

Resumen

La gran mayoría de procesos del mundo real tienen incertidumbres inherentes, las cuales, al ser consideradas en el proceso de modelado, se puede obtener una representación que describa con la mayor precisión posible el comportamiento del proceso real. Tales incertidumbres pueden ser paramétricas, debido a la naturaleza del proceso, y/o aditivas, debido a perturbaciones externas. En la mayoría de casos prácticos, se considera que éstas tienen un comportamiento estocástico y sus descripciones como distribuciones de probabilidades son conocidas.

Las estrategias de control predictivo estocástico están desarrolladas para el control de procesos con incertidumbres de naturaleza estocástica, donde el conocimiento de las propiedades estadísticas de las incertidumbres es aprovechado al incluirlo en el planteamiento de un problema de control óptimo (OCP, del inglés Optimal Control Problem). En éste, y contrario a otros esquemas de control predictivo (MPC, del inglés Model Predictive Control), las restricciones duras son relajadas al reformularlas como restricciones de tipo probabilísticas con el fin de reducir el conservadurismo. Esto es, se permiten las violaciones de las restricciones duras originales, pero tales violaciones no deben exceder un nivel de riesgo permitido. La no-convexidad de tales restricciones probabilísticas hacen que el problema de optimización sea computacionalmente inmanejable, por lo que la mayoría de las estrategias de MPC estocástico en la literatura se diferencian en la forma en que abordan tales restricciones y las incertidumbres, para volver el problema computacionalmente manejable. Por un lado, están las estrategias deterministas que, fuera de línea, convierten las restricciones probabilísticas en unas nuevas de tipo deterministas, usando la propagación de las incertidumbres a lo largo del horizonte de predicción para ajustar las restricciones duras originales.

Por otra parte, las estrategias basadas en escenarios usan la información de las incertidumbres para, en cada instante de muestreo, generar de forma aleatoria un conjunto de posibles evoluciones de éstas a lo largo del horizonte de predicción. De esta manera, convierten las restricciones probabilísticas en un conjunto de restricciones deterministas que deben cumplirse para todos los escenarios gene-

rados. Estas estrategias se destacan por su capacidad de incluir en tiempo real información actualizada de las incertidumbres. No obstante, esta ventaja genera inconvenientes como su gasto computacional, el cual aumenta conforme lo hace el número de escenarios y; por otra parte, el efecto no deseado en el problema de optimización, causado por los escenarios con baja probabilidad de ocurrencia, cuando se usa un conjunto de escenarios pequeño.

Los retos mencionados anteriormente orientaron esta tesis hacia los enfoques de MPC estocástico basado en escenarios, produciendo tres contribuciones principales. La primera consiste en un estudio comparativo de un algoritmo del grupo determinista con otro del grupo basado en escenarios; en donde se hace un especial énfasis en cómo cada uno de estos aborda las incertidumbres, transforma las restricciones probabilísticas y en la estructura de su problema de optimización, además de señalar sus aspectos más destacados y desafíos. Asimismo, los desempeños de estos algoritmos son analizados y comparados por medio de ejemplos numéricos y en sus resultados se provee la factibilidad probabilística del problema de optimización, entre otros.

La segunda contribución es una nueva propuesta de algoritmo MPC, el cual se basa en escenarios condicionales, diseñado para sistemas lineales con incertidumbres paramétricas y/o aditivas que están correlacionadas. Este esquema aprovecha la existencia de tal correlación para convertir un conjunto de escenarios inicial de gran tamaño en un conjunto de escenarios más pequeño con sus probabilidades de ocurrencia, el cual conserva las características del conjunto inicial. El conjunto reducido es usado en un OCP en el que las predicciones de los estados y entradas del sistema son penalizadas de acuerdo con las probabilidades de los escenarios que las componen, dando menor importancia a los escenarios con menores probabilidades de ocurrencia. Se proponen dos estructuras de OCP, en la primera se considera todo el conjunto reducido, mientras que en la segunda, con el fin de mejorar el índice de coste y reducir el gasto computacional, se usan enfoques de muestreo y descarte para excluir del conjunto total de restricciones, las relacionadas con los escenarios con menor probabilidad de ocurrencia.

La tercera contribución consiste en un procedimiento para la implementación del nuevo algoritmo MPC como gestor de la energía en una microrred compuesta por la red eléctrica principal, fuentes de energía renovables fotovoltaica y eólica, un sistema de almacenamiento de energía, y cargas conectadas; en la que las previsiones de las energías renovables y las cargas están correlacionadas.