

DOCENCIA DE ROBOTS Y SISTEMAS SENSORIALES EN LAS TITULACIONES DE INFORMATICA DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

S.T. Puente, F. Torres, J. Pomares, P. Gil

Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal.
Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial (AUROVA). Universidad de Alicante UA,
Campus de Sant Vicent del Raspeig, 03080-Alicante, España.
Tel. (+34) 965 903 682 Fax. (+34) 965 909 750

Resumen

Este artículo presenta el enfoque docente utilizado en la enseñanza de la asignatura "Robots y Sistemas Sensoriales" impartida por el área de Ingeniería de Sistemas y Automática en las titulaciones de Informática en la Universidad de Alicante. Se va a describir el contexto en el que se encuentra dicha asignatura dentro de la Universidad, además se presenta el temario que se imparte así como una descripción de las prácticas que deben realizar los alumnos; explicando previamente las herramientas disponibles para la realización de las mismas.

Palabras Clave: Robótica, Robótica industrial, Sistemas sensoriales, Visión artificial.

1 MARCO CONTEXTUAL DE LA ASIGNATURA.

El presente estudio se centra en la Universidad de Alicante, que fue creada por Ley 29/1979 de 30 de Octubre, aprobada por las Cortes Generales y sancionada por Don Juan Carlos I, Rey de España. En el estatuto de la Universidad de Alicante se postula como principio rector de su actuación el de la democracia interna, manifestando el derecho de todos los colectivos de la Comunidad Universitaria a participar en la gestión de la Universidad y en el control de dicha gestión.

Actualmente la Universidad de Alicante está integrada por las siguientes instituciones: Claustro General Universitario, Junta de Gobierno, Consejo Social, Centros Docentes, Departamentos e Institutos Universitarios. La Universidad de Alicante se encuentra actualmente ubicada en un Campus sobre el que se fundó, situado en el termino municipal de San Vicente del Raspeig, en una superficie de 774.000 metros cuadrados. En este campus se

encuentran el Rectorado, la Gerencia, los Servicios Generales, la Oficina de Información al Alumno, y la mayor parte de las edificaciones universitarias. En la ciudad de Alicante, en un antiguo edificio frente al mar, se encuentra el Instituto Marítimo Internacional, recientemente creado.

Forman parte de la Universidad de Alicante cinco Facultades (Ciencias, Filosofía y Letras, ciencias Económicas y Empresariales, Derecho y Educación), cinco Escuelas Universitarias (Estudios Empresariales, Enfermería, Óptica y Optometría, Relaciones Laborales y Trabajo Social), y una Escuela Politécnica Superior. Las facultades de Ciencias, y Filosofía y Letras fueron las primeras en constituirse, y seguidamente entraron en funcionamiento las Escuelas Universitarias de Magisterio y la de Ciencias Empresariales.

Entre todos estos centros se imparten un total de 43 títulos oficiales, 8 títulos propios, 14 másters, 15 programas de especialista, 9 títulos de experto, así como, 50 programas de doctorado.

Dentro de la Universidad de Alicante interesa la Escuela Politécnica Superior de Alicante es el órgano básico encargado de la gestión administrativa y de la organización de las enseñanzas universitarias conducentes a la obtención de los títulos de Ingeniero en Informática, Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas e Ingeniero Técnico en Informática de Gestión, además de otros títulos, grados académicos y currículos que pudieran establecerse, así como de la difusión, tratamiento e investigación de los objetos de esas enseñanzas.

Dentro de las Escuela Politécnica Superior de Alicante se encuentra el departamento de física, ingeniería de sistemas y teoría de la señal, departamento multidisciplinar en el cuál se encuentra englobada el área de conocimiento "Ingeniería de Sistemas y Automática".

Esta área de conocimiento es la encargada de la docencia de la asignatura “Robots y Sistemas Sensoriales” dentro de los planes de estudio de Informática.

Dicha asignatura se imparte como asignatura optativa, enmarcadas en el plan de estudios del 2001 (B.O.E. con fecha 25 de Septiembre de 2001, núm. 230, pp. 35698), dentro de las titulaciones de Ingeniero en Informática, Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas e Ingeniero Técnico en Informática de Gestión de la Universidad de Alicante.

El carácter optativo que poseen estas asignaturas es un factor a considerar para la planificación de su docencia. Cabe destacar que es la única asignatura de la carrera en la que se plantean los principios básicos de la robótica, existiendo únicamente otra asignatura en el plan de estudios dedicada a la programación de robots móviles titulada “Robots autónomos”.

Al ser la robótica un tema que despierta interés entre el alumnado, la cantidad de alumnos matriculados durante los últimos cursos es bastante elevada, lo que plantea a su vez la necesidad de plantear métodos eficaces para la realización de las prácticas (Tabla 1).

Curso	I.I.	I.T.I.S.	I.T.I.G.	Total
1999/2000	71	17	16	104
2000/2001	143	34	55	232
2001/2002	87	37	30	154
2002/2003	66	20	35	121
2003/2004	90	27	16	133

Tabla 1: Evolución de alumnos matriculados en la asignatura de Robots y Sistemas Sensoriales.

Este planteamiento para la parte práctica es importante, ya que la asignatura consta de una carga de 6 créditos, distribuidos en 3 créditos teóricos y 3 prácticos.

Para la realización de la asignatura “Robots y Sistemas Sensoriales” se recomienda cursar antes la asignatura “Ingeniería de Control”. Esta asignatura sirve para que el alumno tenga un conocimiento previo a la hora de estudiar la dinámica y el control de robots. Al ser una recomendación hay que tener en cuenta que la mayoría de los alumnos que cursan la asignatura de “Robots y Sistemas Sensoriales” no han cursado previamente la asignatura de “Ingeniería de Control”.

Teniendo en cuenta las características de la asignatura, se pueden formular los siguientes objetivos:

- Dar a conocer la robótica en general y la industrial en particular.
- Dar a conocer los sistemas sensoriales y las técnicas de procesamiento sensorial más empleadas hoy en día en el terreno de la robótica. En algunos conceptos genéricos se enfoca también desde un punto de vista genérico, ya que no existe en todo el plan de estudios otra asignatura dedicada al procesamiento sensorial en general.
- Proporcionar la terminología adecuada y una visión global de la robótica, problemas relacionados con ella, y formas de afrontarlos, prestando especial atención a los robots manipuladores.
- Proporcionar las herramientas adecuadas que permiten afrontar técnicamente el problema cinemático, tanto directo como inverso.
- Definir las funciones del control de robots, haciendo especial énfasis en el control de posición o cinemático.
- Abordar el estudio de los sistemas sensoriales, tanto desde la pura descripción técnica y de principio de funcionamiento de los dispositivos, como de las técnicas de procesamiento sensorial, prestando especial interés en la fusión sensorial.
- Presentar el punto de unión entre visión artificial y robótica a través del control visual, mostrando sus funciones, arquitecturas y modos de control.
- Presentar al alumno los diferentes modos y lenguajes de programación de robots.
- Plantear aplicaciones y otros tipos de robots distintos a los manipuladores, tanto actuales como futuros.

2 ESTRUCTURA Y CONTENIDOS

2.1 PLANIFICACIÓN TEMPORAL

La asignatura “Robots y Sistemas Sensoriales” se imparte en la Universidad de Alicante a lo largo del primer cuatrimestre y se vuelve a impartir otra vez a lo largo del segundo cuatrimestre. En la Universidad de Alicante se considera que cada cuatrimestre tiene un total de quince semanas lectivas, lo que da lugar a 30 horas de clases teóricas, y 30 de clases prácticas. Las clases teóricas se distribuyen en sesiones de dos horas semanales. Las clases prácticas se distribuyen en sesiones de laboratorio de dos horas de duración en las que se trabaja con RoboLab [1][2][3] y Visual [4] para la realización de los ejercicios propuestos. Las prácticas se plantean de manera que el alumno realice el trabajo durante la sesión de prácticas.

2.2 ESTRUCTURA DEL TEMARIO

En este apartado se describe el contenido teórico de la asignatura “Robots y Sistemas Sensoriales”. A continuación se describe el contenido global de cada uno de los bloques en que ha sido dividido el programa de teoría de la asignatura de Ingeniería de Control impartida en las titulaciones de Informática en la Universidad de Alicante. Y a su vez, se presenta la relación descriptiva de cada uno de los temas que se agrupan constituyendo los diferentes bloques temático, que se han expuesto y desarrollado durante los créditos teóricos.

La asignatura ha sido dividida en cuatro grandes bloques. El primero de ellos, titulado “Robótica básica”, se dedica a ofrecer una panorámica global de la robótica desde el punto de vista de los manipuladores, a través del estudio y modelado cinemático y dinámico. Inicialmente se realiza una introducción histórica. A continuación se detallan los componentes y subsistemas que integran los robots (accionadores, transmisiones, elementos terminales...), introduciendo también el concepto de grado de libertad, tipos de articulaciones y configuraciones cinemáticas. Posteriormente se realiza un breve repaso de fundamentos matemáticos y físicos, haciendo especial hincapié en la transformación homogénea, punto de partida para abordar el estudio cinemático tratado en el capítulo siguiente. La cinemática directa se aborda a través del algoritmo de Denavit-Hartenberg. Para el estudio cinemático inverso se aborda, entre otros métodos, por medio de la solución de Pieper. El bloque concluye con el estudio de la dinámica con las dos formulaciones tradicionales, la Lagrangiana y la Newton-Euler.

La docencia de la asignatura continua con el segundo bloque, titulado “Sistemas sensoriales”. Este bloque está destinado en su totalidad a la sensorización y el procesamiento de la información sensorial. En primer lugar se plantea un capítulo clasificatorio y descriptivo de los distintos tipos de sensores. El siguiente tema se dedica a la visión artificial. En este punto cabe destacar que, aunque el alumno dispone de otras asignaturas específicas de visión artificial, en este tema se pretende afianzar aquellos conocimientos y procesamientos que juegan un papel determinante en robótica, tanto desde la visión 2D como 3D. Finalmente, este bloque concluye con un tema dedicado a la fusión sensorial.

El tercer bloque se denomina “Control y programación de robots”. Hay que tener en cuenta que gran parte del alumnado de informática es probable que no disponga de grandes conocimientos de teoría de control. En este sentido, el primer tema

está destinado al control genérico de robots, especialmente lo que algunos autores denominan control cinemático. En este tema se abordan los distintos tipos de trayectorias posibles. El problema del control dinámico se aborda de manera descriptiva. El segundo capítulo está destinado al control visual, en el que se intentan enlazar el propósito buscado con el control de posición o movimiento, pero realizado con ayuda de un sistema de visión artificial. Finalmente, el bloque concluye con un capítulo de programación de robots.

El bloque final, “Aplicaciones”, consta de un solo capítulo. El objetivo es ofrecer modos de funcionamiento alternativos, como por ejemplo la teleoperación, así como mostrar otras aplicaciones y tipos de robots: microrrobótica, robots móviles, robots de servicio, humanoides...

El porcentaje temporal asignado a cada bloque de la asignatura está representado en la siguiente figura 1:

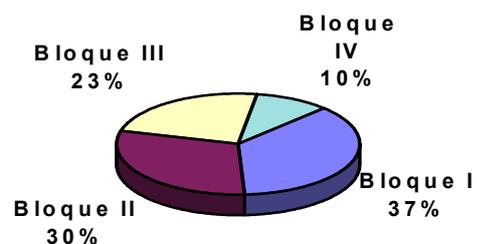


Figura 1: Distribución Temporal de los Bloques teóricos.

3 PRÁCTICAS DE LABORATORIO

La docencia de cualquier asignatura de corte tecnológico, y en especial Robots y Sistemas Sensoriales, sería incompleta si no se proporcionase al alumno unas sesiones prácticas. Estas permitirán cimentar los contenidos teóricos, a la vez que adquirir unas habilidades y capacidades operativas con robots y herramientas que intervienen en el uso de los mismos.

Según ambos Planes de Estudios de Informática en la Universidad de Alicante, la asignatura Robots y Sistemas Sensoriales tiene asignados tres créditos de clases prácticas para cada alumno durante un cuatrimestre, lo que supone un total de 30 horas.

Por otro lado se ha de tener en cuenta los medios disponibles en el laboratorio para que el alumno

pueda realizar las tareas encomendadas. En este sentido conviene recordar que la asignatura en cuestión en los planes de estudios es de carácter optativo, circunstancia que unida al alto coste de robots y otros dispositivos necesarios, hacen prácticamente imposible disponer de un laboratorio convencional de robótica en el que el alumno pueda realizar por sí mismo prácticas realistas de la asignatura, por lo que se hace uso del RoboLab, un laboratorio virtual remoto diseñado y creado especialmente para la realización de prácticas de la asignatura, que permite simular y teleoperar a través de internet un robot real. En el siguiente apartado se realiza una descripción de dicho laboratorio.

Adicionalmente, para la realización de prácticas de procesamiento de imágenes se hace uso del programa Visual, también desarrollado totalmente en la Universidad de Alicante. En un apartado posterior también se realiza una descripción de esta herramienta de apoyo a la docencia.

El conjunto de clases prácticas deben tener por objetivo el ilustrar los resultados obtenidos en las clases teóricas, así como que el alumno adquiera habilidades y capacidades operativas con el manejo de instrumentos y equipos empleados en situaciones reales. Tradicionalmente, el contenido de estas clases está fuertemente condicionado por los equipos disponibles en el laboratorio. Sin embargo, actualmente con el uso de nuevas tecnologías (internet, realidad virtual, etc.) es posible soslayar este problema mediante laboratorios virtuales. Los laboratorios virtuales utilizados en la docencia de la asignatura se encuentran disponibles en la dirección web: <http://www.disclab.ua.es/roboLab/labvir.htm>

3.1 ROBOLAB: LABORATORIO VIRTUAL REMOTO PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE ROBÓTICA

Este apartado describe las características de RoboLab: Laboratorio Virtual de Robótica empleado en la docencia de "Robots y Sistemas Sensoriales", de las titulaciones de Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas e Ingeniero Técnico en Informática de Gestión en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante por el área de Ingeniería de Sistemas y Automática. Permite simular, así como; manejar mediante teleoperación, un brazo robot. El sistema se basa en un applet en java.

El sistema que se plantea está pensado para un laboratorio virtual que permita realizar cualquier tipo de prácticas de asignaturas básicas de robótica a través de internet. Posee una arquitectura distribuida a través de internet para el acceso de los distintos

estudiantes. Además detrás del servidor web existe un ordenador encargado de controlar el robot, una base de datos, así como y un equipo encargado de grabar las imágenes de vídeo para realizar la realimentación del sistema [1][2][3].

Utilizando esta arquitectura se reduce considerablemente la necesidad de comprar gran cantidad de instrumentos y materiales de elevados costes por parte de las universidades. De esta manera se amplía la utilización y se mejora el aprovechamiento que puede realizar los estudiantes de dichos equipos.

3.2 VISUAL: ENTORNO VISUAL PARA PRÁCTICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

Dentro del proyecto CICYT coordinado "Construcción de un Entorno para la Investigación y Desarrollo en Visión Artificial" (TAP96-0629-C04) se ha desarrollado un entorno distribuido llamado EVA (Entorno de Visión Artificial) que consta de una serie de herramientas para trabajar con aplicaciones de visión por computador, las cuales permiten la adquisición de imágenes, operaciones de procesamiento (software y hardware), y visualización de resultados. [4]

Con Visual, el entorno visual desarrollado, el usuario puede especificar un algoritmo de procesamiento de imágenes como un esquema gráfico compuesto por OPIs (Objetos de Procesamiento de Imágenes) para simular su ejecución. El aspecto de la aplicación se muestra en la figura 2.

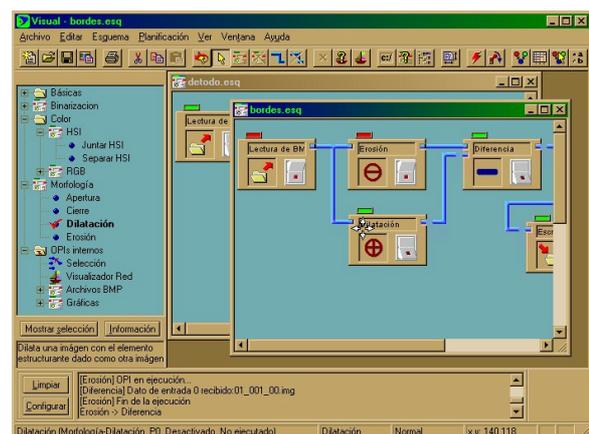


Figura 2. Aspecto de Visual

Cada OPI representa una operación a realizar dentro de un esquema, y posee una serie de entradas a las que llegarán las imágenes que debe operar procedentes de otros OPIs, y de salidas por las que devuelve los resultados tras su ejecución. Estos objetos se pueden conectar entre sí mediante unas tuberías que representan el intercambio de datos o

imágenes. Las tuberías permiten conectar unas salidas con una o más entradas.

Los OPIs se clasifican en diferentes tipos según la clase de operaciones que pueden realizar. Así, un OPI de un determinado tipo puede ejecutar una operación de entre varias operaciones de una misma clase. Como ejemplo, existe un tipo de OPI dedicado a ejecutar la clase de operaciones aritméticas básicas (suma, resta, producto y división), y que puede ser configurado para realizar una de esas cuatro operaciones. El usuario dispone de una barra de herramientas con un árbol donde aparecen todos los OPI disponibles con sus operaciones de forma clasificada (Figura 2).

Cada OPI posee unas características o propiedades propias, que se pueden dividir en dos grupos. Por una parte están las propiedades generales del OPI, que representan valores que poseen todos los OPIs como son el número de entradas, número de salidas..., y por otra parte están las propiedades particulares del OPI, que son dependientes de la clase de operaciones que éste realice. Ejemplos de propiedades particulares pueden ser la selección actual de operación concreta que el OPI debe ejecutar, el nombre de un archivo en un OPI de lectura de disco o el umbral para una binarización.

La ejecución de cada OPI de un esquema se puede controlar manualmente a través del botón de ejecución que dispone. Para que un OPI se ejecute y opere los datos de entrada se debe activar el botón de ejecución. Esta operación la puede realizar el usuario manualmente, actuando sobre el botón del OPI con el ratón, o la puede realizar el Entorno Visual de forma automática cuando está activado el modo de ejecución automática. Además, para que un OPI se ejecute es necesario que los otros OPIs de los que proceden sus datos de entrada se hayan ejecutado ya correctamente y hayan generado salidas. Es decir, un OPI solo se ejecuta cuando tiene disponibles todas las entradas. El estado de la ejecución, los posibles errores y muchas otras situaciones son reflejadas como mensajes en una barra que aparece en la parte inferior de la aplicación (Figura 2).

La forma en que se representa la dependencia de los datos de entrada a OPI de las salidas generadas por otros OPIs es a través de las conexiones. Éstas se representan en un esquema como una tubería que parten de una salida de un OPI y que llega, a través de posibles ramificaciones, a las entradas de otros OPIs. Cuando un OPI no se ha ejecutado todavía las conexiones que parten de él se dibujan como tuberías cortadas para indicar que al destino todavía no ha llegado un nuevo dato. Por el contrario, cuando un OPI se ejecuta correctamente y envía los datos sus destinos, las conexiones de salida aparecen como

tuberías continuas. En general, el flujo de datos en los esquemas siempre va de izquierda a derecha.

La figura 3 muestra un esquema relativo a un sencillo algoritmo de detección de bordes, con algunos OPIs ejecutados en la simulación (los que tienen el indicador de color rojo). Como se puede ver en la figura, tanto el aspecto de los OPIs como el de las tuberías refleja claramente el estado de ejecución del esquema, ofreciendo el entorno visual un aspecto más ilustrativo que otros programas existentes.

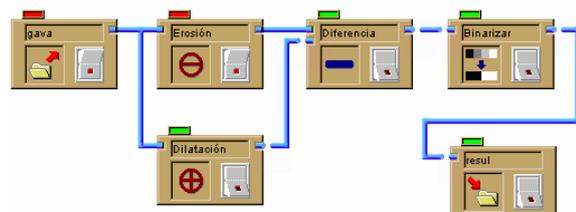


Figura 3. Esquema para la detección de bordes.

El usuario puede ver en cualquier momento la imagen correspondiente a una salida o entrada de un OPI sin más que activar el ratón sobre ella, como muestra la figura 4. Aparece entonces una ventana de visualizador que también ofrece utilidades como ampliación, exploración de valores, o guardar en archivo la imagen.

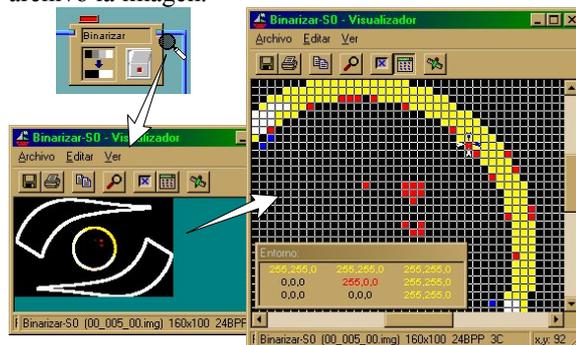


Figura 4. Distintas capturas de la ventana del visualizador de imágenes.

3.3 ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS

Considerando las cuestiones expuestas, y teniendo en cuenta los conocimientos que paulatinamente van incorporando los alumnos a través de las clases teóricas, se proponen una serie prácticas que se deben realizar durante las horas de prácticas disponibles en el laboratorio entregando al finalizar el tiempo establecido unos resultados que serán los que se utilicen para puntuar el trabajo realizado. Alguna de las prácticas puede requerir más de una sesión, por lo que se divide el trabajo a realizar en varias partes según el número de sesiones que requiera.

Las prácticas planteadas son las siguientes:

1. Introducción al laboratorio virtual. En esta práctica se explica al alumno el laboratorio

virtual que va a utilizar a lo largo del resto de la asignatura, explicándoles tanto el RoboLab como el Visual.

2. Componentes y fundamentos matemáticos. Esta práctica consiste en realizar por parte del alumno un test vía web con diversas preguntas sobre los componentes que conforman un robot así como sobre los métodos matemáticos de representación de posición y orientación para un manipulador.
3. Cinemática directa. En esta práctica se plantea al alumno que resuelva el problema cinemático directo de un brazo robot aplicando el algoritmo de Denavit-Hartenberg.
4. Control cinemático. Esta práctica se divide en dos sesiones en las que se pretende que el alumno realice los cálculos necesarios para que un brazo robot siga una determinada trayectoria en el espacio cartesiano.
5. Técnicas de visión artificial. Esta práctica utiliza el programa Visual para que los alumnos definan diversos procesamientos de imágenes y comprueben el resultado de aplicar distintas técnicas de procesamiento de imágenes.
6. Control visual. En esta práctica se pretende presentar al alumno la problemática derivada del guiado de robots utilizando información visual, y comprenda los pasos requeridos para la programación de un sistema de control visual basado en imagen.
7. Visión 3D. En esta práctica se pretende que el alumno comprenda la necesidad de disponer de un sistema estéreo formado por dos cámaras, que capturan información de una escena sin desfase de tiempo, para la extracción de características a partir de las imágenes obtenidas por ambas cámaras.
8. Guiado de un robot empleando un par estereoscópico. En esta práctica se pretende que el alumno sea capaz de interpretar la información procedente de una imagen para ser utilizada para el guiado de un brazo robot.
9. Programación. En esta práctica se pretende introducir al alumno las principales características de un lenguaje de programación de robots, así como dar a conocer un entorno de programación concreto.

4 BIBLIOGRAFÍA DE LA ASIGNATURA

Dentro de la bibliografía que se utiliza en la asignatura, se distingue entre aquellos textos que se pueden considerar básicos para la docencia de la misma, y que el alumno puede emplear para abarcar

prácticamente la totalidad de los conceptos que debe adquirir en la asignatura; los textos básicos para cubrir un bloque de la asignatura, y los específicos que complementan temas concretos del programa o amplían aspectos prácticos de la misma.

4.1 Bibliografía básica

- Torres, F.; Pomares, J.; Gil, P.; Puente, S.; Aracil, R. "Robots y Sistemas Sensoriales". Prentice-Hall, 2002. Este libro abarca la totalidad del temario de la asignatura, algunos temas se tratan en él con mayor profundidad que en clase, y otros como "Control de fuerza" por ejemplo no se imparten en la asignatura, con lo que sirve también de herramienta bibliográfica para el alumno que no sólo quiere seguir la asignatura, sino también para aquel que desea ampliarla. Además, se trata del único texto en castellano que trate conjuntamente en un único volumen la robótica junto con los sistemas sensoriales.
- Fu, K.S.; Gonzalez, R.C.; Lee, C.S.G. "Robótica. Control, detección, visión e inteligencia". McGraw-Hill, 1988. Se trata de un libro que aborda ambos temas conjuntamente, aunque centrándose en la visión, sin que se dedique ningún tema a procesamiento sensorial en general y fusión sensorial.

4.2 Bibliografía básica para robótica

- Barrientos, A.; Peñin, L.F.; Balaguer, C.; Aracil, R. "Fundamentos de Robótica". McGraw-Hill. 1997. Se trata de un libro muy completo para la parte de robótica. Presenta un enfoque destinado principalmente a alumnos de perfil más de ingeniería industrial, por lo que resulta aconsejable para ampliar ciertos conocimientos en esta línea.
- Craig, J.J. "Introductions to robotics. Mechanics and control". Addison-Wesley, 1995. Se trata de un volumen muy adecuado para el estudio de la robótica general de manipuladores, en especial para profundizar en el estudio cinemático y dinámico.
- Groover, M.P.; Weiss, M.; Nagel, R.N.; Odrey, N.G. "Robótica industrial. Tecnología, programación y aplicaciones". McGraw-Hill, 1989. Se trata de un libro de contenidos genéricos de robótica de manipuladores, aunque también presenta capítulos muy interesantes para la programación y de aplicaciones.
- McKerrow, P.J. "Introductions to robotics". Addison-Wesley, 1991. Se trata de un libro muy amplio de contenidos genéricos de robótica de manipuladores, aunque también presenta capítulos muy interesantes para la programación y de introducción a la robótica móvil.

- Rentería, A.; Rivas, M. “Robótica industrial. Fundamentos y aplicaciones”. McGraw-Hill, 2000. Se trata de un libro reciente y que sirve como introductorio sobre todo en aplicaciones de robótica industrial.

4.3 Bibliografía básica para sistemas sensoriales

- Brooks, R.R.; Iyengar, S.S. “Multi-sensor fusion: fundamentals and applications with software”. Prentice-Hall. 1998. Este libro está totalmente dedicado al procesamiento sensorial y las técnicas de fusión sensorial, en el que se tratan con suficiente profundidad. Además presenta una amplia colección de ejemplos y casos prácticos a los que se puedan aplicar estas técnicas.
- De la Escalera, A. “Visión por computador. Fundamentos y métodos”. Prentice-Hall, 2001. Se trata de un libro específico de visión por computador, que se estructura siguiendo las etapas clásicas del procesamiento de imágenes.
- González, J. “Visión por computador”. Paraninfo, 2000. Este volumen específico de visión artificial, dedicado en su primera parte a las técnicas básicas y posteriormente a la visión 3D.
- Hall, D.L.; Llinas, J. “An introduction to multisensor data fusion”. Proceedings of the IEEE, Vol. 85 (1), pp.6-23, 1997. Se trata de un artículo muy interesante como introducción a los sistemas sensoriales, con una clasificación de los distintos tipos de fusión sensorial.
- Russ, J.C. “The image processing handbook”. 3ª Edición, IEEE Press, 1999. Se trata de un texto que presenta un gran número de ejemplos prácticos y de aplicaciones.

Referencias

- [1] Candelas, F. A., Torres, F., Puente, S., Pomares, J., Segarra, V., Navarrete, J., (2004) “A Flexible Java Class Library for Simulating and Teleoperating Robots”. 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM04). Salvador de Bahía, Brasil.
- [2] Candelas, F. A., Puente, S. T., Torres, F., Ortiz, F. G., Gil, P., Pomares, J., (2003) "A Virtual Laboratory for Teaching Robotics". International Journal of Engineering Education, Especial Issue “Remote Access/Distance Learning Laboratories”, vol. 19(3), pp. 363-370.
- [3] Candelas, F.A., Torres, F., Ortiz, F.G., Gil, P., Pomares, J., Puente, S.T., (2003) "Teaching and Learning Robotics with Internet Teleoperation". 2nd International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in

Education (m-ICTE 2003). Advances in Technology-based Education: Towards a Knowledge-based Society, vol. 3, pp. 1827-1831. Badajoz (España).

- [4] Gil, P., Pomares, J., Puente, S.T., Torres, F., Candelas, F., Ortiz, F.G., (2003) "VISUAL: Herramienta para la Enseñanza Práctica de la Visión Artificial". 1º Workshop on Education and Practice in Artificial Vision (EPAV'03). Palma de Mallorca. pp. 115-121.