



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
AUDIOVISUALES Y MULTIMEDIA

TRABAJO FIN DE GRADO

Nuevas Prácticas en el Entorno Docente de Robótica JdeRobot-Academy

Autor: Irene Lope Rodríguez

Tutor: José María Cañas Plaza

Curso académico 2017/2018

Agradecimientos

En primer lugar, quiero darle las gracias a mi familia por todo su interés y apoyo. En especial a mis padres, por estar a mi lado en todo momento, apoyarme en todas mis decisiones y darme todo su cariño. Gracias por todo lo que habéis hecho por mi a lo largo de toda mi vida.

También, quería agradecer a mi tutor José María la oportunidad de realizar este proyecto así como toda su ayuda, dedicación e interés durante los meses de desarrollo del trabajo.

Por otro lado, me gustaría darle las gracias a mi compañera proyecto Vanessa por toda su ayuda y ánimo cuando las cosas parecían que no salían y por ser un gran apoyo en estos meses de trabajo. Además, quería darle las gracias a mis compañeros de laboratorio, en especial a Fran por su infinita ayuda, a Aitor por sacarnos de más de un atasco y por su puesto, a Nacho y Carlos por los buenos ratos que nos han hecho pasar.

Muchas gracias a mis amigos, a los de siempre: Ayrton, Emilio, Ana, Jumana, y en especial a mi mejor amigo Pablo, por animarme cuando más lo necesitaba, por hacerme reír cada día y por seguir a mi lado durante tantos años. Y no me puedo olvidar de mis amigas de la universidad: Carol, María, Chris y Natalia, por hacer que las clases fueran menos duras y las horas de estudio más divertidas.

Y por último, mi más sincero agradecimiento a una de las personas más importantes de mi vida, a mi pareja Carlos, porque sin él, habría tirado la toalla hace mucho tiempo. Simplemente, gracias por todo.

¡Muchas gracias a todos!

Resumen

INTRODUCCION.

OBJETIVOS.

STOP.

ASPIRADORA AUTÓNOMA

Índice general

Índice de figuras	V
Índice de tablas	VI
Acrónimos	VII
1. Introducción	1
1.1. Robótica	1
1.1.1. Historia de la robótica	1
1.1.2. Aplicaciones de la robótica	3
1.1.3. Clasificación de robots	5
1.2. Software para robots	8
1.2.1. Middleware	8
1.2.2. Bibliotecas	11
1.2.3. Simuladores	11
1.3. Robótica en docencia	12
1.3.1. Robótica en primaria y secundaria	13
1.3.2. Robótica en universidades	15
1.4. JdeRobot-Academy	16
2. Objetivos y metodología	20
2.1. Objetivos	20
2.2. Metodología	21
2.3. Plan de trabajo	22
3. Infraestructura	24
3.1. Simulador Gazebo	24
3.2. Entorno JdeRobot	26
3.3. Lenguaje de programación Python	26
3.4. Biblioteca OpenCV	26
3.5. PyQt	26

4. Práctica: Reconocimiento de la señal Stop	27
5. Práctica: Aspiradora autónoma	28

Índice de figuras

1.1. Robot Asimo	3
1.2. Coche autónomo Waymo	4
1.3. Coche autónomo Tesla (Model S)	4
1.4. Robot aspirador Dyson	5
1.5. Robot de Amazon Drive	5
1.6. Estructura del funcionamiento del middleware	9
1.7. Placa Arduino	14
1.8. Robot mBot v1.1	14
1.9. Diseño de una práctica robótica	17
1.10. Estructura de una práctica robótica	17
1.11. Práctica “Visual 3D reconstruction”	18
1.12. Coche de Fórmula 1	18
1.13. Dron situado en un laberinto	19
2.1. Metodología en espiral	21
3.1. Simulador Gazebo	25

Índice de tablas

Acrónimos

.

STEM Science, Technology, Engineering and Math.

.

GUI Graphical User Interface.

SDF Simulation Description Format.

XML Extensible Markup Language.

API Application Programming Interface.

ICE Internet Communications Engine.

SLAM Simultaneous Localization and Mapping.

.

ROS Robot Operating System.

.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se definirá el contexto en el cual se sitúa este proyecto así como la motivación principal que ha llevado a desarrollarlo. Se explicará de forma general qué es la robótica, sus aplicaciones y algunos softwares utilizados para la programación de robots. También se expondrá su uso en docencia hoy en día y se comentará de manera general la plataforma JdeRobot-Academy.

1.1. Robótica

La robótica es una rama de la ingeniería que emplea la informática para diseñar y desarrollar sistemas que permitan facilitar la vida del ser humano, e incluso sustituirle en determinadas tareas. Esta rama usa conceptos de diversas disciplinas, tales como la física, las matemáticas, la electrónica, la mecánica, la inteligencia artificial o la ingeniería de control. Mediante todas estas disciplinas realiza diversas máquinas que ejecutan diferentes comportamientos en función de su propósito. Estas máquinas se denominan “robots”. En el futuro, dominar esta disciplina será clave debido a que cada vez de forma más habitual se implantan robots en diferentes empleos, como pueden ser las cadenas de automatización.

1.1.1. Historia de la robótica

El término “robot”, viene de la palabra checa “robota”, cuyo significado es “trabajo forzado”. Dicha palabra fue introducida por primera vez por el dramaturgo y autor checoslovaco Karel Capek (1890 – 1938), en su obra de teatro R.U.R (Robots Universales

de Rossum) en 1921. Con este libro surgió la palabra “robótica”, pero entonces era un término de ciencia ficción. En base a este término se puede decir que un robot es una máquina programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos, para lo cual debe interaccionar con el entorno que le rodea.

Unos años más tarde Isaac Asimov (1920 – 1992) introdujo conceptos acerca de la robótica. Isaac Asimov era un escritor y bioquímico estadounidense nacido en Rusia, el cual publicó el libro “Yo Robot” en 1950. Este libro contenía tres leyes de la robótica:

1. Un robot no puede lastimar a un ser humano o permanecer inactivo ante un daño que se le pueda hacer.
2. El robot debe obedecer al ser humano excepto si contradice la primera ley.
3. El robot debe proteger su existencia salvo que entre en conflicto con las leyes anteriores.

Con este libro, Isaac Asimov consiguió que la robótica se hiciera popular. Sin embargo, no fue hasta mediados de siglo cuando los robots empezaron a disponer de un sistema de control propio. Hasta entonces eran controlados por seres humanos.

En los años 50, los primeros robots móviles fueron contruidos por Grey Walter (1910 – 1977). Estos robots eran conocidos como tortugas de Bristol y empleaban válvulas, sensores de luz y detectores de contacto, capaces de evitar obstáculos. También, George Devol (1912 – 2011) patentó el primer robot programable y creó la primera empresa dedicada a la robótica llamada Unimation (Universal Automation) junto con Josef Engelberger (1925 - 2015).

En la década de los 70, se desarrolló el robot JPL Rover en la Jet Propulsion Laboratory en Pasadena. Su principal fin era la exploración espacial empleando una cámara de televisión, un láser de telemetría y sensores táctiles. Además, Hans Moravec (1948) diseñó CART en Stanford. Este robot evitaba obstáculos mediante una cámara. Para ello creaba un modelo bidimensional de su alrededor a partir de nueve fotos tomadas del entorno.

En los años 80, en la Universidad de Stanford, surgen robots capaces de procesar dos cámaras estéreo. Estos robots son capaces de realizar una reconstrucción 3D. En el año

2000, Honda lanza el robot Asimo. Este humanoide pretende ayudar a las personas que carecen de movilidad completa, así como animar a la juventud para estudiar ciencias y matemáticas.



Figura 1.1: Robot Asimo

1.1.2. Aplicaciones de la robótica

Actualmente la robótica está en continua expansión. Se pueden encontrar robots en diferentes áreas y entornos. Una de las principales áreas donde se encuentran robots es en la industria. Gracias a los robots se pueden elaborar tareas peligrosas y complejas. El robot industrial, debido a su naturaleza multifuncional puede llevar a cabo un gran número de tareas, totalmente inalcanzable si la mano de obra es humana de manera que se abarata mucho el coste de producción.

En el mundo del automóvil se han introducido robots tanto para su construcción, utilizando brazos mecánicos en las cadenas de montaje, como para lograr que los coches sean autónomos. Una de las empresas pioneras en este ámbito es Google que junto con Fiat-Chrysler han desarrollado el proyecto “Waymo”. Estos vehículos autónomos tienen sensores y software diseñado para detectar personas, ciclistas, vehículos, ciclistas y carreteras a una distancia mayor que dos campos de fútbol en todas las direcciones.



Figura 1.2: Coche autónomo Waymo

La empresa Tesla también ha desarrollado coches autónomos. Sus coches tienen instaladas ocho que ofrecen una visión de 360 grados alrededor del vehículo en un área de hasta 250 metros. Además, dispone de doce sensores ultrasónicos capaces de detectar objetos de todo tipo y tamaño alrededor del coche, y de un radar delantero que ofrece datos adicionales.



Figura 1.3: Coche autónomo Tesla (Model S)

El objetivo de los coches autónomos es evitar los accidentes de tráfico y disminuir los atascos.

Hoy en día también se pueden encontrar robots en los hogares de las personas, como por ejemplo con aspiradoras autónomas. Estas aspiradoras mediante sensores y el desarrollo de tecnologías en ámbitos como el diseño de mapas y de sistemas de navegación son capaces de limpiar las casas de una manera fiable y robusta ante distintos tipos de obstáculos como muebles o escaleras. La empresa iRobot es pionera mundial en este sector de la robótica con su aspiradora Roomba, aunque también se pueden encontrar otras aspiradoras potentes en el mercado como el robot aspirador Dyson que calcula un patrón de sistema sistemático y de esa forma sabe por dónde ha pasado y dónde tiene que ir a

limpiar.



Figura 1.4: Robot aspirador Dyson

Amazon, en sus almacenes, también ha introducido robots para que la logística sea mucho más rápida y eficaz. Utiliza la automatización para almacenar y retirar los productos. Sus robots son capaces de cargar hasta 1300 Kg y mediante el uso de un láser y una cámara en la parte delantera, son capaces de detectar obstáculos. Se mueven a 1,7 metros por segundo y realizan un pedido en 15 minutos en vez de en 70, disminuyendo así el tiempo de entrega de sus productos.



Figura 1.5: Robot de Amazon Drive

También se pueden encontrar robots en otra gran variedad de ámbitos como en laboratorios de investigación, en la medicina, en el ejército, etc.

1.1.3. Clasificación de robots

En función al software desarrollado en el controlador, al diseño mecánico y a la capacidad de los sensores, los robots pueden clasificarse de acuerdo a su arquitectura, su aplicación, su nivel de inteligencia, su generación, su nivel de control y su nivel de lenguaje de programación.

- Según su cronología:

- Primera generación: En este grupo se engloban sistemas mecánicos multifuncionales que poseen un sistema de control manual, de secuencia fija o de secuencia variable. Mediante instrucciones programadas de forma previa realizan tareas. Dichas tareas se efectúan secuencialmente. Los robots de primera generación no consideran las posibles modificaciones que se producen en su entorno.
- Segunda generación: Estos robots son más conscientes de su entorno que los robots de primera generación. Dichos robots poseen sensores por medio de los cuales obtienen información acerca de su entorno. De esta forma son capaces de actuar y adaptarse en función a los datos analizados. Dos características muy importantes de estos robots son su capacidad de aprendizaje y de memoria. Pueden memorizar los distintos movimientos que desean realizar.
- Tercera generación: Los robots son capaces de llevar a cabo las órdenes de un programa. Para ello cuentan con controladores que utilizan la información que les proporcionan los sensores. A diferencia de los robots de primera generación, son muy conscientes de su entorno y esto les permite adaptarse.
- Cuarta generación: Los robots se pueden considerar “inteligentes”, ya que pueden aprender acerca del entorno que les rodea, y desenvolverse adecuadamente empleando distintos métodos de análisis y obtención de datos. Estas estrategias tan complejas de control son posibles debido a los sensores que son empleados, que son bastante más sofisticados que en otras generaciones. Debido a todas estas mejoras, los robots son capaces de supervisar su entorno y basarse en datos más sólidos. Además, en ciertas situaciones son capaces de actuar correctamente, ya que se basan en modelos.

- Según su arquitectura física:

- Poliarticulados: Son robots estáticos, aunque en algunas ocasiones pueden realizar desplazamientos limitados, y mover sus extremidades en un espacio de trabajo concreto mediante algún sistema de coordenadas y con un limitado número de grados de libertad. Estos robots pueden ser muy diferentes en su forma y configuración. Se emplean habitualmente en zonas de trabajo amplias o alargadas. Los robots industriales, manipuladores y cartesianos son algunos ejemplos.

- Móviles: Son robots con una importante capacidad de desplazamiento. Son capaces de realizar un cierto desplazamiento, mediante la información que les proporcionan sus sensores del entorno o mediante tele-mando. Suelen tener un sistema locomotor de tipo rodante. Estos robots son capaces de evitar obstáculos y tienen un nivel de inteligencia considerablemente alto. Se suelen emplear para transportar piezas en una cadena de fabricación.
 - Androides: Estos robots intentan imitar de manera parcial o total la forma y el comportamiento del movimiento humano. No son muy prácticos, y son poco evolucionados. Su principal uso es el estudio y la experimentación.
 - Zoomórficos: La principal característica de estos robots es su sistema de locomoción, el cual pretende imitar a los distintos seres vivos. Existen dos categorías principales: caminadores y no caminadores.
 - Híbridos: Los robots híbridos son difíciles de clasificar puesto que su estructura está formada por la combinación de alguna de las arquitecturas anteriores.
- Según su aplicación:
- Robots médicos: La aplicación fundamental de estos robots se sitúa en el campo de la cirugía. Es fundamental que los diversos brazos robóticos que se emplean en alguna operación quirúrgica sean lo suficientemente precisos. Estos robots pueden ser controlados a distancia.
 - Robots industriales: Son robots automáticos, reprogramables y con múltiples funciones. Estos robots poseen tres o más ejes para poder orientar y colocar en la posición correcta diferentes piezas, materiales, dispositivos o herramientas. Son empleados en la realización de diferentes trabajos de la producción industrial en sus diversas etapas. La principal característica del ambiente de trabajo de dichos robots es el control del entorno, esto hace que las funciones de los robots se simplifiquen de manera notable.
 - Robots militares: Estos robots tienen aplicaciones militares concretas, para las cuales pueden actuar de forma autónoma o estar controlados de forma remota. Presentan diferentes morfologías en función de su uso. Dichos robots asisten o guían al ejército en operaciones especiales. Sus funciones pueden ser la búsqueda, el transporte, el rescate o el ataque.

- Robots educativos: Estos robots se crearon con el fin de emplearse de forma educativa, especialmente en escuelas e institutos. Los robots educativos de LEGO Mindstorms son especialmente usados en las escuelas.
- Robots de servicio: De forma habitual, este tipo de robots se emplean para reemplazar al ser humano en entornos no controlados, hostiles y donde puede ser necesario un cambio de forma del robot. Son dispositivos electromecánicos controlados por ordenador y normalmente dotados de movimiento. Suelen poseer uno o varios brazos mecánicos independientes. No realizan tareas industriales.
- Robots de investigación: Este conjunto de robots son empleados habitualmente en los laboratorios de las Universidades. Están destinados a la investigación y por ello pueden ser de muy diversas formas. Estos robots pueden tener un fin concreto en algún proyecto de investigación o no tener ninguna aplicación concreta.

1.2. Software para robots

Mediante el software se le indica al robot las acciones que tiene que realizar, dotándole así de inteligencia y autonomía. Este desarrollo de software suele ser complicado y arduo. En la actualidad, se han propuesto muchos sistemas de software y frameworks o entornos, para hacer más fácil la programación de los robots.

1.2.1. Middleware

Los robots autónomos son sistemas complejos que requieren de la interacción entre numerosos componentes heterogéneos como son el software y el hardware. Debido al aumento de la complejidad de las aplicaciones robóticas y la diversa gama de hardware, el middleware robótico está diseñado para gestionar la complejidad y la variedad del hardware y las aplicaciones. Permiten a una aplicación interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, sistemas operativos, redes o hardware. Los middlewares robóticos proporcionan una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que simplifica la comunicación entre las aplicaciones robóticas y la heterogeneidad del hardware del robot, como por ejemplo los sensores, simplificando así el diseño del software y mejorando su

calidad.

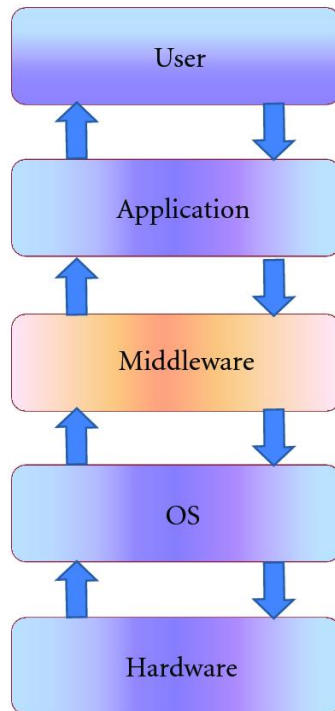


Figura 1.6: Estructura del funcionamiento del middleware

Algunos de estos middlewares robóticos son:

- Robot Operating System (ROS) ¹: Es el software más usado en el mundo para la programación de robots. Es un entorno de programación de código abierto mantenido por la Open Source Robotics Foundation (OSRF). Ofrece una colección de herramientas, bibliotecas y convenciones que tienen como objetivo simplificar la tarea de crear un comportamiento robótico complejo y robusto en una amplia variedad de plataformas robóticas. La librería está orientada para un sistema UNIX (Ubuntu (Linux)), aunque también se está adaptando a otros sistemas operativos como Fedora, MacOS-X, Arch, Gentoo, OpenSUSE, Slackware, Debian o Microsoft Windows, considerados como “experimentales”.
- Orca ²: Es un entorno de programación usado para desarrollar sistemas robóticos basados en componentes. Utiliza una biblioteca de código abierto para la comunicación y la definición de interfaces. Todos sus componentes están escritos en C++ y

¹<http://www.ros.org/>

²<http://orca-robotics.sourceforge.net/>

tiene ejemplos en Java, Python y PHP. Da soporte completo para Linux. Además, interfaces, bibliotecas principales y algunos componentes se compilan en Windows XP y hay compilaciones experimentales en MacOS-X.

- Player/Stage Project ³: Es un proyecto que desarrolla software libre que permite la investigación de robots y sensores. Su servidor es uno de los interfaces de control de robots más utilizados del mundo, así como sus backends de simulación, Gazebo y Stage. Su modelo cliente-servidor permite que los programas de control del robot se escriban en cualquier lenguaje de programación y se ejecuten en cualquier ordenador con una conexión de red al robot. Es compatible con una amplia variedad de robots y accesorios móviles como el robot Kinect de Microsoft o la aspiradora Roomba de iRobot. Player Project funciona en Linux, Solaris, * BSD y Mac OSX (Darwin).
- RT-middleware ⁴: Tiene como objetivo establecer una plataforma basada en la tecnología de objetos distribuidos. RT-middleware soporta la construcción de varios sistemas robotizados en red mediante la integración de varios elementos robóticos habilitados para dicha red, denominados RT-Components. Los sistemas robóticos a los que da soporte no son necesariamente robots de un solo cuerpo, como robots móviles o robots humanoides, sino más generalmente “cualquier sistema de red inteligente que utilice tecnología robótica y que pueda realizar tareas en el mundo real”. Por ejemplo, esto también incluye sistemas que aunque no se parecen a los robots utilizan tecnología robótica, como un soporte de vida diaria o sistemas de enfermería en los que varios sensores y actuadores colaboran a través de una tecnología de redes. Da soporte para Linux y Windows y tiene versiones en C++, Java y Python.
- JdeRobot ⁵: Es un entorno de programación utilizado para desarrollar aplicaciones en robótica y visión por computadora. Ha sido diseñado para ayudar en la programación de software inteligente. Principalmente, está escrito en C++ y proporciona un entorno de programación basado en componentes distribuido en el que el programa de aplicación está compuesto por una colección de varios componentes asincrónicos concurrentes. Los componentes pueden ejecutarse en

³<http://playerstage.sourceforge.net/>

⁴<http://www.openrtm.org>

⁵<http://jderobot.org>

diferentes equipos y están conectados mediante el middleware de comunicaciones ICE (Internet Communications Engine). Los componentes pueden escribirse en C++, Python o Java y todos ellos interactúan a través de interfaces ICE.

1.2.2. Bibliotecas

En informática, una biblioteca es un conjunto de implementaciones funcionales, codificadas en un lenguaje de programación, que ofrece una interfaz bien definida para la funcionalidad que se invoca. Su fin es ser utilizada por otros programas, independientes y de forma simultánea. Las bibliotecas pueden vincularse a un programa (o a otra biblioteca) en distintos puntos del desarrollo o la ejecución de dicho programa. Algunas de las bibliotecas utilizadas en robótica son:

- OpenCV ⁶: Es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Contiene más de quinientas funciones que abarcan una gran gama de áreas en el proceso de visión, como reconocimiento de objetos, reconocimiento facial, calibración de cámaras, visión estéreo y visión robótica. Originalmente, OpenCV fue escrita en C++. Actualmente, la librería dispone de interfaces en C++, C, Python, Java y MATLAB. Es multiplataforma, existiendo versiones para GNU/Linux, Mac OSX, Windows y Android.
- PLC ⁷: Se utiliza para el procesamiento digital de imágenes mediante el tratamiento de nubes de puntos aleatorios. Contiene numerosos algoritmos de última generación que incluyen filtrado, estimación de características, reconstrucción de superficies, ajuste de modelos y segmentación entre otros. Para simplificar el desarrollo, PCL se divide en una serie de bibliotecas de código más pequeñas, que se pueden compilar por separado. Es multiplataforma y ha sido compilado con éxito en Linux, Mac OSX, Windows y Android / iOS .

1.2.3. Simuladores

Los simuladores son muy utilizados en robótica debido a que, normalmente, los robots suelen ser muy costosos. Mediante el uso de estos simuladores se consigue poder hacer todo tipo de pruebas con los robots sin ningún riesgo de dañar o romper el equipo. Estos

⁶<http://opencv.org/>

⁷<http://pointclouds.org/>

simuladores representan de manera muy realista el entorno y los robots, por lo que es muy recomendable usarlos antes de probar los programas o aplicaciones creados en robots reales. Algunos de los simuladores más utilizados son:

- Gazebo ⁸: Permite probar rápidamente algoritmos, diseñar robots, realizar pruebas de regresión y entrenar sistemas de inteligencia artificial utilizando escenarios realistas. Ofrece la capacidad de simular de forma precisa y eficiente poblaciones de robots en complejos ambientes tanto interiores como exteriores. Posee un robusto motor de física, gráficos de alta calidad y cómodas interfaces gráficas. Da soporte a en Linux, Solaris, * BSD y Mac OSX (Darwin).
- Stage ⁹: Simula una población de robots móviles, sensores y objetos en un entorno bidimensional de mapas de bits. Está diseñado para soportar la investigación en sistemas autónomos multi-agentes, por lo que proporciona modelos relativamente simples y computacionalmente baratos de muchos dispositivos en lugar de intentar emular dispositivos con gran fidelidad. Normalmente utiliza plugins del módulo de Player y librerías escritas en C++. Funciona en los sistemas operativos en Linux, Solaris, * BSD y Mac OSX (Darwin).

1.3. Robótica en docencia

La robótica educativa es un medio de aprendizaje, en el cual participan personas con motivación por el diseño y la construcción de creaciones propias. Esta disciplina se puede enseñar a estudiantes con muy diferentes niveles educativos.

La robótica educativa ha crecido muy rápidamente en la última década y está en continuo desarrollo. Los robots están incorporándose en nuestra vida cotidiana, pasando de la industria a los hogares. Pero el propósito de utilizar la robótica en la educación, a diferentes niveles de enseñanza, va más allá de adquirir conocimiento en el campo de la robótica. Lo que se pretende es que el alumno sea capaz de aprender temas multidisciplinarios (electrónica, informática, mecánica, física, etc), comprenda conceptos abstractos y complejos de ciencia y tecnología, y adquiriera competencias básicas que son necesarias

⁸<http://gazebo-sim.org/>

⁹<http://playerstage.sourceforge.net/doc/stage-svn/>

en la sociedad de hoy día; como son: el aprendizaje colaborativo y la toma de decisión en equipo, entre otras. Normalmente, la metodología utilizada para impartir cursos de robótica es Science, Technology, Engineering and Math (STEM).

La robótica en la docencia intenta despertar el interés de los estudiantes transformando las asignaturas tradicionales en más atractivas e integradoras, ya que crea entornos de aprendizaje propicios que recrean los problemas del entorno que los rodea.

1.3.1. Robótica en primaria y secundaria

En los centros de enseñanza primaria y secundaria se imparte la robótica con frecuencia, mediante plataformas como los robots LEGO Mindstorms o placas Arduino. Se suelen enseñar conceptos básicos de sensores y actuadores empleando lenguajes gráficos como Scratch y Blockly.

Plataformas hardware:

- **Arduino:** Es una compañía de hardware libre y una comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware, compuestas por microcontroladores, elementos pasivos y activos. Por otro lado, las placas son programadas a través de un entorno de desarrollo, el cual compila el código al modelo seleccionado de placa. El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían los funcionamientos de la placa Arduino. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el ordenador.



Figura 1.7: Placa Arduino

- Mbot: es un kit de robótica para que los niños se inicien en la robótica, programación y electrónica. Utiliza un entorno de programación gráfica basada en Scratch 2.0 y es compatible con Arduino. Los niños pueden programar fácilmente el mBot sin escribir códigos y usar lenguajes de programación difíciles. Los usuarios también pueden usar la aplicación Makeblock para controlar sus robots.



Figura 1.8: Robot mBot v1.1

Plataformas software:

- Scratch: Es un lenguaje de programación visual desarrollado por el MIT Media Lab. Desde 2013, Scratch 2 está disponible en línea y como aplicación de escritorio para Windows, OS X y Linux (requiere Adobe Air). Se empezó a usar Scratch como lenguaje introductorio por su relativa facilidad para desarrollar programas y porque las habilidades adquiridas mediante Scratch se pueden aplicar a otros lenguajes básicos de programación como Python y Java. El uso de Scratch permite a las personas jóvenes a entender la lógica básica de la programación dirigida por eventos con múltiples objetos activos llamados sprites (llamados .objetos.^{en} la versión en

castellano de Scratch). Los sprites pueden pintarse como gráficos vectoriales o mapa de bits, desde la propia web de Scratch usando un simple editor que es parte del proyecto, o pueden también importarse desde fuentes externas incluyendo webcams.

- **Lenguaje Arduino:** Para decirle a la placa de Arduino qué hacer se utiliza el lenguaje de programación Arduino y su entorno de desarrollo. El software de código abierto Arduino (IDE) hace que sea fácil escribir código. Se ejecuta en Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y está basado en Processing. Este software se puede usar con cualquier placa Arduino.

Como entorno educativo, JdeRobot ha desarrollado JdeRobot-Kids. El objetivo principal del curso es enseñar conceptos básicos de tecnología a los alumnos e iniciarles en robótica y programación. También introduce de manera atractiva conceptos interesantes de mecánica, electrónica e informática. El carácter del curso es práctico y ayuda a estructurar el pensamiento, a organizar las acciones en pasos para resolver un problema y a fomentar el espíritu analítico. Emplean dos plataformas concretas: ArduinoRobot y un Arduino standard montado desde piezas y como lenguaje de programación Python y Scratch.

1.3.2. Robótica en universidades

En la docencia universitaria se imparten clases de robótica en los Grados y los Postgrados, en concreto en escuelas de ingeniería. En España, se puede ver la robótica integrada en el “Grado en Ingeniería Robótica” de la Universidad de Alicante, y los Grados de “Electrónica industrial y automática” o en “Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica” en diversas universidades.

En los estudios de Postgrado existen Másteres destacados como el “Máster de Visión Artificial” en diferentes universidades.

En el ámbito internacional se pueden destacar universidades especializadas en robótica como el MIT, Stanford, Georgia Institute of Technology, etc.

Cabe destacar el entorno de enseñanza robótica TheConstructSim ¹⁰ cuyo objetivo

¹⁰<http://www.theconstructsim.com/>

es enseñar a programar ROS. Contiene una serie de tutoriales ROS en línea vinculados a simulaciones en línea, que brindan las herramientas y el conocimiento necesario para comprender y crear cualquier desarrollo de robótica basado en ROS. Usa robots reales simulados y solo se necesita un navegador web por lo que no requiere instalación.

1.4. JdeRobot-Academy

La Universidad Rey Juan Carlos cuenta con la plataforma de robótica JdeRobot, que posee un entorno académico conocido como JdeRobot-Academy. Este entorno educativo se ha empleado con éxito en diferentes asignaturas, como son “Visión en Robótica” del Máster de Visión Artificial, o “Robótica” del Grado de Ingeniería Telemática. Asimismo, la Universidad ofrece cursos de introducción a la robótica y a los drones, empleando dicha plataforma.

Está diseñado para que las prácticas, desarrolladas por los alumnos, se ejecuten en robots reales y también en simulados sin modificar el código fuente. El lenguaje de programación que se utiliza prácticas es Python debido a su sencillez y la potencia que ofrece. Para probar dichas prácticas en robots, se usa el simulador Gazebo. Este simulador permite aprender robótica aunque no se tengan los robots reales ya que dispone de una gran variedad de robots, como pueden ser drones, coches, aspiradoras o brazos mecánicos, entre otros, pudiendo abarcar distintos aspectos de la robótica.

Cada práctica consta de una aplicación académica, que resuelve tareas como la interfaz gráfica (GUI) o la conexión con sensores y actuadores concretos, y que queda oculta para el alumno. También contiene el código del estudiante, que simplemente rellena un sencillo fichero plantilla, llamado `MyAlgorithm.py`, con la lógica del robot, logrando así que se centre solamente en la creación y desarrollo de los algoritmos de percepción, planificación y control, habituales en los robots, necesarios para la resolución de la práctica.

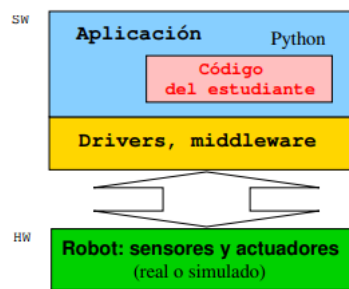


Figura 1.9: Diseño de una práctica robótica

En la Figura 1.9 se puede apreciar cómo está diseñada una práctica en el entorno de JdeRobot-Academy. En la capa inferior se encuentra el robot con sus actuadores (ruedas, motores...) y sensores (láseres, cámaras...) y puede ser tanto simulado como real. En la capa intermedia se tienen los drivers y middlewares necesarios para la comunicación entre la aplicación y el robot. Y por último, en la capa superior, está la aplicación donde se analizan los datos captados por los sensores y se desarrolla el código del estudiante, tomando decisiones de actuación y planificación.

En la siguiente figura se puede ver la estructura que tiene cada una de las prácticas y como estan relacionados los distintos componentes.

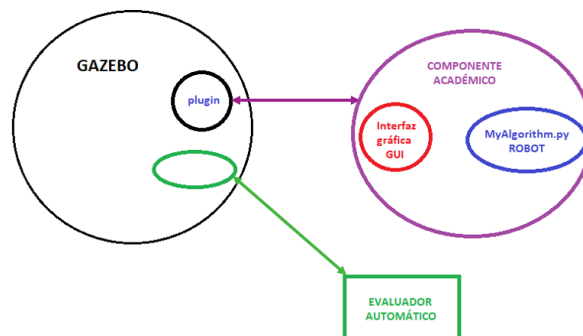


Figura 1.10: Estructura de una práctica robótica

Los ámbitos principales en los que actualmente se han desarrollado prácticas son:

- **Visión:** Aquí se pueden encontrar las prácticas 'Color filter', cuyo principal objetivo es el uso de filtros de color, y 'Visual 3D reconstruction from a stereo pair of RGB cameras' en la que se reconstruye una imagen en 3D a partir de dos cámaras de vídeo.

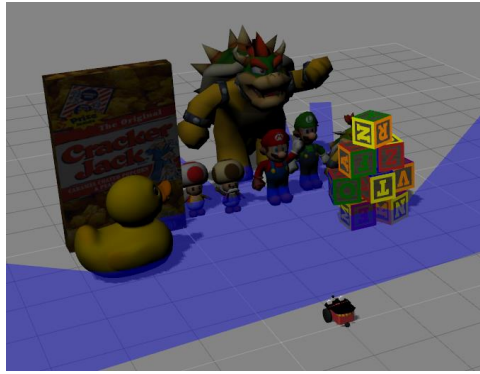


Figura 1.11: Práctica “Visual 3D reconstruction”

- Coches autónomos: En este ámbito se han desarrollado las prácticas “Visual follow-line behavior on a Formula 1” en la cual los alumnos tienen que conseguir que un coche de Fórmula 1 logre seguir una línea roja pintada en un circuito de carreras; “Local navigation of a Formula 1 with VFF”, su objetivo es que el alumno programe un algoritmo que consiga que un coche Fórmula 1 recorra un circuito evitando chocar con obstáculos (que son otros coches estacionados a lo largo del circuito); y “Global navigation of a TeleTaxi with GPP”, en la cual el alumno debe programar un algoritmo para que un taxi consiga llegar a un punto del mundo en el que se encuentra clicando en una parte del mapa de dicho mundo.



Figura 1.12: Coche de Fórmula 1

- Robots móviles: La práctica realizada es “Bump and go”, que consiste en programar la técnica “choca-gira” con un robot Kobuki.
- Drones: Es el ámbito que posee más prácticas desarrolladas. “Drone position control navigation” se basa en el uso de controladores PID; “Follow the ground robot”, cuyo objetivo es conseguir que un dron siga a un robot Kobuki; “Follow the road”, en la cual, un dron sigue una carretera; “Drone cat and mouse” que consiste en que un

dron juega el papel de gato y tiene que atrapar al dron que tiene el papel de ratón; “Landing on a moving car”, en esta práctica hay que lograr que un dron aterrice sobre un coche en movimiento; “Escaping from a labyrinth using visual clue”, el objetivo es conseguir que un dron salga de un laberinto siguiendo las flechas ubicadas a lo largo de dicho laberinto; y “People rescue after an earthquake” que consiste en que un dron detecte personas y marque la posición en la que se encuentran.

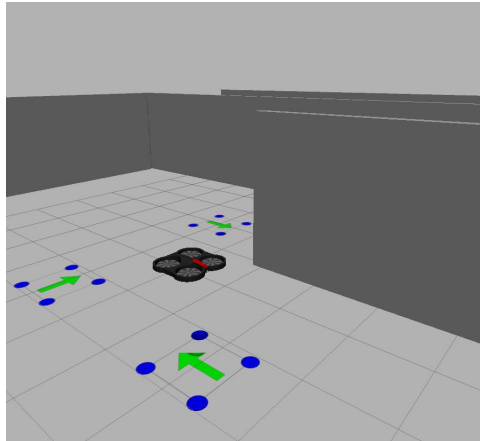


Figura 1.13: Dron situado en un laberinto

Capítulo 2

Objetivos y metodología

En este capítulo se expondrá de manera detallada el objetivo principal de este proyecto así como la metodología utilizada para su desarrollo. También se incluirá un plan de trabajo donde se explican las diferentes etapas seguidas para la realización del proyecto.

2.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es llevar a cabo dos nuevas prácticas para la plataforma JdeRobot-Academy de manera que se consiga que los alumnos que las realicen solo tengan que concentrarse en la parte de programación de robots. Además, gracias a la realización de estas prácticas el alumno adquirirá tanto conocimientos sobre programación de Python en robótica como conocimientos relacionados con el tratamiento digital de la imagen y la toma de decisiones.

El objetivo de la práctica “Reconocimiento de la señal stop” es conseguir que un coche autónomo sea capaz de reconocer una señal de stop situada a lo largo de una carretera, gracias a la cámara que lleva situada en el capó, y después, frene. Además, tiene que ser capaz de reconocer si se acercan otros coches y en caso negativo volver a arrancar. Y por último, tiene que hacer un giro a la izquierda o a la derecha de manera aleatoria.

En la práctica “Aspiradora autónoma con autolocalización”, el objetivo es lograr que un robot aspirador sea capaz de barrer la mayor superficie posible de un apartamento en un tiempo limitado. Para ello, el alumno tiene que hacer uso de la capacidad de autolocalización de la aspiradora y del mapa de la casa.

2.2. Metodología

Como parte principal de la metodología se han ido acordando reuniones semanales con el tutor y los miembros del grupo de trabajo. En estas reuniones, el tutor iba revisando el trabajo realizado y marcando nuevos objetivos para la semana siguiente. Además, servían para corregir fallos y comentar las dudas que iban surgiendo a lo largo de los meses de trabajo. Gracias a esto, se podía avanzar de manera más fluida en la realización del proyecto.

También se ha desarrollado una bitácora en la Wiki de JdeRobot donde cada semana se redactaban los avances realizados y se añadían vídeos para mostrar los resultados obtenidos.

Conjuntamente a estas herramientas se ha utilizado un repositorio de Git Hub. En este repositorio se encuentra el código empleado en las prácticas, tanto el código de la infraestructura como el de las soluciones. El desarrollo de trabajo que se ha seguido es el modelo de desarrollo en espiral. Este modelo consiste en una serie de ciclos o iteraciones que se repiten en forma de espiral como se muestra en la Figura 2.1.

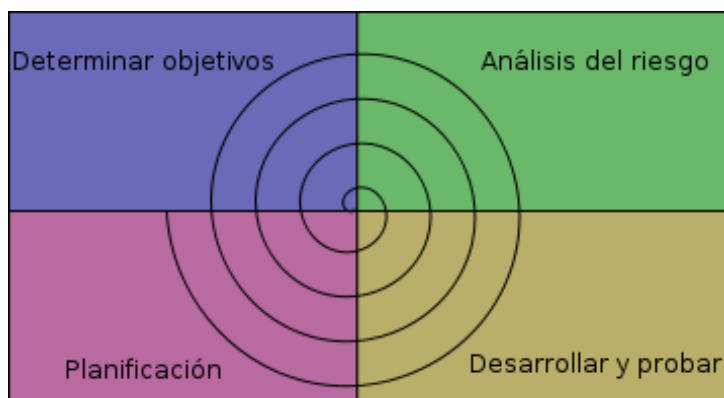


Figura 2.1: Metodología en espiral

Cada ciclo consta de cuatro fases que son las siguientes:

- Determinar objetivos: en esta fase se definen los objetivos que se deben de llevar a cabo para que una vez completados se pueda dar por finalizado el ciclo.
- Análisis del riesgo: en la segunda fase se evalúa que problemas es posible encontrarse al empezar el desarrollo.

- Desarrollar y probar: en la tercera fase, una vez evaluados los riesgos se procede al propio desarrollo del trabajo realizando distintas pruebas para conseguir el mejor resultado.
- Planificación: en esta última fase se valoran los resultados obtenidos y se planifican los siguientes etapas del proyecto.

No existe un número fijo de iteraciones, deben de llevarse a cabo tantas como sean necesarias hasta completar el trabajo.

La adaptabilidad en el diseño del modelo de espiral en la ingeniería de software se adapta a cualquier número de cambios, que pueden ocurrir durante cualquier fase del proyecto, permitiendo minimizar los riesgos y realizar un buen desarrollo del trabajo.

2.3. Plan de trabajo

Para lograr los objetivos ya descritos, se han seguido las siguientes etapas:

- Familiarización del entorno JdeRobot, mediante la descarga e instalación del software de JdeRobot además de las distintas dependencias necesarias para el correcto uso de JdeRobot. En esta etapa también se llevó a cabo la resolución de algunas prácticas anteriores de JdeRobot-Academy relacionadas con las prácticas a desarrollar.
- Familiarización del simulador Gazebo. En esta etapa se han estudiado distintos ejemplos disponibles en la web de Gazebo y de JdeRobot. Además, se han comprendido los distintos plugins necesarios para el desarrollo del trabajo lo que implicó un aprendizaje básico del lenguaje de programación C++.
- Crear los mundos y plugins necesarios de Gazebo. Se modificaron distintos plugins ya creados para adaptarlos a las prácticas que se iban a desarrollar. También se diseñaron los mundos que se han utilizado en cada ejercicio incluyendo en dichos mundos tanto los modelos de objetos y obstáculos como los de los robots y coches.
- Desarrollar la infraestructura, que consistirá principalmente en crear la interfaz gráfica, utilizando la herramienta PyQt5, para que el alumno pueda resolver las prácticas de manera más sencilla e intuitiva.

- Desarrollar un evaluador automático, para que el alumno sepa de manera automática que nota ha obtenido con el código que programe. Este evaluador medirá distintos parámetros y calculará una nota final. También ha sido necesario el uso de la herramienta PyQt5.
- Realizar las soluciones. En esta etapa se ha realizado un algoritmo por cada práctica.
- Redactar los enunciados, donde se explica el contenido de cada práctica.

Capítulo 3

Infraestructura

En este capítulo se explicarán los principales ingredientes software en los que nos hemos apoyado para desarrollar el trabajo. Tales como el simulador Gazebo (con el cual se pueden simular robots con sus sensores y actuadores), el entorno JdeRobot, la biblioteca de OpenCV (empleada en todo lo relacionado con el tratamiento de imagen), PyQt (para el desarrollo de la interfaz gráfica) y Python como lenguaje de programación.

3.1. Simulador Gazebo

Como se argumentó en el Capítulo 1, el simulador Gazebo es uno de los ejes principales de JdeRobot-Academy. Es un simulador usado en robótica que permite realizar diversos escenarios tridimensionales donde probar nuestro software. A la hora de desarrollar el software es necesario hacer pruebas, las cuales saldrían muy costosas si se probaran en robots reales (podría no funcionar correctamente y que el robot se rompiera). Por esta razón es muy útil el empleo de simuladores, pues se pueden realizar las pruebas que se quieran sin peligro de que el robot se estropee. Con los simuladores se pueden diseñar robots y escenarios realistas donde ejecutar los algoritmos creados.

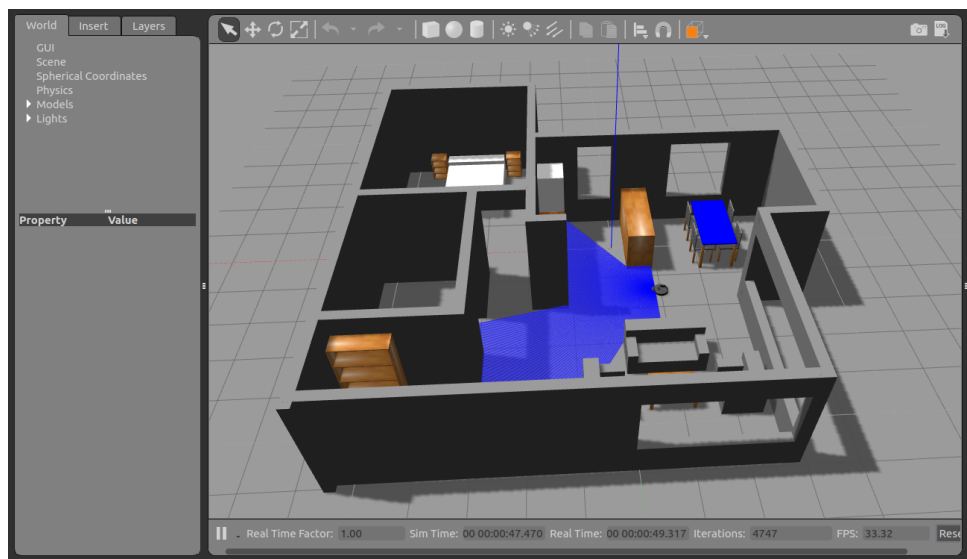


Figura 3.1: Simulador Gazebo

Gazebo es un programa de código abierto distribuido bajo licencia de Apache 2.0. Se emplea en el desarrollo de aplicaciones robóticas y en inteligencia artificial. Es capaz de simular robots, objetos y sensores en entornos complejos de interior y exterior. Tiene gráficos de gran calidad y un robusto motor de física (masa del robot, rozamiento, inercia, amortiguamiento, etc.). En la Figura 3.1 aparece el mundo utilizado en la práctica de “Aspiradora autónoma con autolocalización”. Se puede apreciar como Gazebo simula tanto objetos (camas, sofás, muebles...) como robots, en este caso, un robot aspirador.

Fue elegido para realizar el DARPA Robotics Challenge (2012-2015) y está mantenido por la Fundación Robótica de Código Abierto (OSRF).

En este proyecto se emplea la versión 7 de Gazebo, la cual se usará para crear los diferentes entornos y para probar nuestros algoritmos. Gracias a Gazebo se pueden incluir texturas, luces y sombras en los escenarios, así como simular física como por ejemplo choques, empujes, gravedad, etc. Además, incluye diversos sensores, como pueden ser cámaras y láseres, los cuales podrán ser incorporados en los robots que empleemos. Todo ello hace que sea una herramienta muy potente y de gran ayuda en el mundo de la robótica.

Los mundos simulados con Gazebo son 3D, que se cargan a partir de ficheros con extensión “.world”. Son ficheros definidos en Simulation Description Format (SDF) que es un formato Extensible Markup Language (XML) que describe objetos y entornos para

simuladores, visualización y control de robots. Originalmente fue desarrollado como parte del simulador Gazebo pero con los años se ha convertido en un formato estable, robusto y extensible capaz de describir todos los aspectos de los robots, los objetos estáticos y dinámicos, la iluminación, el terreno e incluso la física.

Se puede describir con precisión todos los aspectos de un robot que usa SDF, ya sea que el robot sea un simple chasis con ruedas o un humanoide. Además de los atributos cinemáticos y dinámicos, se pueden definir sensores, propiedades de superficie, texturas, fricción de la junta y muchas más propiedades para un robot. Estas características le permiten usar SDF para simulación, visualización, planificación de movimiento y control de robot. Los modelos de robots que se emplean en la simulación pueden ser creados mediante algún programa de modelado 3D como Blender o Sketchup. Estos robots simulados necesitan ser dotados de inteligencia para lo cual se emplean plugins. Éstos, pueden dotar al robot de inteligencia u ofrecer la información de sus sensores a aplicaciones externas y recibir de éstas comandos para los actuadores de los robots.

3.2. Entorno JdeRobot

3.3. Lenguaje de programación Python

3.4. Biblioteca OpenCV

3.5. PyQt

Capítulo 4

Práctica: Reconocimiento de la señal Stop

Capítulo 5

Práctica: Aspiradora autónoma