

Examen Parcial

Construcción de Robots Móviles, FI, UNAM, 2020-2

Nombre: Rolando Contreras Vargas

Instrucciones: Subir la solución en un solo archivo PDF con el nombre `Examen.pdf`, al repositorio en GitHub en la carpeta `Entregables`.

Fecha límite de entrega: 04 de junio de 2020.

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

R. La configuración de un robot refiere a definir cómo estarán distribuidos los principales elementos que lo componen, es decir la distribución física de sus elementos como las ruedas, motores, sensores, encoders, entre otros. Además de representar en un punto en el espacio dependiendo de los grados de libertad del robot.

El espacio de configuraciones hace referencia al área a la cual puede posicionarse un robot, específicamente en el caso de un robot móvil, el espacio de trabajo corresponde al área libre de colisiones también conocido como *free configuration space*. El espacio de configuración puede utilizarse para modelar cualquier sistema que sea descrito en cierto número de parámetros y así describir la configuración del robot.

En cuanto a los grados de libertad refiere a los posibles movimientos de un robot en cualquiera de los ejes X,Y,Z además de incluir rotaciones en cualquiera de estos ejes, es decir, son los puntos independientes necesarios para poder describir cualquiera de las configuraciones del robot, generalmente en robots móviles encontramos movimiento en el plano X-Y y rotación sobre el eje Z.

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

R. Todos los métodos fundamentan en una primera fase de construcción de algún tipo de grafo sobre el espacio libre, según la información poseída del entorno, para posteriormente emplear un algoritmo de búsqueda en grafos (por ejemplo tipo A*) que encuentra el camino óptimo según cierta función de coste.

Algoritmo de Dijkstra

Es un algoritmo conocido también como algoritmo de caminos mínimos, se basa en grafos y permite conocer el camino más corto a un destino dado un punto de partida.

Para utilizar este método se debe tener un grafo ponderado donde cada lado o arista es la distancia entre los nodos adyacentes. Posteriormente, un vector cuya magnitud del número total de nodos guardará las distancias finales de cada nodo a partir del nodo origen en donde se le asignará un valor infinito relativo a cada uno con base en las distancias, ya que en un inicio es desconocido. De forma iterativa se irá recorriendo cada nodo adyacente al actual y así obtener la distancia mínima a partir del nodo inicial, una vez que se tiene la distancia se moverá al nodo con la distancia más corta, es preciso que el grafo marcará cada uno de los nodos por los que ya haya pasado; una vez que haya verificado cada nodo y almacenado la distancia se podrá generar la ruta más corta a cada nodo a partir del origen y así trazar toda la trayectoria. Este método requiere un análisis de fuerza bruta para poder analizar los nodos con base en las distancias absolutas, es por ello que, matemáticamente hablando, su complejidad depende del número de nodos al cuadrado.

Algoritmo A*

Este algoritmo tiene similitud con respecto al algoritmo anterior, sin embargo, su proceso de análisis de rutas permite encontrar solución al problema de manera más rápida pues utiliza una función heurística para poder dar jerarquía a qué nodo se encuentra más cercano al nodo objetivo, teniendo el objetivo un costo de cero otorgado por dicha función. Está es la diferencia con el algoritmo Dijkstra, ya que, si el valor fuera igual para todos los nodos, serían procesos iguales.

Este método utiliza un grafo ponderado donde las aristas representan las distancias entre nodos adyacentes, en este caso, cada nodo contará con el valor otorgado por la función heurística. En cada paso, por cada nodo adyacente se obtienen un costo a partir de la suma de la distancia con respecto al nodo origen al que se desea llegar, más el costo asignado por la función a dicho nodo. Este algoritmo permite que el grafo recorra la trayectoria más rápido y arroje la más corta al objetivo.

La complejidad de este algoritmo dependerá de los valores asignados por la función heurística a cada nodo, ya que, de no asignarse bien los costos el grafo recorrerá mayor cantidad de nodos antes de encontrar la trayectoria más corta.

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

R. Distintos autores dividen los métodos de muestreo en los de consulta (RRT) en los que la información obtenida para resolver un problema no se aprovecha en las siguientes llamadas del algoritmo y en el método de consulta múltiple (PRM) cuyo objetivo es obtener información del entorno y almacenarlo en alguna estructura lógica para resolver cualquier tipo de problema.

Los algoritmos basados en muestreo tratan de resolver el problema de la planificación de movimientos evitando la descripción explícita de las regiones ocupadas por obstáculos, tratando de representar el espacio a partir de un esquema de discretización. Entre ellos tenemos:

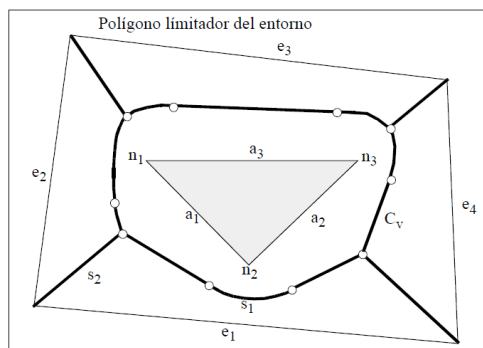
- Diagramas de Voronoi

Se definen como una retracción con preservación de la continuidad. Si el conjunto C_i define las posiciones libres de obstáculos de un entorno, la función de retracción RT construye un subconjunto C_v continuo en C_i .

$$RT(q): C_i \rightarrow C_v / C_v \subset C_i$$

A partir de ello se puede decir que existe un camino desde una configuración inicial (q_i) hasta otra configuración final (q_f), supuestas ambas libres de obstáculos, si y solo si existe una curva continua desde $RT(q_i)$ hasta $RT(q_f)$.

La idea fundamental de los Diagramas de Voronoi es ampliar al máximo la distancia entre el camino del robot y los obstáculos. Por ello, este método resulta un lugar geométrico de las configuraciones que se encuentran igual a la distancia de los obstáculos más próximos del entorno. El diagrama esencialmente está formado por dos tipos de segmentos: rectilíneos y parabólicos.



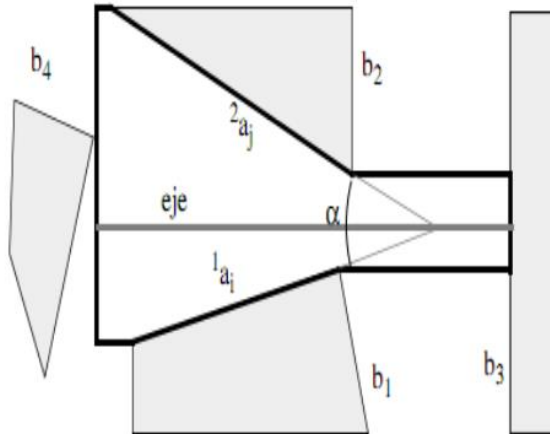
- Modelado del Espacio Libre

Este método representa los obstáculos como polígonos y planifica la ruta a través de cilindros rectilíneos generalizados (CRG), de esta manera, se pretende que el robot se mueva lo más lejano a los obstáculos. La ruta será una serie de CRG interconectados donde la partida inicial se encuentra en el primer cilindro y la configuración final en el último cilindro.

La planeación de un CRG se realiza a partir de las aristas de los distintos obstáculos del 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 de cumplir con las siguientes condiciones:

1. 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.
2. El producto escalar de los vectores normales con dirección hacia el exterior del obstáculo que contiene cada arista debe resultar negativo.



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

R. Es un proceso para que un robot tenga la capacidad de construir mapas de manera autónoma en un ambiente desconocido y posteriormente pueda desplazarse sobre el camino que ha trazado utilizando la información del mapa generado. Este proceso necesita una serie de sensores implantados en el robot para obtener información del entorno, de esta manera el robot sabrá donde está posicionado con base en los puntos característicos también llamados *landmarks*.

Una vez que se tienen dichos datos es necesario un algoritmo que sea capaz de estimar la localización del robot y posteriormente, su odometría en cada estado del robot. El algoritmo se basa en un fenómeno probabilístico iterativo en función del instante anterior y así ir formando la trayectoria del robot, generalmente se utiliza el teorema de Bayes para solucionar este tipo de problemas.

Existen distintos métodos para calcular la trayectoria de un robot, estos pueden ser por métodos que emplean grafos o métodos de muestreo. Estos métodos, como el filtro de Kalman o filtro de partículas, tienen un proceso establecido para la evasión de obstáculos, en cada iteración modifican los valores de la odometría del robot según el punto de partida anterior con el próximo y así sucesivamente hasta llegar a la meta.

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.

R. El algoritmo de filtro de partículas es un método Monte Carlo que conforma la base para la mayoría de los filtros Monte Carlo desarrollados. La idea fundamental es representar la función de distribución posterior buscada con un conjunto de muestras aleatorias con pesos asociados y calcular estimados basados en estas muestras y pesos. Al aumentar el número de muestras, esta caracterización Monte Carlo se vuelve una representación equivalente de la descripción funcional usual de la función de distribución posterior y el filtro SIS se acerca al estimador Bayesiano óptimo. El filtro de partículas posee cuatro etapas principales: inicialización, actualización, estimación y predicción.

Para realizar el seguimiento de un objeto a partir de una secuencia de imágenes, el filtro arroja de manera aleatoria un conjunto de puntos sobre la imagen (inicialización), realizará cálculos se obtendrán valores para cada punto, a partir de ello se creará un nuevo conjunto de puntos que reemplazará al anterior (actualización). Esta elección también es aleatoria, pero dichos valores se podrán comparar con los valores anteriores provocando que sea más probable elegir aquellos puntos que hayan capturado al objeto sobre el cual se quiere generar seguimiento (estimación). Una vez que se crea el nuevo conjunto de puntos, se realiza una ligera modificación a su estado entre cada uno de ellos con el fin de seguir al

objeto en el instante siguiente(predicción).

El filtro de Kalman sirve para estimar la posición de un robot a partir de las ecuaciones de odometría y las medidas registradas por los sensores, mediante una etapa de predicción en la que se tiene únicamente en cuenta la odometría y una etapa de corrección, en la que se utilizan las medidas de los sensores y las distribuciones de los errores para hallar la nueva posición.

La ventaja que muestra el filtro de partículas (PF) sobre el filtro de Kalman (KF) es que arroja mejores resultados que el KF a costo de la carga computacional necesaria para procesar la información, que se vuelva un sistema tan robusto se debe a que los puntos para la búsqueda se escogen de manera aleatoria.

Paquetes en ROS:

- CoreSlam
- AMCL
- BFL

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

R. El método de los campos potenciales es una técnica habitual para calcular la trayectoria de los robots móviles, ya que es una manera práctica de solucionar el problema. Esta propone que los obstáculos y el robot tengan una carga eléctrica del mismo signo con la finalidad de generar repulsión, mientras que la meta asociada tiene signo opuesto para traer el robot al punto de destino.

El campo de potencial se consigue con la superposición de un campo atractivo originado por la posición de final deseada y de campo repulsivo creado por los obstáculos:

$$F_{atract}(q) = -\nabla U_A \text{ en donde } q = (x, y)$$

En cuanto al potencial repulsivo, la idea es generar una fuerza más fuerte cuanto más cercano esté el robot al obstáculo, de manera que esta se desvanezca a cierta distancia del mismo. Los componentes de fuerza repulsiva se obtienen, entonces, como:

$$F_{rep}(q) = -\nabla U_R$$

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

R. Debido a que el robot es un cuerpo rígido, la transformación es una función que asigna cada partícula a una nueva ubicación en el espacio. La transformación homogénea se utiliza para indicar la posición y orientación del sistema de rotación y traslación OUBW en relación con el sistema de referencia fijo OXYZ. En general, la transformación isomorfa se realiza mediante una matriz de dimensión cuatro por cuatro que representa la transformación del vector de coordenadas isomorfas de un sistema de coordenadas a otro sistema de coordenadas. Esta matriz se compone de cuatro submatrices: rotación, traslación, perspectiva y zoom.

En los robots móviles, es necesario representar los cambios de traslación y rotación, porque en la transformación de rotación solo representan el cambio de dirección entre dos sistemas de coordenadas diferentes, pero no el cambio de posición, es decir, la posición del cambio en el robot móvil es homogénea. La importancia de la conversión está es la razón por la cual la simplificación se realiza en la matriz de transformación homogénea, donde la submatriz que representa la transformación en perspectiva está vacía, y la submatriz de escala no cambia, por lo que se unifica y simplifica solo a las transformaciones de rotación y traslación.

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

R. Un robot con restricciones no holonómicas es un robot que no puede moverse en todas las direcciones sin tener que rotar (o realizar un movimiento diferente) por adelantado para alcanzar un cierto punto, es decir, no puede moverse en un instante. Un ejemplo es ser un robot de dos ruedas (tradicional) que no puede moverse lateralmente sin antes manipularlo y girarlo antes de alcanzar una determinada posición. Esto se debe a que el límite de movimiento no holonómico matemáticamente significa que el límite diferencial de movimiento no puede integrarse y, por lo tanto, no puede expresarse como un límite de posición o dirección. En general, también pueden estar relacionados con el número de grados de libertad del robot y el número de grados de libertad que se pueden controlar. En el caso de un robot de dos ruedas que se mueve en un plano, hay 3 grados de libertad, la posición (x, y) es de 2 grados de libertad y la dirección es 1, dado que solo puede controlar el desplazamiento (como x) y la dirección en una trayectoria de acuerdo con la velocidad de la rueda, obtendremos grados de libertad incontrolables, lo que nos proporcionará características limitantes de movimiento incompletas debido a la relación, el número total de grados de libertad es pequeño.

Se recomienda consultar las siguientes referencias:

- González, D., Pérez, J., Milanés, V., & Nashashibi, F. (2015). A review of motion planning techniques for automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), 1135-1145.
- Paden, B., Čáp, M., Yong, S. Z., Yershov, D., & Frazzoli, E. (2016). A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. *IEEE Transactions on intelligent vehicles*, 1(1), 33-55.
- Dissanayake, M. G., Newman, P., Clark, S., Durrant-Whyte, H. F., & Csorba, M. (2001). A solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem. *IEEE Transactions on robotics and automation*, 17(3), 229-241.
- Choset, H. M., Hutchinson, S., Lynch, K. M., Kantor, G., Burgard, W., Kavraki, L. E., & Thrun, S. (2005). *Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation*. MIT press.

Referencias adicionales consultadas:

- <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-ia/Laminas2014/intro-robotica.pdf>
- <http://www.mecamex.net/anterior/congo8/articulos/32.pdf>
- Carranza, J. M. *Arquitecturas de Control de Alto Nivel*.
- Sieira, A. G., & Molina, M. M. (2011). *Planificación de movimientos en robótica móvil utilizando retículas de estados*.
- Gallardo López, D. (2000). *Aplicación del muestreo bayesiano en robots móviles: estrategias para localización y estimación de mapas del entorno*.
- Fuentes Ríos, A. (2011). *Localización y modelado simultáneos en ROS para la plataforma robótica Manfred* (Master's thesis).
- Rodríguez, H. (2009). *Planificación de Movimiento Mediante Campo de Potencial con Restricciones Dinámicas para Robots Móviles*. *REVISTA DE I+ D TECNOLÓGICO*, 43.
- <http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap2.pdf>