

Localización activa para robots de servicio basada en la agrupación de puntos de discrepancia

XXXXXX

Resumen—El uso de robots de servicio está teniendo un crecimiento constante en los últimos años. Es necesario un sistema de localización robusto y preciso para que el robot navegue en forma segura. En entornos muy simétricos o con espacios muy abiertos es difícil mantener una estimación precisa de la pose, generando que el robot acumule hipótesis ambiguas sobre su posición. Los trabajos actuales abordan el tema de eliminación de hipótesis encontrando puntos de discrepancia y evaluando individualmente la ganancia de información en cada punto. Este trabajo presenta un enfoque novedoso donde los puntos de discrepancia son agrupados previo a ser evaluados. Adicionalmente, se hizo un estudio sobre la necesidad de un agrupamiento previo de las hipótesis. El sistema demostró una mejora significativa en la estimación de la posición en experimentos en simulación.

Palabras clave: Localización activa, Robot de servicio, poda de hipótesis.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de un robot de servicio es la navegación. En particular, un robot que no se puede mantener localizado en el entorno carece de utilidad [11]. Las estrategias básicas de localización son: (i) localización pasiva [5] y (ii) localización activa [2]. En la segunda el robot puede tomar decisiones sobre hacia dónde moverse para mejorar su estimación de la posición. A medida que el robot se mueve y sensa el entorno, va acumulando diversas hipótesis sobre su pose. En este trabajo se presenta una forma novedosa de evaluar el conjunto de hipótesis mantenido por el sistema de localización, que consiste en el agrupamiento de puntos de mayor discrepancia. Los aportes concretos de este trabajo son: (i) Una estrategia de agrupamiento de puntos de mayor discrepancia para maximizar la ganancia de información, (ii) Un estudio de la proporción de agrupamiento a partir de la cual se activa la localización activa.

Adicionalmente, el código desarrollado está disponible para su uso y evaluación en [git@gitlab.fing.edu.uy:fandrade/active-localization.git](https://gitlab.fing.edu.uy/fandrade/active-localization.git).

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Existen varios trabajos que proponen que el robot apunte sus sensores hacia zonas de mayor ganancia de información [1, 3, 8], sin embargo no mantienen un conjunto de hipótesis sobre las poses del robot.

Las primeras evidencias sobre el mantenimiento de hipótesis sobre la posición del robot y su eliminación a través de su elección utilizando un árbol de hipótesis fue presentado por Dudek et al. [4]. Un trabajo más reciente, realizado por Hsiao et al. [7] propone acumular las hipótesis sobre la pose

TABLE I: Tiempo de cómputo en función de la cantidad de partículas.

Partículas	Time (s)
50	2
100	5
500	31
1000	60

generadas por mediciones ambiguas y luego podarlas eligiendo el punto de mayor ambigüedad.

En el trabajo de Li et al. [10], se genera un mapa compuesto a partir de la intersección de los mapas que mantiene cada hipótesis sobre un mapa de grillas. El mapa compuesto luego es evaluado y se obtiene la celda de mayor discrepancia. Al igual que el trabajo anterior el robot es dirigido hacia esa celda para eliminar las hipótesis que no coincidan con la realidad.

En los trabajos anteriores un único punto ambiguo es elegido para dirigir al robot, sin tener en cuenta los puntos cercanos. En este trabajo se propone agrupar los puntos de mayor discrepancia y evaluar la ganancia de información de cada agrupamiento, en lugar de hacerlo por puntos individuales.

III. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN ACTIVA

La estrategia que utilizan los algoritmos de eliminación de hipótesis en forma sistemática consiste en: (i) generar un mapa compuesto a partir de la intersección de los mapas a los que representa cada hipótesis, (ii) buscar los puntos del mapa compuesto donde haya discrepancia en cuanto al valor de las celdas, (iii) elegir el punto que presente mayor discrepancia y dirigir los sensores del robot hacia ese punto.

A. Generación del mapa compuesto a partir de hipótesis representantes

Generar un mapa compuesto para hallar los puntos de mayor discrepancia evaluando sobre miles de hipótesis es impracticable. La tabla I muestra el tiempo de procesamiento en calcular el mapa compuesto según la cantidad de partículas utilizadas. Se puede apreciar que incluso para números muy bajos de partículas el tiempo que demora el sistema es muy alto, entonces, en lugar de construir el mapa compuesto a partir de todo el conjunto de hipótesis, agruparemos las partículas y de cada agrupación elegiremos al centroide como representante del grupo. El proceso es presentado en la figura 1.

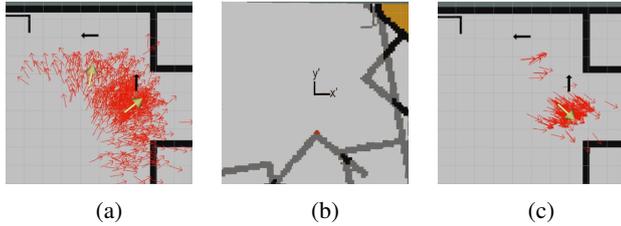


Fig. 1: Generación del mapa compuesto. En (a) se agrupan las partículas y se eligen los representantes. En (b) se genera el mapa compuesto. Finalmente en (c), se ejecuta la acción de observación.

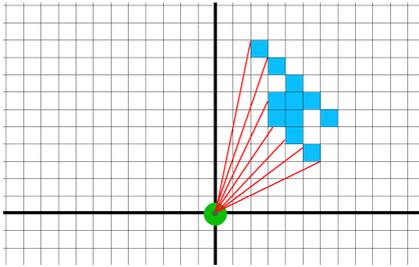


Fig. 2: Técnica raycast utilizada. Los rayos alcanzan solo los puntos visibles para el robot.

B. Agrupación de las partículas

Es relevante estudiar la relación entre las hipótesis asociadas a cada representante y la mejora en la localización. Este es un estudio novedoso que no se ha visto en trabajos previos y se presenta en la sección IV.

C. Agrupación de los puntos de mayor discrepancia

Como fue mencionado, el mapa compuesto tiene celdas en las que las hipótesis coinciden y otras celdas en las que hay discrepancia en cuanto a su estado de libre u ocupada. Estas son las celdas que interesa sensar para eliminar hipótesis incorrectas. Trabajos previos sensan solo la celda de mayor discrepancia. En este trabajo se propone una forma novedosa de elegir qué sensar, basada en agrupar las celdas de mayor discrepancia, debido a que en general estas celdas no están aisladas sino que forman parte de una estructura física continua como un muro o una mesa. Para esta evaluación fueron desarrollados dos agentes, el *agente raycast* y el *agente ganancia de información*.

1) *Agente Raycast*: Las celdas de mayor discrepancia del mapa compuesto son agrupadas utilizando el algoritmo DBSCAN. Una vez generados estos agrupamientos, se buscan las celdas del perímetro más cercano al robot utilizando la estrategia Ray Casting, presentada en la figura 2. Esta consiste en la proyección de rayos a partir de un centro de referencia y un ángulo, buscando el primer objeto que los intercepte.

Se toma como punto de referencia la posición del robot, el ángulo inicial queda determinado por la posición del robot y el centroide del agrupamiento. Se aumenta en sentido horario el ángulo en 1° y a partir de este nuevo ángulo se calcula la

ecuación de la recta, luego se verifica si alguno de los puntos del agrupamiento cumple la ecuación. Si uno la verifica se aumenta 1° y se repite este proceso hasta que ningún punto la verifique o se llegue a la mitad del ángulo máximo de visión. Se repite este proceso en sentido antihorario. Se encuentran los puntos visibles más cercanos a los extremos del ángulo de sensado. Por último se calcula la distancia euclidiana entre estos puntos y se utiliza para comparar los agrupamientos generados, eligiendo la agrupación que la maximiza.

2) *Agente Ganancia de Información*: Para el caso del agente ganancia de información, la etapa de agrupación de los puntos de mayor discrepancia utilizando DBSCAN es igual que en el caso anterior. Una vez agrupadas, se utiliza la entropía de Shannon para evaluar la ganancia de información de cada agrupamiento:

$$H(X) = \sum_x P(x) \times \log\left(\frac{1}{P(x)}\right), \quad (1)$$

Donde $P(x)$ representa la probabilidad de que la celda esté ocupada. Este agente permite evaluar la ganancia de información al descubrir las celdas del agrupamiento elegido y no descubrir las celdas de los otros. La evaluación se presenta en la sección IV.

IV. EXPERIMENTACIÓN

Las pruebas se realizan en dos ambientes simulados haciendo uso del simulador Gazebo [9]. Se utiliza el robot TurtleBot 2 [6] equipado con un sensor láser que trabaja entre 0.45 a 8 metros y tiene un ángulo de visión de 70° . El sistema de localización propuesto, fue desarrollado sobre ROS.

Para cada experimento, el robot debe seguir una secuencia de puntos, presentados en la figura 3. Para la localización activa se usa el paquete AMCL de ROS, usando un valor de 1000 partículas. La experimentación se realizó en una computadora MSI PS63 Modern 8RC.

Las pruebas se separan en dos categorías, en (A) se estudia la proporción del agrupamiento de partículas a partir de la cual se activa la localización activa, y en (B) se busca analizar el desempeño de los algoritmos de agrupamiento de las celdas de mayor discrepancia para la selección del punto objetivo de la localización activa. Para la comparación se definen tres métricas: (i) tiempo total del recorrido (segundos), (ii) error de localización (Ground Truth Error), calculado como la distancia euclidiana entre la posición real del robot y la estimada por el sistema, y (iii) incertidumbre en la localización, representando la dispersión de las partículas [11].

A. Estudio de la proporción de partículas agrupadas y su impacto en la localización

El objetivo de estos experimentos es estudiar el impacto que tiene sobre el sistema de localización la elección de distintos umbrales de activación. La localización activa se disparará cuando la cantidad de partículas pertenecientes al agrupamiento más grande represente menos de un **UMBRAL%** del total de partículas.



(a) Oficina con áreas abiertas. (b) Escenario artificial simétrico.

Fig. 3: En esta imagen se muestra la secuencia de puntos recorrida por el robot en cada uno de los escenarios.

TABLE II: Promedio de 10 ejecuciones de cada agente por ambiente.

Agente	Ambiente	GT Error \pm std (m)	Dispersión \pm std (m)	Tiempo (s)
Base	Oficina	0.144 \pm 0.013	136.0 \pm 7.7	166
50%	Oficina	0.186 \pm 0.024	180.9 \pm 25.5	160
70%	Oficina	0.160 \pm 0.017	152.6 \pm 8.6	165
90%	Oficina	0.145\pm0.012	141.5\pm6.7	172
Base	Simétrico	0.246 \pm 0.017	142.9 \pm 17.8	212
50%	Simétrico	0.324 \pm 0.041	176.1 \pm 22.0	183
70%	Simétrico	0.237\pm0.017	141.3 \pm 15.3	206
90%	Simétrico	0.251 \pm 0.019	140.8\pm13.0	204

Se definen cuatro agentes, todos utilizan es sistema de localización activa propuesto en [10], el primero no sufre modificaciones. Los restantes incorporan la activación por umbrales, usando los valores 50%, 70%, 90%. Para cada uno se realizan diez ejecuciones en los ambientes definidos. Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla II. La utilización de un umbral a 90% obtiene buenos resultados en términos de precisión en la localización, pero con el costo asociado de consumir más tiempo para completar la tarea.

B. Agrupamiento de los puntos de mayor discrepancia

En este experimento, las dos técnicas propuestas eligen el punto objetivo a partir de un conjunto de agrupamientos que contienen los puntos de mayor discrepancia. La selección se realiza con dos métodos diferentes: el primero a través de Ray Casting para buscar el agrupamiento que tiene el mayor perímetro visible para el robot y el segundo utiliza la entropía de Shannon para buscar el agrupamiento que presenta mayor información.

Se definen tres agentes, todos utilizan es sistema de localización activa propuesto en [10], el primero no sufre modificaciones, el segundo es el Agente Raycast que utiliza la técnica de Ray Casting y el tercero es el agente de Ganancia de Información que utiliza el cálculo de la entropía de Shannon. Para cada agente se realizan diez ejecuciones en cada uno de los ambientes definidos.

Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla III. Ambas técnicas performan de mejor manera que la línea base,

TABLE III: Promedio de 10 ejecuciones de cada agente por ambiente.

Agente	Ambiente	GT Error \pm std (m)	Dispersión \pm std (m)	Tiempo (s)
Base	Oficina	0.144 \pm 0.013	136.0 \pm 7.7	166
RayCast	Oficina	0.132\pm0.009	135.5\pm7.7	170
Gan. de Info.	Oficina	0.138 \pm 0.009	135.5\pm7.7	170
Base	Simétrico	0.246 \pm 0.017	142.9 \pm 17.8	212
RayCast	Simétrico	0.239 \pm 0.013	138.8 \pm 7.6	199
Gan. de Info.	Simétrico	0.223\pm0.013	136.8\pm7.6	212

demonstrando la ventaja de su utilización.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un sistema de agrupamiento de puntos ambiguos para mejorar la precisión en la estimación de la localización de un robot de servicio en entornos muy simétricos y con espacios abiertos. Los resultados experimentales muestran una mejora sensible en la localización del robot. Como líneas de trabajo futuro, se espera integrara esta algoritmo a un sistema de SLAM.

REFERENCIAS

- [1] E. Bonetto et al. “iRotate: Active Visual SLAM for Omnidirectional Robots”. In: *arXiv preprint arXiv:2103.11641* (2021).
- [2] W. Burgard, D. Fox, and S. Thrun. “Active mobile robot localization”. In: *IJCAI’97*. 1997.
- [3] J. Correa and A. Soto. “Active visual perception for mobile robot localization”. In: *Journal of Intelligent Robotic Systems*. 2010.
- [4] G. Dudek, K. Romanik, and S. Whitesides. “Localizing a Robot with Minimum Travel”. In: *SIAM J. Comput.* 1998.
- [5] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun. “Markov localization for mobile robots in dynamic environments”. In: *Journal of artificial intelligence research*. Vol. 11. 1999.
- [6] Willow Garage. “Turtlebot”. In: <http://turtlebot.com/>. 2011.
- [7] M. Hsiao et al. “ARAS: Ambiguity-aware Robust Active SLAM based on Multi-hypothesis State and Map Estimations”. In: *2020 IEEE/RSJ IROS*. IEEE. 2020.
- [8] M. Jung and J Song. “Efficient autonomous global localization for service robots using dual laser scanners and rotational motion”. In: *International Journal of Control, Automation and Systems*. Vol. 15. 2. 2017, pp. 743–751.
- [9] N. Koenig and A. Howard. “Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator”. In: *IEEE/RSJ IROS*. Vol. 3. 2004, 2149–2154 vol.3.
- [10] A. Q. Li et al. “Active localization with dynamic obstacles”. In: *IEEE/RSJ IROS*. 2016, pp. 1902–1909.
- [11] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox. *Probabilistic robotics*. MIT Press, 2005.