

Título de la Tesis: “Localización óptima de sensores para diagnóstico de fallas en procesos industriales”

Doctorado en Ingeniería Química

Autor: Rodríguez Aguilar, Leandro Pedro Faustino

Director: Sánchez, Mabel Cristina

Resumen

En una planta química ocurren situaciones anormales cuando el proceso se desvía del régimen normal de manera significativa durante su operación. La Detección (D) temprana y el diagnóstico de fallas, mientras la planta se encuentra todavía operando en una región controlable, ayuda a evitar que la situación anormal progrese y reduce el impacto de la posible ocurrencia de accidentes industriales mayores y menores. Todos los enfoques propuestos para resolver el problema de D y Aislamiento de Fallas (AFs), de alguna manera, comparan el comportamiento observado del proceso con un modelo de referencia. Dicho comportamiento se infiere en función de las mediciones proporcionadas por los sensores instalados en el proceso. Si bien, el desempeño de la estrategia de monitoreo depende fuertemente de la selección de las variables observadas, se ha puesto mucho énfasis en el desarrollo de metodologías de diagnóstico dado un conjunto predefinido de sensores, y se ha prestado escasa atención al Diseño de Redes de Sensores (DRS) que permitan una eficiente D y AFs. Por tal motivo, el objetivo de esta tesis es abordar el desarrollo e implementación de nuevas metodologías para DRS con propósitos de Diagnóstico de Fallas. En primer término se presenta una estrategia de diseño, formulada como un problema de optimización, que permite obtener una Red de Sensores (RS) que satisface la Observabilidad (O) y la Resolución (R) de todas las fallas del proceso, con el menor costo, si todos los sensores funcionan correctamente, y además verifica la O y R de un conjunto de fallas claves, si algunos instrumentos, afectados por la ocurrencia de dichas fallas, no están disponibles. Para ello se define el Grado de Resolución de una falla clave y se lo incorpora utilizando desigualdades lineales. El diseño se resuelve empleando códigos de Programación Mezcla Entera Lineal. A continuación se aborda el problema de DRS utilizadas para monitorear procesos con la técnica Análisis de Componentes Principales (PCA), uno de los métodos de Control Estadístico Multivariable más usados en la industria. En relación con la capacidad de la RS para detectar todas las fallas, se propone un nuevo enfoque para evaluar las restricciones de D, basado en el cálculo de los estadísticos de Hotelling y el Error Cuadrático de Predicción, y se formulan diseños robustos. A fin que el sistema de control sea capaz de diagnosticar la causa de una falla detectada usando PCA, primero es necesario que todas las mediciones afectadas por su ocurrencia sean identificadas como variables sospechosas. Esta condición se verifica examinando las restricciones de Identificación de Variables Sospechosas (IVS), que se formulan en términos de las contribuciones de las variables a los estadísticos empleados por el método PCA. Las restricciones de AFs se definen en función de los vectores de identificación de las fallas, los cuales deben ser diferentes para que éstas sean distinguibles. Se proponen nuevas formulaciones para el DRS que satisfacen restricciones de O y R (lineales), y condiciones de D, IVS y AFs (no lineales). Dado que la R es una condición necesaria para el AFs, inicialmente se obtiene la RS de mínimo costo que verifica las restricciones lineales de O y R. La cantidad de sensores que forman parte de la solución de este problema da el nivel inicial a partir del cual se inicia la búsqueda transversal, utilizada para resolver el diseño que cumple con todas las restricciones. Durante la ejecución de la búsqueda transversal, para cada nodo se evalúan primero las restricciones lineales, ya que consumen un tiempo de cómputo significativamente menor que las no lineales. Se han obtenidos muy buenos resultados al aplicar las nuevas estrategias para el DRS del conocido proceso Tennessee Eastman.

Título de la Tesis: “Localización óptima de sensores para diagnóstico de fallas en procesos industriales”

Doctorado en Ingeniería Química

Autor: Rodriguez Aguilar, Leandro Pedro Faustino

Director: Sánchez, Mabel Cristina

Abstract

In chemical plants, abnormal events occur when the process significantly deviates with respect to the normal operating conditions. The early detection (D) and diagnosis of faults, when the plant is still operating in the controllable region, avoids the progress of the abnormal state and reduces the impact of the possible major and minor industrial accidents. All the approaches proposed to solve the problem of fault D and isolation (AFs) compare, in some way, the observed behaviour of the process with respect to a reference model. That behavior is estimated in terms of the measurements provided by the sensors installed in the process. Even though the performance of a monitoring strategy strongly depends on the selection of the measured variables, the development of diagnosis methodologies for a given sensor network (SN) has undertaken more attention than the design of SNs that allow an efficient fault D and A. Due to these issues, the objective of this thesis is to perform the development and implementation of new methodologies for Sensor Network Design (SND) with fault diagnostic purposes. First, a design strategy, formulated as an optimization problem, is presented to obtain the minimum cost SN that satisfies the Observability (O) and Resolution (R) of all process faults if all instruments work well, and it also fulfills the O and R of a set of key faults if some sensors, whose observations are affected by the occurrence of those faults, are not available. With this purpose, the Resolution Degree of a Key Fault is defined and incorporated as a linear inequality to the optimization problem. The design is solved using Mixed Integer Linear Programming codes. Then the Design of SNs devoted to monitor the process by applying Principal Component Analysis (PCA), one of multivariate statistical control methods most used in industry, is addressed. With respect to the performance of a SN for fault D, a new approach is proposed to evaluate the D restrictions, which is based on calculating the Hotelling and Square Prediction Error statistics, and robust designs are formulated. Furthermore, the control system will be able to diagnose the cause of a fault detected using PCA, if all the measurements affected by its occurrence are identified as suspicious. This condition is verified by examining the Suspicious Variable Identification (SVI) constraints, which are formulated in terms of the variable contributions to the statistics used by the PCA method. Isolation restrictions are defined as functions of the fault identification vectors, which should be different to assure faults are distinguishable. New SND problems are proposed that satisfy fault O and R (linear) constraints, and fault D, SVI, and AFs restrictions (no-linear). Given that R is a necessary condition for the AFs, the minimum cost SN that satisfies the O and R linear restrictions is obtained at first. The number of sensors involved in that solution is equal to the initial level of the transversal search used to solve the design that fulfills all the constraints. For each node, the linear restrictions are calculated first because their computational load is significantly lower than the one used by the nonlinear constraints. The application of the new strategies to the DSNs for the well-known Tennessee Eastman Process benchmark provides good results.