

## LIBROS Y MONOGRAFÍAS

En este número traemos a nuestra sección la recensión de un libro que, aunque no se puede considerar específico del campo de la Automática e Informática, sí incluye muchos aspectos relacionados con el área y además es de gran actualidad. El libro trata diversos aspectos del modelado y control de vehículos (principalmente vehículos eléctricos e híbridos, incluidos los propulsados por pila de combustible) además de la tecnología necesaria, abordando también temas cercanos a la Ingeniería Eléctrica y Mecánica. La recensión de este libro ha sido realizada por Miguel Ángel Ridao Carlini, de la Universidad de Sevilla.

En el apartado de novedades presentamos tres tesis doctorales recientes, dos de ellas presentadas en la Universidad Politécnica de Valencia y una en la Universidad de Sevilla. La primera de ellas, realizada por Luis Gracia Calandín y titulada “Modelado Cinemático y Control de Robots Móviles con Ruedas” aborda la modelización de diferentes vehículos móviles desde un punto de vista cinemático (sin y con deslizamiento) y dinámico para acabar planteando la resolución del control de dichos vehículos bajo diferentes paradigmas. La segunda tesis, titulada “Identificación Robusta de Sistemas no Lineales mediante Algoritmos Evolutivos “ ha sido realizada por Juan Manuel Herrero Durá y propone una metodología de identificación robusta paramétrica que permite determinar conjuntos de parámetros factibles, de cualquier tipo, en modelos no lineales cualesquiera, acotando el error de identificación simultáneamente mediante varias normas. Finalmente, la tesis “Control Predictivo no Lineal Basado en Modelos de Volterra”, realizada por Fernando Dorado Navas, propone una metodología de Control Predictivo para procesos no lineales que puedan ser descritos mediante modelos de Volterra de segundo, dando lugar a una estrategia sencilla y con estabilidad garantizada que puede ser fácilmente aplicada en sistemas de control industriales. 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](mailto:bordons@esi.us.es).

## RECENSIÓN

### *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*

L. Guzella y A. Sciarretta

Springer 2005, 291 páginas, ISBN: 978-3-540-25195-8

En este libro se presenta una introducción al modelado de distintos sistemas de propulsión de automóviles, incluyendo tanto vehículos con motor de combustión como eléctricos. También aborda algunos problemas de optimización asociados a estos sistemas de propulsión, principalmente el de consumo de combustible.

Los autores, pertenecientes al ETH Zurich, cuentan con una muy notable experiencia en este campo y especialmente en el diseño de estrategias óptimas de control para vehículos híbridos. El libro tiene su origen en una serie de cursos impartidos por los autores en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la ETH Zurich.

Una gran parte del libro está dedicada al modelado de los distintos sistemas de propulsión, de almacenamiento de energía y sistemas auxiliares. La mayor parte de los modelos presentados son básicamente estáticos (modelos cuasiestáticos) y se encuentran descritos con un nivel de detalle adecuado en el texto. El objetivo de estos modelos es determinar las prestaciones del vehículo y fundamentalmente el consumo de combustible cuando sigue un ciclo de conducción determinado, es decir parten de un perfil de velocidades y aceleraciones y determinan la potencia demandada a los sistemas de propulsión y con ello el consumo de combustible. Este tipo de modelo es adecuado para el dimensionamiento de vehículos y para el análisis de estrategias de gestión energética, por ejemplo para el caso de vehículos híbridos. Además los autores dedican breves apartados a modelos dinámicos de cada sistema, pero en un nivel de detalle muy inferior, aunque suministrando referencias bibliográficas.

Como valor añadido, los autores proporcionan el paquete de software QSS Toolbox, que se puede descargar desde la página web del ETHZ ([www.imrt.ethz.ch/research/qss](http://www.imrt.ethz.ch/research/qss)). Se trata de un conjunto de bloques de Simulink que incluyen los modelos estáticos presentados en el libro y que al interconectarlos permiten analizar el comportamiento de estructuras complejas de vehículos híbridos.

La parte del libro dedicada a algoritmos de optimización aplicados a sistemas de propulsión es mucho más breve. Consta de un capítulo dedicado a estrategias de control para la gestión de potencia en vehículos híbridos y un apéndice donde se presentan seis ejemplos concretos de aplicaciones, en su mayor parte correspondientes a vehículos híbridos.

En cuanto al contenido, el primer capítulo es introductorio, donde se definen los objetivos y alcance del libro. En el capítulo 2 se modela de forma simple la dinámica del movimiento longitudinal del vehículo así como un análisis del consumo de combustible. Finalmente introduce las distintas metodologías de modelado, así como los problemas de optimización que se abordan en el libro.

Con el capítulo 3 empieza la descripción de distintos sistemas de propulsión en vehículos. Este capítulo se dedica a los motores de combustión. Incluye también modelos para la caja de cambio y el sistema de transmisión. El capítulo 4 incide en los vehículos eléctricos e híbridos. En este capítulo se presentan modelos de motores eléctricos de corriente continua, de inducción y de imanes permanentes. También se incluyen modelos de baterías y de supercondensadores. Adicionalmente, en este capítulo se analizan las distintas configuraciones que se pueden dar en un vehículo híbrido.

En el capítulo 5 se describen modelos de algunos sistemas de almacenamiento de energía, como los volantes de inercia, mientras que el capítulo 6 está dedicado a los sistemas basados en pilas de combustible. También dedica un apartado a la producción de hidrógeno, en concreto presenta modelos de un reformador de metanol. Este capítulo cierra la parte del libro dedicada al modelado de sistemas de propulsión.

En el capítulo 7 los autores presentan varias estrategias para la gestión de potencia de sistemas híbrido con el objetivo de minimizar el consumo energético. A mi modo de ver, este tema de gran interés, debería haberse tratado más en profundidad (aunque proporciona interesantes referencias bibliográficas). Presenta distintas alternativas a este problema que van desde estrategias heurísticas, estrategias basadas en control óptimo y estrategias subóptimas, así como los problemas que presentan cada una de ellas que hacen que sea un problema abierto.

En el apéndice I se presentan seis aplicaciones en las que en la mayor parte utiliza los algoritmos presentados en el capítulo anterior. Finalmente, el anexo II repasa los aspectos más básicos de la teoría del control óptima, necesaria para la comprensión de los últimos capítulos del libro.

En resumen, se trata de un libro que puede resultar de notable interés para aquellos lectores interesados en iniciarse en esta temática y que cuenta con el apoyo de la muy interesante herramienta QSS Toolbox que permite al lector trabajar en simulación con los distintos modelos que aparecen en el libro.

**Miguel Ángel Ridao Carlini**

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática  
Universidad de Sevilla  
[ridao@cartuja.us.es](mailto:ridao@cartuja.us.es)

## NOVEDADES

***Tesis doctoral: Identificación Robusta de Sistemas no Lineales mediante Algoritmos Evolutivos***

Autor: Juan Manuel Herrero Durá

Directores: Miguel Martínez Iranzo y Xavier Blasco Ferragud

Universidad Politécnica de Valencia, octubre de 2006.

Al proceso de identificación de los parámetros de un modelo nominal y su incertidumbre para su utilización en Control Robusto se le conoce como Identificación Robusta Paramétrica (IR). Un posible enfoque para abordar la IR, que resulta apropiado cuando el desconocimiento de las propiedades estadísticas del ruido y/o la dinámica no modelada invalidan los enfoques estocásticos, es el enfoque determinístico (Set Membership Estimation). Este

enfoque asume que el error de identificación (EI), diferencia entre las salidas medidas de proceso y las simuladas del modelo, aunque es desconocido, está acotado. De ahí que, bajo este enfoque, se persiga la determinación del conjunto de parámetros que consiguen mantener el EI acotado para una determinada norma y cota. Dicho conjunto es conocido como el conjunto de parámetros factibles (FPS).

Cuando el modelo es lineal respecto de sus parámetros, el FPS, si existe, es un polítopo convexo. En modelos no lineales dicho polítopo puede ser no convexo e incluso inconexo. En esta tesis se presenta una metodología de IR que permite determinar FPS, de cualquier tipo, en modelos no lineales cualesquiera, acotando el EI simultáneamente mediante varias normas. La metodología transforma el problema de IR en un problema de optimización multimodal con infinitos óptimos globales, los cuales constituyen el FPS.

Para su optimización se ha desarrollado un algoritmo evolutivo (EA) específico epsilon-GA, que caracteriza el FPS mediante un conjunto discreto de modelos FPS\* adecuadamente distribuido a lo largo del FPS. La metodología viene acompañada de un procedimiento que facilita la determinación de las cotas, asociadas a las normas que acotan el EI, para asegurar que FPS distinto de 0. Para ello, se utiliza la información que genera el frente de Pareto resultante de la minimización simultánea de las normas mediante una optimización multiobjetivo, para la cual, se ha desarrollado el algoritmo evolutivo epsilon variable-MOGA. Adicionalmente, se propone como modelo nominal un modelo de proyección interpolada restringida que, perteneciendo al FPS, resulta óptimo respecto del error de identificación y respecto del error de estimación en el espacio de parámetros. Como ejemplos de aplicación de la metodología propuesta se presenta la IR, con datos reales, de los parámetros de tres modelos no lineales: un sistema térmico, un modelo que refleja el bloqueo que produce un determinado fármaco sobre las corrientes iónicas de una célula cardíaca y el modelo climático de un invernadero (temperatura y humedad) con cultivo hidropónico de rosas.

***Tesis doctoral: Modelado Cinemática y Control de Robots Móviles con Ruedas***

Autor: Luis Gracia Calandín

Director: Josep Tornero Montserrat

Universidad Politécnica de Valencia, noviembre de 2006.

La presente tesis doctoral aborda el modelado cinemático y control de robots móviles con ruedas. En concreto, se plantea el modelado de una rueda genérica que incluye todos los tipos comunes: fija, orientable centrada, orientable descentrada (castor) y sueca (también denominada universal, Mecanum ó Ilon). Posteriormente se describe un procedimiento eficiente para generar modelos cinemáticos, basado en el concepto de espacio nulo, el cual se aplica posteriormente a un gran número de tipos de robots móviles. Todos estos modelos son caracterizados en cuanto a su precisión o transmisión de errores (isotropía). En la tesis también se deduce un novedoso planteamiento geométrico que establece la singularidad de cualquier modelo cinemático de cualquier robot con ruedas, que se aplica a todos los tipos de robots anteriores.

También se desarrolla el modelado dinámico del robot para, a través de tres sucesivas aproximaciones y de la caracterización de las fricciones en las ruedas, llegar a un modelado cinemático con deslizamiento, así como un esquema de control del robot con tres bucles de control anidados (dinámico, cinemático y de planificación) que es conceptualmente similar a los empleados en robots manipuladores. En particular se profundiza en el bucle cinemático de nivel medio e indirectamente en el de planificación, al caracterizar las referencias que puede seguir cada tipo de robot sin error. Se presentan experiencias de comprobación de los algoritmos de modelado con deslizamiento y de control del robot, realizadas sobre una plataforma eléctrica industrial (carretilla industrial). Finalmente se desarrollan dos soluciones para las aplicaciones de aparcamiento en paralelo, con pre-planificación y caracterización geométrica, y de seguimiento de línea por visión.

***Tesis doctoral: Control Predictivo No Lineal Basado en Modelos de Volterra***

Autor: Fernando Dorado Navas

Director: Carlos Bordóns Alba

Universidad de Sevilla, diciembre de 2006.

Esta tesis aborda el problema de la aplicación de los controladores predictivos a procesos no lineales. Aún a pesar de la importancia de los procesos no lineales en la industria, y las condiciones de operación que harían aconsejable un control no lineal, los métodos de control MPC (Model Predictive Control) no-lineales (NMPC) han tenido muy escaso éxito en las aplicaciones industriales. Una de las razones importantes para esta escasa difusión, sobre todo en relación con los logros de la correspondiente formulación lineal, se debe a la dificultad de generar modelos no-lineales de una forma consistente y fiable. En esta tesis se estudia y desarrolla el control predictivo no lineal (NMPC) empleando modelos de Volterra de segundo orden. Esencialmente, los modelos de

Volterra representan una extensión natural de los modelos lineales de convolución sobre los cuales se basan las estrategias de control predictivo lineal. De esta manera, el trabajo de esta tesis va encaminado a acortar las distancias que existen actualmente entre las técnicas de control NMPC de amplia difusión en el mundo académico, pero de impacto relativamente moderado en la industria.

Así pues se aborda la dificultad práctica de proporcionar un modelado sistemático de procesos no lineales sin emplear técnicas excesivamente distintas de las que son ya conocidas y empleadas por los ingenieros de control de procesos. La solución adoptada permite incrementar el rango de operación de los procesos llegando a un compromiso entre accesibilidad de las técnicas empleadas y complejidad de los modelos. En la formulación predictiva del controlador se ha reformulado la función de coste, con la inclusión de la penalización del esfuerzo de control, lo cual permite tener un mejor control sobre los movimientos de la señal de control y sobre la ponderación de éste respecto a los errores de predicción. También se ha analizado la función de coste, dando las condiciones de convexidad del problema de optimización para horizontes de control pequeños. La consideración de la penalización del esfuerzo de control puede ser empleada para forzar a la convexidad del problema de optimización. Se ha garantizado la estabilidad del controlador incorporando en la formulación las restricciones relativas al estado terminal y también se ha analizado la influencia del retardo sobre el comportamiento del sistema. Finalmente, se han verificado las propiedades de la metodología realizando una aplicación a una planta piloto donde se controla una reacción química.