

VI Jornadas CEA de enseñanza a través de Internet-Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática

EIWISA'10

León, 2-4 de Junio 2010



CEA
I F A C



Título: Actas de las VI Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática

León, 2-4 de Junio 2010

COMITÉ ORGANIZADOR

Manuel Domínguez González

Perfecto Reguera Acevedo

Juan José Fuertes Martínez

Antonio Morán Álvarez

Serafín Alonso Castro

Diego Fernández Durán

Roberto García Valencia

Oscar Reinoso García

Luis Miguel Jiménez García

ISBN-10: 10/38430 -- ISBN-13: 978-84-693-1779-2

D.L.: LE-940-2010

© del texto: los autores de cada ponencia

© de ilustraciones y tablas: los autores de cada ponencia

© de la edición: J.M. Sánchez Moreno

O. Reinoso García

M. Domínguez González

Printed in Spain

Imprime: LOGOTÓPICO:comunicación positiva

www.logotopico.es

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información o sistema de reproducción, sin permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Presentación

Las I Jornadas EIWISA tuvieron lugar en la Universidad Politécnica de Valencia, las II Jornadas EIWISA, en la Universidad Nacional de Educación a Distancia, las III Jornadas EIWISA, en la Universidad de Alicante. Las IV Jornadas EIWISA ya se enmarcaron dentro del CEDI'05 celebrado en Granada. En 2007, las V Jornadas se integraron de nuevo dentro del Congreso Español de Informática CEDI'07. Desde sus inicios, en todas las celebradas se pudo apreciar el alto grado de inquietud que despertaban las nuevas tecnologías de la información en el campo de la Ingeniería de Sistemas y Automática, el buen nivel en que se encontraba la docencia española en relación con estos temas y el deseo generalizado, tanto de mantener foros abiertos de debate, como de la integración de las tecnologías de la información y la innovación tecnológica al ámbito del proceso enseñanza-aprendizaje en general.

Aunque las Jornadas están centradas fundamentalmente en las aplicaciones de innovación tecnológico-educativa en el campo de la Ingeniería de Sistemas y Automática, las aportaciones esperadas en las mismas están abiertas a otros campos de conocimiento, en especial, aquellos relacionados con el ámbito de la ingeniería. En esta ocasión, las ponencias se han dividido en 4 grandes áreas temáticas:

- Laboratorios Virtuales
- Nuevas técnicas educativas en control
- Laboratorios remotos
- EJS en laboratorios vía web.

Dicho esto, no queda más que agradecer la confianza depositada por el Comité Español de Automática (CEA) en el grupo SUPPRESS de investigación de la Universidad de León para la organización de estas VI Jornadas EIWISA, y también agradecer el apoyo de la Junta de Castilla y León y la propia Universidad de León, sin el cual esta iniciativa difícilmente hubiera podido ver la luz.

EL COMITÉ ORGANIZADOR

Índice de contenidos (I)

PONENCIAS EJS EN LABORATORIOS VÍA WEB

Simulación en Easy Java de Prácticas de Control Realizadas con Equipo Feedback MS-150 005

Autores: Manuel Domínguez, Juan José Fuertes, Perfecto Reguera, Antonio Moran, Serafín Alonso y Diego Fernandez

Diseño e implementación de una biblioteca gráfica 3D para Easy Java Simulations 014

Autores: Carlos A. Jara, Francisco Esquembre, Francisco A. Candelas, Fernando Torres y Sebastián Dormido

Laboratorio Remoto para Prácticas de Control en Espacio de Estado mediante EJS 020

Autores: Luis M. Jiménez, Oscar Reinoso, Miguel Juliá, Arturo Gil y José M. Marín

Librería Digital de EJS para la Enseñanza en Ingeniería de Control y Ciencias Físicas 026

Autores: Luis de la Torre, Héctor Vargas, José Sánchez, Sebastián Dormido y Francisco Esquembre

LABORATORIOS REMOTOS

Sistema de teleoperación cooperativa con retorno sensorial de fuerza 032

Autores: D. Bustelo , R. Ramos, E. Delgado, M. Díaz-Cacho y A. Barreiro

Simulaciones robóticas avanzadas mediante la plataforma EJS+EjsRL 039

Autores: Carlos A. Jara, Francisco A. Candelas y Fernando Torres

Laboratorio Virtual y Remoto para la Enseñanza de Robótica Paralela 046

Autores: Francisco J. Martínez, Ramón González, Francisco Rodríguez y José Luis Guzmán

Desarrollo de Herramientas y Técnicas de Realidad Aumentada para la Mejora de Laboratorios Remotos: Laboratorio Remoto Aumentado 054

Autores: Andrés Mejías Borrero, José Manuel Andújar Márquez y Marco A. Márquez Sánchez

Índice de contenidos (II)

LABORATORIOS VIRTUALES

Herramienta interactiva para el aprendizaje del control en modo de deslizamiento en R^2 062

Autores: Niliana Carrero Candelas, Ramón Costa-Castelló, Sebastián Dormido y Enric Fossas

Laboratorio De Control Virtual068

Autores: Fco. Javier García y Eduardo J. Moya

Laboratorio virtual para la exploración de entornos mediante un conjunto de robots móviles073

Autores: O. Reinoso, M. Juliá, L. Payá, L.M. Jiménez y D. Úbeda

NUEVAS TÉCNICAS EDUCATIVAS EN CONTROL

Un Nuevo Enfoque para el Diseño de Sistemas Tutores Inteligentes con Aprendizaje079

Autores: V. Amela, J. L. Díez y M. Vallés

Aplicación de Tecnologías Semánticas y de la Web 2.0 para la Representación, Recuperación e Interacción con Ejercicios de Control085

Autores: Isaías García Rodríguez, Carmen Benavides Cuéllar, Héctor Aláiz Moretón, Francisco J. Rodríguez Sedano y Ángel Alonso Álvarez

Autocorrección vía web para asignaturas de ingeniería basadas en Matlab 092

Autores: Fabio Gómez-Estern y Manuel Ruiz Arahal

Estudio interactivo de los conceptos fundamentales del control mediante objetos de aprendizaje 099

Autores: José Luis Guzmán, Ramón Costa-Castelló, Sebastian Dormido y Manuel Berenguel

FTPack: un framework para la programación de sistemas físicos educativos basados en kits Fischertechnik™106

Autores: Jesús Salido, Oscar Déniz, M^a Gloria Bueno y M^a del Milagro Fernández

Enseñando EJS a través de juegos113

Autores: Javier Vegas Regidor, José María Pérez Ramos y Eladio Sanz García

Laboratorio virtual para la exploración de entornos mediante un conjunto de robots móviles

O. Reinoso, M. Juliá, L. Payá, L.M. Jiménez, D. Úbeda

E-mail: o.reinoso@umh.es

Dpto. de Ingeniería de Sistemas Industriales

Universidad Miguel Hernández de Elche

Avda. Universidad s/n 03202 Elche (Alicante)

Abstract—En este artículo se presenta un laboratorio remoto virtual desarrollado para la realización de prácticas de exploración de entornos mediante un conjunto de robots móviles. La exploración de entornos mediante robótica constituye un caso típico donde los alumnos deben evaluar diferentes algoritmos, cada uno de los cuales viene afectado por múltiples parámetros tanto inherentes al propio algoritmo como generales: número de robots, tipo de entorno, capacidades sensoriales de los robots, etc. En el laboratorio virtual desarrollado el alumno puede evaluar la incidencia de cada uno de estos parámetros en la exploración de un conjunto de escenarios diferentes, cuando se selecciona algún mecanismo de exploración de los propuestos hasta la actualidad. Dentro de este artículo se analizan las diferentes posibilidades de uso de esta herramienta, así como los algoritmos implementados en la misma. Por último se presentan los resultados del uso de este laboratorio virtual dentro del presente curso académicos 2009/10.

I. INTRODUCCIÓN

La realización de prácticas docentes resulta una parte fundamental en el proceso de aprendizaje de contenidos y materias tecnológicas. La adquisición de ciertas habilidades en determinadas materias únicamente se puede realizar de forma eficaz mediante la experimentación y resolución de casos prácticos. A través de las mismas los estudiantes pueden adquirir determinadas habilidades que les posibilitan resolver problemas con equipos reales, una vez que han asimilado los conocimientos teóricos que han sido impartidos en clases tradicionales de teoría. Tradicionalmente el elemento en el que se ha realizado este aprendizaje es el laboratorio donde los estudiantes tenían acceso a un conjunto de equipos y maquetas representativas de dispositivos físicos reales, durante un periodo de tiempo limitado. Para hacer uso de estos recursos los estudiantes se desplazaban a estos laboratorios durante unas horas previamente fijadas y procedían a interactuar con estos dispositivos intentando resolver un problema práctico concreto.

La forma tradicional de resolver estas prácticas consistía en la utilización de laboratorios en los que se ubicaban un conjunto de dispositivos y maquetas que podían ser utilizados por los alumnos en determinadas bandas horarias y siempre de forma restringida. Esto ha originado tradicionalmente una serie de inconvenientes entre los que destacan fundamentalmente dos. En primer lugar, la imposibilidad de que cada uno de los alumnos disponga de una maqueta o dispositivo de forma individual para la experimentación sobre la misma debido al

alto coste de éstas, y en segundo lugar, la dificultad de acceso a estas estancias fuera del horario asignado para la realización de las prácticas debido a la necesidad de contar con personal técnico de apoyo en las mismas. Esto ha supuesto que en asignaturas de grupos con un número elevado de alumnos, la realización de prácticas en estos laboratorios tradicionales no ha posibilitado cubrir todas las exigencias que serían posibles debido a estas dificultades.

Durante los últimos años, y sobre todo con las mayores posibilidades que ofrece internet, se ha desarrollado una alternativa a estos laboratorios tradicionales. Con las técnicas y capacidades que ofrece internet, se ha posibilitado que los alumnos puedan realizar prácticas desde cualquier lugar en el que tengan acceso a internet, independientemente del lugar en que se encuentren físicamente ubicados e independientemente del horario al que quieran tener acceso al recurso. En la Tabla I se detallan las diferentes posibilidades con las que nos podemos encontrar hoy en día para la realización de prácticas docentes. Numerosos han sido los laboratorios virtuales y remotos que se han implementado durante los últimos años en materias relacionadas con la automática. A modo de ejemplo basta citar las diferentes experiencias integradas dentro del proyecto AutomatL@bs, donde un conjunto de universidades comparten una serie de laboratorios físicos dentro de un entorno común, de manera que los alumnos acceden a cualquiera de los dispositivos puestos en común por los diferentes grupos de investigación de forma totalmente transparente [6], [2] y [18].

TABLE I
CLASIFICACIÓN DE LOS LABORATORIOS DOCENTES

	Real	Simulado
Local	Laboratorio tradicional	Laboratorio virtual monousuario
Remoto	Laboratorio remoto	Laboratorio virtual multiusuario

Dentro de los laboratorios remotos y virtuales aplicados a la docencia, hasta el momento han sido diferentes las propuestas en materias relacionadas con la robótica. En este sentido merece la pena destacar los siguientes laboratorios o experiencias docentes a través de internet dentro de esta temática. En [1], se presenta un laboratorio virtual en el que se posibilita la realización de prácticas docentes por parte de

los estudiantes al manejar una plataforma constituida por un brazo robotico de forma simulada. En este laboratorio virtual los alumnos manejan este brazo robot constituido por una simulación realista del mismo en un entorno virtual. El mismo grupo de investigación ha extendido este laboratorio inicial a un laboratorio remoto en el que los alumnos manejan ya un brazo robótico real sobre el que tienen información de los experimentos realizados al tener acceso a los diferentes sensores que porta el robot como a las cámaras ubicadas en el entorno remoto. En [20] se presenta otro laboratorio remoto en el que se teleopera un brazo robot a distancia y sobre el que se dispone de una realimentación eficaz de las trayectorias realizadas por el robot.

También dentro el ámbito de la robótica móvil se han presentado últimamente diferentes laboratorios y experiencias docentes a través de internet tanto de forma virtual como remota. Así, por ejemplo en [12] se presentó una arquitectura para desarrollar laboratorios virtuales a ser usados en educación a distancia. Dentro de esta arquitectura se mostró a modo de ejemplo la posibilidad de realizar un control de un robot móvil vía web. En [8] se presenta un análisis sobre el diseño e implementación de experimentos remotos para el manejo de robots móviles haciendo un especial hincapié en las capacidades de la interfaz de usuario en el laboratorio virtual. Posteriormente en [9] estos conceptos se aplican en el desarrollo de una arquitectura desarrollada para el control a distancia del robot B21r. También en [15] se presenta una arquitectura de teleoperación de robots remotos reales, en este caso WIFIBOT, que posibilita la realización de prácticas docentes a través de internet. En el mismo se presentan la arquitectura desarrollada, así como las prácticas realizadas sobre la misma. En [5], se presenta una herramienta interactiva que permite evaluar y considerar diferentes trayectorias para la planificación de movimientos en robótica móvil a través de internet. A través de esta herramienta los alumnos pueden verificar y probar diferentes técnicas de planificación de trayectorias y constatar sus ventajas e inconvenientes en diferentes entornos virtuales. La última generación de laboratorios remotos con robots móviles, permiten al usuario realizar tareas autónomas con los robots dentro de un cierto entorno sobre el que se realiza una supervisión continua. La implementación de estas plataformas debe solucionar problemas típicos como seguridad, retardos en la comunicación, modularidad, etc. Sagiogly y Yilmaz [16] presentan un sistema vía web donde se utiliza una plataforma de robot móvil en la realización de prácticas docentes a distancia.

El objetivo de este artículo consiste en presentar las capacidades de una herramienta virtual que recientemente hemos desarrollado con objeto de que los alumnos puedan realizar prácticas docentes relacionadas con la exploración de entornos por parte de un conjunto de robots móviles. La plataforma se constituye en un laboratorio virtual donde los alumnos pueden realizar prácticas docentes al acceder a una página web desde donde pueden seleccionar los algoritmos de exploración así como sintonizar todos los parámetros que sea preciso evaluar.

El resto del artículo se organiza como sigue. En la siguiente

sección se presenta y analiza la arquitectura desarrollada para posibilitar la realización de prácticas docentes de forma remota por parte de los alumnos. En el apartado siguiente se ofrecen algunos detalles sobre los algoritmos implementados y las capacidades de los mismos en cuanto a sintonización de parámetros, entornos de experimentación, etc. A continuación se ofrecen una serie de ejemplos ilustrativos de funcionamiento y posibilidades de empleo de esta herramienta virtual de acceso remoto. Por último se comentan los resultados del uso de esta herramienta durante este curso académico 2009/10, finalizando con las conclusiones y trabajos futuros.

II. ARQUITECTURA DEL LABORATORIO

La figura 1 muestra la arquitectura que se ha empleado para el laboratorio virtual multi-usuario. Básicamente, el laboratorio virtual que se ha desarrollado consta de 3 partes:

- Interfaz gráfica de usuario
- Servidor de Acceso Remoto
- Librería de exploración

A continuación se detallarán cada uno de los componentes:

A. Interfaz gráfica de usuario

La interfaz gráfica de usuario está desarrollada como un applet de java. Dicho applet se carga en cualquier navegador web al entrar en la página del laboratorio virtual que es servida por nuestro servidor HTTP. Desde esta interfaz, una vez nos hemos identificado, podemos configurar todos los parámetros para hacer una prueba de cualquiera de los algoritmos de exploración implementados. También permite visualizar el proceso de exploración así como la descarga de los ficheros de resultados al finalizar la exploración. En la sección IV se detallan ejemplos de uso de la interfaz.

B. Servidor de Acceso Remoto

El servidor de Acceso Remoto es el encargado de gestionar las peticiones que el usuario realiza a través de la interfaz gráfica. Este servidor está desarrollado en C++. En primer lugar se realiza la autenticación del cliente con una base de datos de usuarios. Una vez identificado el usuario como válido, en el applet cliente se podrán configurar todos los parámetros para lanzar la siguiente simulación. Una vez seleccionados los parámetros deseados el applet realizará la petición de iniciar simulación al servidor enviando un fichero de configuración con los parámetros seleccionados. El servidor de Acceso Remoto empleará la librería de exploración para lanzar una simulación con las características solicitadas. Una vez iniciada la simulación este servidor atiende a la gestión de los datos de monitorización enviando los datos del progreso de la exploración al cliente donde serán visualizados en la interfaz gráfica. Al finalizar la simulación también gestiona la descarga de los ficheros de resultados. Este servidor puede trabajar con múltiples clientes simultáneamente. Sin embargo, el número máximo de clientes simultáneos se limita en función de las capacidades del equipo y de la red.

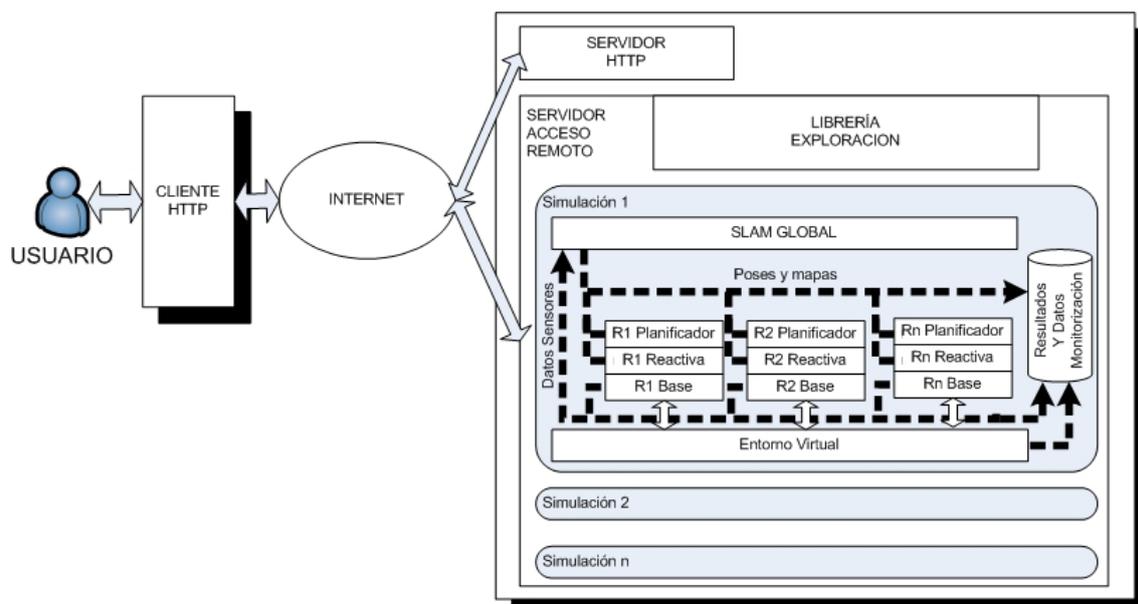


Fig. 1. Arquitectura del laboratorio

C. Librería de exploración

La librería de exploración es el motor de esta aplicación y ha sido desarrollada completamente en C++. Esta librería incluye múltiples entornos virtuales de simulación tales como entornos interiores tipo oficina o tipo vivienda, así como otros entornos no estructurados. Además incluye un modelo de robot móvil de características configurables, incluyendo el modelo cinemático, control en velocidad, odometría, adquisición de marcas visuales y sensor de rango. Este simulador está pensado para poder trabajar con varios robots simultáneamente en el mismo entorno virtual de manera cooperativa.

La librería ha sido diseñada para poder simular con estos robots y entornos virtuales distintos algoritmos de exploración, localización y creación de mapas. Para la localización y creación de mapas la librería incorpora dos algoritmos centralizados de SLAM (Simultaneous localization and mapping) con marcas visuales (un filtro de partículas y un filtro de Kalman extendido) y además incorpora una técnica de gridmapping para la generación de mapas de ocupación mediante las medidas del sensor de rango. Para el control de movimientos cada robot tiene una capa reactiva común a bajo nivel que es controlada por un planificador de alto nivel. Podemos emplear como planificador cualquiera de las técnicas de exploración que se detallan a continuación en la sección III.

III. ALGORITMOS DE EXPLORACIÓN IMPLEMENTADOS

El proceso de exploración de un entorno desconocido mediante un equipo de robots móviles consiste en planificar las trayectorias que deben seguir los robots móviles para recorrer el entorno y en emplear simultáneamente un sistema de localización y creación de mapas. Dada dicha descomposición del problema de la exploración en planificación de trayectorias por una parte y creación de mapas y localización en los

mismos por otra, en nuestra aplicación se han incluido por separado distintos algoritmos para realizar cada una de estas funciones.

La creación de mapas basados en marcas visuales y localización simultánea en los mismos (proceso también conocido como SLAM visual) se realiza sin falta de generalidad de forma conjunta para todos los robots. La aplicación presenta los siguientes 2 algoritmos:

- *Filtro de Kalman extendido*: Este algoritmo permite dar una estimación de la posición de los robots así como la posición de las marcas visuales vistas hasta el momento con su incertidumbre asociada [3]. En la aplicación se permiten variar algunos de los parámetros importantes para esta técnica como son los parámetros para la asociación de datos entre las marcas correspondientes a nuevas medidas y las presentes en la última estimación del mapa.
- *Filtro de partículas tipo Rao-Blackwellized*: Este algoritmo separa la estimación del mapa de la estimación de las poses de los robots. De esta forma, empleando múltiples partículas cada partícula tiene una posible estimación de la trayectoria realizada por los robots con su mapa correspondiente asociado. Un proceso de muestreo selecciona las partículas más probables eliminando el resto [13]. En la aplicación se pueden cambiar algunos de los parámetros del filtro como el número de partículas.

Empleando las medidas del sensor de rango y a partir de las posiciones estimadas devueltas por el algoritmo de SLAM se genera un mapa de ocupación necesario para poder planificar las trayectorias de los robots mediante la técnica expuesta en [14].

En cuanto a la planificación de trayectorias se han escogido técnicas que varían en su grado de coordinación entre robots

y en su grado de integración con el algoritmo de SLAM. Una técnica integrada con el algoritmo de SLAM tendrá en cuenta la incertidumbre asociada a las posiciones de los robots para planificar sus trayectorias pudiendo así obtener mapas más precisos. A continuación se detallan las técnicas implementadas:

- *Frontera más cercana.* Las celdas de frontera que separan las celdas libres de las celdas desconocidas nos indican cuales son las zonas más apropiadas para adquirir más información del entorno. Esta técnica, que es una de las técnicas de exploración más simples, consiste en escoger como destino para cada robot su celda de frontera más cercana y planificar una ruta siguiendo el camino más corto para alcanzarla [19]. Esta técnica no incluye coordinación entre robots ni considera la incertidumbre en la localización.
- *Coste Utilidad.* Es técnica en contraste con la anterior no pretende solo considerar el coste, es decir, la distancia que hay que recorrer para alcanzar el destino, sino también como de útil es ese destino para la exploración. Para estimar la utilidad se considera el área no explorada que entraría dentro del rango del sensor si el robot fuese a ese punto [4]. Al igual que la anterior esta técnica no incluye coordinación entre robots ni considera la incertidumbre en la localización.
- *Coste Utilidad Coordinado.* Al emplear múltiples robots es conveniente incluir mecanismos de coordinación que hagan que los robots no acudan todos al mismo lugar. Para ello esta técnica reduce la utilidad de los posibles destinos en función de la distancia a otros destinos ya asignados a otros robots [17]. La selección de destinos se hace de forma secuencial. Con esta técnica incorporamos una cierta coordinación entre los robots. Sin embargo no considera la incertidumbre en la localización.
- *Coste Utilidad Integrado.* Este modelo incorpora al modelo coste utilidad la incertidumbre que cabe esperar en la posición del robot para cada destino. Los destinos con más localizabilidad para los robots reciben más utilidad y por lo tanto tienen preferencia [11]. De esta forma esta técnica mejora la calidad de los mapas obtenidos. Sin embargo, en esta técnica no empleamos mecanismos de coordinación.
- *Modelo de mercado* Esta técnica mejora la coordinación mediante un modelo de economía de mercado en el que los robots pueden negociar los destinos que tienen asignados en función del coste y la utilidad para cada uno [21]. Este intercambio de destinos entre los robots permite mejorar la coordinación del método *coste utilidad coordinado* donde la asignación se realiza de forma secuencial. Este método no considera la incertidumbre en la localización.
- *Reactivo Basado en Comportamientos.* Esta estrategia de exploración considera varios comportamientos básicos como ir a frontera, evitar otros robots y evitar obstáculos para realizar la exploración. Además incluye mecanis-

mos para detección y escape de zonas de mínimo local que suelen aparecer empleando esta técnica. El comportamiento de evitar otros robots suministra al modelo una cierta coordinación haciendo que los robots se separen en el entorno [10]. Aquí no consideramos tampoco la incertidumbre en la localización.

- *Híbrido Coordinado Integrado* Extiende el modelo anterior restringiendo la parte reactiva a solo una zona visible local para evitar mínimos e incluye una planificación de mayor nivel mediante un análisis coste utilidad sobre un árbol topológico que permite guiar a los robots hacia fronteras fuera de la zona visible local. De esta forma se mejora el rendimiento que se ve afectado por la aparición de mínimos locales en la técnica anterior. Esta técnica incluye mecanismos de coordinación tanto a nivel reactivo con el comportamiento de evitar otros robots como a nivel deliberativo en el árbol topológico donde las ramas donde hay otros robots reducen su utilidad. Además esta técnica incorpora comportamientos para regresar a zonas precisas cuando la incertidumbre en la pose de los robots es alta [7]. De esta forma mejoramos la calidad de los mapas.

La Tabla II muestra de forma resumida la clasificación de los métodos implementados según su grado de coordinación y su grado de integración con el SLAM.

IV. INTERFAZ. EJEMPLOS

La Figura 2 muestra la interfaz gráfica del laboratorio virtual que ve el alumno una vez se ha identificado debidamente como usuario. Como se puede observar, en primer lugar es necesario seleccionar un algoritmo de SLAM de los 2 disponibles estableciendo los parámetros que deseamos. También deberemos configurar las características de los robots que vamos a utilizar así como el número de robots que componen el equipo. En la parte inferior, la aplicación nos permite seleccionar entre varios entornos de simulación y variar sus características. Por último, deberemos escoger y configurar el algoritmo de exploración que deseamos probar.

Una vez lanzada la simulación en el marco de simulación podremos observar como transcurre la exploración del entorno y acceder a la planificación que realiza cada uno de los robots del equipo. Una vez acabada la simulación, en la columna de la derecha aparecen disponibles los ficheros de resultados de la última simulación disponibles para ser descargados. En esos ficheros se guardan las trayectorias efectuadas por los robots reales y las estimadas por el algoritmo de SLAM, los mapas visual y de ocupación, así como el estado del planificador que nos permite analizar internamente como está trabajando el algoritmo de exploración seleccionado.

Mediante esta herramienta podremos analizar los resultados que se obtienen de los distintos algoritmos en función del tiempo de exploración y de la calidad de los mapas mientras variamos algunos de los parámetros como el número de robots en el equipo. El tiempo de exploración está directamente relacionado con el grado de coordinación entre robots y la calidad de los mapas esta ligada al grado de integración con

TABLE II
CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS IMPLEMENTADOS

	No coordinados	Coordinados
No integrados	Frontera más cercana Coste Utilidad	Coste Utilidad Coordinado Modelo de mercado Reactivo Basado en Comportamientos
Integrados	Coste Utilidad Integrado	Híbrido Coordinado Integrado

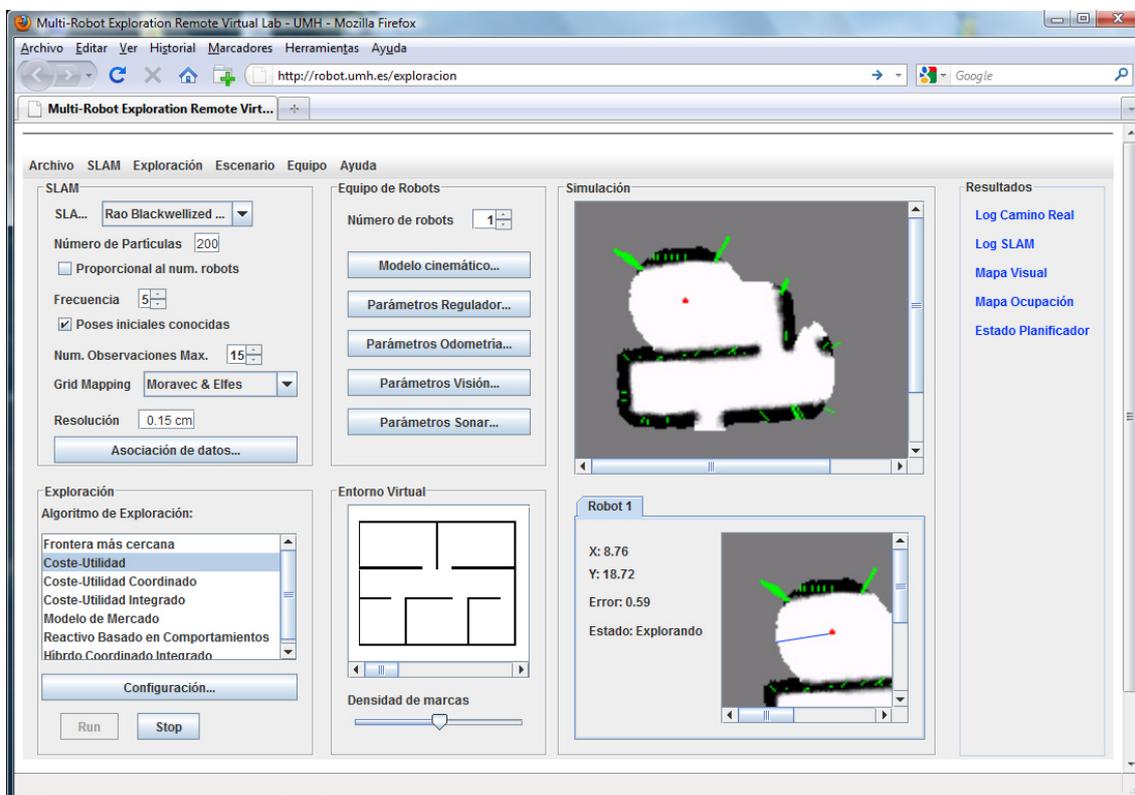


Fig. 2. Aplicación del laboratorio virtual

el SLAM de cada algoritmo. De esta forma podemos clasificar los algoritmos en función de su grado de coordinación y de integración con el SLAM.

V. USO DE LA APLICACIÓN

En esta sección se mostrarán detalles de la utilización que se pretende dar a la aplicación. Durante el próximo curso académico se empleará esta herramienta remota virtual para la realización de una práctica de exploración con robots móviles en la asignaturas Técnicas Avanzadas de Navegación en Robótica Móvil. Esta asignatura se imparte dentro del Máster Universitario de Investigación en Tecnologías Industriales y de Telecomunicación en la Universidad Miguel Hernández de Elche. Los objetivos de la misma consisten en plantear a los estudiantes una serie de problemas y actuaciones en robótica móvil que permitan a los mismos analizar los diferentes modos de comportamiento de un conjunto de entidades autónomas, estudiar los principales campos de actuación actuales dentro de la robótica cooperativa así como plantear ejemplos de los

mismos para resolver problemas mediante el uso de robots móviles de forma cooperativa. La asignatura consta de 3 créditos ECTS (75 horas de trabajo del alumno), y se articula de la siguiente forma:

- 30 horas: Sesiones presenciales.
- 15 horas: Trabajo individual sobre un tema en concreto de la asignatura.
- 10 horas: Búsqueda de información bibliográfica relacionada con la asignatura.
- 15 horas: Sesiones prácticas.
- 5 horas: Estudio

Dentro de las 15 horas dedicadas a sesiones prácticas, se han programado un total de 3 prácticas, cada una de las mismas con una duración de 5 horas. Una de estas prácticas consiste en analizar a través de la herramienta virtual presentada en este artículo diferentes algoritmos de exploración de forma coordinada en dos entornos diferentes. Un entorno constituido por estancias y pasillos semejantes a una estancia típica de

interior, y un entorno más diáfano constituido por obstáculos dentro del mismo. El objetivo de los alumnos consiste en seleccionar tres técnicas de exploración, sintonizar y ajustar los parámetros, y analizar los resultados mediante una comparativa de estas técnicas.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un laboratorio virtual remoto para la realización de prácticas de exploración de entornos mediante un conjunto de robots móviles que actúan de forma coordinada. Hasta el momento los alumnos interesados en esta materia no disponen de una herramienta que posibilite la selección de diferentes entornos de forma tal que se posibilite un análisis comparativo entre las principales técnicas de exploración presentes en la actualidad. Mediante el uso de esta herramienta diseñada mediante el formato de laboratorio virtual, es posible la realización de diferentes prácticas de exploración, seleccionando los diferentes parámetros de sintonización de cada uno de los algoritmos a evaluar. Esta herramienta se ha implementado para posibilitar el uso de la misma de forma remota necesitando únicamente un acceso a internet.

Se presentan asimismo los datos de acceso a este laboratorio durante el último curso académico, que es la primera vez que se ha utilizado de forma experimental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo gracias en parte al Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto DPI2007-61197, con título 'Sistemas de percepción visual móvil y cooperativo como soporte para la realización de tareas con redes de robots'.

REFERENCES

- [1] F.A. Candelas, S. Puente, F. Torres, F. Ortiz, P. Gil, and J. Pomares. A virtual laboratory for teaching robotics. *International Journal of Engineering Education*, 19(3):363–370, 2003.
- [2] R. Costa-Castello, M. Valles, L.M. Jimenez, L. Diaz-Guerra, A. Valera, and R. Puerto. Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: Labview, matlab y c/c++. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1):23–35, 2010.
- [3] M.W.M.G. Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H.F. Durrant-Whyte, and M. Csorba. A solution to the simultaneous localization and map building (slam) problem. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 17(3):229–241, June 2001.
- [4] H. H. Gonzalez-Baños and J. C. Latombe. Navigation strategies for exploring indoor environments. *International Journal of Robotics Research*, 21(10), 2002.
- [5] J.L. Guzman, M. Berenguel, F. Rodriguez, and S. Dormido. An interactive tool for mobile robot motion planning. *Robotics and Autonomous Systems*, 56(5):396–409, 2009.
- [6] J.L. Guzman, M. Dominguez, M. Berenguel, J.J. Fuertes, F. Rodriguez, and P. Reguera. Entornos de experimentación para la enseñanza de conceptos básicos de modelado y control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1):10–22, 2010.
- [7] Miguel Juliá, Óscar Reinoso, Arturo Gil, Mónica Ballesta, and Luis Payá. A hybrid solution to the multi-robot integrated exploration problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, In Press, Corrected Proof:–, 2010.
- [8] A. Khamis, M. Perez-Vernet, and K. Schilling. A remote experiment on motor control of mobile robots. *Proceedings of the 10th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2002.
- [9] A. Khamis, D.M. Rivero, F. Rodriguez, and M. Salichs. Pattern-based architecture for building mobile robotics remote laboratories. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2003.
- [10] H. Lau. Behavioural approach for multi-robot exploration. In *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA'03)*, Brisbane, Australia, 2003.
- [11] A.A. Makarenko, S.B. Williams, F. Bourgoult, and F. Durrant-Whyte. An experiment in integrated exploration. In *Proceedings of the IEEE-RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'02)*, Lausanne, Switzerland, 2002.
- [12] I. Masar, A. Bischoff, and M. Gerkes. Remote experimentation in distance education for control engineers. *Proceedings of Virtual University*, 2004.
- [13] M. Montemerlo and S. Thrun. Simultaneous localization and mapping with unknown data association using fastslam. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'03)*, Taipei, Taiwan, 2003.
- [14] H. Moravec and A. Elfes. High resolution maps from wide angle sonar. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'85)*, 1985.
- [15] L. Paya, M. Julia, O. Reinoso, A. Gil, and L.M. Jimenez. Behaviour-based multi-robot formations using computer vision. *Proceedings of 6th IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Images Processing*, pages 488–494, 2006.
- [16] S. Sagioglu and N. Yilmaz. Web-based mobile robot platform for real-time exercises. *Expert systems with Applications*, 36(2):3153–3166, 2009.
- [17] R. Simmons, D. Apfelbaum, W. Burgard, D. Fox, M. Moors, S. Thrun, and H. Younes. Coordination for multi-robot exploration and mapping. In *Proceedings of the AAAI National Conference on Artificial Intelligence*, Austin, TX, USA, 2000.
- [18] H. Vargas, J. Sanchez, C.A. Jara, F. Candelas, O. Reinoso, and J.L. Diez. Docencia en automática: Aplicación de las tic a la realización de actividades prácticas a través de internet. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1):36–45, 2010.
- [19] B. Yamauchi. Frontier-based ex-ploration using multiple robots. In *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents*, Minneapolis/Saint Paul, Minnesota, USA, 1998.
- [20] S. You, T. Wang, R. Eagleson, C. Meng, and Q. Zhang. A low-cost internet-based telerobotic system for access to remote laboratories. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(3):265–279, 2001.
- [21] R. Zlot, A. Stentz, M. B. Dias, and S. Thayer. Multi-robot exploration controlled by a market economy. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'02)*, Washington, DC, USA, 2002.