

LIBROS Y MONOGRAFÍAS

En este número traemos a nuestra sección la recensión de un libro sobre la Teoría de Realimentación Cuantitativa (*Quantitative Feedback Theory* o QFT) y como novedades, los resúmenes de dos tesis doctorales. El libro aborda tanto los conceptos teóricos como los aspectos de implementación real de QFT, que es una técnica de diseño robusto de controladores de gran éxito en el ámbito de la ingeniería de control, tratando además las últimas metodologías del control QFT multivariable e incluyendo el control de sistemas con retardos. La recensión de este libro ha sido realizada por Montserrat Gil Martínez, de la Universidad de la Rioja.

En el apartado de novedades presentamos dos tesis doctorales, fruto de la colaboración entre la Universidad de Almería y la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), co-dirigidas ambas por los profesores Sebastián Dormido Bencomo y Manuel Berenguel Soria y leídas durante el presente año. Se trata de temáticas bien distintas, la primera de ellas, realizada por José Luis Guzmán Sánchez y titulada “Interactive Control System Design” versa sobre el desarrollo de métodos y herramientas de apoyo a la docencia en Control Automático, centrado fundamentalmente en técnicas de control de procesos de uso extendido en la industria, como los controladores PID y el Control Predictivo Basado en Modelo. La segunda tesis, titulada “Modelado orientado a objetos de colectores cilindro-parabólicos con Modelica”, realizada por Luis José Yebra Muñoz, aborda el modelado dinámico de plantas solares utilizando como fluido de transferencia de calor agua-vapor en estado mono y bifásico. 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: bordons@esi.us.es.

RECENSIÓN

Quantitative Feedback Theory. Fundamentals and Applications

Constantine H. Houpis, Steven J. Rasmussen, Mario Garcia-Sanz

CRC Press, Taylor & Francis Group, 2nd Ed., 2006, 610 páginas, ISBN: 0-8493-3370-9

La teoría de realimentación cuantitativa (*Quantitative Feedback Theory* o QFT) es actualmente una técnica de diseño robusto de controladores de gran éxito en el ámbito de la ingeniería de control. El libro aquí presentado (2^a edición), publicado por la editorial norteamericana Taylor & Francis tras el éxito de la primera edición, constituye una guía didáctica de gran valor, tanto en los conceptos teóricos (fundamentales y avanzados) de QFT, como en los aspectos de implementación real, tan demandados por el ingeniero.

En el panorama internacional actual existen dos libros significativos más sobre QFT: el publicado en 1993 por Isaac Horowitz y el publicado en 1999 por Oded Yaniv. Ambos han sido una buena fuente de información para los usuarios de QFT, mejorada ahora en el libro aquí referenciado en diversos aspectos que se comentan a continuación.

Además de los temas clásicos de QFT, el nuevo libro recoge un estudio pormenorizado de las últimas metodologías del control QFT multivariable. Otra novedad es la inclusión del control de sistemas con retardos, aspecto poco estudiado anteriormente en QFT.

El libro sintetiza la experiencia de los autores en la impartición de cursos de doctorado sobre la materia durante más de diez años en diversas universidades de distintos países. Es por ello que de los libros de QFT aparecidos hasta el momento, éste es el más didáctico en la exposición de los temas teóricos, siendo especialmente apto para cursos de QFT de nivel básico o avanzado, así como de bibliografía básica para el investigador y el ingeniero interesado en temas de control robusto.

Otras de las virtudes que lo avalan son la inclusión de ejemplos resueltos de cada una de las metodologías teóricas expuestas, la presentación y resolución de problemas experimentales de control a nivel industrial, un capítulo final de problemas propuestos, así como la solución de algunos problemas seleccionados. Adicionalmente existe otro libro-manual de soluciones. El libro también incorpora un CD con un software CAD para el diseño de controladores QFT, tanto para sistemas SISO/MISO como MIMO ($S=Single$, $M=Multiple$, $I=Input$, $O=Output$), compatible con MATLAB. Los problemas presentados en el anexo de soluciones han sido resueltos tanto con este CAD propio como con el de Terasoft, más popular en el mercado actual.

En cuanto a la estructura del libro, los capítulos iniciales contienen aspectos teóricos fundamentales y avanzados de la técnica QFT, y los últimos capítulos están más orientados a su aplicación práctica. En particular, el capítulo 2 contiene los fundamentos y la versatilidad de QFT para el control realimentado de sistemas reales en los que no puede obviarse la incertidumbre del modelo y las perturbaciones no medibles. El diseño de estos controladores para sistemas MISO se trata en los capítulos 3 y 4, tanto en el dominio del tiempo continuo como en el discreto, respectivamente. La múltiple entrada hace referencia al tratamiento de un problema de regulación afectado por múltiples puntos de entrada de perturbación, a lo que se puede añadir el seguimiento de una señal de referencia cambiante (problema de *tracking*). El tratamiento del problema de control desde el punto de vista discreto es especialmente interesante de cara a su implementación en microprocesadores digitales. Su diseño puede realizarse en el dominio discreto directamente, o en el dominio continuo tomando las debidas precauciones, tal y como se especifica en el capítulo 4.

A partir del capítulo 5 se trata el problema del QFT multivariable (MIMO). En el capítulo 5 se presentan los métodos tradicionales de QFT MIMO conocidos en la literatura como Método 1 y Método 2, sobre la base de descomponer el sistema MIMO en un conjunto de sistemas MISO equivalentes, a los que les sea aplicable la metodología del capítulo 3. De forma específica el Método 1 se detalla en el capítulo 6 y el Método 2, que trata de reducir el “sobrediseño” para ciertos casos, en el capítulo 7. Los controladores matriciales finales son en ambos casos diagonales. Una mejora de ambos métodos (Método 3) es el diseño de controladores no-diagonales, tal y como presenta la metodología del capítulo 10, que incluye además una validación experimental mediante el control de un robot industrial Scara. En el capítulo 8 se extienden los Métodos 1 y 2 al problema multivariable con perturbaciones externas adicionales. Este capítulo aporta también un ejemplo del reabastecimiento en vuelo de un avión de carga tipo C-135. Los capítulos comentados, abordan el problema MIMO pensando en plantas cuadradas de $m \times m$ entradas-salidas. Para sistemas con diferente número de entradas y salidas el problema ha de ser readaptado tal y como se sugiere en el capítulo 14.

Los capítulos 9, 11 y 13 son de gran interés, tratando de establecer puentes entre el mundo teórico y el práctico en la ingeniería de control. El capítulo 9 presenta ciertas “reglas de ingeniería”, el capítulo 11 discute los factores implicados en el “ciclo de diseño de los sistemas de control”, y el capítulo 13 incluye problemas industriales reales a gran escala resueltos exitosamente con QFT: el control de una planta depuradora de aguas residuales urbanas y el control de un aerogenerador multipolar de velocidad variable y gran potencia.

El capítulo 12 está dedicado a los sistemas con grandes retardos variables y con gran incertidumbre, muy frecuentes en la ingeniería de control de procesos. Plantea un método original de sintonía de Predictores de Smith (SP) mediante técnicas QFT, resolviendo el problema de desajuste de los SP ante sistemas con incertidumbre. El método se valida en una planta piloto de pasteurización.

Los apéndices A, B y J profundizan en temas específicos de QFT como son las plantillas (*templates*), los contornos (*bounds*), inecuaciones cuadráticas y compatibilidad de especificaciones; y el diseño *loop-shaping*. Los apéndices C, D y E describen los dos paquetes software para el diseño de controladores QFT incluidos en el CD junto con el libro. Más ejemplos de aplicación de las distintas metodologías expuestas se incluyen en los apéndices F al I. Finalmente se incluye una amplia colección de problemas, algunos de ellos resueltos. También es de utilidad la sección inicial del libro sobre simbología QFT, en un esfuerzo por estandarizar la diversa terminología existente en la bibliografía.

En resumen, el libro constituye un material fundamental en materia de QFT, destacándose el tratamiento de los sistemas multivariables, los casos experimentales resueltos, y la exposición de las reglas fundamentales para que los diseños teóricos puedan funcionar de forma óptima en la realidad industrial.

Montserrat Gil Martínez

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática (Dpto. Ingeniería Eléctrica).

Universidad de la Rioja

montse.gil@die.unirioja.es

NOVEDADES

Tesis doctoral: Interactive Control System Design

Autor: José Luis Guzmán Sánchez

Directores: Manuel Berenguel Soria y Sebastián Dormido Bencomo

Universidad de Almería (Mención europea). Junio de 2006.

El planteamiento inicial de la tesis doctoral tenía como objetivo fundamental el desarrollo de métodos y herramientas de apoyo a la docencia en Control Automático, centrado fundamentalmente en técnicas de control de procesos de uso extendido en la industria, como los controladores *Proporcional-Integral-Derivativo* (PID) y el *Control Predictivo Generalizado* (*Generalized Predictive Control*, GPC). Los métodos y herramientas diseñados hacen uso de los recientes avances en las *Nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones* (NTIC) y pretenden dar respuesta a necesidades detectadas en el ámbito de diversos comités y foros internacionales. En este objetivo docente, subyace la necesidad de diseñar algoritmos computacionalmente eficientes, para soportar una de las características fundamentales que se exige a las herramientas docentes, la interactividad, que es tratada con detalle en esta tesis. Algunas de las herramientas desarrolladas se pueden descargar gratuitamente desde <http://www.calerga.com/contrib/index.html>.

Una vez implementadas las herramientas relacionadas con los controladores PID y GPC, incluyendo tratamiento de restricciones en ambos casos y constituyendo una de las aportaciones principales de la tesis, el interés se centró en explotar la potencia de las herramientas en el análisis y tratamiento de incertidumbre, especialmente en los esquemas basados en control GPC. Desde los estudios iniciales se apreció la dificultad inherente a compatibilizar la eficiencia exigida por las herramientas interactivas con la gran carga computacional que caracteriza a los algoritmos de control predictivo robusto, por lo que la investigación desembocó en el diseño e implementación de técnicas sub-óptimas que constituyen una solución de compromiso entre optimalidad y la eficiencia computacional exigida por las herramientas docentes. En este ámbito se enmarca la segunda aportación fundamental de la tesis, que consiste en un esquema de control predictivo robusto que trata de aunar las ventajas de la *Teoría de la Realimentación Cuantitativa* (*Quantitative Feedback Theory*, QFT) en cuanto a eficiencia y leve conservadurismo en el tratamiento de incertidumbre, y las del control GPC en el campo del tratamiento de restricciones y capacidad de predicción. En la tesis se expone el esquema de control y las metodologías de diseño y de análisis de estabilidad tanto en los casos sin restricciones como en los sujetos a ellas. Con el fin de demostrar la eficiencia computacional de algunos de los algoritmos propuestos, se ha desarrollado una herramienta interactiva que será descrita de igual forma a lo largo de la tesis. De la misma forma, se ha obtenido una solución utilizando el esquema propuesto y aplicando *Lineal Matrix Inequalities* (LMI) con el fin de obtener soluciones robustamente estables en presencia de restricciones.

Evidentemente, otra ventaja adicional de las técnicas desarrolladas es que, al ser computacionalmente eficientes, son susceptibles de utilización en aplicaciones prácticas industriales, elemento que se pretende explotar como aplicación natural de los resultados de la tesis.

Tesis doctoral: Modelado orientado a objetos de colectores cilindro-parabólicos con Modelica

Autor: Luis José Yebra Muñoz

Directores: Sebastián Dormido Bencomo y Manuel Berenguel Soria

Universidad Nacional de Educación a Distancia. Mayo de 2006.

La transformación de energía proveniente de la radiación solar en una forma de energía controlada y útil para la alimentación de procesos industriales o inyección a redes eléctricas es uno de los objetivos fundamentales perseguidos por diversos proyectos de investigación que actualmente se desarrollan en el Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Organismo Público de Investigación (OPI) del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). Aunque existen dos tecnologías base de plantas solares: Receptor Central y Colectores Cilindro-Parabólicos (CCP), la tecnología en el ámbito del cual se ha desarrollado esta tesis ha sido la última, pese a que gran parte de los conceptos presentados es aplicable al modelado de plantas de energía solar basadas en tecnología de Receptor Central.

Dentro de las líneas de investigación de CIEMAT, el desarrollo de modelos dinámicos de plantas de energía solar es un objetivo fundamental para el desarrollo de dichas plantas. El objetivo de dichos modelos es doble: (1) desarrollar sistemas avanzados de control y operación automática, y (2) realizar simulaciones dinámicas orientadas al diseño óptimo de subsistemas de plantas de energía solar.

Esta tesis doctoral se ubica dentro de esta línea de investigación, con el objetivo fundamental de contribuir al modelado dinámico de plantas solares de CCPs utilizando como fluido de transferencia de calor agua-vapor en estado mono y bifásico. La instalación experimental utilizada para calibrar y validar los modelos desarrollados es la planta experimental DISS, situada en la Plataforma Solar de Almería (PSA), centro de investigación perteneciente a CIEMAT.

Las aportaciones principales de la tesis han sido:

(1) Desarrollo de una librería de modelos no lineales, basados en primeros principios, para plantas de CCPs. Los modelos de la librería han sido desarrollados en el lenguaje de modelado Modelica y basados en la librería de clases base ThermoFluid, facilitando una flexible parametrización de componentes fundamentales. Los mecanismos de parametrización avanzada de Modelica permiten modificar en tiempo de “instanciación” en el modelo:

- a) Parámetros comunes del tipo geométrico, físico y de soporte a inicialización numérica de ecuaciones diferenciales (*ODE*) y algebraico-diferenciales (*DAE*) en condiciones estacionarias.
- b) Parámetros estructurales, relacionados con los métodos numéricos aplicados en los modelos base y desarrollados.
- c) Parametrización de expresiones para las correlaciones empíricas de transferencia de calor y caídas de presión en secciones de flujo bifásico.
- d) Parametrización de propiedades termodinámicas y de transporte del fluido caloportador, en forma de ecuación algebraica explícita en variables de estado.

(2) Exposición de hipótesis aplicadas al modelado de termofluidos en condiciones de flujo bifásico, así como métodos numéricos utilizados en los modelos desarrollados en esta tesis. En particular se ha dedicado un gran esfuerzo en detallar los aspectos más relevantes del Método de los Volúmenes Finitos (MVF), y su aplicación a la discretización espacial de la ecuaciones en derivadas parciales que surgen de los planteamientos de ecuaciones de balances de masa, energía y momento.

(3) Derivación de Modelos Extendidos Generalizados de Límite Móvil, orientados su utilización en simulaciones de tiempo real empotradas en controladores avanzados basados en este tipo de modelos. Estos modelos aportan un mayor grado de precisión en evaporadores de grandes dimensiones utilizados en plantas solares de CCPs con flujo bifásico, respecto a los Generalizados de Límite Móvil utilizados en evaporadores de dimensiones inferiores.

(4) Calibración, validación y aspectos prácticos relacionados, del modelo de la fila DISS en configuración “un-solo-paso”, basado en modelos de CCPs de la librería desarrollada y con datos obtenidos en la experimentación de la planta DISS en PSA.

(5) Detección de incompatibilidades entre las propiedades del estándar actual para el cálculo de propiedades termodinámicas del medio agua-vapor IAPWS-IF97, los métodos numéricos utilizados para la discretización de las ecuaciones en derivadas parciales y para la integración de los modelos de sistemas a simular. Dichas incompatibilidades se manifiestan en algunos casos como fenómenos incontrolados de castañeteo (*chattering*) durante la simulación.