

SIVANET: UN NUEVO ESCENARIO FÍSICO REMOTO PARA EL AUTO-APRENDIZAJE DE CONTROL A TRAVÉS DE INTERNET

José María Sebastián y Zúñiga* (jsebas@etsii.upm.es),
Francisco Manuel Sánchez Moreno** (fsanchez@fi.upm.es),
David García Dolla* (dgarcia@disam.etsii.upm.es),
Rafael Aracil Santonja* (aracil@etsii.upm.es)

* Dept. Automática, Electrónica e Informática Industrial, Universidad Politécnica de Madrid

** Dept. Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos, Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

El presente artículo describe una nueva herramienta para la enseñanza a distancia de las asignaturas de regulación automática. Por medio de un servo motor y una cámara, los estudiantes pueden realizar experimentos con un laboratorio real a través de Internet. Un sistema de adquisición de imágenes instalado en el laboratorio permite al usuario interactuar con el entorno remoto y obtener información visual de la tarea llevada a cabo allí. También se puede obtener la secuencia de vídeo en diferido, así como la evolución de la posición del servo en forma de un fichero de datos. La programación de la acción de control, el lanzamiento y la subsecuente monitorización son tareas realizadas desde el módulo cliente (un navegador de Internet convencional). El objetivo de este sistema es proporcionar todos los elementos necesarios para que el alumno ponga en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en clase, proporcionándole ayuda teórica, equipo de laboratorio y una metodología de autoaprendizaje. Internet constituye una herramienta ideal para alcanzar estos objetivos.

Palabras Clave: Enseñanza de Regulación Automática, Enseñanza a distancia, Internet, Auto-aprendizaje

1 INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las asignaturas de regulación automática tiene varios inconvenientes. Las ideas y conceptos son a menudo complejos y difíciles de ilustrar en la pizarra. Los estudiantes necesitan experimentar y observar fenómenos reales para complementar lo aprendido en el aula. Sin embargo, la implementación de experimentos es en ocasiones difícil por la escasez de recursos, como son el dinero, el personal docente o el espacio. Las universidades invierten más en estos recursos, pero el resultado es que los alumnos, por lo general, no realizan el número de prácticas que sería deseable.

En los últimos años la educación vía tecnologías avanzadas, como por ejemplo el *World Wide Web* ha experimentado un extraordinario crecimiento [11], [12], [5]. El desarrollo de cursos en línea para educación a distancia tiene muchas ventajas y algunos inconvenientes [1], [10]. Cuanto más dinámico es el sistema, más atractivo le resulta al alumno, haciéndole despertar el interés por la asignatura. Para ello la información visual es un punto fundamental en esta estrategia. Las imágenes son una rica fuente de información que ayudan a comprender muchos procesos complejos [4], [13]. El sistema que aquí se presenta está desarrollado sobre estas ideas y pretende servir como una base para la enseñanza.

Este artículo describe en detalle un nuevo sistema que emplea imágenes para la enseñanza de las asignaturas de regulación automática. SIVANET, como se denomina, está disponible en la dirección <http://avaa.disam.etsii.upm.es/practicas/test/fsivcap.htm> y es un entorno localizado en el laboratorio de DISAM [3], que puede ser controlado remotamente y visualizado por medio de una cámara vía Internet. El usuario puede realizar experimentos con el sistema y obtener los datos de éste, así como la secuencia de vídeo. Con esta información el alumno deberá desarrollar su trabajo.

Las ventajas de este sistema son:

- Es adecuado en entornos donde la presencia del alumno en contacto directo no es posible o recomendada, debido al uso de recursos costosos, limitados e incluso peligrosos.
- Los alumnos no necesitan seguir una planificación rígida. Además ellos pueden elegir el momento en el cual realizar la práctica, cuando el conocimiento teórico ha sido asimilado, pudiendo repetirla las veces que se crea conveniente.
- Se obtiene una rápida evaluación de los resultados, ya que el alumno recibe el resultado en el instante.

El contenido de este artículo se estructura como sigue: En primer lugar se realiza una descripción del sistema SIVANET, explicando las dos partes principales, el módulo cliente y el módulo servidor. En segundo lugar se explica cada parte, llevando a cabo la descripción de funcionamiento. En tercer y último lugar se explica las prácticas propuestas, explicando con todo detalle las posibilidades del sistema. Finalmente se mencionan las conclusiones y futuros trabajos.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema SIVANET se basa en la arquitectura cliente-servidor como se muestra en la figura 1. El servidor contiene varios subsistemas como son el servomotor, un sistema controlador empotrado, un sistema de visión y un computador PC con conexión a Internet. El cliente puede ser cualquier tipo de navegador de Internet. El estudiante accede al servidor a través del cliente, llevando a cabo experimentos como si estuviera presente en el laboratorio.

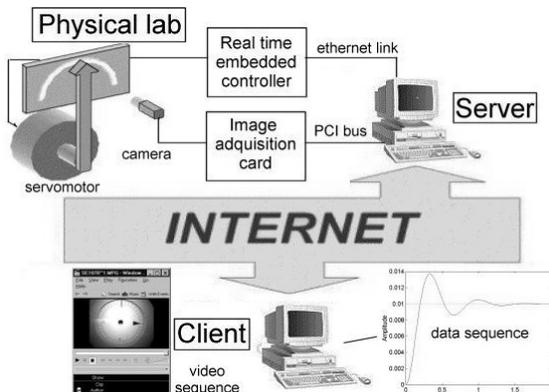


Figura 1. Arquitectura cliente-servidor del sistema

2.1 EL MÓDULO SERVIDOR

Este consiste de los siguientes elementos:

- *Un PC servidor:* PC clónico, Pentium, con 128 Mbytes de RAM y 800 MHz. Sistema operativo LINUX [7]. Tiene instalado un servidor HTTPd Apache [2].
- *Sistema físico:* Puede verse en la figura 2 y 6, y consiste en un servomotor con los siguientes módulos; un amplificador que alimenta el motor, dos sensores de posición, uno potenciométrico y el otro una encoder, una tacogeneratriz que se emplea para medir la velocidad y finalmente un freno progresivo, con el que se puede simular diferentes cargas.
- *Computador controlador empotrado:* PC clónico 486, 66 MHz, 16 Mb RAM. Sistema operativo en tiempo real RTEMS [8]. Tiene entradas y salidas digitales y analógicas para controlar el servomotor y una tarjeta de red NE-2000 para

comunicarse con el PC servidor. La función del computador controlador es controlar el motor de acuerdo a la ley de control dictada por el PC servidor. Además lee la posición y la velocidad del motor y carga toda esta información al servidor. La comunicación con el servidor es vía TCP/IP.

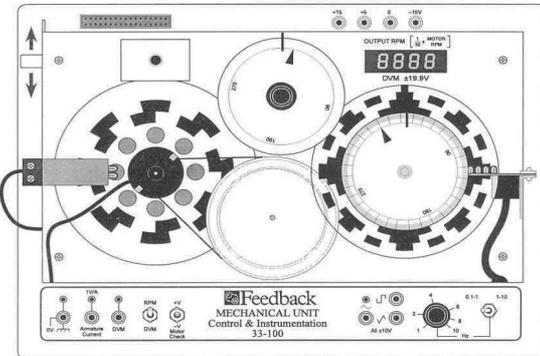


Figura 2. Detalle del servomotor

- *Sistema de visión:* Consta de una cámara Sony AVC-D7CE, una iluminación frontal y un servidor de vídeo AXIS 2401. El servidor de vídeo se encarga de emitir las imágenes en tiempo real a través de internet. Además detecta el inicio del movimiento del motor, mediante un flanco de subida, con el cual comienza a capturar las imágenes que se emplean para generar la secuencia de vídeo que el alumno podrá obtener a posteriori. El flanco de subida es generado por el computador. Estas imágenes se envía por la red al PC servidor donde se genera el vídeo MPEG (ver figura 3).

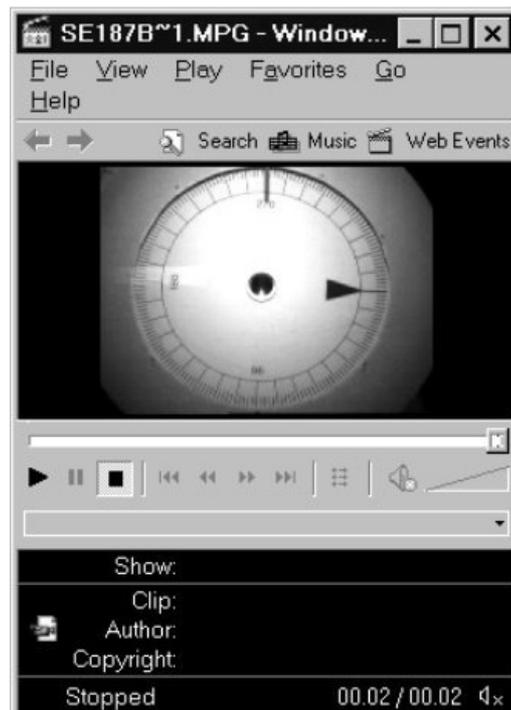


Figura 3. Representación del vídeo

2.2 EL MÓDULO CLIENTE

Este es el PC donde el alumno realiza las prácticas. Puede encontrarse en su propia casa, en la universidad o en cualquier sitio donde se disponga de conexión a internet. No se necesita la instalación de cualquier hardware ni software adicional, se puede emplear cualquier sistema operativo y cualquier navegador.

3 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SERVIDOR

Como se puede ver en la figura 4 y en la ecuación 1, el proceso de control de un motor de continua puede ser modelado por un sistema de segundo orden con un polo en el origen [9]. El regulador o la acción de control, así como la entrada de referencia se genera por el servidor, el cual puede además adquirir datos de campo como: la posición y la velocidad reales del motor obtenida por los sensores en cada tiempo de muestreo. El tipo de realimentación puede ser también modificado desde el PC servidor. Es importante señalar que el PC servidor es realmente el que controla todos los aspectos de el sistema físico. Sin embargo es el estudiante, a través del módulo cliente, el quien decide y manda al servidor el valor de estos parámetros.

En el PC servidor varios programas CGI (Common Gate Interface) controlan las partes específicas del sistema físico. El cliente ejecuta estos programas a través de Internet.

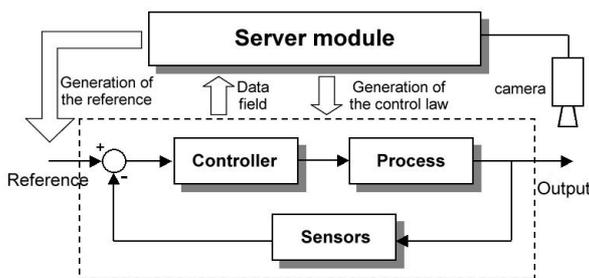


Figura 4. Diagrama de funcionamiento del sistema

4 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL CLIENTE

Los estudiantes manejan el sistema físico con la interface mostrada en la figura 5. Por la ubicación del laboratorio físico, la tarea realizada por el estudiante puede ser también considerada como una teleoperación. Es importante destacar que el lazo de control no se cierra a través del cliente. Dicho lazo es cerrado físicamente por el controlador empotrado. La decisión de si el lazo de control es cerrado o no, la

programación de la acción de control, la elección de la entrada y del periodo de muestreo si que es realizada por el alumno a través del módulo del cliente.

Primeramente el usuario debe indicar al sistema el periodo de muestreo y el tiempo de ejecución de la prueba. El primer parámetro fija el comportamiento del sistema y las prestaciones del regulador. El segundo se emplea tanto en el control del sistema como en la adquisición de la secuencia de video.

En segundo lugar, se fija el tipo de la entrada, indicando el ángulo en grados en el caso de una entrada en escalón y la velocidad expresada en grados por segundo en el caso de una entrada en rampa.

El diseño del regulador es el tercer paso realizado por el estudiante. El control se realiza mediante un regulador implementado como un cociente de polinomios de grado tres.

Por último, se fija la realimentación del sistema. Es posible realimentar tanto la posición como la velocidad; la primera de ella se capta mediante el encoder del motor y la segunda con la información suministrada por una tacogeneratriz. Si se selecciona una realimentación nula en ambos casos, el sistema funciona en lazo abierto, mientras que una realimentación negativa y unitaria de la posición permite el funcionamiento habitual del sistema. La realimentación conjunta de la posición y de la velocidad permite el diseño de estrategias de control mediante la teoría moderna de control (variables de estado).

La secuencia de control comienza cuando todos estos datos están introducidos y se da la orden de inicio. Primeramente el sistema se posiciona en el origen, para a continuación ejecutar la acción requerida. El alumno observa la evolución real del sistema en el navegador, para posteriormente recibir una gráfica representativa de la evolución así como los datos más significativos de la misma, entre los que cabe destacar: el error en régimen permanente, el máximo error, el error cuadrático, la sobreoscilación, el tiempo de subida, el tiempo de establecimiento y la máxima velocidad del sistema.

Igualmente puede descargar un fichero con los datos captados, así como la secuencia de video comprimida en formato MPEG (ver figura 3).

5 PRÁCTICAS

Se han diseñado cuatro practicas para ser realizadas con el sistema SIVANET

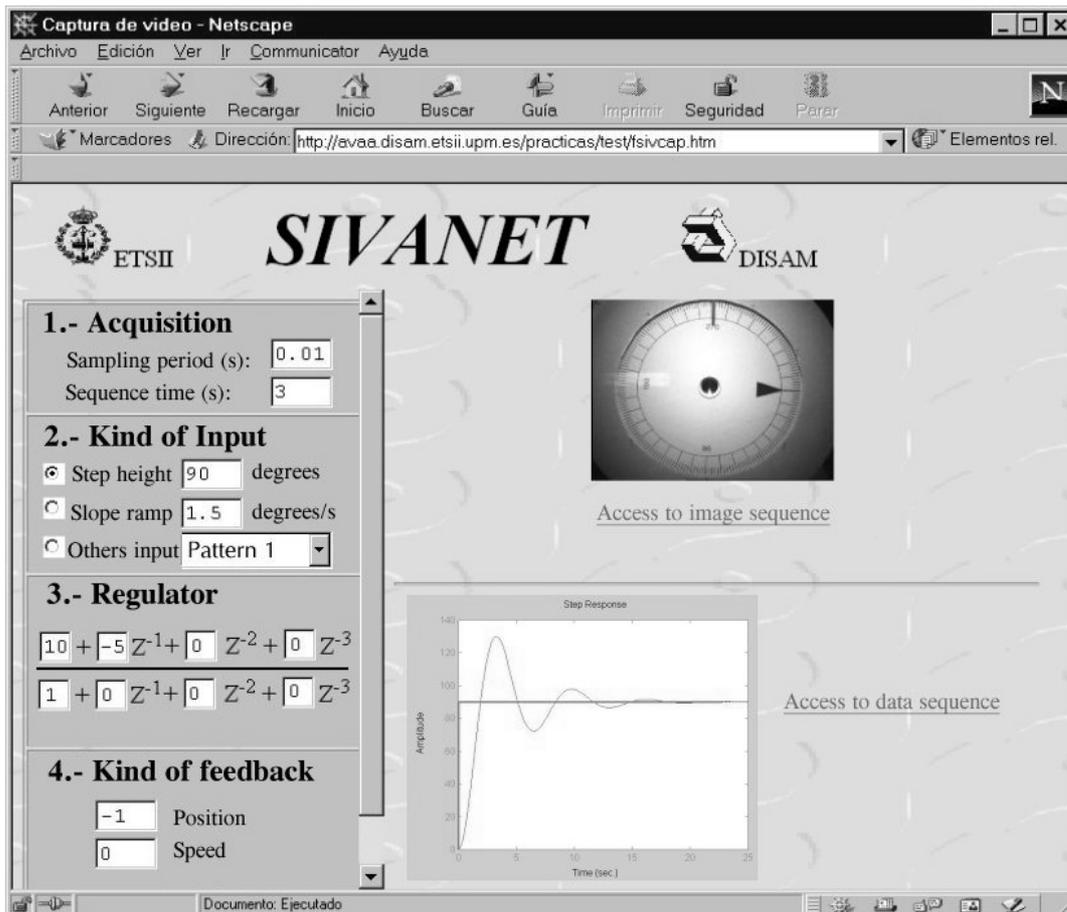


Figura 5. Interface del sistema SIVANET

5.1 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA

El sistema físico puede ser modelado como un sistema de segundo orden con un polo en el origen y un retardo. La función de transferencia en bucle abierto se expresa en la ecuación 1, donde K representa la ganancia estática del sistema, T_r el retardo, T_s la constante de tiempo del sistema:

$$G(s) = e^{-T_r s} \frac{K}{1 + T_s s} \cdot \frac{1}{s} \quad (1)$$

Los estudiantes deben de estimar estos tres parámetros y analizar las influencias de las no linealidades del sistema, como por ejemplo las saturaciones y los mínimos niveles de actuación. A tal fin se recomienda introducir varios escalones de diversas amplitudes, con el sistema en bucle abierto (realimentación nula), y analizar la secuencia de salida.

5.2 DISEÑO DE UN REGULADOR CONTINUO Y POSTERIOR DISCRETIZACION

Los estudiantes parten del modelo obtenido en la práctica anterior, y para dicho sistema diseñan un

regulador continuo que cumpla las especificaciones dinámicas y estáticas requeridas. A continuación discretizan el regulador eligiendo un periodo de muestreo adecuado (siempre superior al mínimo permitido por el sistema, 2 milisegundos). Se pueden ensayar distintas alternativas; así si se opta por la discretización del operador derivada, bastará con sustituir la variable 's' de Laplace por la expresión de la ecuación (2).

$$s = \frac{T}{1 - z} \quad (2)$$

5.3 DISEÑO DE UN REGULADOR DISCRETO

A partir de la función de transferencia calculada en la primera práctica, se obtiene el equivalente discreto de la misma, considerando un bloqueador de orden cero y el periodo de muestreo elegido. Posteriormente el alumno debe de diseñar un regulador discreto que cumpla los requisitos estáticos y dinámicos impuestos. El regulador es implementado como un cociente de polinomios de grado tres.

5.3 DISEÑO DE LA LEY DE CONTROL MEDIANTE REALIMENTACIÓN DEL ESTADO

En el presente apartado el alumno utiliza los conceptos adquiridos mediante el estudio de la representación interna o estado del sistema. En este caso los parámetros a fijar son la realimentación de unas variables de estado (posición y velocidad del servo) así como la ganancia del regulador.

6 CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

En sistema SIVANET permite el aprendizaje remoto (vía Internet) de algunos conceptos del control automático. En la figura 6 se representa una fotografía del mismo. Los estudiantes fijan las condiciones del experimento y acceden a los datos reales del mismo, así como a la secuencia de la evolución de la posición del servo. De esta forma pueden trabajar como si estuvieran en el laboratorio real. El sistema suministra al estudiante todos los elementos necesarios para su aprendizaje: nociones teóricas, equipamiento de laboratorio y herramientas de auto-evaluación.

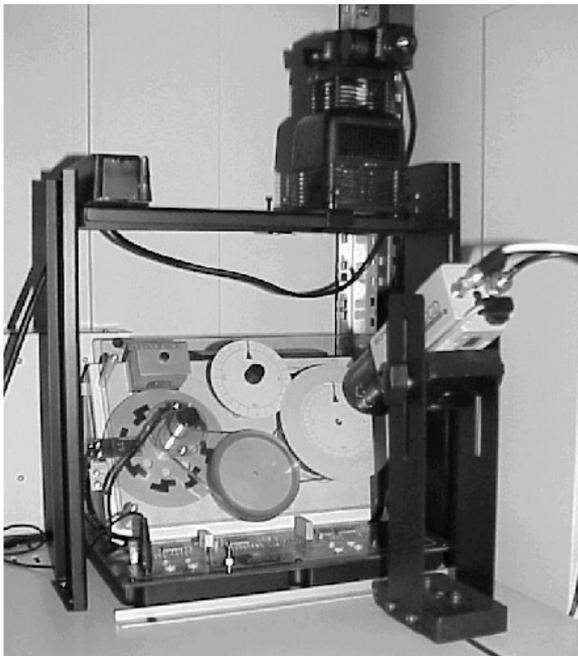


Figura 6. Vista del sistema SIVANET

La utilización de sistemas como el aquí presentado, liberan a las Universidades de la necesidad de efectuar gastos en diversos recursos, como son el equipamiento para prácticas de laboratorio o el espacio para las mismas.

Como futuros trabajos, hay que destacar la posibilidad de actuar remotamente sobre el freno del sistema (actualmente solo se puede realizar

manualmente) lo que permitiría cambiar las características del sistema. Igualmente está previsto adaptar el desarrollo efectuado a nuevos sistemas, más difíciles de controlar, como es un péndulo invertido.

Agradecimientos

El proyecto SIVANET pertenece al programa PAUTA sesión 1999 (programa para la mejora de la educación basada en el autoaprendizaje). Ha sido financiado por la *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales* (ETSII), por la *Fundación para el Fomento e Innovación Industrial* (F2I2) y por la *Sociedad de Amigos de la Escuela*.

Referencias

- [1] Antsaklis, P., Basar, T., Decarlo, R., Harris, N., Clamroch, M., Spong, M. and Yurkovich, S., "Report on the NSF/CSS Workshop on New Directions in Control Engineering Education," *IEEE Control System*, Oct. 1999.
- [2] Apache Project (2002) <http://www.apache.org>
- [3] DISAM, (2001) División de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Politécnica de Madrid. <http://www.disam.upm.es/>
- [4] Greenhalgh, M., (1995) *Imaging in Bulk for the Internet*, Real Time Imaging, 33-47.
- [5] Latchman, H. A., Salzman, Ch, Gillet, D., and Kim, J., "Information Technology Enhanced Learning in Distance and Conventional Education," *IEEE Transactions on Education*, vol. 42, no. 4, pp. 247-254, Nov. 1999
- [6] Levine, W.S. The Control Handbook. *IEEE Press*. pp 1548. ISBN 0-8493-8570-9. (1996)
- [7] LINUX, Linux project (2001). *Linux Operating System*. <http://www.linux.org>
- [8] OAR, On line Application Research (2001). *RTEMS, an Open Source Real-Time operating System and Environment for C, C++ and Ada95*. <http://www.rtems.com/>
- [9] Ogata, K., Modern Control Engineering, third Edition. *Prentice-Hall*. pp 997. ISBN 0-13-261389-1, 1997
- [10] Poindexter, S. E. and Heck B. S., "Using the Web in Your Courses: What Can you Do? What Should You Do?" *IEEE Control System*, pp. 83-92, Feb. 1999.
- [11] Penfield J., Education Via Advanced Technologies, *IEEE Transactions on Education, Special Issue on the application of information technologies to engineering and science education*, vol 39, pp 436-443, 1996.

- [12] Poindexter, S. E. and Heck B. S., "Using the Web in Your Courses: What Can you Do? What Should You Do?" IEEE Control System, pp. 83-92, Feb. 1999.
- [13] Whelan P.F. and Molloy D., "Machine Vision Algorithms in Java," ISBN: 1-85233-218-2, 284 pages, *Springer*, 2001