

Libros y Monografías

En este número traemos a nuestra sección varias novedades aparecidas recientemente en el campo de supervisión y control de procesos industriales. Se trata del libro “Inteligencia Artificial para la Supervisión de Procesos Industriales”, cuyo autor es Joseph Aguilar Martín y cuatro tesis doctorales. Es de destacar que tres de ellas han sido presentadas en la Universidad de Vigo (España) por investigadores del Grupo de Ingeniería de Procesos del Instituto de Investigaciones Marinas (IIM) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). La cuarta se ha defendido recientemente en la Universidad de Almería (España). Los resúmenes han sido enviados por sus autores.

Animamos de nuevo a los lectores a enviar resúmenes de novedades, tanto de libros como de tesis doctorales recientes, y a solicitar recensiones de libros que consideren de interés para el área a través de la dirección de correo electrónico que figura a continuación.

Carlos Bordóns Alba
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad de Sevilla
bordons@esi.us.es

NOVEDADES

Libro: “Inteligencia Artificial para la Supervisión de Procesos Industriales”

Autor: Joseph Aguilar Martín

Publicado por el Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la ULA, Mérida, Venezuela. Distribuido por multireflex s.l.n.e., Barcelona, España.

Este libro pretende dar a conocer a los estudiantes elementos de Inteligencia Artificial útiles para la Supervisión de Procesos Industriales, así como su concretización en casos prácticos. Los Procesos Industriales realizan operaciones complejas y se vigilan mediante equipos de sensores, llevan sus propios controladores automáticos, y el trabajo de supervisión está en manos de operadores o de sistemas informáticos de alto nivel.

La Supervisión se hace necesaria en aquellos procesos, en que se temen fallos o funcionamientos conflictivos, y tiene tres tareas básicas: la Vigilancia, el Diagnóstico, y la Recuperación. Una tarea subyacente que se impone es la determinación de la Condición de Funcionamiento (Condition Monitoring en Inglés) en tiempo real.

Existe un sin número de técnicas, más o menos heurísticas, para vigilar un proceso real. Este libro pretende proporcionar un conjunto de herramientas matemáticas conectadas con la Inteligencia Artificial, y unos principios y métodos de supervisión que las utilicen.

El libro ilustra estas metodologías mediante ejemplos, y también bajo la forma de prácticas, las cuales pueden dar lugar a experimentaciones numéricas por parte de los estudiantes. Tanto los ejemplos como las prácticas provienen de proyectos industriales desarrollados en el grupo de investigación DISCO (DIagnosis, Supervisión y CONTROL) del LAAS-CNRS en Toulouse, y en el marco del LEA-SICA (Laboratorio Europeo Asociado Sistemas Inteligentes y Control Avanzado) compuesto por grupos universitarios en Francia y en España (Toulouse, Perpignan, Barcelona, Gerona, Terrassa y Vilanova i la Geltrú).

El libro se divide en tres grandes bloques:

- I. ELEMENTOS MATEMÁTICOS de Inteligencia Artificial para la Supervisión de Procesos Industriales
- II. TÉCNICAS de Inteligencia Artificial para la Supervisión de Procesos Industriales
- III. PRÁCTICAS de Inteligencia Artificial para la Supervisión de Procesos Industriales

En caso de utilizar este libro para un curso, el profesor puede limitarse a ciertas técnicas, y a algunas prácticas, escogiendo en los elementos matemáticos aquellos que le aparezcan útiles. Los programas correspondientes a las prácticas se pueden obtener en la dirección <http://www.laas.fr/~aguilar/>.

Tesis doctoral: Diseño integrado de estructuras de control descentralizado en procesos y plantas químicas

Autor: Luis Taboada Antelo

Directores: Antonio A. Alonso y Julio R. Banga

Universidad de Vigo (España), mayo de 2008

Una planta química puede tener cientos de medidas y lazos de control. El término control de planta completa o “control plant-wide” no denota el sintonizado y/o el comportamiento dinámico de esos lazos, sino que se refiere a la formulación del problema global de control y a cómo descomponer dicho problema (de elevada complejidad) en sub-problemas más simples. Esto es lo que se denomina selección o diseño de la estructura de control del sistema. La evolución durante los últimos años en el campo de las metodologías de diseño de estas estructuras de control implementadas sobre plantas químicas completas ha sido un tema de interés dentro de la ingeniería de control y procesos ya que se percibe como un reto que todavía no ha sido completamente desarrollado ni resuelto de forma eficaz. Concretamente, en el área del control de plantas completas existen, dos grandes enfoques principales: el enfoque heurístico (basado en directrices de control obtenidas a partir de la experiencia) y el matemático (basado en la resolución de un problema de optimización dinámica de naturaleza mixta-entera y de elevada dimensión). Ambos todavía presentan inconvenientes que lastran su aplicabilidad.

El problema más importante de estos enfoques es que carecen de una sistemática a la hora de aplicarse a cualquier proceso o planta, lo que restringe mucho su campo de actuación. A fin de tratar de llenar este espacio, en esta tesis se desarrolla un conjunto de herramientas conceptuales y metodológicas que creemos pueden contribuir a llevar a cabo un diseño sistemático de la estructura de control para un proceso o planta química dada. Los fundamentos sobre los que se asentará este diseño serán la descomposición del proceso en sus elementos constitutivos (redes de materia y energía), el concepto de control de inventario y la teoría de pasividad y de estabilidad de Lyapunov. El primer paso en este nuevo método de diseño sistemático será descomponer el sistema en sus subredes constituyentes de materia y energía. Tras ello, se diseñarán los lazos conceptuales de control de inventario de materia y energía para garantizar que los estados del proceso, tanto en términos de variables extensivas como intensivas, permanecerán en una región invariante y convexa. Este resultado no asegura por sí mismo la convergencia de las variables intensivas a sus valores deseados de operación dado que el intercambio de masa y de energía entre los nodos de la red de proceso y con el ambiente mantiene al sistema fuera del equilibrio termodinámico. Como consecuencia, existe la posibilidad de que aparezca un comportamiento dinámico complejo en dicho invariante, ya sean múltiples estados estacionarios o fenómenos oscilatorios (ciclos límite). Para evitar estos escenarios no deseados, se ha hecho uso de la relación existente entre la estabilidad termodinámica y el formalismo de pasividad y teoría de Lyapunov para construir leyes de control que aseguren la convergencia de las variables intensivas a sus valores deseados.

La metodología de diseño TBC (Thermodynamics Based Control) propuesta se ha aplicado a diferentes unidades y procesos: a) el control para un reactor no isoterma de mezcla completa, analizando asimismo, con ayuda del balance entrópico, los fenómenos dinámicos complejos que exhiben este tipo de unidades (multiplicidades y ciclos límite); b) diseño de la estructura de control para una planta completa ampliamente abordada en la literatura como es el Proceso Tennessee Eastman.

Por último, en esta tesis se define una nueva herramienta para el sintonizado de los lazos de control basada en la resolución de un problema programación no lineal (cuyas siglas en inglés son NLP), la cual se aplica tanto a diseños extraídos de la literatura como a candidatos TBC, concluyendo que éstos últimos garantizan la estabilidad global del proceso. Además, se hace una primera aproximación al campo de la selección de estructuras óptimas de control dentro de la superestructura de candidatos de control TBC definida (que resulta de las distintas alternativas que surgen en una planta a la hora de realizar los lazos conceptuales de control de inventario), resolviendo para ello problemas de programación mixta-entera (MINLP) de dimensión reducida.

Tesis doctoral: Identificación y optimización en tiempo real de las industrias biotecnológica y alimentaria

Autora: Míriam R. García

Directores: Antonio A. Alonso y Eva Balsa-Canto

Universidad de Vigo (España), Mayo de 2008

En este trabajo se propone un novedoso y original enfoque integral para el control óptimo en línea de procesos no lineales y distribuidos típicos de la industria alimentaria y biotecnológica. Con este propósito se persiguen varios objetivos:

- **Construcción de modelos fiables** que ofrezcan un buen compromiso entre capacidades predictivas y eficiencia computacional. Con este fin se ha propuesto un ciclo de desarrollo de modelos que integra los siguientes aspectos: formulación matemática del modelo, análisis de las propiedades estructurales, calibración del modelo, diseño óptimo de experimentos y validación final.
- **Simulación eficiente de procesos distribuidos** utilizando dos tipos de modelos de orden reducido que capturan la esencia del comportamiento del sistema con un bajo coste computacional y que se basan, respectivamente, en la Descomposición Espectral del Laplaciano y la Descomposición en Funciones Empíricas. Además se ha explorado un procedimiento sistemático que aprovecha la estructura algebraica del método de elementos finitos permitiendo tratar geometrías espaciales complicadas.
- **Identificación de estados para sistemas distribuidos** cuando no se dispone de medidas para la inicialización de las sucesivas optimizaciones en línea. En este contexto se han desarrollado dos técnicas: reconstrucción óptima del campo, y un observador dinámico de especial interés en bioprocesos, ya que no precisa información acerca de las velocidades de reacción. Además se han considerado aspectos relacionados con la localización de sensores y su influencia en la habilidad para reconstruir los campos necesarios que alimenten al observador.
- **Dos Lógicas de optimización en tiempo real.**
 - Control óptimo basado en multi-modelos en sistemas distribuidos donde se actualizan tanto parámetros como la estructura del modelo para asegurar la estabilidad en ciclo cerrado.
 - Una arquitectura de optimización en tiempo real estructurada en dos capas que proporciona buenas capacidades de seguimiento y regulación a la vez que asegura una operación óptima. La capa superior combina optimizaciones globales y locales para calcular los mejores perfiles de operación posibles en línea y fuera de línea. Estos serán a continuación enviados a la capa de regulación que consiste principalmente en controladores descentralizados (tipo PID) para mantener las capacidades de seguimiento en pequeñas escalas de tiempo.
- **Validación experimental de los conceptos teóricos** en la planta piloto situada en el IIM-CSIC. En este contexto, el objetivo es maximizar la cantidad de nutrientes a la vez que se mantienen los niveles de seguridad en la esterilización térmica de alimentos enlatados.

Tesis doctoral: Modelling, simulation and robust control of distributed processes: application to chemical and biological systems

Autor: Carlos Vilas Fernández

Directores: Antonio A. Alonso y Julio R. Banga

Universidad de Vigo (España), Junio de 2008

Las ventajas de disponer de un modelo para la simulación de un determinado proceso son muchas. Entre ellas destacan: poder anticiparse a posibles cambios en las condiciones; ensayar distintos modos de operación o comprobar el efecto de la utilización de equipamiento alternativo. Todo ello de una forma rápida, eficiente y económica. La mayor parte de los procesos involucrados en campos tan diversos como la biología, la química o la industria alimentaria, entre otros, comparten ciertas características entre las que destacan su carácter distribuido, es decir, los estados asociados a ese proceso evolucionan en el tiempo y están distribuidos en el espacio. Por lo tanto, el modelado y la simulación de los mismos, objetivos de la primera parte de la tesis, llevan asociados por un lado la formulación del sistema en forma de ecuaciones en derivadas parciales (EDP), generalmente no lineales, y por otro lado su resolución. Debido a que en la mayoría de los casos no se conoce la solución analítica de las mismas, generalmente se recurre a las siguientes alternativas:

- Tratar este tipo de sistemas como si fuesen de parámetros concentrados (los estados sólo dependen del tiempo).
- Utilización de métodos numéricos como diferencias finitas (MDF), elementos finitos (MEF) o volúmenes finitos (MVF).

La primera opción sólo es válida cuando la distribución espacial es despreciable frente a la evolución temporal como, por ejemplo, reactores donde mediante agitación se consigue la homogeneización del medio. Sin embargo, en el resto de los casos es necesario recurrir a la segunda alternativa. El mayor inconveniente de ésta es que la solución numérica implica un coste computacional tan grande (especialmente cuando se consideran dominios espaciales 2D o 3D) que resulta poco eficiente, o incluso inservible, para aplicaciones en tiempo real como control u optimización en línea.

En esta tesis se propone, como alternativa a los métodos clásicos, el desarrollo de una sistemática para la proyección de las EDP sobre un subespacio de dimensión reducida. De esta forma la EDP original se transforma en un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) conocido como modelo de orden reducido (MOR). Uno de los problemas de los métodos de proyección es tratar con términos no lineales ya que implica llevar a cabo integrales cuya solución analítica se desconoce en muchos casos. Las matrices resultantes del MEF permiten aproximar derivadas e integrales espaciales mediante operaciones algebraicas. En este trabajo se hace uso de dichas matrices para desarrollar una sistemática que permita la obtención de modelos de orden reducido, su resolución de forma eficiente y que sea aplicable tanto a procesos 1D como 2D o 3D con geometrías arbitrariamente complejas.

Por otra parte, en algunos sistemas, el hecho de utilizar un controlador que asegure que el proceso está siendo llevado a cabo en las condiciones adecuadas resulta tan importante como (o incluso más que) disponer de un modelo para la simulación. El diseño de una lógica de control para sistemas reacción-difusión-convección es el principal objetivo de esta tesis.

Los casos estudiados incluyen procesos de interés en las industrias química y bio-tecnológica. Dado que en la mayor parte de este tipo de sistemas, tanto los parámetros como los términos no lineales de dichos modelos llevan asociada una cierta incertidumbre, será necesaria la aplicación de técnicas de control robusto capaces de llevar al sistema a una referencia dada a pesar de la presencia de dicha incertidumbre. Para ello se propone la adaptación de la teoría clásica existente de control robusto para sistemas de parámetros concentrados a sistemas distribuidos mediante la utilización de los MOR.

Por último, un problema intrínseco al control de sistemas distribuidos es que, generalmente y debido a restricciones físicas y/o económicas, sólo se dispone de un número finito (normalmente pequeño) de actuadores. Esta cuestión puede provocar que el sistema no sea controlable y, por lo tanto, la referencia deseada no pueda ser alcanzada. Es por ello que, en esta tesis, también se presta atención a las condiciones (número mínimo de actuadores) que aseguran la controlabilidad del sistema.

Tesis doctoral: Estrategias de Control de Intercambiadores de Calor Termosolares

Autor: José Domingo Álvarez Hervás

Directores: Manuel Berenguel Soria y Luis J. Yebra Muñoz

Universidad de Almería (España), junio de 2008

Este trabajo ha sido centrado en ver qué innovaciones se pueden aportar dentro de los campos de modelado y control en los sistemas basados en plantas solares, encontrándose que los sistemas más usados (los basados en tecnología de receptor central y en tecnología cilindro-parabólica) tienen como elemento común el uso de intercambiadores de calor tubulares o termosolares. A lo largo de los años se ha tratado el modo de atenuar la excitación de los modos resonantes inherentes en estos elementos. La aparición de las dinámicas resonantes en estos sistemas, dificulta su control debido a los efectos que producen en su salida cuando se intenta aumentar el rendimiento y la rapidez de respuesta frente a cambios de consigna.

El uso de controladores PID para esta clase de sistemas, se antoja insuficiente y poco efectivo si se quiere alcanzar una respuesta en bucle cerrado sin sobreoscilaciones y con un alto rendimiento, debido a que este tipo de controladores generalmente no tienen en cuenta los efectos que provoca en la salida del sistema la excitación de los modos resonantes. Tradicionalmente, se utilizan controladores de alto orden o más complejos para el control eficiente de esta clase de sistemas; en este trabajo se propone el uso de un controlador con estructura de control repetitivo para la cancelación de las dinámicas resonantes. Aunque el control repetitivo es una técnica ampliamente conocida para el seguimiento de trayectorias periódicas o el rechazo de perturbaciones periódicas, en este trabajo se considera una nueva funcionalidad para esta clase de controladores al usarlos para contrarrestar las dinámicas resonantes de los sistemas tubulares. Esta nueva funcionalidad consiste en la interpretación de los efectos provocados por la excitación de los modos resonantes como perturbaciones 'internas' del sistema, surgiendo la sintonización del controlador repetitivo de una manera lógica y natural a partir de un modelo de caja gris desarrollado para el sistema.

Además, durante el tratamiento de este problema, surgieron otras problemáticas de control colaterales en los sistemas solares basados en tecnología de receptor central. Estos sistemas utilizan la radiación solar concentrada para calentar un fluido que atraviesa un receptor volumétrico, y que se transfiere una vez calentado a un intercambiador de calor para iniciar una producción de vapor. El fin último es producir vapor a una temperatura y presión dadas para alimentar una turbina. Mientras en las plantas de producción energética convencionales dicha fuente primaria de energía, que proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles, es controlable y se puede regular, en las plantas basadas en energías renovables ni se puede controlar, ni está siempre disponible para operar el sistema. Por lo que se necesita una segunda fuente de energía, normalmente denominada buffer o almacén energético, que será la encargada de mantener el sistema en su estado nominal ante la ausencia de la fuente de energía primaria.

El hecho de que dentro del sistema exista un almacén hace que la fuente de potencia entrante al generador de vapor varíe dinámicamente durante la operación de la planta, pudiendo provenir dicha potencia de la fuente energética principal (el

receptor), del buffer energético (un almacenamiento térmico) o de ambas fuentes simultáneamente. Esto provoca la introducción de eventos discretos o lógicos dentro de la dinámica continua del sistema, conllevando la necesidad de desarrollar un modelo que sea capaz de contemplar la naturaleza heterogénea del sistema. A esta clase de sistemas, donde se mezclan dinámicas discretas y continuas, se les denomina en la literatura 'sistemas híbridos'.

En los últimos años, se han estudiado por diferentes vías, modelos capaces de describir las interacciones entre dinámicas continuas con componentes lógicos. Estos modelos heterogéneos, denominados en la literatura como modelos híbridos, son capaces de conmutar entre diferentes modos de operación, donde cada modo se asocia con una dinámica particular y cada transición entre modos se trata como un evento discreto del sistema. En este trabajo se ha desarrollado tanto un modelo como un controlador híbrido para la potencia entrante al generador de vapor de una planta solar basada en tecnología de receptor central, ya que ésta admite una descripción híbrida de una manera natural, debido a los distintos modos de operación que provoca el hecho de tener incorporado un sistema de almacenamiento energético.