

雾膜软件

WMH605 倾角仪开发板

版本 20240818

1. 概述

开发板的主要功能是输出三轴角度。

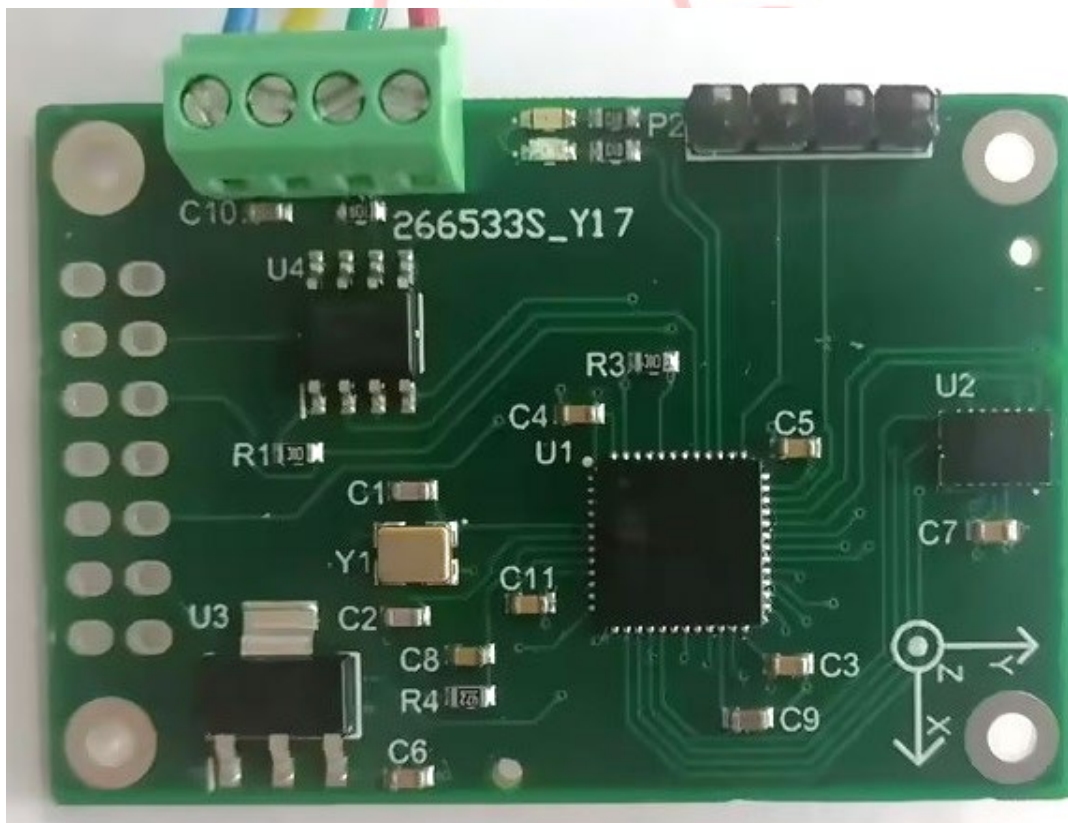
开发板组成包括：处理器 STM32F411CEU6，传感器 BMI055，电路附件。开发板附件包括串口-USB 转换器。

开发板提供示例代码。

主要特点：

- (1) 输出欧拉角，或四元数，或 6 轴原始数值。
- (2) 可在静止、振动、角振动、平稳运动的情况下工作。
- (3) 采用 float 型数据计算。
- (4) RS485 接口。

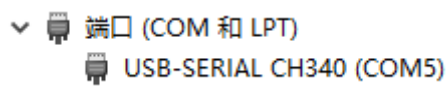
代码包适用于：组合导航的学习、研究、教学、科研。商业用途请联系本店另行定作。



2. 操作方法

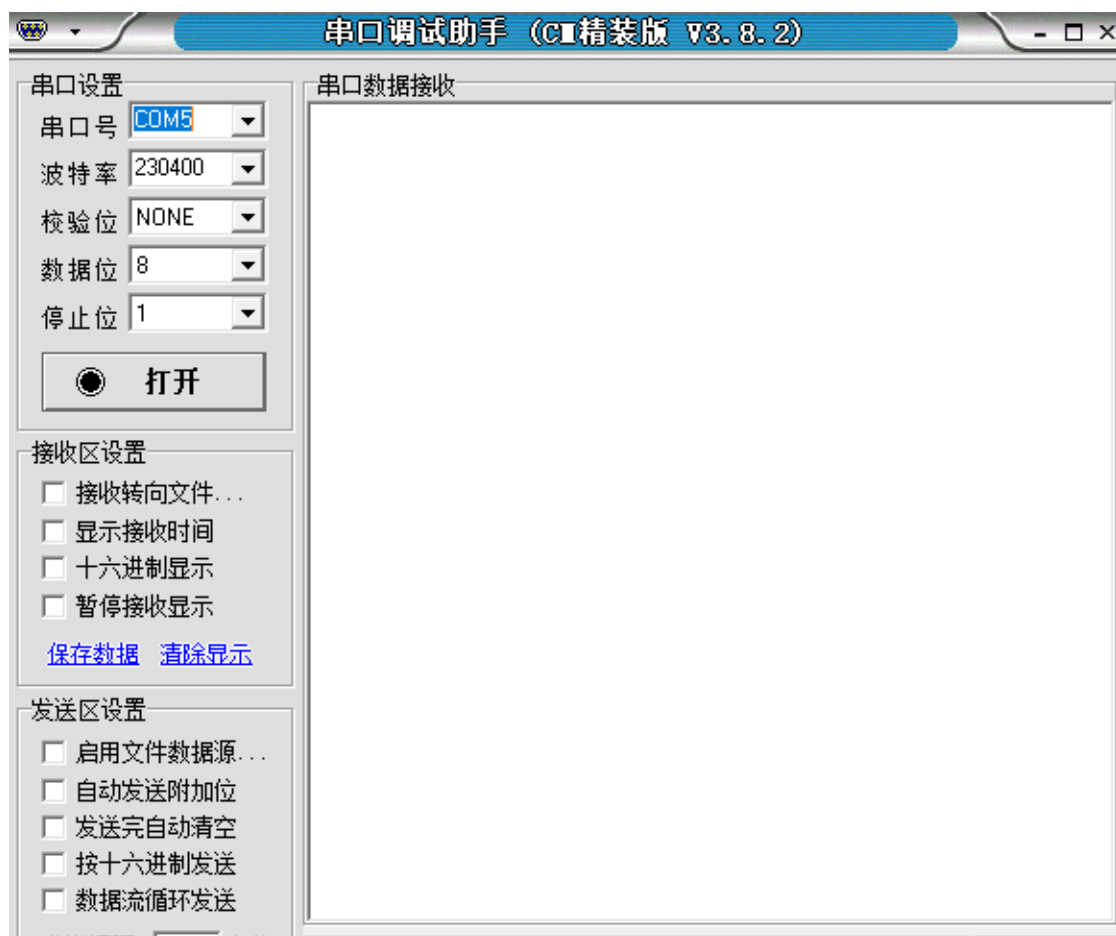
2.1. 准备

串口 USB 转换器直接连接计算机。注意，有些机型需要安装串口 USB 转换器的驱动。如果驱动正常，在硬件管理器中应显示如下标志：



配置串口助手。注意串口号应当与硬件管理器一致；默认波特率 230400；其余配置参

照下图。



2.2. 读取数据

注意，上电 1~2 秒时，倾角仪会进行初始对准，此时应该保持基本静止状态。对准结束后，红灯转为绿灯，此时可以晃动倾角仪。

打开串口，即可读取数据。默认数据格式如下。

```
$-014.17,-088.12,-063.68,+0.6510,-0.6330,-0.3032,+0.2887,
```

依次为 yaw,pitch,roll,q0,q1,q2,q3，包含 3 个欧拉角和 4 个四元数。

2.3. 烧写程序

电路板发货时已经烧写默认程序，可以不烧写程序、直接使用。

需要烧写程序时，要准备的软件开发环境为：Keil uVision5；推荐同时使用 STM32CubeMX。需要准备硬件的仿真器，如 ST-LINK V2（需要自行购买，本店发货时不包含硬件仿真器）。

仿真器连接到开发板的 P2 口，注意引线对应关系。

源代码最好解压到纯英文路径中，使用 Keil uVision5 打开\MDK-ARM\qjy.uvprojx。然后点击 LOAD 即可烧写程序。



注意，烧写程序时，切勿选择擦除全部 FLASH；否则会导致配置失效、工作异常。

3. 性能

项目	数值	单位	备注
----	----	----	----

角速度量程	250	deg/s	最大 2000
加速度量程	2	g	最大 16
角度稳定性	0.5	deg	限 pitch 和 roll
航向稳定性	5	deg/min	低频振动
数据刷新率	200	Hz	可自行修改

本产品仅用于教学实验、演示工作原理，不保证恶劣环境下的精度。

默认代码具有静态检测功能，静态下三轴欧拉角基本稳定。默认代码具有传感器融合计算功能；动态环境下，pitch 和 roll 基本稳定，yaw 会缓慢漂移。

注意，运动过程中不能出现超量程情况，否则会导致精度下降。试验默认代码时，应当低速转动；需要高速转动时，应更改代码，改变传感器量程。

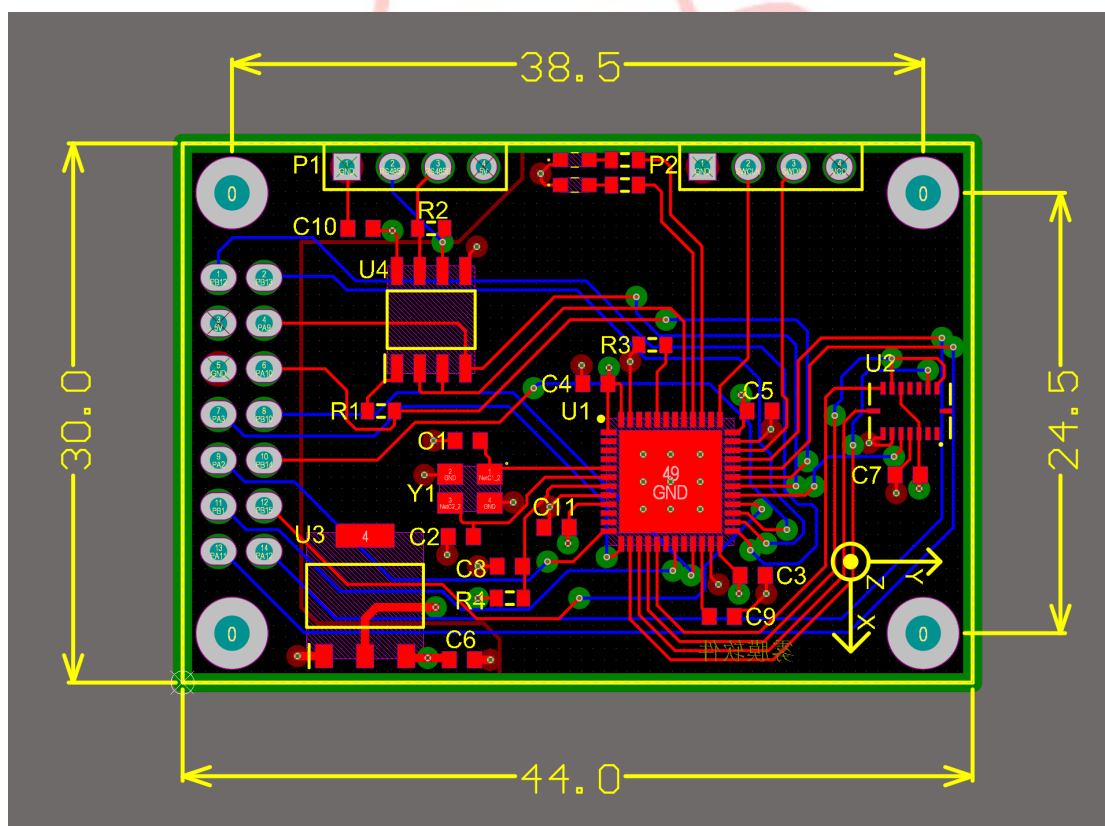
注意，yaw 为相对值，不是绝对值。本产品不具有寻北功能。

可在静止、振动、角振动、平稳运动的情况下工作。在离心运动、长时间加速等情况下，精度下降。

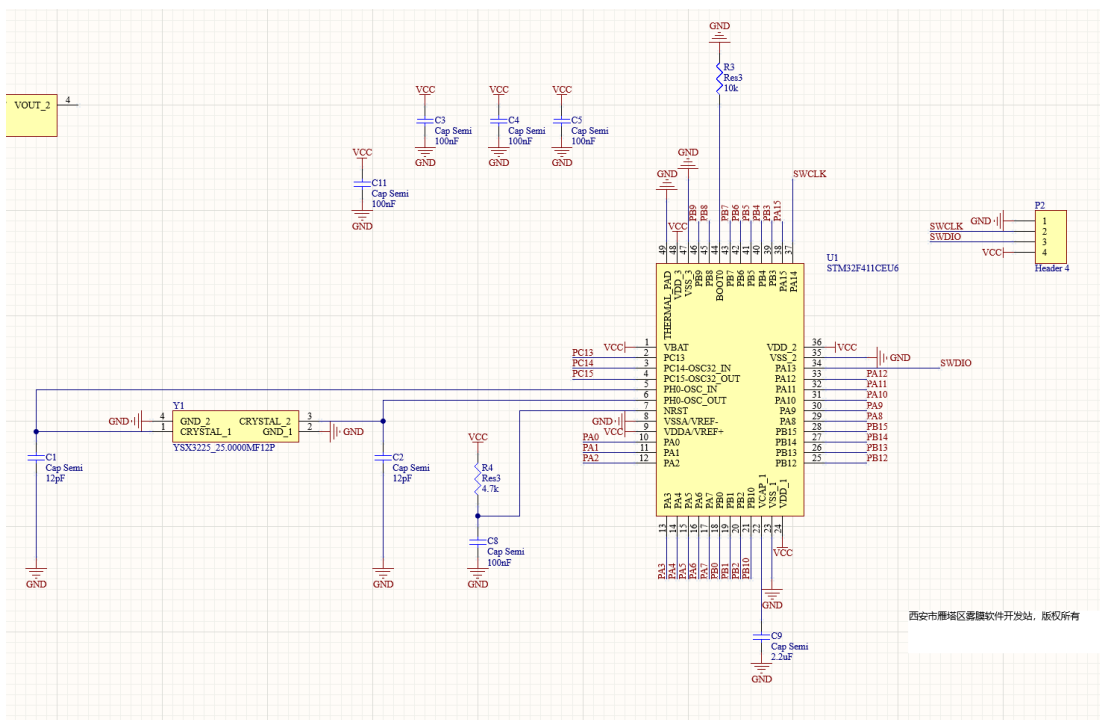
4. 外形和接口

4.1. 机械外形

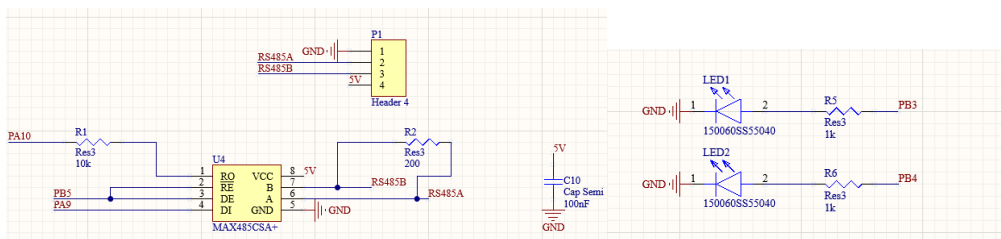
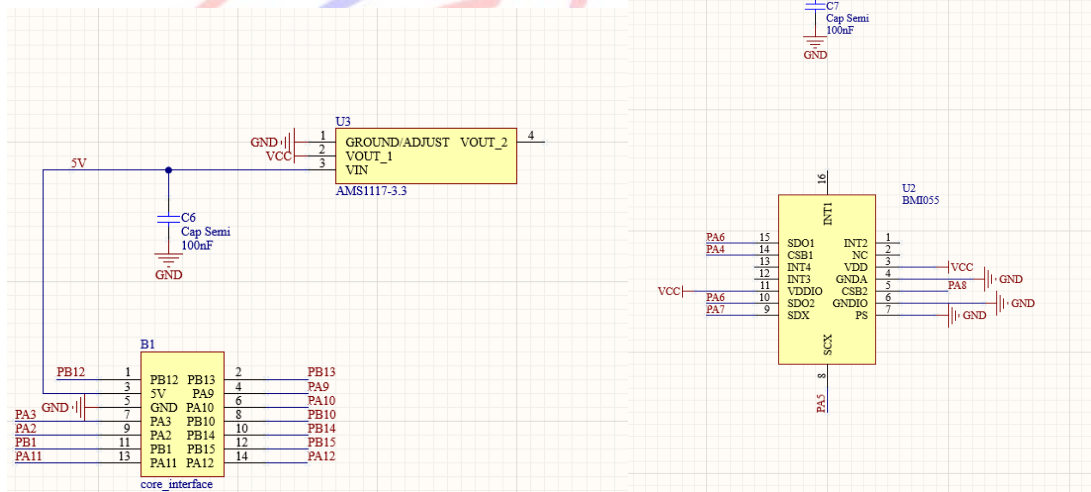
单位 mm。



4.2. 原理图

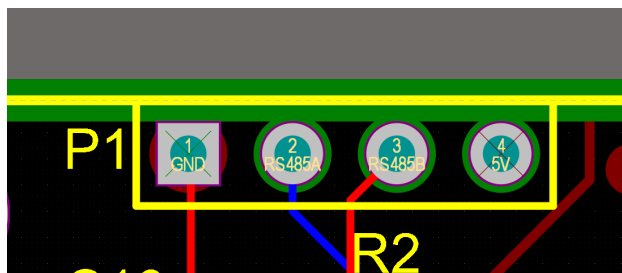


西安市雁塔区赛康软件开发站，版权所有

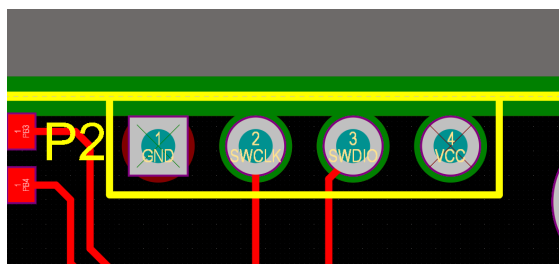


4. 3. 电气接口

RS485 接口如下：



程序烧写口如下：



扩展接口如下



4. 4. 通信协议

4. 4. 1. 协议配置

默认代码为字符串协议。如果要更改为字节流协议，需要更改代码：把 main()中 sendresult()改为 senddata1()。

4. 4. 2. 字符串

注意，使用字符串时，串口助手需要取消“十六进制显示”。

字符串协议形如：

```
$-014.17,-088.12,-063.68,+0.6510,-0.6330,-0.3032,+0.2887,
```

依次为 yaw,pitch,roll,q0,q1,q2,q3，包含 3 个欧拉角和 4 个四元数。每帧数据开头为\$，结尾为\r\n。

4.4.3. 字节流

注意，使用字节流时，串口助手需要勾选“十六进制显示”。

基本规则：（1）长整数（比如 32 位整数或 16 位整数），拆分为字节，低字节在前、高字节在后；但是文本或帧头按照表中的顺序排列，不再调换顺序。（2）数据除以比例系数为物理量的值；物理量的值乘以比例系数为数据。（3）一般数据为有符号数；但是帧头、状态指示、标志、校验码等为无符号数。

字节号	内容	比例系数	单位/备注
0~1	0xeb 0x90		帧头
2	计数		0~255 循环
3~4	陀螺仪 x	131.07	deg/s
5~6	陀螺仪 y	131.07	deg/s
7~8	陀螺仪 z	131.07	deg/s
9~10	加速度计 x	16383	g
11~12	加速度计 y	16383	g
13~14	加速度计 z	16383	g
15	校验码		2~14 字节求和

5. 姿态定义

5.1. 矩阵、欧拉角

有 3 种方法表示姿态：矩阵、四元数、欧拉角。

传感器 xyz 指向右、前、上，设为 b 坐标系。基准坐标系的 xy 在水平方向，设为 n 系。三维空间有 3 个旋转自由度。类似式(6-3)，依次绕三个坐标轴旋转，则坐标变换矩阵为

$$C_n^b = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & -\sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & \sin \theta_x \\ 0 & -\sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_z & \sin \theta_z & 0 \\ -\sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

其中 C_n^b 就是表示姿态的矩阵，三个角度即欧拉角。上式即反映了矩阵和欧拉角之间的换算关系。注意，欧拉角多种不同定义，本文的定义可能与他人的定义不同。注意，三个角度是依次旋转的，不具有对称性、交换性。

注意，俯仰角在 90 deg 或 -90 deg 附近时，姿态角会突变。建议大角度时优先使用四元数表示姿态。

5.2. 四元数

实际导航系统中，为了防止计算误差导致姿态矩阵失去正交性，也为了减少计算量，往往采用四元数代替姿态矩阵进行姿态更新。四元数定义为

$$\mathbf{q} = \left[\cos \frac{\theta}{2} \quad u_x \sin \frac{\theta}{2} \quad u_y \sin \frac{\theta}{2} \quad u_z \sin \frac{\theta}{2} \right]^T \quad (5-2)$$

其中 θ 是旋转的角度， $[u_x \quad u_y \quad u_z]^T$ 是旋转轴的单位向量。

四元数也可以表示为

$$\mathbf{q} = \cos \frac{\theta}{2} + \mathbf{A} \sin \frac{\theta}{2} \quad (5-3)$$

其中 \mathbf{A} 是旋转轴的单位向量。

注意，四元数是按照三轴同时旋转定义的，不同于欧拉角的依次旋转。

6. 工作原理

6.1. 概述

程序主要工作流程如下：

初始化

```

解析对准
while(1)
{
    惯性导航;
    以速度为 0 作为条件, 计算扩展卡尔曼滤波, 得到惯性导航误差
    根据滤波结果修正惯性导航

    if(处于静态)
    {
        静态修正陀螺仪零偏
    }
}

```

本文采用扩展卡尔曼滤波方法, 实现传感器融合和姿态稳定。

6.2. 坐标系

载体系 b 定义为与载体固定连接的坐标系, 不妨取 xyz 轴为右前上。

导航坐标系 n 是表示导航结果的坐标系。

惯性参考系 i 。惯性参考系主要用于描述概念。惯性导航中一般不需要真正地在惯性参考系中投影, 所以不必在惯性参考系中规定坐标系。

完整地描述角速率、姿态、加速度、速度、位移等需要 3 个坐标系。坐标系 β 相对于坐标系 α 的变化量 x 在坐标系 γ 的投影表示为 $x_{\alpha\beta}^{\gamma}$ 。在这种表示方法下, 一些简单的计算规则如下:

同一个坐标系内表示的变量符合向量加法规则, 即

$$x_{AB}^{\gamma} + x_{BC}^{\gamma} = x_{AC}^{\gamma} \quad (6-1)$$

同一个变量在不同坐标系的换算可以用矩阵表示。

$$x_{\alpha\beta}^{\mu} = C_{\gamma}^{\mu} x_{\alpha\beta}^{\gamma} \quad (6-2)$$

坐标变换矩阵表示旋转关系。例如二维的坐标变换矩阵为

$$C_n^b = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (6-3)$$

三维的坐标旋转有 3 个自由度, 可以看作是类似形式矩阵相乘。

坐标变换矩阵是正交矩阵, 逆矩阵是原矩阵的转置

$$C_{\mu}^{\gamma} = (C_{\gamma}^{\mu})^{-1} = (C_{\gamma}^{\mu})^T \quad (6-4)$$

6.3. 惯性导航

6.3.1. 基本原理

惯性导航的基本原理是: 陀螺仪测量角速度, 角速度积分得到姿态。加速度计测量加速度, 加速度积分得到速度, 速度积分得到位置。

实际情况中有一些因素导致上述计算变得复杂。1.需要进行一些坐标系变换。2.需要考虑地球的自转、重力、以及球形形状。

6.3.2. 矩阵姿态更新

如果每次旋转的角度很小, 则坐标变换矩阵近似为

$$dC = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -d\theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ d\theta_y & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & d\theta_x \\ 0 & -d\theta_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d\theta_z & 0 \\ -d\theta_z & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6-5)$$

略去二阶小量, 则有

$$dC = \begin{bmatrix} 1 & d\theta_z & -d\theta_y \\ -d\theta_z & 1 & d\theta_x \\ d\theta_y & -d\theta_x & 1 \end{bmatrix} \quad (6-6)$$

上式表示了坐标旋力矩阵与旋转角度的关系。如果旋转角度很小，则不必考虑旋转顺序。为了表示的方便，引入角增量反对称矩阵

$$[\theta] = \begin{bmatrix} 0 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 0 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 0 \end{bmatrix} \quad (6-7)$$

那么姿态矩阵更新公式为

$$C_b^i(t+T) = C_b^i(t) \lim_{k \rightarrow +\infty} \left(I + \frac{[\theta_{ib}^b]}{k} \right)^k = C_b^i(t) \exp([\theta_{ib}^b]) \quad (6-8)$$

其中 \exp 表示自然常数 e 为底数的指数函数。 $C_b^i(t)$ 是上一时刻的姿态矩阵， $C_b^i(t+T)$ 是下一时刻的姿态矩阵。上式即姿态更新公式。

利用麦克劳林公式，能得到更便于计算的如下公式

$$\exp([\theta]) = I + \frac{\sin|\theta|}{|\theta|} [\theta] + \frac{1 - \cos|\theta|}{|\theta|^2} [\theta]^2 \quad (6-9)$$

如果旋转角度较小，同时为了避免分母为 0，可以采用如下近似公式

$$\exp([\theta]) \approx I + [\theta] \quad (6-10)$$

矩阵法仅用于演示原理。代码实际采用四元数法更新姿态。

6.3.3. 四元数姿态更新

四元数姿态微分方程为

$$\dot{\mathbf{q}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z \\ \omega_x & 0 & \omega_z & -\omega_y \\ \omega_y & -\omega_z & 0 & \omega_x \\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0 \end{bmatrix} \mathbf{q} \quad (6-11)$$

引入 4 维的角增量矩阵

$$[\theta] = \begin{bmatrix} 0 & -\theta_x & -\theta_y & -\theta_z \\ \theta_x & 0 & \theta_z & -\theta_y \\ \theta_y & -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_z & \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \quad (6-12)$$

四元数更新姿态的公式为

$$\mathbf{q}(t+T) = \left(\cos \frac{|\theta|}{2} I + \frac{\sin \frac{|\theta|}{2}}{|\theta|} [\theta] \right) \mathbf{q}(t) \quad (6-13)$$

姿态可以用 3*3 矩阵或者 4*1 的四元数表示。本代码包采用四元数计算姿态，这是主流方法。但是矩阵对于坐标系变换的计算比较方便，所以坐标变换的地方使用了矩阵表示姿态。

6.3.4. 速度更新

加速度计测量的加速度是 b 系的，要把加速度换算为 n 系，才可以用于计算速度。

对于局部直角坐标系，加速度积分即速度，速度积分即位置。

本代码不需要计算天向速度，只计算了水平方向的速度。

6.4. 组合导航

6.4.1. 原理概述

卡尔曼滤波可以理解为：根据方差求权重，做加权平均。

原始的卡尔曼滤波适用于线性系统。因为导航系统不是线性的，所以采用扩展卡尔曼滤波。扩展卡尔曼滤波的主要方法是，选用误差量，利用一阶微分近似为线性系统。滤波得到误差量估计值后，立刻补偿误差。

有的文献把 EKF 算法进一步细化为 ESKF 算法，严格意义上本代码包的方法属于 ESKF 算法。但是大量的文献没有把 EKF 算法进行如此细致的划分，本代码包的算法完全可以说就是 EKF 算法。

6.4.2. 卡尔曼滤波

比较复杂的系统中，一方面系统具有多个自由度，另一方面被测量随着时间而变化。因此用状态空间方程的形式描述系统的关系，并把加权平均数计算方法用矩阵表示，则得到卡尔曼滤波。

系统表示为：

$$\mathbf{x}_k = \Phi \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (6-14)$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H} \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (6-15)$$

其中是 \mathbf{x} 状态量，是希望获得而又难以准确测量的量。式(6-14)描述了被测量的变化关系，这里是离散形式。 \mathbf{z} 表示量测量，是能测量得到但是包含随机误差的量。式(6-15)描述了量测量与状态量的关系。 \mathbf{w} 和 \mathbf{v} 是随机噪声。有的系统中 \mathbf{w} 和 \mathbf{v} 会乘以系数矩阵，但是大多数惯性导航装置的三轴传感器精度大体相当，因此没必要引入标准卡尔曼滤波的 Γ 矩阵。

状态量的变化也可以描述为连续方程

$$\dot{\mathbf{x}}_k = \mathbf{F} \mathbf{x}_{k-1} \quad (6-16)$$

如果采样间隔足够小，离散方程与连续方程的关系为

$$\Phi = \mathbf{I} + \mathbf{F}T \quad (6-17)$$

其中 T 为采样间隔， \mathbf{I} 为单位矩阵。

卡尔曼滤波的解算过程就是根据 \mathbf{z} 估计 \mathbf{x} ，具体方法如下：

如果不考虑误差，前后时刻的 \mathbf{x} 具有关系

$$\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1} = \Phi \hat{\mathbf{X}}_{k-1} \quad (6-18)$$

$\hat{\mathbf{X}}_{k-1}$ 是前一时刻 \mathbf{x} 的估计值， $\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1}$ 是推算的后一时刻的 \mathbf{x} 。但是因为误差的存在，这个推算并不准确，需要根据 \mathbf{z} 修正，因此取

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \hat{\mathbf{X}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{X}}_{k|k-1}) \quad (6-19)$$

其中 \mathbf{K}_k 是反映权重的滤波增益。这个增益由如下方法计算

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \Phi \mathbf{P}_{k-1} \Phi^T + \mathbf{Q} \quad (6-20)$$

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (6-21)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \mathbf{P}_{k|k-1} (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H})^T + \mathbf{K}_k \mathbf{R} \mathbf{K}_k^T \quad (6-22)$$

其中 \mathbf{P} 、 \mathbf{Q} 、 \mathbf{R} 分别是 $\hat{\mathbf{X}}$ 、 \mathbf{w} 、 \mathbf{v} 的方差矩阵。

上述公式给出了线性系统的卡尔曼滤波方法。导航系统是非线性系统。非线性系统可以局部微分而近似为线性系统，采用扩展卡尔曼滤波方法解算。扩展卡曼滤波中的 \mathbf{x} 是误差量，扩展卡尔曼滤波获得误差量后，及时修正，使得误差量总维持在较小范围内；在误差量较小时，局部微分得到的线性系统与原始的非线性系统基本一致，卡尔曼滤波能取得较好效果。

代码包采用闭环反馈校正的方式，滤波后修正惯导误差，所以标准卡尔曼滤波中的 $\hat{\mathbf{X}}_{k-1}$ 取0，简化后的计算公式为

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \mathbf{K}_k \mathbf{z}_k \quad (6-23)$$

6.5. 倾角仪的滤波

取扩展卡尔曼滤波的状态量 \mathbf{x} 为8维向量，包含速度误差*2、姿态误差*3、陀螺仪零偏

*3。

用扩展卡尔曼滤波进行组合导航的步骤是：1.进行惯性导航解算。2.惯性导航速度即 \mathbf{z} 。3.用卡尔曼滤波计算 \mathbf{x} 。4.根据 \mathbf{x} 修正惯性导航的结果，并返回步骤1。

惯性和卫星组合导航系统关键在于具体列出状态矩阵 Φ ，即可实现组合导航的计算。扩展卡尔曼滤波的矩阵 \mathbf{F} 是雅可比矩阵，即偏微分矩阵。根据惯性导航的计算公式，可以得到 \mathbf{F} 如下。

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_2 & \mathbf{F}_{av} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O}_3 & -\mathbf{C}_b^n \\ \mathbf{O} & \mathbf{O}_3 & \mathbf{O}_3 \end{bmatrix} \quad (6-24)$$

反映姿态误差对速度误差影响的子矩阵为

$$\mathbf{F}_{av} = \begin{bmatrix} 0 & -f_U & f_N \\ f_U & 0 & -f_E \end{bmatrix} \quad (6-25)$$

其中 f_E 、 f_N 、 f_U 是换算到 n 系的加速度计数值，即不扣除重力的比力信息。

$$\mathbf{f}_n = \begin{bmatrix} f_E \\ f_N \\ f_U \end{bmatrix} = \mathbf{C}_b^n \mathbf{f}_b \quad (6-26)$$

7. 代码包预览

7.1. 部分代码截图

（由于版本迭代，实际代码可能与截图有轻微差别）

```

int main(void)
{
    /* USER CODE BEGIN 1 */

    /* USER CODE END 1 */

    /* MCU Configuration----- */

    /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface
    HAL_Init();

    /* USER CODE BEGIN Init */

    /* USER CODE END Init */

    /* Configure the system clock */
    SystemClock_Config();

    /* USER CODE BEGIN SysInit */

    /* USER CODE END SysInit */

    /* Initialize all configured peripherals */
    MX_GPIO_Init();
    MX_DMA_Init();
    MX_USART1_UART_Init();
    MX_SPI1_Init();
    MX_TIM2_Init();
    /* USER CODE BEGIN 2 */
    //initflash();
    initbmi();
    para();
    HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);

    /* USER CODE END 2 */

    /* Infinite loop */
    /* USER CODE BEGIN WHILE */
    while (1)
    {
        /* USER CODE END WHILE */

        /* USER CODE BEGIN 3 */
        if(timeflag)
        {
            timeflag=0;
            readbmi();
            calcoqjy();
            //senddatal();
            if(fr>=200)
            {
                HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_4,GPIO_PIN_RESET);
                HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,GPIO_PIN_3,GPIO_PIN_SET);
                sendresult();
            }
        }
    }
}
/* USER CODE END 3 */
}

```

```

ins_gyroacc(gx, gy, gz, ax, ay, az);
getPhi();

Zl = speedl;

Pkk = op_AaddB(op_AB(op_AB(Phi, Pk), op_AT(Phi)), Ql);
K = op_ArightB(op_AB(Pkk, op_AT(H)), op_AaddB(op_AB(op_AB(H, Pkk), op_AT(H)), R));
Xl = op_AB(K, Zl); //因为每次滤波之后补偿了误差, 所以状态预测总是0.
IKH = op_AsubB(Eye, op_AB(K, H));
Pk = op_AaddB(op_AB(op_AB(IKH, Pkk), op_AT(IKH)), op_AB(op_AB(K, R), op_AT(K)));

speedl = op_AsubB(speedl, submat(Xl, 0, 0, 2, 1));
attil = quatupdate(attil, op_AB((op_AT(Cbn(attil))), submat(Xl, 2, 0, 3, 1)));
biasgyro = op_AsubB(biasgyro, submat(Xl, 5, 0, 3, 1));

//补偿传感器误差。注意方向
gyrol=op_AaddB(gyro,biasgyro);

//一、计算姿态
attil=quatupdate(attil,op_kA(dTins,gyrol)); //更新姿态
cbnm = Cbn(attil);

//二、计算速度
accn=op_AB(cbnm,accl); //更新这个数, 以便于卡尔曼滤波的部分使用

speedl.num[0][0] = speedl.num[0][0] + dTins*accn.num[0][0];
speedl.num[1][0] = speedl.num[1][0] + dTins*accn.num[1][0];
//不计算重力和天向速度
}

```

7.2. 矩阵计算库

为了矩阵计算, C 代码中有结构体 MAT。其内容为:

```

int m; //行数
int n; //列数
double num[MAT_MAX][MAT_MAX]; //矩阵数据内容

```

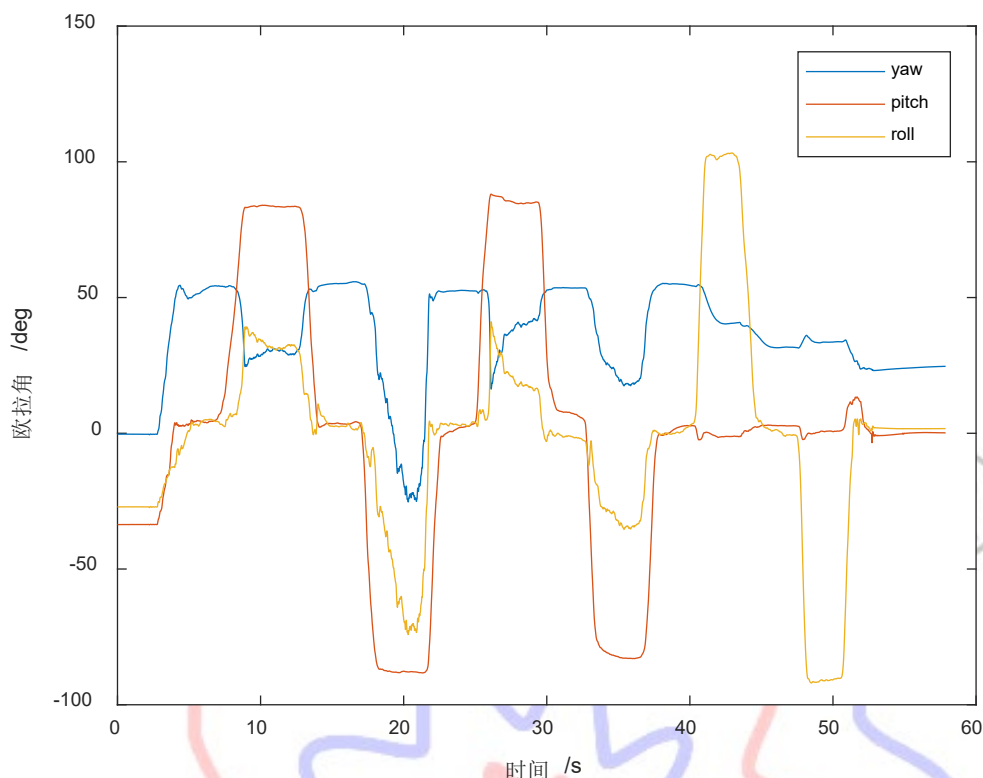
可以根据需要直接修改矩阵的数值。特别注意, C 或 C++ 中数组元素的下标从 0 开始; 而 MATLAB 的下标从 1 开始。

矩阵计算的功能已经包含在代码包中, 通常情况下不需要修改。

本代码包的矩阵运算是专门简化过的、另起炉灶的计算库, 与 Eigen、OpenCV 等常见矩阵库不兼容。

7.3. 输出数据曲线

徒手晃动, 输出数据为 txt 文件。借助 Matlab 绘制曲线, 三轴姿态角如下:



8. 常见问题

8.1. 代码容易看懂吗

本代码为了便于学习理解，力求简洁清楚。但是代码包技术含量较高，本店不保证用户能理解代码。用户可以参照前文的代码截图，预先评估自己是否可以理解代码包的内容。

为了防止非法转卖，代码包的注释比较简化。如有难以理解的部分，可以联系本店人工答疑。

用户可以自行修改代码，以调整功能。也可委托本店修改代码，但是需要额外费用。

8.2. 怎样标定

本产品传感器精度较低、稳定性较差，标定不具有实际意义。需要高精度的用户，请联系本店另行定做。

产品只有电路，缺乏可靠的基准面。如果要标定，需要额外配置机械外壳，以提供稳固的基准面。根据需求，采用温箱转台标定，或者采用稳固台面简易标定。

9. 著作权和服务

9.1. 工作原理参考什么资料

参考实体书《组合导航应用笔记》，东南大学出版社，2025年。

讲解视频，哔哩哔哩视频网搜索“大胡子刘师傅”。

9.2. 著作权声明

本店保留著作权。

电路、说明书、全部附属代码（以下简称本代码包）仅限于学习和研究用途的少量使用；包含改编文件、写入嵌入式系统的编译后程序，所有副本总计不得超过5份。

本代码包有偿使用。

严禁转卖或公开发布本代码包的全部或一部分。

大规模应用本代码包需要额外取得本店的授权。

对于违反上述要求的用户，本店有权要求停止销售、撤稿、赔偿损失等。

9.3. 服务内容

赠送 30 分钟语音答疑服务，用于解决较为复杂的疑问。

赠送长期文字答疑，用于解决简单的、零散的疑问。

答疑服务仅限直接购买人本人使用。答疑服务不能转让、不能共享。用户需要保留购买凭证截图；丢失购买凭证的，本店可以不提供答疑服务；不是从本店购买的，而是从其他渠道获得代码包的，不提供答疑服务。

本商品技术含量较高，本店不保证能在限时内解答所有疑问。有需要的用户，可以付费购买额外的语音答疑服务。

本店可提供少量的数据判读服务。但是大量的数据判读服务需要额外收费。较为复杂的数据处理，或者定制化修改代码，可能需要额外收费。

上述服务可能需要排队，本店不能保证服务的实时性。

9.4. 联系方式

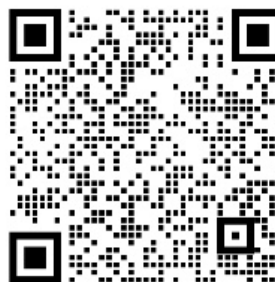
西安市雁塔区雾膜软件开发站

销售、答疑、定制开发：

微信：（扫码）



雾膜软件



电子邮箱：braun@wmsoft.wang

网站：<http://wmsoft.xyz>