

PROYECTO SOFT SENSOR

Problema

Existen procesos industriales que requieren adquirir valores de variables a través de sensores pero éstos pueden ser difíciles de implantar. Por ejemplo, lugares inaccesibles, peligrosos de instalar o que dañen a los equipos. También se puede requerir de sensores redundantes de una variable.

Este es el caso de mediciones de viscosidad de combustible en centrales generadoras de electricidad. Existen instrumentos viscosímetros pero son muy caros y requieren un mantenimiento recurrente caro y complicado. La viscosidad es una variable importante a controlar para una combustión óptima de combustible en los quemadores de las calderas. Si al atomizar el combustible en el quemador, la gota es muy grande, no se alcanza a quemar toda produciendo poca eficiencia y contaminación. Si la gota es pequeña, no se aprovecha el poder calorífico del combustible y se produce también una combustión deficiente y contaminante. Los fabricantes de los quemadores de las calderas indican la viscosidad apropiada que debe tener el combustible para una combustión óptima. La viscosidad depende del tipo de combustible y de la temperatura. Conociendo la viscosidad del combustible, se puede calentar o enfriar para lograr la viscosidad óptima y por lo tanto, una combustión óptima.

La propuesta para la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México consistió en la compra e instalación de un instrumento viscosímetro en una central para poder diseñar un sensor virtual de viscosidad de combustible y poderlo utilizar en todas las centrales termoeléctricas del país.

Solución

Sensores virtuales, también conocidos como *soft sensors* o estimadores inferenciales, son programas de cómputo que calculan el valor de la variable utilizando otras variables relacionadas en el proceso. Generalmente se diseña un modelo para relacionar las variables del entorno y poder inferir el valor de la variable objetivo. La diferencia entre estimador inferencial y vector virtual es que este último está construido utilizando técnicas de inteligencia artificial (IA). Específicamente, la utilización de algoritmos de aprendizaje de máquina permite la selección de variables relacionadas y la construcción del modelo para inferencia de la variable objetivo.

Para el sensor virtual de viscosidad de combustible, adquirimos datos históricos de variables involucradas en la combustión de la caldera, junto con la medición de la viscosidad con el instrumento viscosímetro. Se seleccionaron 15 variables más relacionadas y se aprendió un modelo gráfico probabilista para poder realizar la inferencia de la viscosidad, dadas las variables relacionadas. Se logró un modelo probabilista en forma de una red Bayesiana.

Las redes Bayesianas son gráficos acíclicos dirigidos donde los nodos representan a las variables y los arcos representan las relaciones probabilistas entre las variables. El modelo aprendido en una red Bayesiana representará las dependencias y las independencias entre las variables. Dados los

valores de las variables relacionadas, se podrá inferir el valor de la viscosidad en forma de una distribución de probabilidad posterior.

En suma, el sensor virtual de viscosidad es una red Bayesiana aprendida de antemano y que alimentada con los valores de las variables relacionadas, infiere el valor presente de la viscosidad del combustible. El controlador de temperatura consigue la viscosidad de referencia en el quemador y se logra así una combustión óptima. El prototipo de sensor virtual se instaló y se encuentra en operación en la central Termoeléctrica de CFE en Tuxpan, Veracruz.

La idea del sensor virtual no solo puede aplicarse para la viscosidad en todas las calderas que utilicen combustóleo sino que puede ser utilizada en otras variables en procesos industriales. Por ejemplo, en el sensado virtual de gases contaminantes en chimeneas de calderas o en el sensado virtual de la composición química de alguna substancia de acuerdo a su comportamiento en algún proceso industrial.

El significado de sensor se refiere a un dispositivo generador de información útil dada las características del entorno. Por ejemplo sensor de temperatura o de presión. Entonces, también se puede construir un sensor virtual para otro tipo de parámetros usados en aplicaciones fuera de la industria. Por ejemplo, se puede tener un sensor virtual de aceptación de un producto en el mercado dado un modelo con otras variables mercadológicas medibles. Otro ejemplo puede ser un sensor virtual de ganancias de cierto proceso del negocio en una empresa comercial o bancaria.

Conclusión

Los sensores virtuales se utilizan para sustituir sensores físicos cuando existan las variables relacionadas a la variable objetivo y se pueda aprender un modelo con métodos de aprendizaje automático. Se pueden utilizar también como sensores redundantes en aplicaciones con mecanismos de tolerancia a fallas.

Para la presente convocatoria, proponemos el diseño de sensores virtuales para inferir alguna variable importante en alguna aplicación cuando cumpla las siguientes condiciones: 1) identificación de variables relacionadas a la variable objetivo, 2) adquisición de datos históricos incluyendo la variable objetivo para poder aprender un modelo, 3) contar con información en línea de las variables relacionadas y 4) contar con un medio de despliegue de la variable sensada para su aprovechamiento en la toma de decisiones del proceso de negocio.

Referencias

Pablo H. Ibargüengoytia, Miguel Ángel Delgadillo, Uriel A. García and Alberto Reyes, Viscosity Virtual Sensor to Control Combustion in Fossil Fuel Power Plants, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, ISSN 0952-1976, Vol. 26, Num. 9, October 2013, Elsevier, pp 2153-2163, 2013,

Miguel A. Delgadillo, Pablo H. Ibargüengoytia, Uriel A. García, A Technique to Measure fuel Oil Viscosity in a Fuel Power Plant, *ISA Transactions*, ISSN 0019-0578, Elsevier, Noviembre 2015.

Pablo H. Ibargüengoytia, Miguel Ángel Delgadillo, *On-Line Viscosity Virtual Sensor for Optimizing the Combustion in Power Plants*, Advances in Artificial Intelligence - Iberamia 2010, Lecture Notes in Artificial Intelligence LNAI 6433, Springer, Bahía Blanca, Argentina, Noviembre 2010.