

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Puebla



TE3003B.501

Integración de robótica y sistemas inteligentes

Evaluación Filtros de Kalman

Frida Lizett Zavala Pérez A01275226

Diego Garcia Rueda A01735217

Alejandro Armenta Arellano A01734879

24 de Mayo del 2024

Para la elaboración de esta actividad se realizó el siguiente diagrama en *Simulink*, figura 1.

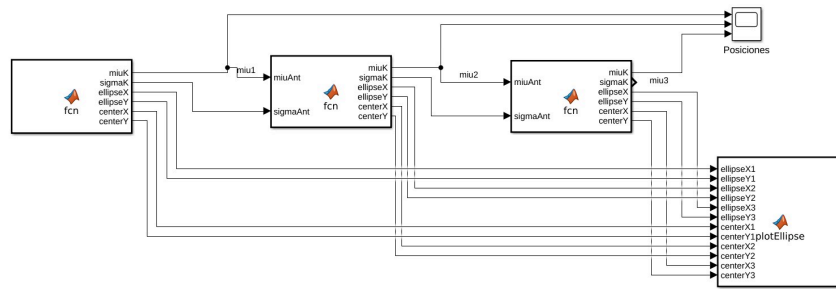


Figura 1. sistema implementado en Simulink.

Este sistema cuenta con las funciones 0,1,2 que representan las 3 iteraciones del cálculo de Filtro de Kalman teniendo como enfoque el reto de *Manchester Robotics* en el que las 3 iteraciones se conectan entre sí, entre ellas mediante el valor de μ_K y Σ_K que representan el estado de la posición y la matriz de covarianza en cada instante respectivamente, el algoritmo de filtros de Kalman se puede observar en la figura 2.

Algorithm 1 EKF Localisation with known data association

1. **function** EKF-Localisation ($M, \mu_{k-1}, \Sigma_{k-1}, u_k, z_{l,k}, Q_k, R_k$)
2. $\hat{\mu}_k \leftarrow h(\mu_{k-1}, u_k)$
3. $H_k \leftarrow \nabla_{s_{k-1}} h(s_{k-1}, u_k)|_{s_{k-1}=\mu_{k-1}}$
4. $\hat{\Sigma}_k \leftarrow H_k \Sigma_{k-1} H_k^T + Q_k$
5. **if** $z_{l,k}$ corresponds to landmark $m_l \in M$
6. $\hat{z}_{l,k} \leftarrow g(m_l, \hat{\mu}_k)$
7. $G_k \leftarrow \nabla_{s_k} g(m_l, s_k)|_{s_k=\hat{\mu}_k}$
8. $Z_k \leftarrow G_k \hat{\Sigma}_k G_k^T + R_k$
9. $K_k \leftarrow \hat{\Sigma}_k G_k^T Z_k^{-1}$
10. $\mu_k \leftarrow \hat{\mu}_k + K_k(z_{l,k} - \hat{z}_{l,k})$
11. $\Sigma_k \leftarrow (I - K_k G_k) \hat{\Sigma}_k$
12. **return** μ_k, Σ_k

Figura 2. Algoritmo implementado de filtros de Kalman.

De igual forma las 3 funciones se encuentran conectadas a una cuarta función que se encarga de graficar las elipses en cada instante así mismo del punto central de la elipse que vendría siendo la representación de la posición del *Puzzlebot* en cada instante de tiempo, los resultados en el escenario original contemplando las condiciones originales planteadas se pueden apreciar en la figura 3.

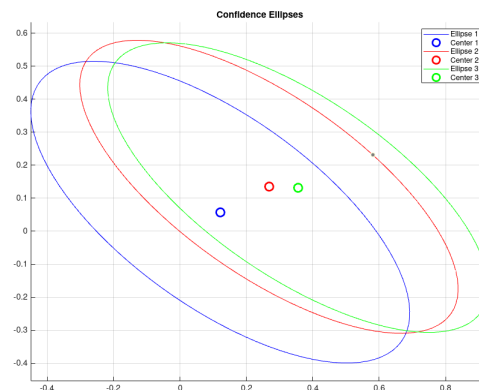


Figura 3. Resultado Matrices de Covarianza Filtradas Instantes 1, 2 y 3.

Se puede apreciar que en estas 3 iteraciones el movimiento parece ser acertado en los instantes 1 y 2 sin embargo para el tercero no se realiza ninguna traslación en el eje Y, las conjeturas de este suceso sugieren que es debido a la lectura del LiDAR proporcionadas al inicio de la actividad siendo las medidas asumidas del LiDAR en cada instante:

[4.87, 0.8] , [4.72, 0.72] y [4.69, 0.65], esto interpretandolo como coordenadas polares indicaría que del segundo al tercer instante no hubo mucho desplazamiento, esto hace sentido al momento de compararlo con los resultados obtenidos.

Por otro lado, el movimiento rotacional del robot llega a ser adecuado ya que se mantiene bastante constante a lo largo de los 3 instantes, en las mediciones del LiDAR se mantienen constantes decreciendo de aproximadamente 0.8 radianes por cada instante, en la simulación se obtuvieron los valores mostrados en un *scope* en la figura 4. Siendo como se sugirió anteriormente constantes

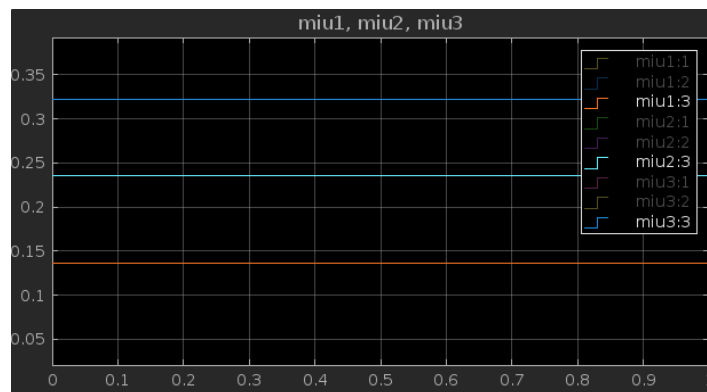


Figura 4. Posiciones angulares del robot en cada instante. Naranja - 1, Celeste - 2, Azul - 3

En la figura 3 se puede apreciar que las matrices se mantienen relativamente similares indicando que entre instantes no suele haber diferencias notables entre ellas, siendo más que nada las diferencias entre rotación y traslación de las matrices debido a la posición en cada instante del robot siendo este el centro de cada elipse de confianza. Donde se puede notar una diferencia más notable es al comparar las elipses de confianza previas al filtrado de Kalman respecto a sus versiones posteriormente filtradas, en la figura 5 se presentan las diferencias entre ambas elipses en cada instante. Siendo de color azul el instante 0, rojo el instante 1 y verde el ultimo instante. Aquí es visiblemente notable el resultado de todo el procesamiento siendo de gran relevancia y proporcionando una mayor precisión.

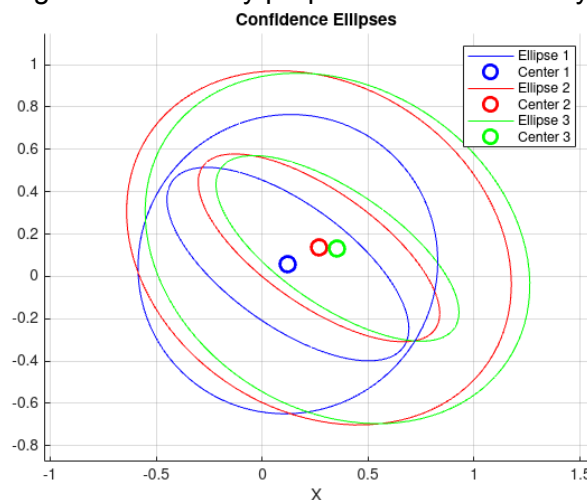


Figura 5. Diferencias entre elipses de confianza. Resultados del filtrado de Kalman

Para observar cómo es que el sistema podría afectar en la incertidumbre es que se plantean diversos escenarios que modifican las condiciones iniciales del ejercicio modificando primeramente los valores de la velocidad lineal y angular del robot (v, w), para estas simulaciones se decidió duplicar y cuadruplicar los valores de estas velocidades para analizar el comportamiento y la interacción de las elipses de confianza dependiendo de estos valores.

Se realiza una comparativa con los resultados de la imagen 3 mostrándose así en la figura 6a, 6b y 6c las diferencias al momento de aumentar las velocidades.

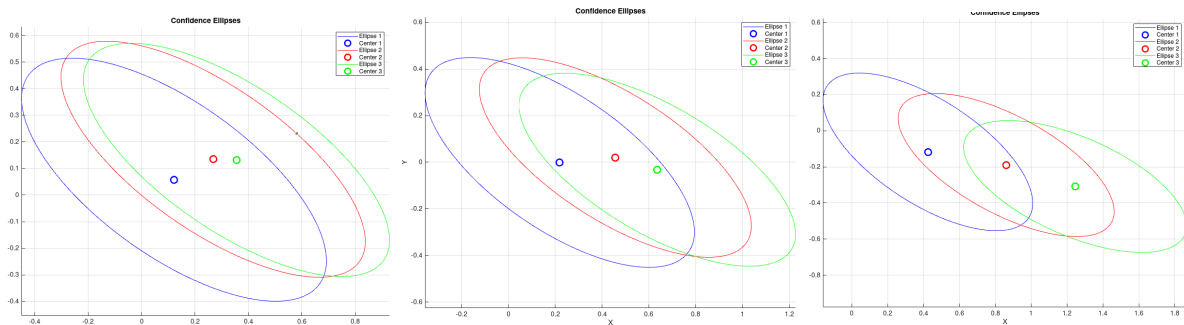


Figura 6. Comparativa Elipses con diferentes velocidades. 6a: $v, w = 1$, 6b: $v, w = 2$, 6c: $v, w = 4$

Debido a que las velocidades iban creciendo proporcionalmente es que no se notan diferencias en forma entre cada elipse donde se llegan a observar las diferencias es que a pesar de que la forma e la elipse no cambia su magnitud si aumenta, esto hace sentido debido a que las constantes de velocidad lineal y angular son utilizadas al momento de determinar el modelo cinemático del robot y su modelo linearizado, al ser de los primeros pasos del filtrado afectará a todo el sistema, en este caso al crecer las velocidades de forma escalar hace sentido que esta escalaridad se replique en la magnitud de las elipses. La diferencia más notable es al momento de verificar las posiciones de cada una de las elipses, estas muestran su posición modificada, hace sentido ya que la velocidad del robot ha cambiado lo que indica que su posición también lo ha hecho, conforme las velocidades son mayores se puede ver una mayor distancia entre los puntos llegando al escenario de la figura 6.c en el que incluso por las posiciones registradas se indica que el robot va en la dirección contraria a la que debería de ir.

Otro aspecto que puede modificar las elipses de confianza es la modificación de las matrices de covarianza de los encoders y del LiDAR, para el desarrollo de esta experimentación se utilizaron las velocidades originales, se demostrara la comparación en el instante 0, para la comprobación se duplican los valores de las matrices por 2, mostrando la comparativa de como se ve la elipse de confianza primero duplicando los valores de Q_k (matriz de covarianza de los encoders), posteriormente se duplican los valores de R_k (matriz de covarianza del LiDAR). En la figura 7 se puede observar la comparación en los 3 escenarios planteados.

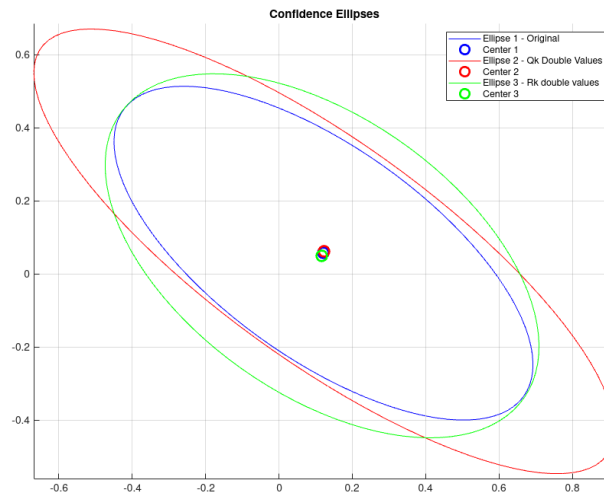


Figura 7. Comparativa Elipses con matrices de covarianza modificadas.

En la figura 7 se puede observar cómo es que la elipse de covarianza si presenta cambios dependiendo de las alteraciones en las matrices, se puede observar que si Q_k es aumentada la elipse crece bastante en las laterales siendo la diagonal mayor de la elipse la que presenta un mayor incremento, esto debido a que se modifica la matriz relacionada con los encoders, indicando que es más fácil que exista un error angular al no girar debidamente o al haber más incertidumbre al momento de girar lo que podría indicar que el robot no giro correctamente generando este error bastante grande. Por otro lado si aumentamos los valores de R_k que es la matriz de covarianza del sensor LiDAR se puede observar que la elipse crece por su diagonal menor, esto se puede interpretar como que al existir una mayor incertidumbre en las medidas del lidar que indica la distancia al objetivo lo que vendría alterando en este caso sería el error de distancia o de velocidad lineal teniendo así mediciones un poco menos precisa sobre la distancia necesaria a avanzar por lo que hace sentido que este crecimiento sea en esta diagonal. Las matrices utilizadas para los experimentos de la figura 7 se pueden observar a continuación en caso de que se quieran replicar.

Valores originales:	Valores de Q_k aumentados	Valores de R_k aumentados
$QK = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.01 & 0.01; \\ 0.01 & 0.5 & 0.01; \\ 0.01 & 0.01 & 0.2 \end{bmatrix}$ $RK = \begin{bmatrix} 0.1 & 0; \\ 0 & 0.02 \end{bmatrix}$	$QK = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.01 & 0.01; \\ 0.01 & 1.0 & 0.01; \\ 0.01 & 0.01 & 0.4 \end{bmatrix}$ $RK = \begin{bmatrix} 0.1 & 0; \\ 0 & 0.02 \end{bmatrix}$	$QK = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.01 & 0.01; \\ 0.01 & 0.5 & 0.01; \\ 0.01 & 0.01 & 0.2 \end{bmatrix}$ $RK = \begin{bmatrix} 0.2 & 0; \\ 0 & 0.04 \end{bmatrix}$