

Estimación de variables en el diseño de la red de sensores en plantas químicas.

Bermúdez, C.¹; Hernández, J.L.²; Carnero, M.²; Alfonso, H.¹; Minetti, G.¹ y Salto, C.¹

¹Laboratorio de Investigación en Sistemas Inteligentes (LISI, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Pampa.

²Grupo de Optimización (GOp), Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Río Cuarto
minettig@ing.unlpam.edu.ar

RESUMEN

La determinación precisa del estado operativo de una planta química es un factor crucial para maximizar su eficiencia energética y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad. Esta información se obtiene mediante la integración de una red de sensores adecuada en la etapa de diseño y la aplicación de técnicas avanzadas de procesamiento de datos durante la operación de la planta. Los datos generados por los sensores se transforman en información estructurada, que constituye la base para estrategias de monitoreo, control y optimización en tiempo real. La cantidad de sensores a instalar depende de las variables del proceso que deben medirse con precisión para implementar dichas estrategias de manera efectiva. La selección óptima de la instrumentación se aborda mediante el *Sensor Network Design Problem* (SNDP), que se enfoca en el diseño de redes de sensores para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los datos necesarios para la operación eficiente del sistema. Debido a que la estimación de las variables requeridas se puede lograr ubicando diversos tipos de sensores para medir diferentes variables del proceso, surge un enorme problema de optimización combinatoria incluso para plantas de pequeña escala. Su solución determina el conjunto de variables del proceso a medir que optimiza los criterios seleccionados y cumple un conjunto de restricciones. En general, el número de variables que intervienen en estos problemas para un escenario de trabajo real es bastante grande y la formulación puede ser más o menos compleja dependiendo de los criterios de actuación y del conjunto de restricciones utilizadas. El objetivo de esta línea de trabajo es proporcionar una herramienta para evaluar la precisión de las estimaciones de variables del proceso en el contexto del diseño óptimo de una red de sensores en plantas químicas. Una de las posibles formulaciones para el diseño óptimo de un sistema de instrumentación para tareas de monitoreo es la solución de problemas de optimización no lineal con restricciones, donde la función objetivo es el costo del instrumento y las restricciones son la observabilidad y precisión global asociada a la colocación de un sensor. Cuando se utiliza un enfoque metaheurístico para resolver este problema, se necesita una metodología para calcular las restricciones para evaluar la calidad de una solución propuesta. Se ha seleccionado una técnica de simulación para resolver la precisión asociada a un conjunto de medidas basada en el algoritmo de Monte



Carlo. El simulador requiere de una metodología de clasificación de variables y una función de conciliación de datos que consiste en resolver otra optimización no lineal. El caso de estudio es un reactor de tanque agitado continuo (CSTR), cuyo modelo comprende 13 variables (caudales totales, composiciones y temperaturas) con 5 balances de masa y energía. Para este caso de estudio, la convergencia de la media muestral de los valores conciliados con los verdaderos se logra más rápido que la estabilización de la desviación estándar muestral alrededor de un cierto valor.

Palabras clave: optimización, red de sensores, simulación, algoritmo de Monte Carlo.

Variable estimation in the sensor networks design for chemical plants

ABSTRACT

Accurate determination of the operating status of a chemical plant is a crucial factor in maximizing its energy efficiency and ensuring compliance with environmental and safety regulations. This information is obtained by integrating an appropriate sensor network at the design stage and applying advanced data processing techniques during plant operation. The data generated by the sensors became structured information, which forms the basis for real-time monitoring, control, and optimization strategies. The required number of sensors depends on the process variables that must be accurately measured to implement such a strategy effectively. The Sensor Network Design Problem (SNDP) addresses the optimal selection of instrumentation, which focuses on the design of sensor networks to ensure the availability and reliability of the data necessary for the efficient operation of the system. The required variables can be estimated by placing various types of sensors to measure different process variables, leading to a complex combinatorial optimization problem, even in small-scale plants. Solving this problem involves identifying which process variables should be measured to optimize the selected criteria while adhering to specific constraints. In general, the number of variables involved in these problems for a real work scenario is quite large, and the formulation can be more or less complex depending on the performance criteria and the set of constraints used. The goal of this research is to develop a tool that evaluates the accuracy of process variable estimates for optimizing the design of a sensor network in chemical plants. One effective approach for designing an instrumentation system for monitoring tasks involves solving non-linear optimization problems with constraints. In this context, the objective function typically represents the cost of the instruments, while the constraints related to the observability and overall accuracy associated with sensor placement. When utilizing a metaheuristic approach to tackle this problem, it is essential to have a methodology for calculating these constraints to assess the quality of proposed solutions. Consequently, a simulation technique based on the Monte Carlo algorithm has been selected to determine the accuracy of a set of measurements. The simulator requires a variable classification methodology and a data reconciliation function, which entails solving an additional non-linear optimization problem. The case study is a continuous stirred tank reactor (CSTR), whose model comprises 13 variables (total flows, compositions, and temperatures) with five mass and energy balances. For this case study, the convergence of the sample



average of the reconciled values with the true ones is achieved faster than the stabilization of the sample standard deviation around a given value.

Keywords: optimization, sensor network, simulation, Monte Carlo algorithm.

