

*Besprechung der Übung am 25.06.2024*

### Aufgabe 1 (10 Punkte)

Verwenden Sie nun die Fehlgleichung (6.5) aus Vorlesung VO06 zur Schätzung des 15-stufigen Zustandsvektors mit Position-, Geschwindigkeit-, Orientierungsfehler, sowie der Sensorfehler von Beschleunigungsmesser und Gyroskop mithilfe eines Kalmanfilters. Bringen Sie mit der vorgegebenen Update-Rate jeweils die geschätzten Positions- und Geschwindigkeitsfehler als Korrektur vor der Integration an (closed-loop Methode).

- i) Untersuchen Sie die Positionsfehler für folgende Fälle:
  - Update mit Positionen und Geschwindigkeiten alle 1 Sekunde
  - Update mit Positionen und Geschwindigkeiten alle 5 Sekunden
  - Update mit Positionen und Geschwindigkeiten alle 20 Sekunden
- ii) Stellen Sie Ihre Ergebnisse grafisch dar und diskutieren Sie die Qualität Ihrer Filter-Navigationslösung, u.a. durch Betrachtung der Kovarianzmatrix, geschätzten Zustände.

Hinweise:

- Es werden neue Daten aus ILIAS verwendet. **PVA-REF.csv** dient nur zur Überprüfung.
- Verwenden Sie als Startwert die GNSS Beobachtung und die Orientierung aus der Referenz
- Verwenden Sie einen Gauss-Markov Prozesses mit einer Korrelationslänge von  $\tau = 3 \times 10^3$  s und einer Standardabweichung des Accelerometer Bias Rauschen von  $1 \times 10^{-4}$  m s $^{-2}$  und Gyro Bias Rauschen von  $1 \times 10^{-5}$  rad s $^{-1}$
- Als Startwerte für die Kovarianzmatrix können Sie die Standardabweichungen auf folgende Werte setzen: Position  $1 \times 10^{-1}$  m, Geschwindigkeit  $1 \times 10^{-1}$  m s $^{-1}$ , Orientierung  $1 \times 10^{-2}$ °, Accelerometer Bias  $1 \times 10^{-1}$  m s $^{-2}$ , Gyroscope Bias  $1 \times 10^{-1}$ ° s $^{-1}$
- Um die Positionsfehler zu "beobachten", berechnen Sie die Differenz zwischen wahrer Position (in ECEF) und der vorwärts integrierten Position. Die Differenz ist dann Ihre "Beobachtung" für den Positionsfehler  $\delta\mathbf{x}$ . Geschwindigkeit analog.
- Verwenden Sie die folgenden Unsicherheiten der Messungen

	Einheit	Standardabweichung		
Position	[m]	2.0	4.0	3.0
Geschwindigkeit	[m/s]	$2.0 \times 10^{-1}$	$4.0 \times 10^{-1}$	$2.0 \times 10^{-1}$
Beschleunigungen	[m/s $^2$ ]	$1.0 \times 10^{-1}$	$2.0 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10^{-1}$
Drehraten	[rad/s]	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$

- Bei der Simulation der Daten wurden folgende Bias Werte simuliert. Dies soll Ihnen nur zur Überprüfung Ihrer Resultate dienen, jedoch nicht in der Berechnung verwendet werden.

	Einheit	Bias		
Beschleunigungen	[m/s $^2$ ]	$1.0 \times 10^{-2}$	$-2.0 \times 10^{-2}$	$4.0 \times 10^{-2}$
Drehraten	[rad/s]	$1.0 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-2}$	$-2.0 \times 10^{-2}$

Data 累积时间 300s

IMU

datarate = 0.02s

$\alpha_x \alpha_y \alpha_z$   $g_x g_y g_z$   
m/s<sup>2</sup> rad/s

$W_e^e$

$D_{\omega}^e$

Kalman Filter

$$A = \begin{bmatrix} -F & G W G^T \\ 0 & F^T \end{bmatrix}_{st}$$

$$\bar{\Phi} = B_{22}^{-T} \quad Q = \bar{\Phi} \cdot B_{12}$$

VOOT

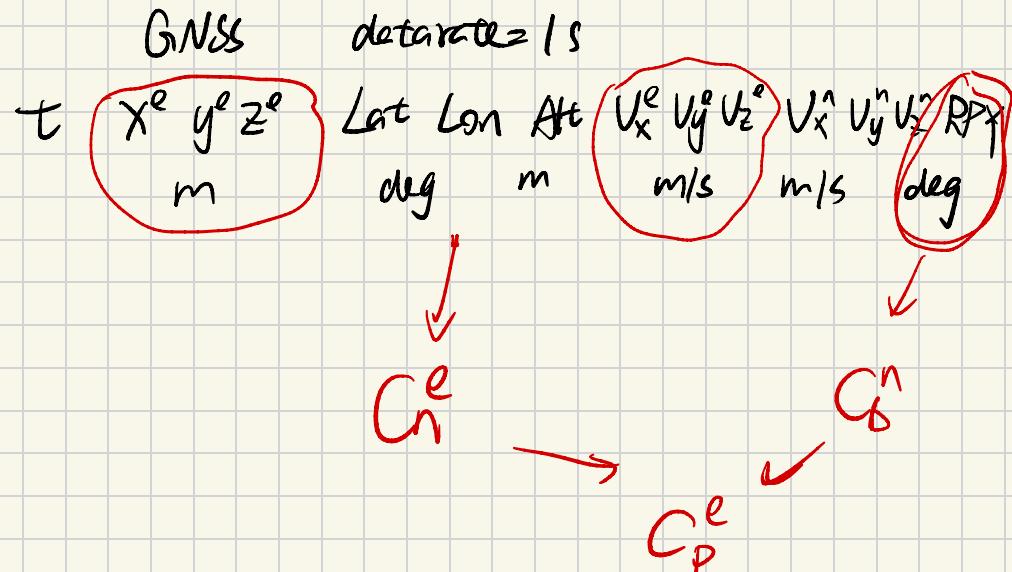
$$\hat{x}_{n-1} = \bar{\Phi}_{n-1} \cdot \hat{x}_{n-2}$$

$$P_{n-1} = \bar{\Phi}_{n-1} \cdot P_{n-1} \cdot \bar{\Phi}_{n-1}^T + Q$$

$$K_n = P_{n-1} \cdot H_n^T (H_n P_{n-1} H_n^T + R_n)^{-1}$$

$$\hat{x}_n = \hat{x}_{n-1} + K_n (\bar{z}_n - H_n \hat{x}_{n-1})$$

$$P_n = (I - K_n H_n) \cdot P_{n-1}$$



$$B = \exp(A)$$

$$B = \begin{bmatrix} \dots & | & \bar{\Phi}^T Q \\ 0 & | & \bar{\Phi}^T \end{bmatrix}$$

Pynsys V0.5 5.4 ~ 5.8

$\Rightarrow B_{12}$

$B_{22}$

但是我们需要先求

F G W

我们这KF预测的不是位置而是位置的误差

这里Lamda 使用 VanLoon 3281

$$\text{首先根据 } V_{ab} \text{ b.5 } F = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 & 0 & 0 \\ -D_{ie}^e & -2D_{ie}^e & A^e & C_p^e & 0 \\ 0 & 0 & -D_{ie}^e & 0 & -C_p^e \\ 0 & 0 & 0 & F_a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_w \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 8x^e \rightarrow 3 \\ 8v^e \rightarrow 3 \\ \psi^e \rightarrow 3 \\ 8a_p^p \rightarrow 3 \\ \delta w_f^f \rightarrow 3 \end{bmatrix} \quad 15\text{f}$$

number

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ G_a & 0 \\ 0 & G_w \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} w_a \\ w_w \end{bmatrix}$$

$$d^e = C_p^e \cdot a_p$$

$$A^e = \text{One 2 One } (a^e) \text{ 和 } w_{ie}^e \rightarrow D_{ie}^e \text{ 是 } 4 \times 4$$

$$F_a = -\beta \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

? 不知道为什么

$$\beta = \frac{1}{T} \quad T = 3000s$$

$$G_a = \sqrt{\text{Bias } R_a \cdot \beta} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_w = \sqrt{\text{Bias } R_g \cdot \beta} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$1 \times 10^{-4}$        $1 \times 10^{-5}$  题里给的

先得到了  $\bar{x}$  和  $Q$

V007

$$\hat{x}_{n-1} = \bar{x}_{n-1} \cdot \hat{X}_{n-1}$$

$$P_{n-1} = \bar{x}_{n-1} \cdot P_{n-1} \cdot \bar{x}_{n-1}^T + Q$$

$$K_n = P_{n-1} \cdot H_n^T (H_n P_{n-1} H_n^T + R_n)^{-1}$$

$$\hat{x}_n = \hat{x}_{n-1} + K_n (z_n - H_n \hat{x}_{n-1})$$

$$P_n = (I - K_n H_n) \cdot P_{n-1}$$

我们这里KF预测的不是位置而是位置的误差

所以  $\hat{x}_{nn}$  是误差的状态向量

初始值  $\hat{x}_{nn}$  可以随便给个数反正都会被修正

$P_{nn}$  是  $X_{nn}$  的协方差矩阵，我们认为这误差不相关，所以

wir gut die Zustand geht

$$P_{nn} = \text{diag} \left( [10^{-1} \text{m} \quad 10^{-1} \text{m} \quad 10^{-2} \text{°} \quad 10^{-1} \text{m/s}^2 \quad 1^{\circ}/\text{s}]^2 \right)$$

↓  
对角阵

是里边的数据  
使用差

$Z_n$  是观测量 Beobachtung，我们认为的是 GNSS 和 IMU 的差值，但前提是它必须在这个时间点有数据。

$$Z_n = \begin{bmatrix} P_G - P_{imu} \\ V_G - V_{imu} \end{bmatrix} \rightarrow \text{这个哪来的？或者现在只有 IMU 呢？使用 RK3。}$$

也就是说当 GNSS 和 IMU 都有数据的时候，我们把差值作为记忆下来。  
如果只有 IMU，那我们用 KF 估计这个差值，直到下一次更新，更新后重置。  
再把这个估计的差值 + IMU 观测值给 RK3 作导航。

为什么要用 KF 估计误差？不能直接估计位置吗？