

ATK-MS6050 模块用户手册

高性能三轴加速度+三轴陀螺仪模块

正点原子

广州市星翼电子科技有限公司

修订历史

版本	日期	原因
V1.0	2022/06/25	第一次发布

目 录

1, 特性参数.....	1
2, 使用说明.....	2
2.1 模块引脚说明.....	2
2.2 MPU-6050 介绍.....	3
2.3 模块重要寄存器简介.....	6
2.4 DMP 使用简介.....	9
3, 结构尺寸.....	11
4, 其他.....	12

1，特性参数

ATK-MS6050 模块是正点原子推出的一款高性能三轴加速度+三轴陀螺仪的六轴传感器模块。该模块采用 InvenSense 公司的 MPU-6050 六轴传感器芯片作为核心，该芯片内部整合了三轴加速度传感器和三轴陀螺仪传感器，并自带数字运动处理器（DMP, Digital Motion Processor）硬件加速引擎，可以通过 IIC 接口，向应用端输出姿态解算后的数据。同时，InvenSense 公司提供了 DMP 的驱动库，非常方便地实现了姿态结算，降低了运动处理运算对应用端的负荷，同时也大大降低了开发难度。

ATK-MS6050 模块具有：体积小、自带 DMP、自带温度传感器、支持 IIC 从机地址设置、支持中断、兼容 3.3V/5V 系统、使用方便等特点。

ATK-MS6050 模块的各项基本参数，如下表所示：

项目	说明
接口特性	3.3V/5V
通信接口	IIC 接口
通信速率	400kHz (Max)
测量维度	加速度：3 维 陀螺仪：3 维
加速度测量范围	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16g$
陀螺仪测量范围	$\pm 250/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000dps$
ADC 位数	16 位
分辨率	加速度：16384LSB/g(Max) 陀螺仪：131LSB/dps(Max)
输出速率	加速度：1Khz (Max) 陀螺仪：8Khz (Max)
姿态解算输出速率	200Hz (Max)
温度传感器测量范围	-40℃~85℃
温度传感器精度	$\pm 1^{\circ}C$
工作温度	-40℃~85℃
模块尺寸	16mm*18mm

表 1.1 ATK-MS6050 模块基本参数

ATK-MS6050 模块的各项电气参数，如下表所示：

项目	说明
电源电压	3.3V/5V
IO 口电平 ¹	3.3V LVTTTL
功耗	5mA

表 1.2 ATK-MS6050 模块电气参数

注 1：ATK-MS6050 模块的 IO 电压为 3.3V，但同时做了 5V 兼容性处理（模块内部已将 IO 串联 120Ω 电阻），可直接连接 5V 的 MCU 使用。

2，使用说明

2.1 模块引脚说明

ATK-MS6050 模块通过 1*6 的排针（2.54mm 间距）同外部相连接，该模块可直接与正点原子战舰 STM32F103 开发板、正点原子 F407 电机控制开发板和正点原子 MiniSTM32H750 开发板等开发板的 ATK MODULE 接口连接，而对于没有板载 ATK MODULE 接口的开发板，可以通过杜邦线连接。正点原子所有的 STM32 开发板，我们都提供了本模块相应的例程，用户可以直接在这些开发板上，对模块进行测试。

ATK-MS6050 模块的外观，如下图所示：

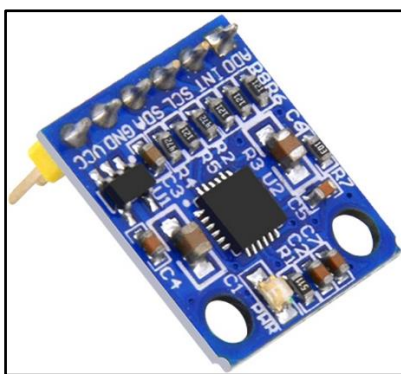


图 2.1.1 ATK-MS6050 模块实物图

ATK-MS6050 模块的原理图，如下图所示：

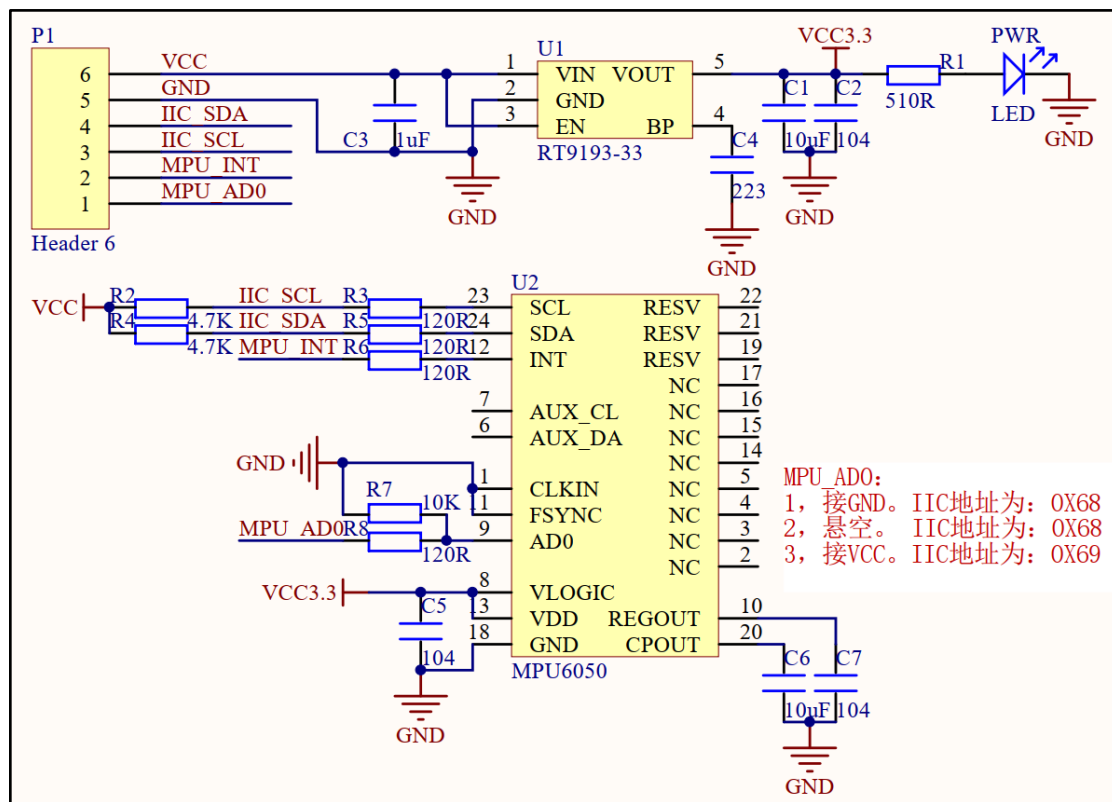


图 2.1.2 ATK-MS6050 模块原理图

从上图中可以看出，模块自带了 3.3V 超低压差稳压芯片，给 MPU-6050 供电，因此外部的输入电压可以为 3.3V 或 5V。模块通过 P1 排针与外部连接，引出了 VCC、GND、IIC_SDA、IIC_SCL、MPU_INT 和 MPU_AD0 等信号，其中，IIC_SDA 和 IIC_SCL 带了 4.7K 上拉电阻，外部可以不用再加上拉电阻了，另外 MPU_AD0 自带了 10K 下拉电阻，当 AD0 悬空时，AD0 引脚默认被拉低，模块的默认 IIC 地址为 0x68。

ATK-MS6050 模块通过一个 1*6 的排针（P1）同外部电路连接，各引脚的详细描述，如下表所示：

序号	名称	说明
1	VCC	3.3V/5V 电源输入
2	GND	地线
3	IIC_SDA	IIC 通信数据线
4	IIC_SCL	IIC 通信时钟线
5	MPU_INT	中断输出引脚
6	MPU_AD0	IIC 从机地址设置引脚

表 2.1.1 ATK-MS6050 模块引脚说明

模块仅通过一个 IIC 接口与外部通信，并可以通过 MPU_AD0 设置模块的 IIC 地址，当 MPU_AD0 悬空/接 GND 的时候，模块的 IIC 从机地址为：0x68；当 MPU_AD0 接 VCC 的时候，模块的 IIC 从机地址为：0x69。

2.2 MPU-6050 介绍

MPU-6050 是 InvenSense 公司推出的全球首款整合性六轴运动处理组件，相较于多组件方案，免除了组合陀螺仪与加速器时之轴间差的问题，减少了安装空间。

MPU-6050 内部整合了三轴陀螺仪和三轴加速度传感器，并且含有一个第二 IIC 接口（本模块未引出），可用于连接外部磁力传感器，并利用自带的数字运动处理器（DMP, Digital Motion Processor）硬件加速引擎，通过 IIC 接口，向应用端输出完整的九轴融合演算数据。同时，InvenSense 公司提供了 DMP 的驱动库，非常方便地实现了姿态结算，降低了运动处理运算对应用端的负荷，同时也大大降低了开发难度。

MPU-6050 的特点包括：

- ① 以数字形式输出六轴或九轴（需外接磁力传感器）的旋转矩阵、四元数（quaternion）、欧拉角格式（Euler Angle form）的融合演算数据（需 DMP 支持）
- ② 具有 131LSB/dps 敏感度与测量范围为 ± 250 、 ± 500 、 ± 1000 与 ± 2000 的三轴角速度感测器（陀螺仪）
- ③ 集成可程序控制，范围为 $\pm 2g$ 、 $\pm 4g$ 、 $\pm 8g$ 和 $\pm 16g$ 的三轴加速度传感器
- ④ 移除加速器与陀螺仪轴间敏感度，降低设定给予的影响与感测器的飘移
- ⑤ 自带数字运动处理（DMP, Digital Motion Processing）引擎可减少 MCU 复杂的融合演算数据、感测器同步化、姿势感应等的负荷
- ⑥ 内建运作时间偏差与磁力感测器校正演算技术，免除了客户须另外进行校正的需求
- ⑦ 自带一个数字温度传感器
- ⑧ 带数字输入同步引脚（Sync pin）支持视频电子影相稳定技术与 GPS
- ⑨ 可程序控制的中断（interrupt），支持姿势识别、摇摄、画面放大缩小、滚动、快速下降中断、high-G 中断、零动作感应、触击感应、摇动感应功能
- ⑩ VDD 供电电压为 $2.5V \pm 5\%$ 、 $3.0V \pm 5\%$ 、 $3.3V \pm 5\%$ ；VLOGIC 可低至 $1.8V \pm 5\%$

- ⑪ 陀螺仪工作电流：5mA，陀螺仪待机电流：5uA；加速器工作电流：500uA，加速器省电模式电流：40uA@10Hz
 - ⑫ 自带 1024 字节 FIFO，有助于降低系统功耗
 - ⑬ 高达 400kHz 的 IIC 通信接口
 - ⑭ 超小封装尺寸：4x4x0.9mm（QFN）
- MPU-6050 传感器的检测轴，如下图所示：

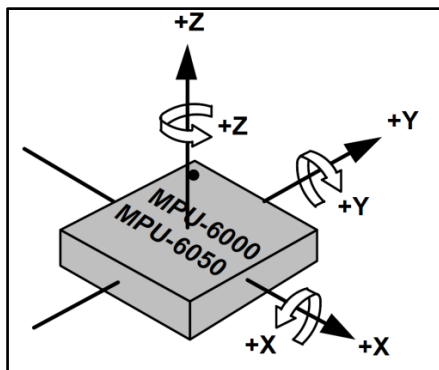


图 2.2.1 MPU-6050 检测轴及其方向

MPU-6050 的内部框图，如下图所示：

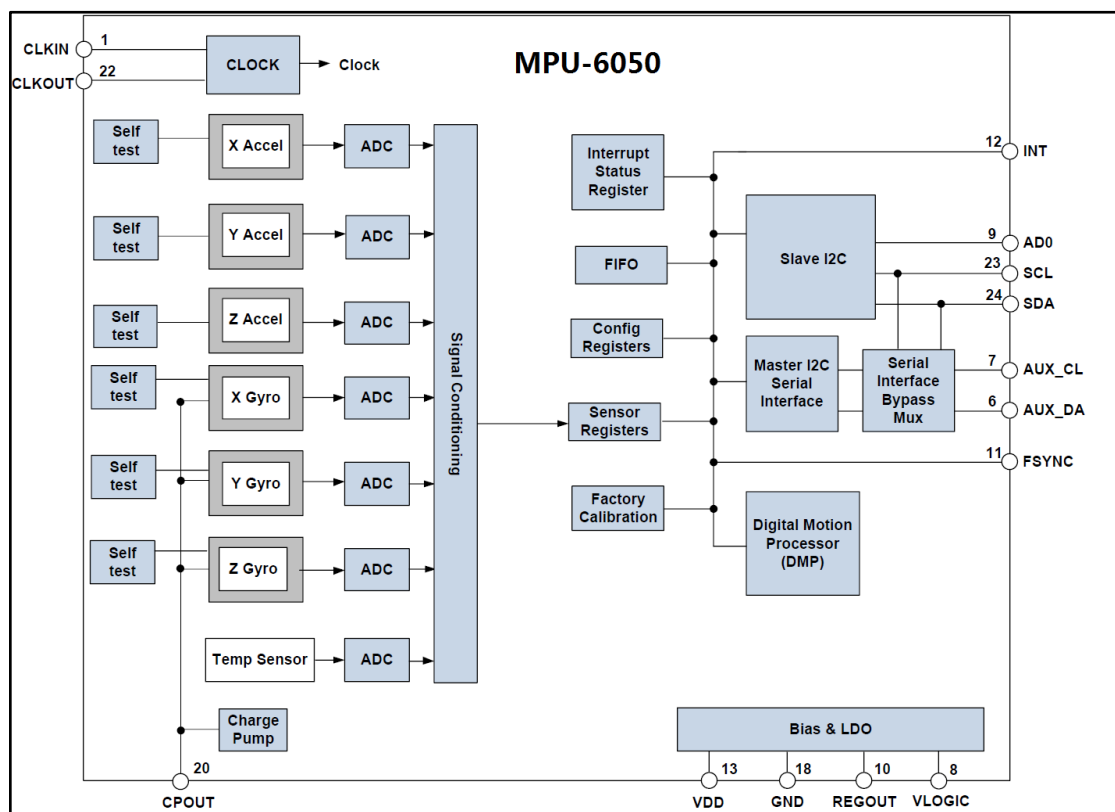


图 2.2.2 MPU-6050 框图

其中，SCL 和 SDA 是连接 MCU 的 IIC 接口，MCU 通过这个 IIC 接口来控制 MPU-6050，另外还有一个 IIC 接口：AUX_CL 和 AUX_DA，这个接口可用来连接外部从设备，比如磁力传感器，这样就可以组成一个九轴传感器。VLOGIC 是 IO 口电压，该引脚最低可以到 1.8V，我们一般直接接 VDD 即可。AD0 是从 IIC 接口（接 MCU）的地址控制引脚，该引脚控制 IIC 地址的最低位。如果接 GND，则 MPU-6050 的 IIC 地址是：0x68，如果接 VDD，则是 0x69，注意：这里的 IIC 地址是不包含数据传输的最低位的（最低位用来表示读写）。

2.3 模块重要寄存器简介

MPU-6050 内部总共有好几十个寄存器，这里仅介绍几个在使用 MPU-6050 时比较重要的寄存器，其他寄存器的介绍，请参考：《MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions.pdf》。

1. 电源管理寄存器 1

该寄存器地址为 0x6B，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
6B	107	DEVICE_RESET	SLEEP	CYCLE	-	TEMP_DIS	CLKSEL[2:0]		

图 2.3.1 电源管理寄存器 1 各比特位描述

其中，DEVICE_RESET 位用来控制复位，设置为 1，复位 MPU-6050，复位结束后，MPU 硬件自动清零该位。SLEEP 位用于控制 MPU-6050 的工作模式，复位后，该位为 1，即进入了睡眠模式（低功耗），所以要清零该位，才能进入正常工作模式。TEMP_DIS 用于设置是否使能温度传感器，设置为 0，则使能。最后 CLKSEL[2:0]用于选择系统时钟源，选择关系，如下表所示：

CLKSEL[2:0]	时钟源
000	内部 8M RC 晶振
001	PLL，使用 X 轴陀螺仪作为参考
010	PLL，使用 Y 轴陀螺仪作为参考
011	PLL，使用 Z 轴陀螺仪作为参考
100	PLL，使用外部 32.768kHz 时钟作为参考
101	PLL，使用外部 19.2MHz 作为参考
110	保留
111	关闭时钟，保持时序产生电路复位状态

表 2.3.1 CLKSEL 选择列表

CLKSEL[2:0]的默认值为 000，即使用内部的 8M RC 晶振作为时钟源，但其精度不高，因此一般选择 X、Y、Z 轴陀螺仪作为参考的 PLL 作为时钟源。

2. 陀螺仪配置寄存器

该寄存器的地址为 0x1B，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1B	27	XG_ST	YG_ST	ZG_ST	FS_SEL[1:0]		-	-	-

图 2.3.2 陀螺仪配置寄存器各比特位描述

对于该寄存器，仅需关心 FS_SEL[1:0]这两个比特位即可，FS_SEL[1:0]用于配置陀螺仪的满量程范围，具体的配置描述，如下表所示：

FS_SEL[1:0]	陀螺仪满量程范围
00	±250dps
01	±500dps
10	±1000dps
11	±2000dps

表 2.3.2 FS_SEL 配置描述

一般可以将 FS_SEL[1:0]配置为 11，即配置陀螺仪的满量程范围为±2000dps。

3. 加速度传感器配置寄存器

该寄存器的地址为 0x1C，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1C	28	XA_ST	YA_ST	ZA_ST	AFS_SEL[1:0]		-		

图 2.3.3 加速度传感器配置寄存器各比特位描述

对于该寄存器，仅需关心 AFS_SEL[1:0]这两个比特位即可，AFS_SEL[1:0]用于配置加速度传感器的满量程范围，具体的配置描述，如下表所示：

AFS_SEL[1:0]	加速度传感器满量程范围
00	±2g
01	±4g
10	±8g
11	±16g

表 2.3.3 AFS_SEL 配置描述

一般可以将 FS_SEL[1:0]配置为 00，即配置加速度传感器的满量程范围为±2g。

4. FIFO 使能寄存器

该寄存器的地址为 0x23，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
23	35	TEMP_FIFO_EN	XG_FIFO_EN	YG_FIFO_EN	ZG_FIFO_EN	ACCEL_FIFO_EN	SLV2_FIFO_EN	SLV1_FIFO_EN	SLV0_FIFO_EN

图 2.3.4 FIFO 使能寄存器各比特位描述

该寄存器用于控制 FIFO 使能或失能，在简单地读取 MPU-6050 中传感器数据的时候，可以不使用 FIFO，因此可以将该寄存器中的对应比特位清零，以失能 FIFO，如果要使能 FIFO 则将该寄存器中对应的比特位置 1 即可。注意：加速度传感器三轴 FIFO 使能或失能，全由 ACCEL_FIFO_EN 比特位配置，只要将该比特位置 1，则加速度传感器三轴的 FIFO 都被使能。

5. 陀螺仪采样率分频寄存器

该寄存器的地址为 0x19，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
19	25	SMPLRT_DIV[7:0]							

图 2.3.5 陀螺仪采样率分频寄存器各比特位描述

该寄存器用于配置 MPU-6050 的陀螺仪采样频率，其计算公式为：

$$\text{采样频率} = \text{陀螺仪输出频率} / (1 + \text{SMPLRT_DIV})$$

陀螺仪输出频率与数字低通滤波器（DLPF）的配置有关，当 DLPF_CFG 配置为 0 或 7 时，陀螺仪输出频率为 8kHz，否则陀螺仪的输出频率为 1kHz。且 DLPF 的滤波频率一般设置为采样频率的一般。

6. 配置寄存器

该寄存器的地址为 0x1A，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
1A	26	-	-	EXT_SYNC_SET[2:0]			DLPF_CFG[2:0]		

图 2.3.6 配置寄存器各比特位描述

对于该寄存器，仅需关心 DLPF_CFG[2:0]这三个比特位即可，加速度传感器和陀螺仪

都是根据 DLPF_CFG[2:0]这三个比特位的配置进行滤波的，DLPF_CFG 的配置描述，如下表所示：

DLPF_CFG[2:0]	加速度传感器 (F _s = 1kHz)		角速度传感器 (陀螺仪)		
	带宽 (Hz)	延迟 (ms)	带宽 (Hz)	延迟 (ms)	F _s (kHz)
000	260	0	256	0.98	8
001	184	2.0	188	1.9	1
010	94	3.0	98	2.8	1
011	44	4.9	42	4.8	1
100	21	8.5	20	8.3	1
101	10	13.8	10	13.4	1
110	5	19.0	5	18.6	1
111	保留		保留		8

表 2.3.4 DLPF_CFG 配置表

一般情况下，配置角速度传感器的带宽为其采样率的一半。例如，如果色湖之采样频率为 50Hz，那么带宽就应该设置为 25Hz，取近似值 20Hz，因此 DLPF_CFG 就应设置为 100。

7. 电源管理寄存器 2

该寄存器的地址为 0x6C，该寄存器的各比特位描述，如下图所示：

Register (Hex)	Register (Decimal)	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
6C	108	LP_WAKE_CTRL[1:0]		STBY_XA	STBY_YA	STBY_ZA	STBY_XG	STBY_YG	STBY_ZG

图 2.3.7 电源管理寄存器 2 各比特位描述

该寄存器的 LP_WAKE_CTRL[1:0]用于控制低功耗时的唤醒频率，其余的 6 比特位，分别用于控制加速度传感器和陀螺仪的 X、Y、Z 轴是否进入待机模式，不进入待机模式，则将这 6 比特位清 0 即可。

8. 陀螺仪数据输出寄存器

陀螺仪数据输出寄存器由 6 个寄存器组成，其寄存器的地址为 0x43~0x48，通过读取这 6 个寄存器，就可以读取到陀螺仪 X、Y、Z 轴的值。其中寄存器地址为 0x43 的寄存器（高 8 位）和寄存器地址位 0x44 的寄存器（低 8 位）组成的 16 位数，即为陀螺仪 X 轴的数据，Y、Z 轴的数据，以此类推。

9. 加速度传感器数据输出寄存器

同陀螺仪一样，加速度数据输出寄存器也是由 6 个寄存器组成，其寄存器的地址为 0x3B~0x40，通过读取这 6 个寄存器，就可以读取到加速度传感器 X、Y、Z 轴的值。其中寄存器地址为 0x3B 的寄存器（高 8 位）和寄存器地址位 0x3C 的寄存器（低 8 位）组成的 16 位数，即为加速度传感器 X 轴的数据，Y、Z 轴的数据，以此类推。

10. 温度传感器数据输出寄存器

温度传感器数据输出寄存器由 2 个寄存器组成，其寄存器的地址为 0x41 和 0x42，通过读取这 2 个寄存器，就可以读取到温度传感器的值。其中寄存器地址为 0x41 的寄存器（高 8 位）和寄存器地址位 0x42 的寄存器（低 8 位）组成的 16 位数，即为温度传感器的数据，但是还需要通过换算，才能得到实际的温度值，换算公式如下所示：

$$\text{实际温度} = 36.53 + \text{regval} / 340$$

其中，实际温度是换算得到的温度值，其单位为摄氏度，regval 为寄存器地址为 0x41 的寄存器（高 8 位）和寄存器地址位 0x42 的寄存器（低 8 位）组成的 16 位数。

2.4 DMP 使用简介

在上一小节中，已经介绍如何读取 MPU-6050 的加速度传感器和陀螺仪的值，但是这些读取出来的值都是原始数据，并不是姿态数据。姿态数据也就是欧拉角：俯仰角（pitch）、横滚角（roll）、航向角（yaw），通过欧拉角就能非常直观地了解当前的姿态。

想要得到欧拉角数据，就需要对原始数据进行姿态融合解算，姿态结算涉及较多的数学计算，如果开发者直接利用原始数据进行姿态解算，不仅要求开发者有较丰富的知识储备和一定的数学能力，同时对 MCU 的运算性能也有较高的要求。而 MPU-6050 自带的 DMP（数字运动处理器）就能够很好的解决这一些列的问题，配合 InvenSense 提供的 DMP 驱动库，就能够很方便地将 MPU-6050 输出的原始数据直接转换为四元数输出，在得到四元数之后，就能够通过少量的运算，计算出欧拉角，从而得到姿态数据。

InvenSense 提供的 DMP 驱动库是基于 MSP430 的，因此要在 STM32 上使用该 DMP 驱动库，还需要进行一定的移植。InvenSense 提供的 DMP 驱动库的路径为：4、参考资料→DMP 资料→Embedded_MotionDriver_5.1.rar，其中的代码比较多，不过 InvenSense 官方提供了该驱动库的学习资料，与驱动库同路径下的《Embedded Motion Driver V5.1.1 教程.pdf》和《Embedded Motion Driver V5.1.1 API 说明.pdf》。解压 Embedded_MotionDriver_5.1.rar 后，就能得到 DMP 的驱动库，其路径在 core→driver→eMPL，如下图所示：

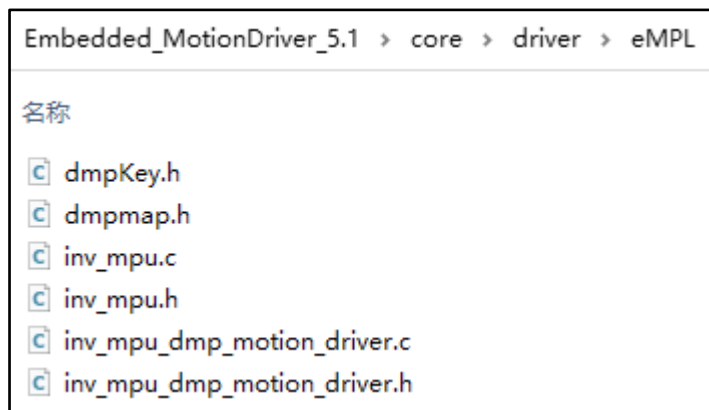


图 2.4.1 InvenSense 提供的 DMP 驱动库

移植 InvenSense 提供的 DMP 驱动库还是比较简单的，主要是实现四个函数，分别为：函数 i2c_write()、函数 i2c_read()、函数 delay_ms()和函数 get_ms()，具体的函数实现和其余的移植细节就不再介绍了，读者可以阅读 ATK-MS6050 模块提供的程序源码和《ATK-MS6050 模块使用说明.pdf》。

下面重点介绍一下，如何将 DMP 输出的四元数转换为欧拉角。MPU-6050 DMP 输出的四元数是 q30 格式的，也就是将正常浮点格式的四元数放大了 2^{30} 倍，因此在换算之前，需要将 DMP 输出的四元数转换为正常的浮点格式，也就是将其除以 2^{30} ，然后才能将其转换为欧拉角，具体的代码，如下所示：

```
#define q30      (1073741824.0f) /* 2^30 = 1073741824 */

q0 = quat[0] / q30;
q1 = quat[1] / q30;
q2 = quat[2] / q30;
q3 = quat[3] / q30;

*pitch = asin(-2 * q1 * q3 + 2 * q0 * q2)*57.3;
```

```
*roll = atan2(2 * q2 * q3 + 2 * q0 * q1, -2 * q1 * q1 - 2 * q2 * q2 + 1)*57.3;  
*yaw = atan2(2 * (q1 * q2 + q0 * q3), q0 * q0 + q1 * q1 - q2 * q2 - q3 * q3)*57.3;
```

其中 quat[0]~quat[3]就是 MPU-6050 DMP 解算后输出的 q30 格式的四元数, 将其除以宏 q30, 宏 q30 为一个常数, 其值为浮点数 1073741824.0, 然后就得到了正常浮点格式的四元数, 接着再将其带入公式, 就能够计算出欧拉角了, 至于四元数转欧拉角的公式推导, 感兴趣的读者可以自行了解学习。

3，结构尺寸

ATK-MS6050 模块的尺寸结构，如下图所示：

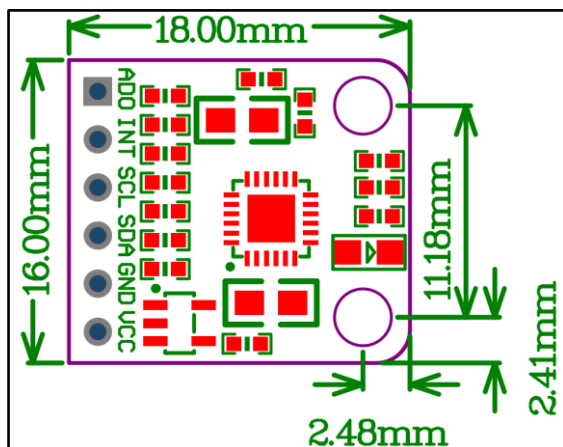


图 3.1 ATK-MS6050 模块尺寸图

4，其他

1、购买地址：

天猫：<https://zhengdianyuanzi.tmall.com>

淘宝：<https://openedv.taobao.com>

2、资料下载

模块资料下载地址：<http://www.openedv.com/docs/modules/other/ATK-MPU6050.html>

3、技术支持

公司网址：www.alientek.com

技术论坛：<http://www.openedv.com/forum.php>

在线教学：www.yuanzige.com

B 站视频：<https://space.bilibili.com/394620890>

传真：020-36773971

电话：020-38271790

