Revista Educación en Ingeniería

ISSN 1900-8260

Junio de 2009 • N°. 7 • Pp 51-61 • Publicada en línea por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería -ACOFI- www.acofi.edu.co

Enviado: 30/04/2009 • Aprobado: 29/05/2009

LABORATORIO DISTRIBUIDO CON ACCESO REMOTO PARA LA ENSEÑANZA DE LA ROBÓTICA

Eduardo Caicedo Bravo, Eval Bladimir Bacca, Bayron Andrés Calvache
Universidad del Valle, Cali (Colombia)
Jaiber Evelio Cardona y Jaime Alberto Buitrago
Universidad del Quindio, Armenia (Colombia)

Resumen

Este artículo presenta un laboratorio distribuido con acceso remoto para la enseñanza de la robótica, que corresponde al principal resultado del proyecto de investigación aprobado y financiado por COLCIENCIAS, CINTEL, Universidad del Valle y Universidad del Quindío. El laboratorio permite el desarrollo de sesiones prácticas interactivas a estudiantes de ambas universidades sobre plataformas móviles (Pioneer 3DX) y sobre brazos robóticos (Mitsubishi RV-2AJ). Las tareas normalmente desarrolladas involucran: programación, supervisión y visualización, esta última usando video y/o una representación en 2D. Esta herramienta de enseñanza en robótica permite que estas dos costosas plataformas de experimentación puedan ser usadas colaborativamente por ambas universidades, mejorando la comunicación entre estudiantes, grupos de investigación y permitiendo el desarrollo de actividades educativas y/o investigativas multidisciplinares.

Palabras clave: Robótica, laboratorio virtual, educación en ingeniería

Abstract

This paper presents the remote and distributed laboratory for robotics learning, developed at the Universities of Valle and Quindío (Colombia). The laboratory allows the students of both universities to develop programming, supervision and visualization skills using the Pioneer3DX robot as a mobile platform, and the Mitsubishi RV-2AJ robotic arm as a manipulator. The user has also access to video and/or 2D environment representations in real time. The software tools developed allow collaborative use of expensive robotic platforms between students, researchers and faculty members, and it offers the opportunity to develop multidisciplinary research and educational activities between both universities.

Keywords: Robotics, virtual laboratory, engineering education.

Introducción

La evolución de las comunicaciones junto al desarrollo de herramientas y procesos informáticos como Internet y las tecnologías Web, han revolucionado la forma en que se comparten los instrumentos y las ideas, generando cambios importantes y novedosos en los sistemas educativos actuales. El aprendizaje autónomo gestionado a través de la Web, los sitios Web especializados, las bases de datos de recursos educativos abiertos, los libros electrónicos, los cursos, campus y aulas virtuales y los laboratorios virtuales o remotos, entre otros, desempeñan un papel cada vez más importante en los procesos de enseñanza-aprendizaje, ya que además de enriquecerlos permiten mejorar su cobertura, logrando llegar inclusive a estudiantes marginados económica y/o geográficamente (Khamis, 2003), (Sartorius *et al*., 2005), (Unesco, 2000).

Las nuevas posibilidades de interacción que ofrece la Internet, permiten a su vez, el aprovechamiento de recursos humanos y de laboratorio sin necesidad de establecer una concurrencia geográfica y de tiempo. El papel de Internet hoy puede ir mucho más allá que el de ser un simple medio para la distribución de información, ya que las posibilidades que ofrece para establecer comunicaciones de forma bidireccional y acceder a infraestructuras remotas la dotan de un valor añadido que puede servir como un complemento innovador a las nuevas metodologías de enseñanza (como el aprendizaje activo por ejemplo) haciéndolas más atractivas y motivadoras para los estudiantes (Moreno, 2005), (Núñez *et al*., 2008). Adicionalmente y gracias al espacio virtual que Internet genera, es posible aprovechar de modo más eficiente los recursos con los que cuentan los laboratorios, rompiendo las barreras económicas, temporales y espaciales que se presentan al momento de su uso y extensión (Sanchez J. *et al*., 2005).

Los laboratorios de experimentación remota en educación aparecen como sistemas basados en equipos reales, que le permiten a los estudiantes desarrollar trabajo práctico a través de un computador conectado a Internet en aquellas áreas en donde las actividades de laboratorio juegan un rol fundamental (Melendez *et al*., 2001), (Herrera *et al*., 2006). Entre estas áreas se destaca la robótica, ya que además de ser un campo del conocimiento en constante cambio y con una marcada proyección hacia el futuro, las experiencias en esta área aportan un marco innovador para el abordaje de conceptos relacionados con otras disciplinas (Sánchez L. *et al*., 2005), (Rodríguez *et al*., 2001). Sin embargo, muchas instituciones de educación no disponen de suficientes herramientas, versátiles y robustas, que permitan la experimentación flexible en esta área.

Cualquier desarrollo en algún tema de la robótica implica necesariamente la construcción o compra del hardware para soportarlo o llegar solamente hasta la simulación, ya que las plataformas estándar (industriales) para experimentación son costosas dada su alta confiabilidad tanto en el hardware como en el software que incorporan. Esta situación puede retardar los procesos de investigación y aprendizaje, limitando así la posibilidad de desarrollar, crear y experimentar nuevos métodos y sistemas en este campo y entregando el acceso a estas tecnologías a un grupo limitado de personas. Una de las respuestas a esta problemática es la creación de laboratorios de acceso remoto que gracias a una infraestructura de comunicación, como la entregada por Internet, permitan compartir y optimizar el acceso y el uso de estas plataformas. Se propone entonces la creación de un laboratorio distribuido soportado en la Red Nacional de Tecnología Avanzada RENATA que permita compartir dos plataformas: una de robótica móvil y otra un brazo robótico industrial, ambas de alto costo, de tal manera que estudiantes de la Universidad del Valle y del Quindío puedan interactuar directamente con las plataformas mediante su programación y supervisión, facilitando y apoyando aprendizaje de conceptos en robótica relacionadas con ellas.

En las siguientes secciones se presentan los conceptos básicos relacionados con los laboratorios virtuales y su impacto en la enseñanza, específicamente en el área de la ingeniería.

Finalmente, se presenta la arquitectura del laboratorio distribuido implementado, sus principales características y las áreas temáticas de la robótica que impacta.

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

Laboratorios virtuales basados en Internet

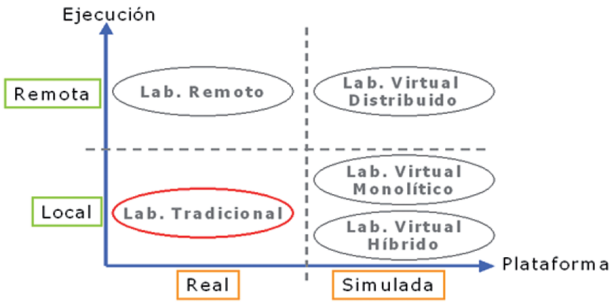
Un laboratorio virtual se puede definir como un sistema de experimentación basado en una infraestructura de comunicación, como la proporcionada por Internet, en donde el usuario y los dispositivos a controlar (reales o simulados) están geográficamente separados y donde las tecnologías de la información y las comunicaciones se usan para permitir a los usuarios acceder a dichos equipos (Dalton, 2001), (Khamis, 2003), (TakSum, 1999). Normalmente las interfaces de experimentación de los laboratorios son complementadas con metodologías que guían a los usuarios en la forma adecuada de configurar y realizar los experimentos, obtener y descargar los resultados.

Tipos de laboratorios virtuales

Existen variantes de los laboratorios virtuales que se diferencian principalmente en la forma en la que se realiza la interacción entre el usuario y el experimento (Figura 1). Una posible clasificación podría ser la siguiente (Sánchez J. *et al*., 2005):

- Laboratorio remoto: se accede a través de Internet a un sistema físico real para su manipulación directa. El software utilizado para el control remoto puede ser un navegador Web o una aplicación que debe ser descargada del servidor del laboratorio. En algunas casos es posible tener realimentación visual e incluso de audio, en tiempo real.
- Laboratorio virtual monolítico: utilizando un navegador se descarga una aplicación (*Applet*, *ActiveX*, etc) que opera localmente como un recurso simulado. Es decir, la interfaz y el núcleo de simulación constituyen un único objeto. No se necesita la instalación de ningún entorno de simulación, salvo el software necesario para la ejecución de la aplicación (*plug-ins*, *run-time* de Java, *Labview*, *SysQuake*, etc).
- Laboratorio virtual distribuido: el cliente utiliza una aplicación (página *HTML*, *Applet*, *ActiveX*, etc.) para conectarse con un servidor en el que se encuentra todo el software de simulación. El cliente ejecuta exclusivamente la interfaz en su computador, estableciéndose un diálogo a través de la red entre la interfaz y el servidor de simulaciones.
- Laboratorio virtual híbrido: es análogo al monolítico pero necesita obligatoriamente que el cliente tenga instalado en su computador el entorno de modelado o simulación como por ejemplo *Matlab/Simulink* o *LabView*.

Figura 1. Tipos de Laboratorios Virtuales



Internet como medio de comunicación

Internet se usa como medio de comunicación en el desarrollo de sistemas de interacción remota, aprovechando su fácil accesibilidad, alta disponibilidad, alta flexibilidad y bajo costo. Sin embargo, al implementar aplicaciones sobre Internet se debe tener en cuenta diversas condiciones que pueden afectar su desempeño (Barreto *et al*., 2004), (Jaising, 2003), (TakSum, 1999), (Xiaoping *et al*., 2003), tales como:

- **Retraso temporal:** causado por el efecto de encolamiento, el tiempo de procesamiento, el tiempo de transmisión en los interruptores y de propagación en las conexiones.
- **Reducido ancho de banda:** Causado por la congestión en la red y la interconexión de múltiples redes de datos entre el transmisor y receptor.
- **Pérdida de paquetes:** se origina por exceder la capacidad de la red, lo que puede ocasionar una pérdida de información parcial o total.
- **Jitter:** se define como la variabilidad instantánea del retraso temporal, es decir, el tiempo desde la generación de un paquete hasta que se recibe puede fluctuar de un paquete a otro.

Las principales debilidades de los laboratorios remotos frente a los tradicionales tienen su origen en

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

la pérdida de sensación de presencia y continuidad percibidas por los usuarios al momento de ejecutar los experimentos (Siegwart *et al*., 1999), (Terrence *et al*., 2001), la cual es causada por los anchos de banda limitados y los retardos temporales; otro factor que puede degradar la percepción del usuario respecto a este tipo de ambientes es la disminución en la fiabilidad del experimento debido al *Jitter* y a la pérdida de paquetes (Khamis, 2003), (Chen *et al*., 2007).

Los sistemas de experimentación remota necesitan de un ancho de banda adecuado para la transmisión de señales de control, información sensorial y realimentación visual. Un esquema para reducir la cantidad de datos transmitidos se basa en el uso de modelos de control supervisorio que permitan la interacción a un nivel más abstracto (Xiaoping *et al*., 2003), (Wang *et al*., 2005); esto implica aumentar la autonomía en el sistema remoto. Limitar la interacción a comandos de alto nivel ayuda a disminuir el consumo de ancho de banda mientras que incrementar la autonomía de la plataforma ayuda a reducir la sensibilidad al retraso temporal. La realimentación visual es el componente que exige el mayor consumo de ancho de banda, por lo que la transmisión de video e imágenes debe realizarse empleando formatos de compresión (MJPG ó MPEG4 por ejemplo) y limitando la frecuencia con la que se envía las imágenes. La percepción de movimiento y velocidad pueden degradarse si la tasa de actualización de video es menor a 10 Hz por lo que se recomienda mantener la transmisión de video al menos a 8 *frames* por segundo (Chen *et al*., 2007). Permitir a varios usuarios utilizar el sistema simultáneamente significa que los recursos del sistema deben compartirse, por lo que algunos tipos de interacción o realimentación deben restringirse según el tipo de usuario (por ejemplo para observadores), en especial aquellos que requieren un ancho de banda alto (Khamis, 2003).

Laboratorios virtuales y educación en ingeniería

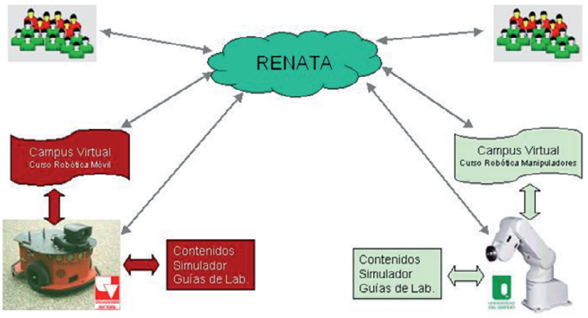
En los últimos años los laboratorios virtuales han empezado a tener un gran impacto en los sistemas educativos, gracias a las ventajas que se obtienen al utilizar este tipo de tecnologías como apoyo y complemento de los procesos de enseñanza-aprendizaje, especialmente en aquellas áreas (como la ingeniería) en donde las actividades de laboratorio juegan un rol fundamental (Herrera *et al*., 2006), (Hetero, 2007), (Másar *et al*., 2004), (Moreno, 2005), (Sanchez J. *et al*., 2005). Entre esas ventajas se destacan:

- Permiten a los profesores una mejor demostración de los conceptos físicos vistos durante las sesiones de clase, simplemente conectándose al laboratorio virtual y ejecutando los experimentos.
- Son una solución económica para apoyar los cursos de aprendizaje a distancia.
- Permiten el acceso a plataformas de experimentación de alto costo las 24 horas del día 7 días a la semana, entregándole a los estudiantes la posibilidad de interactuar con ellas.
- Si se orientan con una pedagogía y metodología adecuada pueden fomentar el trabajo colaborativo y el aprendizaje activo en el estudiante.

Laboratorio distribuido para robótica

El laboratorio distribuido para robótica ha sido desarrollado en el marco del proyecto de investigación *"Laboratorio distribuido con acceso remoto a través de RENATA para la experimentación en robótica"*. El laboratorio está constituido por una red de laboratorios remotos, ubicados físicamente en las Universidades del Valle y del Quindío, que apoyan la componente práctica de los cursos de robótica móvil y de manipuladores, aprovechando las plataformas de experimentación disponibles en estas instituciones (robot móvil Pioneer 3DX – Universidad del Valle y robot manipulador Mitsubishi RV-2AJ – Universidad del Quindío) y el canal de comunicación de alta velocidad soportado por la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada RENATA (Figura 2).

Figura 2. Estructura general del laboratorio distribuido para la experimentación en robótica



Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

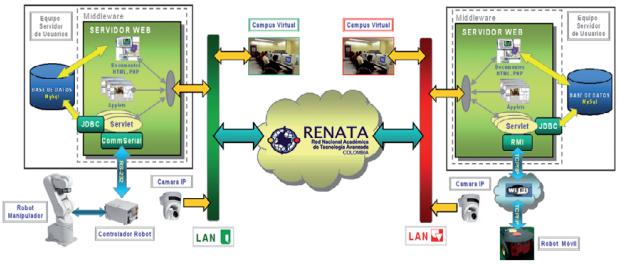
Este laboratorio distribuido proporciona herramientas de apoyo a la educación en el área de la robótica, ya que suministra a estudiantes e investigadores un acceso instantáneo a interfaces de experimentación remota, apoyadas en las herramientas de educación virtual disponibles en las Universidades, como el Campus virtual. La sinergia de estas herramientas promueve y facilita el desarrollo académico y científico en esta área, fomentando de esta manera el trabajo colaborativo, al socializar el acceso a recursos compartidos mediante infraestructuras de comunicación como la suministrada por RENATA, permitiendo la elaboración de proyectos de cooperación entre instituciones.

En este proyecto se propone una metodología de aprendizaje para la robótica móvil y robótica de manipuladores orientada a la teoría – práctica y aplicación. La fase teórica es proporcionada a través de una clase presencial, tutoría o discusión en grupo; luego, la fase práctica y de aplicación se realiza usando las herramientas de aprendizaje que los laboratorios virtuales ofrecen, las cuales combinan conceptos teóricos contextualizados en aplicaciones definidas. Esta última fase está constituida por varias sesiones prácticas con diferentes aplicaciones, donde cada aplicación es pertinente al área en cuestión, es decir, de robótica móvil y de manipuladores.

Arquitectura general del laboratorio distribuido

Cada interfaz para la experimentación remota sobre robots móviles y manipuladores se basa en un modelo cliente-servidor y está constituida por cuatro componentes básicos: la plataforma de experimentación (robot móvil Pioneer 3DX o robot manipulador Mitsubishi RV-2AJ) que actúa como servidor de datos, un servidor de usuarios, los usuarios y la estructura de comunicación que enlaza cada componente. El acceso a los laboratorios virtuales se realizará a través de los Campus Virtuales de cada institución, permitiendo que estudiantes de la Universidad del Quindío tomen un curso de Robótica Móvil y estudiantes de la Universidad del Valle tomen un curso sobre Manipuladores industriales (Figura 3). El proyecto contempla un enlace independiente a través de una interfaz Web, la cual controla el uso de los recursos por parte de los usuarios, asigna horarios, permite el registro de usuarios y la utilización de las herramientas de aprendizaje.

Figura 3. Arquitectura del laboratorio distribuido



El servidor de usuarios se enlaza a las plataformas de experimentación y mediante las redes de datos de las universidades a los usuarios finales, tanto externos como internos. Se puede dividir en dos módulos independientes: la interfaz de administración y el módulo *middleware*. La interfaz de administración se ejecuta sobre el servidor *Web APACHE* y además de albergar las aplicaciones que serán descargadas y ejecutadas por los clientes involucra un esquema de información (base de datos) para el registro de usuarios, el almacenamiento de información y la administración y gestión de los recursos del sistema (datos, video, etc). El nivel de *middleware* es el que permite que las aplicaciones (*Applets*) descargados por los usuarios puedan comunicarse con los robots para ejecutar los experimentos. El *middleware* está basado en la tecnología de *Servlets* de Java. Los *Servlets* son clientes del Servidor de Datos, por lo cual pueden acceder a la información generada por cada robot. Igualmente los *Servlets* emplean el API *JDBC* para actualizar continuamente la base de datos del sistema con información recibida según el experimento ejecutado.

El robot Mitsubishi RV-2AJ es un robot manipulador industrial que tiene 5 grados de libertad, con una articulación de tipo antropomórfico; en conjunto ofrece una capacidad de carga de 2 Kg. Este robot tiene un alcance de 410 mm y combina una velocidad máxima de 2100 mm/s con una repetibilidad de ±0.02 mm, lo que lo hace ideal para entornos pequeños y especialmente para prácticas académicas e investigativas. El robot viene equipado con el controlador Mitsubishi CR1-571, el cual tiene como unidad central de procesamiento un microprocesador DSP/RISC de 64 bits, que permite la ejecución de

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

hasta 32 programas en paralelo en modo multitarea. El controlador cuenta con un puerto serie RS-232 y 16 entradas/salidas digitales, mediante los cuales es posible comunicar el robot con el mundo exterior. El CR1-571 es el encargado del sistema de control del robot.

La comunicación entre el controlador del robot manipulador y el servidor de usuarios se realiza a través del puerto serie RS-232. El controlador dispone de un puerto dedicado para esta comunicación y de la misma forma se dispone de un servidor con este puerto. El protocolo de comunicación entre el servidor y el controlador del robot se obtuvo analizando el software propietario de Mitsubishi para el control y supervisión de sus robots. Se extrajeron e identificaron los comandos de movimiento, estado y notificación de errores, con el fin de lograr la capacidad de generarlos independientemente.

El robot móvil Pioneer 3DX, es un robot para interiores de tipo diferencial. Cuenta con un arreglo de sonares para la detección de objetos y encoders ópticos asociados a cada motor, que permiten determinar continuamente su velocidad y posición. La plataforma móvil se comunica a través de un enlace RS-232 con un computador portátil que almacena y ejecuta todos los programas de control del robot. Este computador hace parte de una red *LAN* inalámbrica (*WLAN*).

La aplicación software del robot móvil contiene los programas de control y supervisión del robot que soportan los experimentos desarrollados. La aplicación se comporta además como un servidor de datos que, a través del enlace inalámbrico, realimenta continuamente al servidor de usuarios con la información de estado del robot.

Los usuarios del sistema de experimentación remota acceden a las plataformas a través de las Interfaces de Usuario. Cada interfaz gráfica es creada empleando la tecnología *Applet* de Java. Al ser un *Applet*, la aplicación se descarga desde el Servidor de Usuarios y puede ser ejecutada por cualquier navegador Web con soporte Java (*Mozilla*, *Flock*, *Internet Explorer*, entre otros). En cada ambiente de experimentación dispone de una cámara *IP Axis 214 PTZ* que actúa como un servidor de video. Esta cámara entrega un flujo de video en formato *MJPG*, el cual es utilizado por la aplicación de usuario para generar una realimentación visual del entorno en el que se encuentra cada robot.

Análisis y discusión de resultados

Uno de los productos del proyecto fue la implementación de un campus virtual para los cursos de robótica de manipuladores y robótica móvil (Figura 4), mediante el cual se gestiona el acceso a las interfaces de experimentación remota y se presenta el contenido de las áreas temáticas y las practicas a desarrollar. El campus permite además controlar el registro de los estudiantes y administrar los recursos bibliográficos que apoyan a cada curso.

Figura 4. Campus virtual del laboratorio distribuido

El campus alberga los enlaces a las interfaces de experimentación. Estas interfaces se han estructurado con base a una arquitectura de tres niveles (cliente-*middleware*-servidor) y sobre una red de alta velocidad (*RENATA*), garantizando un ancho de banda adecuado, retrasos temporales bajos (menores a un segundo) y una transmisión de información sin interrupciones o bloqueos por parte de los *firewall* de red.

Laboratorio de robótica de manipuladores

El curso de robótica de manipuladores está fundamentado en la metodología de aprendizaje basado en problemas, donde al inicio en una reunión conjunta entre profesores y estudiantes se plantea

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

un problema, cuya solución se abordará a lo largo de todo el semestre con un proyecto de curso, apoyándose en la guía del profesor, los contenidos y las prácticas sugeridas. La meta final es adquirir las competencias necesarias para controlar y programar el robot manipulador pero a través de la solución de un problema inspirado en juegos de la vida cotidiana (lanzamiento de un dardo con el brazo robótico, juego de baloncesto, brazo robótico pintor, entre otros). Para esto, el estudiante programará secuencias de movimientos, soportadas por el lenguaje de programación MELFA BASIC IV, para que el robot realice una tarea determinada. Los conceptos de robótica de manipuladores están fundamentados en la cinemática inversa y directa, espacio de trabajo, programación secuencial de acciones, seguimiento de trayectorias y realimentación sensorial.

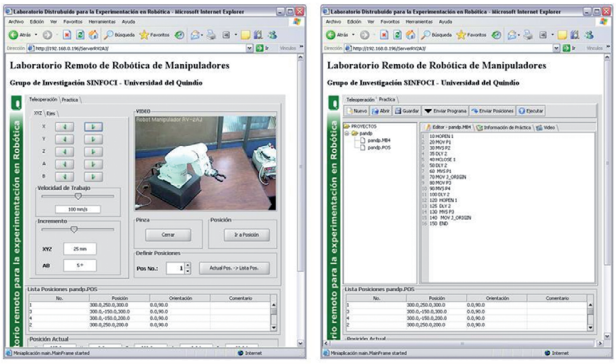
La tabla 1 muestra las áreas temáticas del curso, sus objetivos y las prácticas propuestas. Una de las prácticas es la teleoperación del robot manipulador, donde el estudiante controlará y conocerá el robot manipulador a través de la interfaz de experimentación remota. Así mismo, entre los proyectos finales se tiene el proyecto del **Robot Escritor o Dibujante,** donde el estudiante deberá escribir un texto o realizar un dibujo sobre un tablero utilizando la interfaz de experimentación remota. Otro será, el proyecto de las **Torres de Hanoi**, donde el estudiante programará al robot para que solucione el problema clásico de programación de las Torres de Hanoi.

Tabla 1. Áreas temáticas del curso de robótica de manipuladores apoyadas por las herramientas de la interfaz de experimentación

TEMA	CONTENIDO	PRÁCTICAS	OBJETIVOS
1. Introducción a la robótica	Breve historia. Clasificación y aplicaciones. Tendencias. Diagrama genérico. Morfología de los manipuladores. Brazos mecánicos y elementos terminales. Actuadores. Sistema sensorial. Sistema de Control. Robot Mitsubishi RV-2AJ.	***Teleoperación del robot manipulador Mitsubishi RV-2AJ***	Apropiar los conceptos fundamentales de los robots manipuladores
3. Cinemática y dinámica de un manipulador	Espacios articular y cartesiano. Cinemática Directa. Cinemática Inversa. Cinemática de Movimiento. Modelo de Lagrange. Modelo de Newton-Euler. Ejemplos.	***Modelo y dinámico cinemático de un robot manipulador***	Analizar y estudiar la posición y orientación en el plano y en el espacio del robot manipulador. Analizar y estudiar los modelos cinemáticos y dinámicos de los robots manipuladores, con el fin de realizar simulaciones de estos modelos.
3. Control de robots manipuladores	Generación de trayectorias. Control de Movimiento en el espacio articular. Control de Movimiento en el espacio cartesiano.	***Control de movimiento para un robot manipulador***	Describir las técnicas de control de un robot manipulador, así como las técnicas para la generación de trayectorias que debe seguir el robot cuando realiza una tarea.
4. Programación de robots manipuladores	Programación off-line. Programación on-line. Lenguajes de programación de robots manipuladores. MELFA BASIC IV.	***Programación del robot manipulador Mitsubishi RV-2AJ***	Describir los métodos de enseñanza para un robot manipulador, mediante aprendizaje directo o mediante lenguajes de programación de robots.
5. Aspectos prácticos y aplicaciones	Requisitos de instalación. Normas y seguridad industrial. Aplicaciones.	***Proyecto Final***	Apropiar los criterios, normas y técnicas necesarias para el diseño y la implementación de sistemas robotizados para la solución de problemas.

La figura 5, muestra la interfaz remota para la experimentación en robótica de manipuladores, que está constituida por dos paneles principales, uno para la teleoperación del robot manipulador (Figura 5(a)) y otro para la implementación de las prácticas (Figura 5(b)).

Figura 5. Interfaz remota para robótica de manipuladores: (a) panel teleoperación, (b) panel prácticas



(a) (b)

Para la teleoperación se disponen de dos pestañas que permiten manipular el robot en el espacio cartesiano o modificando la posición de cada articulación. Así mismo, permite situar al robot en una posición del espacio cartesiano por medio de un diálogo, donde se fija la posición desaseada. De la misma forma, se puede manipular la pinza (abrir y cerrar). También, se dispone de dos paneles para la declaración y visualización de las posiciones que se utilizarán en el panel de las prácticas.

El panel para la implementación de las prácticas, permitirá a los estudiantes crear archivos de posiciones y de programación en el lenguaje MELFA

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

BASIC IV, para la realizar tareas específicas con el robot manipulador, que finalmente se convertirán en proyectos que serán ejecutados en el controlador del robot. Para la teleoperación y la ejecución de los experimentos se dispone de un modulo de video que entrega al estudiante la realimentación visual del robot y su entorno. Se cuenta además con un modulo que muestra la información de la posición actual del robot.

Laboratorio robótica móvil

Las herramientas de aprendizaje en robótica móvil están basadas en una serie de experimentos que buscan enriquecer y apoyar las áreas temáticas del curso (tabla 2). Se crearon diferentes tipos de experimentos: teleoperación, seguimiento de muros, seguimiento de trayectorias, reconstrucción de entornos y navegación reactiva. Cada experimento se construye a partir de comportamientos o habilidades básicas programadas en el robot; estas habilidades representan las capacidades sensoras y motoras de la plataforma (Barber, 2000). Igualmente el usuario puede utilizar la herramienta de teleprogramación para combinar habilidades básicas con el fin de lograr comportamientos más complejos que den solución a problemas típicos en robótica (como por ejemplo la navegación evitando obstáculos).

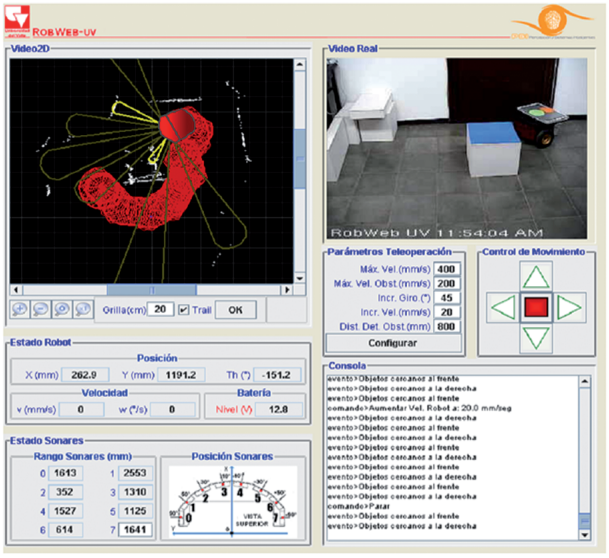
Tabla 2. Áreas temáticas del curso de robótica Móvil apoyadas por las herramientas de la interfaz de experimentación

TEMA	CONTENIDO	HERRAMIENTA	OBJETIVO
1. Introducción y motivación	Definiciones básicas, morfología, niveles de control, aplicaciones, líneas de investigación.	***Experimento Teleoperación***	Apropiar el conocimiento de un robot móvil de tipo diferencial real e interactuar con él.
2. Percepción y Actuación	Tipos de sensores, percepción, sensores en robótica móvil, conceptos básicos de movimiento, control de movimiento.	***Experimento Teleoperación, Seguir Muros, Seguir Trayectorias, Reconstrucción de Entornos, Navegación Reactiva***	Diseñar tareas comunes de los robots móviles usando sensores reales (odometría, láser, sonares) y actuadores del robot en diferentes entornos.
3. Programación Orientada a Comportamientos	Conceptos básicos, esquemas de percepción, diseño de controladores basados en comportamientos, esquemas de Actuación.	***Experimento Programación basada en Habilidades***	Programar el robot para la realización de tareas complejas (navegación evitando obstáculos por ejemplo). El estudiante dispone de una serie de comportamientos (habilidades) básicos que puede configurar y mezclar usando diferentes tipos de coordinadores.
4. Modelo cinemático y dinámico de un robot móvil	Conceptos básicos, modelo cinemático, modelo dinámico	***Experimento Teleoperación, Seguir Trayectorias***	Modelar el funcionamiento del robot móvil desde el punto de vista de su cinemática.
5. Modelo cinemático de sensores	Conceptos básicos, modelo cinemático, ejemplo.	***Experimento Teleoperación, Reconstrucción de Entornos, Seguir Muros, Navegación Reactiva***	Modelar el funcionamiento real de sensores de rango (láser y sonar).
6. Localización	Estrategias de localización, corrección de errores odométricos, visión.	***Experimento Teleoperación, Seguir Trayectorias, Reconstrucción de Entornos***	Modelar el concepto de localización o posicionamiento del robot (odometría) y su fusión con la información sensorial generada por los dispositivos de rango (láser) y giroscopio para corrección de errores
7. Navegación Deliberativa	Campos de potencial al detalle, estrategias deliberativas	***Experimento Seguir Trayectorias, Navegación Reactiva, Herramientas deliberativas (en construcción)***	Generar trayectorias para el desplazamiento del robot a partir de información recibida de una cámara de visión global.
8. Cooperación	Conceptos básicos, tipos de cooperación, la percepción y actuación desde el punto de vista de la cooperación, problemas adicionales de control que implica la cooperación.	***Herramientas de cooperación (en construcción)***	Interactuar con dos o mas plataformas móviles buscando que realicen una tarea cooperativa.

Cada experimento, incluyendo el de teleprogramación, se ejecuta a través de interfaces gráficas independientes. Estas interfaces están constituidas por diferentes paneles organizados de acuerdo al tipo de experimento que se desee realizar (figura 6). Existen paneles que son reutilizables para todos los experimentos como por ejemplo el panel de video real, el panel de estado, el panel de sonares y el panel de consola. Algunos paneles pueden cambiar según el tipo de experimento (como por ejemplo el panel del video 2D) y otros son específicos para cada experimento (como por ejemplo el panel de control Directo o los paneles de configuración de parámetros). Cada panel tiene una función particular y en conjunto le entregan al usuario además de la capacidad de supervisión y monitorización de la plataforma móvil, una manera de evaluar los resultados del experimento realizado, gracias a la realimentación sensorial y de estado del robot (odometría, sensores de rango, eventos) y la realimentación visual generada (video real y video 2D). Entre los paneles sobresale el de Video 2D, en donde se realiza una fusión de información entre los datos entregados por los sensores de rango y los entregados por los sensores propioceptivos del robot, con el fin de generar un mímico que representa gráficamente el funcionamiento del robot y su interacción con el entorno. Este mímico es una herramienta grafica útil que junto a la realimentación visual le permite al estudiante determinar el estado del robot y de sus sensores así como las características del ambiente en el éste se encuentra.

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

Figura 6. Interfaz remota para la teleoperación del robot móvil



Conclusiones

Se ha presentado un laboratorio distribuido remoto para la enseñanza de la robótica, en el cual a través de la red de datos de alta velocidad RENATA se permite: la programación, supervisión y visualización (real y mímico en 2D) de la plataforma móvil Pioneer 3DX a los estudiantes de la Universidad del Valle y de la Universidad del Quindío; y la programación, supervisión y visualización del brazo robótico industrial Mitsubishi RV-2AJ a los estudiantes de las mismas universidades. Esta herramienta de aprendizaje en ingeniería está siendo utilizada preliminarmente en las asignaturas de: Robótica Móvil de la Universidad del Valle y de la Universidad del Quindío.

A través de esta herramienta de experimentación se pretende un aprendizaje interactivo de los conceptos de la robótica móvil y de manipuladores; además, esta herramienta está diseñada e implementada con el fin de que los estudiantes de ingeniería desarrollen sus habilidades de trabajo en grupo, multidisciplinar y exploten sus conocimientos específicos para el desarrollo de proyectos, competencias que los ingenieros deben demostrar para insertarse laboralmente en la sociedad actual.

El principal potencial del proyecto de investigación que se presenta en este artículo se orienta a ser una herramienta de aprendizaje de la robótica, la cual está asociada a la reconstrucción de los esquemas cognitivos actuando sobre las formas en que el alumno se apropia del conocimiento, como por ejemplo el análisis e interpretación de situaciones problemáticas, la formulación de estrategias y mecanismos de seguimiento de las mismas, el desarrollo de modelos para el trabajo colaborativo y cooperativo y el desarrollo de proyectos de trabajo como herramienta que sustenta la solución de las situaciones problemáticas. Finalmente, se espera que el laboratorio distribuido de robótica móvil y de manipuladores, no solo sea usado por la Universidad del Valle y la del Quindío, sino, por muchos grupos de investigación y Universidades del país que no poseen los suficientes recursos de software y hardware para interactuar con robots reales.

Referencias

Barber Castaño, Ramon. (2000). Desarrollo de una Arquitectura para Robots Móviles Autónomos, Aplicación a un Sistema de Navegación Topológica. Tesis Doctoral Universidad Carlos III de Madrid.

Barreto Miguel, Florez Julian. (2004). Laboratorio Virtual para la Experimentación Remota sobre una Plataforma Servo Motor. Tesis Pregrado, Universidad del Valle.

Chen J., Hass E., Barnes M. (2007). Human Performance Issues and User Interface Design for Teleoperated Robots. IEEE Transactions on Systems, Mand, and Cybernetics, Applications and Reviews, Volumen 37, numero 6, Noviembre.

Dalton Barnaby. (2001). Techniques for Web Telerobotics. Tesis doctoral, Department of Mechanical and Materials Engineering University of Western Australia, Australia.

Herrera O., Alves G., Fuller D., Alduante R. (2006). Remote Lab Experiments: Opening Possibilities for Distance Learning in Engineering Fields. Education for the 21st Century-Imact of ICT and Digital Resourses, IFIP International Federation for Information Processing, SpringerLink.

Hetero, herramienta de tele-enseñanza de robótica. (2007). Consultado el 15 de Febrero en: http://www.esi2.us.es/ISA/GAR/GVR/hetero/.

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

Jaising Jitendra. (2003). Internet-Controlled Robots and Wireless Sensor Networks Communication: Problems and Issues. Tesis de Maestría, The University of Alabama, Estados Unidos.

Khamis R. Alaa. (2003). Interacción Remota con Robots Móviles Basada en Internet. Tesis Doctoral Universidad Carlos III de Madrid.

Masár I., Bischoff A., Gerke M. (2004). Remote experimentation in distance education for control engineers. Proceedings of Virtual University 2004, Bratislava, Slovakia, Diciembre.

Meléndez J. , Colomer J., De la Rosa, L.L, Fabregat, R. , Macaya D. (2001). Experiencias en teleoperación de procesos y telenseñanza en la Universitat de Girona. II Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet/Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática (EIWISA 2001), Madrid.

Moreno Ruiz Desire. (2005). Internet y educación, Revista Digital Investigación y educación. revista No. 15, Febrero.

Núñez E., Fernández L., Ramirez J. (2008). Aproximación al aprendizaje por proyectos en sistemas lineales de control. Consultado el 20 de Diciembre de 2008 en: http://objetos.univalle.edu.co/files/Aproximacion_al_aprendizaje_proyectos_sistemas_lineales_control.pdf.

Rodríguez F., Salichs M., Khamis A. (2001). Teaching Mobile Robotics to Anyone, Anywhere at Anytime. 1st. EURON Workshop on Robotics Education and Training, Alemania.

Sánchez José, Candelas Francisco. (2005). Recursos Didácticos Basados en Internet para el Apoyo a la Enseñanza de Materias del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Volumen 2, Numero 2.

Sánchez L., Rodríguez J., Narvaez R. (2005). Un laboratorio escolar de robótica remoto en ambiente colaborativo. Departamento de Ciencias de la Computación. Universidad Nacional de Comahue 2005. Consultado el 10 de Febrero de 2007 en: http://colos.fcu.um.es/TICEC05/TICEC05/54_567.pdf.

Sartorius A., Hernandez L., Arcil R. (2005). Laboratorio a Distancia para la Prueba y Evaluación de Controladores a través de Internet. Revista Controle & Automação, Volumen 16, No.1.

Siegwart R., Saucy P. (1999). Interacting Mobile Robots on the Web. ICRA´99. Estados Unidos.

TakSum Ho Teresa. (1999). System Architecture for Internet-based Teleoperation System. Tesis Maestría, University of Alberta, Edmonton Alberta.

Terrence F., Thorpe C., Baur Ch. (2001). Advanced Interfaces for Vehicle Teleoperation: Collaborative Control, Sensor Fusion Displays, and Web-Based Tools. Autonomous Robots, Vol. 11, No. 1, Julio.

Unesco-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2000). Informe de la reunión de expertos sobre laboratorios virtuales. Paris. Consultado el 10 de Febrero de 2007 en: http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001191/119102S.pdf.

Xiaoping P., Meng M., Yang S. (2003). Data Communications for Internet Robots. Autonomous Robots No. 15, Kluwer Academic Publishers, Holanda.

Wang M., Lui J. (2005). Interactive control for Internet-based mobile robot teleoperation. Robotics and Autonomos Systemes No. 52, ELSEVIER.

Sobre los autores

Eduardo Caicedo Bravo

Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle, Máster en Tecnologías de la Información y Doctor en Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Profesor titular de la Universidad del Valle, Cali (Colombia) y Director del Grupo de Investigación Percepción y Sistemas Inteligentes – PSI, Ciudad Universitaria Meléndez Edificio 354. Areas de interés: instrumentación electrónica, educación en ingeniería, inteligencia artificial y robótica. ecaicedo@univalle.edu.co

Eval Bladimir Bacca Cortes

Profesor asistente de la Universidad del Valle, Ingeniero Electrónico y Magíster en Automática de la misma Universidad. Actualmente es estudiante de Doctorado en la Universidad de Girona, España (beca LASPAU-COLCIENCIAS-Universidad del Valle). Integrante del grupo de investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes – PSI, Ciudad Universitaria Meléndez Edificio 354, evbacca@univalle.edu.co. Áreas de intereses: robótica móvil, Procesamiento de imágenes e inteligencia computacional.

Jaiber Evelio Cardona

Magíster en Ingeniería con énfasis en Automática, Programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica - PPIEE de la Universidad del Valle. Docente e investigador en del Grupo de Automatización y Máquinas

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

de Aprendizaje – GAMA de la Universidad del Quindío, Armenia (Colombia). Áreas de interés: control inteligente, inteligencia artificial y robótica.
jaibercardona@uniquindio.edu.co

Jaime Alberto Buitrago
Estudiante de maestría en Ingeniería con énfasis en Electrónica, Programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica - PPIEE de la Universidad del Valle. Docente e investigador en la línea de investigación de robótica del grupo de Investigación Sistemas de Información y Control Industrial – SINFOCI de la Universidad del Quindío, Carrera 15 Calle 12 Norte. Áreas de interés: interfaces remotas, robótica y arquitectura de computadores.
jalbertob@uniquindio.edu.co

Bayron Andres Calvache
Estudiante de maestría en Ingeniería con énfasis en Automática, Programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica - PPIEE de la Universidad del Valle. Docente e investigador en el grupo Percepción y Sistemas Inteligentes–PSI de la misma Universidad, ciudad Universitaria Meléndez Edificio 354. Áreas de interés: robótica móvil, laboratorios remotos, instrumentación y sistemas embebidos.
bayronca@univalle.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2009 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería