

<b>Asignatura:</b>	<b>SISTEMAS ROBOTIZADOS</b>		
<b>Código:</b>	42998315		
<b>Año académico:</b>	2009/2010		
<b>Centro:</b>	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR		
<b>Departamento:</b>	LENGUAJES Y COMPUTACIÓN		
<b>Área:</b>	INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA		
<b>Titulación:</b>	INGENIERÍA INFORMÁTICA		
<b>Ciclo:</b>	SEGUNDO	<b>Curso:</b>	SEGUNDO
<b>Cuatrimestre:</b>	PRIMERO	<b>Carácter:</b>	OPTATIVA
<b>Créditos teóricos:</b>	3	<b>Créditos prácticos:</b>	3
<b>Profesorado:</b>			
	<b>Despacho</b>	<b>Teléfono</b>	<b>E-mail / Web</b>
FRANCISCO RODRÍGUEZ DÍAZ	2.23 CITE III	950 015681	<a href="mailto:frrodrig@ual.es">frrodrig@ual.es</a> <a href="http://www.ual.es/~frrodrig/">http://www.ual.es/~frrodrig/</a>
<b>Objetivos Generales:</b>			
<p><i>Sistema Robotizados</i> es una asignatura optativa que se imparte en el segundo ciclo de la titulación de <i>Ingeniero en Informática</i>. La asignatura consta de 3 créditos teóricos y 3 prácticos, y se incluye en el horario de segundo curso de <i>Ingeniero en Informática</i>. Se encuentra únicamente vinculada al área de conocimiento de <i>Ingeniería de Sistemas y Automática</i>.</p> <p>Sus descriptores son los siguientes: Métodos avanzados de programación de robots, Coordinación de robots, Sistemas robóticos móviles y vehículos autónomos, Navegación e interacción con el entorno, Telecontrol y teleoperación, y Sistemas automatizados de almacenamiento y transporte.</p> <p>Esta asignatura finaliza la formación en control automático y robótica de la titulación de informática, persiguiéndose los siguientes objetivos fundamentales:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adquirir una base sólida de conocimientos de control robótica móvil y vehículos autónomos.</li> <li>2. Mostrar la necesidad de la cooperación de robots, tanto móviles como de manipulación y las técnicas que se utilizan para ello.</li> <li>3. Mostrar las técnicas de teleoperación de robots.</li> <li>4. Ofrecer una visión sobre la aplicación de robots a los sectores productivos y en especial a los de la provincia de Almería.</li> </ol>			
<b>Conocimientos Previos Recomendados:</b>			
No son necesarios conocimientos previos			
<b>Contenidos teóricos (Temporización):</b>			
<b>Tema 1. Introducción y revisión de conceptos de robótica (2 horas)</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Concepto de robótica y de robot</li> <li>1.2. Historia de la robótica.</li> <li>1.3. Elementos fundamentales de un robot</li> <li>1.4. Enseñanza de robots</li> <li>1.5. Comparación hombres-robot</li> <li>1.6. Aplicaciones industriales de los robots</li> <li>1.7. Aplicaciones de servicio de los robots</li> <li>1.8. El mercado de robots</li> <li>1.9. La robótica en la Universidad de Almería</li> </ol>			

## **Tema 2. Fundamentos de robótica de manipulación (4 horas)**

- 2.1. Concepto de robot manipulador
- 2.2. Elementos fundamentales y periféricos de un sistema robotizado
- 2.3. Clasificación de los robots
- 2.4. Brazo mecánico
  - 2.4.1. Concepto de brazo mecánico
  - 2.4.2. Elementos de un brazo mecánico
  - 2.4.3. Grados de libertad de un brazo mecánico
  - 2.4.4. Tipos de articulaciones
  - 2.4.5. Clasificación de brazos mecánicos
  - 2.4.6. Volumen de trabajo
  - 2.4.7. Muñeca de un brazo mecánico
  - 2.4.8. Cinemática de un brazo mecánico
- 2.5. Actuadores
  - 2.5.1. Actuadores y articulaciones
  - 2.5.2. Tipos de actuadores
- 2.6. Controladores
  - 2.6.1. Concepto de controlador
  - 2.6.2. Arquitectura jerárquica de control
  - 2.6.3. Control de un actuador
  - 2.6.4. Control de la trayectoria
  - 2.6.5. Control del movimiento
- 2.7. Elemento terminal
  - 2.7.1. Pinzas
  - 2.7.2. Herramientas
- 2.8. Sistema sensorial de los robots de manipulación
  - 2.8.1. Necesidad de sistema sensorial
  - 2.8.2. Sensores propioceptivos
  - 2.8.3. Sensores exteroceptivos
- 2.9. Programación de robots
  - 2.9.1. Métodos de aprendizaje
  - 2.9.2. Lenguajes textuales

## **Tema 3. Fundamentos de robótica móvil (4 horas)**

- 3.1. Concepto de robot móvil
- 3.2. Aplicaciones de la robótica móvil
- 3.3. Vehículos autoguiados. AGVs
  - 3.3.1. Concepto de AGV
  - 3.3.2. Clasificación de AGVs
- 3.4. Elementos fundamentales de un robot móvil
- 3.5. Morfología de robots móviles
- 3.6. Robots con ruedas u orugas
  - 3.6.1. Robots con ruedas directrices
  - 3.6.2. Robots con mecanismo diferencial
  - 3.6.3. Robots omnidireccionales
  - 3.6.4. Otras configuraciones
- 3.4. Modelado de robots con ruedas u orugas
  - 3.6.2. Concepto de cinemática de un robot móvil
  - 3.6.3. Radio de giro y curvatura
  - 3.6.4. Modelado cinemático de robots con ruedas directrices
  - 3.6.5. Modelado cinemático de robots con mecanismo diferencial
  - 3.6.6. Estimación de la posición de un robot móvil
- 3.5. Localización de robots móviles
- 3.6. Análisis de robots móviles reales

#### **Tema 4. Arquitecturas para el control de robots ( 4 horas)**

- 4.1. Introducción: funciones básicas y de control inteligente
- 4.2. Especificaciones para el diseño de la arquitectura
- 4.3. Requerimientos generales de una arquitectura de control de robots móviles
- 4.4. Tipos básicos de arquitecturas según reactividad
  - 4.4.1. Criterios de clasificación
  - 4.4.2. Tipos de arquitectura
- 4.5. Aproximación al diseño de la arquitectura
  - 4.5.1. Fases de diseño
  - 4.5.2. Diseño funcional
  - 4.5.3. Gestión de ejecución e implantación
- 4.6. Arquitecturas propuestas
  - 4.6.1. Aproximación funcional
  - 4.6.2. Arquitectura basada en lazos de control
  - 4.6.3. Arquitectura de capas de abstracción
  - 4.6.4. Arquitectura con invocación implícita
  - 4.6.5. Arquitectura de pizarra
  - 4.6.6. Arquitecturas híbridas
  - 4.6.7. Arquitectura de comportamientos
- 4.7. Soluciones hardware y software de robots reales

#### **Tema 5. Control de robots móviles (4 horas)**

- 5.1. Control de movimientos de vehículos autónomos
  - 5.1.1. Funciones del control de un robot móvil
  - 5.1.2. Objetivos
  - 5.1.3. Resolución del problema
- 5.2. Seguimiento de caminos explícitos
  - 5.2.1. Concepto de camino implícito
  - 5.2.2. Planteamiento del problema
  - 5.2.3. Control del seguimiento de camino
- 5.3. Seguimiento de caminos empleando métodos geométricos. Algoritmo de *Persecución pura*
- 5.4. Aplicación de la Teoría de Control
  - 5.4.1. Fundamentos
  - 5.4.2. Ley de control
- 5.5. Control reactivo
  - 5.5.1. Fundamentos
  - 5.5.2. Situaciones
  - 5.5.3. Ejemplos

#### **Tema 6. Navegación: planificación e interacción con el entorno (6 horas)**

- 6.1. Principios de navegación y planificación de trayectorias
- 6.2. Planificación de tareas
- 6.3. Mapas del entorno
- 6.4. Planificación del movimiento
- 6.5. Planificación del movimiento con información incompleta
  - 6.5.1. Navegación heurística basada en sensores
  - 6.5.2. Navegación sensorial con algoritmos completos
- 6.6. Planificación del movimiento con información completa
  - 6.6.1. Planificación basada en grafos de visibilidad
  - 6.6.2. Planificación basada en diagramas de Voronoi
  - 6.6.3. Planificación basada en modelado del espacio libre
  - 6.6.4. Planificación basada en descomposición en celdas
- 6.7. Generación de caminos
- 6.8. Introducción al problema de aprendizaje de robots

**Tema 7. Telerrobótica (2 horas)**

- 7.1. Introducción y conceptos básicos
- 7.2. Teleactuación
- 7.3. Diseño de sistemas de control de teleoperación
- 7.4. Sistemas bilaterales maestro-esclavo
- 7.5. Empleo de gráficos predictivos
- 7.6. Teleprogramación e interacción con el entorno
- 7.7. Métodos de control
  - 7.7.1. Control bilateral
  - 7.7.2. Control supervisado y coordinado
- 7.8. Telesensorización
- 7.9. Sistemas de visión en teleoperación
- 7.10. Ejemplos de aplicación

**Tema 8. Robots móviles caminantes (2 horas)**

- 8.1. Ventajas de las máquinas caminantes
- 8.2. Aplicaciones de las máquinas caminantes
- 8.3. Primeros diseños de máquinas caminantes
- 8.4. Diseño de una máquina caminante
  - 8.4.1. Número de patas
  - 8.4.2. Disposición de las patas
  - 8.4.3. Geometría de las patas
  - 8.4.4. Modos de caminar
- 8.5. Robots bípedos y humanoides

**Tema 9. Sistemas multirobot (2 horas)**

- 9.1. Configuración de una fábrica totalmente automatizada
- 9.2. Sistemas de fabricación autónoma
- 9.3. Células multirobot
- 9.4. Coordinación de robots
  - 9.4.1. Introducción
  - 9.4.2. Espacio de las configuraciones
  - 9.4.3. Planificación del movimiento de un único robot
  - 9.4.4. Planificación del movimiento de múltiples robots
  - 9.4.5. Generación de programas para la coordinación de múltiples robots

**Contenidos prácticos (Temporización):****Módulo 1. Programación del robot SCORBOT ER-V Plus utilizando el lenguaje ACL para desarrollo de una plataforma multitarea (6 horas)**

*Material: Robot SCORBOT ER-V Plus, herramienta de simulación ER Simulation, Cinta transportadora con variador de velocidad, herramienta de programación de robots ATS (Software de terminal avanzado, ACL).*

En las células de fabricación flexible es muy común que el controlador del robot pueda ejecutar simultáneamente varios programas independientes, es decir, que admite la multitarea en tiempo real. El principal objetivo de esta práctica es que el alumno diseñe e implemente varios programas que debe ejecutar el robot y que gestione la interacción entre ellos. El desarrollo de la práctica se hará como sigue:

1. Diseño e implementación de cuatro programas tipo *pick & place*
2. Carga y ejecución de los cuatro programas en el controlador del robot
3. Gestión de la sincronización entre los programas ejecutados y planificación con prioridades.

## **Módulo 2. Construcción de un mini-robot móvil y programación básica de algoritmos de rastreo (8 horas)**

*Material: Kit básico para el ensamblaje del microbot TRITT (piezas LEGO, tornillería, 4 sensores de infrarrojos, 2 motores DC, tarjeta de control 68HC11, tarjeta amplificadora de potencia CT293, tarjeta de expansión de memoria), herramientas de montaje, manual de ensamblaje del TRITT.*

Con esta práctica comienza el núcleo principal de esta asignatura centrado en la robótica móvil. Como es bien conocido, la robótica aúna el conocimiento de varias ciencias y técnicas como es la mecánica, electrónica, electricidad, informática, etc. y con esta práctica se pretende que los alumnos utilicen todas ellas para la construcción de un microrrobot.

Los microrrobots son pequeños robots móviles e inteligentes capaces de realizar, con velocidad y precisión, muchas tareas sencillas que se realizan continuamente. En esta práctica se pretende cubrir los tres aspectos fundamentales de la microbótica: la tecnología (se analizan disciplinas necesarias para la microbótica como mecánica, electrónica, informática, etc.), aplicaciones y el diseño y montaje paso a paso de un microrrobot de bajo coste, concretamente el Lego Mindstorm NXT.

Esta práctica es el primer paso para el diseño e implementación de un robot móvil con toda su arquitectura de control y su sistema de navegación. Partiendo de un conjunto de piezas, el alumno se enfrentará al problema de construir su propio robot móvil, comprobando los aspectos hardware estudiados en teoría, instalando el software correspondiente y comprobando el funcionamiento diseñando e implementando un algoritmo básico de rastreo.

## **Módulo 3. Estudio de la cinemática de robots móviles (4 horas)**

*Material: Matlab y Simulink, Borland C++.*

El objetivo de la práctica es el desarrollo e implementación de la cinemática de dos tipos de robots móviles (triciclo con rueda directriz y vehículo con guiado diferencial) que sirvan de simuladores simplificados de robots móviles. En el caso del mecanismo diferencial, servirá de simulador del robot TRITTON utilizado en la práctica previa. Se llevará a cabo también la simulación de la cinemática inversa y se harán ensayos de control usando esta aproximación. Para llevar a cabo el desarrollo y programación se va a utilizar el software MATLAB y Simulink. (opcionalmente se podrá llevar a cabo en lenguaje C, aunque se recomiendan los primeros). La ventaja de utilizar MATLAB es que incorpora una potente biblioteca de funciones gráficas que facilitan el análisis de los resultados de las simulaciones.

Como se ha indicado, el simulador se basará en las ecuaciones cinemáticas del robot, sin incorporar aspectos de tipo dinámico, de interacción con el suelo, etc. Será por tanto una representación idealizada del comportamiento del robot. La programación de las ecuaciones tendrá además la ventaja de servir en prácticas posteriores para estimar la postura (posición y orientación) del robot real sin usar sensores y comprobar cómo influye esta carencia de información (realimentación) en la acumulación de errores y la desviación de la trayectoria real respecto a la estimada.

## **Módulo 4. Control de robots móviles utilizando el método de persecución pura (4 horas)**

*Material: Matlab y Simulink, Borland C++.*

El objetivo de la práctica es la programación y prueba en simulación del método de control de robots móviles denominado de persecución pura (“*pure pursuit*”) usando como simulador del robot el modelo cinemático realizado en la práctica anterior (representación idealizada del comportamiento del robot). Para llevar a cabo el desarrollo y programación del sistema de control, se va a utilizar el software MATLAB/Simulink.

La programación del método de persecución pura requiere conocer la trayectoria que el robot móvil debe seguir y la posición y orientación actual del mismo (se supone que coincide con la que proporciona el simulador, esto es, se supone que no hay error entre posición real y medida).

## **Módulo 5. Navegación. Planificación e interacción con el entorno (8 horas)**

*Material: Matlab y Simulink, Borland C++.*

En esta práctica se pretende que los alumnos lleven a cabo el análisis y diseño de métodos que hacen uso de información completa y otros con información incompleta. En concreto, los alumnos implementarán un método de planificación con información completa basado en descomposición en celdas (descomposición en celdas trazando verticales por las aristas de los obstáculos o un planificador por frente de onda.

También implementarán el método BUG/VISBUG. En este caso se supondrá que el robot móvil dispone de una corona de sensores sónicas ideales y de corto alcance que son capaces de detectar obstáculos a una distancia de 0.5 metros del robot. Los alumnos podrán utilizar cualquiera de las morfologías de robots móviles analizadas en clase (mecanismo diferencial, ruedas directrices, etc.). Los alumnos seleccionarán dos de los tres métodos comentados previamente y realizarán la implementación de los mismos. Recibirán información complementaria (artículos clásicos publicados en revistas) para complementar los apuntes de clase y permitirles realizar algún trabajo adicional para subir nota en la asignatura.

### **Bibliografía:**

#### **Bibliografía básica**

- Barrientos, A.; Peñín, L.F.; Balaguer, C.; Aracil, C.; *Fundamentos de robótica*; 2ª edición; Ed. Mc Graw-Hill; 2007; 624 pp.
- Borenstein, J.; Everett, H.R.; Feng, L.; *Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*; Edited J. Borenstein; University of Michigan; 1996; 282 pp
- Ge, S. S.; Lewis, F.; *Autonomous mobile robots: sensing, control, decision making and applications*; CRC Press; 2006; 736 pp.
- Ollero, A.; *Robótica. Manipuladores robóticos y robots móviles*. Ed. Marcombo, 2001; 447 pp.

#### **Bibliografía complementaria**

- Angulo, J.M.; Romero, S.; Angulo, I.; *Introducción a la robótica: principios técnicos, construcción y programación de un robot educativo*; Ed. Thomson; 2005
- Angulo, J.M.; Romero, S.; Angulo, I.; *Microbótica*. Paraninfo, 2000.
- Armada, M.; *Control de robots caminantes*. XII Curso de Automática en la Industria, 1992.
- Bekey, G.A.; *Autonomous robots: from biological inspiration to implementation and control*; MIT Press, 2005
- Canudas de Wit, B. Siciliano, G. Bastin. *Theory of Robot Control*. Springer-Verlag, 1997.
- Craig J.J.; *Robótica*; 3ª Edición; Ed. Pearson; 2006; 400 pp.
- Cuesta, F., Ollero, A.; *Intelligent mobile robot navigation*; Ed. Springer; 2005
- Everett, H.R.; *Sensors for Mobile Robots. Theory and Application*. A K Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts, 1995.
- Fu, K.S.; González, R.C.; Lee, C.S.G.; *Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia*. McGraw-Hill, 1988.
- [Giamarchi, Frédéric](#); *Robots móviles : estudio y construcción*; Ed. Thomson; 2001
- González-de-Santos, P.; García, E.; Estremera, J.; *Quadrupedal locomotion*; Ed. Springer; 2006
- Kondo, N.; Ting, K.C.; 1998; *Robotics for bioproduction system*; Editados por Kondo, N. y Ting, K.C.; ASAE; Estados Unidos; 323 pp.

- Nehmzow, U.; *Mobile Robotics: A practical introduction*. Springer-Verlag , 2000.
- Ollero, A.; García, A.J.; Gómez, J.; *Teleoperación y telerrobótica*; Ed. Pearson, 2006
- Spong, M.W.; Vidyasagar, M.; *Robot Dynamics and Control*. John Wiley & Sons, 1989
- Latombe, J.C.; *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, 1991
- Williams, K.; *Build your own humanoid robot*; Ed. McGraw Hill; 2004

#### **Metodología:**

Sesiones de teoría para todo el grupo de alumnos en las que el profesor explicará los contenidos teóricos fundamentales de cada tema y donde se valorará la participación del alumnado con la aportación de nuevos enfoques, preguntas, etc. Además durante el transcurso de cada tema hay un conjunto de ejercicios que permiten al alumno/a mejorar la destreza en el uso de los conceptos.

La parte práctica se organiza en sesiones para cada grupo de alumnos, desarrolladas en paralelo a la parte teórica y con una adecuada sincronización, de forma que el alumnado pueda poner en práctica los conocimientos adquiridos en cada módulo de la parte teórica y donde se pretenderá un comportamiento lo más autónomo posible

Además, se proponen un conjunto de ejercicios que el alumno/a opcionalmente puede realizar y enviar, o bien a través de WebCT o bien en tutorías, para su revisión.

El profesorado realiza el seguimiento continuo del proceso de aprendizaje, anotando los progresos del alumnado y respondiendo a sus necesidades formativas que puedan surgir a lo largo del curso.

Tanto en las clases teóricas como prácticas se hará uso intensivo de herramientas interactivas junto con laboratorios virtuales y remotos con el fin de realzar la motivación de los alumnos.

#### **Plan de acción tutorial:**

El alumnado podrá hacer uso de las tutorías para resolver las dudas que se le haya planteado en la parte práctica y/o en la parte teórica de la asignatura. Por otra parte, al iniciar el curso se propondrán temas relacionados con la temática de la asignatura para posibles trabajos opcionales organizados en grupos de dos alumnos. Cada grupo de trabajo deberá asistir al menos a 3 tutorías a lo largo del cuatrimestre. Previamente a la primera tutoría el profesor proporcionará la documentación inicial necesaria para la elaboración del trabajo así como las fuentes donde deben buscar. En la primera tutoría deberán presentar una recopilación del material bibliográfico que van a utilizar en la realización del trabajo. En la segunda deberán entregar la estructura del trabajo. En la tercera entregarán el trabajo ya elaborado.

#### **Evaluación:**

- Prácticas obligatorias.
- Ejercicios a entregar a lo largo del curso
- Trabajo optativo relacionado con la asignatura
- Ejercicios opcionales a entregar de cada tema
- Examen final si se estima necesario: Febrero 2009
- Convocatorias extraordinarias que decida Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Almería

#### **Observaciones:**

Las prácticas de laboratorio se desarrollarán en el *Laboratorio de Control Automático, Robótica y Visión Artificial* del Departamento de Lenguajes y Computación, CITE III, puerta 2.28.