

捷联式惯性导航系统



主讲人：奔粤阳

捷联式惯性导航系统

捷联英文原意为 “*Strap-down*” ， 即 “捆绑” 的意思。



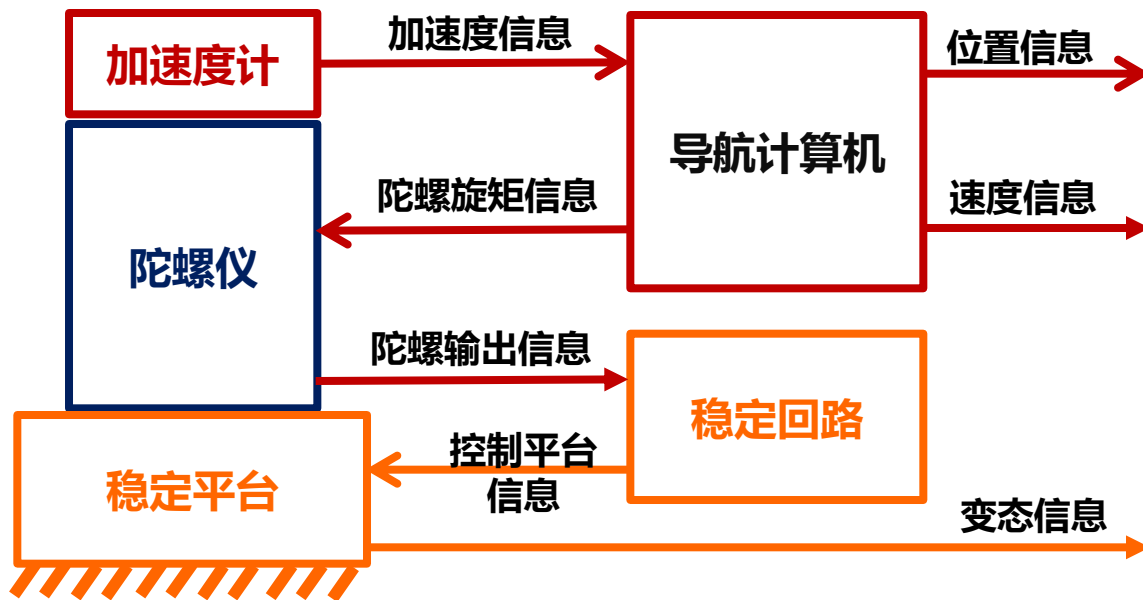
捷联式惯性导航系统

捷联英文原意为 “*Strap-down*” , 即 “捆绑” 的意思。

捷联式惯导系统方案的根本特点:

将陀螺仪组件和加速度计组件直接固定连于运载体上,
不再采用电气机械式平台。

平台式惯导系统原理框图



捷联式惯性导航系统

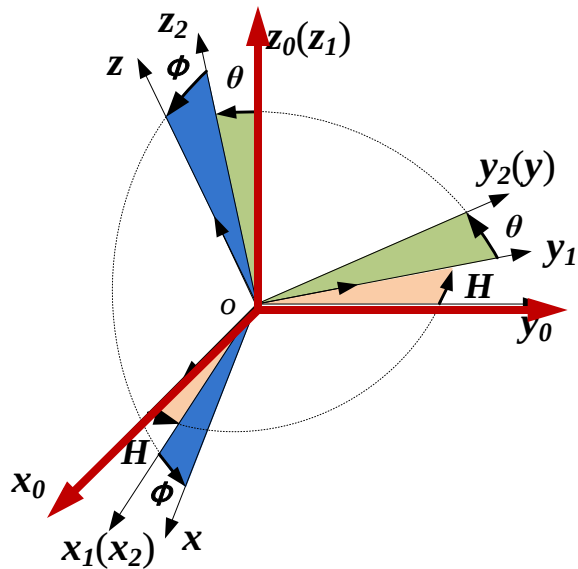
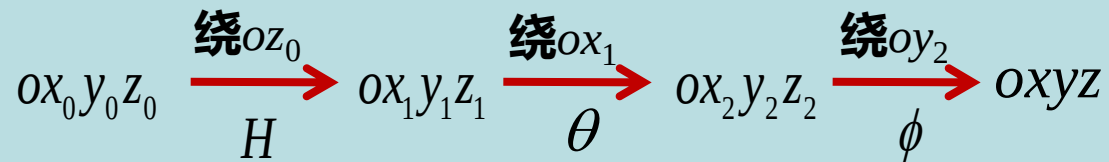
捷联式惯性导航系统特点

- 由于将陀螺仪和加速度计直接固连于运载体，省去复杂的框架系统、电气稳定系统及接触滑环等，所以其可靠性高于平台式惯导系统。
- 由于直接将惯性元件固连在运载体上，所以惯性元件测量范围大，工作环境恶劣，要求苛刻，要求惯性元件的动态特性要好。

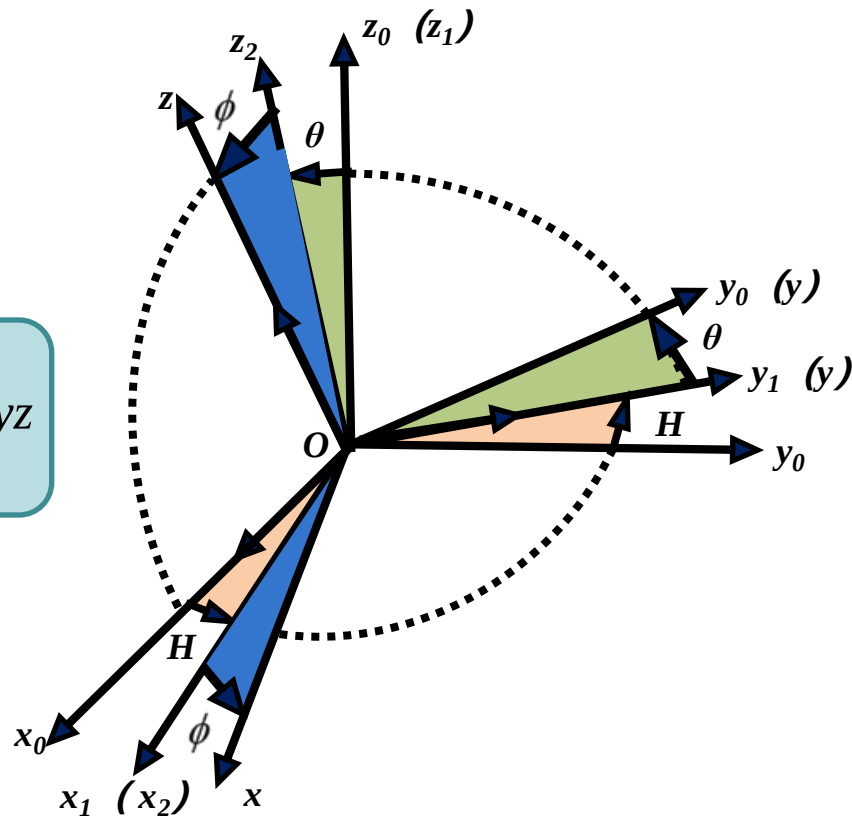
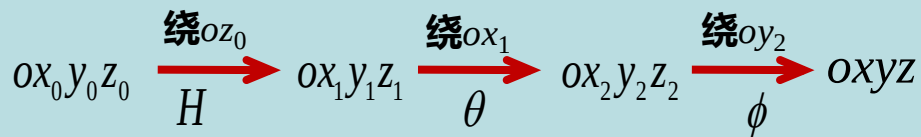
捷联式惯性导航系统

➤ 捷联姿态矩阵

地理坐标系 $ox_0y_0z_0$ 与载体坐标系 $ox_1y_1z_1$ 之间的关系，可以用三个转动欧拉角来表示：



捷联式惯性导航系统



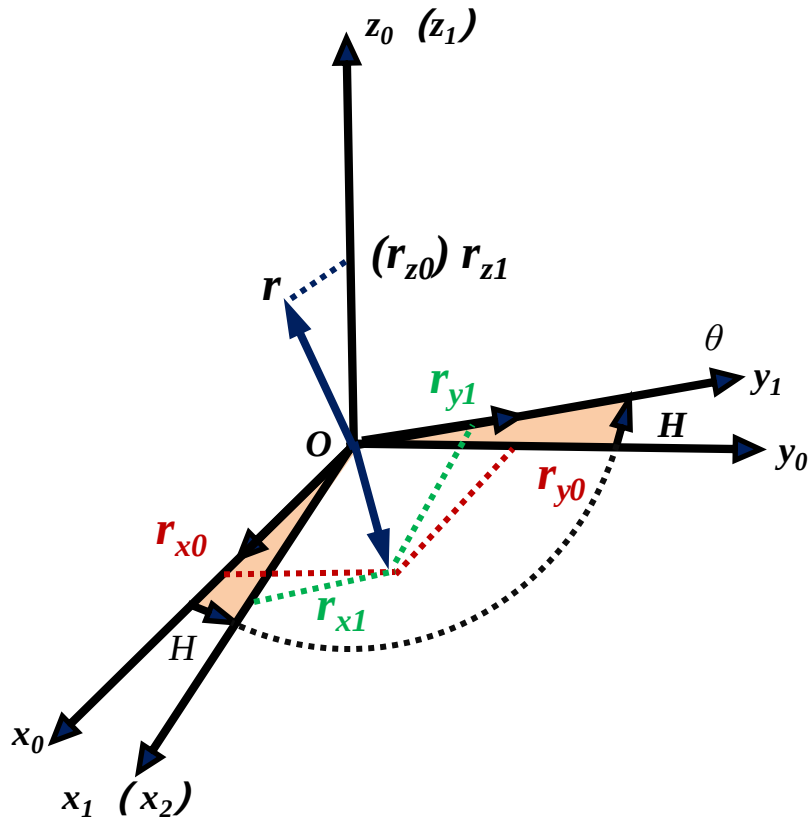
捷联式惯性导航系统

➤ 捷联姿态矩阵

$$Ox_0y_0z_0 \xrightarrow[\substack{\text{绕}oz_0 \\ H}]{\text{}} Ox_1y_1z_1$$

$$\left. \begin{aligned} r_{x_1} &= r_{x_0} \cos H + r_{y_0} \sin H \\ r_{y_1} &= -r_{x_0} \sin H + r_{y_0} \cos H \\ r_{z_1} &= r_{z_0} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{TheFirstTurn: } \begin{bmatrix} \cos H & \sin H & 0 \\ -\sin H & \cos H & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

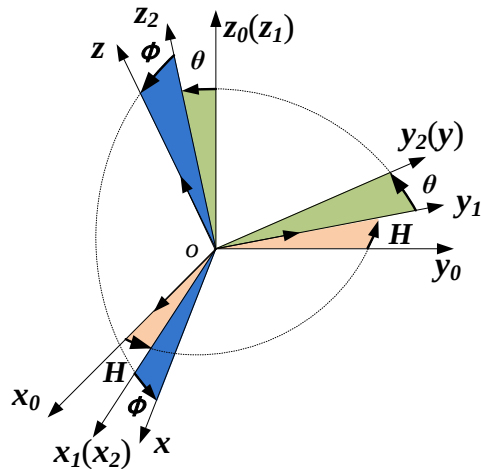


捷联式惯性导航系统

➤ 捷联姿态矩阵

$$T_b^t = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos H - \sin \theta \sin \phi \sin H & -\cos \phi \sin H & \sin \theta \cos H + \cos \theta \sin \phi \sin H \\ \cos \theta \sin H + \sin \theta \sin \phi \cos H & \cos \phi \cos H & \sin \theta \sin H - \cos \theta \sin \phi \cos H \\ -\sin \theta \cos \phi & \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

- 纵摇角—— θ
- 横摇角—— ϕ
- 航向角—— H



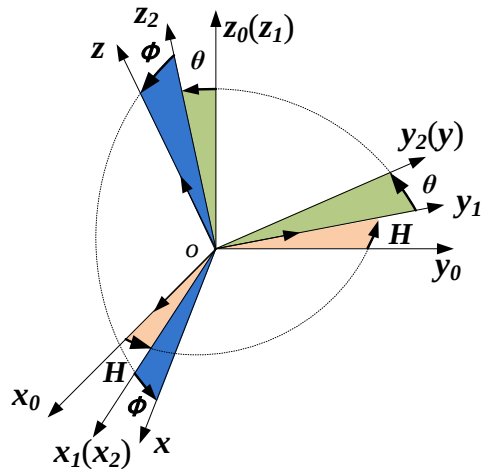
捷联式惯性导航系统

➤ 捷联姿态矩阵

$$T_b^t = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos H - \sin \theta \sin \phi \sin H & -\cos \phi \sin H & \sin \theta \cos H + \cos \theta \sin \phi \sin H \\ \cos \theta \sin H + \sin \theta \sin \phi \cos H & \cos \phi \cos H & \sin \theta \sin H - \cos \theta \sin \phi \cos H \\ -\sin \theta \cos \phi & \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

作用1：姿态和航向的求解

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \left(-\frac{T_{31}}{T_{33}} \right) \quad \phi = \sin^{-1}(T_{32}) \quad H = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{-T_{12}}{T_{22}} \right)$$



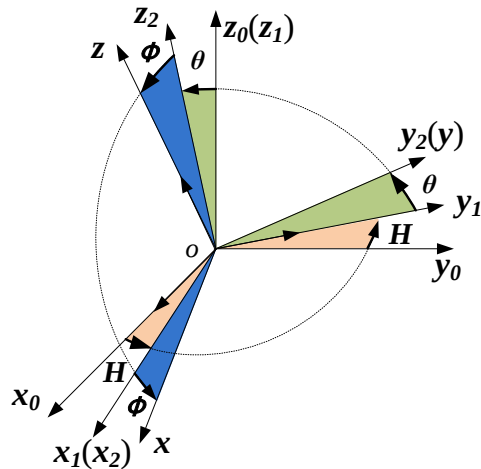
捷联式惯性导航系统

➤ 捷联姿态矩阵

$$T_b^t = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos H - \sin \theta \sin \phi \sin H & -\cos \phi \sin H & \sin \theta \cos H + \cos \theta \sin \phi \sin H \\ \cos \theta \sin H + \sin \theta \sin \phi \cos H & \cos \phi \cos H & \sin \theta \sin H - \cos \theta \sin \phi \cos H \\ -\sin \theta \cos \phi & \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

作用2：比力矢量投影变换

$$f^T = T_b^t \cdot f^b$$



捷联式惯性导航系统

➤ 欧拉角法——捷联姿态矩阵的求取

$$\bar{\omega}_{pb} = \bar{\omega} = \dot{H} + \dot{\phi} + \dot{\theta}$$



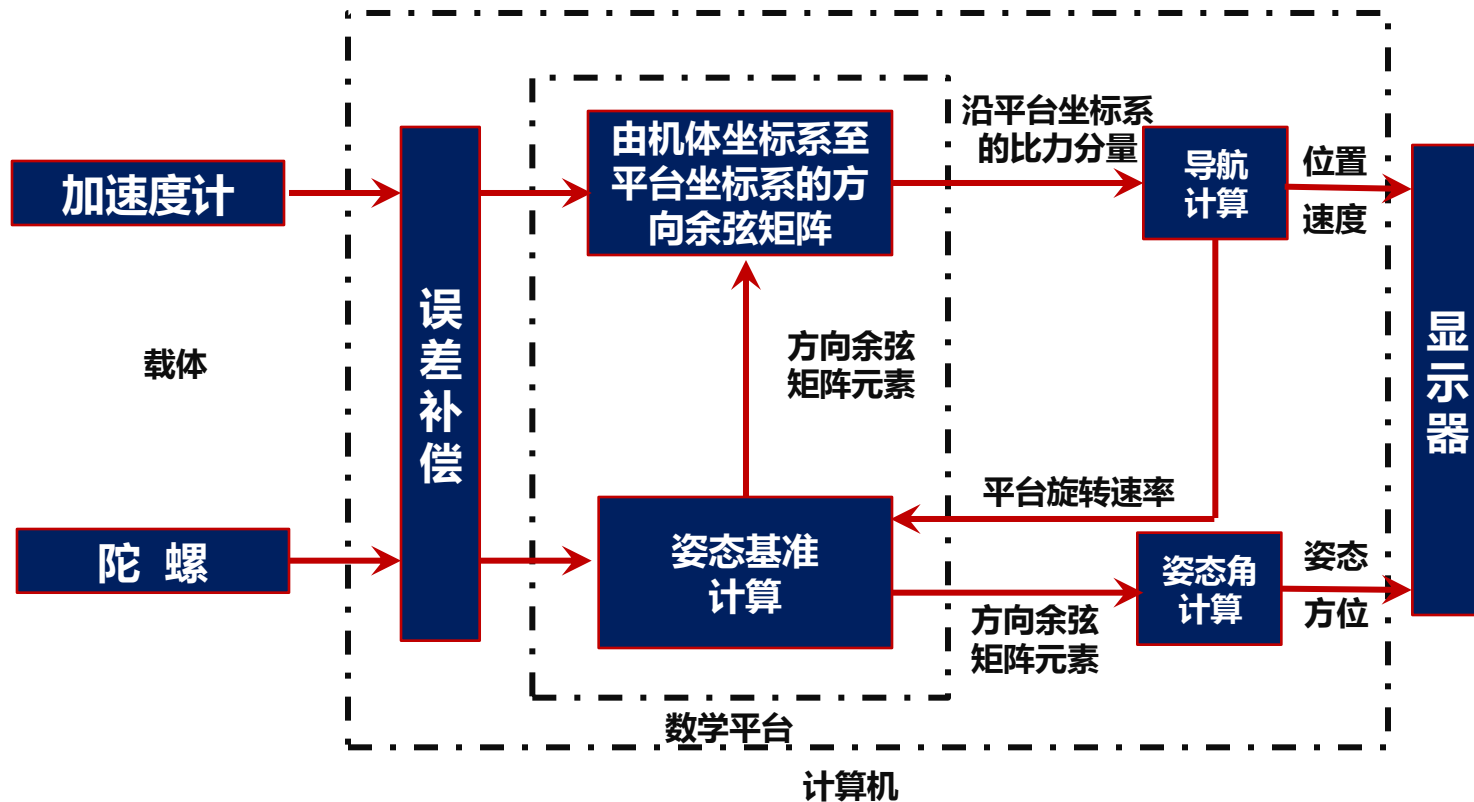
$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{H} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta \cos \phi & \cos \theta & 0 \\ \sin \phi & 0 & 1 \\ \cos \theta \cos \phi & \sin \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{H} \end{bmatrix}$$

$$\text{纵摇横摇航向角} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{H} \end{bmatrix} = \frac{1}{\cos \phi} \begin{bmatrix} -\sin \theta & 0 & \cos \theta \\ \sin \phi & 0 & \sin \theta \cos \phi \\ \sin \phi \sin \theta & \cos \theta & -\sin \phi \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad \text{载体相对地理坐标系角速度}$$

捷联式惯导系统工作原理

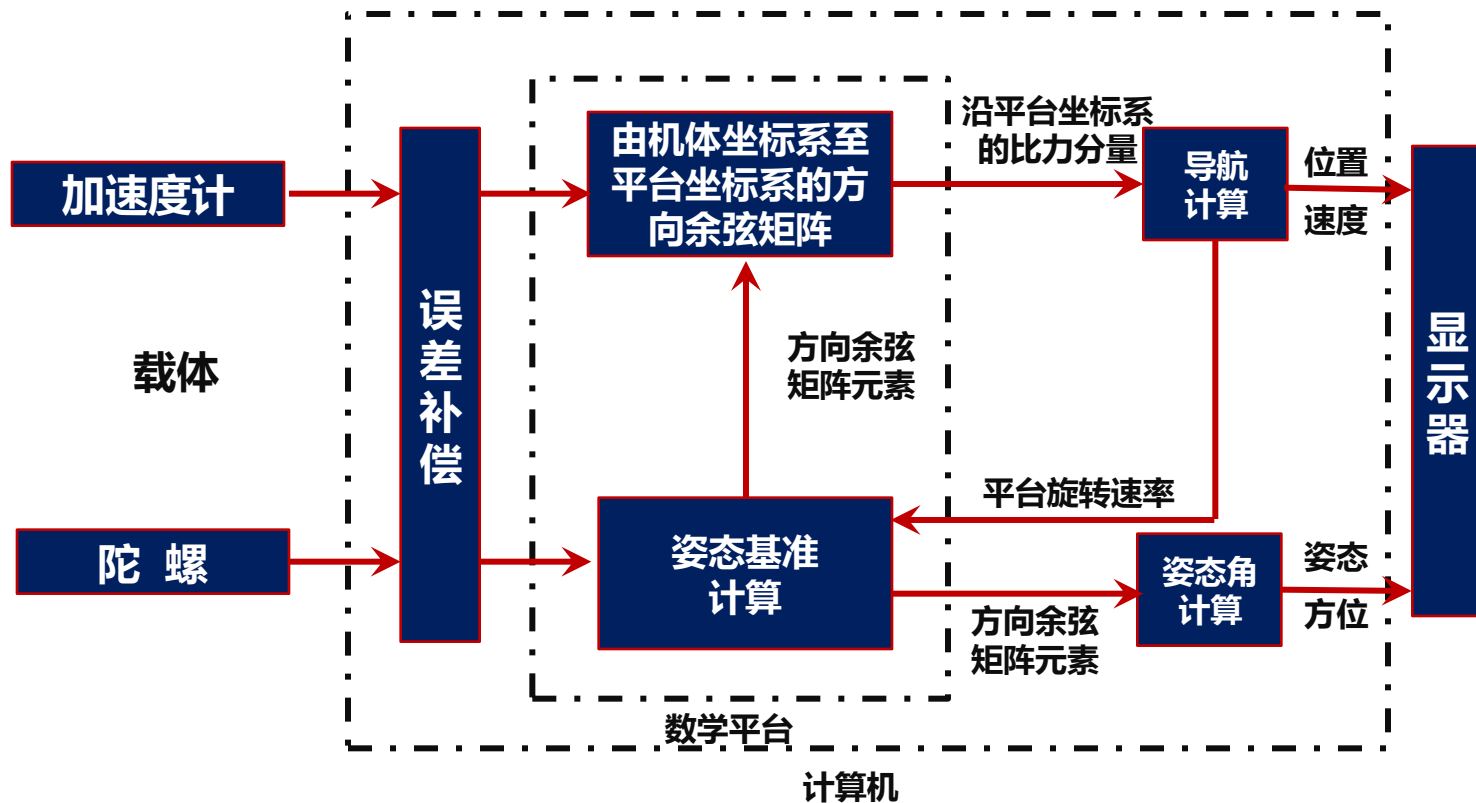


捷联式惯性导航系统

➤ 惯导系统中平台的作用：

- 1、给加速度计提供测量基准
- 2、平台隔离惯性元件与运载体角运动
- 3、从框架轴拾取运载体姿态角信息

捷联式惯导系统工作原理



捷联式惯性导航系统

➤ 计算机中捷联算法所执行的主要任务是：

姿态更新算法

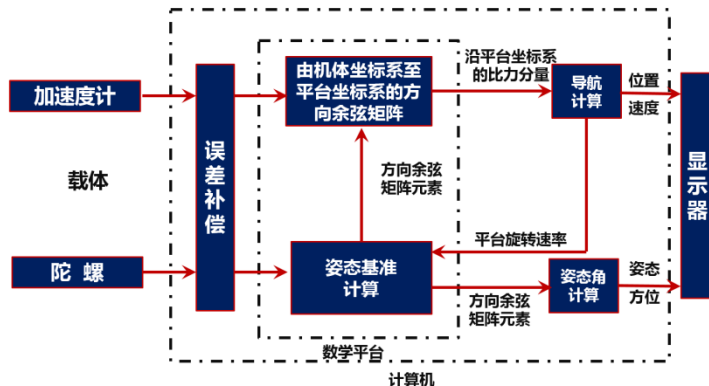
利用角速度或角增量进行姿态计算。

速度更新算法

建立姿态基准，利用姿态基准把测得的加速度或速度增量转化到导航坐标系中，且在导航坐标系中进行速度更新。

位置更新算法

完成速度到位置的计算。



捷联式惯性导航系统



从算法的角度看，捷联式惯导系统必须根据陀螺输出的角速度或角增量计算维持一个数学平台。