**Sistema de Laboratorios a
Distancia (SLD):
laboratorio para la
enseñanza del control
automático a distancia**

Aldo R. Sartorius Castellanos
Luis Hernández Santana
Rafael Aracil Santonja
Ernesto Rubio Rodríguez
Iván Santana Ching

**Remote Laboratory Systems (RLS):
Learning laboratory in the
automatic control at distance**

Resumen: En este trabajo es presentado el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD), el cual es un laboratorio a distancia enfocado al estudio del control automático desarrollado en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. El principal objetivo de este laboratorio es permitir a los usuarios aprender a ajustar controladores predefinidos y a diseñar sus propios controladores para posteriormente probarlos sobre un conjunto de dispositivos físicos a través de Internet. El SLD utiliza herramientas de diseño de sistemas de control asistido por computadora como Matlab-Simulink para la creación de nuevos controladores, lo que facilita a los usuarios el uso del sistema. El SLD permite una rápida y fácil integración de nuevos procesos para experimentos de control y en la actualidad están disponibles tres dispositivos: un motor de corriente directa y un robot manipulador en Cuba así como un cilindro electro neumático en España.

Palabras clave: Educación a distancia. Laboratorio real. Laboratorio virtual. Sistemas de control.

Abstract: This work aims at presenting the Remote Laboratories System (RLS), a virtual and remote laboratory, in connection with the automatic control laboratory developed at the *Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas*. The main objective of this laboratory is to allow users to learn how to regulate predefined controllers and later to design their own controllers in order to test them on a set of physical devices through the Internet. The RLS uses computer assisted design control systems tools - like the *Matlab-Simulink* - in new controllers creation, makes it easier to users when utilizing the system. The RLS allows a fast and easy integration of new processes with control experiments and, at present, three devices are available: a RC engine and a manipulator robot in Cuba, as well as an electric-pneumatic cylinder in Spain.

Keywords: Distance Education, Remote Laboratory, Virtual Laboratory, Control Systems

CASTELLANOS, Aldo R. Sartorius et al. Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD): Laboratorio para la enseñanza del control automático a distancia. *Informática na Educação: teoria & prática*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 11-24, jan./jun. 2004.

1 Introducción

En los últimos años se ha presentado un cambio dramático en la educación debido principalmente a Internet y a las tecnologías *Web*. La enseñanza basada en *Web*, los cursos a distancia, los libros electrónicos y las plataformas interactivas de educación a distancia juegan un papel cada vez más importante en el proceso de aprendizaje. En Alhalabi et al. (1998), el autor analiza el estado del arte de la educación a distancia. Un estudio sobre los sistemas educativos basados en *Webs* proporcionado en Ausserhofer (1999), donde se realiza una descripción detallada de los problemas actuales concernientes al diseño de sistemas educativos basados en *Web* y sus posibles soluciones. En Shor (2000), el autor proporciona algunas recomendaciones en cuanto a las características que deben tener los laboratorios a distancia, además de analizar los beneficios económicos y de cooperación que representa su uso. El área de control automático es una de las áreas técnicas que más ha explotado las nuevas tecnologías para desarrollar herramientas que faciliten el aprendizaje a distancia (CASINI, et al., 2003). Un profundo análisis sobre la enseñanza del control automático usando las nuevas tecnologías *Web* es reportado en Sebastián (2002). En Poindexter et al. (1999), Poindexter y Heck presentan una guía para utilizar los sistemas de educación a distancia basados en *Web* en el área del control automático. En este artículo los autores prestan especial atención a los laboratorios a distancia que son accesibles a través del *Web*. Los laboratorios a distancia basados en *Web* se pueden clasificar en dos grandes clases: virtuales y reales. Los laboratorios a distancia virtuales se basan en la simulación de sistemas físicos de forma remota. En ellos a través de la animación por computadora y el uso de software especializado se pueden representar estos sistemas

físicos de forma gráfica y analítica. En la actualidad es uno de los métodos más utilizados en los programas de enseñanza a distancia basados en *Web* (ALHALABI, et al., 2000). En Schmid (1998), se presenta un laboratorio virtual que hace uso de dos *plug-in*, uno para visualizar los datos en el navegador del cliente y otro para comunicarse con *Matlab* en el servidor remoto. En Chaudhuri et al. (2003), se presenta un laboratorio virtual que hace uso de las potentes capacidades de *LabVIEW* para implementar un laboratorio virtual de control de procesos.

Los laboratorios a distancia reales en cambio, permiten a los usuarios interactuar con dispositivos reales a través de Internet. Normalmente los usuarios a través de una interfaz *Web* pueden cambiar algunos parámetros de control, realizar los experimentos, ver los resultados y descargar los datos del experimento. Este tipo de experimentos son presentados por ejemplo en (KO, et al., 2001), donde un laboratorio a distancia real para control de nivel en tanques es mostrado; en Domínguez et al. (2001), es descrito un laboratorio remoto para el control de procesos; y en Hahn et al., (2000) están disponibles varios experimentos con sistemas mecánicos.

La complejidad en el diseño del *hardware* y principalmente del *software* se incrementa drásticamente en los sistemas que permiten a los usuarios diseñar controladores de forma remota. Un ejemplo de esto es el caso del sistema presentado en Chiculita et al. (2002), en donde los usuarios pueden controlar de forma remota el nivel de un tanque, modificar algunos parámetros y transmitir el programa de control, el cual cambiara la dinámica en lazo cerrado del sistema. En este laboratorio los usuarios pueden desarrollar sus propios controladores utilizando el lenguaje *Phyton*. Este código es

enviado al servidor del laboratorio remoto en donde es compilado y ejecutado para controlar el proceso. La interfaz de usuario de este sistema fue desarrollada como una aplicación gráfica que utiliza el protocolo TCP/IP para comunicarse con el servidor. Un enfoque diferente es presentado por Timothy Chang y Douglas Hung en Chang, et al. (2000), en donde los usuarios pueden implementar sus propios controladores de forma remota, utilizando un conjunto de funciones desarrolladas en lenguaje C. Este código es compilado por el servidor del laboratorio remoto y cargado en una tarjeta provista con un procesador digital de señales que se encarga de controlar un motor con un péndulo invertido.

En general los laboratorios a distancia utilizan software ampliamente conocido como LabVIEW (TREVELYAN, 2002) y *Matlab-Simulink* (DIXON, et al., 2001, JUNGE, et al., 2000), pero también en algunos sistemas utilizan software específico desarrollado para este fin, tal es el caso del sistema propuesto por Frangu y Chiculita en Frangu et al. (2002), donde un proceso de control de niveles es presentado. Este artículo describe el diseño y construcción de un laboratorio a distancia virtual y real enfocado al estudio del control automático que ha sido desarrollado en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas. El SLD permite a los usuarios cambiar las referencias, modificar los parámetros de control, variar el tiempo de muestreo y diseñar sus propios controladores de una forma sencilla, utilizando herramientas ampliamente conocidas en el área del control automático como son *Matlab y Simulink*. La principal característica del SLD es que los usuarios del sistema pueden crear controladores complejos, que no están restringidos a los bloques provistos por *Simulink*, ya que se pueden implementar controladores que utilicen sus propios bloques de *Simulink*, creados a través de S-Functions definidas por el usuario

en lenguaje C. Los autores piensan que un punto muy importante es que el sistema es accesible a todos los usuarios de una forma sencilla, utilizando una computadora conectada a Internet y cualquier navegador *Web*, sin necesidad de descargar o instalar ningún software adicional para ello.

Este artículo es organizado de la siguiente forma: La sección 2 describe las características comunes y específicas del SLD así como algunas notas sobre su funcionamiento general. La sección 3 describe el uso del SLD desde un punto de vista práctico. La sección 4 explica la creación de controladores por parte de los usuarios. En la sección 5 se describe la administración del sistema. En la sección 6 son comentadas algunas experiencias del uso del SLD mientras que las conclusiones son mostradas en la sección 7.

2 Características del sistema

El SLD es un laboratorio a distancia virtual y real, cuyo principal objetivo es permitir a los usuarios aprender a ajustar controladores predefinidos y a diseñar sus propios controladores para probarlos en dispositivos reales que son accesibles a través de Internet.

2.1 Características comunes de los laboratorios a distancia

El SLD posee algunas características comunes con la gran mayoría de los laboratorios a distancia implementados actualmente (BAUCHSPIESS, et al., 2003), (GARCÍA, et al., 2003), tales como:

Disponibilidad: Los sistemas de enseñanza basados en *Web* deben de poder estar disponibles las 24 horas del día. Esto implica que el sistema debe de tener medidas de autoprotección para garantizar este aspecto. Todos los experimentos deben de ser equipa-

dos con dispositivos hardware y software que prevengan daños al equipo o al personal presente en el laboratorio.

Accesibilidad: Debido a que el SLD esta montado sobre una plataforma *Web*, permite a los usuarios acceder al sistema desde cualquier parte del mundo. Para ello solo es necesaria una computadora con conexión a Internet y un navegador *Web*, tales como el *Internet Explorer* o *Netscape Navigator*.

Facilidad de uso: Para utilizar el SLD los usuarios solo deben tener los conocimientos básicos de los sistemas de control, tales como el modelado de dispositivos físicos y el diseño de controladores. De esta forma el usuario se centra en aprender estos temas y evita todos los problemas asociados a la implementación y operación de los equipos usados en las prácticas.

2.2 Características específicas del SLD

Además de las características descritas anteriormente, las cuales son comunes a la mayoría de los laboratorios virtuales y remotos, el SLD posee características adicionales que son comentadas a continuación:

Interfaz rápida y fácil: Una parte muy importante en el desarrollo de un sistema de enseñanza basado en *Web* es la interfaz de usuario. La principal función de esta parte del sistema es conformar el pedido de las prácticas y mandarlo hacia el servidor *Web*. La interfaz de usuario del SLD esta basada en páginas *html* y *ASP*; esto permite que los usuarios puedan acceder al sistema de una forma rápida y sin necesidad de descargar o instalar ningún software adicional. El sistema cuenta también con páginas de ayuda que proporcionan información técnica a los usuarios, tal como el modelado matemático de los dispositivos usa-

dos en las prácticas, datos del fabricante y ajuste de reguladores entre otros tipos de interés para las prácticas.

Administración de múltiples pedidos en forma paralela: El SLD es capaz de atender múltiples pedidos de prácticas de forma paralela, administrando centralizadamente, dispositivos similares que se encuentren geográficamente separados pero unidos por redes de área extensa. Esto permite una mayor disponibilidad de los equipos y un servicio más rápido y eficiente para los usuarios, lográndose con esto reducir los tiempos de espera para que un usuario realice una determinada práctica.

Desarrollo de controladores de forma remota utilizando Matlab y Simulink: Una de las características más importantes del SLD, es que posibilita a los usuarios diseñar sus propios controladores utilizando el ambiente *Matlab-Simulink*. Estos programas son un estándar en el área del control automático, por lo que los usuarios no necesitan perder tiempo aprendiendo nuevos lenguajes de programación para implementar un controlador nuevo, solo necesitan un conocimiento básico del ambiente de *Matlab* y *Simulink*. A través de la interfaz gráfica de *Simulink*, una gran cantidad de bloques pueden ser seleccionados y conectados fácilmente, lo que permite a los usuarios crear controladores analógicos, digitales o híbridos de una forma muy rápida. Adicionalmente, el SLD no restringe a los usuarios a usar solo los bloques provistos por *Simulink*, sino que permite de forma opcional, la creación de controladores complejos que incluyan *S-Functions* definidas por el usuario. Estas *S-Functions* deben ser realizadas utilizando el lenguaje de programación *C*, el cual es un lenguaje muy potente y ampliamente conocido por la mayoría de los estudiantes de ingeniería en la actualidad.

Tipo de controlador: Todos los experimentos en el SLD pueden ser controlados de dos formas distintas: con controlador predefinido o con controlador definido por el usuario. En el primer caso los usuarios deben asignar los valores a las distintas ganancias del controlador, por ejemplo el usuario puede escoger un controlador PID y cambiar los parámetros de las ganancias proporcional, integral y derivativa para ver la respuesta del sistema. En el segundo caso los usuarios pueden diseñar su propio controlador (como se ha explicado en el punto anterior) y enviarlo al SLD donde será implementado y usado para controlar el experimento.

Cambio del periodo de muestreo: El SLD permite a los usuarios variar el periodo de muestreo de los experimentos. Esto permite examinar como afecta este parámetro en el diseño de controladores digitales y en general en el desempeño de cualquier experimento.

Cambio de referencias: El sistema permite variar las referencias de los experimentos para poder evaluar el comportamiento de un determinado controlador ante distintas señales de entrada.

2.3 Funcionamiento general DEL SLD

El SLD se divide en tres partes:

- 1.- Interfaz del usuario
- 2.- Administración de los pedidos de las prácticas.
- 3.- Procesamiento de las prácticas.

La Figura 1 muestra la interacción de estas tres partes. Los usuarios interactúan con el sistema a través de Internet. El sitio Web del sistema está totalmente desarrollado utilizando el lenguaje html y ASP. Al acceder al sitio

Figura 1: Arquitectura utilizada a nivel de software y de hardware en el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD)

Web, el usuario debe autenticarse y posteriormente elegir la práctica que se desea realizar. Allí el usuario debe llenar correctamente todos los datos en el formulario asociado a la práctica y finalmente elegir entre ejecutarla de manera simulada o real. El CGI que se encuentra en el servidor Web recibe los datos y los envía hacia el Servidor de Administración de Prácticas (SAP) como un nuevo pedido. El SAP verifica cuál estación de trabajo puede realizar la práctica pedida, y una vez que la encuentra, extrae el pedido de la lista y se lo envía al Cliente de Administración de Prácticas (CAP) instalado en la estación de trabajo. Cuando el pedido llega al CAP se procesan los datos y se lleva a cabo la práctica utilizando Matlab-Simulink. Una vez que la práctica ha sido procesada se transmite el resultado en sentido inverso al que trajo el pedido,

para que al final llegue hasta el usuario la respuesta de la práctica. La respuesta es una página *Web* que muestra los resultados del procesamiento.

El servidor *Web* y el *SAP* se encuentran instalados en una computadora que utiliza *Windows 2000* como sistema operativo. Las estaciones de trabajo necesitan tener instalado el *CAP* así como *Matlab* y *Simulink* para el procesamiento de las prácticas. Las estaciones de trabajo utilizan *Windows 98* como sistema operativo.

El sistema cuenta actualmente con tres procesos para realizar experimentos: un motor de corriente directa, un robot manipulador *Asea IRB-6* y un cilindro electro neumático. El motor de corriente directa es un proceso muy simple de una sola entrada y una sola salida, el cual nos permite realizar experimentos de identificación, control de posición y de velocidad sin disturbios de carga. El cilindro electro neumático es también un proceso de una entrada y una salida pero que exhibe un comportamiento no lineal; en él se pueden efectuar prácticas de control de posición y velocidad del vástago. El robot manipulador es un sistema con múltiples entradas y salidas que nos permite realizar prácticas más complejas, ya que es un sistema altamente acoplado y fuertemente no lineal. En él se pueden llevar a cabo prácticas de control de posición y seguimiento de trayectorias.

3 Uso del sistema de laboratorios a distancia

Cuando los usuarios acceden al sitio *Web* del *SLD*, lo primero que tienen que hacer es registrarse en el sistema proporcionando su nombre de usuario y su contraseña. Esto permite tener dos tipos de usuarios: usuarios de prácticas y administradores. Las funciones de los administradores serán comentadas en la

sección 5. Una vez dentro del sistema los usuarios de prácticas pueden llevar a cabo varias operaciones, tales como ver las páginas de teoría, contactar con los desarrolladores del sistema así como realizar las prácticas disponibles en el mismo. Todas estas páginas se encuentran localizadas en el servidor *Web*, el cual es común para todas las prácticas. Después de que el usuario selecciona alguna práctica, se le muestra una página *Web* que contiene el diagrama de bloques de la práctica a realizar, una explicación de la simbología utilizada en la misma, enlaces a las páginas de teoría asociadas y un formulario en donde el usuario puede modificar los parámetros del controlador, el tiempo de muestreo, el valor de las referencias o crear un controlador.

3.1 Prácticas con controlador predefinido

En este tipo de prácticas el usuario sólo necesita un navegador de *Web* (*Netscape*, *Internet Explorer* u otro) para acceder al sitio *Web* del *SLD*. Una página *Web* clásica para realizar este tipo de práctica es mostrada en la Figura 2. En ella aparece un formulario, donde se deben especificar los datos del controlador, el tiempo de muestreo o cualquier otro dato asociado a la práctica que se desea realizar.

Figura 2: Página *Web* y formulario para realizar prácticas con controladores predefinidos.

Adicionalmente se puede optar por dos formas de realización de las prácticas: de manera simulada, donde se simula la ejecución y se obtiene una respuesta idealizada de la práctica o de forma real.

3.2 Prácticas con controlador definido por el usuario

Cuando el usuario accede a alguna práctica en la que se puede desarrollar el controlador a emplear, es visualizada una página Web como la mostrada en la Figura 3.

Figura 3: P-gina Web y formulario para realizar prácticas con controladores definidos por los usuarios

De ella, el usuario debe descargar un archivo de *Simulink* que contiene el diagrama de bloques de la práctica a realizar. Para llevar a cabo este tipo de prácticas el usuario necesita tener instalado el software *Matlab-Simulink* para poder modificar el archivo de *Simulink* descargado, tal como se explicara en la sección siguiente.

4 Creación de controladores

Una de las características más importantes del SLD, es que permite a los usuarios la creación de sus propios controladores de forma remota. Estos controladores pueden ser creados utilizando solo bloques de *Simulink*, o de manera opcional, una combinación de bloques de *Simulink* con funciones definidas por el usuario. Para un mejor entendimiento se presentan ejemplos de creación de controladores definidos por el usuario para los dos casos: primero en un motor de corriente directa y posteriormente para un robot manipulador Asea IRB-6.

4.1 Creación de controladores utilizando bloques de Simulink

Cuando el usuario selecciona una práctica con posibilidad de crear un controlador, se le muestra una página Web que contiene un formulario como el mostrado en la Figura 4. En esta página el usuario debe descargar un archivo que contiene el diagrama de bloques de la práctica.

Figura 4: Formulario para realizar prácticas con controladores definidos por el usuario utilizando bloques *Simulink*

En este archivo el usuario debe modificar los subsistemas *referencia* y *controlador* utilizando el software *Matlab-Simulink*, sin alterar el nombre de las entradas y salidas de los subsistemas tal como se muestra en la figura

5, en donde el usuario utiliza una suma de tres senos como referencia en el subsistema *referencia* y ha creado un controlador PID dentro del subsistema *controlador*.

Figura 5: Referencia y controlador PID implementados por el usuario utilizando bloques de *Simulink* para controlar un motor de corriente directa

Una vez realizada la modificación, el usuario debe enviar al servidor el fichero de *Simulink* modificado y decidir si quiere efectuar una simulación o controlar el proceso real. Cuando se ha mandado a controlar el proceso real, el SLD realiza primero una simulación de la práctica y sobre los datos obtenidos de la misma, se realizan una serie de pruebas para determinar si el controlador se puede implementar en el sistema real. En el caso del motor de corriente directa estas pruebas se centran en determinar, mediante un análisis del espectro de frecuencia, si el sistema presenta oscilaciones de alta frecuencia que puedan dañar al motor mecánicamente o por temperatura. Una vez determinado este aspecto el SLD se encarga de implementar el controlador creado, compilar el sistema utilizando el *Toolbox Real Time Workshop (RTW)* y realizar la práctica en tiempo real.

4.2 Creación de controladores utilizando bloques de *Simulink* y *S-function* definida por el usuario

A través de esta funcionalidad el SLD permite la creación de controladores complejos, los cuales hacen uso de bloques de *Simulink* y de *S-Functions* escritas en lenguaje C. Cuando el usuario selecciona una práctica con posibilidad de crear un controlador y activa la casilla de creación de *S-Function*, se le muestra una página *Web* que contiene un formulario similar al del ejemplo anterior (Figura 4) pero que contiene cinco campos adicionales, como el mostrado en la Figura 6. Los campos adicionales son comentados a continuación:

Figura 6: Formulario para realizar prácticas con controladores definidos por el usuario utilizando bloques de *Simulink* y *S-Functions*

Nombre: En este campo se debe especificar el nombre de la *S-Function*. Este será el nombre del bloque definido por el usuario en el archivo de *Simulink*.

Número de entradas: Declara el número de entradas multiplexadas que entraran al bloque definido por el usuario.

Número de salidas: Especifica el número de salidas demultiplexadas que saldrán del bloque definido por el usuario.

Función principal: Aquí el usuario debe escribir el código de la *S-Function* especificando las entradas al bloque definido por el usuario como $u[0], u[1]...u[n]$ y las salidas como $y[0], y[1]...y[n]$. Este código debe ser escrito en lenguaje C.

Funciones auxiliares: En este campo el usuario puede escribir la declaración de las funciones auxiliares, las cuales serán llamadas desde la función principal. El código debe ser escrito en lenguaje C.

Al igual que en el ejemplo anterior, en esta página Web el usuario debe descargar un archivo de *Simulink* que contiene el diagrama de bloques de la práctica (robot.mdl en este caso). En este archivo el usuario debe modificar el subsistema *controlador* utilizando el software *Matlab-Simulink*, sin alterar el nombre de las entradas y salidas del subsistema, tal como se muestra en la figura 7, donde el usuario ha implementado un controlador PD con compensación adaptable. Este controlador utiliza

Figura 7: Controlador PD con compensación adaptable implementado por el usuario utilizando bloques de *Simulink* y *S-Functions* para controlar el robot manipulador Asea IRB-6

una función definida por el usuario a través de una *S-Function* llamada *Adaptable* en el subsistema controlador. En los cinco campos adicionales del formulario, el usuario deberá poner el nombre de la *S-Function* (en este caso *Adaptable*), el número de entradas (10 entradas), el número de salidas (2 salidas) y escribir el código principal de la función, así como las funciones auxiliares que utilizara tal como se muestra en la Figura 6. Una vez realizada la modificación y definida la *S-Function*, el usuario debe decidir si quiere realizar una simulación o controlar el proceso real. Cuando se ha mandado a controlar el proceso real, el SLD realiza primero una simulación de la práctica así como una serie de pruebas, que en el caso del robot manipulador, están centradas en tres aspectos:

1. Verificar que la trayectoria cartesiana no sobrepase el espacio de trabajo del robot manipulador.
2. Verificar las posiciones articulares, de manera que no sobrepasen los límites mecánicos de cada articulación.
3. Comprobar que el sistema en lazo cerrado, no presente oscilaciones de alta frecuencia que puedan desajustar mecánicamente al robot y/o dañar los actuadores del mismo.

Una vez determinados estos aspectos, el SLD se encarga de implementar el controlador, compilar el sistema utilizando el *Toolbox* RTW y realizar la práctica en tiempo real. En caso de que el SLD detecte que el controlador desarrollado representa un riesgo para el robot manipulador, se le informa al usuario la causa y le son proporcionados los datos y gráficos de la simulación realizada para que pueda examinar el comportamiento del sistema.

5 Administración del SLD

Para implementar la administración de horarios y usuarios del SLD, fue necesaria la creación y gestión de las bases de datos del servidor del sistema, así como la programación de la interfaz de usuario en ASP. Se utilizó SQL Server 2000 como mecanismo gestor de la base de datos, ya que es un sistema muy completo formado por un conjunto de componentes desarrollados para el almacenamiento y análisis de grandes sitios Web.

5.1 Base de datos del sistema

La base de datos del SLD está formada por las siguientes tablas:

User: Almacena los datos de todos los usuarios que han accedido al SLD, incluyendo el nombre de usuario y la contraseña.

Practices: Guarda todas las prácticas disponibles en el sistema, su nombre, la ubicación de su página Web asociada, etc.

Group: Engloba todos los grupos de estudiantes que existen en el sistema, para poder administrar, en caso de ser necesario, los tiempos de los laboratorios asignados a cada grupo.

Schedule: Contiene todos los horarios reservados para uso docente, así como las prácticas que han sido elegidas en los diferentes horarios.

Estas son las tablas fundamentales que utiliza el SLD, además de otras tablas que se utilizan para las relaciones entre ellas. Por ejemplo *UserByGroup* y *UserRoleByPractices* tal como se muestra en la figura 8. Los usuarios del SLD pueden tener rol de administrador del sistema o de usuario. Mientras que por cada

práctica pueden tener rol de registrado, estudiante, profesor o administrador.

Figura 8: Relación entre las distintas tablas que conforman la base de datos del SLD

5.2 Interfaz de usuario y de administración

Las páginas Web dinámicas fueron creadas utilizando la tecnología ASP. Esto incluye a las páginas de acceso a las prácticas, teoría y administración. Solo los usuarios con permisos de administración podrán ver la página de administración, pues el botón de acceso aparecerá solo para los que tengan ese rol en el sistema. El administrador mediante esta página puede gestionar los usuarios, las prácticas, las páginas de teoría, los grupos de laboratorios para uso docente y asignar, en caso de ser necesario, el horario de acceso a las prácticas. Los usuarios, una vez que acceden al sitio Web, pueden registrarse en el sistema si no lo han hecho, mediante una página Web que contiene todos los formularios necesarios. Si se comete algún error en el registro de usuarios el sistema informará al usuario, como por ejemplo, si el nombre de usuario ya fue elegido, si la dirección de correo no es válida o si la contraseña no cumple con los requisitos de tamaño (8 caracteres como mínimo). Es indispensable para usar el sistema estar re-

gistrado e introducir el nombre de usuario y la contraseña. Una vez autenticado, el usuario puede acceder a las páginas de teoría y a las prácticas que estén disponibles en ese momento. En caso de existir una práctica con horario reservado para uso docente y el usuario no pertenecer al grupo de laboratorio correspondiente, la práctica aparecerá deshabilitada y se le informará que está siendo usada por un determinado grupo y que deberá esperar a que el grupo termine de utilizarla para poder realizar la práctica.

El número de usuarios que pueden acceder simultáneamente al SLD no está limitado, sin embargo, el número de peticiones de prácticas que consigue atender simultáneamente el SLD si está limitado y es configurable por los administradores del sistema. Actualmente está configurado para atender hasta veinte peticiones de prácticas, las cuales se pueden llevar a cabo en distintas estaciones de trabajo. Cuando existe un número mayor de peticiones que el configurado en el sistema, el SLD informa al usuario que el servidor está congestionado y que deberá esperar un tiempo para poder realizar la práctica.

6 Experiencias de uso del SLD

Durante el año 2003 se realizaron las primeras pruebas del SLD desde México y España, con el fin de implementar controladores en los dispositivos localizados en Cuba. El SLD se utilizó para que los alumnos realizaran prácticas, de forma remota, en cursos de postgrado en las materias de teoría avanzada de control y robótica en el Instituto Tecnológico de Minatitlán en México. Durante estas prácticas el sistema trabajó de forma satisfactoria, con aproximadamente 30 usuarios utilizando el sistema, pero presentaba tiempos de espera grandes entre el momento de mandar a realizar la

práctica y el momento de recibir la respuesta, por lo que se empezó a trabajar en dos vías:

1. Modificar el formato de las imágenes para tener una carga más rápida en las páginas del sitio *Web*, así como revisar los algoritmos encargados de implementar los controladores, de forma que hubiera una reducción en el tiempo de procesamiento.

2. Realimentar al usuario los datos del proceso controlado, para que durante la espera de la página de respuesta, pueda visualizar en un *applet Java* el estado del proceso durante el control. Esto permite que el usuario sepa que está procesando la información y no piense que el sistema está colgado.

Las modificaciones referentes al primer punto se encuentran ya terminadas, mientras que las del segundo punto se encuentran actualmente en fase de desarrollo.

A partir del presente año el SLD ha sido utilizado para realizar prácticas en cursos de identificación y control de accionamientos en las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería en Automática en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas y en la Universidad de Cienfuegos, ambas localizadas en Cuba. Durante estas lecciones los usuarios mostraron un gran interés por controlar dispositivos de forma remota a través de Internet. Tras una breve explicación sobre los fundamentos teóricos de la práctica, los usuarios se registraron en el mismo y comenzaron a realizar experimentos en menos de cinco minutos. Uno de los aspectos que más estimuló a los estudiantes fue poder evaluar las diferencias entre los modelos matemáticos y los dispositivos reales. En promedio con quince alumnos por grupo, se realizan entre 60 y 80 prácticas en menos de 30 minutos, lo que da una idea de la alta tasa de

aprovechamiento de los equipos al accederlos de forma remota utilizando *Internet*.

7 Conclusiones

El SLD proporciona a los usuarios la facilidad de uso de paquetes como *Matlab* y *Simulink* en conjunto con el Toolbox RTW para la creación y prueba de controladores de forma remota en dispositivos reales. Mediante este mecanismo es posible la implementación de controladores que utilicen algoritmos complejos, los cuales pueden ser creados de una forma sencilla utilizando la potencia y flexibilidad que proveen las *S-Functions* escritas en lenguaje C.

Como el *software* del SLD es fácilmente adaptable a nuevos procesos, la incorporación de nuevos dispositivos para efectuar experimentos se puede realizar fácilmente. Debido a que el sistema está aun en fase de desarrollo, el número de dispositivos disponibles es limitado (un motor de corriente directa, un robot manipulador y un cilindro electro neumático), pero se está trabajando para en un futuro, en colaboración con otras universidades, incorporar nuevos procesos que incluyan experimentos para el control de temperatura, el control de nivel, entre otros experimentos. De esta forma, varias universidades y centros de investigación pueden compartir recursos materiales costosos y los usuarios pueden, desde cualquier

parte del mundo, realizar prácticas de control con dispositivos que están geográficamente distantes.

El SLD cuenta con un sistema de administración, tanto de prácticas como de usuarios, el cual utiliza *SQL Server 2000* como gestor de base de datos ya que es un sistema fiable, eficiente y seguro. Este sistema de administración permite incorporar, editar o eliminar tanto prácticas como a usuarios del sistema, así como posibilitar la asignación de distintas prioridades a los grupos o usuarios en determinados horarios. De esta forma, si un profesor requiere que sus alumnos utilicen una determinada práctica a una cierta hora, los administradores del sitio pueden reservar esa hora exclusivamente para ese grupo o usuario, y todos los demás usuarios estarán imposibilitados de usar esa práctica en ese horario reservado.

La tecnología ASP fue utilizada para realizar toda la programación de las páginas *Web* dinámicas, lográndose con esto incrementar la seguridad del SLD ante eventuales accesos de usuarios no registrados o eliminados por los administradores.

Asimismo la incorporación en un futuro de una mayor y mejor realimentación al usuario a través de la tecnología Java, hará al sistema más interactivo y estimulante para los usuarios.

Referencias

- ALHALABI, B., ANANDAPURAM, S., HAMZA, K. Real laboratories: An innovative repartee for distance learning!. En: **JOURNAL OF OPEN PRACTICE**, v.2, p.24-30, 2000.
- ALHALABI, B., HAMZA, M. K., HSU, S., ROMANCE, N. Virtual labs vs. remote labs: Between myth & reality. En: **7TH FLORIDA HIGHER EDUCATION CONSORTIUM**, Deerfield Beach, Florida, 1998.
- AUSSERHOFER, A., Web-based teaching and learning: a panacea?. En: **IEEE MAGAZINE**, p.92-96, 1999.
- BAUCHSPIESS, A., GUIMARAES, B., GOSMANN, H. L. Remote experimentation on a three coupled water reservoirs. En: **IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONIC**, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

- CASINI, M., PRATTICHIZZO, D., VICINO, A. E-learning by remote laboratories: A new tool for control education. En: **6TH IFAC SYMPOSIUM ON ADVANCES IN CONTROL EDUCATION**, Oulu, Finlandia, 2003.
- CHANG, T., HUNG, D. Web based distance experiments: Design and implementation. En: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION**, Taipei, Taiwan, 2000.
- CHAUDHURI, A., BHATTACHARYYA, C., AKULI, A. Internet based instrumentation with multimedia features: some developments for technical education. En: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA TECHNOLOGY**, Filipinas, 2003.
- CHICULITA, C., FRANGU, L. A Web based remote control laboratory. En: **THE 6TH WORD MULTICONFERENCE ON SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS**, Orlando Florida, 2002.
- DIXON, W. E., DAWSON, D. M., COSTIC, B. T. Towards the standardization of a Matlab-based control system laboratory experience for undergraduate students. En: **AMERICAN CONTROL CONFERENCE**, Arlington VA, 2001.
- DOMINGUEZ, M., MARCOS, D., REGUERA, P., GONZALEZ, J. J., BLIZQUEZ, L. F. Connection pilot plant to the Internet. En: **PROCEEDINGS OF IFAC INTERNET BASED CONTROL EDUCATION**, Madrid, España, 2001.
- FRANGU, L., CHICULITA, C. Remote laboratory allowing full-range student designed control algorithm. En: **9TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, CIRCUITS AND SYSTEMS**, Dubrovnik, Croacia, 2002.
- GARCIA, R. M., WORNIE, F., STEWART, B. G., HARRISON, D. K. Real-time remote network control of an inverted pendulum using ST-RTL. En: **32ND ASEE/IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE**, Boston, MA, 2003.
- HAHN, H. H., SPONG, M. W. Remote laboratories for control education. En: **PROCEEDINGS OF THE 39TH IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL**, Sydney Australia, 2000.
- JUNGE, T. F., SCHMID, C. Web-based remote experimentation using a laboratory-scale optical tracker. En: **PROCEEDINGS OF THE AMERICAN CONTROL CONFERENCE**, Chicago, Illinois, 2000.
- KO, C. C., CHEN, B. M., CHEN, J., ZHUANG, Y., TAN, K. C. Development of a Web-based laboratory for control experiments on a coupled tank apparatus. En: **IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION**, pp.76-86, 2001
- POINDEXTER, S. E., HECK, B. S., Using the web in your courses: What can you do? What should you do?. En: **IEEE CONTROL SYSTEM MAGAZINE**, p.83-92, 1999.
- SCHMID, C. The virtual control VCLab for education on the web. En: **PROCEEDINGS OF THE AMERICAN CONTROL CONFERENCE**, Philadelphia, Pennsylvania, 1998.
- SEBASTIAN, D. Control learning: Present and future. En: **15TH IFAC WORLD CONGRESS**, Barcelona, España, 2002.
- SHOR, M. H. Remote-access engineering educational laboratories: Who, what, when, where, why, and how ?. En: **PROCEEDINGS OF THE AMERICAN CONTROL CONFERENCE**, Chicago, Illinois, 2000.
- TREVELYAN, J. Towards cost effective on-line laboratories. En: **WORLD CONGRESS NETWORKED LEARNING IN A GLOBAL ENVIRONMENT**, Berlin, Alemania, 2002

Recebido em 30/03/2004

Aceito para publicação, em 20/07/2004

MSc. Aldo R. Sartorius Castellanos
Dr. Luis Hernández Santana
Dr. Rafael Aracil Santonja
MSc. Ernesto Rubio Rodríguez
MSc. Iván Santana Ching

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Departamento de Automática y Sistemas Computacionales
Carretera a Camajuani Km. 5 Santa Clara, Villa Clara, Cuba
E-mail: sartorius@uclv.edu.cu