

Fusão de Informação em Análise de Dados

Projeto - I

Objetivo: Pretende-se aplicar filtros de Kalman multidimensionais na fusão de dados de sensores em sistemas não-lineares, *Extended Kalman Filter (EKF)* e *Unscented Kalman Filter (UKF)*, para obter a estimativa da localização de um robot.

Introdução

Este projeto pretende aplicar os filtros de *Kalman* EKF e UKF para a localização de um robot, sendo este representado por um modelo não-linear. Considera-se que o robot possui um sensor de velocidade, um giroscópio e um sensor de GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Enquadramento

Aplicando os filtros de *Kalman* EKF e UKF para a fusão dos dados dos sensores de um dado robot, pretende-se obter com a simulação da sua localização, um resultado semelhante ao representado na Figura 1.

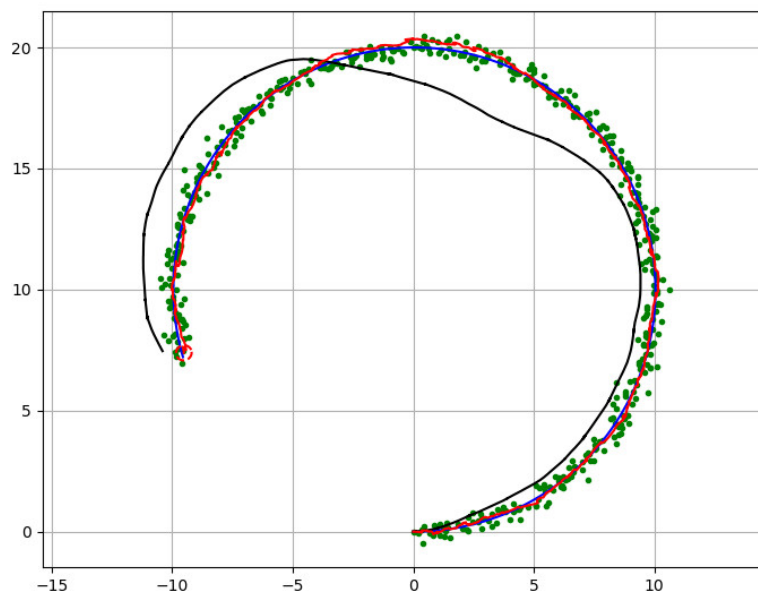


Figura 1. Representação da trajetória de um robot, usando para estimação da sua localização com os Filtros de *Kalman* EKF ou UKF.

Nesta figura, a linha azul é a trajetória verdadeira, a linha preta é a trajetória por posicionamento relativo (*dead-reckoning*), os pontos verdes correspondem à observação do posicionamento do robot (por exemplo com GPS) e a linha vermelha é a trajetória estimada com o EKF ou UKF. A elipse vermelha a tracejado, apresentada em cada iteração, representa a elipse de covariância estimada.

- *Modelo dinâmico do robot*

Nesta simulação, o vetor de estados do robot tem os seguintes 4 estados no instante k :

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \phi_k \\ v_k \end{bmatrix}$$

em que x e y é a posição x - y 2D do robot, ϕ é a orientação e v é a velocidade.

Dado que o robot possui um sensor de velocidade e um giroscópico, o vetor de entrada em cada instante k é representado por:

$$\mathbf{u}_k = \begin{bmatrix} v_k \\ \omega_k \end{bmatrix}$$

Além disso, o robot possui um sensor GNSS, permitindo observar a sua posição x - y em cada instante de tempo k :

$$\mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix}$$

Considera-se que os vetores de entrada e de observação incluem ruído associado aos respetivos sensores.

O modelo do robot pode ser representado por:

$$\dot{\phi} = \omega$$

Assim, o modelo não-linear dinâmico do robot no espaço de estados dinâmico vem dado por:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k$$

em que:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \cos(\phi)\Delta t & 0 \\ \sin(\phi)\Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

e Δt é o passo temporal.

A correspondente matriz Jacobiana resulta em:

$$\mathbf{J}_A = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial y} & \frac{\partial x}{\partial \phi} & \frac{\partial x}{\partial v} \\ \frac{\partial y}{\partial x} & \frac{\partial y}{\partial y} & \frac{\partial y}{\partial \phi} & \frac{\partial y}{\partial v} \\ \frac{\partial \phi}{\partial x} & \frac{\partial \phi}{\partial y} & \frac{\partial \phi}{\partial \phi} & \frac{\partial \phi}{\partial v} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial \phi} & \frac{\partial v}{\partial v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -v \sin(\phi)\Delta t & \cos(\phi)\Delta t \\ 0 & 1 & v \cos(\phi)\Delta t & \sin(\phi)\Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

O robot pode obter informação sobre a sua posição x - y a partir do sensor GNSS, obtendo-se o seguinte modelo de observação:

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{C}\mathbf{x}_k + \mathbf{r}_k$$

em que:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A respetiva matriz Jacobiana é dada por:

$$\mathbf{J}_c = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial y} & \frac{\partial x}{\partial \phi} & \frac{\partial x}{\partial v} \\ \frac{\partial y}{\partial x} & \frac{\partial y}{\partial y} & \frac{\partial y}{\partial \phi} & \frac{\partial y}{\partial v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tarefas do Projeto:

Considerando o enquadramento apresentado, efetuar as seguintes tarefas (em MATLAB ou em Python):

1. Criar uma função que implementa o modelo dinâmico do robot;
2. Criar uma função que implementa o modelo de observação;
3. Criar uma função que representa a aquisição de dados dos sensores;
4. Criar uma função que implementa o *Extended Kalman Filter* (EKF);
5. Criar uma função que implementa o *Unscented Kalman Filter* (UKF);
6. Especificar os vários parâmetros dos filtros e de simulação do robot;
7. Simular o movimento do robot e representar dinamicamente a sua localização, considerando as trajetórias e a elipse indicadas na Figura 1.

Organização e Materiais a entregar:

O Projeto deve ser desenvolvido em grupos de dois elementos.

Além do código, deverá entregar um relatório (poderá usar um Jupyter Notebook para integrar o código e o relatório) onde indique os passos principais da aplicação de cada um dos filtros e apresente e discuta comparativamente os resultados obtidos, usando, por exemplo, um indicador como o *Root Mean Square Error* (RMSE).

O relatório e o código do projeto deverão ser submetidos no inforestudante dentro do prazo estipulado.