

LIBROS Y MONOGRAFÍAS

Prosiguiendo con la temática iniciada en el número anterior, presentamos a continuación la recensión de un texto cuya publicación fue informada por Juan Pulido en el número de octubre de 2009 del Boletín Electrónico de Automática. Se trata de *Model Predictive Control: Theory and Design*, un libro de dos académicos de reconocido prestigio: James Rawlings y David O. Mayne.

Invitamos a los lectores a enviar resúmenes de novedades, de libros y tesis doctorales recientes, a solicitar recensiones de libros que consideren de interés para el área, y a proponer temas de interés para la sección, través de la dirección de correo electrónico que figura a continuación.

Aldo Cipriano
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Pontificia Universidad Católica de Chile
aciprian@ing.puc.cl

RECENSION

Model Predictive Control: Theory and Design

Autores: James Rawlings, David O. Mayne
Nob Hill Publishing, LLC, Madison, WI 53705, 2009, 533 páginas
ISBN: 9780975937709

En 7 capítulos y 3 anexos (bases matemáticas y teoría de estabilidad y optimización) los autores hacen una extensa presentación de los fundamentos y tópicos actuales del control predictivo basado en modelo. Una característica importante es la inclusión de más de 200 ejercicios, para cuyo estudio los autores ofrecen a quienes utilicen el libro en sus cursos un manual de 300 páginas con las soluciones, y un sitio web, www.che.wisc.edu/~jbraw/mpc, con los contenidos de los anexos. El mismo sitio presenta 53 erratas del texto impreso y algún material complementario. Estos aportes permiten afirmar que el texto tiene un importante objetivo docente.

De los siete capítulos los cuatro primeros son más básicos y los últimos tres son más especializados, y por ello los autores indican que la incorporación de sus contenidos en un curso regular depende de la orientación que el profesor dé al curso.

El capítulo 1, *Getting Started with Model Predictive Control*, sintetiza muy bien en sus 87 páginas, incluyendo 27 de ejercicios, los temas centrales de MPC: modelos y modelación, MPC para regulación, estimación de estado y tópicos de relevancia en aplicaciones: seguimiento de referencia y perturbaciones. En estas páginas iniciales se clarifica además el enfoque basado en espacio de estado que los autores emplean para los modelos, para lo cual tratan también aspectos de controlabilidad, LQR, estimación por mínimos cuadrados, estimación por horizonte deslizante y observabilidad.

El capítulo 2, *Model Predictive Control – Regulation*, profundiza en la solución del problema de control predictivo empleando programación dinámica, para el caso determinístico y en que el estado es conocido. También dedica un acápite importante a estabilidad, para los casos sin y con restricciones, estudiando distintas situaciones, por ejemplo de modelo invariante y variante en el tiempo. Se presentan algunos ejemplos y se analiza el caso del MPC subóptimo, para finalmente estudiar el problema de seguimiento de referencia y alcanzabilidad.

El capítulo 3 (*Robust Model Predictive Control*) está dedicado a robustez en casos de incertidumbre, debidas por ejemplo a perturbaciones aditivas desconocidas o imprecisiones en el modelo. No obstante que los contenidos se exponen, al igual que en los capítulos previos, con un apreciable grado de formalismo matemático, los autores hacen un esfuerzo por acercarse a la realidad, en sus palabras, sacrificando optimalidad por simplicidad, para lo cual introducen el concepto de “tube-based MPC”, lo cual permite formular la solución de control predictivo como un control en cascada: un control realimentado en torno a la trayectoria nominal en el lazo de control interno, el que reduce la incertidumbre, y un control MPC en el lazo externo. Luego de plantear la solución

general, se analizan varios casos específicos: modelo lineal con perturbación aditiva, modelo lineal con incertidumbre paramétrica, y modelo no lineal.

El capítulo 4 dedica 104 páginas a estimación de estado. Después de plantear la dualidad entre estimación óptima y control óptimo, y definir el problema de estimación para horizonte deslizante, resuelve el problema de estimación en los casos sin y con restricciones en el estado. Posteriormente describe el Filtro de Kalman Extendido y una variante del Filtro de Kalman (*Unscented Kalman Filter*), para seguir con una comparación de los tres métodos. El ejemplo de un reactor batch muestra que el Estimador de Horizonte Deslizante, propuesto por los autores, presenta un desempeño superior. El capítulo termina con una descripción muy detallada del Filtro de Partículas, una alternativa que combina Estimador de Horizonte Deslizante y Filtro de Partículas, y 25 ejercicios propuestos.

El capítulo 5, *Output Model Predictive Control*, es bastante más breve y considera un caso más general que en los capítulos anteriores: modelo lineal o no lineal, invariante o variante en el tiempo, pero con incertidumbre y sólo algunas variables de estado medibles. La solución al problema de control predictivo hace uso de un estimador de estado y de los algoritmos de control predictivo anteriormente propuestos.

El capítulo 6, *Distributed Model Predictive Control*, es posiblemente el más novedoso de todo el texto. Luego de justificar la necesidad que plantean muchas aplicaciones de investigar alternativas al control centralizado, describe y analiza tres formas de control distribuido: descentralizado, no cooperativo y cooperativo. Al estudiar la convergencia de la solución introduce el concepto de equilibrio de Nash y analiza varios casos de MPC: equilibrio inestable, equilibrio estable y sistema en lazo cerrado inestable, equilibrio estable y sistema en lazo cerrado estable. También revisa la estimación de estado distribuida para focalizarse después en MPC distribuido cooperativo, continuar con una breve introducción al MPC no lineal distribuido, enfatizar las oportunidades de investigación que existen en este ámbito y terminar con 30 ejercicios de diferente nivel de complejidad.

En el Capítulo 7 y final, *Explicit Control Laws for Constrained Linear Systems*, se plantea el problema de control predictivo en sistemas afines por tramos, los que han sido materia de investigación muy intensa en los últimos años. Si bien los autores discrepan del uso que se da al término “MPC explícito”, destacan los métodos de solución que consideran particiones politópicas, basadas en programación dinámica y programación lineal paramétrica. Al igual que los restantes capítulos, éste también incluye algunos ejercicios.

La diferencia de este texto con otros sobre control predictivo basado en modelo es evidente: en este priman los formalismos y la rigurosidad, y hay un mucho menor énfasis en aspectos prácticos, descripciones de productos o aplicaciones. Este es un excelente texto para un curso avanzado de MPC, o para investigación, pero otras referencias parecen más apropiadas para un curso inicial, si bien los numerosos ejercicios que se incluyen pueden ser muy bien utilizados en un curso más básico o aún en cursos previos