

单自由度 AHRS 倾角测量实验报告

结论：

在模块按照与转轴 10cm 元以内时可达到 0.3° 的精度，满足要求。超过 20cm 时转轴的
计算结果超过 1° ，转角 30S 后超过 3° ，不满足要求。需要：1) 进一步优化加计和陀螺的
漂移估计，2) 已知或设法估计出模块离转轴距离，利用陀螺计算向心和切向加速度补偿加
计后可相应提高精度。

采用的原理

(1) 零位

零位时保持静止 3S 以上，根据加计计算俯仰和横滚

(2) 转轴

- (1) 快速转动一个来回，利用陀螺仪积分计算得到转轴 y_{p1}^r ；
- (2) 在转动约 20° 、 30° ， -20° 、 -30° 四处保持静止 0.5 s，利用加计计算俯仰和
横滚，用纯加计方法计算转轴 y_{p2}^r ；
- (3) 利用零位时的静止数据评价 y_{p1}^r 和 y_{p2}^r 两个转轴的精度，根据转角方差选择精
度较高者。

(4) 组合转动角度解算

- (1) 根据单自由度转动的力学模型，检测 0 加速度状态
- (2) 在 0 加速度状态，利用纯加计的转角解算方法重置组合转角解算值
- (3) 在非 0 加速度状态，采用 EKF 捷联解算计算转角

(4.1) 力学模型

捷联解算力学模型：

$$\begin{aligned}\dot{q}_w^b &= \frac{1}{2} \Omega(\omega_{ib}^b) q_w^b \\ q_r^b &= q_r^w q_w^b\end{aligned}\tag{0.1}$$

(4.2) 状态方程

采用世界坐标系下的捷联解算误差方程为状态方程：

定义姿态误差角 ϕ 为：

$$I - [\phi \times] = C_b^w C_p^b = C_p^w\tag{0.2}$$

状态量 $X = [\epsilon^T \quad \phi^T \quad y_p^{rT}]^T$ ，状态方程：

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{0} \\ \dot{\boldsymbol{\phi}} = \mathbf{R}_b^w \boldsymbol{\varepsilon} \\ \dot{\mathbf{y}}_p^r = \mathbf{0} \end{cases} \quad (0.3)$$

(4.3.1) 量测模型

量测方程根据：1) 角速度与转轴平行 2) 线速度与转轴垂直得到。

量测量：

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_r^b(t) &= \cos \frac{\alpha}{2} + \mathbf{y}_p^r \sin \frac{\alpha}{2} \\ \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_1 \\ \mathbf{Z}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} (\mathbf{C}_w^r \mathbf{C}_b^w \boldsymbol{\omega}_{ib}^b) \times \mathbf{y}_p^r \\ (\mathbf{C}_w^r \mathbf{v}_{wb}^w) \bullet \mathbf{y}_p^r \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (0.4)$$

量测方程：

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} (\mathbf{C}_w^r \mathbf{C}_b^w \boldsymbol{\omega}_{ib}^b) \times \mathbf{y}_p^r \\ (\mathbf{C}_w^r \mathbf{v}_{wb}^w) \bullet \mathbf{y}_p^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{C}_w^r (\mathbf{I} - [\boldsymbol{\phi} \times]) \mathbf{C}_b^{w,INS} \boldsymbol{\omega}_{ib}^b) \times \mathbf{y}_p^r \\ (\mathbf{C}_w^r (\mathbf{v}_{wb,INS}^w - \delta \mathbf{v})) \bullet \mathbf{y}_p^r \end{bmatrix} \quad (0.5)$$

实验数据一

转轴：

- (5) 快速转动一个来回，利用陀螺仪积分计算得到转轴：

$$\mathbf{y}_{p1}^r = (0.66966 \quad -0.74258 \quad 0.01149)$$

- (6) 在转动约 20° 、 30° ， -20° 、 -30° 四处保持静止 0.5 s，利用加计计算俯仰和横滚，用纯加计方法计算转轴：

$$\mathbf{y}_{p2}^r = (0.67397 \quad -0.73862 \quad 0.01440)$$

- (7) 利用零位时的静止数据评价 \mathbf{y}_{p1}^r 和 \mathbf{y}_{p2}^r 两个转轴的精度，方差分别为： 0.154°

和 0.103° 。选择 \mathbf{y}_{p2}^r 为转轴。

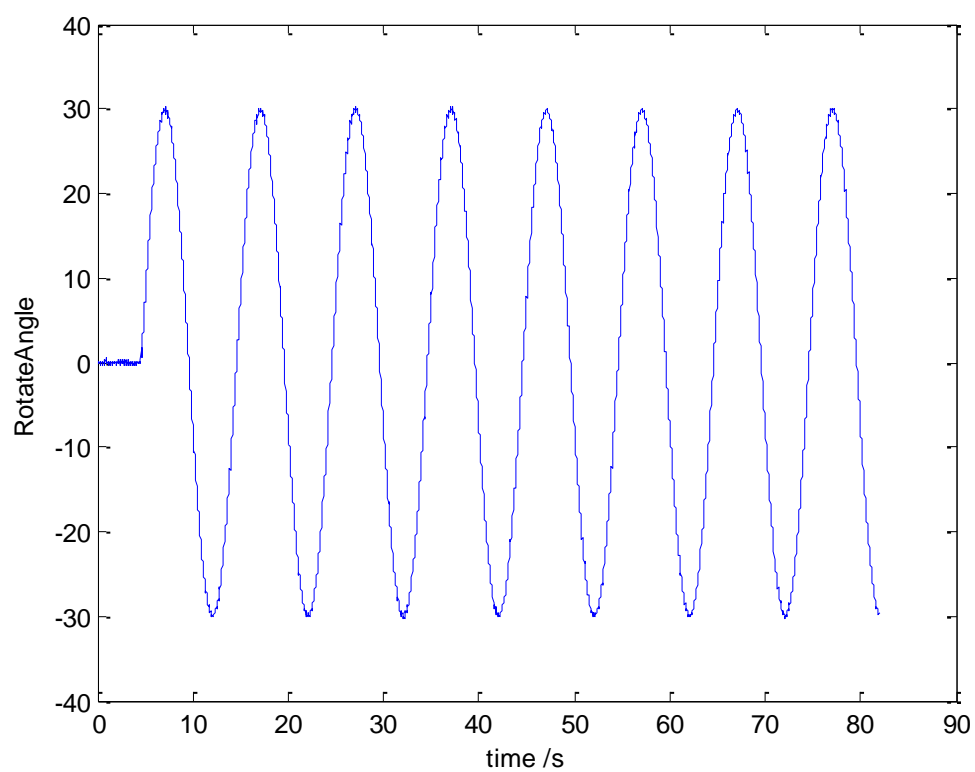


图 1 转角解算结果

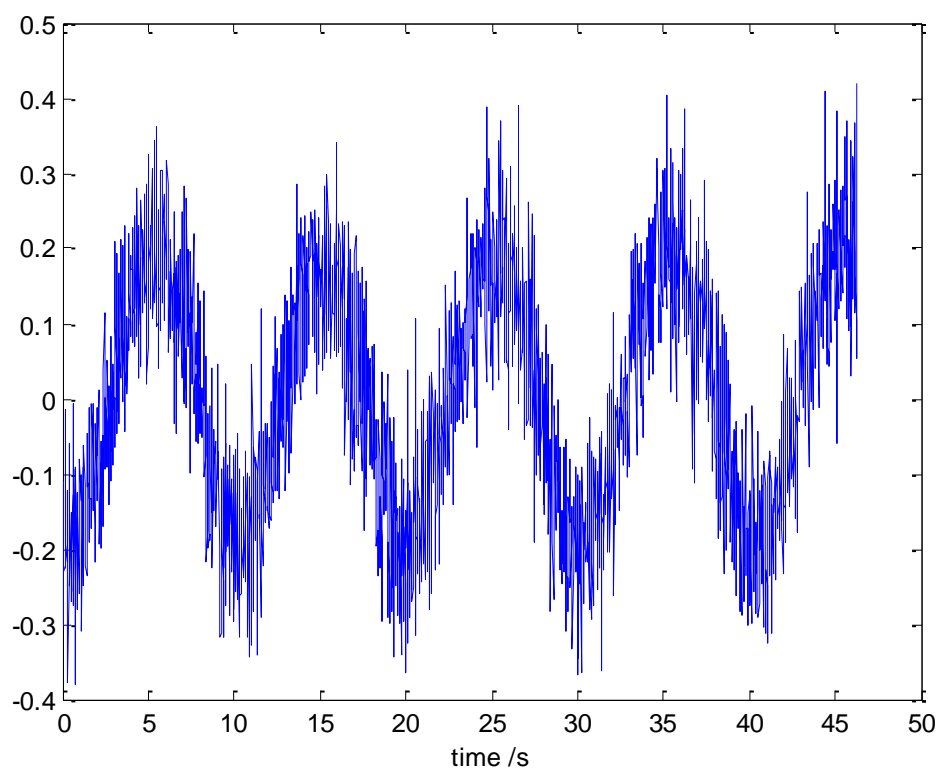


图 2 转角误差解算结果

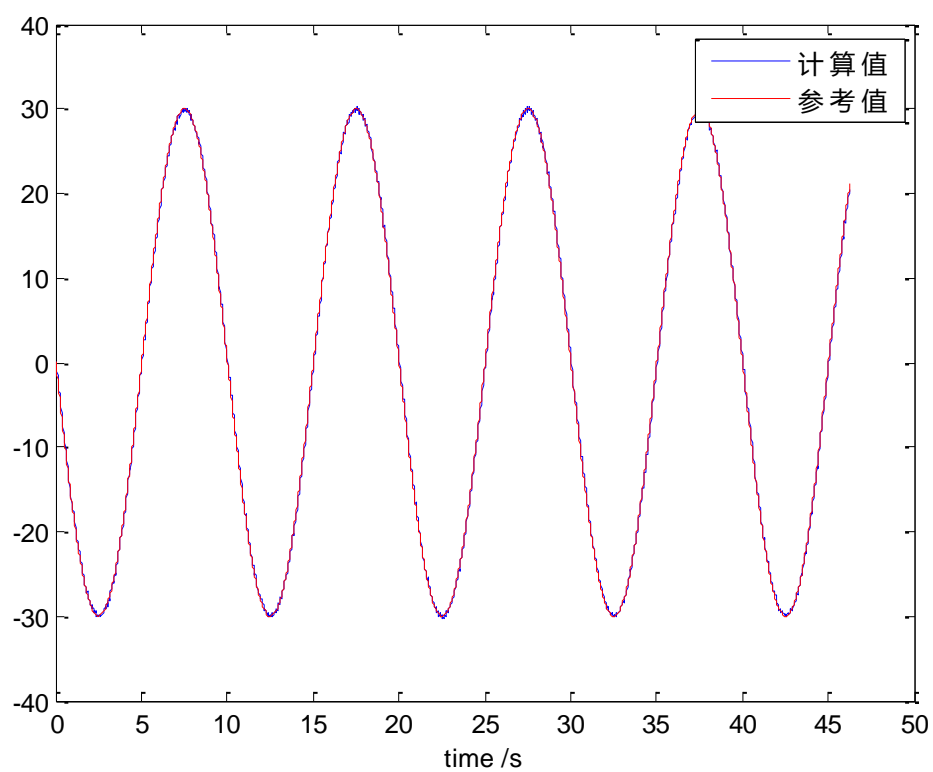


图 3 转角与参考角度比较