在图 21. 倾斜度检测中所示的示例中，当器件方向对应“起始位置#0”时，倾斜检测使能：如果器件从起始位置开始旋转角度大于 35 度，并且保持在蓝色区域中至少 2 秒的时间，则会产生第一次中断。第一次倾斜检测中断产生后，新的起始位置（#1）对应前次中断产生的器件位置（结束位置#0），当器件倾斜角度大于 35 度时，即产生下一个中断信号，进入起始位置#1 周围的蓝色区域。

图 21. 倾斜度检测



通过将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_TILT 位或 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_TILT 位置为 1，可将此中断信号驱动至两个中断引脚；还可通过读取 FUNC\_SRC1 寄存器的 TILT\_IA 位来对其进行检查。

如果锁存模式禁用（TAP\_CFG 的 LIR 位置为 0），则倾斜功能所产生的中断信号为脉冲的：中断引脚上观测到的脉冲持续时间为  $150 \mu\text{s}$ ；FUNC\_SRC1 寄存器 TILT\_IA 位上观测到的脉冲持续时间为

如果锁存模式使能（TAP\_CFG 的 LIR 位置为 1），且中断信号被驱动至中断引脚，那么当检测到倾斜时，对 FUNC\_SRC1 寄存器的读取会将两个引脚上的请求以及 FUNC\_SRC1 寄存器的 TILT\_IA 位清零，器件准备识别下一次倾斜事件。如果锁存模式使能但是中断信号未驱动至中断引脚，那么 FUNC\_SRC1 寄存器 TILT\_IA 位上观测到的中断信号是脉冲，且持续时间为  $1/26 \text{ Hz}$ 。

倾斜度检测功能工作于  $26 \text{ Hz}$ ，因此加速度计 ODR 必须设置为  $26 \text{ Hz}$  或更高的值。

下面是显示如何使能倾斜度检测功能的基本 SW 程序：

1. 将 20h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 26 Hz, FS\_XL =  $\pm 2 g$
2. 将 0Ch 写入 CTRL10\_C // 使能嵌入功能  
// 使能倾斜度检测
3. 将 02h 写入 MD1\_CFG // 倾斜探测器中断驱动至 INT1 引脚

## 5.9 时间戳

ISM330DLC 器件能够提供与传感器数据对应的时间戳信息。

如果加速度计和陀螺仪均处于掉电模式，则时间戳计数器不工作。

要使能此功能，CTRL10\_C 寄存器的 TIMER\_EN 位必须置位 1：时间步数由 TIMESTAMP\_REG2 & TIMESTAMP\_REG1 & TIMESTAMP\_REG0 寄存器联合给出，并表示为一个 24 位的无符号数。

时间戳精度可利用 WAKE\_UP\_DUR 寄存器的 WAKE\_UP\_DUR 位进行配置：该位被置为 0 时，1 LSB 的时间步数对应 6.4 ms（低精度模式）；该位被置为 1 时，1 LSB 的时间步数对应 25  $\mu$ s（高精度模式）。

当达到最大值 16777215 LSB（对应 FFFFFFh）时，计数器自动复位至 000000h 并继续计数。可通过向 TIMESTAMP\_REG2 寄存器中写入值 AAh，来随时将定时器计数复位至零。

在高精度模式（当定时器步数达到值 FF0000h 时）和低精度模式（当定时器步数达到值 FFFF00h）中，在定时器饱和前约 1.638 秒时均会产生中断产生。通过将 MD1\_CFG 寄存器的 INT1\_TIMER 位置为 1，可将此中断信号驱动至 INT1 引脚。当中断引脚被声明，则它必须通过向 TIMESTAMP\_REG2 寄存器中写入 AAh 来复位至 0（定时器步数也将复位）。

时间戳计数可作为第四数据集存储在 FIFO 中（详细信息请参见第 8.8 节 FIFO 中的时间戳数据）。

时间戳精度必须在使能时间戳功能前设置；基本 SW 程序如下：

1. 将 50h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 208 Hz, FS\_XL = ±2 g
2. 将 10h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 时间戳精度 = 25  $\mu$ s
3. 将 20h 写入 CTRL10\_C // 使能时间戳计数
4. 将 01h 写入 MD1\_CFG // 计数器结束中断驱动至 INT1 引脚

当从低时间戳精度切换到高时间戳精度时，定时器计数必须复位，如以下示例所示：

1. 将 50h 写入 CTRL1\_XL // 启动加速度计  
// ODR\_XL = 208 Hz, FS\_XL = ±2 g
2. 将 00h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 时间戳精度 = 6.4 ms
3. 将 20h 写入 CTRL10\_C // 使能时间戳计数
- ...
- N 将 10h 写入 WAKE\_UP\_DUR // 时间戳精度 = 25  $\mu$ s
- N+1 将 AAh 写入 TIMESTAMP\_REG2 // 复位定时器计数器

## 6 模式 2 - 传感器集合 (sensor hub) 模式

ISM330DLC 的硬件灵活性允许通过不同的模式连接将引脚连接至外部传感器以扩展功能，如增加传感器集合 (sensor hub)。使能传感器集合模式 (模式 2) 时，用来连接外部传感器的主 I<sup>2</sup>C/SPI (3 线和 4 线) 从接口和 I<sup>2</sup>C 主接口都可用。模式 2 连接模式在下面的段落中详细描述。

### 6.1 传感器集合 (sensor hub) 模式说明

在传感器集合 (sensor hub) 模式 (模式 2) 下，可有 4 个外部传感器连接至 ISM330DLC 器件的 I<sup>2</sup>C 主接口。传感器集合触发信号可以与加速度计数据就绪信号 (最高 104Hz) 同步；或者，连接到 INT2 引脚的外部信号可用作传感器集合触发器。在第二种情况下，外部传感器支持的最大 ODR 取决于两个连续触发信号之间可以执行的读/写操作数。

在传感器集合触发信号上，通过寄存器 SLVx\_ADD、SLVx\_SUBADD、SLAVEEx\_CONFIG 和 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 配置的所有写和读 I<sup>2</sup>C 操作都是从外部传感器 0 到外部传感器 3 顺序执行 (取决于由 SLAVE0\_CONFIG 寄存器中 Aux\_sens\_on[1:0] 字段所使能的外部传感器)。

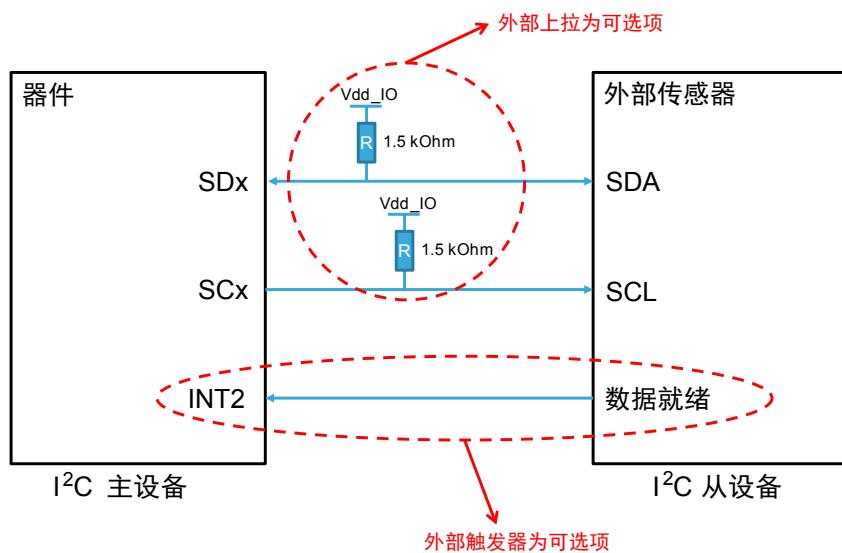
利用可配置抽取因子，外部传感器数据也可存储在 FIFO 中 (详细信息见第 8 节 先进先出 (FIFO) 缓冲区)。

如果加速度计和陀螺仪均处于掉电模式，则传感器集合 (sensor hub) 不工作。

所有外部传感器必须并联到器件的 SDx/SCx 引脚，对于单个外部传感器，如图 22. 模式 2 下外部传感器连接所示。

外部上拉电阻和外部触发器信号连接是可选的，取决于寄存器配置。

图 22. 模式 2 下外部传感器连接



### 6.2 传感器集合 (sensor hub) 模式寄存器

要使能 ISM330DLC 嵌入功能，CTRL10\_C 寄存器 FUNC\_EN 位必须置为 1；使能嵌入功能后，MASTER\_CONFIG 寄存器必须用来配置 I<sup>2</sup>C 主接口。

一组寄存器 SLVx\_ADD、SLVx\_SUBADD、SLAVEEx\_CONFIG 专门用来配置到 4 个可连接外部传感器的 4 个从接口。一个额外的寄存器 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 只关联到从属#0：它可对从属#0 所关联外部传感器的寄存器实现写入以及源模式条件读取。

最后，有 18 个寄存器（从 SENSORHUB1\_REG 到 SENSORHUB18\_REG）可用来存储从外部传感器读取的数据。

## 6.2.1 CTRL10\_C (19h)

表 37. CTRL10\_C 寄存器

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2      | b1 | b0 |
|----|----|----|----|----|---------|----|----|
| X  | 0  | X  | X  | X  | FUNC_EN | X  | X  |

- FUNC\_EN 必须置为 1，以使能 ISM330DLC 的嵌入功能（倾斜，铁磁校正）。

## 6.2.2 MASTER\_CONFIG (1Ah)

此寄存器用于配置 I<sup>2</sup>C 主控制器。

表 38. MASTER\_CONFIG 寄存器

| b7           | b6 | b5 | b4           | b3         | b2                | b1 | b0   |
|--------------|----|----|--------------|------------|-------------------|----|------|
| DRDY_ON_INT1 | X  | 0  | START_CONFIG | PULL_UP_EN | PASS_THROUGH_MODE | X  | 主_ON |

- DRDY\_ON\_INT1 位必须置为 1，以驱动 INT1 引脚上的 I<sup>2</sup>C 主数据准备就绪信号（对应 FUNC\_SRC1 寄存器的 SENSORHUB\_END\_OP 位特性）。关于 SENSORHUB\_END\_OP 位的更多详细信息，请参考第 6.2.3 节 FUNC\_SRC1 (53h)。如果 DRDY\_PULSE\_CFG 寄存器的 DRDY\_PULSED 位置为 1，则 I<sup>2</sup>C 主线数据就绪信号会是脉冲的，脉冲持续时间为 150 μs。

START\_CONFIG 位对传感器集合 (sensor hub) 触发信号进行选择。

- 当此位被置为 0 时，加速度计传感器必须激活（不能处于掉电模式），传感器集合 (sensor hub) 触发信号为加速度计数据准备就绪信号，其频率对应加速度计 ODR，可达 104 Hz。
- 当此位被置为 1 时，加速度计和陀螺仪中必须激活至少一个传感器，并且传感器集合 (sensor hub) 触发信号到 INT2 引脚；实际上，当 MASTER\_ON 位和 START\_CONFIG 位被置为 1 时，INT2 引脚被配置为输入信号。这种情况下，INT2 引脚必须连接到外部传感器的数据准备就绪信号（图 22. 模式 2 下外部传感器连接），以触发对外部传感器寄存器的读取/写入操作。来自 INT2 的传感器集合中断是“高电平触发的”（不可编程）。

**注意：**使用外部触发信号的情况下 (START\_CONFIG=1)，如果 INT2 引脚连接到外部传感器的数据准备就绪（图 22. 模式 2 下外部传感器连接），并且后者处于掉电模式，那么外部传感器可以生成数据准备就绪信号。因此，必须使用内部触发信号来实现外部传感器寄存器的初始配置 (START\_CONFIG=0)。外部传感器激活且数据准备就绪信号可用之后，通过将 START\_CONFIG 位切换为 1，可以使用外部触发信号。

- PULL\_UP\_EN 位使能/禁用辅 I<sup>2</sup>C 线路上的内部上拉。当此位被置为 0 时，内部上拉禁用，SDx/SCx 引脚上需要外部上拉电阻，如图 22. 模式 2 下外部传感器连接所示。当此位被置为 1 时，内部上拉使能，SDx/SCx 引脚上不需要外部上拉电阻。
- PASS\_THROUGH\_MODE 位用来使能/禁用 I<sup>2</sup>C 接口直通。当此位被置为 1，主 I<sup>2</sup>C 线（例如，连接到外部微控制器）短接到辅线，以实现对外部传感器寄存器的直接访问。详细信息，请参见第 6.3 节 传感器集合 (sensor hub) 全通功能。
- MASTER\_ON 位必须置为 1，以使能 ISM330DLC 器件的辅助 I<sup>2</sup>C 主线（传感器集合 (sensor hub) 模式）。

## 6.2.3 FUNC\_SRC1 (53h)

表 39. FUNC\_SRC1 寄存器

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0                       |
|----|----|----|----|----|----|----|--------------------------|
| X  | X  | X  | X  | X  | X  | X  | SENSOR<br>HUB_<br>END_OP |

- SENSORHUB-END\_OP 位报告 I<sup>2</sup>C 主器件的状态：当 I<sup>2</sup>C 主器件处于空闲状态时，此位等于 1；当 I<sup>2</sup>C 主器件处于读/写操作状态时，此位变为 0。  
当传感器集合例程完成时，此位自动变为 1，并且可以从 SENSORHUBx\_REG 寄存器读取外部传感器数据（取决于 SLVx\_ADD、SLVx\_SUBADD 和 SLAVE<sub>x</sub>\_CONFIG 寄存器的配置）。  
注：如果 TAP\_CFG 寄存器的 LIR 位置为 1，则 SENSORHUB-END\_OP 位通过读取而被清零，否则该位仅在 I<sup>2</sup>C 主线读或写操作期间清零。  
通过将 MASTER\_CONFIG 寄存器的 DRDY\_ON\_INT1 位置为 1，可将 I<sup>2</sup>C 主器件的状态信号驱动至 INT1 中断引脚；如果 TAP\_CFG 寄存器的 LIR 位置为 0，则在 SENSORHUB-END\_OP 信号的上升沿生成脉冲中断信号（典型脉冲持续时间为约 150 μs）。如果锁存模式使能（LIR 位置为 1）且中断信号被驱动至中断引脚 INT1，则通过读取 FUNC\_SRC1 寄存器清除中断信号。

## 6.2.4 FUNC\_SRC2 (54h)

表 40. FUNC\_SRC2 寄存器

| b7 | b6               | b5               | b4               | b3               | b2 | b1 | b0 |
|----|------------------|------------------|------------------|------------------|----|----|----|
| 0  | SLAVE3_<br>_NACK | SLAVE2_<br>_NACK | SLAVE1_<br>_NACK | SLAVE0_<br>_NACK | X  | 0  | X  |

- 如果在与相应从线 x 的通信过程中发生了“未确认”事件，则 SLAVE<sub>x</sub>\_NACK 位会被置为 1。

## 6.2.5

## SLV0\_ADD (02h), SLV0\_SUBADD (03h), SLAVE0\_CONFIG (04h)

嵌入功能寄存器（当 FUNC\_CFG\_ACCESS 寄存器的 FUNC\_CFG\_EN 位被置为 1 时可访问）用来配置关联到第一外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从接口，下面对此进行介绍。

表 41. SLV0\_ADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0   |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Slave0_add6 | Slave0_add5 | Slave0_add4 | Slave0_add3 | Slave0_add2 | Slave0_add1 | Slave0_add0 | rw_0 |

- Slave0\_add[6:0]位用来指示第一个外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从线地址。
- rw\_0 位对第一外部传感器进行读取/写入操作（0：写操作；1：读操作）。当发生下一个传感器集合（sensor hub）触发事件时，执行读取/写入操作。当 rw\_0 位设置为 0（选择写入操作）时，SENSORHUBx\_REG 寄存器的内容不会更新。

表 42. SLV0\_SUBADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0          |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Slave0_reg7 | Slave0_reg6 | Slave0_reg5 | Slave0_reg4 | Slave0_reg3 | Slave0_reg2 | Slave0_reg1 | Slave0_reg0 |

- Slave0\_reg[7:0]位用来指示要写入的第一个外部传感器寄存器的地址（如果 SLV0\_ADD 寄存器的 rw\_0 位置为 0）或要读取的第一个寄存器的地址（如果 rw\_0 位被置为 1）。

表 43. SLAVE0\_CONFIG 寄存器

| b7           | b6           | b5           | b4           | b3       | b2            | b1            | b0            |
|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| Slave0_rate1 | Slave0_rate0 | Aux_sens_on1 | Aux_sens_on0 | Src_mode | Slave0_numop2 | Slave0_numop1 | Slave0_numop0 |

- Slave0\_rate[1:0]位用来定义从传感器集合（sensor hub）触发的第一个外部传感器上读操作所应用的抽取因子：
  - 00：无抽取
  - 01：每隔 2 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 10：每隔 4 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 11：每隔 8 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
- 必须用 Aux\_sens\_on[1:0]位来指示传感器集合（sensor hub）所管理外部传感器数：
  - 00：无外部传感器
  - 01：两个外部传感器
  - 10：三个外部传感器
  - 11：四个外部传感器
- Src\_mode 位使能/禁用源模式条件读取。当此位被置为 1 时，源模式条件读取使能；继续读取 SLV0\_SUBADD 寄存器中所示的寄存器地址之前，检查 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 所指定地址上寄存器的内容：如果其内容非零，则操作继续，否则读取操作中断。源模式条件读取仅在从线 0 上可用。
- Slave0\_numop[2:0]位专门用来定义从 SLV0\_SUBADD 寄存器所示的寄存器地址开始的第一个外部传感器上执行的连续读取操作数。

## 6.2.6

## SLV1\_ADD (05h), SLV1\_SUBADD (06h), SLAVE1\_CONFIG (07h)

嵌入功能寄存器（当 FUNC\_CFG\_ACCESS 寄存器的 FUNC\_CFG\_EN 位被置为 1 时可访问）用来配置关联到第二外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从接口，下面对此进行介绍。

表 44. SLV1\_ADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| Slave1_add6 | Slave1_add5 | Slave1_add4 | Slave1_add3 | Slave1_add2 | Slave1_add1 | Slave1_add0 | r_1 |

- Slave1\_add[6:0]位用来指示第二个外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从线地址。
- r\_1 位使能/禁用第二个外部传感器上执行的读取操作（0：读操作禁用；1：读操作使能）。当发生下一个传感器集合（sensor hub）触发事件时，执行读取操作。

表 45. SLV1\_SUBADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0          |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Slave1_reg7 | Slave1_reg6 | Slave1_reg5 | Slave1_reg4 | Slave1_reg3 | Slave1_reg2 | Slave1_reg1 | Slave1_reg0 |

- Slave1\_reg[7:0]位用来表示，当 SLV1\_ADD 寄存器的 r\_1 位被置为 1 时，要读取的第二个外部传感器寄存器的地址。

表 46. SLAVE1\_CONFIG 寄存器

| b7           | b6           | b5         | b4 | b3 | b2            | b1            | b0            |
|--------------|--------------|------------|----|----|---------------|---------------|---------------|
| Slave1_rate1 | Slave1_rate0 | 写<br>_once | 0  | 0  | Slave1_numop2 | Slave1_numop1 | Slave1_numop0 |

- Slave1\_rate[1:0]位用来定义从传感器集合（sensor hub）触发的第二个外部传感器上读操作所应用的抽取因子：
  - 00：无抽取
  - 01：每隔 2 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 10：每隔 4 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 11：每隔 8 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
- write\_once 位用来限制从线 0 的写操作只发生一次（避免多次重复相同的写操作）。如果该位未被声明，那么每个 ODR 都会触发写操作。

注：要启用 write\_once 功能，SLAVE0\_CONFIG 寄存器中的 Aux\_sens\_on 字段必须不为 00b（即使只使用从 0）。

- Slave3\_numop[2:0]位专门用来定义从 SLV3\_SUBADD 寄存器所示的寄存器地址开始的第四个外部传感器上执行的连续读取操作数。

## 6.2.7

## SLV2\_ADD (08h), SLV2\_SUBADD (09h), SLAVE2\_CONFIG (0Ah)

嵌入功能寄存器（当 FUNC\_CFG\_ACCESS 寄存器的 FUNC\_CFG\_EN 位被置为 1 时可访问）用来配置关联到第三外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从接口，下面对此进行介绍。

表 47. SLV2\_ADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| Slave2_add6 | Slave2_add5 | Slave2_add4 | Slave2_add3 | Slave2_add2 | Slave2_add1 | Slave2_add0 | r_2 |

- Slave2\_add[6:0]位用来指示第三个外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从线地址。
- r\_2 位使能/禁用第三个外部传感器上执行的读取操作（0：读操作禁用；1：读操作使能）。当发生下一个传感器集合（sensor hub）触发事件时，执行读取操作。

表 48. SLV2\_SUBADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0          |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Slave2_reg7 | Slave2_reg6 | Slave2_reg5 | Slave2_reg4 | Slave2_reg3 | Slave2_reg2 | Slave2_reg1 | Slave2_reg0 |

- Slave3\_reg[7:0]位用来表示，当 SLV3\_ADD 寄存器的 r\_3 位被置为 1 时，要读取的第四个外部传感器寄存器的地址。

表 49. SLAVE2\_CONFIG 寄存器

| b7           | b6           | b5 | b4 | b3 | b2            | b1            | b0            |
|--------------|--------------|----|----|----|---------------|---------------|---------------|
| Slave2_rate1 | Slave2_rate0 | 0  | 0  | 0  | Slave2_numop2 | Slave2_numop1 | Slave2_numop0 |

- Slave2\_rate[1:0]位用来定义从传感器集合（sensor hub）触发的第三个外部传感器上读操作所应用的抽取因子：
  - 00：无抽取
  - 01：每隔 2 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 10：每隔 4 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 11：每隔 8 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
- Slave2\_numop[2:0]位专门用来定义从 SLV2\_SUBADD 寄存器所示的寄存器地址开始的第三个外部传感器上执行的连续读取操作数。

## 6.2.8

## SLV3\_ADD (0Bh), SLV3\_SUBADD (0Ch), SLAVE3\_CONFIG (0Dh)

嵌入功能寄存器（当 FUNC\_CFG\_ACCESS 寄存器的 FUNC\_CFG\_EN 位被置为 1 时可访问）用来配置关联到第四外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从接口，下面对此进行介绍。

表 50. SLV3\_ADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| Slave3_add6 | Slave3_add5 | Slave3_add4 | Slave3_add3 | Slave3_add2 | Slave3_add1 | Slave3_add0 | r_3 |

- Slave3\_add[6:0]位用来指示第四个外部传感器的 I<sup>2</sup>C 从线地址。
- r\_3 位使能/禁用第四个外部传感器上执行的读取操作（0：读操作禁用；1：读操作使能）。当发生下一个传感器集合（sensor hub）触发事件时，执行读取操作。

表 51. SLV3\_SUBADD 寄存器

| b7          | b6          | b5          | b4          | b3          | b2          | b1          | b0          |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Slave3_reg7 | Slave3_reg6 | Slave3_reg5 | Slave3_reg4 | Slave3_reg3 | Slave3_reg2 | Slave3_reg1 | Slave3_reg0 |

- Slave3\_reg[7:0]位用来表示，当 SLV3\_ADD 寄存器的 r\_3 位被置为 1 时，要读取的第四个外部传感器寄存器的地址。

表 52. SLAVE3\_CONFIG 寄存器

| b7           | b6           | b5 | b4 | b3 | b2            | b1            | b0            |
|--------------|--------------|----|----|----|---------------|---------------|---------------|
| Slave3_rate1 | Slave3_rate0 | 0  | 0  | 0  | Slave3_numop2 | Slave3_numop1 | Slave3_numop0 |

- Slave3\_rate[1:0]位用来定义从传感器集合（sensor hub）触发的第四个外部传感器上读操作所应用的抽取因子：
  - 00：无抽取
  - 01：每隔 2 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 10：每隔 4 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
  - 11：每隔 8 次传感器集合（sensor hub）触发事件更新一次
- Slave3\_numop[2:0]位专门用来定义从 SLV3\_SUBADD 寄存器所示的寄存器地址开始的第四个外部传感器上执行的连续读取操作数。

## 6.2.9 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 (0Eh)

表 53. DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 寄存器

| b7           | b6           | b5           | b4           | b3           | b2           | b1           | b0           |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Slave_dataw7 | Slave_dataw6 | Slave_dataw5 | Slave_dataw4 | Slave_dataw3 | Slave_dataw2 | Slave_dataw1 | Slave_dataw0 |

- 当 SLV0\_ADD 寄存器的 rw\_0 位被置为 0 (写操作) 时, Slave\_dataw[7:0]位专门用来表示要写入到第一个外部传感器 (其地址在 SLV0\_SUBADD 寄存器中指定) 的数据。读操作过程中 (rw\_0 = 1), 如果源模式条件读取使能, 则使用此寄存器 (SLAVE0\_CONFIG 寄存器中 Src\_mode bit = 1), 它表示在继续进行读操作前所要检查的外部传感器寄存器地址。

## 6.2.10 SENSORHUBx\_REG 寄存器

当辅助 I<sup>2</sup>C 主线使能时, 每个外部传感器读取若干寄存器, 该数等于 Slavex\_numop ( $x = 0, 1, 2, 3$ ) 字段的值, 从 SLVx\_SUBADD ( $x = 0, 1, 2, 3$ ) 寄存器指定的寄存器地址开始。要处理的外部传感器数在 SLAVE0\_CONFIG 寄存器的 Aux\_sens\_on 位中指定。

读取的数据连续存储在 (按照与读取它们相同的顺序) ISM330DLC 寄存器中, 从 SENSORHUB1\_REG 寄存器开始, 如图 23. SENSORHUBx\_REG 配置示例中示例所示: 18 个寄存器, 从 SENSORHUB1\_REG 到 SENSORHUB18\_REG, 可以用来存储从外部传感器中读取的数据。

从 SENSORHUB1\_REG 到 SENSORHUB6\_REG 寄存器的值可作为第三数据集保存在 FIFO 缓冲器中; 从 SENSORHUB7\_REG 到 SENSORHUB12\_REG 寄存器的值可作为第四数据集保存在 FIFO 缓冲器中 (详细信息见第 8 节 先进先出 (FIFO) 缓冲区)。

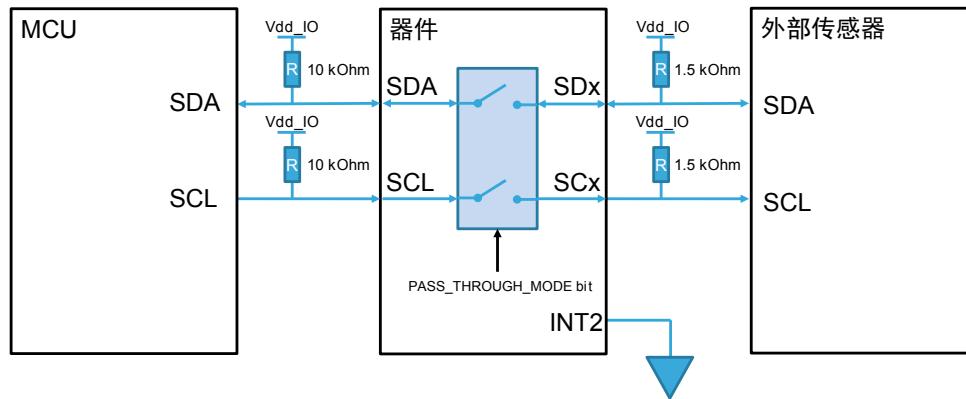
图 23. SENSORHUBx\_REG 配置示例

|        |                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                  |        |
|--------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 传感器 #1 | SLV0_SUBADD(03h) = 28h<br>SLAVE0_CONFIG(04h) - Slave0_numop[2:0] = 3 | SENSORHUB1_REG<br>SENSORHUB2_REG<br>SENSORHUB3_REG<br>Value of reg 28h<br>Value of reg 29h<br>Value of reg 2Ah                                                                                                                   | 传感器 #1 |
| 传感器 #2 | SLV1_SUBADD(06h) = 00h<br>SLAVE1_CONFIG(07h) - Slave1_numop[2:0] = 6 | SENSORHUB4_REG<br>SENSORHUB5_REG<br>SENSORHUB6_REG<br>SENSORHUB7_REG<br>SENSORHUB8_REG<br>SENSORHUB9_REG<br>Value of reg 00h<br>Value of reg 01h<br>Value of reg 02h<br>Value of reg 03h<br>Value of reg 04h<br>Value of reg 05h | 传感器 #2 |
| 传感器 #3 | SLV2_SUBADD(09h) = 20h<br>SLAVE2_CONFIG(0Ah) - Slave2_numop[2:0] = 4 | SENSORHUB10_REG<br>SENSORHUB11_REG<br>SENSORHUB12_REG<br>SENSORHUB13_REG<br>Value of reg 20h<br>Value of reg 21h<br>Value of reg 22h<br>Value of reg 23h                                                                         | 传感器 #3 |
| 传感器 #4 | SLV3_SUBADD(0Ch) = 40h<br>SLAVE3_CONFIG(0Dh) - Slave3_numop[2:0] = 5 | SENSORHUB14_REG<br>SENSORHUB15_REG<br>SENSORHUB16_REG<br>SENSORHUB17_REG<br>SENSORHUB18_REG<br>Value of reg 40h<br>Value of reg 41h<br>Value of reg 42h<br>Value of reg 43h<br>Value of reg 44h                                  | 传感器 #4 |

## 6.3 传感器集合 (sensor hub) 全通功能

MASTER\_CONFIG 寄存器的 PASS\_THROUGH\_MODE 位用来使能/禁用 I<sup>2</sup>C 接口全通功能：当此位被置为 1，主 I<sup>2</sup>C 线（例如，连接到外部微控制器）短接到辅线，以实现对外部传感器寄存器的直接访问。建议在配置外部传感器时使用此功能。

图 24. 全通功能



使用传感器集合 (sensor hub) 和全通功能时必须考虑一些限制。可能有如下三种情形：

1. 传感器集合 (sensor hub) 在 MASTER\_CONFIG 寄存器的 START\_CONFIG 位被置为 0 时使用（内部触发），且全通功能不使用：在使用 INT2 引脚时无限制。
2. 传感器集合 (sensor hub) 在 MASTER\_CONFIG 寄存器的 START\_CONFIG 位被置为 0 时使用（内部触发），且全通功能使用：INT2 引脚必须接地；不能切换到外部触发配置（通过将 START\_CONFIG 位置为 1），并且 INT2 引脚上不能使用数字中断。必须应用特定的步骤来使能/禁用全通功能：在第 6.3.1 节 全通功能使能和第 6.3.2 节 全通功能禁用中有相应描述。
3. 传感器集合 (sensor hub) 在 MASTER\_CONFIG 寄存器的 START\_CONFIG 位被置为 1 时使用（外部触发）：全通功能不能使用；INT2 引脚必须连接到外部传感器的数据准备就绪引脚（触发信号），并且必须执行以下步骤来避免与 INT2 线的冲突：
  - a. 将 CTRL6\_C 寄存器的 TRIG\_EN 或 LVL1\_EN 或 LVL2\_EN 位置为 1（将 INT2 引脚配置为输入引脚）；
  - b. 配置外部传感器（不使用全通功能）；
  - c. 配置传感器集合 (sensor hub) SLAVEEX 寄存器；
  - d. 将 MASTER\_CONFIG 寄存器的 START\_CONFIG 位置 1；
  - e. 将 MASTER\_CONFIG 寄存器的 MASTER\_ON 位置 1；
  - f. 在步骤 a 中将 CTRL6\_C 寄存器中的位复位为 0。

不使用全通功能的外部传感器配置示例在第 6.4 节 传感器集合 (sensor hub) 模式示例和第 6.5.4 节 铁磁校正示例中给出。

### 6.3.1

#### 全通功能使能

当嵌入传感器集合 (sensor hub) 功能禁用时，可通过将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **PASS\_THROUGH\_MODE** 位置为 1，来随时使能全通功能。

当嵌入传感器集合 (sensor hub) 功能使能时，必须按照特定步骤来使能全通功能，以防止 I<sup>2</sup>C 总线仲裁丢失：

1. 将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **START\_CONFIG** 位置为 1，以禁用传感器集合 (sensor hub) 触发（外部触发使能，但是在 INT2 引脚上不能接收到触发，因为该引脚连接到 GND）；
2. 至少等待 5 ms（将会完成正在运行的 I<sup>2</sup>C 操作）；
3. 将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **MASTER\_ON** 位置为 0，以禁用嵌入传感器集合 (sensor hub)；
4. 将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **START\_CONFIG** 位置为 0，以恢复传感器集合 (sensor hub) 触发；
5. 将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **PULL\_UP\_EN** 位置为 0，以禁用 I<sup>2</sup>C 主线上拉；
6. 将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **PASS\_THROUGH\_MODE** 位置为 1，以使能全通功能。

### 6.3.2

#### 全通功能禁用

必须使用以下步骤来禁用全通：

1. 等待外部微控制器连接到主 I<sup>2</sup>C 线完成所有正在运行的 I<sup>2</sup>C 操作。在一个 I<sup>2</sup>C 事务过程中，全通功能无法禁用；
2. 将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **PASS\_THROUGH\_MODE** 位置 0。

这时，可通过将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **PULL\_UP\_EN** 位置为 1，来恢复内部 I<sup>2</sup>C 主线上拉，可通过将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **MASTER\_ON** 位置为 1，来使能辅助 I<sup>2</sup>C 主线。

## 6.4 传感器集合 (sensor hub) 模式示例

应利用全通功能来实现外部传感器配置：此功能可通过将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **PASS\_THROUGH\_MODE** 位置为 1 来使能，并且能够实现对外部传感器寄存器的直接访问，允许进行快速配置。

下面提供的代码给出了将 **ISM330DLC** 配置为传感器集合 (sensor hub) 模式的基本程序。而且，该程序将 **LIS2MDL** 外部磁力计传感器（额外细节参考数据手册）配置为连续模式，并读取磁力计输出寄存器，将其值保存到 **SENSORHUB1\_REG** 到 **SENSORHUB6\_REG** 寄存器中。本例中不使用全通功能。

1. 将 80h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能对嵌入功能寄存器的访问
2. 将 3Ch 写入 SLV0\_ADD // LIS2MDL 从设备地址 = 0011110b
3. 将 60h 写入 SLV0\_SUBADD // 使能写操作 (rw\_0=0)
4. 将 8Ch 写入 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 // 60h 为待写入的 LIS2MDL 寄存器
5. 将 8Ch 写入 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 // 8Ch 为写入到 LIS2MDL 的寄存器 60h 的值
6. 将 0Ch 写入 SLAVE0\_CONFIG // 以将其配置为连续模式，
7. 将 0Ch 写入 SLAVE1\_CONFIG // ODR = 100 Hz, 温度补偿使能
8. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 将 Aux\_sens\_on 位设置为不等于 00b
9. 将 04h 写入 CTRL10\_C // 使能 write\_once 位
10. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 禁用对嵌入功能寄存器的访问
11. 将 00h 写入 CTRL10\_C // 使能嵌入功能
12. 将 00h 写入 CTRL1\_XL // 使能 SDx/SCx 线上的内部上拉
13. 将 00h 写入 CTRL1\_XL // 传感器集合 (sensor hub) 触发信号为 XL 数据准备就绪
14. 将 00h 写入 CTRL1\_XL // 使能辅助 I<sup>2</sup>C 主线
15. 将 00h 写入 CTRL1\_XL // 开启加速度计 (以获取触发信号)
16. 将 00h 写入 CTRL1\_XL // 等待传感器集合通信结束
17. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 禁用嵌入功能
18. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 禁用辅助 I<sup>2</sup>C 主线
19. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 关闭加速度计
20. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能对嵌入功能寄存器的访问
21. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // LIS2MDL 从设备地址 = 0011110b
22. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能读操作 (rw\_0=1)
23. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 68h 为待读取的第一个 LIS2MDL 输出寄存器
24. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 无抽取
25. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 连接了 1 个外部传感器
26. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 读取的寄存器数 = 6
27. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 禁用对嵌入功能寄存器的访问
28. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能嵌入功能
29. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能 SDx/SCx 线上的内部上拉
30. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 传感器集合 (sensor hub) 触发信号为 XL 数据准备就绪
31. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能辅助 I<sup>2</sup>C 主线
32. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 开启加速度计 (以获取触发信号)

## 6.5 磁力计硬铁/软铁校正

ISM330DLC 器件支持外部磁力计数据采集，并具有软铁和硬铁校正功能。为此，需要将 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **MASTER\_ON** 位置为 1 来使能传感器集合（**sensor hub**）模式，将外部磁力计关联到从 0 寄存器（**SLV0\_ADD**, **SLV0\_SUBADD** 和 **SLAVE0\_CONFIG**），并将 **SLAVE0\_CONFIG** 的 **Slave0\_numop** 字段置为 6。

**CTRL10\_C** 寄存器的 **FUNC\_EN** 位必须置位 1，以使能嵌入铁磁校正功能。然后，可使能畸变修正算法，如表 54. 铁磁校正配置中所述：**MASTER\_CONFIG** 的 **IRON\_EN** 位和 **CTRL9\_XL** 的 **SOFT\_EN** 位可用来单独使能硬铁校正，也可同时使能硬铁和软铁校正。后一种情况下，校准（硬铁 & 软铁）和非校准（仅限软铁）磁力计数据均可用。

表 54. 铁磁校正配置

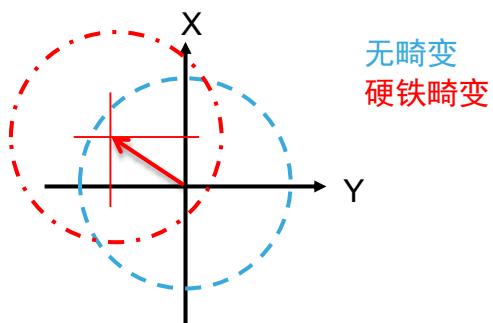
| CTRL9_XL<br>SOFT_EN 位 | MASTER_CONFIG |  | 铁磁校正<br>配置 |
|-----------------------|---------------|--|------------|
|                       | IRON_EN 位     |  |            |
| 0                     | 0             |  | 不使用校正      |
| 0                     | 1             |  | 仅用硬铁校正     |
| 1                     | 1             |  | 硬铁 + 软铁校正  |

### 6.5.1 硬铁校正

硬铁畸变通常由具有永久磁场的铁磁材料产生，该永久磁场是所用物体（例如，平板）的一部分；这些材料可以是永磁体或磁化铁或钢。它们是时不变的，并且使局部磁场发生畸变，在不同方向上产生不同偏移。

通常，如果用户在理想环境中对对象执行多次 3D 旋转（无硬铁/软铁畸变），并画出所采集的磁传感器原始数据，其结果将是无偏移的完美球体。硬铁畸变效应是使球体沿着 X、Y 和 Z 轴偏移；在 X-Y 平面上，硬铁畸变利用理想圆原点到(0, 0)的偏移来识别，如图 25. 硬铁效应 (X-Y 2D 散点图) 中所示。

图 25. 硬铁效应 (X-Y 2D 散点图)



在 ISM330DLC 器件中，3x1 硬磁化矢量包含用户计算出的 X、Y、Z 磁偏移值，必须由专门的寄存器来显示：**MAG\_OFFSETX\_L** 和 **MAG\_OFFSETX\_H** 寄存器专门用于 X-轴偏移，**MAG\_OFFSETY\_L** 和 **MAG\_OFFSETY\_H** 寄存器专门用于 Y-轴偏移，**MAG\_OFFSETZ\_L** 和 **MAG\_OFFSETZ\_H** 寄存器专门用于 Z-轴偏移。这些寄存器值以二进制补码的形式表示为 16 位字；计算硬铁寄存器值所应用的灵敏度[LSB/Gauss]对应于外部磁力计的灵敏度。

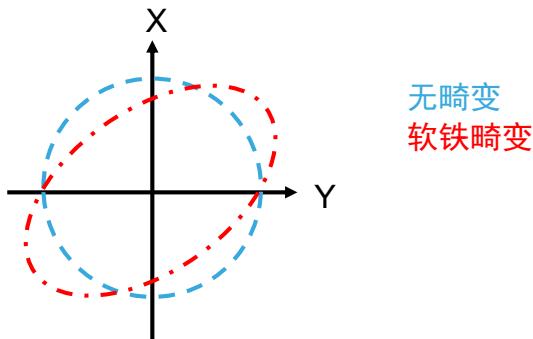
当 **FUNC\_CFG\_ACCESS** 寄存器的 **FUNC\_CFG\_EN** 位置为 1 时，可访问硬铁寄存器。要使能硬铁校正算法，需要将 **CTRL10\_C** 寄存器的 **FUNC\_EN** 位和 **MASTER\_CONFIG** 寄存器的 **IRON\_EN** 位均置为 1（表 54. 铁磁校正配置）。

### 6.5.2 软铁校正

软铁畸变由软磁材料或载流 PCB 走迹线产生。硬铁畸变是恒定的，与方向无关，而软铁畸变会随着对象在地球场中的取向而改变。基本上，局部地磁场会发生变形，在不同方向上有不同增益。

软铁畸变的效果是使理想的全圆球体变成倾斜的椭球体；在 X-Y 平面上，软铁畸变利用原点在(0, 0)的倾斜椭球体来识别，如图 25. 硬铁效应 (X-Y 2D 散点图) 中所示。

图 26. 软铁效应 (X-Y 2D 散点图)



ISM330DLC 器件中，用户计算出的  $3 \times 3$  软铁变换矩阵必须由 9 个专门的寄存器来显示：MAG\_SI\_XX, MAG\_SI\_XY, MAG\_SI\_XZ, MAG\_SI\_YX, MAG\_SI\_YY, MAG\_SI\_YZ, MAG\_SI\_ZX, MAG\_SI\_ZY, MAG\_SI\_ZZ。这些寄存器值以符号-幅度格式表示为 8 位字；对于这些寄存器，1 LSB 对应  $1/8$ ，因此在将用户计算出的矩阵参数写入软铁寄存器之前，它们必须乘以 8。

当 FUNC\_CFG\_ACCESS 寄存器的 FUNC\_CFG\_EN 位置为 1 时，可访问软铁寄存器。要使能软铁校正算法，需要将 CTRL10\_C 寄存器的 FUNC\_EN 位、MASTER\_CONFIG 寄存器的 IRON\_EN 位和 CTRL9\_XL 寄存器的 SOFT\_EN 位均置为 1（表 54. 铁磁校正配置）。

### 6.5.3 得到磁力计补偿数据

可利用 FUNC\_SRC1 寄存器对磁力计数据采集和硬铁/软铁校正的状态进行检查：

- 当传感器集合（sensor hub）程序完成时，SENSORHUB\_END\_OP 位被置为高电平。采集的磁力计原始数据可在地址从 66h (OUT\_MAG\_RAW\_X\_L) 至 6Bh (OUT\_MAG\_RAW\_Z\_H) 的寄存器中获取。
- 当已使能的硬铁和软铁算法执行完成时，SI\_END\_OP 位被置为高电平。如果软铁校正使能，磁力计未校准数据（仅应用软铁）可在地址从 4Dh (SENSORHUB13\_REG) 至 52h (SENSORHUB18\_REG) 的寄存器中获取。磁力计校准数据，使用了硬铁（如果使能）和软铁（如果使能）校正，可在地址从 2Eh (SENSORHUB1\_REG) 至 33h (SENSORHUB6\_REG) 的寄存器中获取。

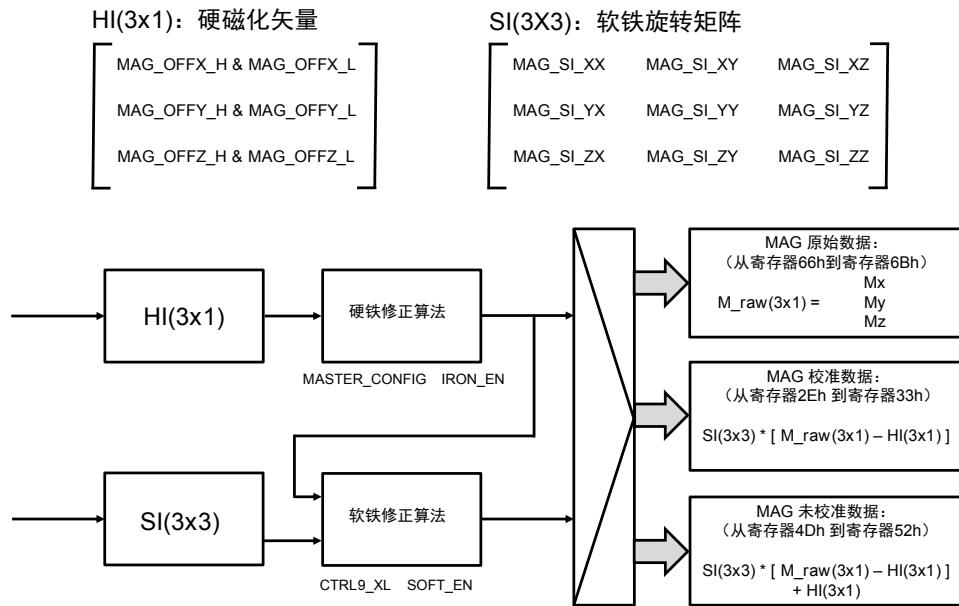
如果锁存模式禁用 (TAP\_CFG 的 LIR 位置为 0)，则 SENSORHUB\_END\_OP 和 SI\_END\_OP 位仅在 1/100 Hz 下激活，然后它们自动失效。如果锁存模式使能，通过读取 FUNC\_SRC1 寄存器，可使这两位清零。

通过将 MASTER\_CONFIG 寄存器的 DRDY\_ON\_INT1 位置为 1，可将 SENSORHUB\_END\_OP 信号驱动至 INT1 引脚。通过将 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_IRON 位置为 1，可将 SI\_END\_OP 信号驱动至 INT1 引脚。

硬铁和软铁校正特性图示如下面的图 27. 硬铁/软铁校正框图中所示。

如果软铁校正使能，且软铁寄存器仍然具有默认零值，那么磁力计校准数据和磁力计非标准数据也将等于零。因此，当软铁校正使能，软铁变换矩阵必须至少初始化为单位矩阵乘以 8，将 MAG\_SI\_XX、MAG\_SI\_YY 和 MAG\_SI\_ZZ 寄存器的值置为 08h。

图 27. 硬铁/软铁校正框图



## 6.5.4

## 铁磁校正示例

以下示例演示了如何从计算出的硬铁矢量和软铁旋转矩阵开始，定义分配到硬铁和软铁校正寄存器的值。本例中涉及 LIS2MDL 磁力计传感器的使用。

- 硬铁(X,Y,Z)偏移值矢量（高斯）：

$$HI(3x1) = \begin{bmatrix} -0.335605 \\ 0.126487 \\ -0.114722 \end{bmatrix}$$

这三个偏移值必须除以 LIS2MDL 灵敏度值（0.0015 高斯/LSB），以获得要写入到硬铁校正寄存器的 LSB 值（表 55. 硬铁寄存器值）。

表 55. 硬铁寄存器值

|   | 偏移值[LSB]     | 寄存器值                                 |
|---|--------------|--------------------------------------|
| X | -224 (FF20h) | MAG_OFFX_H = FFh<br>MAG_OFFX_L = 20h |
| 是 | 84 (0054h)   | MAG_OFFY_H = 00h<br>MAG_OFFY_L = 54h |
| Z | -76 (FFB4h)  | MAG_OFFZ_H = FFh<br>MAG_OFFZ_L = B4h |

- 软铁旋转矩阵：

$$SI(3x3) = \begin{bmatrix} 1.229006 & 0.173917 & 0.052327 \\ 0.173917 & 1.033307 & -0.130089 \\ 0.052327 & -0.130089 & 1.243645 \end{bmatrix}$$

这些软铁矩阵元素必须乘以 8，以获得要写入到软铁校正寄存器的 LSB 值（表 56. 软铁寄存器值）。LSB 值表示为符号-幅度格式。

表 56. 软铁寄存器值

|    | 软铁矩阵元素    | 寄存器值            |
|----|-----------|-----------------|
| XX | +1.229006 | MAG_SI_XX = 0Ah |
| XY | +0.173917 | MAG_SI_XY = 01h |
| XZ | +0.052327 | MAG_SI_XZ = 00h |
| YX | +0.173917 | MAG_SI_YX = 01h |
| YY | +1.033307 | MAG_SI_YY = 08h |
| YZ | -0.130089 | MAG_SI_YZ = 81h |
| ZX | +0.052327 | MAG_SI_ZX = 00h |
| ZY | -0.130089 | MAG_SI_ZY = 81h |
| ZZ | +1.243645 | MAG_SI_ZZ = 0Ah |

下面提供的代码给出了将 LIS2MDL 外部磁力计传感器（更多详细信息请参考数据手册）配置为连续模式，初始化硬铁和软铁校正寄存器，以及读取磁力计输出寄存器的基本程序。本实例中，磁力计配置中不使用全通功能。

1. 将 80h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能对嵌入功能寄存器的访问
2. 将 3Ch 写入 SLV0\_ADD // LIS2MDL 从设备地址 = 0011110b
3. 将 60h 写入 SLV0\_SUBADD // 使能写操作 (rw\_0=0)
4. 将 8Ch 写入 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 // 60h 为待写入的 LIS2MDL 寄存器
5. 将 8Ch 写入 DATAWRITE\_SRC\_MODE\_SUB\_SLV0 // 8Ch 为写入到 LIS2MDL 的寄存器 60h 的值
6. 将 10h 写入 SLAVE0\_CONFIG // 以将其配置为连续模式，
7. 将 20h 写入 SLAVE1\_CONFIG // ODR = 100 Hz, 温度补偿使能
8. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 将 Aux\_sens\_on 位设置为不等于 00b
9. 将 04h 写入 CTRL10\_C // 使能 write\_once 位
10. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 禁用对嵌入功能寄存器的访问
11. 将 09h 写入 MASTER\_CONFIG // 使能嵌入功能
12. 将 04h 写入 CTRL10\_C // 使能 SDx/SCx 线上的内部上拉
13. 将 09h 写入 MASTER\_CONFIG // 传感器集合 (sensor hub) 触发信号为 XL 数据准备就绪
14. 将 00h 写入 CTRL10\_C // 使能辅助 I<sup>2</sup>C 主线
15. 将 00h 写入 CTRL1\_XL // 开启加速度计 (以获取触发信号)
16. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 等待传感器集合通信结束
17. 将 80h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 如果 SENSORHUB\_END\_OP = 0, 转到 9
18. 将 3Dh 写入 SLV0\_ADD // 禁用嵌入功能
19. 将 68h 写入 SLV0\_SUBADD // 禁用辅助 I<sup>2</sup>C 主线
20. 将 80h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 关闭加速度计
21. 将 00h 写入 FUNC\_CFG\_ACCESS // 使能对嵌入功能寄存器的访问
22. 将 3Dh 写入 SLV0\_ADD // LIS2MDL 从设备地址 = 0011110b
23. 将 68h 写入 SLV0\_SUBADD // 使能读操作 (rw\_0=1)
24. 将 68h 写入 SLV0\_SUBADD // 68h 为待读取的第一个 LIS2MDL 输出寄存器

- |                              |                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 19. 将 06h 写入 SLAVE0_CONFIG   | // 无抽取<br>// 连接了 1 个外部传感器<br>// 读取的寄存器数 = 6                                 |
| 20. 将 FFh 写入 MAG_OFFSET_X_H  | // X 偏移值初始化                                                                 |
| 21. 将 20h 写入 MAG_OFFSET_X_L  | // X 偏移值初始化                                                                 |
| 22. 将 00h 写入 MAG_OFFSET_Y_H  | // Y 偏移值初始化                                                                 |
| 23. 将 54h 写入 MAG_OFFSET_Y_L  | // Y 偏移值初始化                                                                 |
| 24. 将 FFh 写入 MAG_OFFSET_Z_H  | // Z 偏移值初始化                                                                 |
| 25. 将 B4h 写入 MAG_OFFSET_Z_L  | // Z 偏移值初始化                                                                 |
| 26. 将 0Ah 写入 MAG_SOFT_IRM_XX | // XX 软铁元素                                                                  |
| 27. 将 01h 写入 MAG_SOFT_IRM_XY | // XY 软铁元素                                                                  |
| 28. 将 00h 写入 MAG_SOFT_IRM_XZ | // XZ 软铁元素                                                                  |
| 29. 将 01h 写入 MAG_SOFT_IRM_YX | // YX 软铁元素                                                                  |
| 30. 将 08h 写入 MAG_SOFT_IRM_YY | // YY 软铁元素                                                                  |
| 31. 将 81h 写入 MAG_SOFT_IRM_YZ | // YZ 软铁元素                                                                  |
| 32. 将 00h 写入 MAG_SOFT_IRM_ZX | // ZX 软铁元素                                                                  |
| 33. 将 81h 写入 MAG_SOFT_IRM_ZY | // ZY 软铁元素                                                                  |
| 34. 将 0Ah 写入 MAG_SOFT_IRM_ZZ | // ZZ 软铁元素                                                                  |
| 35. 将 00h 写入 FUNC_CFG_ACCESS | // 禁用对嵌入功能寄存器的访问                                                            |
| 36. 将 04h 写入 CTRL10_C        | // 使能嵌入功能                                                                   |
| 37. 将 0Bh 写入 MASTER_CONFIG   | // 使能 SDx/SCx 线上的内部上拉<br>// 传感器集合 (sensor hub) 触发信号为 XL 数据准备就绪<br>// 使能硬铁校正 |
| 38. 将 04h 写入 CTRL9_XL        | // 使能辅助 I <sup>2</sup> C 主线<br>// 使能软铁校正                                    |
| 39. 将 80h 写入 CTRL1_XL        | // 开启加速度计 (以获取触发信号)                                                         |

采集的磁力计原始数据可在地址从 66h (OUT\_MAG\_RAW\_X\_L) 至 6Bh (OUT\_MAG\_RAW\_Z\_L) 的寄存器中获取。

磁力计非校准数据（仅使用软铁）可在地址从 4Dh（SENSORHUB13\_REG）至 52h（SENSORHUB18\_REG）的寄存器中获取。

磁力计校准数据（使用了硬铁和软铁校正）可在地址从 2Eh（SENSORHUB1\_REG）至 33h（SENSORHUB6\_REG）的寄存器中获取。

## 7

## 模式 3 和模式 4 - 辅助 SPI 模式

辅助 SPI 模式（模式 3 和模式 4）允许从多个外部器件访问 ISM330DLC：当这些模式之一使能时，I<sup>2</sup>C/SPI（3/4 线）从接口和辅助 SPI（3/4 线）从接口均可用于连接外部器件。

当模式 3 使能时，陀螺仪 OIS 链激活；当模式 4 使能时，加速度计 OIS 链和陀螺仪 OIS 链激活。

例如，它们可用于需要闭环控制的应用。器件可以通过专用辅助 SPI 接口和可配置信号处理路径（低延迟，低噪声）为控制回路提供数据，同时另一个完全独立的路径可以为其他应用输出数据。

## 7.1

## 辅助 SPI 模式说明

要使能模式 3，CTRL1\_OIS 寄存器的 OIS\_EN\_SPI2 位必须置为 1。当模式 3 使能时，可通过选择的辅助 SPI 接口（3/4 线）获取陀螺仪输出值，满量程通过 CTRL1\_OIS 寄存器的 FS[1:0]\_G\_OIS 和 FS\_125\_OIS 位进行选择，ODR 为 6.66 kHz。

如果 CTRL1\_OIS 寄存器中的 OIS\_EN\_SPI2 位和 MODE4\_EN 位置为 1，则模式 4 使能，除了陀螺仪值，还可通过辅助 SPI 接口获取加速度计输出值（ODR 为 6.66 kHz）。当加速度计 GP 链处于掉电模式时，可使用 CTRL3\_OIS 寄存器的 FS[1:0]\_XL\_OIS 位选择 OIS 链上的加速度计满量程。当加速度计 GP 链未处于掉电模式时，OIS 链上的加速度计满量程对应于使用 CTRL1\_XL 寄存器的 FS\_XL[1:0] 位时应用于 GP 侧的值，无论 FS[1:0]\_XL\_OIS 位的值是多少。

当模式 3/模式 4 使能时，将修改 GP 滤波链和 OIS 滤波链，如（对于加速度计）和（对于陀螺仪）所述。有关开启/关断时间的详细信息，请参阅第 3.9 节 加速度计和陀螺仪开启/关断时间。

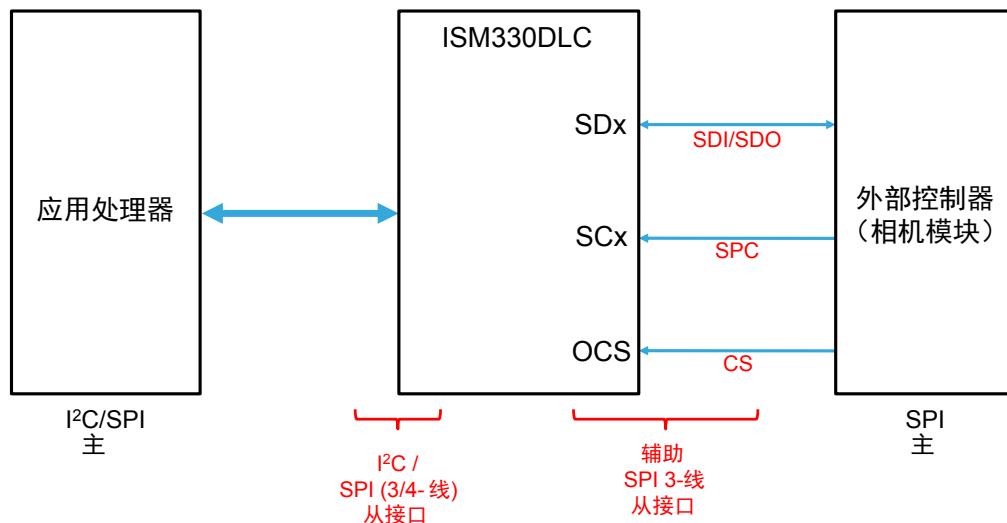
模式 3/模式 4 使能后 ISM330DLC 引脚的功能如所示。

表 57. 模式 3/4 引脚说明

| 接口                   | 引脚      | 模式 3 功能                                                     |
|----------------------|---------|-------------------------------------------------------------|
| I <sup>2</sup> C 从接口 | SDO/SA0 | 器件地址的 I <sup>2</sup> C 最低有效位（SA0）/SPI 4 线接口串行数据输出（SDO）      |
|                      | SCL     | I <sup>2</sup> C 串行时钟（SCL）/SPI 串口时钟（SPC）                    |
|                      | SDA     | I <sup>2</sup> C 串行数据（SDA）/SPI 串行数据输入（SDI），3 线接口串行数据输出（SDO） |
|                      | CS      | I <sup>2</sup> C/SPI 模式选择（1: I <sup>2</sup> C; 0: SPI）      |
| 辅助 SPI<br>3/4 线从接口   | SDx     | 辅助 SPI 3/4 线接口串行数据输入（SDI）和 SPI 3 线串行数据输出（SDO）               |
|                      | SCx     | 辅助 SPI 3/4 线接口串行端口时钟（SPC）                                   |
|                      | OCS_Aux | 辅助 SPI 3/4 线使能                                              |
|                      | SDO_Aux | 辅助 SPI 4 线串行数据输出（SDO_Aux）                                   |

如果使用 SPI 3 线接口（CTRL1\_OIS 中的 SIM\_OIS 位 = 1），外部器件必须按照所示连接到 ISM330DLC。在使用 SPI 4 线接口（还连接 SDO\_Aux 引脚）时，必须相应地更改设置。

图 28. 模式 3/4 下的外部控制器连接 (SPI 3 线)



注：当辅助 SPI 接口使能时，必须遵守以下规则：

- **CTRL4\_C** 寄存器的 **SLEEP** 位必须置为 0（默认值）；
- **CTRL5\_C** 寄存器的 **ST\_XL[1:0]** 位和 **ST\_G[1:0]** 位必须置为 0（默认值）。

FIFO 中保存的加速度计/陀螺仪数据只能通过主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口访问。

## 7.2 辅助 SPI 模式寄存器

辅助 I<sup>2</sup>C/SPI (3/4 线) 主接口始终可用，可读取寄存器 22h 至 27h 中的陀螺仪输出值，并可通过 **CTRL2\_G** 寄存器选择满量程和 ODR。同样地，可通过主接口读取寄存器 28h 至 2Dh 中的加速度计输出值，并可通过 **CTRL1\_XL** 寄存器选择满量程和 ODR。

**INT\_OIS**、**CTRL1\_OIS**、**CTRL2\_OIS** 和 **CTRL3\_OIS** 寄存器的位值只能通过辅助 SPI 接口修改（当通过主接口访问时，这些寄存器为只读寄存器）：只有这些寄存器可以通过辅助 SPI 接口写入；所有其他读/写寄存器均只能通过主接口写入。

当 **CTRL1\_OIS** 寄存器的 **OIS\_EN\_SPI2** 位置为 1 时，模式 3 使能，可通过辅助 SPI 接口读取寄存器 22h 至 27h 中的陀螺仪输出值。当 OIS 链上有新的陀螺仪数据可用时，**STATUS\_SPIAux** 寄存器的 **GDA** 位置为 1；在读取输出数据寄存器的一个高部分时，**GDA** 位复位。当陀螺仪 OIS 链处于建立阶段（最多 80 ms）时，**STATUS\_SPIAux** 寄存器的 **GYRO\_SETTLING** 位等于 1。在该建立阶段读取的数据无效：建议检查此位的状态以了解何时有有效数据可用。

当 **CTRL1\_OIS** 寄存器的 **OIS\_EN\_SPI2** 位和 **MODE4\_EN** 位置为 1 时，模式 4 使能。除了陀螺仪输出值（寄存器 22h 至 27h 中），还可以通过辅助 SPI 接口读取寄存器 28h 至 2Dh 中的加速度计输出值。当 OIS 链上有新的加速度计数据可用时，**STATUS\_SPIAux** 寄存器的 **XLDA** 位置为 1；在读取输出数据寄存器的一个高部分时，**XLDA** 位复位。

当从主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口和辅助 SPI 接口读取数据时，加速度计/陀螺仪输出数据寄存器（22h 至 2Dh）和 **STATUS\_REG** 寄存器（1Eh）包含不同数据。所有其他寄存器包含相同值。

可同时从两个外部主器件读取 LSM6DSM 的所有寄存器。

## 7.2.1 INT\_OIS (6Fh)

表 58. INT\_OIS 寄存器

| b7            | b6       | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---------------|----------|----|----|----|----|----|----|
| INT2_DRDY_OIS | LVL2_OIS | -  | -  | -  | -  | -  | -  |

- INT2\_DRDY\_OIS 位可用于将 OIS 链的 DRDY 信号驱动至 INT2 引脚。OIS 链的 DRDY 信号是脉冲；锁存模式不可用。
- LVL2\_OIS 使能（与 CTRL1\_OIS 寄存器的 LVL1\_OIS 位一起）OIS 链上的电平感应触发/锁存模式；请参考第 7.2.2 节 CTRL1\_OIS (70h) 获取详细信息。

## 7.2.2 CTRL1\_OIS (70h)

表 59. CTRL1\_OIS 寄存器

| b7      | b6       | b5      | b4       | b3        | b2        | b1         | b0          |
|---------|----------|---------|----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| BLE_OIS | LVL1_OIS | SIM_OIS | MODE4_EN | FS1_G_OIS | FS0_G_OIS | FS_125_OIS | OIS_EN_SPI2 |

- BLE\_OIS 位可用于定义大/小端序选择：它允许 OIS 链上的加速度计/陀螺仪输出数据寄存器的高低部分进行交换，类似于 CTRL3\_C 寄存器的 BLE 位（从主接口）（请参考第 4.5.1 节 大小端模式选择 获取详细信息）。
- LVL1\_OIS 可与 INT\_OIS 寄存器的 LVL2\_OIS 位一起，用于使能 OIS 上的电平感应触发模式（表 59. CTRL1\_OIS 寄存器）。
- 为了使能 3 线辅助 SPI 接口，SIM\_OIS 位必须置为 1，否则使用 4 线辅助 SPI 接口。
- MODE4\_EN 位使能加速度计 OIS 链（模式 4）；还必须将 OIS\_EN\_SPI2 位置为 1 才能正确地使能模式 4。
- FS[1:0]\_G\_OIS 位可用于选择陀螺仪 OIS 满量程（当 FS\_125\_OIS 位置为 0 时），类似于 CTRL2\_G 寄存器的 FS\_G[1:0]位。
- FS\_125\_OIS 位使能陀螺仪 OIS 链上的±125 dps 满量程。如果等于 0，则通过 FS[1:0]\_G\_OIS 位选择满量程。
- 为了使能模式 3 和模式 4 下陀螺仪和加速度计数据的 OIS 链数据处理，OIS\_EN\_SPI2 位必须置为 1。

OIS 侧的 DEN 模式可使用 CTRL1\_OIS 寄存器的 LVL1\_OIS 位和 INT\_OIS 寄存器的 LVL2\_OIS 位使能。

在 OIS 路径上，仅陀螺仪传感器的 DEN 模式激活。有关电平感应触发/锁存模式的详细信息，请参阅第 4.8 节 边沿感应和电平感应数据使能（DEN）。

表 60. DEN 模式选择

| LVL1_OIS, LVL2_OIS | DEN 模式            |
|--------------------|-------------------|
| 00b                | OIS 路径上的 DEN 模式禁用 |
| 10b                | 已选择电平感应触发模式       |
| 11b                | 已选择电平感应锁存模式       |

## 7.2.3 CTRL2\_OIS (71h)

表 61. CTRL2\_OIS 寄存器

| b7 | b6 | b5           | b4           | b3 | b2              | b1              | b0            |
|----|----|--------------|--------------|----|-----------------|-----------------|---------------|
| 0  | 0  | HPM1<br>_OIS | HPM0<br>_OIS | 0  | FTYPE<br>_1_OIS | FTYPE<br>_0_OIS | HP_EN<br>_OIS |

- HPM[1:0]\_OIS 位可用于选择 OIS 侧的数字 HP 滤波器截止频率。下表所示为可用配置。

表 62. 陀螺仪 OIS 链 HP 滤波器截止频率选择

| HPM[1:0]_OIS | 截止[Hz] |
|--------------|--------|
| 00           | 0.016  |
| 01           | 0.065  |
| 10           | 0.260  |
| 11           | 1.04   |

- FTYPE\_[1:0]\_OIS 位可用于选择数字 LPF1 带宽。下表所示为使用所有配置获得的截止频率和相位延迟值。

表 63. 陀螺仪 OIS 链 LPF1 带宽选择

| FTYPE_[1:0]_OIS | ODR = 6.66 kHz |                 |
|-----------------|----------------|-----------------|
|                 | BW             | 相位延迟<br>@ 20 Hz |
| 00              | 351 Hz         | 7°              |
| 01              | 237 Hz         | 9°              |
| 10              | 173 Hz         | 11°             |
| 11              | 937 Hz         | 5°              |

注：当模式 3/4 使能时，LPF1 滤波器在陀螺仪 UI 链上不可用。如欲使用模式 3 或模式 4，建议避免使用模式 1 和模式 2 下使用的 LPF1 滤波器。

- HP\_EN\_OIS 位可用于使能 OIS 链上的 HP 滤波器。

注：仅当 CTRL7\_G 寄存器中的 HP\_EN\_OIS 位置为 1 且 HP\_EN\_G 位置为 0 时，OIS 侧的 HP 滤波器才可用。

## 7.2.4 CTRL3\_OIS (72h)

表 64. CTRL3\_OIS 寄存器

| b7             | b6             | b5             | b4                           | b3                           | b2      | b1      | b0                  |
|----------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------------------|
| DEN_LH<br>_OIS | FS1<br>_XL_OIS | FS0<br>_XL_OIS | FILTER_XL<br>_CONF<br>_OIS_1 | FILTER_XL<br>_CONF<br>_OIS_0 | ST1_OIS | ST0_OIS | ST_OIS<br>_CLAMPDIS |

- **DEN\_LH\_OIS** 位可用于选择陀螺仪 OIS 链上 DEN 信号的极性。如果 **DEN\_LH\_OIS** 位置为 0，则 DEN 引脚为低电平有效，否则为高电平有效。
- **FS[1:0]\_XL\_OIS** 位可用于选择 OIS 链上的加速度计满量程。仅当加速度计 GP 链处于掉电模式时，这两位才起作用，否则加速度计满量程对应于 GP 侧通过 **CTRL1\_XL** 寄存器置位的值。
- **FILTER\_XL\_CONF\_OIS[1:0]** 位设置加速度计 OIS 链带宽。

表 65. 加速度计 OIS 带宽选择

| FILTER_XL_CONF_OIS[1:0] | ODR_XL = 0 (掉电)<br>ODR_XL ≥ 1600 Hz |                 | ODR_XL ≤ 800 Hz |                 |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                         | BW                                  | 相位延迟<br>@ 20 Hz | BW              | 相位延迟<br>@ 20 Hz |
| 00                      | 140 Hz                              | 9.39°           | 128 Hz          | 11.5°           |
| 01                      | 68.2 Hz                             | 17.6°           | 66.5 Hz         | 19.7°           |
| 10                      | 636 Hz                              | 2.96°           | 329 Hz          | 5.08°           |
| 11                      | 295 Hz                              | 5.12°           | 222 Hz          | 7.23°           |

注：如果在模式 4 下使用 ISM330DLC 器件，LPF2 和 HP 滤波器在加速度计 GP 链上不可用。如欲使用模式 4，建议避免使用模式 1/2/3 下使用的 LPF2 和 HP 滤波器。

- 可以将 **ST[1:0]\_OIS** 位置位，以便选择陀螺仪 OIS 链上的自检功能（参见第 10 节 自检功能了解详细信息）。
- **ST\_OIS\_CLAMPDIS** 位可用于在陀螺仪自检中使能/禁用 OIS 链钳位。如果 **ST\_OIS\_CLAMPDIS** 位置为 1，则一旦陀螺仪自检功能使能，从辅助 SPI 接口读取的陀螺仪输出值将显示在从主接口读取数据时观测到的相同变化。如果 **ST\_OIS\_CLAMPDIS** 位置为 0，则当陀螺仪自检功能使能时，从辅助 SPI 接口读取的陀螺仪输出值始终钳位至 8000h 值：例如，此功能允许连接到辅助接口的主机设备检测从 GP 侧使能自检功能的时间。设计的最大陀螺仪输出值比 8000h 小一个 LSB，因此如果从辅助 SPI 读取了 8000h，则表示从 GP 侧使能了自检功能。

## 7.2.5 STATUS\_SPIAux (1Eh)

表 66. STATUS\_SPIAux 寄存器

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2            | b1  | b0   |
|----|----|----|----|----|---------------|-----|------|
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | GYRO_SETTLING | GDA | XLDA |

- 陀螺仪输出的初始建立阶段，GYRO\_SETTLING 位置为 1。在此位等于 1 时生成的陀螺仪输出数据必须丢弃。
- 当 OIS 链上的寄存器 22h 至 27h 中有新的陀螺仪数据可用时，GDA 位置为 1。在读取输出数据寄存器的一个高部分时，GDA 位复位。
- 当 OIS 链上的寄存器 28h 至 2Dh 中有新的加速度计数据可用时，XLDA 位置为 1（模式 3/4）。当读取输出数据寄存器高位部分之一时，该位复位。

## 7.3 通过辅助 SPI 读取陀螺仪数据

器件上电后通过辅助 SPI 3 线接口读取陀螺仪输出数据的流程如下：

1. 等待 15 ms //启动时间  
// 该时间段结束后器件处于掉电模式
2. 将 21h 写入 CTRL1\_OIS //通过辅助 SPI 3 线接口启用陀螺仪  
// (OIS 陀螺仪: FS = ±250 dps / ODR = 6.6 kHz)
3. 等待 80 ms //陀螺仪最大导通时间
4. 读取输出寄存器 28h 至 2Dh //通过辅助 SPI 读取陀螺仪输出数据

## 7.4 模式 4 - 通过辅助 SPI 读取陀螺仪和加速度计输出数据

器件上电后通过辅助 SPI 3 线接口读取陀螺仪和加速度计输出数据的流程如下：

1. 等待 15 ms //启动时间  
// 该时间段结束后器件处于掉电模式
2. 将 31h 写入 CTRL1\_OIS //通过辅助 SPI 3 线接口启用陀螺仪  
// (OIS 陀螺仪: FS = ±250 dps / ODR = 6.66 kHz)  
// 使能模式 4 (MODE4\_EN 置位)
3. 将 00h 写入 CTRL3\_OIS //通过辅助 SPI 3 线接口设置 XL  
// (OIS XL: FS = ±2 g / ODR = 6.66 kHz)
4. 等待 80 ms //陀螺仪最大导通时间
5. 读取输出寄存器 28h 至 2Dh //通过辅助 SPI 读取陀螺仪输出数据
6. 读取输出寄存器 28h 至 2Dh //通过辅助 SPI 读取加速度计输出数据

## 8 先进先出 (FIFO) 缓冲区

为了限制主处理器干预并简化事件识别的后处理数据，ISM330DLC 嵌入了一个 4 kB 的先进先出缓冲器 (FIFO)。

FIFO 可配置为存储以下数据：

- 陀螺仪传感器数据；
- 加速度计传感器数据；
- 外部传感器（连接到传感器集合（sensor hub）接口）数据；
- 时间戳数据；
- 温度传感器数据。

将数据保存在 FIFO 缓冲器是基于四个“FIFO 数据集”，每个数据集由 6 个字节构成：

- 第 1 FIFO 数据集预留给陀螺仪数据；
- 第 2 FIFO 数据集预留给加速度计数据；
- 第 3 FIFO 数据集预留给存储在从 SENSORHUB1\_REG 至 SENSORHUB6\_REG 的寄存器中外部传感器数据（关于 SENSORHUBx\_REG 的详细信息，请参考[第 6.2.10 节 SENSORHUBx\\_REG 寄存器](#)）；
- 第 4 FIFO 数据集可交替关联到外部传感器数据（存储在从 SENSORHUB7\_REG 至 SENSORHUB12\_REG 的寄存器中）、时间戳信息，或温度传感器数据。

通过设置 FIFO\_CTRL3 和 FIFO\_CTRL4 寄存器的抽取因子，所有这些数据集能够以不同的 ODR 存储在 FIFO 中。抽取因子也可用来选择哪个 FIFO 数据集必须存储在 FIFO 中。

利用 FIFO\_CTRL5 寄存器的 FIFO\_MODE\_[2:0]位，有五种不同的 FIFO 操作模式可供选择：

- Bypass 模式；
- FIFO 模式；
- 连续模式；
- 连续-FIFO 模式；
- Bypass-连续模式。

**注意：**当使用 FIFO 时，CTRL3\_C 寄存器的 IF\_INC 和 BDU 位必须等于 1。

通过两个专用寄存器从 FIFO 中恢复数据：FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H。这样，数据可从 FIFO（以较低 ODR）或从器件输出寄存器（以正常 ODR）进行读取。

要监控 FIFO 状态（满，空，存储的采样数，等等），可以使用四个专用寄存器：FIFO\_STATUS1, FIFO\_STATUS2, FIFO\_STATUS3, FIFO\_STATUS4。

可编程 FIFO 阈值可以利用 FTH\_[10:0]位在 FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 中进行设置。

通过 INT1\_CTRL 寄存器的 INT1\_FULL\_FLAG、INT1\_FTH 和 INT1\_FIFO\_OVR 位，以及 INT2\_CTRL 寄存器的 INT2\_FULL\_FLAG、INT2\_FTH 和 INT2\_FIFO\_OVR 位，可以使能 FIFO 满、FIFO 阈值和 FIFO 超载事件，在两个中断引脚（INT1 和 INT2）上产生专门的中断。

要增加可存储在 FIFO 中的采样数，还可以通过将 FIFO\_CTRL4 寄存器的位 ONLY\_HIGH\_DATA 置为 1，只存储（作为第 1 个 FIFO 数据集）加速度计和陀螺仪数据的 8 个最高有效位。

向 FIFO 中写入数据可由加速度计/陀螺仪数据准备就绪来触发；还可由传感器集合（sensor hub）数据准备就绪（对应 FUNC\_SRC1 寄存器 SENSORHUB\_END\_OP 位特性）：这种情况下，MASTER\_CONFIG 寄存器的 DATA\_VALID\_SEL\_FIFO 位必须置为 1。

## 8.1 FIFO 寄存器

FIFO 缓冲器由以下几项管理：

- 五个控制寄存器（从 FIFO\_CTRL1 至 FIFO\_CTRL5）；
- 四个状态寄存器（从 FIFO\_STATUS1 至 FIFO\_STATUS4）；
- 两个数据输出寄存器（FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H）；
- 一些附加位，用来使能阈值使用（STOP\_ON\_FTH）和将 FIFO 满、阈值或超载事件发送至两个中断引脚（位：INT1\_FULL\_FLAG、INT2\_FULL\_FLAG、INT1\_FTH、INT2\_FTH、INT1\_FIFO\_OVR、INT2\_FIFO\_OVR）。

### 8.1.1 FIFO\_CTRL1 (06h)

FIFO\_CTRL1 寄存器包含 11 位 FIFO 阈值的低位部分。对于完整的阈值配置，还要考虑 FIFO\_CTRL2 寄存器的 FTH\_[10:8]位。FIFO 阈值的值是指 16 位格式的数据。

当 FIFO 中存储的字节数大于或等于阈值水平时，FIFO 水印标记（FIFO\_STATUS2 寄存器的 WaterM 位）升高。要将 FIFO 深度限制为水印级别，FIFO\_CTRL4 寄存器中 STOP\_ON\_FTH 位必须设置为 1。

**表 67. FIFO\_CTRL1 寄存器**

| b7    | b6    | b5    | b4    | b3    | b2    | b1    | b0    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FTH_7 | FTH_6 | FTH_5 | FTH_4 | FTH_3 | FTH_2 | FTH_1 | FTH_0 |

### 8.1.2 FIFO\_CTRL2 (07h)

**表 68. FIFO\_CTRL2 寄存器**

| b7            | b6 | b5 | b4 | b3           | b2     | b1    | b0    |
|---------------|----|----|----|--------------|--------|-------|-------|
| FIFO_TIMER_EN | 0  | 0  | 0  | FIFO_TEMP_EN | FTH_10 | FTH_9 | FTH_8 |

- FIFO\_TIMER\_EN 能够将时间戳数据作为第四个 FIFO 数据集存储起来。当此位置为 1 时，FIFO 中存储的 6 个字节内容如第 8.8 节 FIFO 中的时间戳数据中所示。
- FIFO\_TEMP\_EN 位能够将温度数据作为第四个 FIFO 数据集存储起来。当此位置为 1 时，FIFO 中存储的 6 个字节内容如第 8.9 节 FIFO 中的温度数据中所示。
- FTH\_[10:8]包含了 FIFO 阈值的高位部分。对于完整的阈值配置，还要考虑 FIFO\_CTRL1 寄存器的 FTH\_[7:0]位。

## 8.1.3

## FIFO\_CTRL3 (08h)

FIFO\_CTRL3 寄存器包含了加速度计和陀螺仪 FIFO 抽取因子，用于选择这些传感器的数据是否必须存储到 FIFO 中，以及以什么速率进行存储。

当 DEC\_FIFO\_GYRO[2:0]位被置为 000b，第 1 FIFO 数据集（预留给陀螺仪数据）不存储在 FIFO 中。当 DEC\_FIFO\_XL[2:0]位被置为 000b 时，第 2 FIFO 数据集（预留给加速度计数据）不存储在 FIFO 中。

表 69. FIFO\_CTRL3 寄存器

| b7 | b6 | b5                     | b4                     | b3                     | b2                   | b1                   | b0                   |
|----|----|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0  | 0  | DEC_<br>FIFO_<br>GYRO2 | DEC_<br>FIFO_<br>GYRO1 | DEC_<br>FIFO_<br>GYRO0 | DEC_<br>FIFO_<br>XL2 | DEC_<br>FIFO_<br>XL1 | DEC_<br>FIFO_<br>XL0 |

表 70. 陀螺仪 FIFO 抽取设置

| DEC_FIFO_GYRO [2:0] | 配置              |
|---------------------|-----------------|
| 000                 | 陀螺仪传感器不在 FIFO 中 |
| 001                 | // 无抽取          |
| 010                 | 抽取因子为 2         |
| 011                 | 抽取因子为 3         |
| 100                 | 抽取因子为 4         |
| 101                 | 抽取因子为 8         |
| 110                 | 抽取因子为 16        |
| 111                 | 抽取因子为 32        |

表 71. 加速度计 FIFO 抽取设置

| DEC_FIFO_XL [2:0] | 配置               |
|-------------------|------------------|
| 000               | 加速度计传感器不在 FIFO 中 |
| 001               | // 无抽取           |
| 010               | 抽取因子为 2          |
| 011               | 抽取因子为 3          |
| 100               | 抽取因子为 4          |
| 101               | 抽取因子为 8          |
| 110               | 抽取因子为 16         |
| 111               | 抽取因子为 32         |

### 8.1.4 FIFO\_CTRL4 (09h)

FIFO\_CTRL4 寄存器含有抽取因子，用来定义第 3 FIFO 和第 4 FIFO 数据集所关联的数据以多少数据率存储到 FIFO 中。

当 DEC\_DS3\_FIFO[2:0]位置为 000b 时，第 3 个 FIFO 数据集不存储在 FIFO 中。当 DEC\_DS4\_FIFO[2:0]位被置为 000b 时，第 4 个 FIFO 数据集不存储在 FIFO 中。

FIFO\_CTRL4 寄存器还还有位 ONLY\_HIGH\_DATA，该位允许只将加速度计和陀螺仪数据的高位部分（最高有效字节）存储到 FIFO 中，以增加 FIFO 中加速度计和陀螺仪的最大采样数。关于此功能的更多详细信息，参见第 8.7 节 陀螺仪和加速度计数据的高位部分。

FIFO\_CTRL4 寄存器包含了位 STOP\_ON\_FTH，可将 FIFO 深度限制在水印级别。

**表 72. FIFO\_CTRL4 寄存器**

| b7              | b6                     | b5                    | b4                    | b3                    | b2                    | b1                    | b0                    |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| STOP_<br>ON_FTH | ONLY_<br>HIGH<br>_DATA | DEC_<br>DS4<br>_FIFO2 | DEC_<br>DS4<br>_FIFO1 | DEC_<br>DS4<br>_FIFO0 | DEC_<br>DS3<br>_FIFO2 | DEC_<br>DS3<br>_FIFO1 | DEC_<br>DS3<br>_FIFO0 |

**表 73. 第 3 FIFO 数据集抽取设置**

| DEC_DS3_FIFO [2:0] | 配置                    |
|--------------------|-----------------------|
| 000                | 第 3 FIFO 数据集不在 FIFO 中 |
| 001                | // 无抽取                |
| 010                | 抽取因子为 2               |
| 011                | 抽取因子为 3               |
| 100                | 抽取因子为 4               |
| 101                | 抽取因子为 8               |
| 110                | 抽取因子为 16              |
| 111                | 抽取因子为 32              |

**表 74. 第 4 FIFO 数据集抽取设置**

| DEC_DS4_FIFO [2:0] | 配置                    |
|--------------------|-----------------------|
| 000                | 第 4 FIFO 数据集不在 FIFO 中 |
| 001                | // 无抽取                |
| 010                | 抽取因子为 2               |
| 011                | 抽取因子为 3               |
| 100                | 抽取因子为 4               |
| 101                | 抽取因子为 8               |
| 110                | 抽取因子为 16              |
| 111                | 抽取因子为 32              |

### 8.1.5 FIFO\_CTRL5 (0Ah)

FIFO\_CTRL5 寄存器包含 FIFO 操作模式位 (FIFO\_MODE\_[2:0]) 和 FIFO 输出数据率位 (ODR\_FIFO\_[3:0])。 FIFO 操作模式如第 8.2 节 FIFO 模式中所示。

当使用内部触发（加速度计/陀螺仪数据准备就绪）时，ODR\_FIFO\_[3:0]位定义数据存储到 FIFO 中的最大数据率。利用 FIFO 抽取因子，数据能够以较低速率存储到 FIFO 中。关于 FIFO 触发和 FIFO ODR 配置的更多信息，参见[第 8.3 节 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子](#)。

**注意：**当使用 FIFO 时，*CTRL3\_C* 寄存器的 *IF\_INC* 位必须等于 1。

表 75. FIFO\_CTRL5 寄存器

| b7 | b6         | b5         | b4         | b3         | b2          | b1          | b0          |
|----|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 0  | ODR_FIFO_3 | ODR_FIFO_2 | ODR_FIFO_1 | ODR_FIFO_0 | FIFO_MODE_2 | FIFO_MODE_1 | FIFO_MODE_0 |

表 76. FIFO ODR 选择设置

| ODR_FIFO [3:0] | 配置                    |
|----------------|-----------------------|
| 0000           | FIFO 禁用               |
| 0001           | FIFO ODR 被置为 12.5 Hz  |
| 0010           | FIFO ODR 被置为 26 Hz    |
| 0011           | FIFO ODR 被置为 52 Hz    |
| 0100           | FIFO ODR 被置为 104 Hz   |
| 0101           | FIFO ODR 被置为 208 Hz   |
| 0110           | FIFO ODR 被置为 416 Hz   |
| 0111           | FIFO ODR 被置为 833 Hz   |
| 1000           | FIFO ODR 被置为 1.66 kHz |
| 1001           | FIFO ODR 被置为 3.33 kHz |
| 1010           | FIFO ODR 被置为 6.66 kHz |

表 77. FIFO 模式选择

| FIFO_MODE [2:0] | 配置                            |
|-----------------|-------------------------------|
| 000             | Bypass 模式。FIFO 禁用。            |
| 001             | FIFO 模式。当 FIFO 满时，停止采集数据。     |
| 010             | Reserved                      |
| 011             | 直至触发失效均为连续模式，失效后进入 FIFO 模式。   |
| 100             | 直至触发失效均为 Bypass 模式，失效后进入连续模式。 |
| 101             | Reserved                      |
| 110             | 连续模式。如果 FIFO 已满，则新的采样将会覆盖原有值。 |
| 111             | Reserved                      |

### 8.1.6 FIFO\_STATUS1 (3Ah)

FIFO\_STATUS1 寄存器，连同 FIFO\_STATUS2 寄存器一起，可提供 FIFO 中存储的采样数相关信息。每个采样被表示为 16 位数据。

表 78. FIFO\_STATUS1 寄存器

| b7              | b6              | b5              | b4              | b3              | b2              | b1              | b0              |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DIFF_<br>FIFO_7 | DIFF_<br>FIFO_6 | DIFF_<br>FIFO_5 | DIFF_<br>FIFO_4 | DIFF_<br>FIFO_3 | DIFF_<br>FIFO_2 | DIFF_<br>FIFO_1 | DIFF_<br>FIFO_0 |

## 8.1.7

## FIFO\_STATUS2 (3Bh)

FIFO\_STATUS2 寄存器，连同 FIFO\_STATUS1 寄存器一起，可提供 FIFO 中存储的采样数相关信息和 FIFO 缓冲器当前状态信息（水印，超载，满，空）。

表 79. FIFO\_STATUS2 寄存器

| b7     | b6           | b5                  | b4         | b3 | b2               | b1              | b0              |
|--------|--------------|---------------------|------------|----|------------------|-----------------|-----------------|
| WaterM | OVER<br>_RUN | FIFO_FULL<br>_SMART | FIFO_<br>空 | 0  | DIFF_<br>FIFO_10 | DIFF_<br>FIFO_9 | DIFF_<br>FIFO_8 |

- WaterM 表示水印状态。当 FIFO 中已存储的字节数大于等于水印水平，则此位被置为高电平（每个采样表示为 16 位数据）。通过将 INT1\_CTRL 寄存器的 INT1\_FTH 位或 INT2\_CTRL 寄存器的 INT2\_FTH 位置为 1，可将水印状态驱动至两个中断引脚上。
- 当 FIFO 完全已满，至少一个采样已经被覆盖掉以存储新数据时，OVER\_RUN 置为高电平。通过将 INT1\_CTRL 寄存器的 INT1\_FIFO\_OVR 位或 INT2\_CTRL 寄存器的 INT2\_FIFO\_OVR 位置为 1，可将此信号驱动至两个中断引脚上。
- 当要存储在 FIFO 中的下一数据集将要使 FIFO 满时，FIFO\_FULL\_SMART 被置为高电平。通过将 INT1\_CTRL 寄存器的 INT1\_FULL\_FLAG 位或 INT2\_CTRL 寄存器的 INT2\_FULL\_FLAG 位置为 1，可将此信号驱动至两个中断引脚上。
- 当 FIFO 空时，FIFO\_EMPTY 置为高电平。
- DIFF\_FIFO\_[10:8]包含 FIFO 中存储的未读字（16 位数据）数的高位部分。其低位部分由 FIFO\_STATUS1 中的 DIFF\_FIFO\_[7:0]位表示。The value of DIFF\_FIFO\_[10:0]字段的值对应 FIFO 中的采样数（每个采样表示为 16 位数据）。当发生 FIFO 过载事件时（OVER\_RUN 位置为高电平），DIFF\_FIFO\_[11:0]字段的值置为 0。

寄存器内容与 FIFO 读写操作同步更新，如表 80. FIFO\_STATUS2 特性（一个传感器处于 FIFO 模式，且 STOP\_ON\_FTH = 0 的情况下）所示。

表 80. FIFO\_STATUS2 特性（一个传感器处于 FIFO 模式，且 STOP\_ON\_FTH = 0 的情况下）

| FIFO_OVER_RUN | FIFO_FULL | FIFO_EMPTY | DIFF_FIFO_[10:0] | FIFO 采样数          | FIFO 触发时序  |
|---------------|-----------|------------|------------------|-------------------|------------|
| 0             | 0         | 1          | 0                | 0                 | t0         |
| 0             | 0         | 0          | 3                | 3                 | t1         |
| 0             | 0         | 0          | 6                | 6                 | t2         |
| ...           | ...       | ...        | ...              | ...               | ...        |
| 0             | 0         | 0          | 2044             | 2044              | t_full - 2 |
| 0             | 1         | 0          | 2047             | 2047              | t_full - 1 |
| 1             | 1         | 0          | 0                | 2048<br>(旧有采样被覆盖) | t_full     |

## 8.1.8

## FIFO\_STATUS3 (3Ch)

FIFO\_STATUS3 寄存器，连同 FIFO\_STATUS4 寄存器一起，指明了下次读取时读取哪个传感器哪个轴上的数据。关于如何从 FIFO 中恢复数据，更多信息参见第 8.5 节 FIFO 模式。

表 81. FIFO\_STATUS3 寄存器

| b7             | b6             | b5             | b4             | b3             | b2             | b1             | b0             |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FIFO_PATTERN_7 | FIFO_PATTERN_6 | FIFO_PATTERN_5 | FIFO_PATTERN_4 | FIFO_PATTERN_3 | FIFO_PATTERN_2 | FIFO_PATTERN_1 | FIFO_PATTERN_0 |

## 8.1.9

## FIFO\_STATUS4 (3Dh)

FIFO\_STATUS4 寄存器，连同 FIFO\_STATUS3 寄存器一起，指明了下次读取时读取哪个传感器哪个轴上的数据。关于如何从 FIFO 中恢复数据，更多信息参见第 8.5 节 FIFO 模式。

表 82. FIFO\_STATUS4 寄存器

| b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1             | b0             |
|----|----|----|----|----|----|----------------|----------------|
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | FIFO_PATTERN_9 | FIFO_PATTERN_8 |

## 8.1.10

## FIFO\_DATA\_OUT\_L (3Eh)

FIFO\_DATA\_OUT\_L 寄存器为 FIFO 输出数据的最低有效字节。最高有效字节存储在 FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器中。关于如何从 FIFO 中恢复数据，更多信息参见第 8.4 节 从 FIFO 恢复数据。

表 83. FIFO\_DATA\_OUT\_L 寄存器

| b7                | b6                | b5                | b4                | b3                | b2                | b1                | b0                |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| DATA_OUT_FIFO_L_7 | DATA_OUT_FIFO_L_6 | DATA_OUT_FIFO_L_5 | DATA_OUT_FIFO_L_4 | DATA_OUT_FIFO_L_3 | DATA_OUT_FIFO_L_2 | DATA_OUT_FIFO_L_1 | DATA_OUT_FIFO_L_0 |

## 8.1.11

## FIFO\_DATA\_OUT\_H (3Fh)

FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器为 FIFO 输出数据的最高有效字节。最低有效字节存储在 FIFO\_DATA\_OUT\_L 寄存器中。关于如何从 FIFO 中恢复数据，更多信息参见第 8.4 节 从 FIFO 恢复数据。

表 84. FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器

| b7                | b6                | b5                | b4                | b3                | b2                | b1                | b0                |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| DATA_OUT_FIFO_H_7 | DATA_OUT_FIFO_H_6 | DATA_OUT_FIFO_H_5 | DATA_OUT_FIFO_H_4 | DATA_OUT_FIFO_H_3 | DATA_OUT_FIFO_H_2 | DATA_OUT_FIFO_H_1 | DATA_OUT_FIFO_H_0 |

## 8.2

## FIFO 模式

通过 FIFO\_CTRL5 寄存器的 FIFO\_MODE\_[2:0] 字段，ISM330DLC FIFO 缓冲器可配置为五种不同的可选工作模式。可用配置确保了高度灵活性，并扩展了可用于应用开发的功能数量。

以下段落描述了旁路、FIFO、连续、连续-FIFO 和 Bypass-连续模式。

注意：当使用 FIFO 时，CTRL3\_C 寄存器的 IF\_INC 位必须等于 1。

## 8.2.1

## Bypass 模式

使能 Bypass 模式时，FIFO 不使用，缓冲器内容被清零，并保持为空，直至选择了另一种模式。

当 FIFO\_MODE\_[2:0] 位被置为 000b 时，选用 Bypass 模式。当此模式使能，FIFO\_STATUS2 寄存器含有值 10h (FIFO 空)。

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。注意，将 FIFO 缓冲器置于 Bypass 模式时，整个缓冲器内容会被清零。

## 8.2.2 FIFO 模式

FIFO 模式中，缓冲器继续填充直至充满。然后停止采集数据，FIFO 内容保持不变，直至选用不同模式。

按照这些步骤进行 FIFO 模式配置（如果加速度计/陀螺仪数据准备就绪被用作 FIFO 触发）：

1. 通过 FIFO\_CTRL3 和 FIFO\_CTRL4 寄存器中的抽取位来为每个传感器选择抽取因子（详细信息参见 第 8.3 节 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子）；
2. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 ODR\_FIFO\_[3:0]位选择 FIFO ODR；
3. 将 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 FIFO\_MODE\_[2:0]位置为 001b 来使能 FIFO 模式。

当选用此模式时，FIFO 开始采集数据。FIFO\_STATUS1 和 FIFO\_STATUS2 寄存器根据所存储的采样数来更新。

当下一个要存储的数据集将会使 FIFO 满时，FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位被置为 1，不再有数据存储到 FIFO 缓冲器中。通过读取 FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器获取 FIFO\_STATUS1 和 FIFO\_STATUS2 寄存器的 DIFF\_FIFO\_[11:0]位所指定的次数，可在 FIFO\_FULL\_SMART 事件后恢复数据。

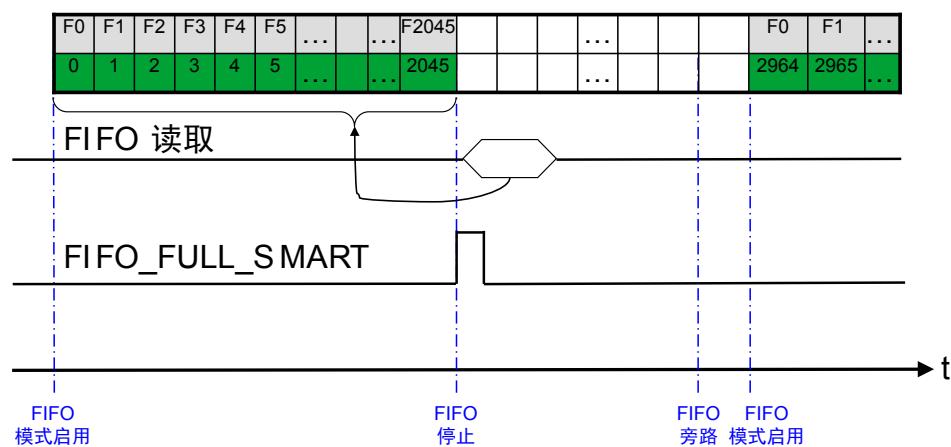
利用 FIFO\_STATUS2 寄存器的 WaterM 位，如果应用要求 FIFO 中采样数较低，则数据还可在达到阈值（FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 寄存器中的 FTH\_[11:0]）时恢复。

如果 FIFO\_CTRL4 寄存器的 STOP\_ON\_FTH 位置为 1，则 FIFO 空间大小被限制为 FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 寄存器中 FTH\_[11:0]位的值：这种情况下，当下一次 FIFO 写操作时 FIFO 中采样数达到或超过 FTH\_[11:0]值，那么 FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位会被置为高电平。

FIFO 模式下通信速度不是很重要，因为数据采集已停止，不存在已采集数据被覆盖的风险。重启 FIFO 模式之前，需要首先设置为 Bypass 模式，以完全清空 FIFO 内容。

图 29. FIFO 模式（STOP\_ON\_FTH = 0）显示了 FIFO 模式使用的示例。示例中，X-Y-Z 数据（绿色单元表示采样数）只来自一个传感器，存储到 FIFO 中。这些条件下，FIFO 中可存储 2046 个 16 位采样值。

图 29. FIFO 模式（STOP\_ON\_FTH = 0）



## 8.2.3

## 连续模式

连续模式中，FIFO 连续填充。当缓冲器满时，FIFO 索引重新从头开始，原有数据被新数据替代。最早先的数据继续被覆盖，直至读取操作释放了 FIFO 插槽。要实现插槽释放速度快于新数据产生速度，主处理器读取速度很重要。要停止此配置，必须选用 Bypass 模式。

按照这些步骤进行连续模式配置（如果加速度计/陀螺仪数据准备就绪被用作 FIFO 触发）：

1. 通过 FIFO\_CTRL3 和 FIFO\_CTRL4 寄存器中的抽取位来为每个传感器选择抽取因子（详细信息参见第 8.3 节 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子）；
2. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 ODR\_FIFO\_[3:0] 位选择 FIFO ODR；
3. 将 FIFO\_CTRL5 寄存器中 FIFO\_MODE\_[2:0] 位置为 110b 来使能 FIFO 连续模式。

当选用此模式时，FIFO 连续采集数据。FIFO\_STATUS1 和 FIFO\_STATUS2 寄存器根据所存储的采样数来更新。

当下一个要存储的数据集将会使 FIFO 满时，FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位被置为 1。FIFO\_STATUS2 寄存器的 OVER\_RUN 位表示何时至少有一个采样被覆盖以存储新数据。

通过读取 FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器获取 FIFO\_STATUS1 和 FIFO\_STATUS2 寄存器的 DIFF\_FIFO\_[11:0] 位所指定的次数，可在 FIFO\_FULL 事件后恢复数据。

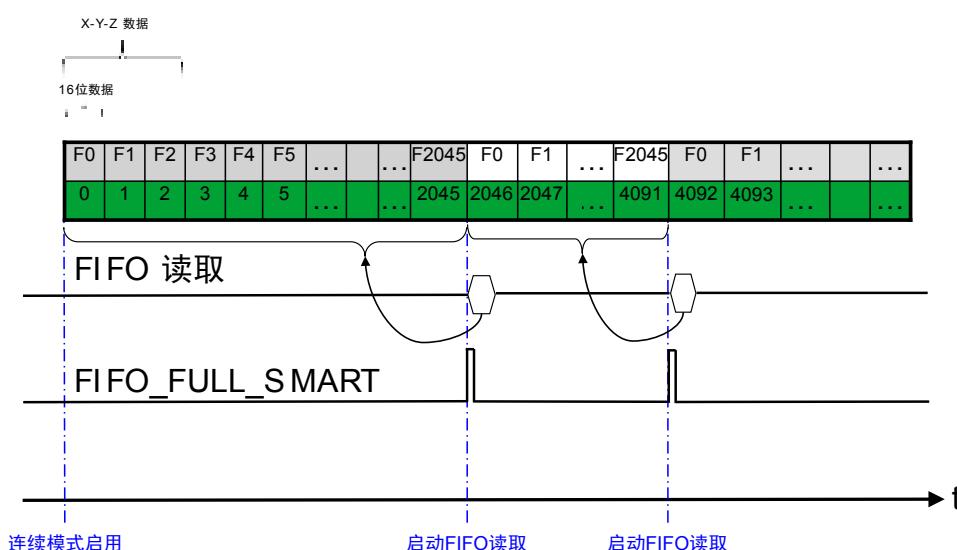
利用 FIFO\_STATUS2 寄存器的 WaterM 位，数据还可在达到阈值（FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 寄存器中的 FTH\_[11:0]）时恢复。

如果 FIFO\_CTRL4 寄存器的 STOP\_ON\_FTH 位置为 1，则 FIFO 空间大小被限制为 FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 寄存器中 FTH\_[11:0] 位的值：这种情况下，当下一次 FIFO 写操作时 FIFO 中采样数达到 FTH\_[11:0] 值，那么 FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位会被置为高电平。

要释放 FIFO 插槽用于新数据，建议读取速度比 1\*ODR 至少快已使能 FIFO 数据集数的三倍：这能够避免丢失数据。

**图 30. 连续模式** 显示了连续模式使用的示例。示例中，X-Y-Z 数据（绿色单元表示采样数）仅来自一个传感器，存储到 FIFO 中，并且读取速度快于 1 \* ODR，因此无数据丢失。这些条件下，所存储的 16 位采样数为 2046。

图 30. 连续模式



## 8.2.4

## 连续-FIFO 模式

此模式是先前所述的连续和 FIFO 模式的组合。在连续-FIFO 模式中，FIFO 缓冲器开始工作于连续模式，当发生事件条件时切换为 FIFO 模式。

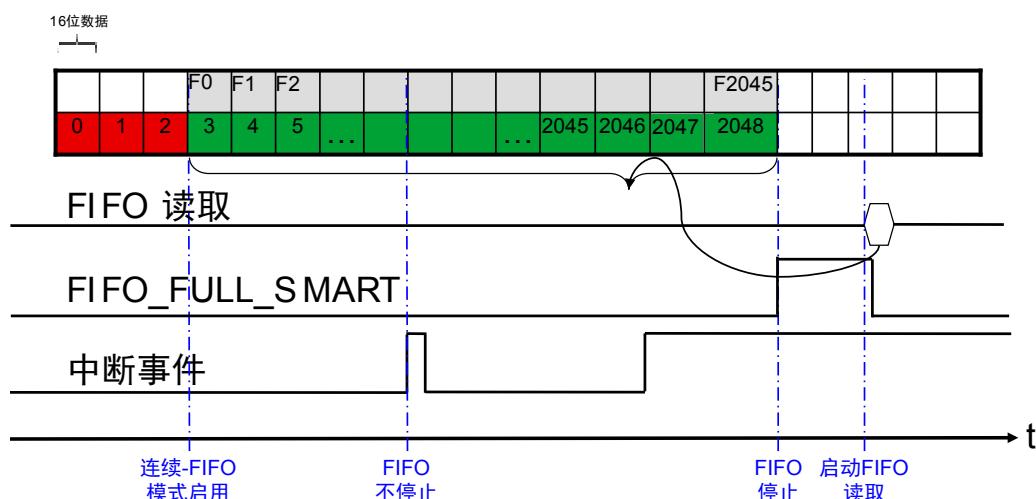
事件条件可为以下之一：

- 倾斜：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_TILT 位必须被置为 1；
- 单击：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_SINGLE\_TAP 位必须被置为 1；

- 双击：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_DOUBLE\_TAP 位必须被置为 1;
- 自由落体：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_FF 位必须被置为 1;
- 唤醒：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_WU 位必须被置为 1;
- 6D：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_6D 位必须被置为 1。

连续-FIFO 模式对中断信号的边沿感应：在第一次中断事件时，FIFO 从连续模式变为 FIFO 模式，并维持该模式，直到 Bypass 模式被置位。

图 31. 连续-FIFO 模式



按照这些步骤进行连续-FIFO 模式配置（如果加速度计/陀螺仪数据准备就绪被用作 FIFO 触发）：

1. 配置先前所述的其中一个事件；
2. 通过 FIFO\_CTRL3 和 FIFO\_CTRL4 寄存器中的抽取位来为每个传感器选择抽取因子（详细信息参见 第 8.3 节 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子）；
3. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 ODR\_FIFO\_[3:0]位选择 FIFO ODR；
4. 将 FIFO\_CTRL5 寄存器中 FIFO\_MODE\_[2:0]位置为 011b 来使能连续-FIFO 连续模式。

在连续-FIFO 模式中，FIFO 缓冲器连续填充；当下一次存储的数据集会填满 FIFO 时，FIFO\_FULL\_SMART 位置为高电平。

如果 FIFO\_CTRL4 寄存器的 STOP\_ON\_FTH 位置为 1，则 FIFO 空间大小被限制为 FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 寄存器中 FTH\_[11:0]位的值：这种情况下，当下一次 FIFO 写操作时 FIFO 中采样数达到或超过 FTH\_[11:0]值，那么 FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位会被置为高电平。

发生触发事件时，可观察到两种不同的情况：

1. 如果 FIFO 缓冲器已满（FIFO\_FULL\_SMART = 1），则事件触发后第一次采样时即停止采集数据。FIFO 内容由该事件之前所采集的采样组成。
2. 如果 FIFO 尚未满（初始瞬态），则继续填充直至填满（FIFO\_FULL\_SMART = 1），然后如果触发仍然存在，则停止采集数据。

连续-FIFO 可用来分析产生中断的采样历史；当触发 FIFO 模式，且 FIFO 缓冲器已满、停止填充时，标准操作是读取 FIFO 内容。

## 8.2.5

## Bypass-连续模式

此模式是先前所述的旁路和连续模式的组合。在 Bypass-连续模式中，FIFO 缓冲器开始工作于 Bypass 模式，当发生事件条件时切换为连续模式。

事件条件可为以下之一：

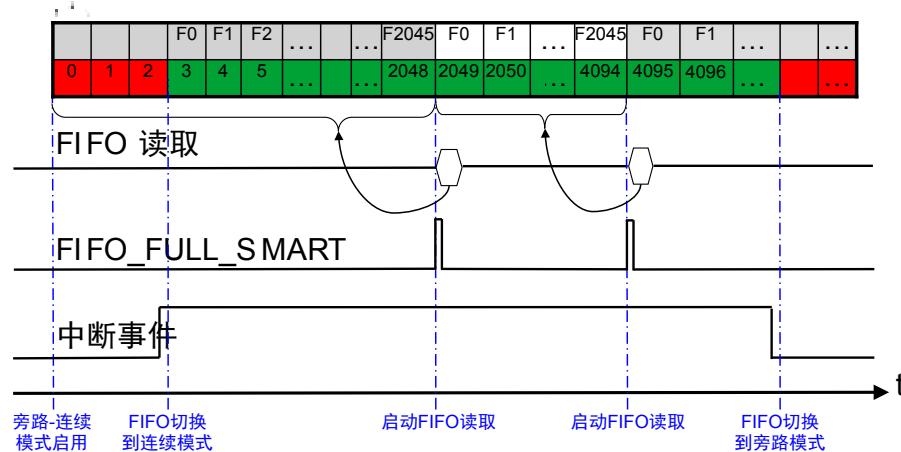
- 倾斜：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_TILT 位必须被置为 1；
- 单击：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_SINGLE\_TAP 位必须被置为 1；
- 双击：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_DOUBLE\_TAP 位必须被置为 1；
- 自由落体：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_FF 位必须被置为 1；
- 唤醒：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_WU 位必须被置为 1；
- 6D：必须配置事件检测，并且 MD2\_CFG 寄存器的 INT2\_6D 位必须被置为 1。

**Bypass-连续模式对中断信号的边沿感应：**在第一次中断事件时，FIFO 从 Bypass 模式切换到连续模式，并维持该模式，直到 Bypass 模式被置位。

按照这些步骤进行 Bypass-连续模式配置（如果加速度计/陀螺仪数据准备就绪被用作 FIFO 触发）：

1. 配置先前所述的其中一个事件；
2. 通过 FIFO\_CTRL3 和 FIFO\_CTRL4 寄存器中的抽取位来为每个传感器选择抽取因子（详细信息参见第 8.3 节 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子）；
3. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 ODR\_FIFO\_[3:0]位选择 FIFO ODR。
4. 将 FIFO\_CTRL5 寄存器中 FIFO\_MODE\_[2:0]位置为 100b 来使能 FIFO Bypass-连续模式。

图 32. Bypass-连续模式



当出现触发条件且缓冲器切换至连续模式时，FIFO 缓冲器继续填充。当下一个要存储的数据集将会使 FIFO 满时，FIFO\_FULL\_SMART 位被置为高电平。

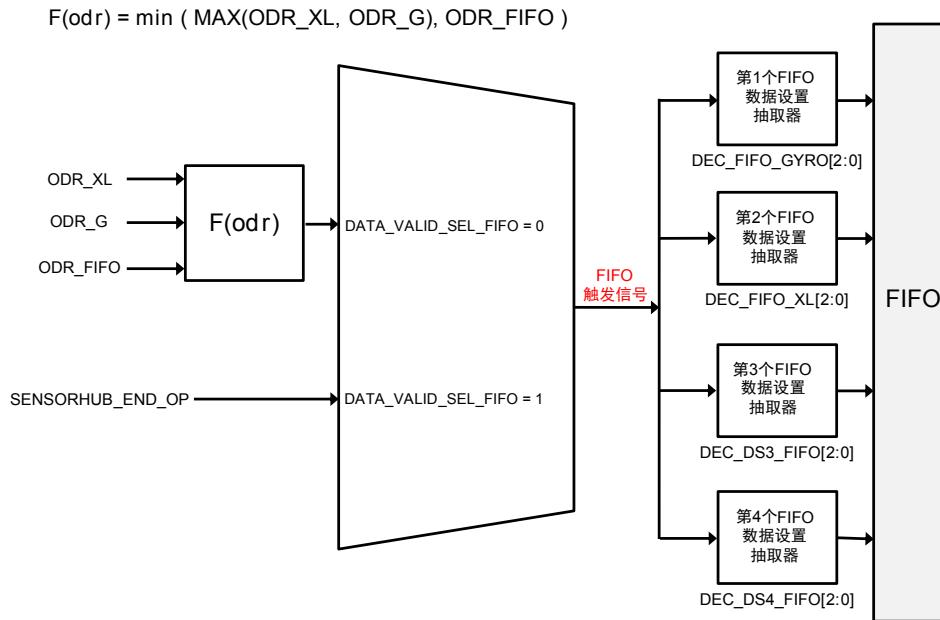
旁路-连续可用来在产生所配置中断时启动采集。

## 8.3

## 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子

向 FIFO 中写入数据可配置为由三种不同的源来触发。

图 33. FIFO 触发信号选择



如图 33. FIFO 触发信号选择所述，MASTER\_CONFIG 寄存器的 DATA\_VALID\_SEL\_FIFO 位用于此目的：

- 如果 DATA\_VALID\_SEL\_FIFO 位被置为 0，则向 FIFO 中写入数据由加速度计/陀螺仪数据准备就绪来触发。 FIFO\_CTRL5 的 ODR\_FIFO\_[3:0]位定义了向 FIFO 中存储数据的最大数据率；后者受限于加速度计 ODR（由 CTRL1\_XL 寄存器的 ODR\_XL[3:0]位定义）和陀螺仪 ODR（由 CTRL2\_G 寄存器的 ODR\_G[3:0]位定义）之间的最大值；
- 如果 DATA\_VALID\_SEL\_FIFO 位被置为 1，则向 FIFO 中写入数据由传感器集合（sensor hub）来触发（对应于 FUNC\_SRC1 寄存器 SENSORHUB\_END\_OP 位的特性）。当传感器集合程序执行完毕后，数据存储在 FIFO 中。

使用 FIFO 抽取因子，数据能够以低于 FIFO 触发信号速率的速率存储到 FIFO 中。可以配置四种抽取因子，每个 FIFO 数据集一个：

- FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_G[2:0]位定义了陀螺仪数据（与第 1 个 FIFO 数据集相关）是否存储在 FIFO 中及其恢复速率；
- FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_XL[2:0]位定义了加速度计数据（与第 2 个 FIFO 数据集相关）是否存储在 FIFO 中及其恢复速率；
- FIFO\_CTRL4 寄存器的 DEC\_DS3\_FIFO[2:0]位定义了加速度计数据（与第 3 个 FIFO 数据集相关）是否存储在 FIFO 中及其恢复速率；
- FIFO\_CTRL4 寄存器的 DEC\_DS4\_FIFO[2:0]位定义了加速度计数据（与第 4 个 FIFO 数据集相关）是否存储在 FIFO 中及其恢复速率。

### 8.3.1 使用 FIFO 时改变 ODR 或 FIFO 配置步骤

当必须改变加速度计/陀螺仪 ODR 或 FIFO 配置时，使用以下步骤：

1. 读取 FIFO 中存储的所有数据，直至将其清空（详细信息见第 8.4 节 从 FIFO 恢复数据）；
2. 将 FIFO 置为 Bypass 模式（将 FIFO\_CTRL5 寄存器的 FIFO\_MODE 位置为 000b）；
3. 分别通过 CTRL1\_XL 寄存器的 ODR\_XL 位和 CTRL2\_G 寄存器的 ODR\_G 位，为加速度计和陀螺仪设置目标 ODR；
4. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器的 ODR\_FIFO 位，为 FIFO 设置 ODR；
5. 如下在 FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_G[2:0]位中设置陀螺仪抽取因子，在 FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_XL[2:0]位中设置加速度计抽取因子（参见表 70. 陀螺仪 FIFO 抽取设置和表 71. 加速度计 FIFO 抽取设置，得到 FIFO\_CTRL3 的 DEC\_FIFO\_G[2:0]位和 DEC\_FIFO\_XL[2:0]位中要设置的值。）
6. 设置所需的 FIFO 工作模式（详细信息见第 8.3 节 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子）。

## 8.4 从 FIFO 恢复数据

**注意：**当数据存储到 FIFO 中时，不能改变配置，以便正确恢复数据。

当 FIFO 使能且其模式不是 Bypass 模式时，读取 FIFO 输出寄存器（FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H）会返回原 FIFO 采样集。无论何时读取这些数据，其内容均会移动到 SPI/I<sup>2</sup>C 输出缓冲器。理想地，FIFO 插槽会向上移动一格，以便释放空间给新的采样，并且 FIFO 输出寄存器载入 FIFO 缓冲器中存储的当前最旧的值。

从 FIFO 中恢复数据的建议方法如下：

1. 读取 FIFO\_STATUS1 和 FIFO\_STATUS2 寄存器来检查 FIFO 中存储了多少字（16 位数据）。此信息在 DIFF\_FIFO\_[10:0]位中。
2. 读取 FIFO\_STATUS3 和 FIFO\_STATUS4 寄存器。FIFO\_PATTERN\_[9:0]位可以识别哪个传感器以及哪些字节被读取（更多详细信息见第 8.5 节 FIFO 模式）。
3. 读取 FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器来恢复 FIFO 中最旧的采样（16 位格式）。它们分别是该最旧采样的低位部分和高位部分。

通过从 FIFO 输出寄存器执行一定次数的读操作，直至缓冲器为空（FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_EMPTY 位置为高电平），可以恢复全部 FIFO 内容。

**注：**一旦 FIFO 为空，则数据不能从 FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H 寄存器中收回。

要释放 FIFO 插槽用于新数据，建议读取速度比 1\*ODR 至少快已使能 FIFO 数据集数的三倍：这能够避免丢失数据。

对 FIFO 输出寄存器 FIFO\_DATA\_OUT\_L 和 FIFO\_DATA\_OUT\_H 应用多次读取操作时，环行函数（详细信息见第 4.7 节 环行功能）自动使能。

## 8.5 FIFO 模式

存储在 FIFO 中的数据没有任何标签，以便能够最大化存储采样数。要识别将要读取哪些数据以及哪个 FIFO 数据集，需要检查 FIFO\_STATUS3 和 FIFO\_STATUS4 寄存器的 FIFO\_PATTERN\_[9:0]位的内容。

数据以特定模式写入 FIFO（例如，GyroX, GyroY, GyroZ, AccX, AccY, AccZ）。此模式根据四个 FIFO 数据集所分配的 ODR 和抽取因子而改变。FIFO\_PATTERN\_[9:0]位含有一个数字，此数字从 0 至其模式上次采样的索引，然后对所有 FIFO 内容重复该模式。

FIFO 缓冲器中存储的第一个数据序列包含所有使能 FIFO 数据集（从第一个至第四个）中的数据。然后，根据每个 FIFO 数据集所设置的抽取因子，重复数据。

下节中的示例说明了如何使用 FIFO\_PATTERN\_[9:0]位中包含的信息。

### 8.5.1 示例 1

假设 FIFO 正在存储来自陀螺仪和加速度计（二者具有相同的 ODR）的数据：

- 陀螺仪 ODR = 104 Hz, 加速度计 ODR = 104 Hz

如果使用了内部触发（加速度计/陀螺仪数据准备就绪），建议将 FIFO\_CTRL5 寄存器的 ODR\_FIFO\_[3:0]位置为 0100b，以便将 FIFO 触发 ODR 设置为 104 Hz。

FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_GYRO[2:0]和 DEC\_FIFO\_XL[2:0]字段必须置为 001b（无抽取）。

每 6 次采样后重复以下数据模式（每个采样表示为 16 位数据）：

- Gx Gy Gz XLx XLy XLz（陀螺仪和加速度计数据）

FIFO\_PATTERN\_[9:0]位会含有一个从 0 至 5 的数字，如表 85. 示例 1: FIFO\_PATTERN\_[9:0]位和下一个读数所示。

表 85. 示例 1: FIFO\_PATTERN\_[9:0]位和下一个读数

| 时间 | FIFO_PATTERN_[9:0] | 下次读取 FIFO 输出寄存器 |
|----|--------------------|-----------------|
| t0 | 0                  | Gx              |
| t0 | 1                  | Gy              |
| t0 | 2                  | Gz              |
| t0 | 3                  | XLx             |
| t0 | 4                  | XLy             |
| t0 | 5                  | XLz             |

## 8.5.2

## 示例 2

假设 FIFO 正在存储来自陀螺仪和加速度计（二者 ODR 不同）的数据：

- 陀螺仪 ODR = 208 Hz，加速度计 ODR = 104 Hz。

如果使用了内部触发（加速度计/陀螺仪数据准备就绪），建议将 FIFO\_CTRL5 寄存器的 ODR\_FIFO\_[3:0]位置为 0101b，以便将 FIFO 触发 ODR 设置为 208 Hz。

FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_GYRO[2:0]字段必须置为 001b（陀螺仪数据不使用抽取），并且 DEC\_FIFO\_XL[2:0]字段必须置为 010b（加速度计数据所用抽取因子为 2）。

由于陀螺仪 ODR 是加速度计 ODR 的两倍，因此每 9 次采样后重复以下数据模式（每个采样表示为 16 位数据）：

- Gx Gy Gz XLx XLy XLz Gx Gy Gz

FIFO\_PATTERN\_[9:0]位会含有一个从 0 至 8 的数字，如表 86. 示例 2: FIFO\_PATTERN\_[9:0]位和下一个读数所示。

表 86. 示例 2: FIFO\_PATTERN\_[9:0]位和下一个读数

| 时间 | FIFO_PATTERN_[9:0] | 下次读取 FIFO 输出寄存器 |
|----|--------------------|-----------------|
| t0 | 0                  | Gx              |
| t0 | 1                  | Gy              |
| t0 | 2                  | Gz              |
| t0 | 3                  | XLx             |
| t0 | 4                  | XLy             |
| t0 | 5                  | XLz             |
| t1 | 6                  | Gx              |
| t1 | 7                  | Gy              |
| t1 | 8                  | Gz              |

## 8.5.3

## 示例 3

假设 FIFO 正在存储来自陀螺仪、加速度计和磁力计（它们具有不同的 ODR）的数据：

- 陀螺仪 ODR = 104 Hz, 加速度计 ODR = 208 Hz, 磁力计 ODR = 52 Hz。

如果使用了内部触发（加速度计/陀螺仪数据准备就绪），建议将 FIFO\_CTRL5 寄存器的 ODR\_FIFO\_[3:0]位置为 0101b，以便将 FIFO 触发 ODR 设置为 208 Hz。

FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_GYRO[2:0]字段必须置为 010b（陀螺仪数据所用抽取因子为 2），并且 DEC\_FIFO\_XL[2:0]字段必须置为 001b（加速度计数据不使用抽取）。假设磁力计关联到第 3 FIFO 数据集，FIFO\_CTRL4 寄存器的 DEC\_DS3\_FIFO[2:0]字段必须置为 100b（磁力计数据所用抽取因子为 4）。

每 21 个采样后，重复以下数据模式：

- Gx Gy Gz XLx XLy XLz Mx My Mz (陀螺仪、加速度计、磁力计数据 - 9 个采样)
- XLx XLy XLz (加速度计数据 - 3 个采样)
- Gx Gy Gz XLx XLy XLz (陀螺仪和加速度计数据 - 6 个采样)
- XLx XLy XLz (加速度计数据 - 3 个采样)

FIFO\_PATTERN\_[9:0]位会含有一个从 0 至 20 的数字，如表 87. 示例 3: FIFO\_PATTERN\_[9:0]位和下一个读数所示。

表 87. 示例 3: FIFO\_PATTERN\_[9:0]位和下一个读数

| 时间 | FIFO_PATTERN_[9:0] | 下次读取 FIFO 输出寄存器 |
|----|--------------------|-----------------|
| t0 | 0                  | Gx              |
| t0 | 1                  | Gy              |
| t0 | 2                  | Gz              |
| t0 | 3                  | XLx             |
| t0 | 4                  | XLy             |
| t0 | 5                  | XLz             |
| t0 | 6                  | Mx              |
| t0 | 7                  | My              |
| t0 | 8                  | Mz              |
| t1 | 9                  | XLx             |
| t1 | 10                 | XLy             |
| t1 | 11                 | XLz             |
| t2 | 12                 | Gx              |
| t2 | 13                 | Gy              |
| t2 | 14                 | Gz              |
| t2 | 15                 | XLx             |
| t2 | 16                 | XLy             |
| t2 | 17                 | XLz             |
| t3 | 18                 | XLx             |
| t3 | 19                 | XLy             |
| t3 | 20                 | XLz             |

## 8.6 FIFO 阈值

FIFO 阈值是 ISM330DLC FIFO 的功能，可用于检查 FIFO 中的采样数何时达到定义的阈值水平。

FIFO\_CTRL1 和 FIFO\_CTRL2 寄存器的位 FTH\_[10:0]中有阈值水平。FTH\_[11:0]字段的精度为两字节（1 LSB = 2 字节，每个采样表示为 16 位数据）。因此，用户能够在 0 至 2047 之间选择所需的值。

FIFO\_STATUS2 寄存器的位 WaterM 表示水印状态。如果 FIFO 中采样数达到或超出了水印水平，则此位被置为高电平（每个采样表示为 16 位数据）。

通过将 FIFO\_CTRL4 寄存器的 STOP\_ON\_FTH 位置为 1，FIFO 空间大小可由阈值水平来限制。

图 34. FIFO 阈值 (STOP\_ON\_FTH=0)

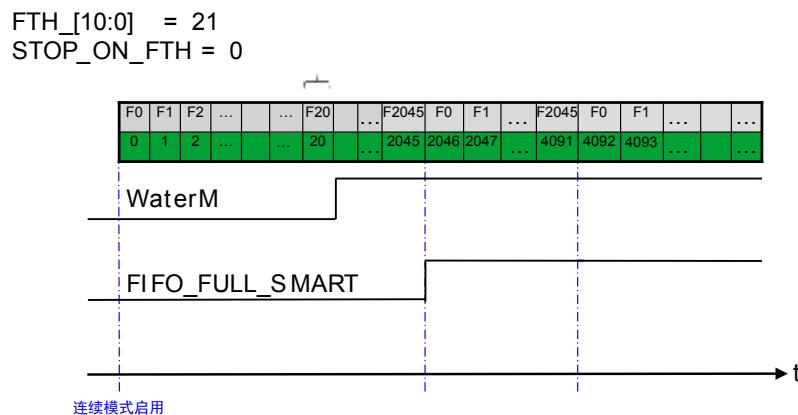


图 34. FIFO 阈值 (STOP\_ON\_FTH=0) 显示了只存储加速度计（或陀螺仪）数据时，FIFO 阈值水平使用的示例。FIFO\_CTRL4 寄存器中 STOP\_ON\_FTH 位置为 0。利用 FTH\_[10:0]位，阈值水平设置为 21。达到第 21 个电平后（FIFO 中存储 21 个样本），FIFO\_STATUS2 寄存器的 WaterM 位升高。因此，STOP\_ON\_FTH 位置为 0，FIFO 不会在第 21 个采样时停止，而是会继续存储数据，直至 FIFO\_FULL\_SMART 标志被置为高电平。

图 35. FIFO 模式下的 FIFO 阈值 (STOP\_ON\_FTH=1)

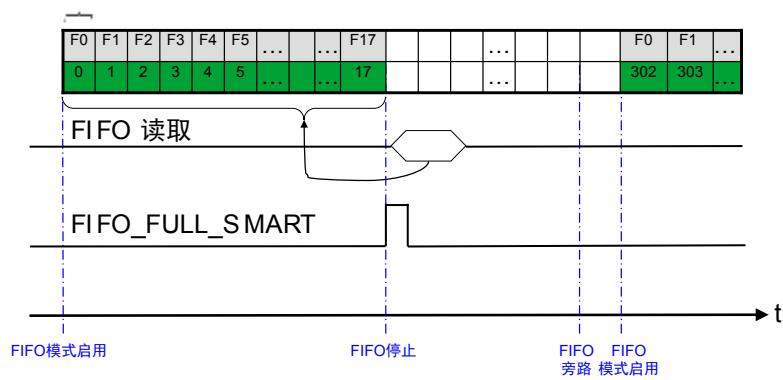


图 35. FIFO 模式下的 FIFO 阈值 (STOP\_ON\_FTH=1) 显示了 FIFO 模式下 FIFO 阈值使用的示例，其中 FIFO\_CTRL4 寄存器中 STOP\_ON\_FTH 位被置为 1；本例中只存储了加速度计（或陀螺仪）数据。利用 FTH\_[10:0] 位，阈值水平设置为 21，并定义当前 FIFO 空间大小。FIFO 模式下，数据存储到 FIFO 缓冲器中，直至 FIFO\_FULL\_SMART 信号升高；当 FIFO 中存储的下一个数据会使得 FIFO 满时，FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位升高，因此本例中，第一次有 18 个数据（每个 16 位）存储到 FIFO 中后，该位升高。因为永远不会达到 FTH 阈值，所以 FIFO\_STATUS2 寄存器的 WaterM 位不会变为 1（FIFO 满后，数据不再存储到 FIFO 中）。

图 36. 连续模式下的 FIFO 阈值 (STOP\_ON\_FTH=1)

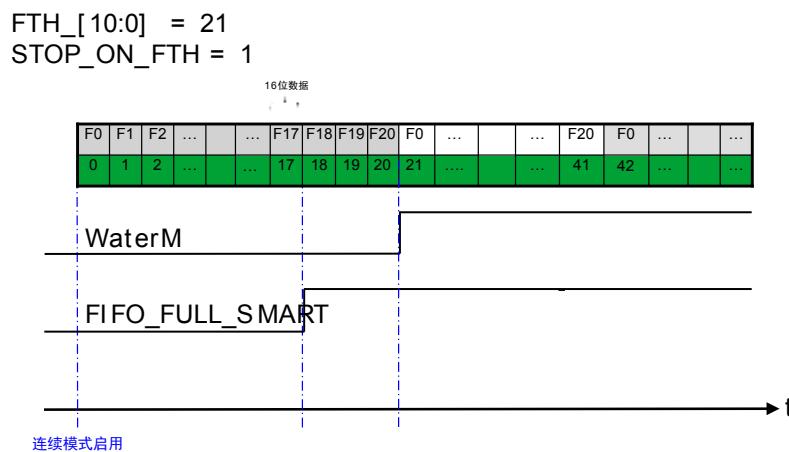


图 36. 连续模式下的 FIFO 阈值 (STOP\_ON\_FTH=1) 显示了连续模式下 FIFO 阈值使用的示例，其中 FIFO\_CTRL4 寄存器中 STOP\_ON\_FTH 位被置为 1；本例中只存储了加速度计（或陀螺仪）数据。利用 FTH\_[10:0] 位，阈值水平设置为 21。当 FIFO 中存储的下一个数据会使得 FIFO 满时，FIFO\_STATUS2 寄存器的 FIFO\_FULL\_SMART 位升高，因此本例中，第一次有 18 个数据（每个 16 位）存储到 FIFO 中后，该位升高。达到 21 后（FIFO 中有 21 个采样），FIFO\_STATUS2 寄存器的 WaterM 位升高。

## 8.7 陀螺仪和加速度计数据的高位部分

只存储陀螺仪和加速度计数据的高位部分（8 位），可以增加 FIFO 中存储的采样数。此功能对其他（外部）传感器无效。

要使能此功能，FIFO\_CTRL4 寄存器中位 ONLY\_HIGH\_DATA 必须置为 1。陀螺仪和加速度计数据将以相同的 ODR 写入 FIFO，顺序如表 88. FIFO 中陀螺仪和加速度计数据的高位部分 所示。

表 88. FIFO 中陀螺仪和加速度计数据的高位部分

| 字节 1      | 字节 2     | 字节 3      | 字节 4     | 字节 5      | 字节 6     |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Accel_X_H | Gyro_X_H | Accel_Y_H | Gyro_Y_H | Accel_Z_H | Gyro_Z_H |

当此功能使能时，包含陀螺仪和加速度计数据的高位部分（8 位）的 6 个字节关联到第 1 个 FIFO 数据集，而第 2 个 FIFO 数据集不使用。

FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_G[2:0] 字段必须置为非 000b 的值（FIFO 中存储的第 1 个 FIFO 数据集）。

FIFO\_CTRL3 寄存器的 DEC\_FIFO\_XL[2:0] 字段必须置为 000b（FIFO 中存储的第 2 个 FIFO 数据集）。

## 8.8 FIFO 中的时间戳数据

可以将时间戳数据存储到 FIFO 中。这些数据按 6 字节数据的格式存储为第 4 FIFO 数据集，如表 89. FIFO 中的时间戳数据所示。

表 89. FIFO 中的时间戳数据

| 字节 1          | 字节 2           | 字节 3 | 字节 4         | 字节 5 | 字节 6 |
|---------------|----------------|------|--------------|------|------|
| 时间戳<br>[15:8] | 时间戳<br>[23:16] | -    | 时间戳<br>[7:0] | -    | -    |

要使能此功能，FIFO\_CTRL2 寄存器中 FIFO\_TIMER\_EN 位必须置为 1。

当此功能使能时，时间戳数据关联到第 4 FIFO 数据集：FIFO\_CTRL4 寄存器的 DEC\_DS4\_FIFO[2:0]字段必须用来定义抽取因子。

按照以下步骤，利用内部触发（加速度计/陀螺仪数据准备就绪）将时间戳数据存储到 FIFO 中：

1. 启动加速度计；
2. 使能时间戳（请参见[第 5.9 节 时间戳](#)）；
3. 通过 FIFO\_CTRL4 寄存器的 DEC\_DS4\_FIFO[2:0]位选择第 4 个 FIFO 数据集的抽取因子；
4. 将 FIFO\_CTRL2 寄存器的 FIFO\_TIMER\_EN 位置 1；
5. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 ODR\_FIFO\_[3:0]位选择 FIFO ODR；
6. 利用 FIFO\_CTRL5 寄存器的 FIFO\_MODE\_[2:0]字段，配置 FIFO 工作模式。

## 8.9 FIFO 中的温度数据

可以只将温度数据作为第 4 个 FIFO 数据集存储。

要使能此功能：

- FIFO\_CTRL2 寄存器的位 FIFO\_TIMER\_EN 必须置为 0;
- FIFO\_CTRL2 寄存器的位 FIFO\_TEMP\_EN 必须置为 1。

温度采样（16 位）以 6 字节数据格式存储到 FIFO 中，如表 90. FIFO 中的温度数据中所示。

**表 90. FIFO 中的温度数据**

| 字节 1 | 字节 2 | 字节 3       | 字节 4        | 字节 5 | 字节 6 |
|------|------|------------|-------------|------|------|
| -    | -    | TEMP [7:0] | TEMP [15:8] | -    | -    |

按照以下步骤，利用内部触发（加速度计/陀螺仪数据准备就绪），将 16 位温度数据存储到 FIFO 中：

1. 开启加速度计或陀螺仪；
2. 通过 FIFO\_CTRL4 寄存器的 DEC\_DS4\_FIFO[2:0]位选择第 4 个 FIFO 数据集的抽取因子（非 000b）；
3. 将 FIFO\_CTRL2 寄存器的 FIFO\_TEMP\_EN 位置为 1，并将 FIFO\_CTRL2 寄存器的位 FIFO\_TIMER\_EN 置为 0；
4. 通过 FIFO\_CTRL5 寄存器中的 ODR\_FIFO\_[3:0]位选择 FIFO ODR；
5. 利用 FIFO\_CTRL5 寄存器的 FIFO\_MODE\_[2:0]字段，配置 FIFO 工作模式。

## 9

## 温度传感器

ISM330DLC 具有内部温度传感器，适用于环境温度测量。

如果加速度计和陀螺仪传感器均处于掉电模式，则温度传感器关闭。

温度传感器的最大输出数据率为 52 Hz，其值取决于加速度计和陀螺仪传感器如何配置：

- 如果陀螺仪处于掉电模式：
  - 如果加速度计 ODR 等于 12.5 Hz 低功耗模式，则温度数据速率等于 12.5 Hz;
  - 如果加速度计配置为 26 Hz 低功耗模式，则温度数据速率等于 26 Hz;
  - 对于所有其他的加速度计配置，温度数据速率均等于 52 Hz。
- 如果陀螺仪不是处于掉电模式，则无论加速度计和陀螺仪配置是什么，温度数据速率均为 52 Hz。

对于温度传感器，数据准备就绪信号由 STATUS\_REG 寄存器的 TDA 位表示。通过将 INT2\_CTRL 寄存器的 INT2\_DRDY\_TEMP 位置为 1，可将该信号驱动至 INT2 引脚。

温度数据由 OUT\_TEMP\_H 和 OUT\_TEMP\_L 寄存器联合给出，以二进制补码的格式表示为一个 16 位的数字，其灵敏度为+16 LSB/°C。输出零值对应于 25 °C。

将 CTRL3\_C 寄存器的 BLE 位置为 1，ISM330DLC 可支持温度输出数据寄存器低位部分和高位部分的内容进行交换（即，OUT\_TEMP\_H 和 OUT\_TEMP\_L）。

温度传感器数据也可以采用可配置的抽取因子而存储在 FIFO 中（详细信息见第 8.9 节 FIFO 中的温度数据）。

## 9.1

## 温度数据计算示例

表 91. 输出数据寄存器内容 vs. 温度 提供了在不同环境温度值下从温度数据寄存器中读取数据的几个基本示例。本表中所列值是在理想器件校准的假设下给出的（即，无偏移，无增益误差，……）。

**表 91. 输出数据寄存器内容 vs. 温度**

| 温度值  | BLE = 0             |                     | BLE = 1             |                     |
|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|      | 寄存器地址               |                     |                     |                     |
|      | OUT_TEMP_H<br>(21h) | OUT_TEMP_L<br>(20h) | OUT_TEMP_H<br>(21h) | OUT_TEMP_L<br>(20h) |
| 0°C  | E7h                 | 00h                 | 00h                 | E7                  |
| 25°C | 00h                 | 00h                 | 00h                 | 00h                 |
| 50°C | 19h                 | 00h                 | 00h                 | 19h                 |

## 10 自检功能

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。

### 10.1 加速度计自检 – 模式 1/2/3/4

当加速度计自检使能时，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，该电平通过灵敏度值关联到所选满量程。

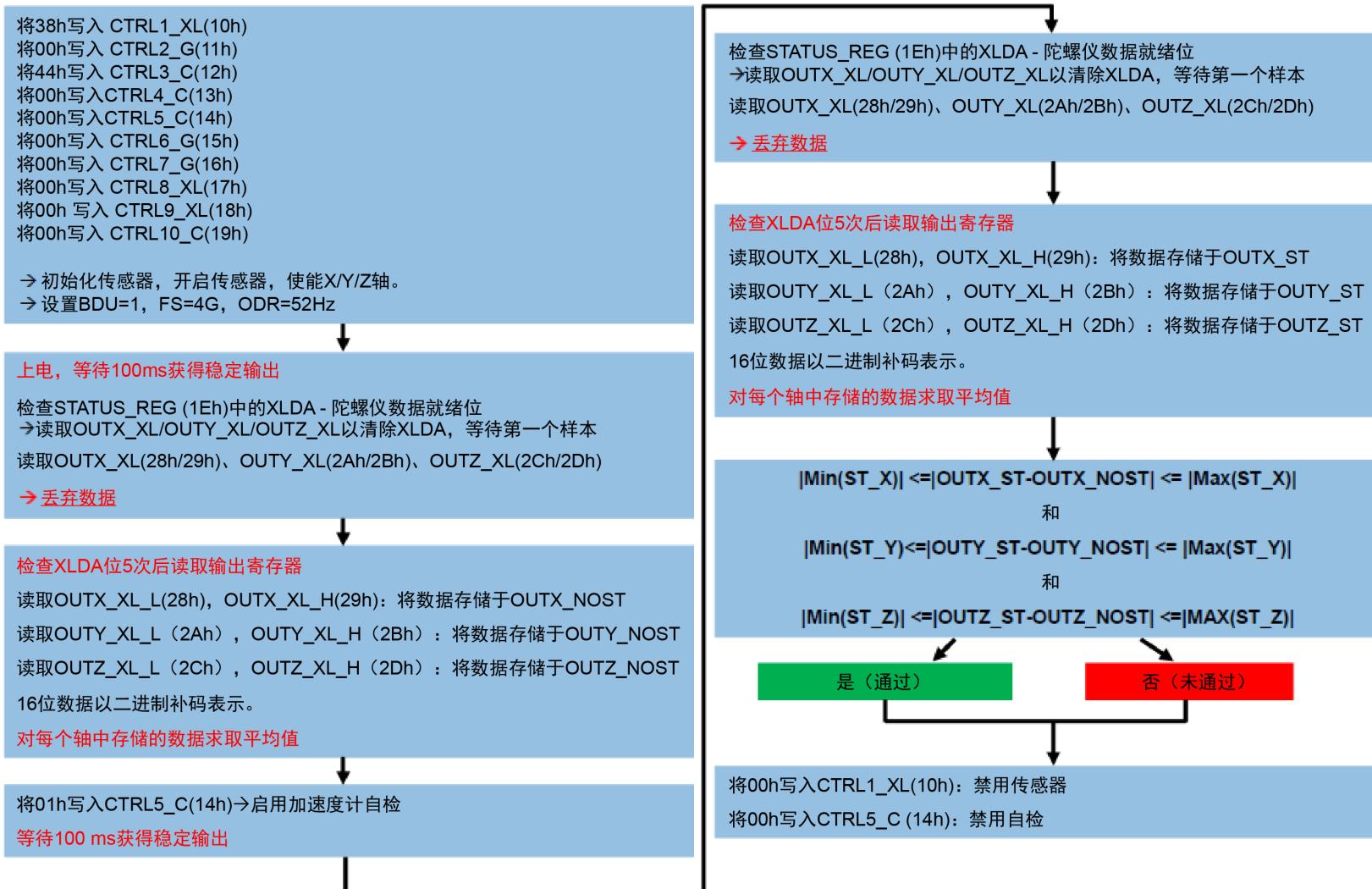
加速度计自检功能只能通过 I<sup>2</sup>C/SPI 接口配置（不可通过辅助 SPI 接口配置）。当 CTRL5\_C 寄存器的 ST[1:0]\_XL 位被设定为 00b 时，加速度计自检功能关闭；当 ST[1:0]\_XL 位被置为 01b（正符号自检）或 10b（负符号自检）时，该功能使能。

当加速度计自检功能激活时，传感器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。加速度计输出变化适用于 GP 链和 OIS 链，可从两个接口读取。

完整的加速度计自检过程如图 37. 加速度计自检步骤中所示。

图 37. 加速度计自检步骤

注：此过程中的所有读/写操作必须通过主I2C/SPI接口执行



## 10.2 陀螺仪自检(GP) – 模式 1/2

陀螺仪自检能够支持对陀螺仪传感器的机械和电气部分进行测试：当它激活时，致动力施加到传感器上，模拟一定的 **Coriolis** 力，并利用该静电测试力移动质量块。这种情况下，传感器输出会显示出一个输出变化。

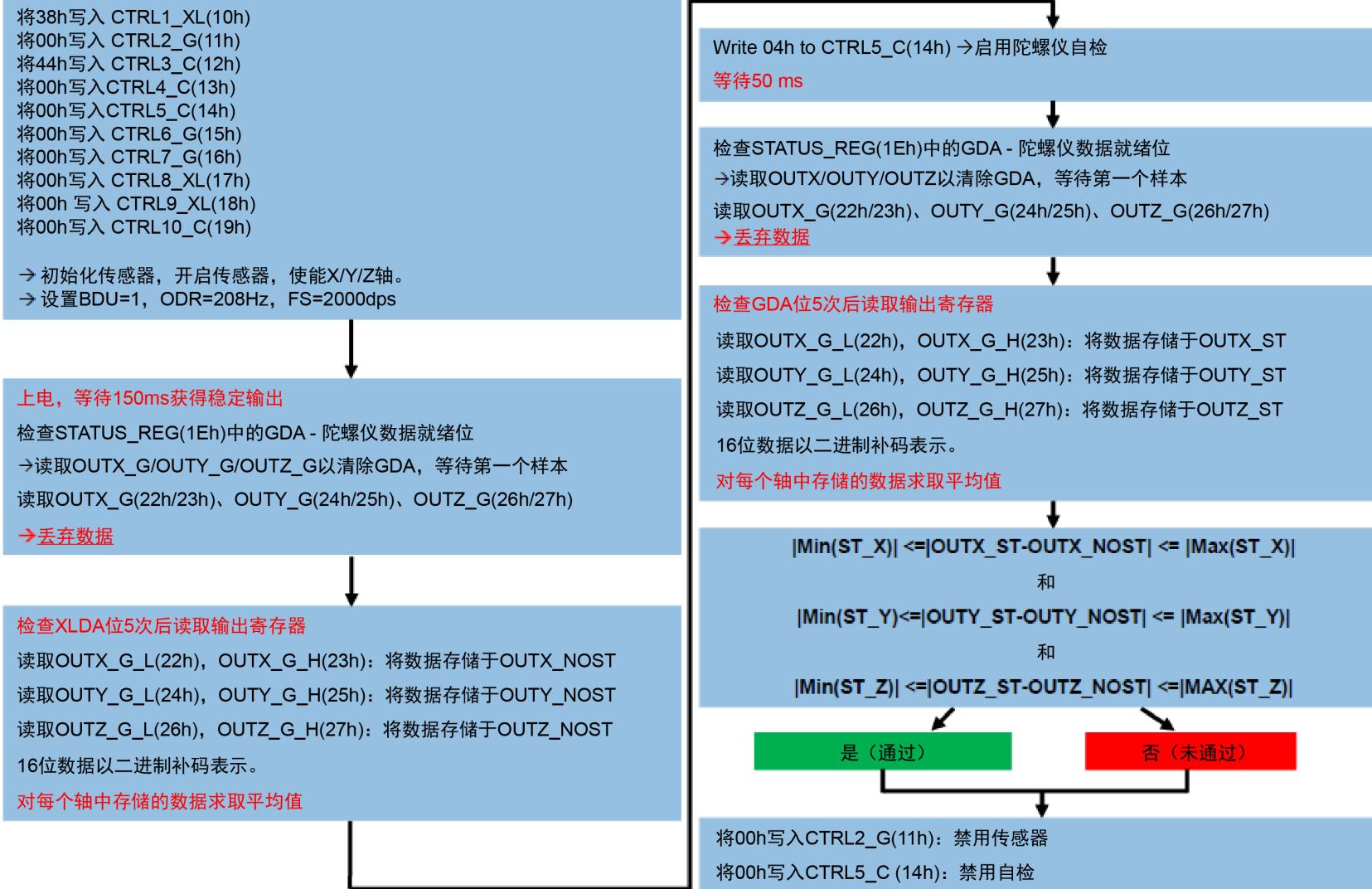
当器件配置为模式 1 或模式 2 时，只能从主 I<sup>2</sup>C/SPI 接口配置陀螺仪自检功能。当 CTRL5\_C 寄存器的 ST[1:0]\_G 位被设定为 00b 时，陀螺仪自检功能关闭；当 ST[1:0]\_G 位被置为 01b（正符号自检）或 11b（负符号自检）时，该功能使能。

当陀螺仪自检功能激活时，传感器输出电平由作用在传感器上的角速度和静电测试力的代数和给出。

模式 1/2 下的完整陀螺仪自检过程如图 38. 模式 1/2 下的陀螺仪自检流程中所示。

图 38. 模式 1/2 下的陀螺仪自检流程

注：此过程中的所有读/写操作必须通过主I2C/SPI接口执行



## 10.3 GP 链断开时的陀螺仪自检（OIS）- 模式 3/4

当 GP 链断开时，可通过辅助 SPI 接口，将 CTRL3\_OIS 寄存器的 ST[1:0]\_OIS 位置位，从而使能 OIS 链上的陀螺仪自检功能。当 ST[1:0]\_OIS 位被设定为 00b 时，自检功能关闭；当 ST[1:0]\_OIS 位被置为 01b（正符号自检）或 11b（负符号自检）时，该功能使能。

当 GP 链断开时，OIS 链上的完整陀螺仪自检流程如中所示。仅当 GP 读出链断开（CTRL1\_XL 寄存器中的 ODR\_XL[3:0] = 0000b，CTRL2\_G 寄存器中的 ODR\_G[3:0] = 0000b）时，才能执行此流程。

图 39. GP 链断开时的陀螺仪自检流程 (OIS)

注意：

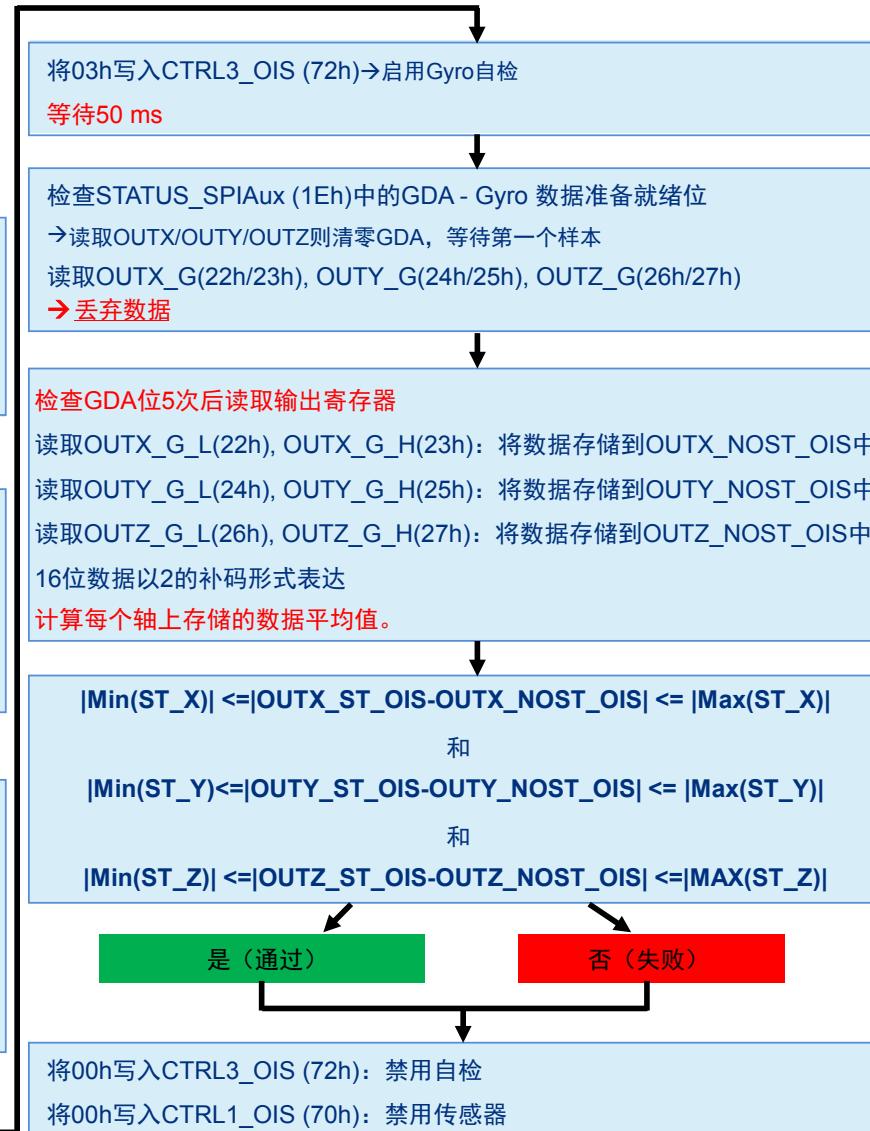
- 本流程中的所有读/写操作都必须通过辅助SPI接口执行
- 仅当GP读出链断开 (CTRL1\_XL中的ODR\_XL[3:0] = 0000b, CTRL2\_G中的ODR\_G[3:0] = 0000b) 时，才能执行此流程。

对于Aux SPI 4线, 将0Dh写入CTRL1\_OIS (70h) (对于Aux SPI 3线, 则为2Dh)  
将00h写入CTRL2\_OIS (71h)  
将00h写入CTRL3\_OIS (72h)

→ 初始化传感器, 开启传感器  
→ FS=2000dp/s (ODR默认为6.66 kHz)

上电, 等待150 ms至输出稳定  
检查STATUS\_SPIAux (1Eh)中的GDA - Gyro 数据准备就绪位  
→ 读取OUTX\_G/OUTY\_G/OUTZ\_G则清零GDA, 等待第一个样本  
读取OUTX\_G(22h/23h), OUTY\_G(24h/25h), OUTZ\_G(26h/27h)  
→ 丢弃数据

检查GDA位5次后读取输出寄存器  
读取OUTX\_G\_L(22h), OUTX\_G\_H(23h): 将数据存储到OUTX\_NOST\_OIS中  
读取OUTY\_G\_L(24h), OUTY\_G\_H(25h): 将数据存储到OUTY\_NOST\_OIS中  
读取OUTZ\_G\_L(26h), OUTZ\_G\_H(27h): 将数据存储到OUTZ\_NOST\_OIS中  
16位数据以2的补码形式表达  
计算每个轴上存储的数据平均值。



## 10.4 GP 链接通后的陀螺仪自检（OIS）– 模式 3/4

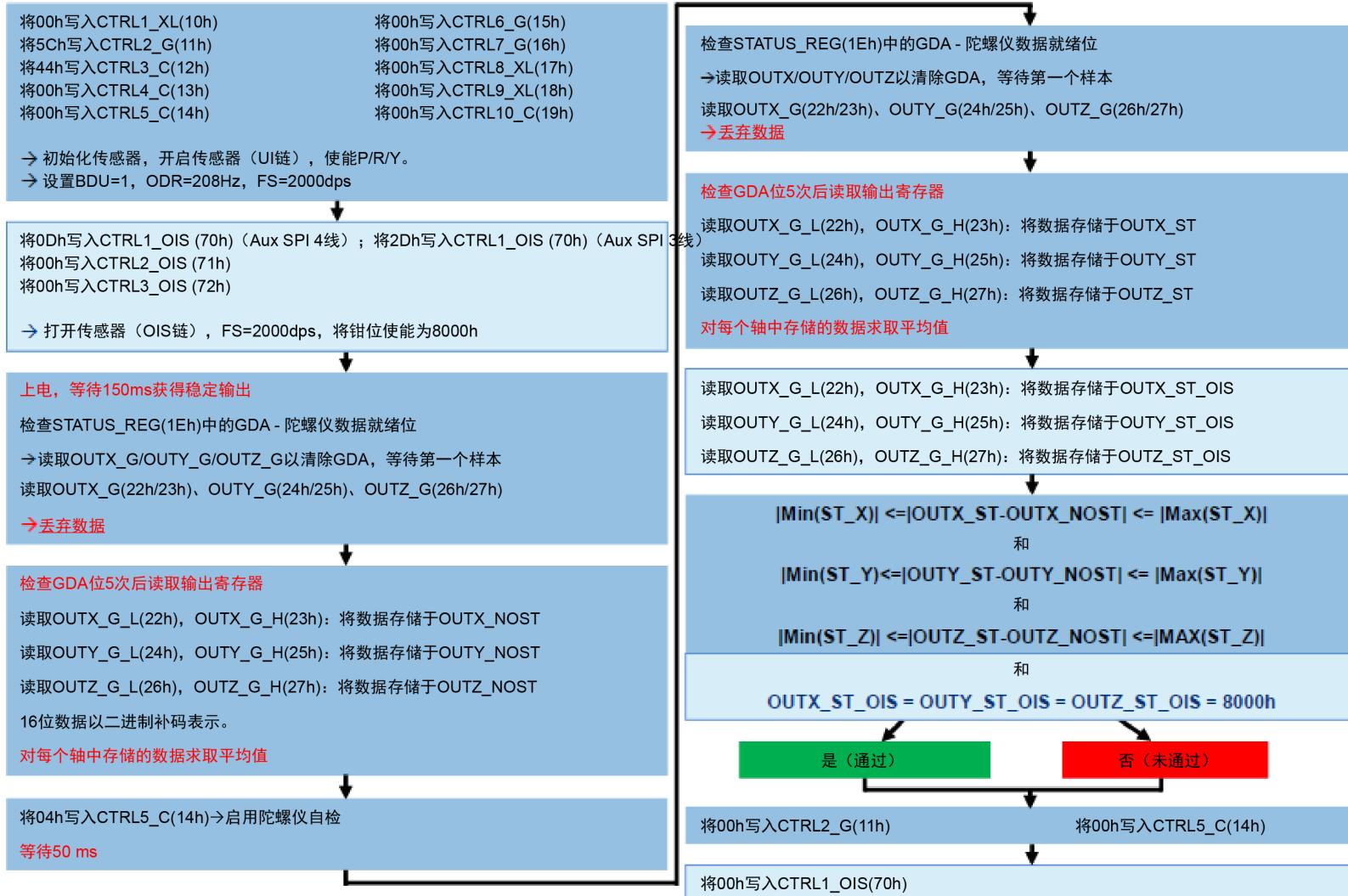
当 GP 链和 OIS 链连通时，必须从一个接口使能陀螺仪自检功能：通过 CTRL5\_C 寄存器的 ST[1:0]\_G 位（使用主接口时），或 CTRL3\_OIS 寄存器的 ST[1:0]\_OIS 位（使用辅助接口时）。不能同时从两个接口使能（禁止条件）。

当 GP 链连通时，OIS 链上的推荐陀螺仪自检流程如中所示。

图 40. GP 链连通时的陀螺仪自检流程 (OIS)

注:

- 所有标记黑色的读/写操作必须通过主I2C/SPI接口执行
- 所有标记蓝色的读/写操作必须通过辅助SPI接口执行



## 版本历史

表 92. 文档版本历史

| 日期              | 版本 | 变更                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2018 年 1 月 11 日 | 1  | 初始版本                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2018 年 8 月 27 日 | 2  | <p>更新了 第 3.7 节 加速度计带宽</p> <p>更新了 表 22. OIS 使能/禁用时的 GP 链稳定时间</p> <p>更新了 第 5.8 节 相对倾斜</p> <p>更新了 第 6.2.3 节 FUNC_SRC1 (53h)</p> <p>更新了 表 65. 加速度计 OIS 带宽选择</p> <p>更新了 第 8.2.2 节 FIFO 模式</p> <p>更新了 第 8.2.3 节 连续模式</p> <p>更新了 图 31. 连续-FIFO 模式</p> <p>更新了 图 34. FIFO 阈值 (STOP_ON_FTH=0)</p> <p>更新了 图 35. FIFO 模式下的 FIFO 阈值 (STOP_ON_FTH=1)</p> <p>更新了 图 36. 连续模式下的 FIFO 阈值 (STOP_ON_FTH=1)</p> <p>更新了 第 10.3 节 GP 链断开时的陀螺仪自检 (OIS) – 模式 3/4</p> |

## 目录

|                  |                                           |    |
|------------------|-------------------------------------------|----|
| <b>1</b>         | 引脚说明 .....                                | 2  |
| <b>2</b>         | 寄存器 .....                                 | 4  |
| <b>  2.1</b>     | 嵌入功能寄存器 .....                             | 8  |
| <b>3</b>         | 工作模式 .....                                | 10 |
| <b>  3.1</b>     | 掉电模式 .....                                | 12 |
| <b>  3.2</b>     | 高性能模式 .....                               | 12 |
| <b>  3.3</b>     | 正常模式 .....                                | 12 |
| <b>  3.4</b>     | 低功耗模式 .....                               | 12 |
| <b>  3.5</b>     | 陀螺仪睡眠模式 .....                             | 12 |
| <b>  3.6</b>     | 连接模式 .....                                | 12 |
| <b>  3.7</b>     | 加速度计带宽 .....                              | 12 |
| <b>    3.7.1</b> | 加速度计斜率滤波器 .....                           | 15 |
| <b>  3.8</b>     | 陀螺仪带宽 .....                               | 17 |
| <b>  3.9</b>     | 加速度计和陀螺仪开启/关断时间 .....                     | 20 |
| <b>    3.9.1</b> | OIS 链使能/禁用时的 GP 链稳定时间 .....               | 24 |
| <b>4</b>         | 模式 1 - 读取输出数据 .....                       | 25 |
| <b>  4.1</b>     | 启动序列 .....                                | 25 |
| <b>  4.2</b>     | 使用状态寄存器 .....                             | 25 |
| <b>  4.3</b>     | 使用数据准备就绪信号 .....                          | 26 |
| <b>    4.3.1</b> | DRDY 屏蔽功能 .....                           | 26 |
| <b>  4.4</b>     | 使用块数据更新 (block data update, BDU) 功能 ..... | 27 |
| <b>  4.5</b>     | 解析输出数据 .....                              | 27 |
| <b>    4.5.1</b> | 大小端模式选择 .....                             | 27 |
| <b>    4.5.2</b> | 输出数据示例 .....                              | 28 |
| <b>  4.6</b>     | 加速度计偏移寄存器 .....                           | 28 |
| <b>  4.7</b>     | 环行功能 .....                                | 28 |
| <b>    4.7.1</b> | FIFO 输出寄存器环行 .....                        | 28 |
| <b>    4.7.2</b> | 中断源寄存器环行 .....                            | 28 |
| <b>    4.7.3</b> | 传感器输出寄存器环行 .....                          | 29 |

|              |                                        |    |
|--------------|----------------------------------------|----|
| <b>4.8</b>   | 边沿感应和电平感应数据使能 (DEN) . . . . .          | 30 |
| <b>4.8.1</b> | 边沿感应触发模式 . . . . .                     | 30 |
| <b>4.8.2</b> | 电平感应触发模式 . . . . .                     | 31 |
| <b>4.8.3</b> | 电平感应锁存模式 . . . . .                     | 32 |
| <b>4.8.4</b> | 启用电平感应 FIFO . . . . .                  | 32 |
| <b>4.8.5</b> | 用于 DEN 冲压的 LSB 选择 . . . . .            | 33 |
| <b>4.8.6</b> | OIS DEN 模式 . . . . .                   | 33 |
| <b>5</b>     | 中断生成 . . . . .                         | 34 |
| <b>5.1</b>   | 中断引脚配置 . . . . .                       | 34 |
| <b>5.2</b>   | 自由落体中断 . . . . .                       | 36 |
| <b>5.3</b>   | 唤醒中断 . . . . .                         | 37 |
| <b>5.4</b>   | 6D/4D 定向检测 . . . . .                   | 39 |
| <b>5.4.1</b> | 6D 定向检测 . . . . .                      | 39 |
| <b>5.4.2</b> | 4D 方向检测 . . . . .                      | 41 |
| <b>5.5</b>   | 单击和双击识别 . . . . .                      | 41 |
| <b>5.5.1</b> | 单击 . . . . .                           | 42 |
| <b>5.5.2</b> | 双击 . . . . .                           | 43 |
| <b>5.5.3</b> | 单击和双击识别配置 . . . . .                    | 44 |
| <b>5.5.4</b> | 单击示例 . . . . .                         | 45 |
| <b>5.5.5</b> | 双击示例 . . . . .                         | 45 |
| <b>5.6</b>   | 活动/不活动识别 . . . . .                     | 46 |
| <b>5.7</b>   | 启动状态 . . . . .                         | 48 |
| <b>5.8</b>   | 相对倾斜 . . . . .                         | 48 |
| <b>5.9</b>   | 时间戳 . . . . .                          | 50 |
| <b>6</b>     | 模式 2 - 传感器集合 (sensor hub) 模式 . . . . . | 51 |
| <b>6.1</b>   | 传感器集合 (sensor hub) 模式说明 . . . . .      | 51 |
| <b>6.2</b>   | 传感器集合 (sensor hub) 模式寄存器 . . . . .     | 51 |
| <b>6.2.1</b> | CTRL10_C (19h) . . . . .               | 51 |
| <b>6.2.2</b> | MASTER_CONFIG (1Ah) . . . . .          | 52 |
| <b>6.2.3</b> | FUNC_SRC1 (53h) . . . . .              | 52 |
| <b>6.2.4</b> | FUNC_SRC2 (54h) . . . . .              | 53 |

|               |                                                                  |    |
|---------------|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>6.2.5</b>  | SLV0_ADD (02h), SLV0_SUBADD (03h), SLAVE0_CONFIG (04h) . . . . . | 54 |
| <b>6.2.6</b>  | SLV1_ADD (05h), SLV1_SUBADD (06h), SLAVE1_CONFIG (07h) . . . . . | 54 |
| <b>6.2.7</b>  | SLV2_ADD (08h), SLV2_SUBADD (09h), SLAVE2_CONFIG (0Ah) . . . . . | 56 |
| <b>6.2.8</b>  | SLV3_ADD (0Bh), SLV3_SUBADD (0Ch), SLAVE3_CONFIG (0Dh) . . . . . | 57 |
| <b>6.2.9</b>  | DATAWRITE_SRC_MODE_SUB_SLV0 (0Eh) . . . . .                      | 58 |
| <b>6.2.10</b> | SENSORHUB <sub>x</sub> _REG 寄存器 . . . . .                        | 58 |
| <b>6.3</b>    | 传感器集合 (sensor hub) 全通功能 . . . . .                                | 59 |
| <b>6.3.1</b>  | 全通功能使能 . . . . .                                                 | 60 |
| <b>6.3.2</b>  | 全通功能禁用 . . . . .                                                 | 60 |
| <b>6.4</b>    | 传感器集合 (sensor hub) 模式示例 . . . . .                                | 61 |
| <b>6.5</b>    | 磁力计硬铁/软铁校正 . . . . .                                             | 61 |
| <b>6.5.1</b>  | 硬铁校正 . . . . .                                                   | 62 |
| <b>6.5.2</b>  | 软铁校正 . . . . .                                                   | 62 |
| <b>6.5.3</b>  | 得到磁力计补偿数据 . . . . .                                              | 63 |
| <b>6.5.4</b>  | 铁磁校正示例 . . . . .                                                 | 64 |
| <b>7</b>      | 模式 3 和模式 4 - 辅助 SPI 模式 . . . . .                                 | 67 |
| <b>7.1</b>    | 辅助 SPI 模式说明 . . . . .                                            | 67 |
| <b>7.2</b>    | 辅助 SPI 模式寄存器 . . . . .                                           | 68 |
| <b>7.2.1</b>  | INT_OIS (6Fh) . . . . .                                          | 68 |
| <b>7.2.2</b>  | CTRL1_OIS (70h) . . . . .                                        | 69 |
| <b>7.2.3</b>  | CTRL2_OIS (71h) . . . . .                                        | 69 |
| <b>7.2.4</b>  | CTRL3_OIS (72h) . . . . .                                        | 70 |
| <b>7.2.5</b>  | STATUS_SPIAux (1Eh) . . . . .                                    | 72 |
| <b>7.3</b>    | 通过辅助 SPI 读取陀螺仪数据 . . . . .                                       | 72 |
| <b>7.4</b>    | 模式 4 - 通过辅助 SPI 读取陀螺仪和加速度计输出数据 . . . . .                         | 72 |
| <b>8</b>      | 先进先出 (FIFO) 缓冲区 . . . . .                                        | 73 |
| <b>8.1</b>    | FIFO 寄存器 . . . . .                                               | 74 |
| <b>8.1.1</b>  | FIFO_CTRL1 (06h) . . . . .                                       | 74 |
| <b>8.1.2</b>  | FIFO_CTRL2 (07h) . . . . .                                       | 74 |
| <b>8.1.3</b>  | FIFO_CTRL3 (08h) . . . . .                                       | 75 |
| <b>8.1.4</b>  | FIFO_CTRL4 (09h) . . . . .                                       | 76 |
| <b>8.1.5</b>  | FIFO_CTRL5 (0Ah) . . . . .                                       | 76 |

|        |                                        |     |
|--------|----------------------------------------|-----|
| 8.1.6  | FIFO_STATUS1 (3Ah) . . . . .           | 77  |
| 8.1.7  | FIFO_STATUS2 (3Bh) . . . . .           | 78  |
| 8.1.8  | FIFO_STATUS3 (3Ch) . . . . .           | 78  |
| 8.1.9  | FIFO_STATUS4 (3Dh) . . . . .           | 79  |
| 8.1.10 | FIFO_DATA_OUT_L (3Eh) . . . . .        | 79  |
| 8.1.11 | FIFO_DATA_OUT_H (3Fh) . . . . .        | 79  |
| 8.2    | FIFO 模式 . . . . .                      | 79  |
| 8.2.1  | Bypass 模式 . . . . .                    | 79  |
| 8.2.2  | FIFO 模式 . . . . .                      | 79  |
| 8.2.3  | 连续模式 . . . . .                         | 81  |
| 8.2.4  | 连续-FIFO 模式 . . . . .                   | 81  |
| 8.2.5  | Bypass-连续模式 . . . . .                  | 83  |
| 8.3    | 设置 FIFO 触发、FIFO ODR 和抽取因子 . . . . .    | 83  |
| 8.3.1  | 使用 FIFO 时改变 ODR 或 FIFO 配置步骤 . . . . .  | 85  |
| 8.4    | 从 FIFO 恢复数据 . . . . .                  | 85  |
| 8.5    | FIFO 模式 . . . . .                      | 86  |
| 8.5.1  | 示例 1 . . . . .                         | 86  |
| 8.5.2  | 示例 2 . . . . .                         | 87  |
| 8.5.3  | 示例 3 . . . . .                         | 88  |
| 8.6    | FIFO 阈值 . . . . .                      | 89  |
| 8.7    | 陀螺仪和加速度计数据的高位部分 . . . . .              | 90  |
| 8.8    | FIFO 中的时间戳数据 . . . . .                 | 91  |
| 8.9    | FIFO 中的温度数据 . . . . .                  | 92  |
| 9      | 温度传感器 . . . . .                        | 93  |
| 9.1    | 温度数据计算示例 . . . . .                     | 93  |
| 10     | 自检功能 . . . . .                         | 94  |
| 10.1   | 加速度计自检 – 模式 1/2/3/4 . . . . .          | 94  |
| 10.2   | 陀螺仪自检(GP) – 模式 1/2 . . . . .           | 96  |
| 10.3   | GP 链断开时的陀螺仪自检 (OIS) – 模式 3/4 . . . . . | 98  |
| 10.4   | GP 链接通后的陀螺仪自检 (OIS) – 模式 3/4 . . . . . | 100 |
|        | 版本历史 . . . . .                         | 102 |



## 表一覽

|       |                                                            |    |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 表 1.  | 引脚状态 . . . . .                                             | 3  |
| 表 2.  | 寄存器 . . . . .                                              | 4  |
| 表 3.  | 嵌入功能寄存器 . . . . .                                          | 8  |
| 表 4.  | 加速度计 ODR 和功耗模式选择 . . . . .                                 | 10 |
| 表 5.  | 陀螺仪 ODR 和功耗模式选择 . . . . .                                  | 10 |
| 表 6.  | 功耗 . . . . .                                               | 11 |
| 表 7.  | 加速度计模拟滤波器带宽 . . . . .                                      | 12 |
| 表 8.  | 模式 1/2/3 下的加速度计带宽选择 . . . . .                              | 14 |
| 表 9.  | OIS 链 (XL ODR = 6.66 kHz) - 模式 4 下的加速度计带宽选择 . . . . .      | 15 |
| 表 10. | 陀螺仪数字 HP 滤波器截止频率选择 . . . . .                               | 17 |
| 表 11. | 模式 1/2 下的陀螺仪总带宽选择 . . . . .                                | 17 |
| 表 12. | GP 链 - 模式 3/4 下的陀螺仪总带宽选择 . . . . .                         | 19 |
| 表 13. | OIS 链 - 模式 3/4 下的陀螺仪数字 HP 滤波器截止频率选择 . . . . .              | 20 |
| 表 14. | OIS 链 (陀螺仪 ODR = 6.66 kHz) - 陀螺仪总带宽选择 (模式 3/4) . . . . .   | 20 |
| 表 15. | 模式 1/2/3 下的加速度计开启/关闭时间 (LPF2 和 HP 禁用) . . . . .            | 20 |
| 表 16. | 模式 1/2/3 下要丢弃的加速度计样本 . . . . .                             | 21 |
| 表 17. | 模式 1/2 下的陀螺仪开启/关闭时间 (HP 禁用) . . . . .                      | 22 |
| 表 18. | 模式 1/2 下要丢弃的陀螺仪样本 (LPF1 禁用) . . . . .                      | 22 |
| 表 19. | 对于所有 ODR, 模式 1/2 下要丢弃的陀螺仪样本 (LPF1 使能) . . . . .            | 22 |
| 表 20. | OIS 链 (陀螺仪 ODR = 6.66 kHz) - 模式 3/4 下的陀螺仪开启/关闭时间 . . . . . | 23 |
| 表 21. | 模式 3/4 下要丢弃的陀螺仪样本 . . . . .                                | 24 |
| 表 22. | OIS 使能/禁用时的 GP 链稳定时间 . . . . .                             | 24 |
| 表 23. | 输出数据寄存器内容 vs. 加速度 (FS_XL = 2 g) . . . . .                  | 28 |
| 表 24. | 输出数据寄存器内容 vs. 角速率 (FS_G = 245 dps) . . . . .               | 28 |
| 表 25. | 输出寄存器环行模式 . . . . .                                        | 29 |
| 表 26. | DEN 配置 . . . . .                                           | 30 |
| 表 27. | INT1_CTRL 寄存器 . . . . .                                    | 34 |
| 表 28. | MD1_CFG 寄存器 . . . . .                                      | 35 |
| 表 29. | INT2_CTRL 寄存器 . . . . .                                    | 35 |
| 表 30. | MD2_CFG 寄存器 . . . . .                                      | 35 |
| 表 31. | 自由落体阈值 LSB 值 . . . . .                                     | 36 |
| 表 32. | D6D_SRC 寄存器 . . . . .                                      | 39 |
| 表 33. | 4D/6D 功能阈值 . . . . .                                       | 39 |
| 表 34. | 6D 定位下的 D6D_SRC 寄存器 . . . . .                              | 40 |
| 表 35. | TAP_SRC 寄存器 . . . . .                                      | 45 |
| 表 36. | 不活动事件配置 . . . . .                                          | 46 |
| 表 37. | CTRL10_C 寄存器 . . . . .                                     | 52 |
| 表 38. | MASTER_CONFIG 寄存器 . . . . .                                | 52 |
| 表 39. | FUNC_SRC1 寄存器 . . . . .                                    | 53 |
| 表 40. | FUNC_SRC2 寄存器 . . . . .                                    | 53 |
| 表 41. | SLV0_ADD 寄存器 . . . . .                                     | 54 |
| 表 42. | SLV0_SUBADD 寄存器 . . . . .                                  | 54 |
| 表 43. | SLAVE0_CONFIG 寄存器 . . . . .                                | 54 |
| 表 44. | SLV1_ADD 寄存器 . . . . .                                     | 55 |
| 表 45. | SLV1_SUBADD 寄存器 . . . . .                                  | 55 |
| 表 46. | SLAVE1_CONFIG 寄存器 . . . . .                                | 55 |
| 表 47. | SLV2_ADD 寄存器 . . . . .                                     | 56 |
| 表 48. | SLV2_SUBADD 寄存器 . . . . .                                  | 56 |
| 表 49. | SLAVE2_CONFIG 寄存器 . . . . .                                | 56 |
| 表 50. | SLV3_ADD 寄存器 . . . . .                                     | 57 |
| 表 51. | SLV3_SUBADD 寄存器 . . . . .                                  | 57 |
| 表 52. | SLAVE3_CONFIG 寄存器 . . . . .                                | 57 |



|              |                                                                   |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>表 53.</b> | DATAWRITE_SRC_MODE_SUB_SLV0 寄存器 . . . . .                         | 58  |
| <b>表 54.</b> | 铁磁校正配置 . . . . .                                                  | 62  |
| <b>表 55.</b> | 硬铁寄存器值 . . . . .                                                  | 64  |
| <b>表 56.</b> | 软铁寄存器值 . . . . .                                                  | 65  |
| <b>表 57.</b> | 模式 3/4 引脚说明 . . . . .                                             | 67  |
| <b>表 58.</b> | INT_OIS 寄存器 . . . . .                                             | 69  |
| <b>表 59.</b> | CTRL1_OIS 寄存器 . . . . .                                           | 69  |
| <b>表 60.</b> | DEN 模式选择 . . . . .                                                | 69  |
| <b>表 61.</b> | CTRL2_OIS 寄存器 . . . . .                                           | 70  |
| <b>表 62.</b> | 陀螺仪 OIS 链 HP 滤波器截止频率选择 . . . . .                                  | 70  |
| <b>表 63.</b> | 陀螺仪 OIS 链 LPF1 带宽选择 . . . . .                                     | 70  |
| <b>表 64.</b> | CTRL3_OIS 寄存器 . . . . .                                           | 70  |
| <b>表 65.</b> | 加速度计 OIS 带宽选择 . . . . .                                           | 71  |
| <b>表 66.</b> | STATUS_SPIAux 寄存器 . . . . .                                       | 72  |
| <b>表 67.</b> | FIFO_CTRL1 寄存器 . . . . .                                          | 74  |
| <b>表 68.</b> | FIFO_CTRL2 寄存器 . . . . .                                          | 74  |
| <b>表 69.</b> | FIFO_CTRL3 寄存器 . . . . .                                          | 75  |
| <b>表 70.</b> | 陀螺仪 FIFO 抽取设置 . . . . .                                           | 75  |
| <b>表 71.</b> | 加速度计 FIFO 抽取设置 . . . . .                                          | 75  |
| <b>表 72.</b> | FIFO_CTRL4 寄存器 . . . . .                                          | 76  |
| <b>表 73.</b> | 第 3 FIFO 数据集抽取设置 . . . . .                                        | 76  |
| <b>表 74.</b> | 第 4 FIFO 数据集抽取设置 . . . . .                                        | 76  |
| <b>表 75.</b> | FIFO_CTRL5 寄存器 . . . . .                                          | 77  |
| <b>表 76.</b> | FIFO ODR 选择设置 . . . . .                                           | 77  |
| <b>表 77.</b> | FIFO 模式选择 . . . . .                                               | 77  |
| <b>表 78.</b> | FIFO_STATUS1 寄存器 . . . . .                                        | 78  |
| <b>表 79.</b> | FIFO_STATUS2 寄存器 . . . . .                                        | 78  |
| <b>表 80.</b> | FIFO_STATUS2 特性（一个传感器处于 FIFO 模式，且 STOP_ON_FTH = 0 的情况下） . . . . . | 78  |
| <b>表 81.</b> | FIFO_STATUS3 寄存器 . . . . .                                        | 79  |
| <b>表 82.</b> | FIFO_STATUS4 寄存器 . . . . .                                        | 79  |
| <b>表 83.</b> | FIFO_DATA_OUT_L 寄存器 . . . . .                                     | 79  |
| <b>表 84.</b> | FIFO_DATA_OUT_H 寄存器 . . . . .                                     | 79  |
| <b>表 85.</b> | 示例 1: FIFO_PATTERN_[9:0]位和下一个读数 . . . . .                         | 86  |
| <b>表 86.</b> | 示例 2: FIFO_PATTERN_[9:0]位和下一个读数 . . . . .                         | 87  |
| <b>表 87.</b> | 示例 3: FIFO_PATTERN_[9:0]位和下一个读数 . . . . .                         | 88  |
| <b>表 88.</b> | FIFO 中陀螺仪和加速度计数据的高位部分 . . . . .                                   | 90  |
| <b>表 89.</b> | FIFO 中的时间戳数据 . . . . .                                            | 91  |
| <b>表 90.</b> | FIFO 中的温度数据 . . . . .                                             | 92  |
| <b>表 91.</b> | 输出数据寄存器内容 vs. 温度 . . . . .                                        | 93  |
| <b>表 92.</b> | 文档版本历史 . . . . .                                                  | 102 |

## 图一覽

|       |                                                  |     |
|-------|--------------------------------------------------|-----|
| 图 1.  | 引脚连接 . . . . .                                   | 2   |
| 图 2.  | 加速度计滤波链（模式 1/2/3） . . . . .                      | 13  |
| 图 3.  | 加速度计滤波链（模式 4） . . . . .                          | 14  |
| 图 4.  | 加速度计斜率滤波器 . . . . .                              | 16  |
| 图 5.  | 陀螺仪数字链 - 模式 1 和模式 2 . . . . .                    | 17  |
| 图 6.  | 陀螺仪数字链 - 模式 3 和模式 4 . . . . .                    | 19  |
| 图 7.  | 数据准备就绪信号 . . . . .                               | 26  |
| 图 8.  | 边沿感应触发模式, DEN 低电平有效 . . . . .                    | 30  |
| 图 9.  | 电平感应触发模式, DEN 低电平有效 . . . . .                    | 31  |
| 图 10. | 电平感应触发模式, DEN 低电平有效, DEN_DRDY 在 INT1 上 . . . . . | 32  |
| 图 11. | 电平感应锁存模式, DEN 低电平有效 . . . . .                    | 32  |
| 图 12. | 电平感应锁存模式, DEN 低电平有效, DEN_DRDY 在 INT1 上 . . . . . | 32  |
| 图 13. | 电平感应 FIFO 使能模式, DEN 低电平有效 . . . . .              | 33  |
| 图 14. | 自由落体中断 . . . . .                                 | 36  |
| 图 15. | 唤醒中断（利用斜率滤波器） . . . . .                          | 38  |
| 图 16. | 6D 识别方向 . . . . .                                | 40  |
| 图 17. | 单击事件识别 . . . . .                                 | 42  |
| 图 18. | 双击事件识别（LIR 位 = 0） . . . . .                      | 43  |
| 图 19. | 单击和双击识别（LIR 位 = 0） . . . . .                     | 44  |
| 图 20. | 活动/不活动识别（利用斜率滤波器） . . . . .                      | 47  |
| 图 21. | 倾斜度检测 . . . . .                                  | 49  |
| 图 22. | 模式 2 下外部传感器连接 . . . . .                          | 51  |
| 图 23. | SENSORHUBx_REG 配置示例 . . . . .                    | 58  |
| 图 24. | 全通功能 . . . . .                                   | 59  |
| 图 25. | 硬铁效应（X-Y 2D 散点图） . . . . .                       | 62  |
| 图 26. | 软铁效应（X-Y 2D 散点图） . . . . .                       | 63  |
| 图 27. | 硬铁/软铁校正框图 . . . . .                              | 64  |
| 图 28. | 模式 3/4 下的外部控制器连接（SPI 3 线） . . . . .              | 68  |
| 图 29. | FIFO 模式（STOP_ON_FTH = 0） . . . . .               | 80  |
| 图 30. | 连续模式 . . . . .                                   | 81  |
| 图 31. | 连续-FIFO 模式 . . . . .                             | 82  |
| 图 32. | Bypass-连续模式 . . . . .                            | 83  |
| 图 33. | FIFO 触发信号选择 . . . . .                            | 84  |
| 图 34. | FIFO 阈值（STOP_ON_FTH=0） . . . . .                 | 89  |
| 图 35. | FIFO 模式下的 FIFO 阈值（STOP_ON_FTH=1） . . . . .       | 89  |
| 图 36. | 连续模式下的 FIFO 阈值（STOP_ON_FTH=1） . . . . .          | 90  |
| 图 37. | 加速度计自检步骤 . . . . .                               | 95  |
| 图 38. | 模式 1/2 下的陀螺仪自检流程 . . . . .                       | 97  |
| 图 39. | GP 链断开时的陀螺仪自检流程（OIS） . . . . .                   | 99  |
| 图 40. | GP 链连通时的陀螺仪自检流程（OIS） . . . . .                   | 101 |

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。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。

© 2018 STMicroelectronics - 保留所有权利