

LABNET: Laboratorio remoto para control de procesos

Nourdine Aliane

Departamento de Arquitectura de Computadores y Arquitectura
aliane@uem.es

Aída Martínez, Alberto Fraile, Jaime Ortiz

Área de Informática
Universidad Europea de Madrid

Resumen

En este trabajo, se presenta una herramienta didáctica para la realización de experimentos de control sobre maquetas de laboratorio de forma remota utilizando Internet. Las características más importantes de nuestra aplicación son: el acceso simultáneo a varias maquetas, la elección del tipo de realimentación (local o remota), la elección de un controlador predefinido y la generación automática de informes.

Palabras Clave: Control Remoto, Laboratorios Remotos, Educación, Internet

1. Introducción

Dentro de la enseñanza del control automático, la realización de prácticas experimentales sobre sistemas reales es de suma importancia ya que, no solamente ayuda a los estudiantes a asimilar los conceptos teóricos, sino también desvela otros aspectos difíciles de abordar de forma teórica.

Desafortunadamente, varios factores dificultan la realización de prácticas [5] como el gran número de alumnos, la poca capacidad de los laboratorios, ya sea en medios o en espacio, lo que hace imprescindible la restricción del acceso a los laboratorios a ciertas horas prefijadas.

El acceso remoto a los laboratorios responde en gran medida a los problemas anteriores. Por un lado, permite incrementar el ratio de ocupación y la posibilidad de utilizar a tiempo compartido equipos costosos, y por otro, permite a los

alumnos realizar sus prácticas sin restricciones de horarios y un número ilimitado de veces.

Desde el punto de vista pedagógico, las prácticas realizadas de forma remota ofrecen una formación similar a las realizadas in-situ. Finalmente, hay que resaltar que para la formación de tipo semi-presencial o continuada, la flexibilidad que ofrece un sistema de acceso remoto a un laboratorio es de gran importancia.

La idea de compartir los equipos de un laboratorio usando Internet con fines educativos remonta a principio de los noventa y en el trabajo [1] se propone un esquema básico de acceso remoto a los sistemas de control de un laboratorio, así como compartirlos con otras universidades. En realidad, el artículo [2] se considera como el primer trabajo enfocado a la enseñanza del control automático a través de Internet, y desde entonces, se han llevado a la práctica varias aplicaciones relacionadas con los laboratorios remotos. En las referencias [4, 7, 8, 9], podemos encontrar todos los aspectos más importantes relacionados con los laboratorios remotos.

No se deben confundir un laboratorio virtual y un laboratorio remoto. Los laboratorios virtuales, en su mayoría, son sistemas basados en la simulación. En muchas ocasiones, estos laboratorios se instalan y se ejecutan de forma local y no requiere ningún componente externo [12]. En otras ocasiones, la ejecución de una simulación es remota. En este tipo de sistemas, el funcionamiento de la aplicación requiere los recursos de un servidor y la interacción se realiza a través de aplicaciones Web. Estas

aplicaciones se conocen como laboratorios virtuales y remotos [3].

En los laboratorios remotos, los usuarios operan remotamente sobre ciertos dispositivos, sean didácticos como maquetas de laboratorio o industriales. El manejo del dispositivo puede ser una acción remota simple como el control de una maqueta de un tren [13], donde el control se limita a mandar ordenes. En otros casos, La acción puede tener una realimentación sobre el sistema, siendo ésta local o remota como en [6], [10] o [14]. En este caso, además de ofrecer capacidades de laboratorio virtual, los laboratorios requieren de servidores específicos que gestionan no solamente los usuarios, pero también las máquinas a tele-operar.

En la página Web de la revista “International Journal of Engineering Education” [15], así como la página del “Comité Español de Automática, CEA-IFAC”, [16], podemos acceder a varios trabajos relacionados con los laboratorios remotos o virtuales para la educación y directamente relacionados con las ingenierías como la robótica, visión por computador, la automatización, la instrumentación y el control de procesos. Finalmente, señalamos de la existencia de una red temática sobre laboratorios virtuales y remotos cuyo objetivo principal es el diseño de un portal con posibilidad de integrar varios laboratorios virtuales y ofrecer servicios de acceso a todo un banco de laboratorios virtuales y remotos.

En la actualidad, pocas universidades disponen realmente de un sistema fiable y con funcionalidades suficientes como para llevarlo a la práctica y satisfacer, así, todas las motivaciones que hemos señalado al principio.

En lo que queda del artículo, explicaremos la arquitectura y el funcionamiento de nuestro sistema. A continuación, se comentarán las funciones más destacadas del cliente y del servidor. Finalmente, se sacarán las conclusiones más importantes y se indicarán las posibles mejoras de nuestro sistema.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1. Arquitectura del sistema

Nuestro sistema consiste en una aplicación orientada a la realización de experimentos de control con maquetas de laboratorio de forma remota utilizando la red Internet (o Intranet). La arquitectura del sistema sigue el modelo cliente/servidor, tal y como se muestra en la gráfica nº1.

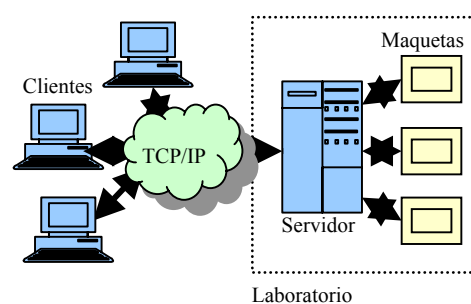


Figura 1: Arquitectura del sistema

El servidor es concurrente y permite gestionar hasta 4 un máximo de 4 maquetas controladas desde clientes diferentes. Esta limitación es, fundamentalmente, debida a las tarjetas de adquisición de datos utilizadas.

2.2. Modos de control

En lo referente a los experimentos de control, nuestro sistema nos permite dos configuraciones básicas: El control local y el control remoto.

Control Local: En ésta configuración, el controlador está ubicado en lado servidor, como lo indica la figura nº2. La acción remota se limita a la configuración de los experimentos como la elección de la maqueta, el tipo de controlador, y el secuenciamiento de las órdenes como iniciar o parar un experimento. Finalmente, el cliente puede recibir los datos del experimento en tiempo real, o una vez finalizado el experimento.

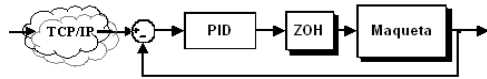


Figura 2: Realimentación local

Control Remoto: En esta modalidad, el controlador está ubicado en lado del cliente tal y como lo indica la figura n°3. La realimentación se hace a través de la Internet. La inyección de los retardos de transmisión en el lazo de control afecta seriamente al comportamiento global del sistema. Estos retardos dependen de varios factores como: el protocolo utilizado (TCP, UDP), el medio utilizado para la transmisión de datos (el cable o la red inalámbrica), el tráfico en la red en el momento del experimento, etc.

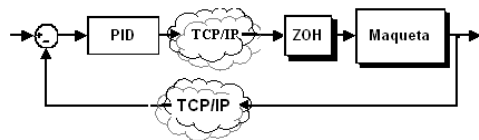


Figura 3: Realimentación Remota.

2.3. Los controladores

En el control propiamente dicho, nuestro sistema cuenta con una serie de controladores predefinidos. Estos son:

- PID teórico,
- PI-D filtrado
- PID con Anti-Windup.

Estos tres controladores predefinidos son las más utilizadas en la industria y representan más del 95% de los controladores industriales.

2.4. Maquetas utilizadas

Nuestro sistema utiliza tres tipos de maquetas didácticas: una maqueta para el control de nivel, otra para el control de temperatura y un sistema de estabilización de barcos. En la figura n°4, podemos ver unas fotografías de las maquetas. En la Web de nuestro laboratorio [11], se pueden ver las características principales y el funcionamiento de cada una de las maquetas. Las tres maquetas admiten entradas y salidas normalizadas en voltajes y su rango de

linealidad es de 0 a 10v para las maquetas unipolares y de -10 a 10v para las bipolares.

3. LA HERRAMIENTA LABNET

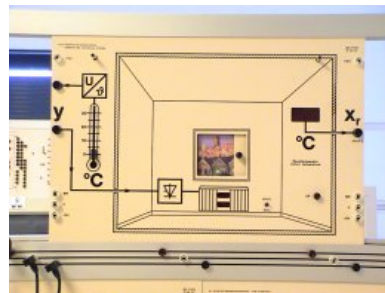
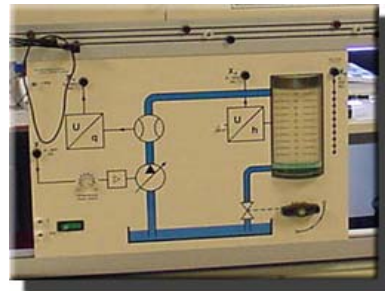


Figura n° 4: Las maquetas de nivel, temperatura y estabilizador de barcos.

La herramienta LABNET se articula en 2 partes: el cliente y el servidor. En este apartado explicaremos las funcionalidades más destacadas de ambas partes.

3.1. EL CLIENTE

La aplicación cliente es el punto de entrada al sistema LABNET. Los usuarios se conectan al sistema con un usuario y de una password. El usuario tiene acceso a los servicios del sistema navegando por el sistema de menús.



Figura 5: Entorno GUI del cliente LABNET

La figura nº5 muestra el entorno GUI del cliente LABNET. Las funcionalidades más destacadas del cliente son:

- Configuración de un experimento
- Visualización de datos e informes
- Gestor de plantillas

Todas las ventanas del sistema tienen asociadas una ayuda breve y explicativa del elemento que se está configurando en cada momento.

3.1.1 Configuración de un experimento

Una vez ingresado en el sistema LABNET, el cliente puede activar las opciones que corresponden al experimento que se desea realizar. Las opciones más destacadas son:

- Elección de una maqueta
- El tipo de control (local o remoto)
- Elección de la señal de referencia
- Elección de un PID (El teórico, con D-filtrada o con Antiwindup) y sus diversos parámetros

En la figura nº 6 se puede ver el menú correspondiente a la elección de un controlador.

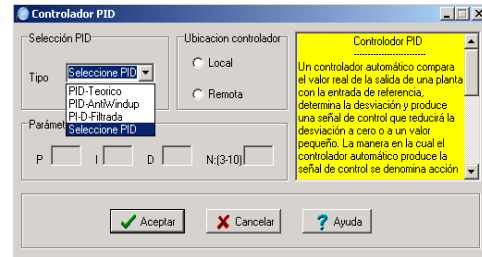


Figura 6: Elección del tipo de controlador

3.1.2 Visualización de datos e informes

Para visualizar los datos de los experimentos, el cliente dispone de una herramienta con las siguientes funcionalidades:

Visualización gráfica: Esta opción, nos permite visualizar los datos de las variables elegidas como la salida del sistema, la señal de control, etc.

Exportación de los datos: Una vez finalizado el experimento, podemos exportar los datos a formatos más conocidos como (Excel, Matlab, html, jpeg, etc).

Generador de informes: Esta opción crea un documento de texto con los datos del usuario, los parámetros de configuración y una serie de enlaces a todos los archivos generados por el experimento. En la figura nº 7, podemos ver el modelo de un informe generado por el cliente LABNET.



Figura 7: Ejemplo de informe generado

3.1.3 Gestor de plantillas

El gestor de plantillas es una herramienta que consiste en guardar los datos de un experimento en un archivo plano. La carga de la plantilla de un experimento nos permite lanzarlo a ejecución de forma inmediata. Las plantillas de se pueden editar y modificar utilizando un editor de texto.

3.2. EL SERVIDOR

El servidor constituye un puente entre los clientes y las maquetas del laboratorio. Con su entorno GUI, el administrador puede acceder a todas las utilidades de administración de forma sencilla. Las funciones más desatacadas son:

- Administración de usuarios.
- Administración de las maquetas
- Administración de los experimentos
- Administración de las conexiones

La figura nº8 nos muestra el aspecto del servidor

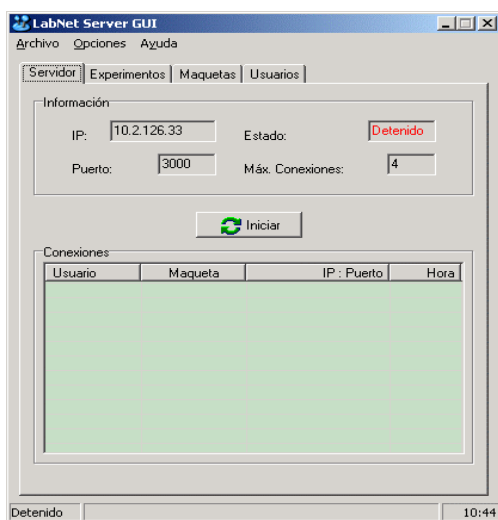


Figura 8: El servidor LABNET

3.2.1 Administración de las maquetas

Nuestro laboratorio cuenta con 9 maquetas y el sistema LABNET sólo puede gestionar un máximo de 4 maquetas.

La administración de las maquetas consiste en establecer la correspondencia exacta entre las maquetas reales y sus equivalentes virtuales definidas en el servidor, así como la especificación de los driver's de las tarjetas de adquisición de datos.

La figura nº9 nos muestra la ventana correspondiente a la administración de las maquetas.

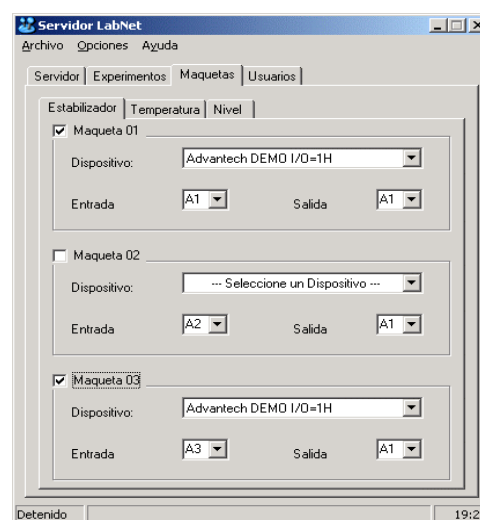


Figura 9: Administrador de las maquetas

El servidor lleva un modelo virtual de cada maqueta y tiene definidos varios modelos. El administrador decide que maquetas conectar al sistema, realizando la correspondencia exacta entre las entradas-salida del modelos virtual y la maqueta real.

El sistema lleva la cuenta de las maquetas activadas y los clientes disponen de esta información justo al acceder al sistema.

3.2.3 Administración de los experimentos

En la opción experimentos, el servidor nos muestra toda la información relativa a los experimentos activados en cada momento.

La información consiste en un registro de datos que identifican el usuario, la maqueta utilizada, el controlador utilizado, las señales utilizadas,

los diversos parámetros y tiempos del experimento.

La figura nº10 nos muestra la utilidad de administración de los experimentos.

4. CONSIDERACIONES SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN

El servidor se ejecuta sobre un PC Pentium-III con Windows 2000 y alberga 2 tarjetas de adquisición de datos PCLAB-816 para bus ISA de Advantech.

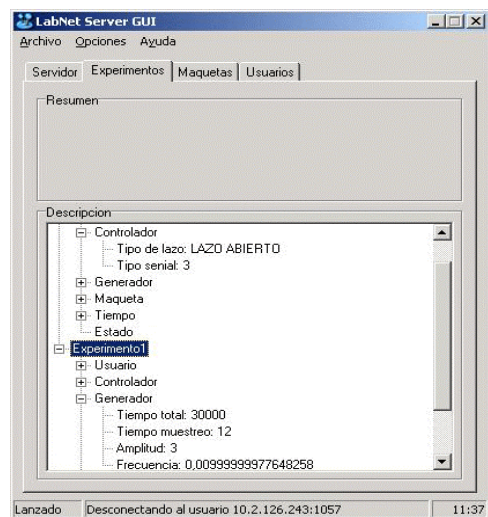


Figura 10: Administración de los experimentos

Para simplificar la configuración del sistema, se han definido modelos virtuales de entrada-salida de todas las maquetas utilizadas. Estos modelos virtuales guardan la información como la polaridad de las señales de control y de salida, sus escalas, rangos, etc. El administrador solo tiene que realizar un cableado entre las maquetas virtuales y las reales sin preocuparse de los detalles de ganancias de las tarjetas de adquisición de datos.

En cuanto a la implementación digital de los controladores PID, se ha utilizado un diseño basado en la conversión del diseño analógico utilizando la aproximación de Tustin. El módulo de los controladores está tanto en el cliente como en el servidor.

La gestión del tiempo se hace mediante el reloj multimedia de Windows. Es un reloj bastante preciso para periodos de muestreo mayores de 5 milisegundos. Un estudio estadístico del error, realizado sobre un solo temporizador nos muestra un error del 0,2% con una desviación estándar del orden de 0,05%.

Toda la implementación del sistema se ha codificado en Builder C++ y la concurrencia se ha llevado a cabo mediante los hilos de la API Win32.

5. EXPERIMENTOS Y PRUEBAS

Durante la fase de desarrollo, hemos realizado varias pruebas parciales. Las más importantes son las pruebas sobre el reloj multimedia, el generador de señales, las pruebas sobre los controladores y finalmente los retardos debidos a la red

El temporizador

Las pruebas realizadas sobre el reloj de windows son de tipo estadístico y son diseñadas para evaluar la robustez y la regularidad de los temporizadores. La prueba consiste en programar un temporizador periódico que ejecute una rutina cada periodo de muestreo. Esta misma prueba se realiza un número elevado de veces y se comparan los tiempos exactos de los experimentos con los tiempos esperados.

Para periodos de muestreo del rango 5...50 milisegundos, y realizando la misma prueba 6000 veces, se ha obtenido un promedio de error del 0,2% y con una desviación estándar del orden de 0,05%. Esta prueba ha sido realizada solo para un temporizador y conviene generalizarla a varios temporizadores.

El generador de señales

Para comprobar el buen funcionamiento del generador de señales, se ha diseñado un plan de pruebas el cual consiste en generar una señal especificando los parámetros de amplitud y frecuencia, a continuación sacarla por un canal de salida de la tarjeta de adquisición. Esta misma señal se captura y se procesa con Matlab/Simulink. Esta prueba nos permite no

solamente comprobar la onda de la señal, sino su generación en el tiempo.

Los controladores

Las pruebas realizadas sobre los controladores son en lazo cerrado y en modo local. La prueba consiste en comparar las señales de control de PID implementado y del mismo PID, pero implementado en el Matlab/Simulink, pero tiene como entradas las mismas señales generadas por el sistema LABNET.

La figura nº11 muestra el aspecto de la respuesta de la maqueta de temperatura ante un escalón y controlada con un PID con D-filtrada.

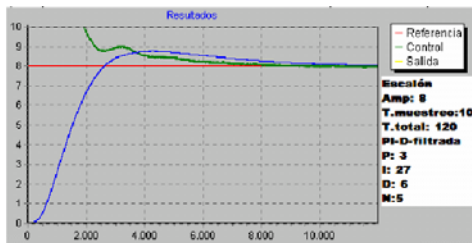


Figura 11: La respuesta de la maqueta de temperatura controlada con un PI-D-filtrada

El control remoto

En el caso de ejecución del algoritmo de control en la parte cliente, hemos evaluado los retardos que se añaden en la transmisión por la red dependiendo del tipo de conexión (cable o inalámbrica).

Teniendo en cuenta las condiciones experimentales (con poco tráfico en la LAN de nuestro Campus), hemos observado, en promedio, que por el cable tenemos un retardo que en todos los casos es menor de 1 milisegundo, mientras este se dispara hasta casi 42 milisegundos en el caso del acceso inalámbrico.

El efecto de los retardos sobre la calidad del control remoto es mínimo en el caso del cable, ya que las maquetas que estamos utilizando son sistemas lentos. Esto nos permite utilizar periodos de muestreo algo más elevados. En el caso de la red inalámbrica, el retardo es algo elevado, pero aun así, podemos elegir periodos

de muestreo más elevados ya que son sistemas lentos.

En todo caso, estamos añadiendo un retardo de 1 periodo de muestreo que es inherente a la implementación de un control digital.

6. CONCLUSIONES

En este artículo, en un primer lugar, se han presentado los trabajos más importantes en los últimos años en el diseño de plataformas para el acceso a los laboratorios remotos. A continuación, se ha presentado nuestro sistema dando sus funcionalidades más importantes.

Nuestro sistema presenta ventajas en varios aspectos, en comparación con otros sistemas, como la posibilidad de controlar varias maquetas de forma concurrente, la posibilidad de experimentar una acción de control local o remoto, la generación de informes o la reutilización de plantillas. Estos aspectos hacen que nuestra aplicación sea funcional y productiva.

Sin embargo, pensamos que el sistema LABNET es mejorable, en los siguientes aspectos: la posibilidad de cambio de los parámetros del regulador en tiempo real, la posibilidad de edición de las leyes de control, su descarga al servidor, la posibilidad de incrementar el número de maquetas de forma independiente del hardware.

Referencias

- [1] Aburdene, M. F., Mastascusa, et al "A proposal for a remotely shared control systems laboratory", Proceedings of the ASEE 1991 Frontiers in Education Conference, Session 24A3, 1991, pp. 589-592.
- [2] Aktan, B, C.A. Bohus, "Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories". IEEE Transactions on Education", 1996 Vol 39(3), pp 320-326.
- [3] J. Albino Méndez Pérez et al, "Controlweb: una herramienta para el análisis y simulación de sistemas de

- control en internet*. XXIII jornadas de automática, León
- [4] Control Systems Lab, The University of Tennessee at Chattanooga:
<http://chem.engr.utc.edu/Webres/Stations/controlslab.html>
- [5] Daniel Gasa Fonollosa, et all, "Laboratorio remoto de automática: plantas de variable discreta" XXIII jornadas de automática, Leon.
- [6] Garcia, R. Murillo et all "Real-time Remote Network Control of an Inverted Pendulum Using ST-RTL", 32nd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Boston, MA
- [7] Henry, J. (1996). "Controls Laboratory Teaching via the World Wide Web". In: Proceedings of the ASEE Annual Conference. Washington, USA, Session 3513
- [8] Jamahl W. Overstreet & Anthony Tzes (1999) "Real-Time Control Engineering Laboratory". IEEE Control Systems Magazine, October 1999, pp 19-34.
- [9] Johansson, M., Gäfvert, M. and Åström, K.J. "Interactive Tools for education in Automatic Control", IEEE Control Systems Magazine, June. 1998
- [10] J. Sánchez and F. Morilla S. Dormido "Teleoperation of an inverted pendulum through the world wide Web" in workshop on internet based control education. ibce'01, pages 12-14, madrid, Spain, 2001.
- [11] www.esi.uem.es/laboratorios
- [12] <http://control.ee.ethz.ch/~hybrid/tts/>
- [13] <http://rr.informatik.tu-freiberg.de/>
- [14] <http://www.ewh.ieee.org/soc/es/1999>
- [15] <http://www.ijee.dit.ie/specialissues/>
- [16] <http://www.cea-ifac.es/wwwgrupos/>
- [17] <http://msdn.microsoft.com/library/>