



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA

GUÍA DOCENTE

CURSO: 2008/09

## 12749 - SISTEMAS ROBÓTICOS MÓVILES

**ASIGNATURA:** 12749 - SISTEMAS ROBÓTICOS MÓVILES

Vinculado a : (Titulación - Asignatura - Especialidad)

1801-Ingeniería en Informática - 12749-SISTEMAS ROBÓTICOS MÓVILES - 00

**CENTRO:** Escuela de Ingeniería Informática

**TITULACIÓN:** Ingeniero en Informática

**DEPARTAMENTO:** INFORMÁTICA Y SISTEMAS

**ÁREA:** Ciencia De La Comp. E Intel. Artificial

**PLAN:** 10 - Año 199 **ESPECIALIDAD:**

**CURSO:** Cr. comunes cic **IMPARTIDA:** Segundo semestre **TIPO:** Optativa

**CRÉDITOS:** 6

**TEÓRICOS:** 3

**PRÁCTICOS:** 3

### Información ECTS

Créditos ECTS:4,8

Horas de trabajo del alumno: 137

Horas presenciales:56

- Horas teóricas (HT):18
- Horas prácticas (HP):18
- Horas de clases tutorizadas (HCT):16
- Horas de evaluación:4
- otras:

Horas no presenciales:81

- trabajos tutorizados (HTT):32
- actividad independiente (HAI):49

Idioma en que se imparte: Español

### Descriptorios B.O.E.

Tecnología de los Sistemas Robóticos Móviles. Mecanismos de Navegación e Interacción con el Entorno. Telecontrol. Proyectos de Desarrollo.

### Temario

Módulo I: Geometría, Locomoción y Sistemas Sensoriales (9 horas).

1. Introducción
2. Geometría Interna
  - 2.1. Sistemas de Coordenadas y Relaciones.
  - 2.2. Transformaciones.
  - 2.3. Representación Geométrica
3. Locomoción y Modelos Cinemáticos.
  - 3.1. Tipologías de Vehículos.
  - 3.2. Sistemas basados en Ruedas Motrices.
  - 3.3. Modelos Cinemáticos y Restricciones
  - 3.4. Otras Técnicas de Locomoción

- 3.5. Espacio de Configuración. Topología.
- 4. Sistemas Sensoriales.
  - 4.1. Sistemas de Posicionamiento Relativo. Encoders y Sistemas Inerciales.
  - 4.2. Sistemas de Posicionamiento Absoluto: Balizas, Marcas y Mapas.
  - 4.2. Ultrasonidos.
  - 4.3. Infrarrojos
  - 4.4. Telemetría Láser.
  - 4.5. Sistemas de Visión Activa.
  - 4.6. Sistemas de Localización basados en Marcas.
- 5. Control Básico de Movimientos
  - 5.1. Control Bicanal: Rotación y Traslación.
  - 5.2. Control de Distancia y Velocidad
  - 5.3. Ecuaciones Angulares.
  - 5.5. Control PID.
- 6. Modelado de Errores en Movimiento de Robots.
  - 6.1. Error de Desplazamiento
  - 6.2. Errores Bidimensionales.
  - 6.3. Evolución del Error durante el Movimiento.
- 7. Fusión Sensorial.
  - 7.1. Modelo Bayesiano.
  - 7.2. Filtrado de Kalman.
  - 7.3. Teoría de Demspster-Shafer

#### Bibliografía

Básica:[Dud00], [Jon99], [Oll01], [Eve95], [Mur00], [Sie04], [Cho05], [Lum05].  
 Complementaria: [Bor96], [ [Bek05], [Cox91] ].  
 Lecturas Recomendadas: [Chr93], [Leo92],[Kor98]

#### Módulo II: Arquitecturas y Comportamiento. (5 horas)

- 1. Introducción a las Arquitecturas en Robots Móviles.
- 2. Arquitectura Básica de Tres Capas.
  - 2.1. Anatomía.
  - 2.2. Estudio de Caso.
- 3. Arquitecturas Reactivas.
- 4. Arquitecturas de Supresión
- 5. Arquitecturas Basadas en Comportamientos
  - 5.1. Definición de Comportamientos.
  - 5.2. Modelos de Comportamientos.
  - 5.3. Representación del Conocimiento en Sistemas Basados en Comportamiento.
- 6. Esquemas.
  - 6.1. Comportamientos basados en Esquemas.
  - 6.2. Robots Basados en esquemas
- 7. Arquitecturas Híbridas Deliberativas/Reactivas
- 8. Comportamiento Adaptativo.
- 9. Comportamiento Social.
- 10. Arquitecturas basadas en Agentes.
  - 10.1 Agente Animado. Arquitectura Software y Representación del Conocimiento.
  - 10.2 Sistemas Robóticos Multiagentes Cooperativos.
- 11. Otras Arquitecturas y Tendencias

#### Bibliografía

Básica: [Mur00], [Ark98], [Dud00], [Jon99], [Kor98], [Neh00].  
Complementaria: [Iye91], [Cox91], [Con90].  
Lecturas Recomendadas: [Bro99].

### Módulo III: Representación Espacial y Navegación. (15 horas)

1. Modelado Estático del Entorno
2. Espacio de Estados Continuo
  - 2.1. Modelos con Potenciales atractivos/Repulsivos
  - 2.2. Computo de Distancias para Implementaciones en un Plano
  - 2.3. Navegación con Funciones de Potencial
  - 2.4. Funciones de Potencial y Espacios No Euclideos
  - 2.5. Histogramas de Campos Virtuales
3. Espacio de Estados Discreto
  - 3.1. Grafos de Visibilidad
  - 3.2. Diagramas Generalizados de Voronoi
  - 3.3. Modelado del Espacio Libre
  - 3.4. Planificación Basada en la Descomposición de Celdas
4. Generación y Emparejamiento de Mapas.
  - 4.1. Tipologías de Mapas
  - 4.2. Mapas Internos
  - 4.3. Construcción de Mapas Visuales
  - 4.4. Mapas basados en Datos de Sensores Láser y Ultrasonidos
  - 4.5. Fusión Sensorial.
  - 4.6. Técnicas de Emparejamiento.
5. Filtrado de Kalman
  - 5.1. Construcción del Modelo.
  - 5.2. Estimación Robusta utilizando Filtros de Kalman.
6. Métodos Bayesianos.
  - 6.1. Localización
  - 6.2. Mapping
7. Planificación de Movimientos.
  - 7.1. Estrategias basadas en Control Reactivo.
  - 7.2. Rejillas de Certidumbre
  - 7.3. Estrategias Combinadas.
8. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

#### Bibliografía

Básica: [Dud00], [Mur00], [Sie04], [Oll01], [Pru96], [Cho05], [Thr05].  
Complementaria: [Ark98], [Cas93], [Neh00], [Lum05].  
Lecturas Recomendadas: [Lee96], [Leo92]

#### Bibliografía

Básica: [Dud00], [Mur00], [Sie04], [Oll01], [Pru96], [Cho05], [Thr05].  
Complementaria: [Ark98], [Cas93], [Neh00], [Lum05].  
Lecturas Recomendadas: [Lee96], [Leo92]

### Módulo IV: Sistemas Percepto-Efectores e Interacción. (1 hora)

1. Introducción.
2. Interacción Máquina-Entorno.
3. Interacciones Hombre-Máquina y Máquina-Máquina.
4. Movimiento en Entornos no Estructurados

#### 4. Sistemas Autónomos Inteligentes Móviles

4.1 Percepción-Acción.

4.2 Conocimiento.

4.3 Aprendizaje.

#### 5. Estudio de Casos y Aplicaciones.

#### Bibliografía

Básica: [Ark98], [Dud00], [Mur00], [Sie04], [Lum05].

Complementaria: [Chr93].

Lecturas Recomendadas: [Men00], [Bek05]

Total Curso: 60 horas presenciales (30 horas Teóricas + 30 horas Prácticas) según plan de estudios vigente (4,8 ECTS, ver programación)

#### REFERENCIAS

[Ark98] Arkin R., Behavior-Based Robotics, MIT Press, 1.998.

[Bau00] Baum D., Definitive Guide to Lego Mindstorms, Apress, 2.000.

[Bek05] Bekey G., Autonomous Robots, MIT Press, 2005.

[Bor96] Borenstein J., Everett H., Feng L., Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, Univ Michigan, 1.996.

[Bro99] Brooks R., Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI, MIT Press, 1.999.

[Cas93] Cassadras C.G. Discrete Event Systems, Aksen Associates Inc. Pub., 1.993.

[Cho05] Choset H., Lynch K., Hutchinson S., Kantor G., Burgard W., Kavraki L., Thrun S., Principles of Robot Motion. Theory, Algorithms and Implementations, MIT Press, 2005.

[Chr93] Christensen H., Bowyer K., Bunke H., Active Robot Vision. Camera Heads, Model Based Navigation and Reactive Control, World Scientific, 1.993.

[Cox91] Cox I.J., Wilfong G.T., (Edit) Autonomous Robot Vehicles, Springer Verlag, 1.991.

[Dud00] Dudek G., Jenkin M., Computational Principles of Mobile Robotics, Cambridge University Press, 2.000.

[Eve95] Everett H.R., Sensor for Mobile Robots. Theory and Application, A.K. Peters Ltd., 1.995.

[Iye91] Iyengar S.S., Elfes A., Autonomous Mobile Robots: Perception, Mapping and Navigation, IEEE Computer Society Press Tutorial, 1.991.

[Jon99] Jones J., Flynn A., Seiger B., Mobile Robots. Inspiration to Implementation, 2ed, A.K. Peters Ltd, 1.999.

[Knu99] Knudsen J.B., The unofficial guide to Lego Mindstorms Robots, O'Reilly, 1.999.

[Kor98] Kortenkamp D., Bonaso P., Murphy R. (Edit.) Artificial Intelligence and Mobile Robots. Case Studies of Successful Robot Systems, MIT Press, 1.998.

[Lee96] Lee D., The Map-Building and Exploration Strategies of a Simple Sonar-Equipped Mobile Robot, Cambridge University Press, 1.996.

[Lum05] Lumensky V.J., Sensing, Intelligence, Motion. How Robots and Humans Move in an Unstructured World, Wiley, 2005

[Leo92] Leonard J.J., Durrant-Whyte H.F., Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation, Kluwer Academic Pub., 1.992

[Mat05] MATLAB User's Guide, MathWorks, 2.005.

[Men00] Menzel, P., D'Aluisio, F., Evolution of a New Species. Robosapiens, MIT Press, 2000.

[Mur00] Murphy R., Introduction to AI, MIT Press, 2000.

[Neh00] Nehmzov U., Mobile Robotics: A Practical Introduction, Springer-Verlag Series on Applied Computing, 2.000.

[Oll01] Ollero A., Robótica. Manipuladores y Robots Móviles, Marcombo, 2001.

[Pfe99] Pfeifer R., Scheier Ch., "Understanding Intelligence", MIT Press, 1.999

- [Pru96] Pruski, A. , Robotique Mobile. La Planification de Trajectorie, Hermes, 1.996.
- [Sie04] Siegwart R., Nourbaskhsh I., Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, 2004.
- [Thr05] Thrum S., Burgard W., Fox D., Probabilistic Robotics, MIT Press, 2004.

## Requisitos Previos

La asignatura Sistemas Robóticos Móviles pertenece al grupo de las optativas de Segundo Ciclo de la titulación de Ingeniería en Informática en la ULPGC con una extensión de 6 Crd. (3T+3P) ó 4.8 ECTS. Se trata de una asignatura de índole complementaria, autocontenida en si misma, aunque con cierta relación horizontal con otras asignaturas del curricula. La asignatura, en este sentido, se concibe como Teórico-Práctica, orientada a la formación en ingeniería de diseño, realización y evaluación de sistemas robóticos móviles.

En este sentido, las clases teóricas se utilizan para definir el marco conceptual y metodológico de diseño y las pautas de desarrollo y evaluación, establecer las taxonomías de técnicas, y realizar el análisis y descripción de aquellas técnicas tipo que se consideran más significativas, tanto por su aporte pedagógico o metodológico, como por la calidad de su aportación a los diseños finales de sistemas.

La disciplina trata con el control inteligente de vehículos autónomos y semiautónomos. Como asignatura, en el marco de la Ingeniería Informática, está orientada hacia los aspectos básicos del control y percepción de robots móviles desde una perspectiva de Inteligencia Artificial. Los tópicos a cubrir son, entre otros, interpretación sensorial, arquitecturas reactivas, modelado del entorno, navegación y sistemas basados en comportamiento. No obstante, la Robótica Móvil es un área interdisciplinar que involucra a:

- \* Ingeniería Mecánica, en los aspectos relacionados con el diseño de vehículos móviles y sus mecanismos de locomoción.
- \* Ingeniería Informática y Ciencia de los Computadores, al tratar con representaciones del mundo y modelos, sistemas percepto-efectores, estrategias de control y conductas, algoritmos de planificación, problemas de integración de sistemas, diseño y comunicaciones.
- \* Psicología Cognitiva y Neurociencia, al tratar con paradigmas y problemas que tienen similitud con aquellos que afectan a sistemas biológicos y son, en muchos casos, fuente de inspiración para el diseño y construcción de sistemas robóticos móviles.

La disciplina conceptual de los Sistemas Robóticos Móviles se diferencia de otras áreas como la Robótica de Manipuladores convencional, la Inteligencia Artificial o la Visión por Computador, en que se enfatiza el estudio de los problemas en relación con el mundo de espacios a gran escala (Large-Scale Space), esto es, regiones del espacio que son sustancialmente mayores que aquellas que pueden ser observadas desde un punto de vista simple en el espacio-tiempo. El análisis de sistemas en entornos de espacios a gran escala implica no solamente tratar con la adquisición incremental del conocimiento, sino con problemas de estimación del error posicional, el reconocimiento de objetos y lugares para la movilidad y la respuesta en tiempo real. La coexistencia de estas cualidades de forma concertada proyecta el foco de atención de la Robótica Móvil hacia tres problemas fundamentales: el movimiento a través del espacio, la percepción del entorno y el razonamiento acerca de este.

Los requisitos conceptuales se estudian en los cursos 2º y 3º en las asignaturas de “Tecnología de la Programación”, “Métodos Matemáticos” e “Introducción a la Teoría de Sistemas”. Son los siguientes:

- Herramientas de programación (C o C++)

- Herramientas de Análisis Matemático (incluyendo Álgebra Matricial y Cálculo Integro-Diferencial) y Modelado de Sistema

## Objetivos

Objetivo General:

Conocer las teorías, técnicas y herramientas para el modelado, programación, diseño y construcción de robots móviles.

Objetivos Específicos:

1. Comprender los problemas relacionados con el movimiento de robots y utilizar las técnicas para evaluar la cinemática directa e inversa de varios tipos de robots para el control de movimientos.
2. Comprender el funcionamiento de los diferentes sensores visuales y no visuales y los algoritmos para transformar las medidas de los sensores en información del entorno del robot, con espíritu crítico y responsabilidad.
3. Identificar y evaluar críticamente las distintas arquitecturas y estrategias de diseño utilizadas en Robótica Móvil.
4. Ser capaz de comprender los conceptos fundamentales de las tareas computacionales que hacen que un robot se mueva inteligentemente a través de su entorno.
5. Conocer los modelos de representación del entorno y como realizar la planificación dadas estas representaciones.
6. Saber cuales son los paradigmas y problemas de la interacción, en los distintos niveles, de sistemas percepto-efectores con personas o con otros sistemas.
7. Desarrollar la capacidad y habilidad para analizar casos prácticos de robots móviles y estar informados de las tendencias actuales del campo.
8. Desarrollar colaborativamente proyectos de robótica móvil.
9. Comunicar ideas, procedimientos y resultados de forma oral y escrita.

## Metodología

La clave del planteamiento metodológico de la asignatura es la motivación, particularmente en aquellos temas de carácter actual como es el caso de la Robótica Móvil. Se procurará descargar una buena parte de los conceptos en clases prácticas donde el alumno pueda ver in situ los diferentes principios y técnicas.

Por ello, y en consonancia con las recomendaciones para la convergencia en el Espacio Europeo de Educación Superior, se incluye en la programación un número de horas (16) presenciales de clases tutorizadas por los dos profesores de la asignatura. Cada una de estas clases se impartirá a grupos de 5 alumnos

Como la materias concernientes a la Robótica Móvil tiene contenidos relativos a aplicaciones en entornos muy diversos, esta motivación se fomentará con la presentación frecuente de la utilidad práctica de los temas, aplicaciones y comentar sus ventajas, transmitir noticias de las novedades y del avance tecnológico en el sector de los robots móviles y ponerlas en relación con las tendencias sociales del entorno, crear en definitiva el ambiente de utilidad y sentido práctico propio de una Ingeniería. Los trabajos prácticos harán en grupos reducidos. Si se dispone de un laboratorio en condiciones y con medios adecuados con requisitos mínimos de:

1. Ordenador Personal (Windows XP), Matlab 7 o superior, toolboxes (Control System, System Identification, Signal Processing, Stateflow y SIMULINK), Entorno de Desarrollo y Simulación Shapira. y MS VISUAL C/C++ .
2. Robot Móvil Pioneer III + Alimentador, Kit Robot NXT.
3. Cables de Conexión Serie, Tablón (blanco) 2m x 2m para realizar movimientos.
4. Osciloscopio y Fuente de Alimentación Regulable(+30, -30, +5)

Se plantearán trabajos de simulación en varios grupos y se rotarán para comprobar la validez de las hipótesis y desarrollo sobre un robot móvil básico. En este sentido el laboratorio deberá estar a disposición de los alumnos, en horarios flexibles, poniendo únicamente como límite, el orden, el control y el horario del personal encargado. Las prácticas pretenderán, como filosofía general, asentar conceptos, delimitar campos de aplicación y validez, aclarar principios y conectar la teoría con la práctica sobre robots que operen en el mundo real.

En la dirección URL: <http://serdis.dis.ulpgc.es/~ii-srm/> se ha instalado una guía/tutorial de la asignatura, donde además de un repositorio de herramientas y software se incluye material docente básico y complementario

La utilización de medios audiovisuales se complementará proporcionando al alumno, en la dirección URL anterior, el contenido de las clases y los apuntes (Notas) correspondientes. Además se dispone de un conjunto de libros de consulta como el que se detalla.

#### \*PLANIFICACIÓN POR SEMANAS:

Se incluye la planificación aproximada por semanas, aunque las fechas quedan pendientes del inicio oficial del segundo cuatrimestre.

Semana; Fecha; Lugar; Contenidos

1 ..... (1 hrs); Aula; Lectura 1: Presentación

1 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab0: Presentación General

2 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 2: Conceptos en Robótica Móvil

2 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab1: Introducción a NXT

3 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 3: Ideas & Aplicaciones

3 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab2: Caracterización de Sensores-Actuadores  
(Entregable): Resultados Lab1

4 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 4: Locomoción

4 ..... (2 hrs); Laboratorio; Cont. Lab2

5 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 5: Sensores No-Visuales

5 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab3: Análisis de errores odométricos

(Entregable): Resultados Lab2

6 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 6: Sensores No Visuales para la Determinación de la Posición

6 ..... (2 hrs); Laboratorio; Cont. Lab3

7 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 7: Fusión Sensorial

7 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab4: Fusión sensorial

(Entregable): Resultados Lab3

8 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 8: Percepción Visual: Principios, Ideas y Fundamentos

8 ..... (2 hrs); Laboratorio; Cont. Lab4

9 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 9: Percepción Visual: Estéreo y Movimiento

9 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab5: Competición

(Entregable): Resultados Lab4

10 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 10: Arquitecturas y Robótica Basada en Conductas

10 ..... (2 hrs); Laboratorio; Cont. Lab5

11 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 11: Robótica Basada en Conductas: Control Difuso

11 ..... (2 hrs); Laboratorio; Cont. Lab5

12 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 12: Planificación y Navegación

12 ..... (2 hrs); Laboratorio; Cont. Lab5

13 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 13: Navegación con Evitación de Obstáculos

13 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab6: Simuladores

(Entregable): Resultados Lab5

14 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 14: Localización y Construcción de Mapas: Métodos Bayesianos y Filtrado de Kalman

14 ..... (2 hrs); Laboratorio; Lab7: Proyecto

(Entregable): Resultados Lab6

15 ..... (2 hrs); Aula; Lectura 15: Construcción de Mapas y SLAM

15 ..... (2 hrs); Laboratorio; Proyecto Final

(Entregable): Resultados Lab7

## Criterios de Evaluación

Se plantearán dos exámenes prácticos, cuyo contenido evaluativo se descompondrá en:

1. Trabajo de laboratorio y entregables(70%), siendo necesaria su presentación y defensa en clase (10%).

2. Valoración subjetiva (20%) en función de la asistencia y participación en clase.

Tal y como se ha diseñado este curso, muchos de los conceptos se reflejan y se soportan en las prácticas apoyados por las clases tutorizadas presenciales (16 horas). La evaluación por tanto debe

acercarse lo más posible a la propia naturaleza del trabajo desarrollado. La evaluación del trabajo de curso será por grupos, cada grupo deberá presentar:

1. El libro de experimentos (notebook) donde se recojan los diseños previos, planteamientos, problemas, estrategias ...con un seguimiento cronológico de la actividad realizada.
2. Vídeo explicativo donde cada miembro del equipo presente un aspecto del diseño final y del trabajo realizado, incluyendo (como es lógico) imágenes del robot realizando las tareas especificadas.
3. Memoria sintética del trabajo (Descripción del hardware final, tareas que lleva a cabo el robot, software documentado, ....).

## Descripción de las Prácticas

\* Práctica nº 1: Familiarización y aprendizaje del NXT.

Objetivos: Se trata de un entorno de desarrollo de prototipos robóticos constituido por un dispositivo controlador al que es posible conectar múltiples sensores y actuadores. Combinado con elementos de soporte, permite la construcción de pequeños sistemas robóticos autónomos. En esta primera práctica se pretende únicamente que el alumno conozca los recursos disponibles y las herramientas a utilizar.

Nº horas estimadas en Laboratorio:2

\* Práctica nº 2: Caracterización de sensores y actuadores.

Objetivos: Diseñar y realizar experimentos que permitan la caracterización y, en su caso, calibración de los diferentes elementos sensores (luz, sonido, ultrasonidos, tacto, encoders) y actuadores (servomotores, lámparas) que se suministran con el kit NXT.

Nº horas estimadas en Laboratorio:4

\* Práctica nº 3: Errores de odometría.

Objetivos: Análisis de errores odométricos y estimación de parámetros físicos utilizando el test del cuadrado bidireccional. Para ello deberá primero construirse una pequeña plataforma diferencial y programar su funcionamiento a fin de realizar las pruebas y mediciones que precisa esta técnica (relaciones de engranajes, ancho de ruedas, desplazamientos de las ruedas, etc.).

Nº horas estimadas en Laboratorio: 4

\* Práctica nº 4: Fusión sensorial.

Objetivos: Aplicación de técnicas de fusión sensorial con manejo de la incertidumbre para combinar la información de los sensores ultrasónicos, codificadores de posición y sensores de tacto. Se desarrollará un problema de estimación robusta del entorno y otro de localización.

Nº horas estimadas en Laboratorio: 6

\* Práctica nº 5: Competición.

Objetivos: Se planteará un escenario y un problema a resolver (laberinto, carrera de velocidad, selección de objetos, etc) de modo que los diferentes grupos apliquen el conocimiento adquirido en las prácticas anteriores para tratar de superar los resultados de los compañeros.

Nº horas estimadas en Laboratorio: 6

\* Práctica nº 6: Simuladores.

Objetivos: Presentación de diferentes herramientas de simulación para robótica móvil (Player/Stage, simrobot, eyesim, saphira) y planteamiento de un problema de navegación con evitación de obstáculos para resolver en un entorno estático.

Nº horas estimadas en Laboratorio:4

\* Práctica nº 7: Proyecto (optativo).

Objetivos: Proyecto de tema libre propuesto por grupo, de manera que integre los diferentes tópicos de la materia. Se podrán realizar utilizando las herramientas de simulación del laboratorio (Saphira, Player/Stage, etc) o sobre robots reales.

Nº horas estimadas en Laboratorio:4

## Bibliografía

---

### [1 Básico] Sistemas robóticos móviles [

*Antonio Falcón*

*Martel, Oscar Déniz Suárez.*

*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Centro de Tecnología de los Sistemas y de la Inteligencia Artificial,,  
Las Palmas de Gran Canaria : (2000)  
84-699-4164-X*

---

### [2 Básico] Sensor and methods [Recurso electrónico] /

*by J. Borenstein, H. R. Everett, and L. Feng.*

*University of Michigan,, Michigan : (2006)*

---

### [3 Básico] Computational principles of mobile robotics /

*Gregory Dudek, Michael Jenkin.*

*Cambridge University Press,, Cambridge : (2000)*

*0-521-56876-5*

---

### [4 Básico] Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation /

*Howie Choset...[et al.].*

*MIT Press,, Cambridge, Massachusetts : (2005)*

*0262033275*

---

### [5 Básico] Introduction to AI Robotics /

*Robin R. Murphy.*

*MIT Press,, Cambridge : (2000)*

---

**[6 Básico] Introduction to autonomous mobile robots /**

*Roland Siegwart and Illah Nourbakhsh.*  
*MIT Press,, Cambridge ; (2004)*  
026219502X

---

**[7 Recomendado] Robotique mobile: la planification de trajectoire /**

*Alain Pruski.*  
*Hermes,, Paris : (1996)*  
2-86601-549-5

---

**[8 Recomendado] Robótica: manipuladores y robots móviles /**

*Aníbal Ollero Baturone.*  
*Marcombo,, Barcelona : (2001)*

---

**[9 Recomendado] Discrete event systems: modeling and performance analysis /**

*Christos G. Cassandras.*  
*Irwin,, Burr Ridge, Illinois : (1993)*  
0-256-11212-6

---

**[10 Recomendado] Definitive guide to lego mindstorms /**

*Dave Baum ; illustrations by Rodd Zurcher and Dave Baum.*  
*Apress,, Berkeley (California) : (2000)*  
1893115097

---

**[11 Recomendado] The map-building and exploration strategies of a simple sonar-equipped robot: an experimental, quantitative evaluation /**

*David Lee.*  
*Cambridge University Press,, Cambridge : (1996)*  
0521573319

---

**[12 Recomendado] Artificial intelligence and mobile robots :case studies of successful robot systems /**

*edited by David Kortenkamp, R. Peter Bonasso, and Robin Murphy.*  
*AAAI Press ;, Menlo Park, Calif : (1998)*  
0262611376 (pbk. : alk. paper)

---

**[13 Recomendado] Autonomous robots: from biological inspiration to implementation and control /**

*George A. Bekey.*  
*The MIT Press,, Cambridge, Massachusetts : (2005)*  
0-262-02578-7

---

**[14 Recomendado] Active robot vision: camera heads, model based navigation and reactive control /**

*H.I. Christensen, K.W. Bowyer, H. Bunke, eds.*  
*World Scientific,, Singapore : (1993)*

---

**[15 Recomendado] Sensor for mobile robots :theory and application /**

*H.R. Everett.*  
*A.K. Peters, (1995)*

---

**[16 Recomendado] The unofficial guide to Lego Mindstorms robots /**

*Jonathan B. Knudsen.*  
*O'Reilly,, Beijing : (1999)*  
1565926927

---

**[17 Recomendado] Mobile robots: inspiration to implementation /**

*Joseph L. Jones, Anita M. Flynn, Bruce A. Seiger.  
A. K. Peters., Natick, Massachusetts : (1999) - (2nd ed.)  
1-56881-097-0*

---

**[18 Recomendado] Robo sapiens: evolution of a new species /**

*Peter Menzel and Faith D'Aluisio.  
MIT Press., Cambridge (Massachusetts) : (2000)  
0-262-13382-2*

---

**[19 Recomendado] Cambrian intelligence: The early history of the New AI /**

*Rodney A. Brooks.  
The MIT Press., Cambridge (Massachusetts) : (1999)  
0262522632*

---

**[20 Recomendado] Understanding intelligence /**

*Rolf Pfeifer and Christian Scheier.  
MIT Press., Cambridge : (1999)  
0-262-66125-X*

---

**[21 Recomendado] Behavior-based robotics /**

*Ronald C. Arkin.  
MIT Press., Cambridge, MA : (1998)  
0-262-01165-4*

---

**[22 Recomendado] Probabilistic robotics /**

*Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, Dieter Fox.  
MIT press., London : (2005)  
9780262201629*

---

**[23 Recomendado] Autonomous mobile robots: perception, mapping, and navigation /**

*S.S. Iyengar and Alberto Elfes.  
IEEE Computer Society Press., Los Alamitos, California : (1991)  
0818690186*

---

**[24 Recomendado] Mobile robotics: a practical introduction /**

*Ulrich Nehmzow.  
Springer - Verlag., London : (2000)  
1-85233-173-9*

---

**[25 Recomendado] Sensing, intelligence, motion :how robots and humans move in an unstructured world**

*Vladimir J. Lumelsky.  
John Wiley & son., Hoboken : (2006)  
139780471707400*

---

**[26 Recomendado] Introduction to MATLAB 7 for engineers /**

*William J. Palm III.  
McGraw-Hill., New York [etc.] : (2005)  
0-07-254818-5*

---

**[27 Recomendado] Autonomous robot vehicles.**

*Springer., New York : (1990)  
0387972404*

## Organización Docente de la Asignatura

Contenidos	Horas					Competencias y Objetivos
	HT	HP	HCT	HTT	HAI	
Geometría, Locomoción y Sistemas Sensoriales (I): Geometría y Locomoción	2	2	2	2	4	Conocer los problemas relacionados con el movimiento de robots. Ser capaces de utilizar las técnicas para evaluar la cinemática directa e inversa de varios tipos de robots y su utilización para el control de movimientos. Conocer y gestionar adecuadamente los problemas de evolución del error generados con el movimiento.
Geometría, Locomoción y Sistemas Sensoriales (II): Sensores No Visuales	1	0	1	2	5	Adquirir capacidades y destrezas en teorías, técnicas y herramientas para el modelado de sensores y su utilización en robótica móvil. Conocer los modelos de sensores no visuales más importantes en robótica móvil, sus características y limitaciones. Saber utilizar adecuadamente los procedimientos de transformación y la generación de representaciones intermedias desde los datos sensoriales. Ser capaces de aplicar los sistemas de percepción a la resolución de problemas movimiento en entornos reales.

Contenidos	Horas					Competencias y Objetivos
	HT	HP	HCT	HTT	HAI	
Geometría, Locomoción y Sistemas Sensoriales (III): Sensores Visuales	2	0	2	2	4	Adquirir habilidades que permitan utilizar los sensores visuales y los algoritmos para transformar las medidas de los sensores en información del entorno del robot. Conocer las técnicas de visión estéreo y de detección de movimiento.
Geometría, Locomoción y Sistemas Sensoriales (IV): Fusión Sensorial	1	2	1	2	3	Conocer y saber utilizar los métodos de integración multisensorial basados en Proceso de Señal, Espacio de Estados y técnicas de Inteligencia Artificial. Ser capaces utilizar y gestionar la información sensorial con el filtro de Kalman, los modelos bayesianos y la teoría de Dempster-Shafer. Tener habilidades necesarias para aplicar la fusión sensorial en el refuerzo de la medida.
Arquitecturas y Comportamientos (I): Clasificaciones y Descripciones	2	0	0	2	2	Conocer las distintas arquitecturas y estrategias de diseño utilizadas en Robótica Móvil. Saber utilizar los principios de los sistemas reactivos, basados en conductas e híbridos para su aplicación en proyectos con robots móviles. Conocer el funcionamiento de los robots basados en esquemas. Tener conocimiento de los principios de las arquitecturas basadas en agentes.

Contenidos	Horas					Competencias y Objetivos
	HT	HP	HCT	HTT	HAI	
Arquitecturas y Comportamientos (II): Robótica Basada en Conductas, Control Difuso	1	2	2	3	3	Conocer distintos casos prácticos de fusión de conductas. Adquirir destrezas y habilidades para la programación y utilización de un robot real basado en conductas y con control difuso.
Representación Espacial y Navegación (I): Planificación y Navegación	2	2	2	3	5	Conocer los conceptos fundamentales de las tareas computacionales que hacen que un robot se mueva inteligentemente a través de su entorno. Adquirir habilidades prácticas para el uso de los diferentes modelos de representación del entorno y como realizar la planificación dadas estas representaciones tanto continuas como discretas. Conocer e identificar las distintas tipologías de mapas. Conocer y saber operar con las técnicas de emparejamiento de mapas. Adquirir habilidades y destrezas para la utilización de diferentes estrategias de Planificación de Movimientos, particularmente con las de Control Reactivo y Rejillas de Certidumbre
Representación Espacial y Navegación (II): Navegación con Evitación de Obstáculos	2	2	1	2	4	Adquirir conocimientos para programar los movimientos y tareas de un robot móvil en entornos reales con obstáculos fijos y móviles.

Contenidos	Horas					Competencias y Objetivos
	HT	HP	HCT	HTT	HAI	
Representación Espacial y Navegación (III): Localización y Construcción de Mapas: Métodos Bayesianos y Filtrado de Kalman	2	2	2	3	4	Conocer y saber utilizar el filtro de Kalman en localización. Conocer los fundamentos de los métodos bayesianos de localización y mapping. Adquirir destrezas en la utilización del filtro de Kalman para la construcción de mapas en entornos reales.
Representación Espacial y Navegación (IV): Construcción de Mapas y SLAM	2	0	2	2	4	Conocer las últimas tendencias en la localización y construcción de mapas de forma simultánea. Adquirir capacidades para poder estar al día en los avances en localización y aprendizaje del entorno en robótica móvil.
Sistemas Percepto-Efectores e Interacción	1	0	0	1	3	Conocer los paradigmas y problemas de la interacción, en los distintos niveles, de sistemas percepto-efectores con personas o con otros sistemas. Conocer el funcionamiento de varios sistemas tipo de interacción hombre máquina experimentales y comerciales.

Contenidos	Horas					Competencias y Objetivos
	HT	HP	HCT	HTT	HAI	
Estudio de Casos, Aplicaciones y Proyecto Final	0	6	1	8	8	Capacitar para el análisis de casos prácticos de robots móviles tipo. Adquirir habilidades para el desarrollo de proyectos en robótica móvil. Conocer el panorama actual del campo y las tendencias. Conocer los problemas de la robótica móvil aplicada en sus distintas vertientes y la necesidad de contar con herramientas de gestión de la incertidumbre de las medidas. Adquirir capacidades y destrezas para la presentación en público de ideas y resultados.

## Equipo Docente

**ANTONIO FALCÓN MARTEL** (COORDINADOR)  
**Categoría:** CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD  
**Departamento:** INFORMÁTICA Y SISTEMAS  
**Teléfono:** 928458728 **Correo Electrónico:** antonio.falcon@ulpgc.es

**JOSÉ JAVIER LORENZO NAVARRO**  
**Categoría:** TITULAR DE UNIVERSIDAD  
**Departamento:** INFORMÁTICA Y SISTEMAS  
**Teléfono:** 928458747 **Correo Electrónico:** javier.lorenzo@ulpgc.es

**JOSÉ DANIEL HERNÁNDEZ SOSA** (RESPONSABLE DE PRACTICAS)  
**Categoría:** PROFESOR CONTRATADO DOCTOR, TIPO 1  
**Departamento:** INFORMÁTICA Y SISTEMAS  
**Teléfono:** 928458701 **Correo Electrónico:** daniel.hernandez@ulpgc.es

## Resumen en Inglés

### Sistemas Robóticos Móviles (Mobile Robotic Systems)

#### Course Description

This course unit introduces students to the theory and application of autonomous mobile robotics. It will cover basic topics in spatial representations, kinematics, control, trajectory generation, computational geometry, and motion planning. Also, studies of autonomous mobile percepto-effectors systems are included. The goal of this class is to provide you with the theoretical and practical knowledge to perform research in mobile robotics.

Students develop an understanding of how mobile robots work, and how they are controlled,

through lectures and laboratory exercises. The course is aimed towards students wanting to understand how robotic systems can learn and adapt to novel situations, and will focus largely on the application of percepto-effectors systems. Lab exercises will familiarize the student with typical robot sensors hardware as well as software development tools. Students will use the LEGO and PIONEER robots to implement motion algorithms. Topics include:

- Basic robot and sensor concepts
- Sensor models
- Visual sensing
- Calibration and stereo
- Configuration space
- Symbolic path planning algorithms
- Map-building techniques
- Behavior-based navigation
- Localization
- Bayesian methods for localization and mapping
- Trajectory planning
- Software architectures and integration
- Robot-human interfaces

Applications to

- Visual sensors for mobile robots location,
- Robot Navigation,
- Localization & Mapping,
- Robot System Integration,
- Service robots,
- Perceptual User Interface (PUI's) for human-computer interaction,

are presented.

Aims

- To give an appreciation of the issues that arise when designing complete physically embodied autonomous agents.
- To introduce the most popular methods for controlling autonomous mobile robots
- To give hands on experience of engineering design
- To encourage independent thought on possible cognitive architectures for autonomous agents

Objectives

On completion of this course, the student should be able to:

- Program a mobile robot to perform a specified task (e.g., obstacle avoidance or wall following) in a target environment
- Have an understanding of the functionality and limitations of robot sensors and actuators
- Understand and be able to apply a variety of techniques to solve problems in areas such as robot control and navigation
- Know the areas where robots are useful and where multi-robot systems can improve performance
- Understand how simulations of robots work, where they can be useful and where they can break down
- Design, build and program simple autonomous robots.
- Implement standard signal processing and control algorithms.

- Describe and analyze robot processes using appropriate methods.
- Solve simple control problems by hand using appropriate methods.
- Write a detailed report on a robot project.
- Carry out and write up investigations using appropriate experimental methods.

#### Scheduling:

#### Week; Date; Topics

- 1 ..... (1 hrs); Lecture 1: General Presentation  
 1 ..... (2 hrs); Laboratory: General Presentation
- 2 ..... (2 hrs); Lecture 2: Mobile Robotics Concepts  
 2 ..... (2 hrs); Lab1: Introduction to NXT
- 3 ..... (2 hrs); Lecture 3: Ideas & Applications  
 3 ..... (2 hrs); Lab2: Sensor-Effector Characterization  
 (Homework): Results P1
- 4 ..... (2 hrs); Lecture 4: Locomotion  
 4 ..... (2 hrs); Laboratory: Cont. P2
- 5 ..... (2 hrs); Lecture 5: No Visual Sensors for Perception  
 5 ..... (2 hrs); Lab3: Odometry errors  
 (Homework): Results P2
- 6 ..... (2 hrs); Lecture 6: Range Sensors  
 6 ..... (2 hrs); Laboratory: Cont. P3
- 7 ..... (2 hrs); Lecture 7: Sensor Fusion  
 7 ..... (2 hrs); Lab4: Sensor fusion  
 (Homework): Results P3
- 8 ..... (2 hrs); Lecture 8: Camera Calibration & Sensing, Feature Extraction  
 8 ..... (2 hrs); Laboratory: Cont. P4
- 9 ..... (2 hrs); Lecture 9: Visual Perception: Stereo & Motion  
 9 ..... (2 hrs); Lab5: Competition  
 (Homework): Results P4
- 10 ..... (2 hrs); Lecture 10: Architectures & Behavior Based Robotics  
 10 ..... (2 hrs); Laboratory: Cont. P5
- 11 ..... (2 hrs); Lecture 11: Fuzzy Control & Behavior Based Robotics  
 11 ..... (2 hrs); Laboratory: Cont. P5
- 12 ..... (2 hrs); Lecture 12: Planning & Navigation  
 12 ..... (2 hrs); Laboratory: Cont. P5
- 13 ..... (2 hrs); Lecture 13: Planning & Reacting: Obstacle Avoidance  
 13 ..... (2 hrs); Lab6: Simulators  
 (Homework): Results P5

14 ..... (2 hrs); Lecture 14: Mobile Robot Localization, Probabilistic Map-Based Localization)

14 ..... (2 hrs); Lab7: Project

(Homework): Results P6

15 ..... (2 hrs); Lecture 15:Map Building & SLAM

15 ..... (2 hrs); Final Project

(Homework): Results P7

## Contents

This course addresses the problems of controlling and motivating robots to act intelligently in dynamic, unpredictable environments. Major topics will include: navigation and control, mapping and localization, robot perception using vision and sonar, kinematics and inverse kinematics, and robot simulation environments. To demonstrate these concepts we will be using small and medium sized mobile robots capable of functioning in human environments. Labs will focus on programming robots to execute tasks, explore, and interact with their environment.

## Learning Outcomes

A student completing this course unit should:

- Have an understanding of the theoretical and practical capabilities of mobile robots,
- Be able to program a mobile robot such that the robot can perform a specified task (e.g. obstacle avoidance) in a target environment,
- Have an understanding of the functionality of robot sensors and actuators, enabling the student to interpret sensor readings,
- Have an understanding of the design of planning and navigation strategies,
- Be able to design control algorithms capable of controlling mobile robots in sensor-motor competences and navigation, and
- Have an understanding of past and current scientific issues, and basic knowledge in the history of mobile robotics research.

## Assessment of Learning Outcomes

Understanding of the topics covered in the course is assessed in two ways. An examination covers the students' understanding of the theoretical & practical issues, such as robot control paradigms, machine learning techniques and the physical principles of sensing. The ability to use this knowledge in a practical manner is tested through practical sessions where the students program real mobile robots to perform a variety of tasks, including obstacle avoidance, wall following and simple navigation.

Class activities will consist of classroom discussions, lectures, laboratory exercises, a robot design and a one-class planning exercise. Homework will consist of mandatory reading study questions and laboratory exercises.

The grading breakdown follows. Note that participation and attendance are significant factors:

- Reading study questions & Labs milestones (70%)
- Homework Presentation (10%)
- Subjective (classroom attendance & participation)(20%)

Each week, mandatory Reading & Laboratory Experiments will be assigned and Lab questions

will be distributed. Final designs and responses are to be emailed to the instructor by 12:00 AM of the due date. A grade is given for each such assignment on a 0-10 scale. This homework will not be accepted late.

News and lecture notes may be distributed via ULPGC-Moodle or via the class website:

<http://www.serdis.dis.ulpgc.es/~ii-srm>