

COORDINACIÓN DE EQUIPOS ROBÓTICOS PARA LA EXPLORACIÓN DE ESCENARIOS

Pérez Custodio Pedro Miguel (1), López Pérez José Jesús (2), Ayala Ramírez Víctor (3)

1 [Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Politécnica del Centro] | Dirección de correo electrónico: [perezcustodio94@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías del Campus Irapuato Salamanca de la Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jj.lopezperez @ugto.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías del Campus Irapuato Salamanca de la Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ayalav @ugto.mx]

Resumen

En este trabajo se presentan tres estrategias de navegación empleadas en la exploración de mapas por equipos de múltiples robots. Las estrategias son comparadas con respecto a su desempeño en la distancia recorrida por cada robot en tres escenarios de prueba. Las estrategias fueron insertadas a cada uno de los robots del equipo y se agregó a ellas una estrategia de navegación reactiva para evitar la colisión con el escenario y los otros robots móviles. Los resultados fueron obtenidos en un entorno de simulación en software.

Abstract

In this work, three strategies to explore unknown environments by a team of robots were present. These strategies were compared with respect to their performance in the average distance traveled by each robot in order to complete the map in three test scenarios. Each robot was programmed with the same exploration strategy and with a reactive navigation module to avoid collisions with the environment and the other mobile robots. The results were obtained in a robotic simulation environment.

Palabras Clave

Sistemas multi-robot; Construcción de mapas; Navegación en escenarios dinámicos y desconocidos.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la navegación y la coordinación de equipos robóticos es un tema de gran impacto e importancia en el campo laboral de las industrias, manufactura entre otras. Por otro lado, la autonomía de un sistema robótico consiste en la capacidad para realizar tareas de alto nivel sin requerir conocimiento previo completo del contexto de ejecución.

Una tarea robótica que requiere un alto grado de autonomía es la exploración de entornos desconocidos [1]. Adicionalmente, la realización de esta tarea por un equipo de robots implica la coordinación entre estas entidades a lograr eficiencias superiores que las alcanzables mediante el uso de un solo robot. En la literatura reciente podemos encontrar una gran cantidad de trabajos que se interesan a la solución de este problema (por ejemplo, [2]).

Las suposiciones principales de este trabajo son que todos los robots están equipados de un telémetro láser (Laser Range Finder, LRF), que todos los robots tienen un conocimiento exacto de las posiciones de todos los demás robots del equipo y que la información instantánea del mapa creado es conocida por todos.

La contribución de este trabajo es la comparación de tres diferentes estrategias de exploración para un equipo de robots en diferentes escenarios por explorar. Estas estrategias están basadas en heurísticas intuitivas de exploración que se pretende integrar posteriormente a estrategias de exploración de mayor complejidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación del problema

El uso de equipos de robots para la construcción de mapas requiere que cada una de las entidades autónomas pueda conocer de manera precisa su localización, sea capaz de insertar la información capturada por sus sensores en el mapa global y sea capaz de navegar en el entorno de manera eficiente para evitar colisiones con el mismo

ambiente y con otros robots del equipo de exploración. A continuación, hablaremos de cada uno de estos problemas.

SLAM

La localización y construcción de mapas de manera simultánea (SLAM, Simultaneous Localization and Mapping) ha ocupado de manera importante a la comunidad de investigación en robótica. Utilizando sensores tipo LRF y equipos de visión, existen métodos que pueden resolver el problema en el caso de un solo robot [3][4].

La construcción del mapa por parte de un equipo de robots tiene como objetivo reducir el recorrido de los robots en el escenario y por ende el tiempo para construir el mapa de espacios grandes. En nuestro trabajo se parte de las suposiciones que el problema del SLAM está resuelto. Es decir, supone que cada robot conoce con exactitud su localización. Cada uno de los robots en el equipo de exploración tiene las mismas capacidades y utiliza un sensor láser LRF para adquirir la información de su vecindad. Aún si el sensor láser puede presentar incertidumbre en los datos adquiridos como lo señala Borenstein [5], en nuestro trabajo delimitamos el área sensada por el robot a un semicírculo donde la información puede ser considerada sin incertidumbre.

El SLAM, sin embargo, requiere de establecer estrategias en las que el robot se moverá en el espacio desconocido. En el caso de hacer la construcción del mapa con varios robots, se requiere también el establecer las políticas con las que se asignarán las tareas a los diferentes robots del equipo.

En este trabajo usamos para el mapa una representación de una rejilla de ocupación. La rejilla de ocupación fue propuesta originalmente por Elfes [6] en 1989, y tiene como cualquier representación ventajas y desventajas. Sin embargo, ha sido usada recientemente en trabajos de navegación robótica. Por ejemplo, Li y Ruichek [7] la usan para representar espacios urbanos; Wang et al. [8] la usan para hacer el seguimiento de objetos dinámicos, y Xin et al. [9] la emplean

para representar el entorno dinámico de un vehículo autónomo.

En la siguiente sección se estudiarán tres métodos diferentes para la exploración de zonas no conocidas con la finalidad de conocer qué estrategia es más factible para la exploración de escenarios.

Estrategias de navegación

Las tres estrategias de navegación están basadas en una estrategia común para cada robot. Las estrategias insertadas en cada robot son el algoritmo BUG2, una heurística en Zig-zag y una heurística de seguir paredes. Estas estrategias fueron aumentadas con un mecanismo reactivo como el presentado por Lopez-Perez et al. [10].

ALGORITMO BUG2

El algoritmo BUG2 es una mejora del algoritmo BUG1 [11]. El algoritmo BUG1 tiene como objetivo circundar los obstáculos apartándose de ellos cuando encuentra la distancia más corta a la meta (Figura 1). En cambio, el algoritmo BUG2 trata de recuperar la línea que une el punto de inicio a la meta, circundando los obstáculos que encuentra (Figura 2). Cada robot ejecuta una ruta que va de su posición inicial a una posición meta en el espacio desconocido del mapa. Cuando su meta es conocida, cada robot cambia de meta. Esto se repite hasta completar la exploración.

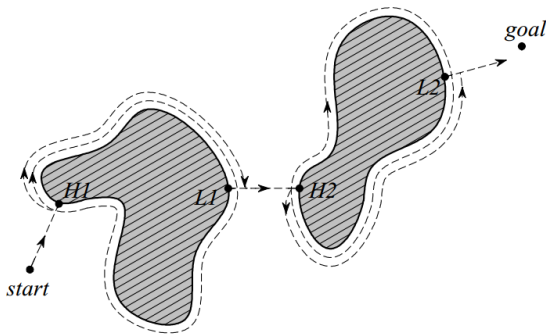


Figura 1.- algoritmo Bug1 con H1, H2, puntos de golpe, y L1, L2, dejar puntos [10].

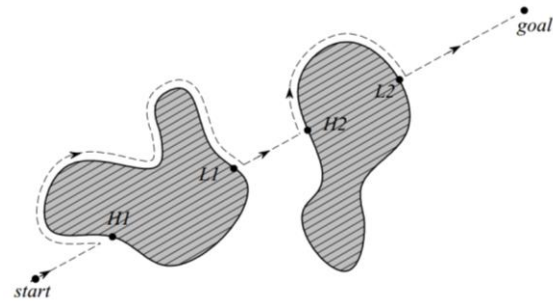


Figura 2.- algoritmo Bug2 con H1, H2, puntos de golpe, y L1, L2, dejar puntos [10].

ALGORITMO ZIG-ZAG.

Este algoritmo contiene un patrón específico que se basa en la exploración de un mapa mediante movimientos específicos que logran abarcar un espacio en un tiempo óptimo.

Consiste en la suposición de un mapa con geometría cuadrada o rectangular en el cual el robot tiene como prioridad ubicarse en una de las esquinas y dependiendo su posición buscará la esquina más cercana como un punto de referencia. Posteriormente el Robot comenzará a realizar las instrucciones necesarias para comenzar con el movimiento llamado zig-zag (Figura 3).

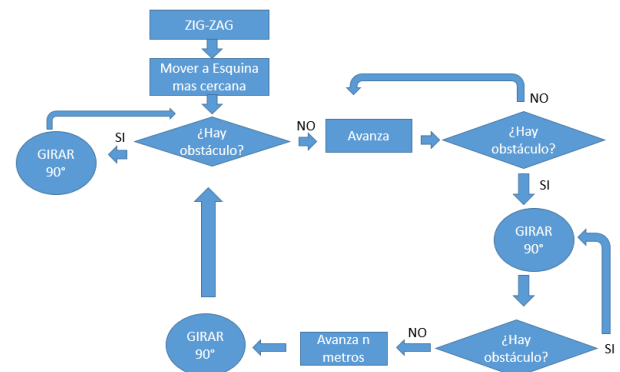


Figura 3.- Diagrama de flujos general de algoritmo Zig-zag. Los giros de 90° dependerán de la ubicación del robot.

ALGORITMO SIGUE PAREDES

El siguiente algoritmo se basa en la detección de obstáculos mediante un sensor y consiste en rodear el contorno de una superficie previamente

observada con la finalidad de abarcar la zona no identificada mediante el seguimiento de un obstáculo (Figura 4).

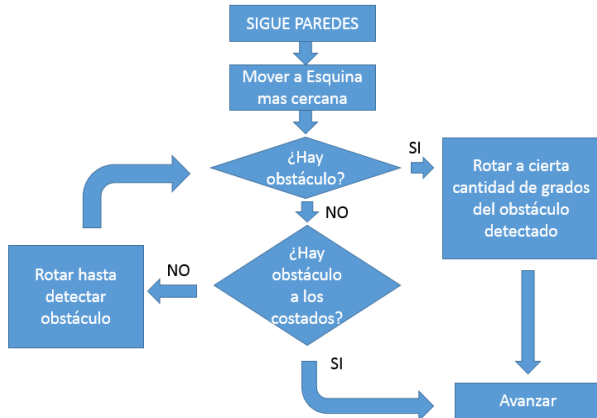


Figura 4.- Diagrama de flujo general del algoritmo Sigue paredes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los algoritmos descritos anteriormente fueron probados en los escenarios de prueba mostrados en la Figura 5. Para cada uno de los métodos se presentan resultados en los escenarios en los que el método propuesto es capaz de completar la exploración del escenario.

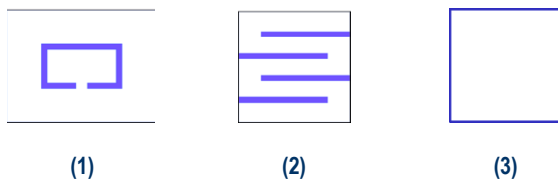


Figura 5: Escenarios de prueba tomados del repositorio de la Universidad Técnica de Praga.

La Tabla 1 muestra de manera resumida los resultados promedios de la ejecución de 30 veces de la exploración según los métodos descritos.

n	Esc. 1		Esc. 2		Esc. 3	
	Bug2	Bug2	SP	Bug2	ZZ	
1	483.7	258.4	136.7	244.2	395.8	
2	244.3	169.7	90.7	124.2	201.7	
3	165.6	140.4	64.1	80.4	80.5	
4	125.3	110.3	50.6	60.3	52.4	

5	86.1	91.6	45.3	51.3	50.5
---	------	------	------	------	------

Se registró también el porcentaje de cobertura del mapa conforme avanzaban las épocas del programa. Lo que se puede establecer de estos resultados es que cuando hay un solo robot la cobertura que va logrando presenta un avance lineal, mientras que al tener más robots en el equipo se tiene una cobertura más rápida. En la Figura 6 se puede ver un ejemplo de esta tendencia.

También de la Tabla 1 se puede ver que la incorporación de más robots disminuye la distancia promedio recorrida por cada robot. Es importante decir que estos resultados tienen una dependencia directa con los escenarios de prueba y que se requerirán más pruebas para delimitar el comportamiento de las estrategias utilizadas.

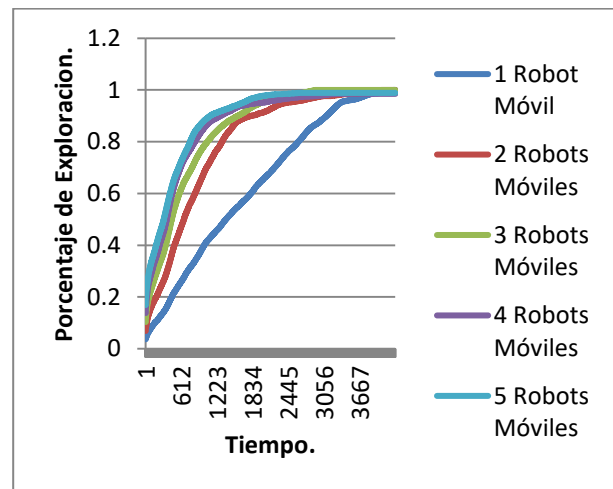


Figura 6: Porcentaje completado del mapa ante el avance del tiempo en épocas del simulador.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se puede ver que el uso de más robots permite reducir la distancia que recorre cada robot para completar el mapa del escenario. También se pudo ver que algunas estrategias solo sirven en configuraciones particulares de los mapas. En el futuro se deberá probar en más tipos

de escenarios para delimitar la utilidad de estas o de algunas otras estrategias de exploración de escenarios.

[11] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. & Scaramuzza, D., (2011) Introduction to autonomous mobile robots. Cambridge, MA, MIT Press.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CCYTET por el apoyo económico recibido a través del Programa de Nuevos Talentos Científicos y Tecnológicos de Tabasco.

REFERENCIAS

- [1] Laugier, C., & Chatila, R. (2007). Preface en Laugier, C., & Chatila, R. (Ed.), *Autonomous Navigation in Dynamic Environments*. Heidelberg, Springer.
- [2] Osswald, S., Bennewitz, M., Burgard, W. & Stachniss, C., (2016), Speeding-Up Robot Exploration by Exploiting Background Information. *IEEE Robotics and Automation Letters* 1, no. 2 pp. 716-723.
- [3] Neira, J., Davison, A.J. & Leonard, J.J., (2008), Guest editorial special issue on visual SLAM." *IEEE Transactions on Robotics* 24, no. 5) pp. 929-931.
- [4] Madhavan, Raj, Chris Scrapper, and Alex Kleiner. (2009), Guest editorial: Special issue on characterizing mobile robot localization and mapping. *Autonomous Robots* 27, no. 4 pp. 309-311.
- [5] Borenstein, J., Everett, H.R. & Feng L., (1996). "Where am I? Sensors and methods for mobile robot positioning." *University of Michigan* 119, no. 120.
- [6] Elfes, A. (1989), Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation. *Computer* 22(6), pp. 46-57.
- [7] Wang, D.Z., Posner, I., & Newman, P. (2015) Model-free detection and tracking of dynamic objects with 2D LIDAR. *Int. J. Robot. Res.* 34(7), pp. 1039-1063.
- [8] Xin, Y., Liang, H., Mei, T., Huang, R., Du, M., Sun, C., Wang, Z., & Jiang, R. (2014), A new occupancy grid of the dynamic environment for autonomous vehicles. In: *Proceedings of the 2014 Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 787-792. IEEE.
- [9] Li, Y. & Ruichek, Y. (2014) Occupancy grid mapping in urban environments from a moving on-board stereo-vision system. *Sensors* 14, pp.10454-10478.
- [10] Lopez-Perez, J. J., Ayala-Ramirez, V., & Hernandez-Belmonte, U.H., (2016), Dynamic Object Detection and Representation for Mobile Robot Application. In *Mexican Conference on Pattern Recognition*, pp. 84-93. Springer International Publishing.