

# UNA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DEL CONTROL INTELIGENTE BASADA EN PROBLEMAS

**Mario A. Muñoz, Jesús A. López, Eduardo F. Caicedo**

*Grupo de Investigación en Percepción y Sistemas Inteligentes  
Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad del Valle, Cali, Colombia  
e-mail: {andremun,jesuslop,ecaicedo}@univalle.edu.co*

**Resumen:** En este documento se presenta una propuesta de enseñanza de las técnicas de inteligencia computacional, aplicadas al control de procesos en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle, usando como estrategia de enseñanza el aprendizaje basado en problemas. Además, se muestran los avances obtenidos en dicha implementación y las actividades en desarrollo.

**Keywords:** Intelligent Control, Control Education, Educational Aids, Neural Control, Fuzzy Control.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial (IA) es una rama de las ciencias computacionales que trata sobre el comportamiento inteligente, el aprendizaje y adaptación de las máquinas. Esta inteligencia es aplicada a la solución de muchos problemas cotidianos mediante la comprensión del comportamiento de los seres vivos, en particular el ser humano, en sus aspectos morfológicos, cognitivos y sociales. Aplicar las técnicas de la IA a problemas de Identificación, Optimización y Control dio nacimiento al área del Control Inteligente (CI).

Para el proceso de enseñanza–aprendizaje del CI es necesario garantizar un alto nivel de interacción del estudiante con herramientas que le permitan, no solo entender los conceptos y verificarlos, sino que además pueda aplicarlos a un problema práctico. Aunque se ha encontrado diferentes herramientas, en particular simulaciones en la Web, que permiten a los estudiantes entender los conceptos y al profesor explicarlos de una manera más amena, no hay una tendencia clara de enseñar las técnicas de CI usando metodologías basadas en problemas. Esto puede deberse a que encontrar ejemplos ilustrativos y aplicables a la realidad de los conceptos presentados puede resultar complicado.

En este artículo se presenta una propuesta de metodología para la enseñanza basada en problemas de las técnicas de CI usando nuevas tecnologías de la información y comunicación (NTIC). En la sección 2 se presenta un breve estado del arte sobre el uso de NTIC para la enseñanza de la IA en particular sobre Redes Neuronales Artificiales (RNA) y Lógica Difusa además de algunos programas de estudio que ofrecen cursos de inteligencia computacional cuya presentación se hace por medios como Internet o hacen uso de aprendizaje por medio de problemas. En la sección 3 se introduce una propuesta de enseñanza basada en problemas (ABP) para el estudio de Neurocontroladores y Controladores Difusos. En la sección 4 se propone un conjunto de actividades en desarrollo para llevar a cabo la implementación de ABP en el curso de Control Inteligente. Finalmente, en la sección 5 se ponen a consideración las conclusiones de este trabajo.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Herramientas de Aprendizaje para RNA

Luego de ser un tema de estudio relegado por mucho tiempo, las RNA actualmente es uno de los campos

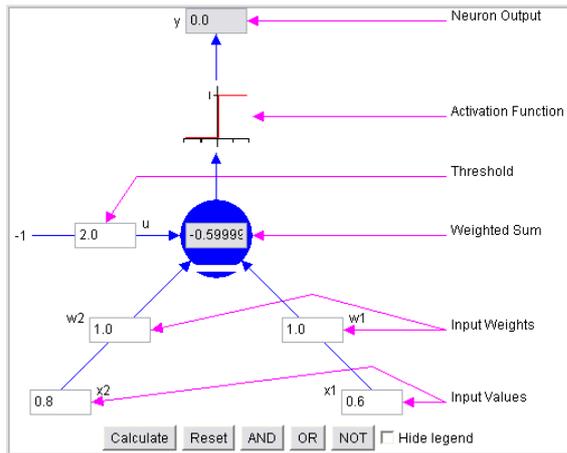


Figura 1. NeuralJava: Herramienta de simulación usada para el aprendizaje de Redes Neuronales de la EPFL. Tomado de (EPFL, 2000).

de investigación de mayor intensidad. Su aplicación como controlador directo o indirecto en una variedad de situaciones, en particular cuando el sistema es complejo, han hecho de las RNA uno de los controladores inteligentes más comunes.

Enseñar RNA requiere de un simulador adecuado. Una de las primeras herramientas de simulación de redes neuronales para ambientes educativos se describe en (Drossu *et al.*, 1996). En este artículo se presenta una interfaz gráfica de usuario (GUI) para la simulación de redes neuronales heterogéneas orientada a usuarios principiantes, proveyéndoles un entorno sencillo que aísla al usuario del conocimiento de los detalles de la implementación o de la configuración de los archivos de simulación, y por usuarios experimentados, garantizado una interfaz que es fácilmente extensible para incluir cualquier simulación de redes neuronales en su forma binaria. El sistema, desarrollado para los sistemas operativos UNIX o Linux, fue utilizado en dos cursos de inteligencia artificial para pregrado y redes neuronales para postgrado, ofrecidos en otoño de 1995 en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación en la Universidad Estatal de Washington.

Otra herramienta usada en la actualidad para el aprendizaje de RNA es Neural Java (EPFL, 2000). Esta herramienta está compuesta de una serie de ejercicios y demostraciones, desarrollada en el Laboratorio de Microsistemas de L'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suiza. Cada ejercicio consiste de una corta introducción, un pequeño programa de demostración escrito en Java (*applet*) y una serie de preguntas las cuales pretenden ser una invitación a jugar con los programas y explorar las posibilidades de los diferentes algoritmos. El propósito de los *applets* es ilustrar la dinámica de las diferentes arquitecturas de redes neuronales artificiales.

Otro *applet* que implementa varios métodos de aprendizaje competitivo es DemoGNG (Loos and Fritz-

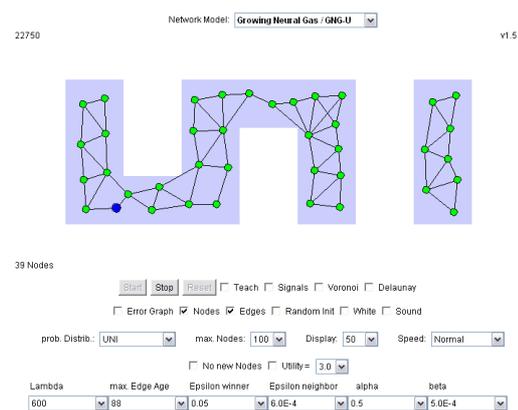


Figura 2. DemoGNG: Herramienta de simulación usada para demostrar el funcionamiento de redes competitivas. Tomado de (Loos and Fritzke, 2006).

ke, 2006). Es posible experimentar con los diferentes métodos usando varias distribuciones de los datos y luego observar la evolución del aprendizaje.

## 2.2 Herramientas de Aprendizaje para Lógica Difusa

Desde la concepción del controlador difuso, su aplicación ha sido extensiva a diferentes problemas. En diferentes instituciones el control difuso se considera una rama de estudio tan importante como las técnicas convencionales. Por esta razón, la enseñanza de la lógica difusa requiere el uso de herramientas adecuadas.

En (Ko *et al.*, 2001) se presenta el desarrollo de un laboratorio basado en Web para experimentos de control sobre un arreglo de tanques acoplados realizado en el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Singapur. El laboratorio es utilizado para el aprendizaje de los estudiantes de los principios básicos y metodologías en el área, realizando una serie de experimentos desde Internet sobre los tanques acoplados y sin restricciones de horario o lugar. La planta permite implementar controles manuales, PID, difusos y de realimentación de estados; además de proveer acceso a audio y vídeo por medio de una cámara montada en una plataforma móvil.

En (Hoyer *et al.*, 2004) se presenta un laboratorio virtual para el control en tiempo real de un péndulo invertido utilizado por un grupo de universidades alemanas. El sistema sirve para el diseño y verificación de diversos controladores, los cuales, en el momento de la publicación estaban restringidos a PID, difusos y realimentación de estados.

En (Hu *et al.*, 2005) se describe un simulador para experimentación en modelado, análisis y diseño de sistemas de control, de bajo costo desarrollado en el departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional Yunlin de Ciencia y Tecnología. Adicionalmente, la experimentación es llevada a cabo en una aproxima-

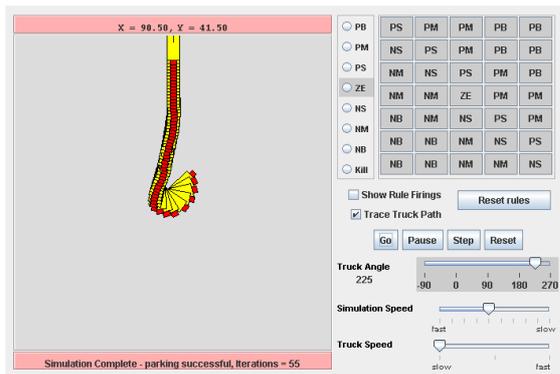


Figura 3. FuzzyTruck: Aplicación en Java que permite observar el parqueo de un camión. Tomado de (NRC-IIT, 2006).

ción al aprendizaje basado en problemas. La principal contribución del sistema es reducir el costo en equipo hardware incluyendo su actualización y mantenimiento, aunque implica la adquisición de software especializado para el uso del sistema. Como trabajo futuro se propone el desarrollo de cursos virtuales que estarán disponibles para un mayor número de usuarios. Además, los experimentos incluirán una estructura para controlar un proceso a través de Internet.

Algunos *applets* para la experimentación con lógica difusa se muestran en (Apronix, 2000; Kondorf, 2006; NRC-IIT, 2006). En (Apronix, 2000) se realiza la implementación de un péndulo invertido de una etapa, controlado por medio de lógica difusa y generado por FIDE; una aplicación de diseño realizada por Apronix, Inc. El objetivo del controlador es utilizar el motor para mantener el péndulo balanceado en el centro del carro. En (Kondorf, 2006) se presenta una herramienta de simulación de agrupamiento difuso, útil para observar los algoritmos de lógica difusa mientras intentan localizar grupos de puntos en el conjunto de datos. En (NRC-IIT, 2006) se encuentra una aplicación para el aparcamiento de un camión en una plataforma de descarga. La aplicación permite posicionar el camión en cualquier posición del área de trabajo. Mientras se ejecuta también se muestran las reglas que están siendo activadas en cada instante.

### 2.3 Cursos Virtuales y/o basados en Problemas

Capacitar personal con excelente fundamentación teórica pero a la vez con habilidades sociales y prácticas es la tendencia actual en la educación. En este sentido, diversas universidades han visto la necesidad de modificar sus currículos y sus herramientas de aprendizaje y evaluación para adaptarlas a estas necesidades.

En (Lindfors, 2002) se presenta un entorno de aprendizaje virtual basado en Web para Ingeniería de Control, denominado ControlWeb, desarrollado en el Departamento de Ingeniería Ambiental y de Procesos de la Universidad de Oulu, Finlandia, con el objetivo de

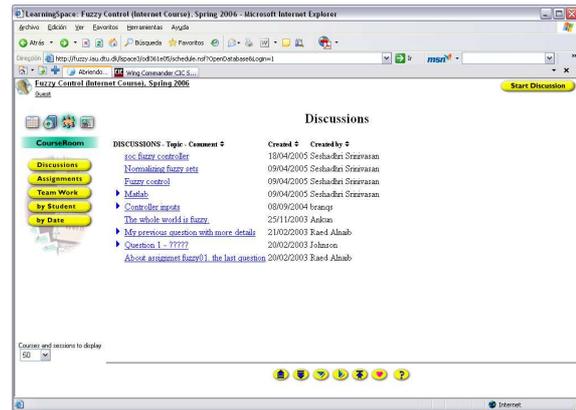


Figura 4. Fuzzy Control: Curso por Internet de la Universidad Técnica de Dinamarca

reducir costos económicos manteniendo la alta calidad y cobertura. El entorno facilitó la distribución del material y la comunicación general. Entre las temáticas desarrolladas dentro de ControlWeb se encuentran métodos Neuronales y Difusos en automatización de procesos, en el apartado de estudios especiales avanzados. Para analizar los resultados, se evaluaron los comentarios, notas y créditos de los estudiantes de los años 1993 a 2000. Los resultados y experiencias muestran una serie de mejoras para el desarrollo de un ambiente de aprendizaje y una herramienta que indica la necesidad de cambios en los parámetros del curso.

La Universidad Técnica de Dinamarca implementó seis cursos basados en Web para Ingeniería de Control. Estos cursos contienen materiales para control difuso y redes neuronales (Jantzen, 2003). La implementación es realizada con páginas HTML normales, Lotus LearnignSpace, aplicaciones en VBScript y el servidor Web de MATLAB para simulaciones.

En el curso de control difuso se presenta como problema la estabilización de un péndulo invertido. Los estudiantes construyen un controlador difuso a través del software PENDULUM que trabaja con la versión estudiantil de MATLAB. En cada sesión en línea se requiere la lectura de un material complementario, el desarrollo de una serie de ejercicios y la solución a un problema de diseño específico relacionado con el caso de estudio. Según el autor, el estilo del curso permite un aprendizaje más profundo comparado con las clases magistrales. Una lección en línea, fuerza al estudiante a estar activo y alerta, y la necesidad de escribir los resultados de las tareas permite desarrollar capacidades comunicativas. Se puede considerar como desventaja que el estudiante debe adquirir un costoso software de simulación.

En la Universidad de Halmstad, Suecia, se desarrolla el curso de inteligencia artificial (Halmstad, 2006), con un énfasis en técnicas como la programación simbólica, redes neuronales y algoritmos genéticos, para el desarrollo de comportamientos inteligentes como optimización, búsqueda de soluciones, representación de conocimiento e inferencia, relacionándo-

las a aplicaciones prácticas como reconocimiento de patrones, análisis de datos, etcétera. Se utiliza una plataforma de instrucción remota que permite guía y discusión interactiva. Además del uso de literatura convencional, la teoría fundamental es comentada por medio de ilustraciones y animaciones. La evaluación se realiza por medio de exámenes individuales basados en Web, la evaluación de la solución de los problemas propuestos y otras actividades por medio del foro de discusión.

En la Universidad de Victoria, Australia, se presenta el programa de pregrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Victoria, 2006); cuya metodología desde el primer año esta basada en ABP con una intensidad del 50 %. El otro 50 % se compone de dos unidades basadas en clases magistrales, las cuales están destinadas a enseñar los fundamentos básicos requeridos para resolver y completar los proyectos en los componentes basados en ABP. Durante el tercer y cuarto año de aprendizaje se da al estudiante la posibilidad de seleccionar una área de especialización, entre las que se encuentra Sistemas de Control, donde se examinan áreas como visión artificial, lógica difusa, robótica y automatización, entre otras.

Finalmente, la Maestría en Tecnología de la Información realizada en la Universidad de Aalborg, Dinamarca (Aalborg, 2006), es otra carrera presentada con enfoque basado en problemas, donde las clases magistrales se realizan durante la primera parte del semestre para proveer conocimientos generales para el desarrollo de un proyecto central. Uno de los énfasis dentro de la carrera es la Lógica Difusa, donde se presentan proyectos concernientes al análisis, diseño, implementación y evaluación de un sistema de información de lógica difusa diseñado para operar dentro de un dominio seleccionado. Se busca que el estudiante obtenga dominio de esquemas de control tanto convencional como moderno y su aplicación industrial.

### 3. PROPUESTA DE ENSEÑANZA BASADA EN PROBLEMAS

El ABP es una estrategia para el proceso de enseñanza-aprendizaje donde la adquisición del conocimiento esta orientada al desarrollo de una solución a una situación planteada. El ABP se considera una metodología de aprendizaje *activo*, que fomenta la capacidad de investigación, el aprendizaje autónomo, la mejor planificación del tiempo y capacidades para desempeñarse y expresarse adecuadamente en un ambiente técnico y profesional.

Dentro del marco del proyecto “Plataforma de Procesamiento Distribuido con Acceso Remoto Multiusuario y Emulación de Sistemas Dinámicos, para la Investigación y Educación en Ingeniería” (PERI), se propone la implementación del curso de Control Inteligente usando como estrategia de aprendizaje el ABP,

haciendo uso de herramientas de apoyo entre las que debemos destacar, una plataforma de procesamiento distribuido para la simulación de procesos, el contenido del curso en presentaciones interactivas desarrolladas en Flash y prácticas de laboratorio propuestas.

Modificar la estrategia de aprendizaje requiere que los objetivos del curso reflejen el desarrollo de competencias en los estudiantes, acordes con las necesidades establecidas en los entornos académico y profesional. Por esta razón, se propone el objetivo de capacitar al estudiante en la aplicación de las redes neuronales, los sistemas difusos y neurodifusos en la concepción, diseño, implementación y evaluación de sistemas automáticos de control por medio de programas de diseño asistido por computador (CAD), adquiriendo una posición crítica para el análisis y solución de problemas reales considerando no solo los aspectos técnicos sino también sociales, económicos, tecnológicos, entre otros. A partir de este objetivo, el estudiante debe desarrollar las siguientes competencias:

- Información y Comunicación: Está relacionada con la adquisición, evaluación, organización, procesamiento y comunicación de manera oral y escrita, de la información necesaria para la realización del trabajo propuesto de acuerdo a los requerimientos del mismo, teniendo en cuenta la terminología técnica y el uso de herramientas de NTIC.
- Investigación y Análisis: Está relacionada con la realización de los análisis cuantitativos y tecnológicos del sistema, identificado sus componentes. Además, la capacidad de analizar la respuesta en el dominio del problema para determinar condiciones de desempeño deseadas.
- Aplicación el conocimiento científico-técnico: Se relaciona con la capacidad de aplicar el conocimiento adquirido, ya sea representado por la habilidad de modelar un sistema, realizar cálculos pertinentes, etcétera; para desarrollar propuestas que le permitan solucionar un problema de acuerdo con las especificaciones deseadas.
- Síntesis de objeto y sistemas tecnológicos: Se refiere al la planificación, organización y ejecución del trabajo, tanto de simulación como experimentación, obteniendo resultados que son evaluados de manera científica. Adicionalmente, se relaciona con la representación sistemática de las soluciones planteadas.
- Pensamiento orientado a la resolución de problemas: Se refiere a la capacidad del estudiante de contextualizar los problemas planteados y si evalúa las características del problema para decidir la mejor estrategia para afrontarlo. Este procedimiento debe ser de manera autónoma y creativa, usando la información disponible, evaluando la necesidad de recursos y las consecuencias de sus decisiones. Al mismo tiempo, debe demostrar flexibilidad para adaptarse a nuevas

ideas que le puedan ayudar a la solución del problema planteado.

- Trabajo en equipo: Se refiere a si el estudiante cumple las tareas encomendadas por el grupo, contribuyendo al logro de los objetivos planteados. Esto requiere que trabaje cooperativa y coordinadamente con su grupo y el orientador, contribuyendo con ideas, esfuerzo y compromiso.
- Visión global del contexto socio–tecnológico y económico: Se refiere a si el estudiante es consciente de las características del proceso de aprendizaje y toma una actitud emprendedora, desarrollando las acciones necesarias para mejorarlo. Además, si practica los principios de la ética profesional en el desarrollo de sus actividades, valorando críticamente las repercusiones de las soluciones planteadas en el ambiente y la calidad de vida. Finalmente si es capaz de tener en cuenta el valor de los recursos tangibles e intangibles (como el tiempo de trabajo) en la implementación de la solución.

Para lograr desarrollar estas competencias, se presenta al estudiante un problema similar al que puede presentarse en su actividad profesional. Para su solución, proponemos una serie de pasos:

1. El desarrollo de una investigación a fondo de la planta propuesta, junto con el modelado y simulación de esta en Simulink.
2. La identificación de la planta por medio de métodos clásicos y de inteligencia computacional.
3. El desarrollo de controladores neuronales, difusos y neurodifusos, y la evaluación objetiva del desempeño de cada uno de los controladores.

Para evaluar estas actividades se han propuesto como herramientas, la asistencia a las sesiones de trabajo, el nivel de participación, el cumplimiento del cronograma, la entrega de las actividades planteadas, la presentación de los informes escritos, la calidad de la sustentación pública y participación en la sustentación. El cronograma debe ser propuesto por el estudiante teniendo en cuenta una guía de trabajo presentada por el orientador, la cual se presenta en la tabla 1. Al final del curso se espera que el estudiante escriba un artículo con sus conclusiones y que las sustente de manera pública. Esta actividad la consideramos fundamental para el entrenamiento del estudiante, para la exposición clara y concisa de sus ideas.

#### 4. ACTIVIDADES EN DESARROLLO

En la actualidad se están desarrollando los siguientes elementos indispensables para la implementación del curso de CI basado en problemas:

- Problemas de Control Inteligente: Se están estableciendo problemas a tratar, teniendo en cuenta su relación con el entorno real y el acceso

a diferentes herramientas disponibles en la universidad. Los problemas proveerán de un marco teórico general, la descripción del sistema, la formulación de requerimientos y las restricciones si existen.

- Guía del Docente: Este documento debe tener la información necesaria para la implementación de la estrategia. Los apartes que se consideran necesarios son:
  - Datos generales de la asignatura
  - La asignación temporal para el diseño, desarrollo y evaluación de actividades.
  - Los objetivos generales y específicos del curso.
  - Los contenidos básicos.
  - Las competencias a desarrollar con sus respectivos logros.
  - Un caso de estudio desarrollado metodológicamente, como guía para la implementación metodológica.
  - La descripción de los instrumentos de evaluación.
  - La bibliografía básica y complementaria.
  - Las herramientas tecnológicas disponibles.
- Contenido del Curso: Los contenidos del curso se presentarán por medio de la Web, haciendo uso de presentaciones Flash, que permiten una exploración por parte usuario. Se propone adicionalmente la construcción de mapas conceptuales desarrollados con la herramienta *IHMC CmapTools*, como método de navegación entre los contenidos. En la actualidad, los contenidos se encuentran en fase de revisión previa a su implementación.

#### 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una propuesta de enseñanza basada en problemas del control inteligente para los programas académicos de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la Universidad del Valle, con el uso de herramientas virtuales. La revisión del estado del arte en el área de educación en IA, muestra que existe muy poca documentación sobre cursos virtuales y/o basados en problemas dentro del área. Si bien se encontraron algunos ejemplos, estos no son claramente expuestos o son parte de cursos de control automático de procesos. Pero en definitiva, no hay ningún ejemplo completo de aplicación ABP al proceso de enseñanza aprendizaje de la IA. Aunque se encontraron varias herramientas para el aprendizaje, se presentaron algunos ejemplos representativos los cuales pueden ser usados como ayudas o referencias en nuestro ambiente. Además, cabe anotar que en diversas instituciones existe una mayor concatenación entre los temas de Control Inteligente y los de Control Clásico.

La propuesta para el desarrollo del curso de Control Inteligente usando aprendizaje basado en problemas, espera desarrollar competencias profesionales en el

Semanas	Actividad	Producto a Revisar	Recursos Disponibles
1	Presentación del Curso		Guía del Estudiante Conferencia Introdutoria Lectura complementaria
2	Discusión del cronograma de actividades	Propuesta de Cronograma	Asesoría del orientador
3	Aprobación del cronograma	Cronograma final	Asesoría del orientador
4, 5, 7, 9, 11, 13	Reuniones de Seguimiento		Curso Virtual de CI Guía de Laboratorio Asesoría del orientador
6	Evaluación del Modelo de la planta	Informe descriptivo del sistema	Asesoría del orientador
8, 10, 12, 14	Entrega de Actividades	Informe de la tarea programada	Asesoría del orientador
15, 16	Sustentaciones Públicas	Artículo a Sustentar	Asesoría del orientador

Tabla 1. Guía de Trabajo

estudiante, estableciendo unos objetivos y actividades en el curso que así lo permitan. Se han considerado metodologías de evaluación que comprendan actividades tanto individuales como grupales, examinando no solo el conocimiento adquirido, sino el método de adquisición y de aplicación.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por Colciencias y la Universidad del Valle, a través del proyecto “Plataforma de Procesamiento Distribuido, con Acceso Remoto Multiusuario y Emulación de Sistemas Dinámicos, para la Investigación y Educación en Ingeniería”, contrato No. 1106-11-17707.

#### REFERENCIAS

Aalborg, University (2006). International masters in information technology. <http://www.cs.aue.auc.dk/~hicks/courses/mit/semester-start-slides.pdf>.

Apronix (2000). Apronix fuzzyjava – smart applets in action. <http://www.apronix.com/fuzzynet/java/pend/pendjava.htm>.

Drossu, R., Z. Obradovic and J. Fletcher (1996). A flexible graphical user interface for embedding heterogeneous neural network simulators. *IEEE transactions on education* **39**(3), 367–374.

EPFL, Microprocessor Systems Lab (2000). Neuraljava. <http://diwww.epfl.ch/mantra/tutorial/english/>.

Halmstad, University (2006). Artificial intelligence. [http://www.hh.se/download/kursplaner/ide/04-05/artificiell\\_intelligens\\_04-%05\\_fri\\_naet\\_eng.pdf](http://www.hh.se/download/kursplaner/ide/04-05/artificiell_intelligens_04-%05_fri_naet_eng.pdf).

Hoyer, H., M. Gerke, I. Masar, I. Ivanov, C. Röhrig and A. Bischoff (2004). Virtual laboratory for real-time control of inverted pendulum/gantry crane. In: *1st IFAC symposium on telematics applications in automation and robotics*.

Hu, J., Y. Ciou and J. Su (2005). A low-cost simulated control experimentation conducted in electrical engineering department of national yunlin university of science and technology. In: *Exploring Innovation in Education and Research*.

Jantzen, J. (2003). Internet learning in control engineering: A fuzzy control course. In: *6th IFAC Symposium on Advances in Control Education*. pp. 27–35.

Ko, C.C., B.M. Chen, J. Chen, Y. Zhuang and K. Chen Tan (2001). Development of a web-based laboratory for control experiments on a coupled tank apparatus. *IEEE transactions in Education* **44**(1), 76–86.

Kondorf, M. (2006). The fuzzy clustering applet. <http://www.cs.rpi.edu/~moorthy/fuzzy/index.html>.

Lindfors, J. (2002). A modern learning environment for control engineering. Master’s thesis. University of Oulu.

Loos, H. S. and B. Fritzke (2006). DemoGNG. <http://www.neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de/ini/vdm/research/gsn/demogng/gng.html>.

NRC-IIT, Integrated Reasoning Group of the Institute for Information Technology of the National Research Council of Canada (2006). Fuzzy truck parking demo. [http://www.iit.nrc.ca/ir\\_public/fuzzy/fuzzytruck.html](http://www.iit.nrc.ca/ir_public/fuzzy/fuzzytruck.html).

Victoria, University (2006). Bachelor of engineering in electrical and electronic engineering. <http://elecwww.vu.edu.au/library/pdf/pbl%20flyer%20santa5.pdf>.