

Diseño y Simulación de Controladores Inteligentes Aplicados a Procesos Industriales

Sergio L. Martínez; Enrique E. Tarifa; Samuel Franco Domínguez;
Jorge J. Gutiérrez; Miguel A. Azar

Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Jujuy / CONICET
Ítalo Palanca N° 10 / S. S. de Jujuy / Provincia de Jujuy / Tel. 0388-4221591
smartinez@fi.unju.edu.ar; eetarifa@fi.unju.edu.ar; sfrancodominguez@cedeveva.org
jorgejgutierrez@outlook.com; augux1221@gmail.com

Resumen

El presente proyecto tiene por objetivo general desarrollar sistemas de apoyo para la toma de decisiones en procesos industriales, enfocados principalmente a los sistemas de control inteligente. Estos sistemas son cada vez más necesarios debido a la complejidad creciente de los escenarios planteados por la globalización, la competencia, los avances tecnológicos, los problemas ambientales y sociales, entre otros. Concretamente, el Control Inteligente es un procedimiento computacional, capaz de conducir eficientemente un sistema complejo a un objetivo, aún con una representación incompleta, inadecuada y/o bajo especificaciones imprecisas; es decir, actúa apropiadamente en un entorno con incertidumbre. Bajo estas premisas, se puede considerar que proporciona perspectivas interesantes al ser capaz de suministrar metodologías que permiten realizar de forma automática algunas de las tareas realizadas típicamente por los humanos. El desarrollo de Controladores Inteligentes requiere significativos esfuerzos de investigación interdisciplinarios para integrar conceptos y métodos de áreas tales como control, identificación, estimación, además de otras áreas tales como teoría de la comunicación, ciencias de la computación, inteligencia artificial e investigación operativa.

Palabras clave: Controladores, redes neuronales, lógica fuzzy, procesos industriales.

Contexto

Este proyecto, orientado al desarrollo general de sistemas de apoyo para la toma de decisiones en procesos industriales, está enfocado específicamente en el estudio, optimización e implementación de controladores inteligentes aplicados a modelos de equipos y procesos industriales característicos de la región.

Se desarrolla en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu) bajo la dirección del Mg. Ing. Sergio L. Martínez, en un entorno multidisciplinario, con el aporte de las cátedras de Inteligencia Artificial (carrera de Ingeniería Informática), Ingeniería de Procesos y Modelo y Simulación (carrera de Ingeniería Química).

Está financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales (SeCTER) de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu) y se identifica con el código interno D/0133.

Este proyecto forma parte del Programa de Investigación “Desarrollo de Sistemas de Soporte a la Toma de Decisiones” (dirigido por el Dr. Enrique Tarifa y codirigido por el Mg. Ing. Sergio L. Martínez) y está inserto en el Programa de Incentivos dependiente de la Secretaría de

Introducción

Desde un punto de vista general, la supervisión y control de procesos es un campo complejo y muy extenso. De hecho, en la bibliografía relacionada se encuentran trabajos que van desde sistemas que se concentran en ordenar toda la información de la planta (condiciones de operación, característica de los equipos, lista de proveedores, niveles de inventario, información de mantenimiento, etc.) hasta sistemas que coordinan complejos dispositivos de control y enclavamiento, al tiempo que sugieren las mejores condiciones de operación de acuerdo a criterios previamente fijados (Zhang, 2006; Villa *et al.*, 2003).

La globalización, la competitividad, los avances tecnológicos, la revalorización del ambiente y el impacto en la sociedad son, entre otros, factores que deben ser considerados a la hora de tomar decisiones en prácticamente cualquier área. A esta creciente cantidad de criterios a ser considerados, se le suma el hecho de que las decisiones se deben tomar lo antes posible. Por lo tanto, el tomar decisiones se ha vuelto una actividad sumamente compleja, dando origen así a la necesidad de desarrollar los sistemas de apoyo para la toma de decisiones (*Decision Support System*, DSS), donde los sistemas de control constituyen un grupo muy significativo. La construcción de DSS para un proceso en particular demanda el desarrollo de los modelos de simulación, optimización y control correspondientes al proceso elegido (Phillips-Wren, 2009; Hepting, 2007).

Para implementar sistemas de control en procesos productivos, se requiere el desarrollo de modelos de simulación y optimización adecuados. Existen diversos tipos de modelos de simulación, y

algunos son más apropiados que otros para determinados sistemas. En el caso de los procesos industriales químicos y de alimentos, los modelos de simulación son generalmente continuos, deterministas y basados en principios teóricos.

El modelo de espacio de estado es el modelo que prácticamente se impuso como estándar en las investigaciones del área (Altimari & Bildea, 2009; Staroswiecki & Gehin, 2001). Estos modelos están formados por un sistema de ecuaciones algebraicas acoplado a un sistema de ecuaciones diferenciales. La selección del método numérico a utilizar para resolver tan complejo sistema es también tema de investigación. Cuando es posible, se prefiere el empleo de utilitarios matemáticos (Matlab, MathCad, Mathematica, Scilab) o directamente de simuladores de procesos (HYSYS, CHEMCAD, PROSIM, SuperPro Designer).

En el caso de los procesos por cuya complejidad no se cuenta con la suficiente base teórica, o es impráctico emprender el desarrollo de un modelo de espacio de estado, se recurre a los modelos basados en conocimientos (sistemas expertos, sistemas expertos fuzzy) o modelos empíricos adaptivos (redes neuronales, redes wavelets) (Avci, 2009; Ghorbanian & Gholamrezaei, 2009).

Para los procesos donde intervienen el clima, especies vegetales, especies animales o personas, se utilizan modelos estocásticos (redes de Markov, simulación de Monte Carlo, simulación orientada a eventos, simulación orientada a procesos) y, cuando es posible, se recurre a utilitarios de simulación estocástica (RISK, Simul8, ARENA). La conducta humana se modela utilizando teoría de juegos (Reneke, 2009; Esmaeili *et al.*, 2009).

En el campo de la optimización, la programación matemática y la programación dinámica son herramientas ampliamente utilizadas. La búsqueda de óptimos globa-

les para problemas no lineales es actualmente llevada a cabo mediante la utilización de métodos estocásticos y evolutivos (algoritmos genéticos, programación evolutiva, *tunneling algorithm*, *simulated annealing*), también se emplean métodos de búsquedas elaborados (Eiben & Smith, 2008; Sivanandam & Deepa, 2007). Muchas investigaciones emplean utilitarios cuando ello es posible (GAMS, LINGO).

En el caso del control tradicional, dado que la investigación y desarrollo tiene muchos años de ocurrencia existe abundante bibliografía al respecto. Pero no ocurre lo mismo para el control inteligente, pues los sistemas basados en técnicas de inteligencia artificial son relativamente recientes; aún así, se pueden destacar aplicaciones exitosas en este campo, que continúa en permanente desarrollo y sostenida evolución (Chen *et al.*, 2011; Chen, 2009; Labiod *et al.*, 2005; Seferlis & Georgiadis, 2004; Chen & Huang, 2004; Gu & Hu, 2002; Poznyak, 2001; Yager, 1994).

Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

El campo de la supervisión de procesos productivos, que incluye las actividades de control, forma parte del nivel más alto de la pirámide de la automatización; por lo tanto, incluye a muchos otros, entre los que se pueden citar (Staroswiecki & Gehin, 2001; Acosta *et al.*, 2001):

- 1. Obtención de datos del proceso:** sistema de adquisición, toma de muestras, análisis de laboratorio, obtención de registros históricos.
- 2. Procesamiento de datos:** detección de sensores fallados, detección de análisis erróneos, detección de registros equivocados, eliminación de ruidos, conciliación de lecturas.
- 3. Obtención de información:** estimación de parámetros y variables no me-

didadas, estimación de tendencias, detección de situaciones anómalas.

- 4. Procesamiento de información:** diagnóstico de fallas, estimación de futuros estados, elaboración de modelos cuantitativos, cualitativos y estadísticos.
- 5. Toma de decisiones:** de acuerdo al estado observado del proceso, y en función de los objetivos planteados para éste, se elabora un plan de acción.
- 6. Implementación:** planificación y ejecución del proyecto destinado a implementar la decisión tomada en la etapa anterior.

Objetivos y Resultados

Es lógico considerar que en el control de sistemas complejos (plantas no lineales de orden elevado, con parámetros internos temporalmente variables, con alta dependencia del entorno y las condiciones actuales, etc.), se tienen objetivos que no pueden alcanzarse exclusivamente con la teoría del control convencional. Principalmente debido a la presencia de incertidumbre o perturbaciones en los procesos, falta de información, conocimiento incompleto o ambiguo que genera modelos mal definidos o la imposibilidad de generar una descripción analítica exacta de los procesos que conduce a modelos asociados que no pueden ser expresados con sistemas convencionales de ecuaciones diferenciales o en diferencias.

Estas consideraciones sentaron las bases para definir el objetivo principal de este proyecto que consiste en *diseñar, sintonizar e implementar mediante simulación, sistemas de control inteligentes aplicados a modelos de procesos industriales enfocados hacia procesos productivos o tecnológicos de la región.*

A partir de allí, se derivaron como objetivos específicos los siguientes:

- Estudiar y modelar procesos industriales clásicos utilizados en procesos productivos que se desarrollan en esta región.
- Desarrollar sistemas de control inteligentes basados en diversas tecnologías de inteligencia artificial, principalmente con redes neuronales y lógica fuzzy.
- Aplicar procedimientos específicos para la generación de datos requeribles en el aprendizaje y configuración de sistemas de control inteligentes.
- Comparar y determinar las ventajas e inconvenientes que ofrecen los sistemas de control inteligentes frente a los sistemas clásicos de control.
- Investigar y aplicar nuevos métodos algorítmicos para mejorar la adaptabilidad de los sistemas de control inteligentes a los esquemas de procesos industriales modelados.

Para el nivel de desarrollo actual del proyecto, se realizaron diversas actividades como se detalla.

Publicaciones

“Diseño simplificado de controladores fuzzy MIMO con estructuras fuzzy SISO”, en XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Buenos Aires, 2014.

“Generador de fallas múltiples aplicable a modelos de procesos industriales” en Interdisciplinariedad, Multidisciplinariedad y/o Transdisciplinariedad en la búsqueda de respuestas desde las experiencias de investigación, Ed. UCSE-DASS, ISBN 978-987-29803-2-0, Jujuy, 2014.

”Proceso de autocorrelación en la determinación de la arquitectura de redes neuronales artificiales”, en Interdisciplinariedad, Multidisciplinariedad y/o Transdisciplinariedad en la búsqueda de respuestas desde las experiencias de investigación, Ed. UCSE-DASS, ISBN 978-987-29803-2-0, Jujuy, 2014.

“Prototipo de semáforo inteligente implementado en cruce de avenidas”, en Interdisciplinariedad, Multidisciplinariedad y/o Transdisciplinariedad en la búsqueda de respuestas desde las experiencias de investigación, Ed. UCSE-DASS, ISBN 978-987-29803-2-0, Jujuy, 2014.

“Configuración Eficiente de Controladores Fuzzy”, en Actas del 2º Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información, Ed. UNSL, ISSN 2346-9927, San Luis, 2014.

Presentaciones en Congresos

XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2014). Tema: Diseño simplificado de controladores fuzzy MIMO con estructuras fuzzy SISO”. Presentador: Sergio L. Martínez. La Matanza, Buenos Aires, 2014.

II Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CAIISI 2014). Tema: Configuración Eficiente de Controladores Fuzzy. Presentador: Jorge J. Gutiérrez. San Luis, 2014.

Trabajos en curso

- *Proyecto CIAA*: es una plataforma electrónica preparada especialmente para aplicaciones industriales, cuyo diseño está disponible para ser usado libre y gratuitamente en el desarrollo de productos y servicios.
- *Controladores neuro-fuzzy*: constituyen una nueva tecnología de computación flexible (*soft computing*) con bases en la teoría de inteligencia artificial. Utiliza técnicas y procedimientos robustos para el manejo de la información imprecisa e incierta, combinando las ventajas individuales de los campos de la lógica fuzzy y las redes neuronales.
- Estabilidad de controladores inteligentes: además de la posibilidad de aplicación de métodos tradicionales

para el estudio de estabilidad, este tipo de controladores puede utilizar métodos particulares que serán analizados y comparados.

- Control de evaporadores: en el contexto de los dispositivos para procesos industriales, se prevé el estudio, modelado y control de evaporadores aplicados específicamente a la concentración del jugo de tomate, como proceso industrial clásico de la región.
- Piletas de litio: El estudio se iniciará con un análisis sistémico exhaustivo de las piletas de concentración de una planta seleccionada. Para el modelado se identificarán, los parámetros, las variables manipulables, las perturbaciones, las variables de estado y las variables de salida. Se desarrollarán modelos genéricos y globales que mostraran el comportamiento del proceso bajo diferentes esquemas de control inteligente.

Formación de Recursos Humanos

Las actividades de investigación son desarrolladas por el grupo de investigación IngProAr en la sede del Instituto de Tecnología Minera e Industrial (InTeMI) de la Facultad de Ingeniería de la UNJu.

El equipo de trabajo se constituye con los siguientes miembros:

Mg. Ing. Sergio L. Martínez (director); Dr. Enrique E. Tarifa (asesor-consultor); Ing. Samuel Franco Domínguez (codirector); Ing. Jorge J. Gutiérrez (docente investigador); Ing. Miguel A. Azar (docente investigador).

En este proyecto se han desarrollado las tesis y trabajos finales que se indican:

Tesis de Grado: “*Reconocedor Óptico de Matrículas Vehiculares capturadas en Tiempo Real*”, Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería (UNJu). Aprobada en 2014.

Tesis de Grado: “*Prototipo Inteligente para Simulación de Cruce Vehicular*”, Carrera de Ingeniería Informática, Facultad de Ingeniería (UNJu). En evaluación.

Dirección de becarios: Programa de Becas de Terminalidad de Carrera para Estudiantes de Grado en Carreras TICs. Dirección de tres becarios con temas afines al proyecto, actualmente en ejecución.

Referencias

- Acosta G., Alonso Gonzalez C., Pulido B., “Basic tasks for knowledge-based supervision in process control”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14, pp. 441–455, 2001.
- Altamari P., Bildea C. S., “Integrated design and control of plantwide systems coupling exothermic and endothermic reactions”, *Computers and Chemical Engineering*, 33, pp. 911–923, 2009.
- Avci D., “An expert system for speaker identification using adaptive wavelet sure entropy”, *Expert Systems with Applications*, V. 36, pp. 6295–6300, 2009.
- Chen C.S., Dynamic structure adaptive neural fuzzy control for MIMO uncertain nonlinear systems, *Information Sciences*, V. 179(15), pp. 2676–2688, 2009.
- Chen J. & T.C. Huang. “Applying neural networks to on-line updated PID controllers for nonlinear process control”. *Journal of Process Control*, V.14, pp. 211–230, 2004.
- Chen J., Z. F. He, X. Qi, “A new control method for MIMO first order time delay non-square systems”. *Journal of Process Control*, V. 21(4), 538–546, 2011.
- Eiben A., Smith J. “Introduction to Evolutionary Computing”. Ed. Springer. USA. 2008.
- Esmaili M., Aryanezhad Mir-Bahador, Zeephongsekul P., “A game theory ap-

- proach in seller–buyer supply chain”, *European Journal of Operational Research*, 195, pp. 442–448, 2009.
- Ghorbanian K., Gholamrezaei M., “An artificial neural network approach to com-pressor performance prediction”, *Applied Energy*, 86, pp. 1210–1221, 2009.
- Gu D. & H. Hu, “Neural Predictive Control for a Car-like Mobile Robot”. *International Journal of Robotics and Autonomous Systems*, V. 39(2-3), 2002.
- Hepting D.H., “Decision support for local environmental impact assessment”, *Environmental Modelling & Software*, Volume 22, Issue 4, 436-441, 2007.
- Labiod S., M.S. Boucherit & T.M. Guerra, “Adaptive fuzzy control of a class of MIMO nonlinear systems”. *Fuzzy Sets and Systems*, V. 151(1), 59–77, 2005.
- Phillips-Wren G., Mora M., Forgionne G. A., Gupta J.N.D., “An integrative evaluation framework for intelligent decision support systems”, *European Journal of Operational Research*, 195, pp. 642–652, 2009.
- Poznyak A.S., E.N. Sanchez & W. Yu. “Differential Neural Networks for Robust Nonlinear Control”. Ed. World Scientific Publishing, ISBN 981-02-4624-2. Singapore, 2001.
- Reneke J. A., “A game theory formulation of decision making under conditions of uncertainty and risk”, *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, Vol. 74 (16), pp. e1239-e1246, 2009.
- Seferlis P., Georgiadis M. C., , “The integration of process design and control”, *Computer Aided Chemical Engineering*, 17, Elsevier, 2004.
- Sivanandam S., Deepa S. “Introduction to Genetic Algorithms”. Ed. Springer. USA. 2007.
- Staroswiecki M. and Gehin A., “From Control to Supervision”, *Annual Reviews in Control*, 25, pp. 1-11, 2001.
- Villa J.L., Duque M., Gauthier A. & Rakoto-Ravalontsalama N., “Supervision and Optimal Control of a Class of Industrial Processes”, In *Proc. of IEEE Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA2003)*, Vol II, pp. 177-180, 2003.
- Yager R. R., Filev D. P. “Essential of Fuzzy Modelling and Control”. Ed. Wiley, ISBN: 978-047-10176-1-5. USA, 1994.
- Zhang J., “Improved on-line process fault diagnosis through information fusion in multiple neural networks”, *Computers and Chemical Engineering*, 30, 558–571, 2006.