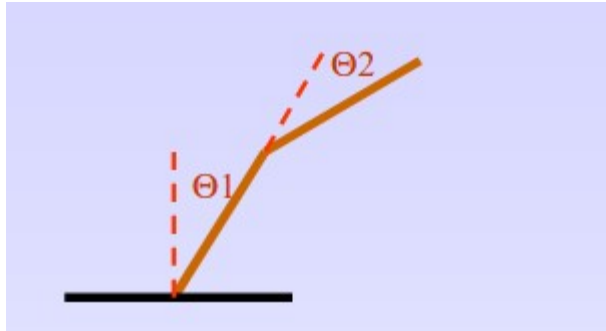
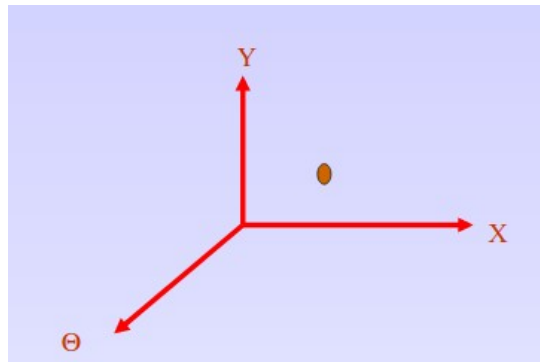


1. Explique qué es la configuración, espacio de configuraciones y grados de libertad de un robot móvil.

La configuración de un robot móvil es la posición y orientación de un cuerpo, en este caso un robot en el espacio. Se refiere a la posición de todas sus articulaciones que definen su estado en el espacio.



Espacio de configuraciones: Espacio “n” dimensional donde se ubica cada grado de libertad del robot, el robot (órgano terminal) se puede ver como un punto en este espacio.

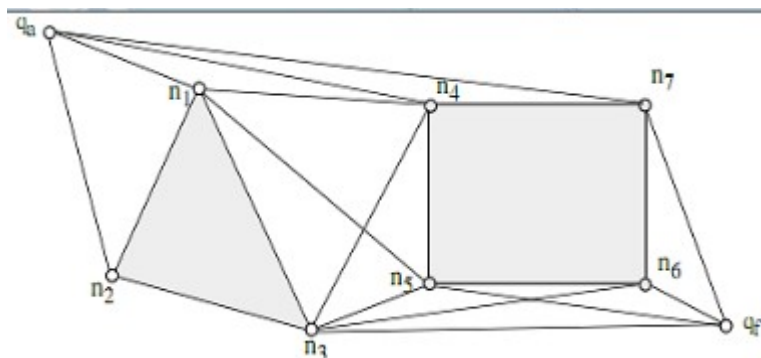


Los grados de libertad (DOF) se refieren a los posibles movimientos de un robot (X,Y,Z y rotaciones). Es la mínima cantidad de variables necesarias para especificar la configuración de un objeto.

2. Investigue dos métodos basados en grafos para planeación de rutas.

Grafo de visibilidad: Para la generación del grafo, este método introduce el término de visibilidad, según el cual, define dos puntos del entorno como visibles si y solo si se pueden unir mediante un segmento rectilíneo que no intercepte ningún obstáculo, dicho de otra manera, el segmento definido debe yacer en el espacio libre del entorno C_i .

Se consideran como nodo del grafo a la posición inicial, la posición final y todos los vértices de los obstáculos, siendo el grafo el resultado de la unión de los nodos visibles, tal como se muestra en la siguiente figura:

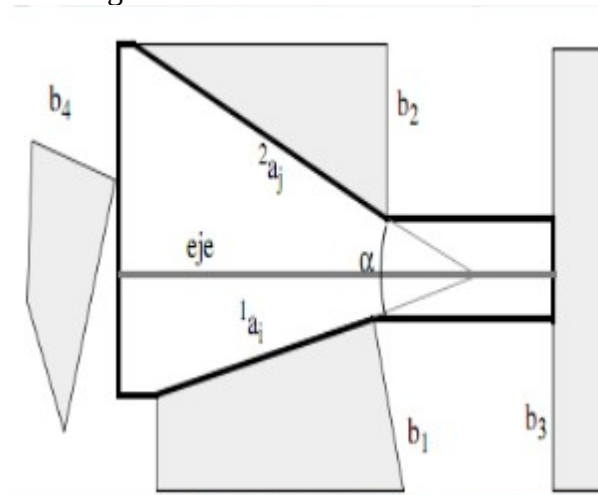


A través de un algoritmo de búsqueda de grafos se escoge la ruta más óptima que una la posición inicial con la final.

Modelado del espacio libre: En este método los obstáculos se representan como polígonos. La planificación se lleva acabo a través de los CRG(cilindros rectilíneos generalizados), con el uso de los CRG se pretende que el robot se mueva lo más alejado de los obstáculos. La ruta será una configuración de CRG interconectados, tal que la configuración inicial o de partida se encuentre en el primer cilindro de la sucesión y la configuración final en el último cilindro.

La construcción de un CRG se realiza a partir de las aristas de los distintos obstáculos que se encuentran en el entorno. Para que un par de aristas $1a_i$ y $2a_j$ pertenecientes a los obstáculos b_1 y b_2 respectivamente puedan formar un cilindro generalizado, deben cumplir las siguientes condiciones:

- i) La arista $1a_i$ está contenida en una recta que divide al plano en dos regiones. La arista $2a_j$ debe yacer por completo en la región opuesta en la que se encuentra situada b_1 . Este criterio es simétrico.
- ii) El producto escalar de los vectores normales con dirección hacia el exterior del obstáculo que contiene cada arista debe resultar negativo.



El proceso para construir un CRG será el siguiente:

Cálculo del eje del CRG, se define como la bisectriz del ángulo α formado por el corte de las rectas que contienen las aristas y que cumplen con las condiciones antes mencionadas.

Por ambos lados de dichas aristas se construyen rectas paralelas al eje, con origen en los vértices de las aristas implicadas y con extremo señalado por la proyección del primer obstáculo que corta el eje.

3. Investigue dos métodos basados en muestreo para planeación de rutas.

PRM (Probabilistic Roadmap Method):

La idea básica detrás de PRM es tomar muestras aleatorias del espacio de configuración del robot, probarlas para determinar si están en el espacio libre y utilizar un planificador local para intentar conectar estas configuraciones a otras configuraciones cercanas. Se agregan las configuraciones de inicio y objetivo, y se aplica un algoritmo de búsqueda de gráfico al gráfico resultante para determinar una ruta entre las configuraciones de inicio y objetivo.

El planificador de hoja de ruta probabilística consta de dos fases: una construcción y una fase de consulta. En la fase de construcción, se construye una hoja de ruta (gráfico), aproximando los movimientos que se pueden hacer en el entorno. Primero, se crea una configuración aleatoria. Luego, se conecta a algunos vecinos, típicamente los k vecinos más cercanos o todos los vecinos a menos de una distancia predeterminada. Las configuraciones y conexiones se agregan al gráfico hasta que la hoja de ruta sea lo suficientemente densa. En la fase de consulta, las configuraciones de inicio y objetivo están conectadas al gráfico.

RRT (Rapidly-exploring Random Tree):

Un árbol aleatorio de exploración rápida es un algoritmo diseñado para buscar eficientemente espacios no convexos y de alta dimensión mediante la construcción aleatoria de un árbol que llena espacios. El árbol se construye de forma incremental a partir de muestras extraídas al azar del espacio de búsqueda y está sesgado inherentemente para crecer hacia grandes áreas no buscadas del problema. Los RRT fueron desarrollados por Steven M. LaValle y James J. Kuffner Jr. Manejan fácilmente problemas con obstáculos y restricciones diferenciales y se han utilizado ampliamente en la planificación autónoma de movimientos robóticos.

Los RRT pueden verse como una técnica para generar trayectorias de bucle abierto para sistemas no lineales con restricciones de estado. Un RRT también se puede considerar como un método de Monte-Carlo para sesgar la búsqueda en las regiones Voronoi más grandes de un gráfico en un espacio de configuración. Algunas variaciones incluso pueden considerarse fractales estocásticos.

4. Explique en qué consiste el proceso de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

La localización y mapeo simultáneo, SLAM consiste en estimar los estados del sistema y de manera simultánea construye un modelo del entorno, esto se logra a través de sensores equipados en el sistema. De manera específica, los estados del sistema son la posición (en caso de un robot móvil los estados son la posición y orientación) y el modelo del entorno consiste en construir un mapa que representa los aspectos de interés (por ejemplo, la posición de las marcas fijas o de los obstáculos) del entorno donde el sistema opera.

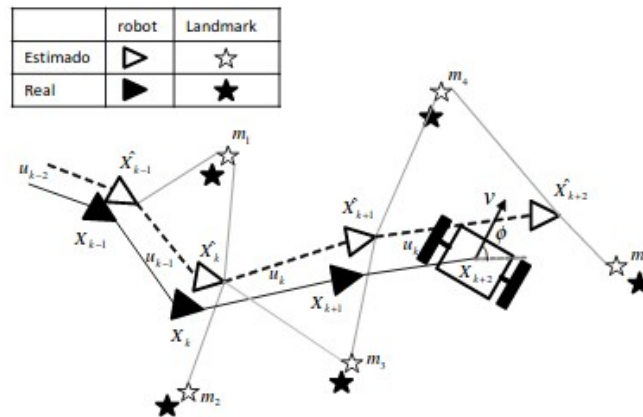


Figura 2.1: Localización y mapeo simultáneo (SLAM).

En el SLAM hay dos importantes razones para usar el mapa del entorno: La primera razón, un mapa es indispensable para realizar otras tareas; por ejemplo, un mapa proporciona información en la planeación de trayectorias o proporciona una visualización intuitiva para un operador humano.

La segunda razón, el mapa permite corregir los errores cometidos por la estimación de estados del sistema, es decir, en la ausencia de un mapa los estados del sistema se desvían rápidamente con el tiempo; en caso contrario, utilizando un mapa, por ejemplo, un conjunto de marcas fijas distinguibles, el sistema puede “restablecer” su error de localización utilizando las marcas fijas, el sistema se convierte en lazo cerrado.

5. Explique en qué consiste la localización mediante filtros de partículas, sus ventajas sobre el Filtro de Kalman y los paquetes de ROS que lo implementan.

El filtro de partículas es un método empleado para estimar el estado de un sistema que cambia a lo largo del tiempo. Fue propuesto en 1993 por N. Gordon, D. Salmond y A. Smith como filtro bootstrap para implementar filtros bayesianos recursivos mediante el método de Monte Carlo. El filtro de partículas se compone de un conjunto de muestras (las partículas) y unos valores, o pesos, asociados a cada una de esas muestras. Las partículas representan muestras del espacio de estados (estados posibles) del proceso.

Posee cuatro etapas principales:

Inicialización:

Para realizar el seguimiento (por ejemplo de un objeto sobre una secuencia de imágenes), el filtro de partículas “lanza” al azar un conjunto de puntos (sobre el plano de imagen en este caso). En esta etapa de inicialización, el conjunto de partículas se puede crear con un estado aleatorio, o se puede emplear algún tipo de información previa (tamaño del objeto, posición aproximada...).

Actualización:

En función de la similitud del estado de cada partícula respecto al estado de referencia se le asignará un peso a cada una de ellas.

Estimación:

A partir de estos valores, se creará un nuevo conjunto de partículas que constituirá la estimación previa del estado en el siguiente instante de tiempo. Para ello suelen emplearse métodos de remuestreo probabilísticos que consideran la probabilidad posterior de cada una de las partículas, de forma que aquellas que mejor se ajusten a las medidas disponibles darán lugar a nuevas partículas con mayor probabilidad.

Predicción:

Una vez que se crea el conjunto de partículas para el nuevo instante temporal, se realiza una leve modificación al estado de cada uno de ellos introduciendo algún tipo de ruido aditivo que aporte variabilidad al sistema, con el fin de estimar el estado del objeto en el instante siguiente.

Ventajas sobre el Filtro de Kalman: Una limitación del filtro de Kalman es la asunción de que las variables de estado se distribuyen como una Gaussiana. Por ello, el filtro de Kalman proporciona pobres estimaciones para variables de estado que no sigan esta distribución. Esta limitación se puede superar usando el filtro de partículas. En el filtrado de partículas, la densidad de estado condicional en el instante t es representada por un conjunto de muestras (partículas) con pesos (probabilidad de muestreo). Los pesos definen la importancia de la muestra, esto es, la frecuencia de observación.

Paquetes de ROS que lo implementan: `robot_pose_ekf`, `gmapping`: Este paquete contiene un contenedor ROS para Gmapping de OpenSlam. El paquete `gmapping` proporciona SLAM (localización y mapeo simultáneos) basados en láser, como un nodo ROS llamado `slam_gmapping`. Usando `slam_gmapping`, puede crear un mapa de cuadrícula de ocupación 2-D (como un plano de planta del edificio) a partir de láser y plantear datos recopilados por un robot móvil.

6. Investigue qué son los campos potenciales y explique los pasos generales para implementarlos.

La teoría de campos potenciales considera al robot como una partícula bajo la influencia de un campo potencial artificial, cuyas variaciones modelan el espacio libre. La función potencial U en un punto p del espacio euclídeo, se define sobre el espacio libre y consiste en la composición de un potencial atractivo $U_a(p)$, que atrae al robot hacia la posición destino, y otro repulsivo $U_r(p)$ que lo hace alejarse de los obstáculos, es decir:

$$U(p) = U_a(p) + U_r(p)$$

La fuerza artificial $F(p)$ a la que afecta el vehículo en la posición p , por el potencial artificial $U(p)$ resulta:

$$F(p) = -\nabla U(p)$$

Al igual que la función potencial, la fuerza artificial es el resultado de la suma de una fuerza de atracción $F_a(p)$, proveniente de la posición destino, y otra fuerza de repulsión $F_r(p)$ debidas a los obstáculos del entorno de trabajo:

$$F(p) = F_a(p) + F_r(p)$$

Así, la navegación basada en campos potenciales se basa en llevar a cabo la siguiente secuencia de acciones:

- i) Calcular el potencial $U(p)$ que actúa sobre el vehículo en la posición actual p según la información recabada de los sensores.
- ii) Determinar el vector fuerza artificial $F(p)$.

iii) En virtud del vector calculado construir las consignas adecuadas para los actuadores del vehículo que hagan que éste se mueva según el sentido, dirección y aceleración especificadas por F(p).

7. Explique qué es una transformación homogénea y para qué se utiliza en robots móviles.

Matriz 4x4 que representa la transformación de un vector de coordenadas homogéneas de un sistema de coordenadas a otro.

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{p}_{3 \times 1} \\ \mathbf{f}_{1 \times 3} & \mathbf{w}_{1 \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalado} \end{bmatrix}$$

En robótica la submatriz $\mathbf{f}_{1 \times 3}$, que representa una transformación de perspectiva, es nula; y la submatriz $\mathbf{w}_{1 \times 1}$, que representa un escalado global, es la unidad:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{p}_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

que representa la orientación y posición de un sistema OUVW rotado y trasladado con respecto al sistema de referencia OXYZ.

Aplicaciones en robots móviles:

Representar la posición y orientación de un sistema girado y trasladado OUVW, con respecto a un sistema fijo de referencia OXYZ, que es lo mismo que representar una rotación y una traslación realizada sobre un sistema de referencia.

Transformar un vector expresado en coordenadas con respecto a un sistema OUVW, a su expresión en coordenadas del sistema de referencia OXYZ.

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} r_u \\ r_v \\ r_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

Rotar y trasladar un vector con respecto a un sistema de referencia fijo OXYZ.

$$\begin{bmatrix} r'_x \\ r'_y \\ r'_z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

8. Investigue qué es un robot con restricciones no holonómicas de movimiento.

Las restricciones holonómicas son las relaciones entre las variables de posición (y posiblemente de tiempo) que se pueden expresar de la siguiente forma:

$$f(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n, t) = 0$$

Donde son las n coordenadas que describen el sistema. Por ejemplo, el movimiento de una partícula limitado a tumbarse en la superficie de una esfera está sujeta a una restricción holonómica, pero si la partícula es capaz de caer de la esfera bajo la influencia de la gravedad, la restricción se convierte en no holonómica.

Por lo tanto, un robot tiene restricciones no holonómicas cuando su estado depende del camino tomado para lograrlo. Dicho sistema se describe mediante un conjunto de parámetros sujetos a restricciones diferenciales, de modo que cuando el sistema evoluciona a lo largo de una ruta en su espacio de parámetros (los parámetros varían continuamente en valores) pero finalmente regresa al conjunto original de valores de parámetros al comienzo de la ruta, el sistema en sí mismo puede no haber vuelto a su estado original.

Por ejemplo, se sabe que los robots móviles son no holonómicos, es decir, están sujetos a restricciones no holonómicas de igualdad no integrables que involucran la velocidad.

Referencias

<https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-ia/Laminas2014/intro-robotica.pdf>
<https://porprofesionalmic.files.wordpress.com/2015/09/investigacion-documental-navegacion-planificacion-rutas.pdf>
<https://www.ctrl.cinvestav.mx/~yuw/pdf/DoSalvador.pdf>
<https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11173/PFC%20Alvaro%20Rodriguez.pdf>
<http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap2.pdf>
http://icaro.eii.us.es/descargas/tema_4_parte_2.pdf
<https://web2.qatar.cmu.edu/~gdicaro/16311-Fall17/slides/16311-4-Holonomy-WheeledRobots-Kinematics.pdf>