

Mapeo y localización simultáneos en ambientes no estructurados usando el simulador Gazebo

Axel Javier Rojas Mosqueda

Octubre 2021

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Motivación	3
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	4
1.5. Descripción del documento	5
2. Antecedentes	6
2.1. Robótica para rescate	6
2.1.1. Robots móviles	6
2.1.2. Robots de rescate	9
2.1.3. Tareas para un robot de rescate	12
2.1.4. Tipos de robots de rescate	13
2.2. Sensores	14
2.2.1. Sensores para navegación autónoma	14
2.2.2. Sensores para localizar personas	17
2.3. Locomoción	21
2.4. Mapeo y localización	25
2.5. Estado del arte	28
3. El ambiente de simulación	31
3.1. Conceptos básicos del simulador Gazebo	31
3.2. Simulación del robot FinderV3	31
4. Sistema de Mapeo y Exploración	32
4.1. Interfaz para teleoperación	32
4.2. Mapeo y localización simultáneos	32
4.3. Estrategia de exploración	33

5. Resultados	34
5.1. La plataforma ROS	34
5.2. Nodos implementados	34
5.3. Pruebas de mapeo	34
6. Discusión	35
6.1. Conclusiones	35
6.2. Trabajo futuro	35

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El uso de la robótica en entornos de desastre ha aumentado con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología, representando una herramienta muy valiosa que permite, no solo salvaguardar la vida de los equipos de rescate, sino además llevar a cabo tareas como la búsqueda y localización de víctimas. Usualmente estos equipos cuentan con la capacidad de ser controlados por un operario a distancia, o en algunos casos, la realización de tareas de manera autónoma [24].

El consenso general establece que el uso de robots de búsqueda y rescate tiene sus orígenes en 2001, con el colapso del World Trade Center, en donde se usaron pequeños robots, los cuales permitieron el acceso a espacios reducidos, que resultaban inalcanzables para los equipos de rescate humanos y caninos [13].

Por otro lado, ejemplos más recientes, como el ocurrido en 2011 tras el terremoto y tsunami en Japón, tuvieron, como respuesta a esta catástrofe, el despliegue de 4 Vehículos Operados Remotamente (ROVs) para la inspección de estructuras y recuperación de cuerpos [13].

1.2. Planteamiento del problema

- Se requiere de un ambiente de simulación con las características suficientes para desarrollar sistemas de mapeo y localización simultáneos en ambientes no estructurados.
- Se requiere de un sistema de teleoperación para un robot móvil con orugas y cuatro *flippers*.
- Se requiere un sistema que permita construir un mapa de un ambiente no estructurado, similar al de una zona de desastre.

1.3. Hipótesis

- El simulador Gazebo tiene las características necesarias para desarrollar algoritmos de mapeo y localización en ambientes no estructurados
- Los filtros de partículas pueden servir para localizar al robot y construir un mapa de un ambiente estructurado.
- Los algoritmos de agrupamiento pueden servir para determinar puntos clave en una estrategia de exploración.

1.4. Objetivos

- Desarrollar un ambiente en el simulador Gazebo lo suficientemente parecido a un ambiente de desastre.
- Desarrollar una interfaz para teleoperación de un robot con orugas y cuatro *flippers*
- Desarrollar un sistema de mapeo y localización simultáneos utilizando el ambiente simulado
- Desarrollar una estrategia de exploración para eficientar el proceso de mapeo

1.5. Descripción del documento

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Robótica para rescate

2.1.1. Robots móviles

Una de las interrogantes más popular, cuando se habla de robótica, tiene que ver con la definición de lo que es un robot. Para esto, debemos remitirnos a 1920, en donde la palabra “robot” tuvo su primer aparición estelar, en la obra literaria titulada Rossum’s Universal Robots (R.U.R) del autor Karel Capek’s. En esta, un inventor desconocido, llamado Rossum, crea una raza de trabajadores, lo suficientemente inteligentes, para reemplazar a los humanos en cualquier trabajo. La palabra de la que se deriva robot es de la palabra “robota”, la cual tiene como significado aproximado, un trabajador servil [12].

Producto de la ciencia ficción y la literatura, con películas tales como *Metrópolis* (1926), *The Day the Eath Stood Still* (1951) y *Forbidden Planet* (1956), y libros como *Yo, Robot* de Isacc Asimov , así como del avance tecnológico en la industria, especialmente en la década de los 90’s, permitieron un desarrollo exponencial del campo de la robótica [12].

Una definición de robot, ya que no existe un consenso universal, podría ser la siguiente “Un robot es un manipulador multifuncional programable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especiales, a través de acciones programadas para la ejecución de múltiples tareas”[23]. Por otro lado, un robot móvil puede definirse como un robot capaz de mo-

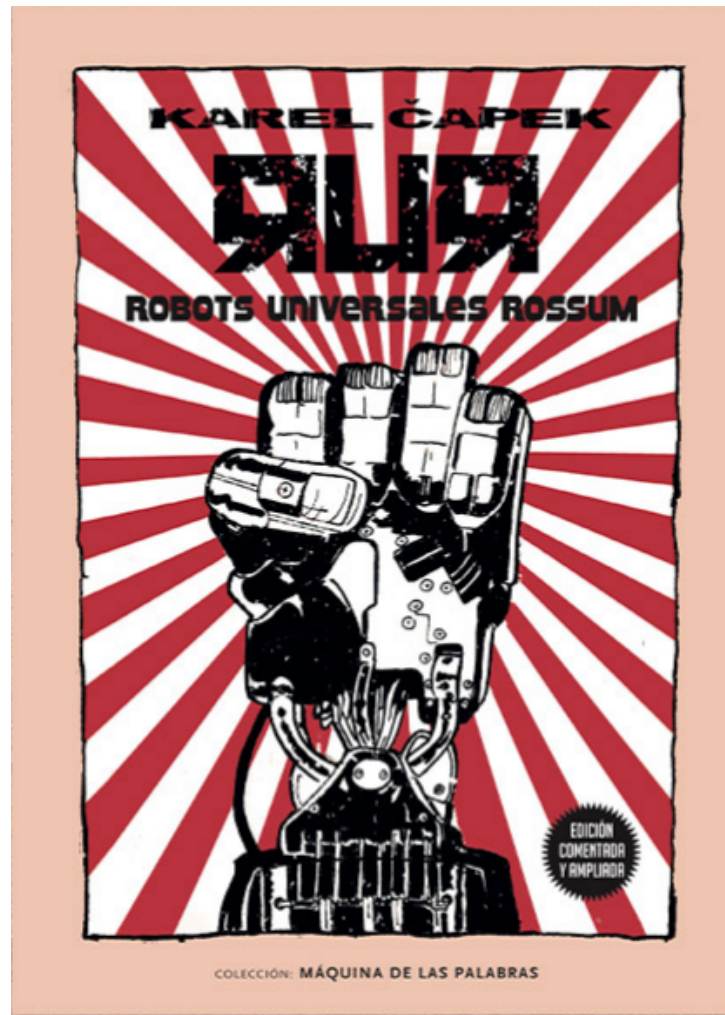


Figura 2.1: Portada del Libro *Rossum's Universal Robots (R.U.R)* [26]

verse autonomamente, en el entorno en el que se encuentre, sin asistencia proveniente de operadores humanos [12].

Por último, mencionar que entenderemos a un robot autónomo como aquel que tiene la habilidad, por sí mismo, de determinar las acciones que debe desempeñar para realizar una tarea específica, a través del uso de sistemas de percepción para dicha determinación [17].

Bien, una vez otorgada algunas definiciones, podemos establecer la clasificación de los robots en dos grandes grupos:

1. Robots manipuladores o robots industriales

Para este gran grupo, se presentarán algunas definiciones a continuación:

- Su diseño mecánico se asemeja a un brazo articulado y su función es la de manipular objetos y herramientas o realizar operaciones repetitivas con gran precisión: soldar, ensamblar, traslado de objetos en líneas de producción, etcétera [9].
- Un robot manipulador industrial es una máquina, manipuladora, automática, controlable, programable y de múltiple propósito con varios *grados de libertad*, la cual tiene que ser colocada, ya sea, en un espacio fijo o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial [10].
- Un (robot) manipulador es una máquina, con mecanismos formados por una serie de segmentos unidos o deslizantes unos con los otros, con el propósito de sujetar o mover objetos (piezas o herramientas) usualmente en varios *grados de libertad* [10].

2. Robots de servicio

El termino *Robots de Servicio* apareció a finales de los años 80, como una necesidad de desarrollar máquinas y sistemas capaces de trabajar en entornos diferentes a los fabriles. Estos robots, tienen la capacidad



Figura 2.2: Ejemplo de un robot manipulador o robot industrial (imagen obtenida de la pagina oficial de la empresa *EDS Robotics*).

de trabajar en entornos no estructurados y en condiciones ambientales cambiantes, así como mantener una estrecha interacción con los humanos. En 1995, fue creado por la *IEEE Robotics and Automation Society*, el *Technical Committee on Service Robots*, el cual en el año 2000 definió las áreas de aplicación de los Robots de Servicio [1]:

- a) Sectores productivos no manufactureros: edificación, agricultura, naval, minería, medicina, etc.
- b) Sectores de servicio propiamente dichos: asistencia personal, limpieza, vigilancia, educación, entretenimiento, etc.

Por último, mencionar que este trabajo se centrara en los robots de servicio, enfocados en tareas de búsqueda y rescate.

2.1.2. Robots de rescate

Como se menciona en la introducción, en la sección 1.1 se habla del consenso sobre el primer uso de robots de rescate conocido, fue en 2001, tras el desastre del World Trade Center, gracias al despliegue de robots provenientes de la Agencia de Proyectos de Investigación de Defensa Avanzada (DARPA por sus siglas en ingles), por parte del recién establecido Centro de Asistencia de Robots, Búsqueda y Rescate (CRASAR por sus siglas en ingles), como



Figura 2.3: Ejemplo de un robot de servicio para desinfección (imagen obtenida de la pagina oficial de la empresa *INTEGRITAS*).



Figura 2.4: Ilustración de un robot de rescate utilizado en Chernobyl [3]

parte del programa Robots Móviles Tácticos [14].

Sin embargo, el Dr. Read Whitaker, de la Universidad de Carnegie Mellon, construyó, mucho antes, robots para entrar y explorar la isla nuclear de Tres Millas, meses después del incidente de 1979 y en 1986. También fueron contruidos robots para el desastre nuclear de Chernobyl. Estos robots fueron contruidos y reforzados con la intención de protegerlos de la radiación a la que serían expuestos, por lo tanto, eran pesados, grandes y demasiado lentos, empero, ello no representaba un problema en aquel entonces, ya que los robots no tenían que acceder a espacios reducidos o tener un movimiento mayor para salvaguardar vidas o buscar víctimas [14].

La evolución de los robots de rescate llegaría más tarde, con el bombardeo en la ciudad de Oklahoma en 1995, donde numerosos escuadrones antibombas, formados por robots, tuvieron que permanecer inactivos debido a su gran tamaño y peso, ya que estos representaban un peligro para los sobrevivientes atrapados bajo los escombros, porque podían provocar un colapso secundario que terminase con su vida. Esto abrió paso al desarrollo de robots de menor tamaño, ágiles y autónomos, en donde algunos de sus grados de libertad eran monitoreados por humanos [14].

Pero, ¿qué es un robot de rescate? Bien, para contestar esta pregunta, recurriremos a la siguiente definición: “Los robots de rescate, son robots

móviles o robots contruidos para sensar y actuar en un entorno; en términos de inteligencia artificial, este tipo de robots son usualmente llamados **Agentes situados físicamente**. Los robots móviles son distintos de los robots industriales o manipuladores que desempeñan tareas repetitivas, porque se mueven, usualmente, en un mundo impredecible, lo que requiere de un grado mayor de consciencia de su entorno, no solo para la navegación, sino también para estar seguros que no provocaran colapsos secundarios, desprendimiento de escombros o perturbaciones en la evidencia forense...”[14]

Mientras que los robots de rescate son una categoría dentro de los robots móviles, que, generalmente, son lo suficientemente pequeños y lo suficientemente potables para ser transportados, usados y operados en demanda a la necesidad de información y de herramientas para hacer frente a desastres naturales o catástrofes en general, con la intención de salvaguardar vidas [14].

2.1.3. Tareas para un robot de rescate

Con anterioridad hemos hablado sobre la motivación de la construcción y desarrollo de los robots de rescate, que en resumen se centran en salvar vidas, sin embargo, el diseño específico de un robot repercute en las capacidades de este para realizar su tarea. A continuación se presentan algunas de las tareas propuestas para robots de rescate [19]:

- **Búsqueda:** se trata de una actividad que se lleva a cabo en el interior de una estructura, en cavidades o túneles con la intención de encontrar víctimas o posibles riesgos. La motivación de esta tarea se centra en completarla con la mayor rapidez posible sin poner en riesgo a las víctimas o a los rescatistas [19].
- **Reconocimiento y Mapeo:** una tarea más amplia que la búsqueda, ya que esta proporciona a los socorristas o equipos de rescate información de situaciones generales y crea una referencia del medio ambiente destruido. La meta es cubrir la mayor área posible de manera veloz en la resolución apropiada [19].

- Inspección de estructuras: de igual forma esta es llevada a cabo al interior de estructuras (por ejemplo, para ayudar a los socorristas o equipos de respuesta a entender la naturaleza de los escombros para prevenir colapsos secundarios que resultarían en heridas más profundas para los supervivientes) o en el exterior (por ejemplo, para determinar si es seguro entrar a una estructura) [19].
- Remoción de escombros
- Extracción de víctimas, etc.

Sin embargo, cabe señalar que en este trabajo nos centraremos en la tarea del reconocimiento y mapeo de entornos no estructurados.

2.1.4. Tipos de robots de rescate

Bien sabemos que los robots de rescate son necesarios para ayudar a la rápida localización, evaluación y extracción de víctimas, que no son fácilmente alcanzables [19].

Por lo cual, estos pueden ser categorizados, de manera general, en tipos, basados en su modalidad y tamaño [19].

Por Modalidad

- Tipo *Ground* o robots terrestres
- Aéreos
- Marítimos

Por Tamaño

- Man-packable: para ser considerado un robot de tamaño man-packable, el robot incluye la unidad de control, baterías y herramientas. Además, el robot debe de poder ser empacado en una o dos mochilas. Este tipo de robots tienen mayor probabilidad de ser usados inmediatamente después de un desastre [19].

- Man-portable: los robots tipo man-portable, pueden ser transportados cortas distancias por dos personas o por un vehículo todo terreno de pequeñas dimensiones. Estos robots funcionan en espacios con el tamaño de un humano tal como túneles en minas. Estos pueden ser usados para mejorar la accesibilidad dentro de la zona de desastre o fuera de dicha zona para el apoyo logístico, lo cual inhibe su inserción dentro la zona de desastre [19].
- Maxi: este tipo de robot requieren de camiones u otra clase de logística especial para su transporte. Esto inhibe su inserción en la zona de desastre [19].

Esta categorización repercute, para la modalidad, en el entorno de trabajo y tareas que puede realizar el robot, mientras que el tamaño, influye principalmente tanto en la tarea, tiempo de despliegue y respuesta del robot [19].

2.2. Sensores

2.2.1. Sensores para navegación autónoma

IMU

Son componentes que generalmente integran tres tipos de sensores: acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, aunque este último no siempre se encuentra presente, donde su aplicación radica en la obtención de la orientación, fuerzas gravitacionales y velocidad de un dispositivo. Esto se logra gracias a la combinación de los datos, de los tres sensores anteriormente señalados, para obtener las medidas finales [16].

- Acelerómetro

Un acelerómetro es un sensor inercial, el cual mide las aceleraciones, lo cual se traduce en la tasa de variación de la velocidad [16].

Estos sensores son dispositivos electromagnéticos, que son capaces de medir tanto fuerzas estáticas como dinámicas. Dentro de las fuerzas estáticas se encuentra la gravedad, por otro lado, las fuerzas dinámicas van desde las vibraciones, hasta las originadas por el movimiento [16].

- Giroscopio

Este tipo de sensores tienen la capacidad de medir el movimiento rotacional sobre un eje, característicos por su pequeño tamaño y accesible precio. Estos miden la velocidad angular a la cual son sometidos, en otras palabras, son capaces de medir las velocidades angulares en los 3 ejes cartesianos (aunque también existen modelos que permiten la medición de uno o dos ejes exclusivamente) [16].

Esto se logra, gracias al desplazamiento de una pequeña masa resonante que contienen en su interior. Estos movimientos se transforman en pequeñas señales eléctricas que son amplificadas y tratadas por un microcontrolador [16].

- Magnetómetro

Los magnetómetros, como lo sugiere su nombre, son dispositivos capaces de medir los campos magnéticos, específicamente, la densidad de flujo magnético en el punto del espacio donde esté situado el sensor [16].

De esta forma, al ser su principal función la medición de la variación en la orientación, velocidad y aceleración de un cuerpo, nos permite emplearla para aplicaciones como la odometría y localización de un robot, que son esenciales para el proceso de SLAM (Localización y mapeo simultánea).

Lidar

Se trata de un dispositivo, que asemeja a la tecnología usada en el radar, con la excepción de que para estos dispositivos, se emplea láser en vez de

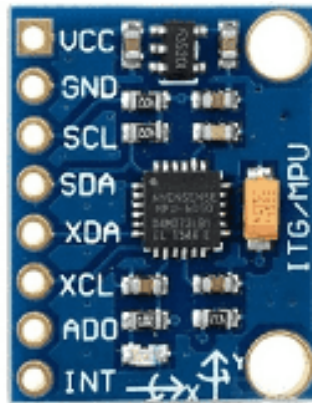


Figura 2.5: Ejemplo de un sensor IMU modelo MPU6050 6 Grados de libertad (imagen obtenida del distribuidor *UNIT Electronics*).



Figura 2.6: Sensor RPLIDAR modelo A1 (imagen obtenida del distribuidor *SandoRobotics*).

ondas de radio (LiDAR del inglés *Light Detection and Ranging*). El principio de funcionamiento consiste en una emisión de un pulso láser, el cual rebota en la superficie de los objetos que se encuentren en su campo de acción, una vez estos vuelvan al sensor, se mide el tiempo que el láser viaja, con lo cual se calcula la distancia a la cual se encuentran los objetos [25].

Este tipo de sensores, tienen aplicaciones para el mapeo, ya que con ellos y con software adicional, podemos localizar en un mapa cada uno de los objetos y obstáculos que se presentan en el entorno de exploración, además de dotarnos de herramientas para la evasión de obstáculos, entre otras cosas.

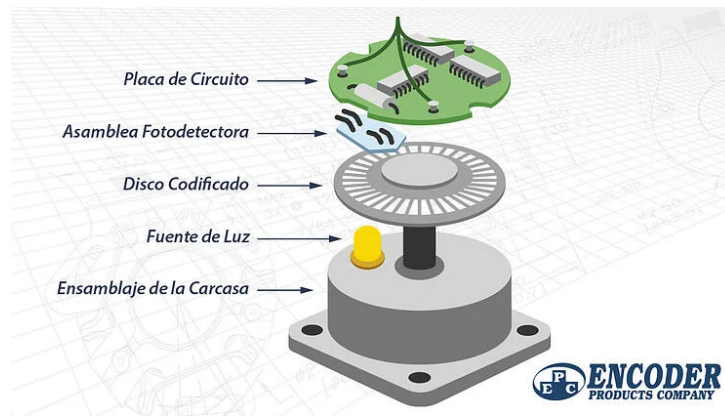


Figura 2.7: Ilustración de las partes de un ENCODER [6]

Encoders

Este tipo de sensores se emplean para la retroalimentación de información, acerca de la posición, velocidad o dirección de giro de algún dispositivo, usualmente motores. Existen de dos tipos, los cuales son incrementales y los absolutos, en donde la diferencia radica, tal y como lo menciona su nombre, en que el primero de ellos mide o indica que la posición ha cambiado con respecto a la posición anterior. Mientras que el encoder absoluto utilizan una “palabra” diferente para cada una de las posiciones, lo cual significa que es capaz de proporcionar tanto el cambio, como la posición absoluta del encoder con respecto a una referencia fija.

2.2.2. Sensores para localizar personas

Existe un gran numero de sensores usados en la robótica, los cuales aplican diversas técnicas de medición y usan diferentes interfaces para su monitoreo. Algunas de las consideraciones que deben de ser tomadas en cuenta, cuando se selecciona un sensor, tienen que ver con la naturaleza de la tarea, la técnica o forma de medición (con contacto o sin contacto por ejemplo), el tamaño y peso del sensor, el rango de temperaturas a las cuales estará trabajando, el consumo de energía, el precio del mismo, entre otros [2].

Por otro lado, los sensores pueden ser catalogados de la siguiente manera [2]:

Por el tipo de salida

- Binaria (0 o 1)
- Analógica (por ejemplo, 0...5V)
- Digitales
- Señal de tiempo (por ejemplo, PWM)
- Por comunicación serial (RS232 o USB)
- Comunicación en paralelo (Camara Digital)

Por su aplicación

- Interna: sensores para baterías, chips como sensores de temperatura, acelerómetros, giroscopios, encoders, etc.
- Externos: sonares, sensores infrarrojos de distancia, escáneres láser, etc.

A continuación se describen algunos de los sensores más usados para la localización de personas:

Cámaras infrarrojas

Bajo el conocimiento de que todos los objetos emiten energía infrarroja, también conocida como señal calórica, es que se construyen este tipo de cámaras, también llamadas cámaras termográficas, ya que son capaces de detectar y medir la energía infrarroja emitida por los objetos. Esta se encarga de transformar los datos infrarrojos a través de sensores especiales, para tener a la salida una imagen electrónica, en donde se muestra la temperatura aparente de la superficie del objeto medido [8].

Esto resulta especialmente útil para los equipos de búsqueda y rescate, ya que les permite localizar víctimas entre los escombros, gracias a la emisión de energía que producen.

Cámaras Digitales



Figura 2.8: Ejemplo de una cámara infrarroja (imagen obtenida de la pagina oficial de la empresa *grekkom technologies*).

Este tipo de dispositivos cuenta con sensores capaces de convertir la luz (en algunos casos, para equipos especiales se pueden detectar luz infrarroja) en un arreglo matricial de datos que representa, digitalmente, la imagen enfocada, para su posterior manipulación y procesamiento.

Usadas, principalmente, para la visualización del entorno y la teleoperación por parte del equipo en tierra. Más recientemente, con el impulso de la inteligencia artificial, estas son usadas, junto con la visión artificial, para la detección de objetos [2].

Sensores de audio

Este tipo de sensores, cuentan con la sensibilidad necesaria para detectar fuentes de sonido, y en algunos casos más sofisticados, otorgar incluso la dirección de la cual proviene. De igual forma dotan a los equipos de rescate de información valiosa, como un medio de comunicación que tiene la víctima para proporciona información tal como su estado de salud, heridas, etc.

Sensores de CO₂

Este tipo de sensores, permiten la medición del Dióxido de Carbono en un espacio determinado en partes por millón. Las aplicaciones de este tipo de sensores en los robots de búsqueda y rescate de igual forma van orientados a la localización de víctimas, ya que a través de sus exhalaciones se puede estimar su posición, con la intención de intervenir para su rescate [22].





Figura 2.11: Ejemplo de un sensor de CO₂ de la marca Gravity DFRobot modelo MG-811 (imagen obtenida del distribuidor *Geek Factory*)

2.3. Locomoción

Todo robot móvil requiere de mecanismos de locomoción que le permitan desplazarse sin restricciones a través de su ambiente de trabajo. Sin embargo, existe una amplia diversidad en los sistemas de locomoción, lo cual hace que la selección de la misma resulte un aspecto importante a considerar a la hora de diseñar un robot [20].

Muchos de estos mecanismos han sido diseñados con base en los principios de movimiento encontrados en la naturaleza, ya que se ha observado como estos permiten, a cada uno de los individuos, desplazarse exitosamente a través de una gran variedad de escenarios. Empero, resulta imposible, al menos hasta el momento, replicar con exactitud dichos sistemas, ya que la energía y actuadores que estos ocupan: sistemas musculares, sistemas biológico de almacenamiento de energía, etc. Exceden por mucho a los sistemas que la tecnología es capaz de crear [20].

Es por ello que, dadas estas limitaciones, los sistemas de locomoción de los robots móviles se centran, principalmente, en 3 tipos de locomoción [20].

Locomoción por ruedas

En general, los robots con ruedas consumen menor energía y tienen un



Figura 2.12: Ejemplo de un robot con locomoción por ruedas modelo FW100CT.2 (imagen obtenida de la pagina oficial de la empresa *Direct Industry*).

desplazamiento más rápido, si lo comparamos con otro tipo de mecanismos (p.ej., piernas robóticas o vehículos con orugas) [19].

Desde el punto de vista del control, este requiere de un menor trabajo, dada la simplicidad del mecanismo, el cual, por su naturaleza, reduce los problemas de estabilidad, aunque, cabe aclarar, que resulta complicado superar los entornos no estructurados o desiguales con este tipo de locomoción [19].

Locomoción por piernas o patas

Este tipo de locomoción hace que exista una serie de puntos de contacto entre el robot y el suelo, lo cual otorga la ventaja de poder desplazar al robot en entornos con irregularidades o a través de entornos no estructurados. Sin embargo, este tipo de sistemas se caracterizan por una mayor complejidad en el control, así como un mayor consumo de energía, siendo ambas consecuencias producto del número de actuadores que se requieren para estos robots, lo cual repercute en el número de grados de libertad que tienen estos sistemas [20].

Locomoción por orugas

Este tipo de robots cuentan con bandas laterales, las cuales brindan una



Figura 2.13: Ejemplo de un robot con locomoción por patas SPOT (imagen obtenida de la pagina oficial de la empresa *Boston Dynamics*).

mejor tracción, comparada con la obtenida en los robots con ruedas. Por otra parte, resultan una excelente alternativa, especialmente, en entornos no estructurados, ya que presentan una menor complejidad que los robots con piernas o patas [7].

Sin embargo, existen dificultades para simular este tipo de robots, ya que puede existir un *juego* entre las banda y los trenes de locomoción, dependiendo de su diseño, materiales, desgaste de las bandas, etc. Por otro lado, el modelado de la fricción para este tipo de robots, resulta en un reto a la hora de implementarse en simulación virtual del robot.

Por último, los robots con orugas, en la actualidad, son dotados de mecanismos adicionales conocidos como *flippers* o mecanismos de adaptación activa, los cuales incrementan la maniobrabilidad y movilidad del robot en su entorno de trabajo, permitiéndole tener mayor estabilidad, poder controlar su grado de inclinación, contar con apoyos extra para la amortiguación y para salvaguardar la integridad del sistema, entre otras muchas ventajas.

Esto resulta importante, ya que el robot que se ha desarrollado en el Taller de Robótica Abierta (TRA) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, es un robot de rescate que cuenta con un sistema de locomoción por orugas y, adicional a ello, este posee cuatro mecanismos de adaptación activa (*flippers*), tal como se muestra en la Figura 2.14.

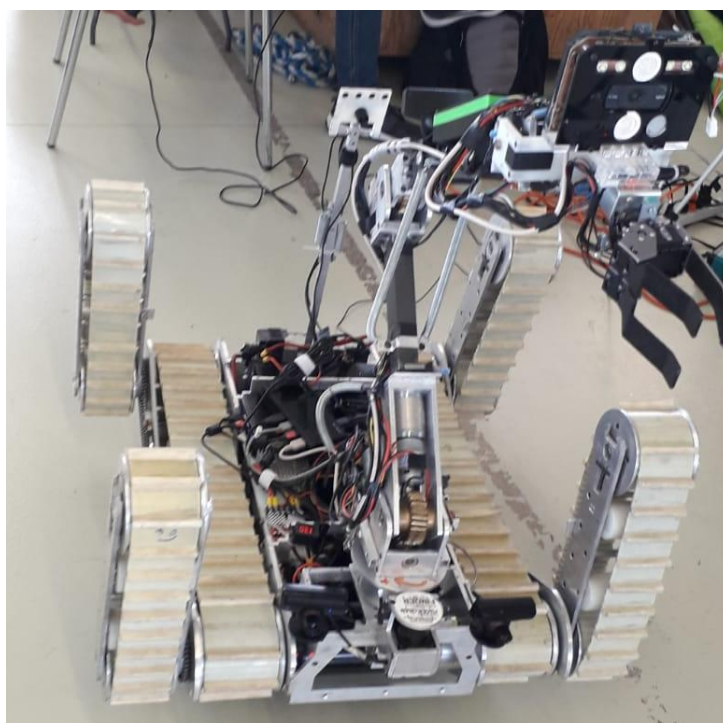


Figura 2.14: Robot de rescate FinderV3 con locomoción por orugas.

2.4. Mapeo y localización

Si bien, hasta ahora hemos señalado muchas de las tareas que pueden ser realizadas por los robots de rescate, una de las más desafiantes, a las que este tipo de robots deben enfrentarse, es la planeación de movimientos, ya que para la realización de esta, es necesario resolver una serie de problemas, que veremos a continuación [4].

Configuración

La configuración de un robot hace referencia a la representación de la localización de todos los puntos que ocupa el robot en el espacio [4]. Por otro lado, ya que estos puntos resultan infinitos, existe un número mínimo de variables independientes que se necesitan para representar una configuración, llamados grados de libertad, que, en el caso de un robot que se mueve en un solo plano, se reducen a 3: x , y y ángulo con respecto a z [4].

Por último, al conjunto de todas las configuraciones posibles de un robot se le denomina espacio de configuraciones.

Mapeo

Un mapa, en términos simples, puede ser entendido como una lista de objetos localizados en el entorno que estamos mapeando, los cuales poseen una serie de características, tales como el tamaño o la posición [21].

Esto resulta de suma importancia, ya que los mapas, son entonces, una representación del entorno desconocido en el que nos encontramos y sin la cual no podríamos desplazarnos, más que con un comportamiento reactivo.

En los robots de rescate, resultan una herramienta para poder entender el entorno y permitir a los equipos de rescate planear y llevar a cabo estrategias de extracción o remoción de escombros, además, al poder estimar la posición de los objetos que rodean al robot, somos capaces de tener una idea acerca de la distribución del espacio. Un ejemplo de ello, puede ser la búsqueda de víctimas, llevada a cabo por un robot de rescate, que a través de sus sensores y su sistema de mapeo, coloca indicadores en donde estima que puede haber posibles víctimas.

Localización

La localización hace referencia a la tarea de determinar la configuración del robot, dado un mapa y un conjunto de lecturas de los sensores [21].

Navegación

La navegación hace referencia a la tarea de encontrar una secuencia de puntos, todos pertenecientes al espacio de configuraciones (dividido en dos: libre y ocupado), específicamente, al subespacio de configuraciones libres, para que el robot alcance una posición específica, a partir de su posición actual [21].

SLAM

La localización y mapeo simultáneo (SLAM por sus siglas en inglés), hacen referencia a la capacidad del robot para realizar la construcción de un mapa y localizarse dentro de él de manera simultánea. La dificultad de esto radica en el desconocimiento del entorno, ya que deben de llevarse a cabo estimaciones tanto de la distribución del espacio y los objetos, así como de la posición del propio sistema [21].

Exploración

La exploración, a diferencia de la navegación, utiliza la capacidad del robot para realizar la localización y mapeo simultáneos (SLAM), con el fin de planear, generar y seguir una ruta específica para llegar de un punto A a un punto B.

Una vez entendidos estos conceptos, nos centraremos en explicar algunas de las técnicas usadas para el mapeo y localización.

Celdas de ocupación

Es una representación, donde el espacio se discretiza con una resolución

determinada y a cada celda se le asigna un número

$$p \in [0, 1]$$

que indica su nivel de ocupación. En un enfoque probabilístico, p indica la certeza de que la celda esté ocupada: 0, certeza de que está libre, 1, certeza de que está ocupada, 0.5, no se tiene información, aunque, para evitar el manejo de números flotantes, se suele representar en el intervalo de $[0,100]$ y un -1 si no hay información.

Filtro de Kalman extendido (EKF)

“El filtro de Kalman extendido (EKF por sus siglas en ingles), resuelve el problema de la estimación del estado \mathbf{x} , generado por un sistema no lineal, utilizando la expansión de la serie de Taylor que aproxima ecuaciones no lineales de estado y de observación...” [18], con el propósito de obtener una representación espacio-estado lineal para poder usar las ecuaciones estándar del filtro de Kalman para estimar los estados del sistema [18].

El EKF se puede usar para localización si se considera que la posición del robot son los estados del sistema (tres estados para un plano) y las lecturas de los sensores son las mediciones (salidas del sistema dinámico). El EKF solo converge si la estimación inicial está cerca de la condición inicial real, lo que implica que el EKF no puede resolver el problema de la localización global.

****Filtro de partículas**

Al igual que el filtro de Kalman extendido, el filtro de partículas, es un tipo de filtro bayesiano, lo cual significa que se es capaz de calcular la probabilidad de tener cierto estado en el sistema, en este caso la posición del robot, dado un conjunto de datos, usualmente provenientes de un sensor. Este tipo de filtro, a diferencia del EKF, sí resuelve el problema de localización global, siendo, además, multimodal, lo que quiere decir, que la distribución de probabilidad que modela la posición del robot puede tener varios máximos, lo que significa, que tenemos distintas aproximaciones de la posición del robot, sin embargo, este tiene un alto costo computacional.



Figura 2.15: Robot Hector GV del equipo Hector de la universidad de Darmstadt, Alemania [11]

2.5. Estado del arte

Robot Hector GV

El robot Hector GV, perteneciente al equipo de Hector de la Universidad de Darmstadt en Alemania, es un robot de locomoción por ruedas, que tiene la capacidad de resolver el problema del SLAM, únicamente, con las lecturas de un sensor láser o LIDAR, ya que, es capaz de estimar la posición del robot a partir de dichas lecturas y construir con ella un mapa de celdas de ocupación en 2 dimensiones, todo gracias al paquete de Hector SLAM.

Además, cuenta con la capacidad de reconocer objetos utilizando una combinación de señales visuales basadas en los gradientes de intensidad de imagen, pudiendo reconocer víctimas y señales de incendio o indicativas [11].

Robot Rugbot

El robot Rugbot, perteneciente al equipo de Jacob de la universidad de Bremen en Alemania, es un robot de locomoción por orugas con mecanismos

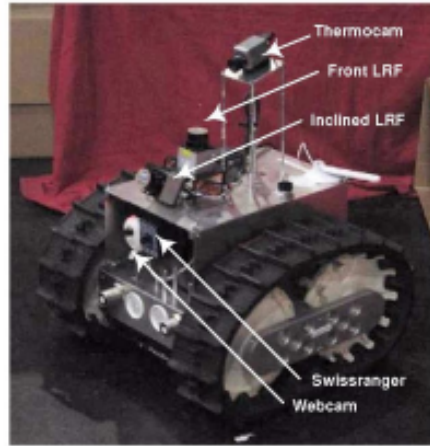


Figura 2.16: Robot Rugbot del equipo Jacob de la universidad de Bremen, Alemania [15]

de adaptación activa para mejorar su movimiento en terrenos irregulares, orientado a realizar tareas totalmente autónomas, tales como la detección de víctimas, generación de mapas por celdas de ocupación, navegación y exploración, todo esto, con la ayuda de los múltiples sensores con los que cuenta el sistema robotico: IMU, cámaras digitales, sensor LIDAR para la generación del mapa, una cámara 3D para la detección de obstáculos, una cámara térmica, sensor de CO₂, etc [15].

Robot RX

El robot RX, perteneciente al equipo Plasma-RX de la universidad de Chulalongkorn en Tailandia, es un robot de locomoción por orugas con mecanismos de adaptación activa, los cuales otorgan una mejor movilidad en terrenos irregulares y le permiten realizar tareas tales como subir escaleras o moverse a través de terrenos inclinados. Por otro lado, este robot es capaz de realizar el SLAM, con la ayuda de un escáner láser y una IMU, se obtiene la información necesaria para el uso del algoritmo EKF SLAM, además, cuenta con la capacidad de buscar e identificar víctimas, gracias al uso del algoritmos SIFT, que con el uso de las imágenes provenientes de sus cámaras, es capaz de extraer características y compararlas con una base de datos para buscar coincidencias, aunque, para poder tomar una decisión, el sistema uti-



Figura 2.17: Robot RX del equipo Plasma-RX de la universidad de Chulalongkorn, Tailandia [5]

liza una cámara térmica para determinar, en adición a lo anterior, si se trata genuinamente de una víctima [5].

Describir brevemente a otros robots, enfatizando cómo hacen mapas.

Capítulo 3

El ambiente de simulación

3.1. Conceptos básicos del simulador Gazebo

- Modelos, mundos
- Sistemas operativos soportados

3.2. Simulación del robot FinderV3

- Sensores con que cuenta el robot
- Actuadores: dos orugas y cuatro flippers
- Costo computacional

Capítulo 4

Sistema de Mapeo y Exploración

4.1. Interfaz para teleoperación

- Operación con joystick y teclado
- La biblioteca Qt

4.2. Mapeo y localización simultáneos

- El problema del mapeo y localización simultáneos
- Mapas de celdas de ocupación
- Filtros de partículas
- Paquetes y bibliotecas para SLAM (gmapping, hector-mapping).

4.3. Estrategia de exploración

- Detección de bordes
- Detección de puntos frontera
- Algoritmos de agrupamiento
- Algoritmo K-medias
- Selección de punto a explorar

Capítulo 5

Resultados

5.1. La plataforma ROS

5.2. Nodos implementados

5.3. Pruebas de mapeo

Capítulo 6

Discusión

6.1. Conclusiones

6.2. Trabajo futuro

Bibliografía

- [1] R. Aracil, C. Balaguer, and M. Armada. Robots de servicio. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 5(2):6–13, 2008.
- [2] T. Bräunl. *Embedded robotics: mobile robot design and applications with embedded systems*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [3] Chernobylx. Chernobyl robots. <https://chernobylx.com/es/chernobyl-robots/>, 2021.
- [4] H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. A. Kantor, and W. Burgard. *Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementations*. MIT press, 2005.
- [5] K. Chuengsatiansup, K. Sajjapongse, P. Kruapraditsiri, C. Chanma, N. Termthanasombat, Y. Suttasupa, S. Sattaratnamai, E. Pongkaew, P. Udsatid, B. Hattha, et al. Plasma-rx: Autonomous rescue robots. In *2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pages 1986–1990. IEEE, 2009.
- [6] E. P. Company. ¿qué es un encoder? <https://www.encoder.com/article-que-es-un-encoder>, s.f.
- [7] U. G. Escalona, E. Rubio-Espino, and J. H. S. Azuela. Visión por computadora en un robot móvil tipo oruga. *Res. Comput. Sci.*, 135:145–157, 2017.
- [8] Fluke. ¿Cómo funcionan las cámaras infrarrojas? <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/blog/captura-de-imagenes-termograficas/como-funcionan-las-camaras-infrarrojas>, 2021.

- [9] E. García Armada. Robots. In *Robots*. CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2015.
- [10] S. Gunnar Bolmsjö. *Industriell robotteknik*. Studentlitteratur, Lund, 1992. In Swedish.
- [11] S. Kohlbrecher, J. Meyer, T. Graber, K. Petersen, O. Von Stryk, and U. Klingauf. Robocuprescue 2012-robot league team hector darmstadt (germany). *RoboCupRescue 2012*, 2012.
- [12] R. R. Murphy. *Introduction to AI Robotics*. The MIT Press, 2000.
- [13] R. R. Murphy. A decade of rescue robots. In *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 5448–5449. IEEE, 2012.
- [14] R. R. Murphy. *DISASTER ROBOTICS*. The MIT Press, 2014.
- [15] K. Pathak, A. Birk, S. Schwertfeger, I. Delchef, and S. Markov. Fully autonomous operations of a jacobus rugbot in the robocup rescue robot league 2006. In *2007 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, pages 1–6. IEEE, 2007.
- [16] J. M. Pérez Dones et al. Tecnologías whms (wearable health monitoring systems): Análisis e integración de datos de un sensor inercial. B.S. thesis, 2019.
- [17] F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16(2):1729881419839596, 2019.
- [18] L. Sánchez, J. Ordóñez, and S. Infante. Filtro de kalman extendido y filtro de partículas kalman extendido para problemas de estimación no lineal. *Revista INGENIERÍA UC*, 20(1):7–16, 2013.
- [19] B. Siciliano, O. Khatib, and T. Kröger. *Springer handbook of robotics*, volume 200. Springer, 2008.
- [20] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza. *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press, 2011.

- [21] S. Thrun. Probabilistic robotics. *Communications of the ACM*, 45(3):52–57, 2002.
- [22] Trane. Sensores de co2. <https://www.trane.com/commercial/latin-america/pe/es/controles/sensores/sensores-co2.html>, 2018.
- [23] J. Wallén. *The history of the industrial robot*. Linköping University Electronic Press, 2008.
- [24] S. Wirth and J. Pellenz. Exploration transform: A stable exploring algorithm for robots in rescue environments. In *2007 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, pages 1–5. IEEE, 2007.
- [25] YellowScan. ¿Cómo funciona el lidar? <https://www.yellowscan-lidar.com/es/knowledge/how-lidar-works/>, 2018.
- [26] L. Álvarez. Rur. rosum’s universal robots. <https://revista-abaco.es/rur-rosums-universal-robots/>, 2020.