



Tính toán vị trí máy bay kết hợp giữa IMU và DME sử dụng bộ lọc Kalman

Giảng viên: TS. Vũ Nghĩa Bắc

Thành viên: Vũ Đức Lương, Nguyễn Trọng Khánh Huy,
Đỗ Hải Long, Đỗ Minh Hiếu, Phạm Quang Huy

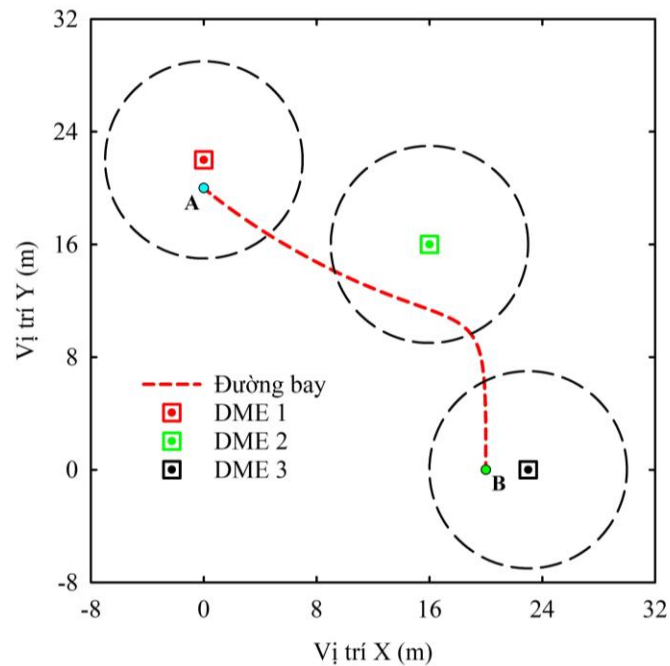
Ha Noi - 2024

Bài toán và hướng giải quyết

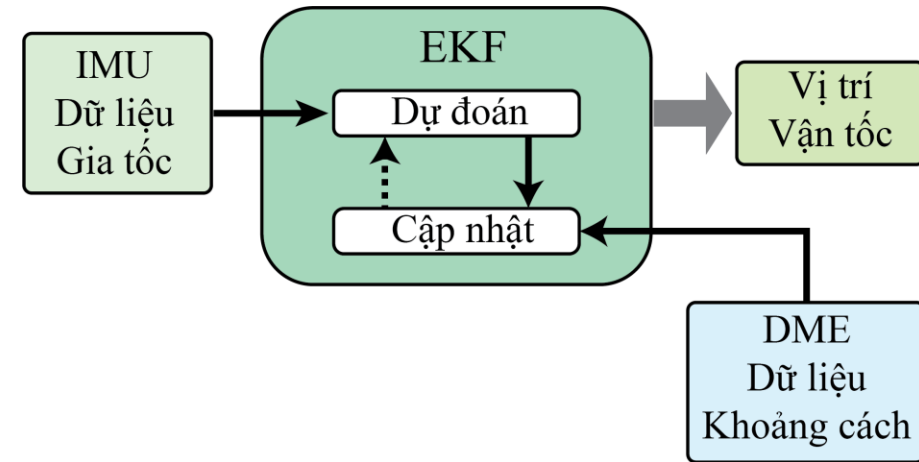
UAV bay từ điểm A đến điểm B, trên đường bay có sử dụng cảm biến đo khoảng cách đến các trạm DME vùng phủ của các trạm này không chồng lấn lên nhau và nằm rải rác trên đường bay.



Thiết kế bộ lọc Kalman để tính toán vị trí máy bay khi bay từ điểm A đến điểm B.



Hình 1: Kịch bản đường bay và phân bố các trạm DME



Hình 2: Mô hình kết hợp dữ liệu DME và IMU cho bộ lọc Kalman.

Sử dụng Simulink để thực hiện mô phỏng, trong đó cần tạo các khối:

- Khối động học (tạo kịch bản đường đi, trả về vị trí, gia tốc thực)
- Khối DME (trả về khoảng cách 2D từ trạm đến máy bay)
- Khối IMU có sai số bias (trả về gia tốc, vị trí)
- Khối Extended Kalman

Khối động học

Các hệ số của đa thức được lựa chọn sao cho $s(0)=0$; $s(1)=1$
Các thành phần hệ số đa thức, vị trí, vận tốc là ma trận 2×1

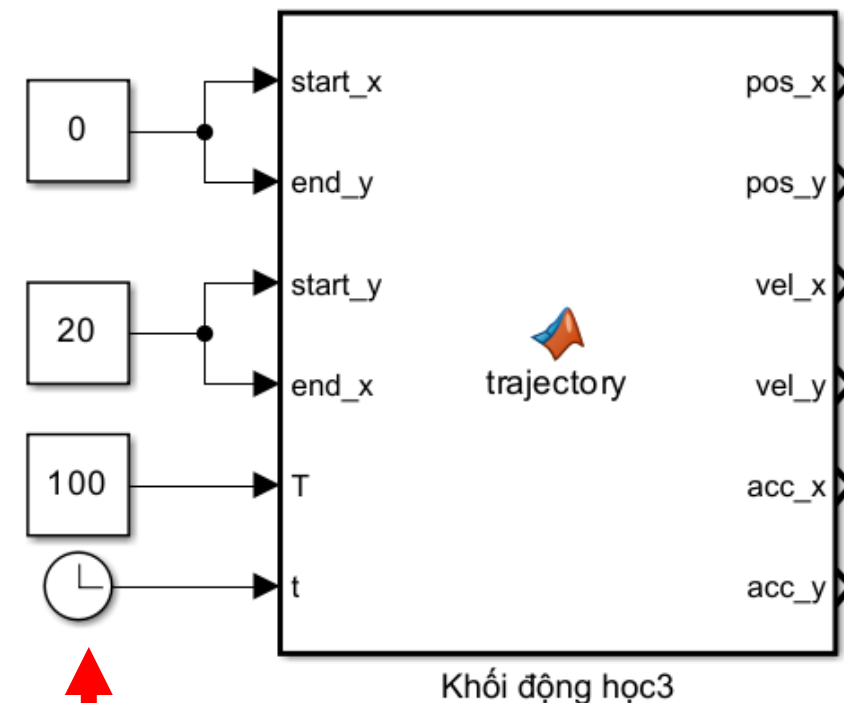
$$t_{norm} = \frac{t}{T} \quad (1)$$

$$s(t_{norm}) = a_0 + a_1 t_{norm} + a_2 t_{norm}^2 + a_3 t_{norm}^3 + a_4 t_{norm}^4 + a_5 t_{norm}^5 \quad (2)$$

$$s'(t_{norm}) = \frac{1}{T} (a_1 + 2a_2 t_{norm} + 3a_3 t_{norm}^2 + 4a_4 t_{norm}^3 + 5a_5 t_{norm}^4) \quad (3)$$

$$s''(t_{norm}) = \frac{1}{T^2} (2a_2 + 6a_3 t_{norm} + 12a_4 t_{norm}^2 + 20a_5 t_{norm}^3) \quad (4)$$

$$\begin{cases} pos(t) = p_{start} + (p_{end} - p_{start})s(t_{norm}) \\ vel(t) = (p_{end} - p_{start})s'(t_{norm}) \\ acc(t) = (p_{end} - p_{start})s''(t_{norm}) \end{cases} \quad (5)$$



Input: Điểm bắt đầu
Điểm kết thúc
Đồng hồ
Tổng thời gian mô phỏng

Output: Thành phần vận tốc x, y
Thành phần gia tốc x, y
Thành phần vị trí x, y

Khối DME

Công thức tính khoảng cách tới trạm DME:

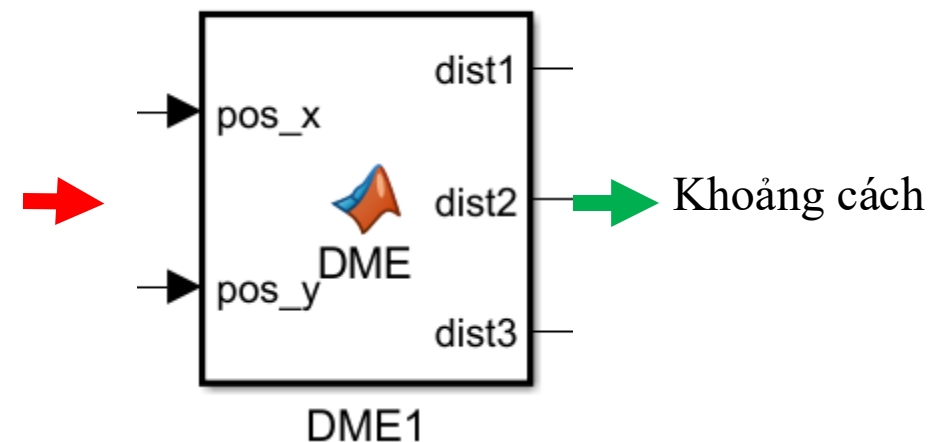
$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}; (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

Trong đó: x, y là vị trí máy bay

x_i, y_i là vị trí trạm DME thứ i (được định nghĩa trong function)

d_i là khoảng cách từ máy bay tới trạm thứ i

Vị trí x, y
được lấy từ
đầu ra khối
động học



Phạm vi đo được của mỗi trạm DME được giới hạn bởi bán kính phủ sóng r .
Nếu khoảng cách d_i vượt quá bán kính phủ sóng r , DME sẽ trả về giá trị NaN.

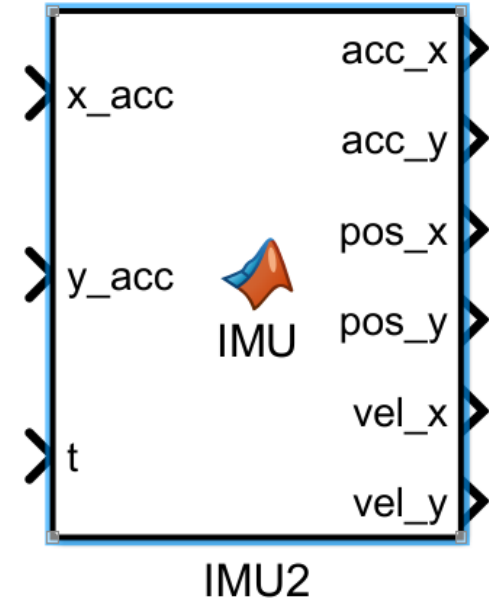
Khối IMU

Sai số tích lũy:

$$\begin{cases} \delta v_i = \delta v_{xo} + B_{ax} t + g \delta \theta_o t - g B_{gy} t^2 \\ \delta p_i = \delta p_{xo} + \delta v_{ox} t + \frac{1}{2} B_{ax} t^2 - \frac{1}{2} g \delta \theta_o t^2 - \frac{1}{6} g B_{gy} t^3 \end{cases}; (i = 1, 2, 3, \dots, t) \quad (5)$$

Tích phân lấy vị trí và vận tốc:

$$\begin{cases} a_B = a + B_{ax} \\ v_i = (v_{i-1} - \delta v_{i-1}) + a_B \Delta t + \delta v_i \\ p_i = (p_{i-1} - \delta p_{i-1}) + (v_{i-1} - \delta v_{i-1}) \Delta t + 0.5 a_B \Delta^2 t \end{cases}; (i = 1, 2, 3, \dots, t) \quad (6)$$



Khối Kalman extended

Dự đoán

$$X_{pred} \begin{bmatrix} \text{pos}_{x, \text{pred}} \\ \text{pos}_{y, \text{pred}} \\ \text{vel}_{x, \text{pred}} \\ \text{vel}_{y, \text{pred}} \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} 1 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot X_{est} \begin{bmatrix} \text{pos}_{x, \text{est}} \\ \text{pos}_{y, \text{est}} \\ \text{vel}_{x, \text{est}} \\ \text{vel}_{y, \text{est}} \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} 0.5dt^2 & 0 \\ 0 & 0.5dt^2 \\ dt & 0 \\ 0 & dt \end{bmatrix} \cdot a_B \begin{bmatrix} imu_acc_x \\ imu_acc_y \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$P_{pred} = F \cdot P_{est} F^T + Q$$

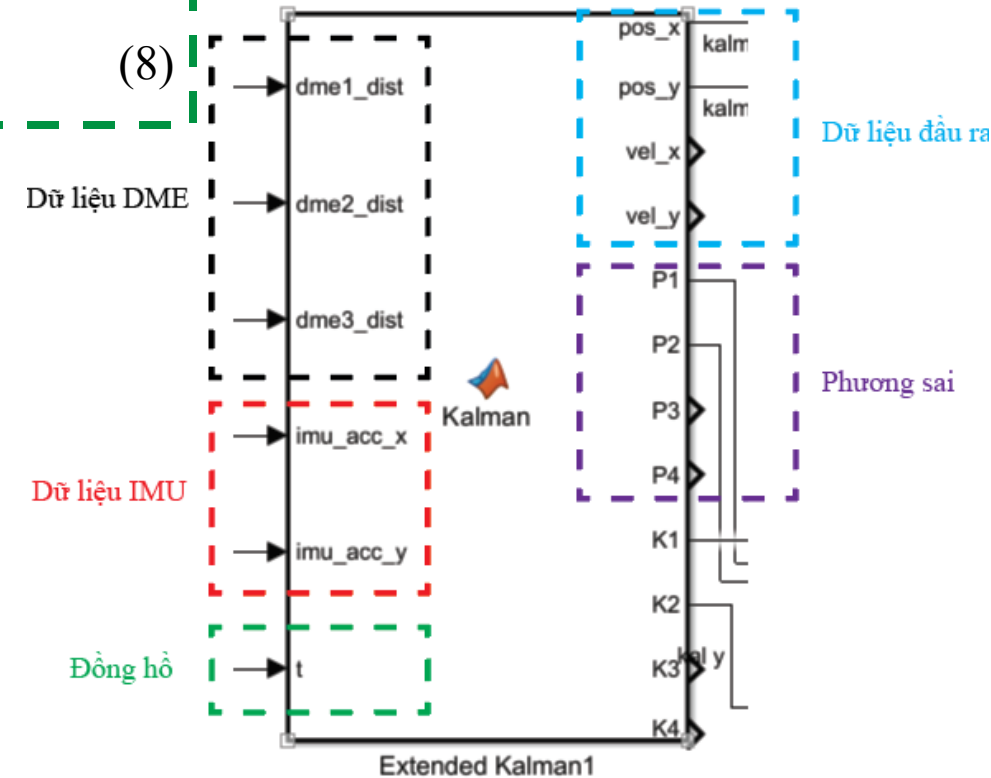
Cập nhật

$$h_x = \sqrt{(X_{pred}(1) - DME_{pos}(1))^2 + (X_{pred}(2) - DME_{pos}(2))^2} \quad (9)$$

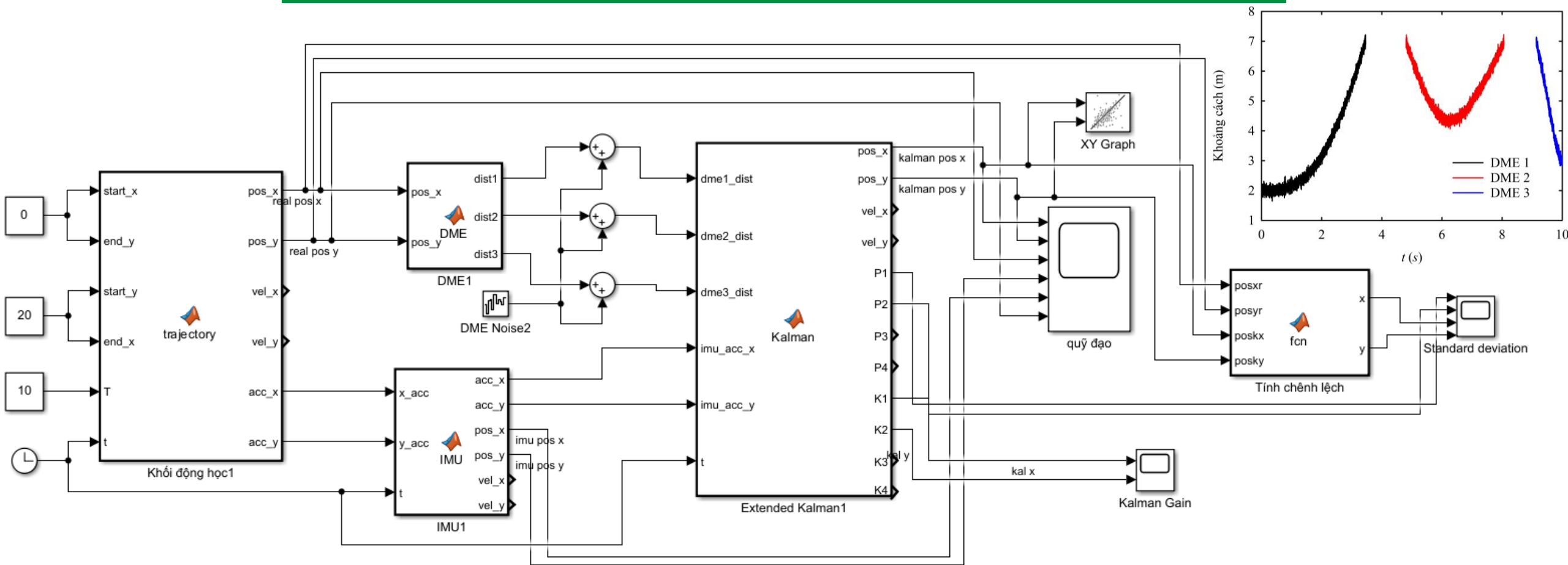
$$K = P_{pred} \cdot H^T \cdot (H \cdot P_{pred} \cdot H^T + R)^{-1}; \left(H = \frac{\partial h_x}{\partial X} \right) \quad (10)$$

$$X_{est} = X_{pred} + K \cdot (z - h_x) \quad (11)$$

$$P_{est} = (I - K \cdot H) \cdot P_{pred} \quad (12)$$



Mô hình simulink



(1) → (2) → (3) → (4)

Khởi tạo quỹ đạo

Tính khoảng cách|
IMU

Thực thi Kalman

So sánh kết quả

Khối noise được nối thêm với đầu ra của DME

Các thông số khởi tạo

IMU

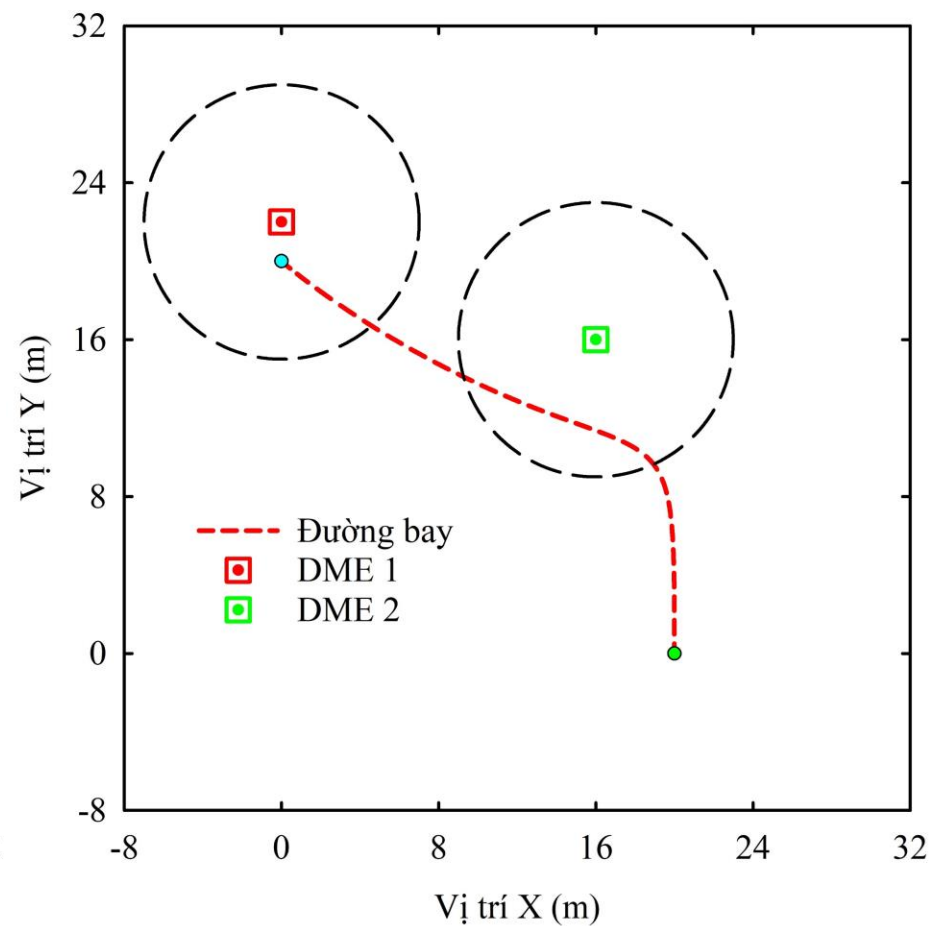
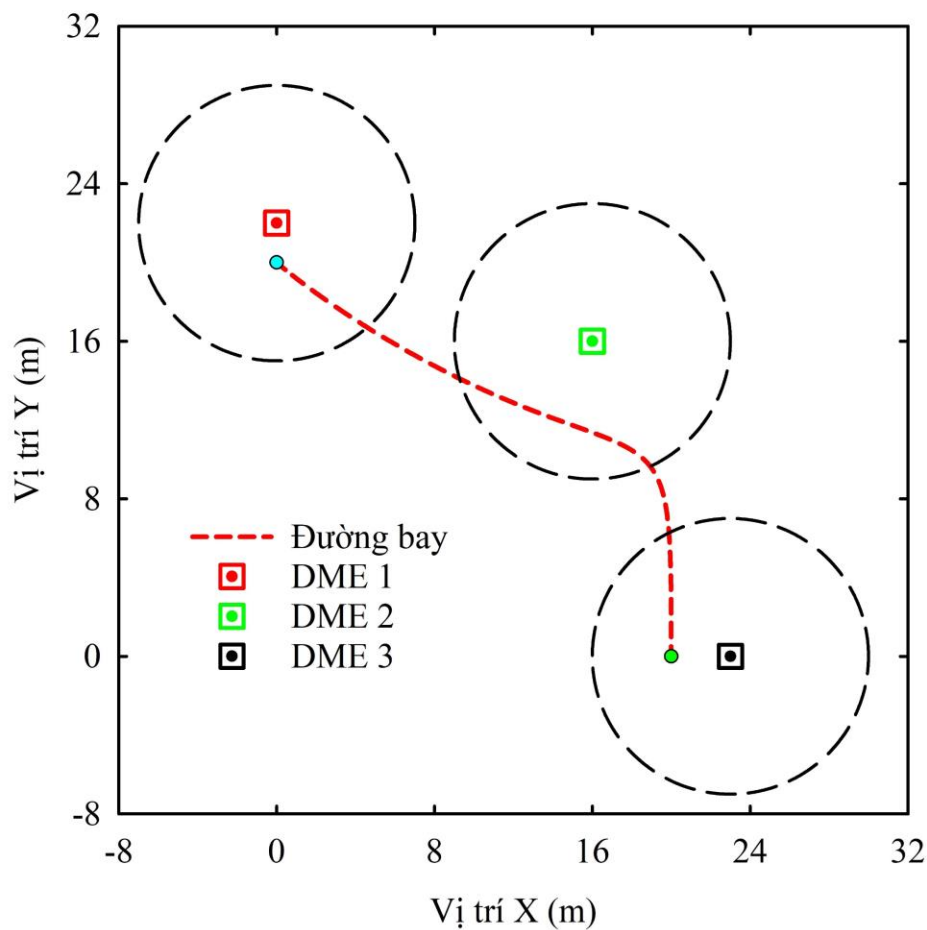
Acc bias: 1mg

Gyro bias: 0.5 deg/h

Initial heading error: 2 deg

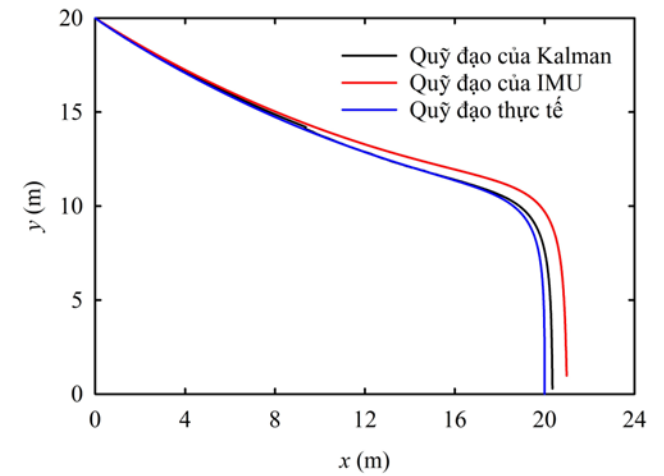
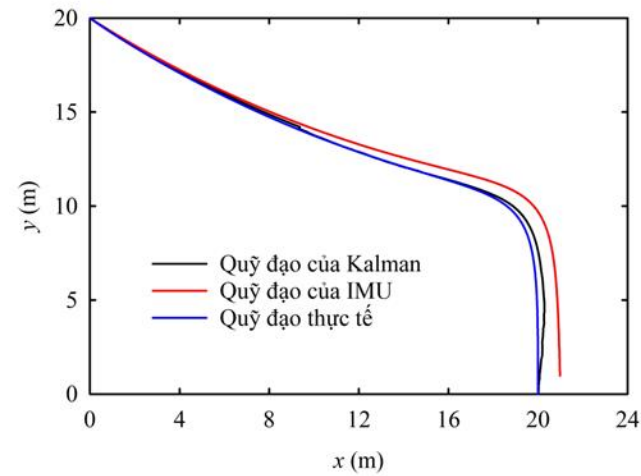
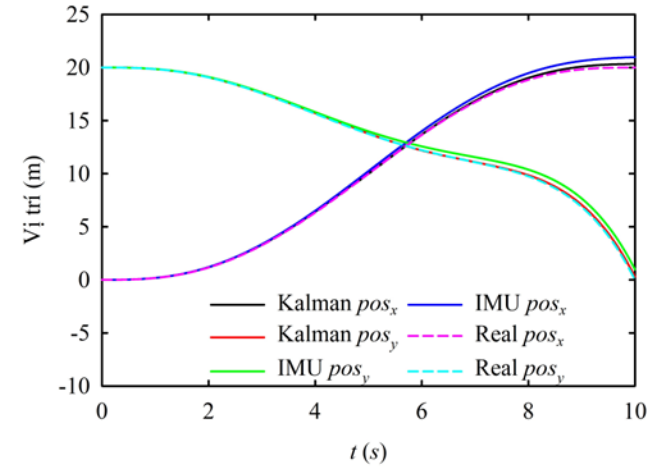
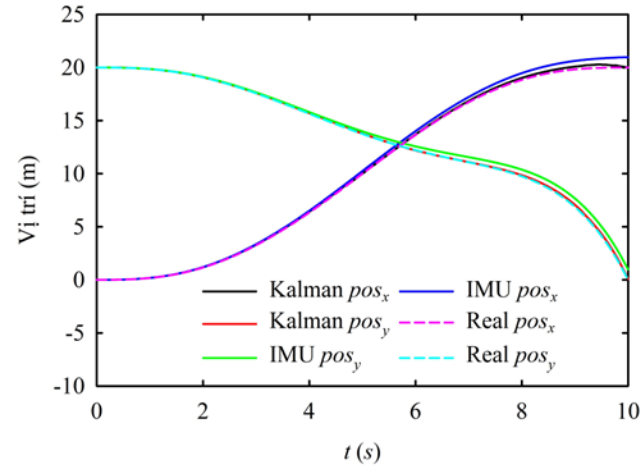
Thời gian mô phỏng 10s

Hai kịch bản di chuyển
nhằm đánh giá khả năng
làm việc của Kalman khi
có và không có dữ liệu đo



Kết quả quỹ đạo thu được

- IMU có độ trôi đáng kể
- Bộ lọc Kalman cải thiện đáng kể độ chính xác, với quỹ đạo tính toán gần sát với quỹ đạo thực tế.



Sai số của phép fusion khi so với lệch chuẩn

- Kết quả cho thấy phần lớn giá trị chênh lệch đều nằm dưới ngưỡng độ lệch chuẩn của ma trận P, khẳng định độ tin cậy của bộ lọc Kalman.
- Khi không có trạm DME ở cuối, hệ thống mất dữ liệu đo lường, dẫn đến phương sai tăng dần theo thời gian

