

**III ENCUENTRO DE
COMUNICACIÓN,
INVESTIGACIÓN, DOCENCIA Y
EXTENSIÓN**

**GAIA
(GRUPO DE ACTIVIDADES
INTERDISCIPLINARIAS
AMBIENTALES)**

UTN – FRLR

2021



Calbo, Vicente

III Encuentro de Comunicación, Investigación, Docencia y Extensión:
ECIDE 2021 / Vicente Calbo; María Cecilia Baldo; Compilación de María
Cecilia Baldo. - 1a ed. revisada. - La Rioja: Suyay, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-48010-4-3

1. Ciencias Tecnológicas. I. Baldo, María Cecilia. II. Título.

CDD 607.3

ISBN 978-987-48010-4-3



PRÓLOGO

El Encuentro de Comunicación en Investigación, Docencia y Extensión nace en 2017 como una iniciativa de los docentes de la Facultad Regional La Rioja. La idea era contar con un ámbito de participación y comunicación de resultados que concentrara la producción de la Facultad, para que toda la comunidad tuviera conocimiento de lo que se realiza en ella. El evento en general se realiza por disciplinas y atomizan en contenido y en el tiempo lo producido localmente. El Grupo de Actividades Interdisciplinarias Ambientales (GAIA), organizó el encuentro en tres oportunidades, 2017, 2019 y 2021.

Nos encontramos así con la tercera edición del encuentro, al que se han sumado otras Facultades Regionales y Universidades locales, presentando también sus trabajos.

Los resúmenes y trabajos son sometidos a evaluación externa por doble ciego realizada por investigadores categorizados del Sistema SPU, Régimen de Incentivos, por lo que lo publicado cumple con estándares de aceptabilidad académica.

Muchos docentes de nuestra Facultad Regional han participado por primera vez en una jornada de C y T en estos eventos. Los asistentes a las carreras de Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental de nuestra sede han podido cumplir requisitos reglamentarios en las ECIDE.

Esperamos poder continuar esta actividad, con el compromiso de ampliar calidad, alcances y participación en sucesivas ediciones.

Dr. Vicente Calbo
Secretario de Ciencia Tecnología y Posgrado
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Rioja

ESTUDIO DE LOS SISTEMAS RGB-D SLAM PARA LA NAVEGACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL

Lucero, Emilce⁽¹⁾, Rearte, Pedro⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento Electrónica – UTN – Facultad Regional La Rioja
e-mail: bealucero@yahoo.com.ar

Resumen:

Un robot móvil para moverse en un entorno desconocido, necesita de múltiples sensores, y estrategias de control, con capacidad suficiente para procesar información procedente del exterior de tal manera que le permita moverse sin colisionar.

Gran parte de las investigaciones actuales están enfocadas en técnicas de navegación autónoma utilizando visión artificial, y muchas de ellas en el área de localización, mapeo y exploración para robots autónomos sencillos.

Cuando un robot entra un lugar desconocido, debe crear un mapa y saber ubicarse en él. Esto en la literatura se conoce como SLAM (Simultaneous Location And Mapping). El SLAM es uno de los algoritmos que han surgido con la intención de posicionar al robot en un entorno desconocido a la vez que navegar por él. Para adquirir el modelo del ambiente, un sistema SLAM puede requerir el uso de diversos sensores, tales como, ultrasonido, sistemas láser, sonar o cámaras de video.

La creciente popularización de sensores RGB-D provoca un gran interés científico para desarrollar nuevas técnicas de procesamiento de imágenes y adaptar otras ya conocidas utilizando toda la información provista por estos sensores.

Este trabajo es parte del proyecto de investigación denominado “Navegación de Robot Móvil mediante técnicas de guiado y Visión Artificial” que lleva a cabo el departamento de Ingeniería Electrónica perteneciente a la UTN - Facultad Regional La Rioja, en el que se presenta el estado del arte de la tecnología SLAM (Localización y mapeo simultaneo) utilizando sensores RGB-D.

Palabras Clave: SLAM (Localización y mapeo simultaneo), sensores RGB-D

Introducción

Los robots móviles son sistemas que tienen la capacidad de navegar autónomamente en un espacio. Para lograr esta autonomía, inicialmente es necesario dotar al agente móvil de un sistema de percepción, esto con el fin de brindarle la información de la estructura del entorno; posteriormente se debe brindar un algoritmo que procese la información recibida de los sensores para proporcionarle información sobre la posición y orientación de los posibles obstáculos en su trayectoria. Como último nivel en la pirámide de control se encuentran los algoritmos que permiten la localización, el mapeo del entorno y la planificación de trayectorias “optimizadas” en un mapa global (*Suarez y Loaiza, 2015*).

Los sistemas de percepción le permiten la detección y reconocimiento de objetos en el espacio de trabajo, para ello se han empleado sensores del tipo sonar y laser 2D

(*Qian y Song, 2012*), los cuales implementan estrategias de navegación que permiten realizar tareas complejas de localización y mapeo con buenos resultados. También se han desarrollado sistemas laser 3D que permiten capturar el entorno en su estructura básica de profundidad, altura y ancho, estos dispositivos brindan una mayor cantidad de información que puede ser utilizada por el robot, igualmente con este tipo de sensores se logran realizar tareas complejas de navegación y mapeo, ofreciendo la capacidad de representar un mapa del entorno en un modelo de tres dimensiones generalmente representado por una nube de puntos (*Nüchter, 2007*); (*Cole y Newman, 2006*).

Los robots que utilizan visión se localizan y mapean el entorno basándose en observaciones de objetos o puntos de referencia (landmarks) que van encontrando a medida que avanzan. La construcción de mapas es una tarea clave para agentes que deseen localizarse o navegar en su entorno, como es el caso de los robots móviles (*Thrun y Burgard, 2005*), (*González Jiménez et al., 2013*), (*González Jiménez et al., 2006*).

Para poder crear los mapas, el algoritmo necesita información de entrada de los sensores adecuados. Como mínimo, es necesario tener datos de profundidad y del comando de movimiento que se efectúa sobre el robot. La odometría¹ fue durante muchos años el método más habitual por ser el más económico, basado en la lectura de las revoluciones de las ruedas del robot y en sensores de inercia para estimar los giros. Hoy en día, SLAM es un problema resuelto con frecuencia mediante visión por computador.

Durante la construcción de dichos mapas se realizan estimaciones en las que influyen el ruido, aliasing y otras distorsiones producidas por el sensor utilizado para percibir el entorno, dando lugar a imprecisiones que se acumulan conforme el proceso de reconstrucción avanza. Las investigaciones y trabajos científicos se han enfocado en resolver el problema de cómo generar un mapa del entorno tomando en cuenta los errores acumulados por la lectura de los sensores (*Durrant-Whyte et al., 2001*), (*Newman, 1999*).

En esta primera etapa del proyecto de investigación se realiza una revisión de estado del arte de la tecnología SLAM utilizando como sensores las cámaras RGB-D.

Estado del Arte

Localización y mapeo simultáneo (SLAM)

SLAM es el proceso mediante el cual un robot móvil puede construir un mapa del entorno y, al mismo tiempo, utilizar este mapa para calcular su ubicación (*Bailey et al., 2006*). Para ello, se han de identificar o conocer previamente unos puntos característicos que serán usados de referencia por el sistema.

El proceso del SLAM consiste en un cierto número de pasos: extracción de características, asociación de datos, estimación del estado y actualización de las características. La finalidad del proceso es usar el entorno para actualizar la posición del robot.

¹ Odometría: La odometría es el estudio de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación. Para realizar esta estimación se usa información sobre la rotación de las ruedas para estimar cambios en la posición a lo largo del tiempo. La palabra "odometría" se compone por las palabras griegas hodos ("viajar", "trayecto") y metron ("medida").

El problema de la localización y mapeado simultáneos consiste en descubrir si es posible para un robot móvil navegar a través de un entorno desconocido y construir, de manera incremental un mapa mientras que determina, al mismo tiempo, su posición dentro de este mapa. Para actualizar el mapa visible por los sensores del robot, se debe conocer la posición exacta del móvil. Sin embargo; para localizarse, el robot requiere un mapa previo debido a que no puede confiar en la información obtenida de los sensores. El mapa previo no existe, porque se está haciendo en ese momento. En general, no puede hacerse un mapa sin localización y no se puede localizar un robot sin un mapa (*Jáquez, 2015*). Como resultado, la localización y el mapeo deben ser estimados simultáneamente.

Se han abordados diversos enfoques para la solución del problema de SLAM, especialmente desde el punto de vista probabilístico con un enfoque Bayesiano, con soluciones que involucran técnicas del tipo filtrado Kalman, aplicado generalmente a ambientes reconstruidos con sensores láser (*Durrant Whyte y Bailey, 2006*), (*Holmes, 2008*). El filtro de Kalman es un algoritmo desarrollado por Rudolf E. Kalman en 1960 que sirve para poder identificar el estado oculto (no medible) de un sistema dinámico lineal. Esta técnica es una de la más extendida en la literatura y de las que mejores resultados se ha obtenido en la práctica.

Cámaras RGB-D

Por otro lado los sensores RGB-D han ganado popularidad principalmente debido a su efectividad para recuperar una escena detallada casi en tiempo real, que además de proporcionar la tradicional información de intensidad proporcionan información de profundidad (*Ruiz Sarmiento et al., 2013 y 2015*), (*Scherer et al., 2013*) (*Jaimez y González Jiménez, 2015*). La información de profundidad obtenida por un sensor RGB-D es un dato fundamental que nos posibilita encontrar la distancia de un objeto con respecto al sensor pudiendo recuperar su información tridimensional (3D) junto a su textura RGB en tiempo real.

Las cámaras de profundidad son sistemas capaces de capturar simultáneamente información de color y profundidad de cada píxel de la escena, dando como resultado densas nubes de puntos o mallas trianguladas.

Las cámaras RGB-D están conformadas por tres componentes principales: cámara infrarroja (IR), cámara RGB convencional y proyector de laser infrarrojo. La combinación de los tres hace posible la obtención de la profundidad. Por un lado los 3 primeros canales de la imagen RGB (Red, Green y Blue), son aquellos que contienen los datos necesarios para componer una imagen según la intensidad de sus colores primarios de luz. Por otro lado la letra D (Depth) hace referencia al cuarto canal de la imagen, el de la profundidad, que nos brinda información pixel a pixel, respecto a la imagen RGB, de la profundidad de todas las escenas captadas. Conociendo los parámetros del sensor de profundidad es posible mapear el valor real de la distancia para cada una de las intensidades de los píxeles en la imagen de profundidad obtenida.

Este tipo de cámaras permiten aprovechar además de la información visual, información geométrica que no depende de la iluminación externa (*Zhang, et al., 2015*). No obstante disponer de sendas fuentes de información independiente

conlleva a dos problemas fundamentales. Por un lado, un mayor coste computacional, lo que puede comprometer su utilización en aplicaciones donde el mapeado deba realizarse en tiempo real. Por otro, se hace necesario adaptar los métodos de reconocimiento a la combinación de características de muy distinta naturaleza.

Estos sensores han sido muy aceptados por investigadores y profesionales de la reconstrucción 3D, sin embargo debido a su sensibilidad al ruido y sus limitaciones de resolución, la comunidad científica aún se muestra cautelosa con respecto al uso de cámaras RGB-D en proyectos que requieren resultados de alta precisión.

Trabajos Relacionados

A la fecha se han estudiado aplicaciones SLAM en una gran variedad de dominios interiores y exteriores, incluyendo lugares muy apartados (*Durrant Whyte y Bailey, 2006*), muy peligrosos (*Thrun et al., 2003*) o simplemente en lugares donde el acceso humano resulta muy costoso.

En (*Endres et al., 2012*) se presenta un enfoque novedoso para SLAM visual de sensores RGB-D, en el que se extraen puntos clave visuales de las imágenes en color y se utilizan las imágenes de profundidad para localizarlos en 3D. Se utiliza RANSAC para estimar de forma sólida las transformaciones entre fotogramas RGB-D y se optimiza el gráfico de pose (posición y orientación) mediante optimización no lineal. Finalmente, se genera un mapa 3D volumétrico del entorno que se puede utilizar para la localización, navegación y planificación de rutas de robots.

En (*Zúñiga Noël et al., 2016*) se propone un método que combina descriptores de imágenes de intensidad y de profundidad para detectar de manera robusta el problema de cierre de bucle en SLAM. La robustez del método, proporcionada por el empleo conjunto de información de diversa naturaleza, permite detectar lugares revisitados en situaciones donde métodos basados solo en intensidad o en profundidad presentan dificultades, por ejemplo: condiciones de iluminación deficientes o falta de geometría.

Respecto a trabajos que emplean sistemas sensoriales basados en cámaras RGB-D de bajo costo, como el sensor de profundidad de Microsoft Kinect. Se puede citar el trabajo desarrollado en (*Wu y Bainbridge Smith, 2012*) en el cual se realiza una breve recopilación de trabajos donde se ha utilizado el Kinect, resaltando campos como UAV (Vehículos Aéreos No Tripulados), robótica móvil terrestre y la medicina, adicionalmente en su trabajo realizan una comparación entre el sensor y otros sensores de bajo costo, presentado las ventajas y desventajas de este sensor, igualmente resalta las principales razones para el uso de este sensor en investigaciones de robótica.

En el trabajo reportado en (*Romero Molano y Díaz Celis, 2011*) se desarrolla una plataforma robótica que logra navegar en un ambiente controlado, el algoritmo implementado se basa en el reconocimiento de obstáculos de un color definido, se realiza una segmentación por color para detectar el objeto, seguidamente se analiza la imagen de profundidad para obtener el valor de distancia promedio de la región segmentada de la imagen de color. En (*Ruiz Sarmiento et al., 2012*) se presenta la integración del sensor Kinect en un robot móvil para mejorar la realización de las tareas de detección de obstáculos y navegación reactiva, en este trabajo los autores

hacen un estudio de la capacidad del sensor para la detección de obstáculos confirmando el buen desempeño de éste, para la navegación del robot toman la nube de puntos tridimensional y la simplifican a una nube de puntos bidimensional que es conformada por los obstáculos detectados en la escena, esta información es llevada al algoritmo de navegación reactivo.

Si bien los resultados que se han reportado en la literatura, sugieren avances significativos y sólidos en la búsqueda de la autonomía del robot móvil. No obstante, continua latente un amplio margen en la investigación de la robótica móvil.

Conclusiones

En esta primera etapa del proyecto se realizó el estudio del arte de la tecnología SLAM utilizando sensores RGB-D, se presentó una visión global de esta técnica y de sus aplicaciones actuales.

Para lograr una percepción y navegación verdaderamente sólidas para robots autónomos, se necesita más investigación en SLAM. A continuación se realizara el desglose de los componentes del algoritmo para estudiar que fortalezas y debilidades tiene, poniendo énfasis en la comparativa entre el filtro de Kalman como método tradicional y contrastarlo. Como así también investigar otras tecnologías tales como el control difuso, para compararlas y contrastarlas.

Bibliografía

- Bailey, T. y Durrant Whyte, H. (2006). "Localización y mapeo simultáneos (SLAM): Parte II". *Revista de robótica y automatización IEEE* 13.3, 108-117.
- Cole, D. and Newman, P. (2006). "Using laser range data for 3D SLAM in outdoor environments", *Robotics and Automation. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE, International Conference on*, vol., no, pp.1556-1563,15-19 May 2006.
- Durrant Whyte, H. and Bailey, T. (2006). "Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part I the essential algorithms", *Robotics and Automation Magazine*, vol 3, No. 2, pp. 99-110.
- Durrant Whyte, H. and Bailey, T. (2006). "Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part I the essential algorithms", *Robotics and Automation Magazine*, vol 3, No. 2, pp. 99-110.
- Durrant Whyte, H.; Newman, P. and Clark, S. (2001). "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, No. 3, June 2001.
- Endres, F.; Hess, J.; Engelhard, N. and Strum, J. (2012). "An evaluation of the RGB-D SLAM system", [Documento en línea]: <https://www.researchgate.net/publication/254041427_An_evaluation_of_the_RGB-D_SLAM_system>, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 2012.
- González Jiménez, J.; Galindo, C.; Meléndez Fernández, F. and Ruiz Sarmiento, J. (2013). Building and exploiting maps in a telepresence robotic application. In 10th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO).
- González Jiménez, J.; Muñoz, A.; Galindo, C.; Fernández Madrigal, J. and Blanco, J. (2006). A description of the sena robotic wheelchair. In 13th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), May 2006.

- Holmes, S.; Klein, G. and Murray, D. (2008). "A Square Root Unscented Kalman Filter for visual mono SLAM", IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA, pp. 3710-3716, Pasadena, Cal., USA, May 2008.
- Jaimez, M. and González Jiménez, J. (2015). Fast visual odometry for 3-d range sensors. IEEE Transactions on Robotics, 31(4):809– 822.
- Jáquez, V. (2005). "Construcción de Mapas y Localización Simultánea con Robots Móviles", Tesis de Maestría, ITESM, Cuernavaca.
- Newman, P. (1999). "On The structure and solution to the Simultaneous Localization and Map Building Problem", Ph. D. thesis, Dept. Mechanical Engineering, Australian Centre for Field Robotics, University of Sydney, Australia, March 1999.
- Nüchter, A.; Lingemann, K.; Hertzberg, J. and Surmann, H. (2007). "6D SLAM—3D Mapping Outdoor Environments" *Journal of Field Robotics*.
- Qian, K. and Song, A. (2012). "Autonomous navigation for mobile robot based on a sonar ring and its implementation", *Instrumentation and Control Technology (ISICT). 8th IEEE International Symposium on*, vol., no., pp.47-50, 11-13. June 2012.
- Romero Molano, C. y Díaz Celis, C. (2011). "Navegación de robot móvil usando Kinect y OpenCV", *3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica*, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia, Vol 2, N° 1.
- Ruiz Sarmiento, J.; Galindo, C. and González Jiménez, J. (2013). Experimental study of the performance of the kinect range camera for mobile robotics. Technical report, University of Malaga.
- Ruiz Sarmiento, J.; Galindo, C. and González Jiménez, J. (2015). OLT: A Toolkit for Object Labeling Applied to Robotic RGB-D Datasets. In European Conference on Mobile Robots.
- Ruiz Sarmiento, J.R.; Galindo, C.; González Jiménez, J. y Blanco, J. (2012). "Navegación Reactiva de un Robot Móvil usando Kinect", [Documento en línea]: <<http://ingmec.ual.es/~jlblanco/papers/robot2011ruiz-sarmiento.pdf>> [consulta: 15-3-2012].
- Scherer, S.; Kloss, A. and Zell, A. (2013). Loop closure detection using depth images. In Mobile Robots (ECMR), 2013 European Conference on, pages 100–106.
- Suárez, A. y Loaiza, H. (2015). "Implementación de un esquema de navegación reactiva con sensores RGB-D". Rev. UIS Ingenierías, vol.14, n1, p. p 7-19.
- Thrun, S.; Burgard, W. and Fox, D. (2005). Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents). The MIT Press.
- Thrun, S. and Ferguson, D. (2003). "A system for volumetric robotic mapping of abandoned mines", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, Taiwan.
- Wu, H. and Bainbridge Smith, A. (2012). "Advantages of using a Kinect Camera in various applications". [Documento en línea]: <[https://bitbucket.org/soko/quadtrack/src/d1f3b069ed9a/Reports/Research Papers/hhw26paper3rdPro.pdf](https://bitbucket.org/soko/quadtrack/src/d1f3b069ed9a/Reports/Research%20Papers/hhw26paper3rdPro.pdf)> [consulta: 15-3-2012].
- Zhang, H.; Liu, Y. and Tan, J. (2015). Loop closing detection in RGB-D SLAM combining appearance and geometric constraints. Sensors, 15(6):14639–14660.
- Zúñiga Noël, D.; Ruiz Sarmiento, J. y González Jiménez, J. (2016). "Detección de Lugares con Cámaras RGB-D. Aplicación a Cierre de Bucles en SLAM", [Documento en línea]: <http://mapir.uma.es/papersrepo/2016-david-Jornadas_CEA-Deteccion_de_Lugares_con_Camaras_RGB-D.pdf>.