

# Robótica para las Ingenierías en Informática en la Universidad de Alicante

Miguel Ángel Cazorla, Otto Colomina, Juan Manuel Sáez

Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial

Universidad de Alicante

03080 Alicante

e-mail: [miguel, otto, jmsaez}@dccia.ua.es](mailto:{miguel, otto, jmsaez}@dccia.ua.es)

## Resumen

En este artículo describimos una propuesta para los contenidos, tanto teóricos como prácticos de la asignatura Robótica en Ingeniería en Informática. Dicha propuesta está implementada actualmente sobre dicha titulación en la Universidad de Alicante.

## 1. Introducción

Uno de los contenidos cada vez más comunes en las Ingenierías en Informática es la robótica. En este artículo pretendemos hacer una reflexión de cuáles serían los contenidos a impartir en dicha asignatura y describiremos qué contenidos hemos seleccionado en la Universidad de Alicante. Robótica es una asignatura optativa para las tres Ingenierías (una superior y dos técnicas) que se imparten en esta Universidad.

## 2. El enfoque de la asignatura

En los primeros años de la robótica móvil, el enfoque utilizado para calcular los movimientos del robot se basaba en un conocimiento completo del entorno por el que se movía. Entre las características principales podemos destacar que no contemplaban que un objeto se pudiera desplazar ni tenían en cuenta la aparición de objetos no modelados. En cuanto a la arquitectura empleada para realizar el razonamiento se empleaba un esquema de percepción-cognición-acción. Este esquema primero obtiene las mediciones del mundo exterior y con ellas se produce la fase de cognición o razonamiento que da como resultado las acciones a realizar. Posteriormente se produce un replanteamiento de este tipo de arquitectura a un esquema percepción-

acción, pasando a un planteamiento en base a conductas, donde cada conducta es un proceso individual y sencillo. El razonamiento queda implícito en la propia conducta y el conjunto de las conductas permiten el desarrollo de comportamientos complejos.

La robótica es un campo muy amplio que afecta a multitud de áreas en Informática. Se puede abordar desde un punto de vista físico, donde se estudiaría la cinemática, dinámica y el control de robots. Este enfoque, desde nuestro punto de vista, entra más en el campo de la automática que en el de la computación. Dentro del campo de la computación tendríamos contenidos como la planificación de trayectorias y la navegación. Este enfoque más *algorítmico* queda más cerca de la Ingeniería en Informática.

La evolución de las recomendaciones en los distintos currícula de informática ha pasado de la inclusión de Robótica como un ítem dentro de la Inteligencia Artificial a proponer una asignatura (optativa) con cuerpo propio dentro de la titulación, en el último currículum conjunto de ACM y IEEE [2]. En este último currículum la robótica que se propone se orienta hacia la robótica móvil.

Consultando los programas de las asignaturas en otras universidades, podemos observar que no existe un contenido unificado y que en general, se pueden englobar dentro de los dos enfoques antes mencionados: el de automática y el de computación. Igualmente, hemos observado que en sólo 23 de las universidades españolas se imparte este tipo de asignatura.

## 4. Propuesta de contenidos

La asignatura consta de seis créditos, tres teóricos y tres prácticos, repartidos en dos horas de teoría y dos de prácticas semanales. A partir de esta

premisa pasamos a relatar el contenido teórico y práctico que proponemos.

#### 4.1. Temario teórico

El título de los distintos temas teóricos así como su secuenciación temporal se exponen a continuación:

Nombre del tema	Duración
Introducción a la robótica	2 horas
Conceptos geométricos	2 horas
Modelos geométricos de representación y de movimiento	3 horas
Algoritmos de planificación de trayectorias	5 horas
Sensores	4 horas
Visión en robots	4 horas
Navegación evitando obstáculos	2 horas
Navegación mediante conductas	4 horas
Localización del robot	4 horas

Hemos agrupado los temas por bloques temáticos. El primer bloque está compuesto por los dos primeros temas. El primero de ellos es un repaso del desarrollo histórico de la robótica, en el que se comienza comentando cuál es el origen de la palabra Robot (del checo *Robota*) y cuál es la imagen que tenemos de los robots. También presentaremos la evolución y la implantación de los robots en la industria, así como cuáles pueden ser los componentes de un sistema robótico. En el segundo tema introduciremos las herramientas matemáticas necesarias que utilizaremos más adelante en los siguientes temas de la asignatura, como por ejemplo, cómo podemos conocer y manejar las coordenadas de un objeto con respecto a nosotros si conocemos sus coordenadas y las nuestras con respecto a un sistema de referencia.

El siguiente bloque es la planificación del movimiento de un robot. El problema de la planificación se puede enunciar de la siguiente manera: dado un entorno (dimensiones, obstáculos) por el cual el robot se puede desplazar y una posición inicial y final del robot, el objetivo de la planificación es encontrar la secuencia de acciones que hacen que el robot se mueva de la posición inicial a la final sin colisionar con los obstáculos. Estas acciones pueden ser comandos

de movimiento (distancia, velocidad lineal) y/o giro básico (giro, velocidad rotacional). Para realizar esto primero debemos definir la forma de representar tanto al robot como al entorno por el que se va a mover. Esto será el contenido del primer tema del bloque (tercero de la secuencia). En él, veremos las distintas formas de representación que se usan actualmente. También veremos las ecuaciones que gobiernan el movimiento del robot, para poder saber en todo momento cuál es la posición del mismo. El siguiente tema del bloque trata sobre los distintos algoritmos de planificación de trayectorias. Empezaremos simplificando el problema y tratando al robot como si no tuviera geometría (robot puntual), y no permitiendo el giro. Con esta simplificación se presentan dos algoritmos, el de grafo de visibilidad, que busca el camino más corto entre los vértices de los obstáculos, y el de descomposición del espacio libre, que intenta pasar lo más alejado posible de los obstáculos. A continuación permitiremos que el robot tenga una cierta geometría. Para ello, operaremos sobre los obstáculos para que sean estos los que contemplen la geometría del robot, mediante la suma de Minkowski. Con ello hemos reducido el problema de nuevo a la planificación con un robot puntual, pues la geometría de éste ya se contempla en los obstáculos. La última restricción es la del giro del robot cuya solución es inmediata haciendo uso de la suma de Minkowski. Por último, veremos un algoritmo de planificación distinto, haciendo uso de mapas topológicos, donde ya no utilizamos posiciones absolutas sino que intentamos detectar ciertas características del entorno (aperturas, pasillos, puertas, etc.), obteniendo un grafo que nos relaciona dichas características.

En el bloque anterior hemos visto distintos algoritmos de planificación del movimiento del robot. La mayoría de ellos asumen que la posición del robot es conocida en todo momento. Sin embargo, por problemas de odometría, la posición es cada vez más imprecisa conforme avanza el robot. Por ello es necesario que el robot obtenga información del mundo exterior. Para ello, hemos seleccionado aquellos sensores que pueden ser útiles a la robótica, pues existen multitud de sensores que pueden ser utilizados para una gran variedad de tareas. Dentro de este tema veremos dos tipos de sensores especiales: el GPS y los

*Active beacons*. Los dos tienen el mismo objetivo, esto es, obtener la posición de un objeto. El primero proporciona coordenadas relativas a la Tierra y el segundo lo hace con respecto a un entorno más reducido, típicamente una nave industrial. Veremos, por último, los sensores de rango que proporcionan discretizaciones del entorno próximo al robot, devolviendo distancias de los obstáculos justo enfrente del sensor. En cuanto a los sensores de rango, el sónar es el más utilizado en la navegación de robots debido a su bajo coste y a su gran velocidad de respuesta. El siguiente tema es el de visión para robots. Este tipo especial de sensor, la cámara, permite obtener mejores mediciones del entorno. Por un lado, veremos los fundamentos de la formación de la imagen: cómo se crea una imagen cuando usamos una cámara de *pin-hole* y qué es, en definitiva, una imagen. A continuación repasaremos algunos de los métodos de detección de características más básicos. Estos métodos permitirán obtener ciertas características de la imagen para determinar la posición o presencia de objetos o puntos del entorno que nos sirvan para alguna tarea concreta del robot. Por último, una aplicación directa de la visión en robótica es la detección de la profundidad de los objetos en la imagen, ya sea para tareas de navegación evitando obstáculos, como de reconocimiento de objetos. Para ello hemos seleccionado un algoritmo de estéreo para obtener dicha profundidad. Previamente a la obtención de la profundidad deberemos haber calibrado la cámara, es decir, haber obtenido los parámetros que permiten relacionar los puntos de la imagen con los del mundo.

El último bloque lo dedicaremos a la navegación de robots móviles. Hemos dividido el bloque en tres temas. En el primero se comentan dos enfoques para evitar y detectar obstáculos. El primero de estos enfoques se basa en los métodos de campo de fuerza. Estos métodos asumen que las lecturas de los sónares se pueden interpretar como fuerzas repulsivas y el objetivo como una fuerza atractiva. De esta manera, al sumar las dos fuerzas, tendríamos un vector que nos indicaría el comando a proporcionar al robot. Presentamos tres métodos, comenzando por el más intuitivo y sencillo de implementar, en el que vamos aumentando la complejidad para solucionar ciertos problemas inherentes en estos métodos.

Cambiando de enfoque, pasamos a presentar un método que tiene en cuenta las velocidades (lineal y angular) que lleva el robot y las que es capaz de conseguir debido a las restricciones físicas del propio robot. Este nuevo enfoque, el de la ventana dinámica, permite alcanzar velocidades mucho mayores que las conseguidas con los métodos anteriores.

El siguiente tema trata sobre las conductas de robots. Aquí veremos los fundamentos de las conductas así como las distintas arquitecturas que se han propuesto para el uso de las mismas. Terminaremos el tema especificando cómo se pueden implementar conductas sencillas y cómo maneja Saphira las conductas.

El último tema trata sobre la localización de robots. En un primer apartado veremos que el robot necesita conocer el entorno por el que se mueve, por lo que es necesario construir un mapa del entorno. Para construir un mapa el robot vagabundea por el entorno actualizando una rejilla de ocupación con las dimensiones del entorno. Dicha actualización se realiza de acuerdo a las lecturas de los distintos sónares. Una vez construido el mapa, podemos utilizarlo en la localización del robot. La localización sirve para averiguar dónde está el robot dentro de un entorno conocido. Para llevar a cabo esto detallaremos un método novedoso que hace uso de teoría bayesiana para determinar de forma dinámica la posición del robot.

#### 4.2. Temario de prácticas

Para la realización de las prácticas haremos uso de la librería *Saphira* (disponible en <http://www.ai.sri.com/~konolige/saphira>). Como ventajas fundamentales de esta librería destacamos la programación en C ó C++ y la posibilidad de trabajar con el simulador y/o con un robot real. Al inicio de las prácticas haremos un pequeño seminario sobre la utilización de esta herramienta.

La propuesta de prácticas se divide como se muestra en la siguiente tabla:

Nombre del tema	Duración
Herramienta <i>Saphira</i>	4 horas
Planificación del movimiento de un robot	10 horas
Percepción del robot	6 horas
Navegación topológica basada en comportamientos	10 horas

posiciones y las dimensiones de los obstáculos en un fichero de descripción del mundo. También disponemos de la geometría del robot definida mediante sus vértices. El desarrollo de la práctica será el siguiente: 1. Lectura del fichero de descripción del mundo. 2. Aplicación de la suma de Minkowski a los obstáculos. 3. Obtención del grafo de visibilidad. 4. Cálculo del camino más corto desde el punto inicial al final. 5. Guiado del robot para recorrer el camino obtenido.

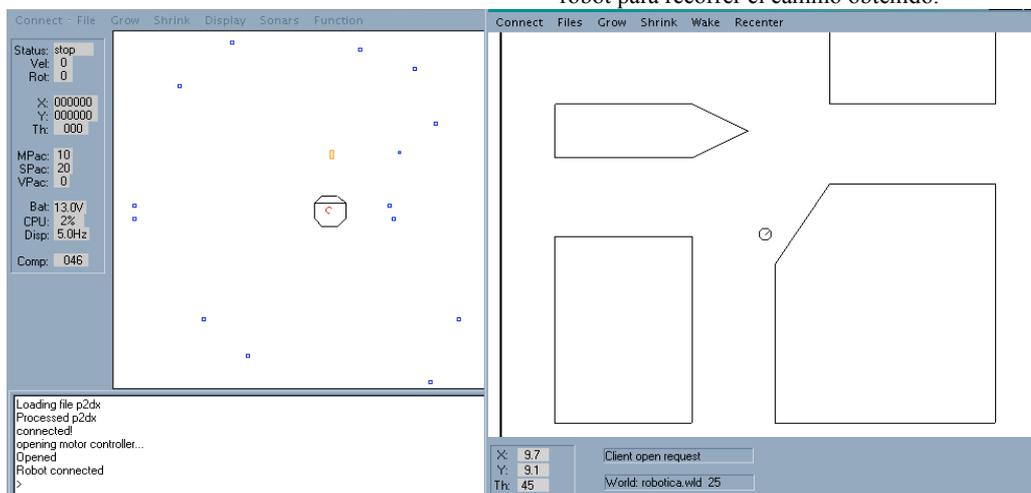


Figura 1. Entorno *Saphira*

El primer tema de prácticas tiene dos objetivos fundamentales. El primero es dar a conocer al alumno el funcionamiento de la herramienta de control de robots móviles *Saphira*. Para ello, detallaremos todas las funcionalidades de la herramienta (descripción de mundos, descripción de distintos tipos de robots, conexión con el simulador-robot real, etc.). El segundo objetivo es que el alumno entienda y sepa aplicar los conceptos de transformación de coordenadas entre sistemas de referencia. La práctica consiste en guiar al robot dentro de un entorno, pasando por una serie de puntos indicados en un fichero. Las coordenadas de los puntos están dadas con respecto al sistema de coordenadas del mundo donde se encuentra el robot. Estas coordenadas se deben transformar al sistema de referencia del robot.

En la segunda práctica se pretende guiar al robot por un mundo conocido. Disponemos de las

En la parte de percepción proponemos el desarrollo de una pequeña práctica en la cual el alumno pueda guiar al robot hacia un objeto dentro del campo de visión del robot. Este objeto debe ser de un color uniforme y fácilmente identificable del fondo. Por ejemplo, podemos hacer uso de una pelota de tenis. Al alumno se le suministrará una pequeña aplicación que captura imágenes de una cámara colocada sobre el robot y devuelve la imagen binarizada a partir de un color previamente seleccionado. El objetivo es que guíe al robot hacia el objeto en cuestión.

El objetivo de la última práctica es implementar un algoritmo de navegación reactiva basado en comportamientos. El algoritmo tomará como entrada una ruta a seguir en forma de mapa topológico (es decir, una secuencia de *lugares distintos* por los que hay que pasar, en lugar de una secuencia de coordenadas a recorrer como hemos hecho hasta el momento).

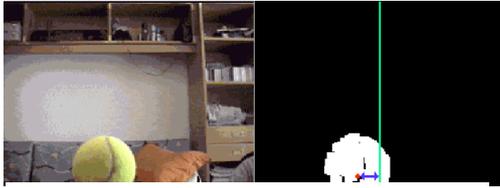


Figura 2. Binarizado de un objeto y orientación del robot

### 4.3. Bibliografía para la asignatura

En este apartado vamos a detallar algunas de las referencias que se ajustan mejor al temario propuesto. En [3] se realiza un repaso exhaustivo a la robótica basada en conductas. El autor, R. Arkin, es uno de los precursores de la robótica basada en conductas. Es un libro monotemático sobre conductas de robots. El libro [4] recorre todo el campo de la robótica móvil. Está dividido en tres partes. La primera trata sobre la parte física del robot: distintos tipos de conducción y distribución de ruedas, dinámica del robot, etc. En la segunda, se estudian las distintas formas de percepción que tiene un robot, dividiéndolas en dos grupos: sensores y algoritmos no visuales y visuales. La última parte, más extensa, trata sobre el razonamiento, qué cosas o tareas puede hacer nuestro robot. En esta última parte tenemos un capítulo dedicado a la planificación de robots, al control reactivo, la localización, la construcción de mapas y tareas reales en las cuales se están utilizando robots. En [5] se trata en profundidad toda la parte de planificación de trayectorias de robots. Define el problema formalmente y con una matemática rigurosa. Trata el problema de la planificación de la forma más genérica posible, con obstáculos  $n$ -dimensionales y permitiendo formas curvas para su definición. Empieza el libro con varios capítulos dedicados a la formalización del problema, para luego pasar a tratar a fondo el problema de la planificación desde tres puntos de vista: la descomposición en celdas exactas y aproximada, los métodos de mapa de carreteras y los métodos de campo de potencial. Continúa con la coordinación de varios robots, imponiendo restricciones cinemáticas al robot y permitiendo, por último, que los obstáculos puedan desplazarse. El tema principal de [6] es la Inteligencia Artificial aplicada a la robótica. Estudia la

robótica desde un punto de vista computacional, sin entrar en aspectos más de bajo nivel como la cinemática y el control dinámico. El libro está dividido en dos partes. La primera, Paradigmas de la robótica, trata sobre los distintos paradigmas que se pueden utilizar en robótica para controlar un robot, el enfoque jerárquico más clásico y el control reactivo, revisando otros paradigmas en menor grado. Repasa las ventajas e inconvenientes de los dos primeros y se centra en el segundo en el resto del libro. Dentro de esta parte existe un capítulo dedicado a percepción, centrado en sensores y visión. En la segunda parte, Navegación, se centra en la planificación de trayectorias, tanto topológicas como métricas y en el problema de la localización y construcción de mapas. Incorpora bastantes detalles de implementación que lo hacen atractivo en la docencia. Por último, para la parte de visión, podemos consultar [7]. Este libro presenta una serie de problemas en visión artificial de forma clara y concisa. En cada capítulo presenta un problema distinto, empezando por la definición del problema, aplicando las restricciones oportunas y, por último, detallando algún método para resolver el problema en cuestión. Todo esto se acompaña de resultados de la aplicación de los distintos métodos presentados. El contenido del libro se puede estructurar en tres partes. La primera de ellas trata sobre la formación de una imagen y de cómo podemos mejorar la calidad de la misma mediante la supresión de ruido. Dentro de esta parte podemos incluir los capítulos dedicados a la obtención de características bidimensionales de la imagen: aristas y puntos esquina. Otra de las partes tiene que ver con la obtención de la estructura a partir de diferentes métodos: estéreo, movimiento, etc. Dentro de esta parte tenemos un capítulo sobre calibración de la cámara, necesaria para obtener la estructura. La última parte del libro introduce el problema del reconocimiento de objetos y la localización de objetos en el espacio.

### 5. Conclusiones

En este trabajo hemos presentado una propuesta para el temario de la asignatura Robótica, implementada actualmente en las Ingenierías en Informática en la Universidad de Alicante. Para ello hemos especificado tanto la parte teórica

como la práctica y hemos comentado algunas de las posibles referencias a utilizar.

### **Referencias**

- [1] Miguel Cazorla. *Página web de la asignatura Robótica*. <http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/ROB>
- [2] ACM/IEEE, *Computing Curricula 2001*, 2001, IEEE Computer Society/ACM Task Force on Computing Curricula
- [3] R. Arkin. *Behavior Based Robotics*. The MIT Press, 1998.
- [4] D. Dudek and M. Jenkin. *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press, 2000
- [5] J. Latombe. *Robot Motion Planning*. Kowler Academic Publisher, 1991.
- [6] R. Murphy. *Introduction to AI Robotics*. MIT Press, 2000.
- [7] E. Trucco and A. Verri. *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*. Prentice Hall, 1998