

APLICACIÓN DE ANN A LA DETECCIÓN DE FALLOS EN SENSORES

A. J. Piñón Pazos

Dep. Ing.Industrial, EUP. Ferrol, Avda. 19 Febrero s/n 15405 Ferrol- A Coruña, andrespp@cdf.udc.es

M.C. Meizoso Lopez, R. Ferreiro Garcia

Dep. Ing.Industrial mmeizoso@cdf.udc.es, ferreiro@udc.es

Resumen

En el presente artículo se abordará la utilidad de la monitorización o detección y diagnóstico de fallos en los sensores; asimismo se propondrá una solución basada en Inteligencia Artificial para diagnosticar fallos en los sensores, en el contexto de aquellas aplicaciones donde existan múltiples sensores monitorizando el mismo tipo de variable. La precisión y fiabilidad de las medidas ofrecidas por los sensores, son de vital importancia para un óptimo funcionamiento de los controladores. El trabajo aquí presentado propone una línea de trabajo conducente a establecer una metodología independiente del proceso para detectar y aislar fallos en sensores. El sistema propuesto integra la adaptabilidad y capacidad de aprendizaje de las redes de neuronas(ANN) con las facilidades de comunicación entre sensores mediante buses.

Palabras Clave: Sensores, detección de fallos, redes neuronales.

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día es ampliamente reconocido que las propiedades de los sensores son una pieza clave en el funcionamiento de los lazos de control. Un funcionamiento seguro y fiable es demandado en la mayor parte de los procesos y sistemas, más allá de aquellos que normalmente son aceptados como sistemas críticos en cuanto a seguridad (p.e. plantas químicas, plantas nucleares...)[1]. La detección incipiente de fallos en procesos y sistemas industriales puede ayudar a reducir las paradas y la incidencia de eventos catastróficos[6]. Una parte muy importante de cualquier sistema o proceso automático son los sensores, ya que mediante ellos se puede conocer el estado del sistema; por lo tanto, en un sistema o proceso en el cual se pretendan

implantar estrategias para el diagnóstico de fallos habrá que evaluar su estado de funcionalidad.

Habitualmente el chequeo del estado del sensor se basa en una calibración periódica contra un patrón, o bien dependiendo del tipo de sensor, se pueden realizar determinados chequeos para detectar ciertos tipos de fallos que suelen ser fallos abruptos. La adopción de buses estándar para la comunicación digital de datos permite mejorar la información sobre la calidad de la medida enviada por el sensor. Los sensores inteligentes basados en microprocesador ofrecen muchas ventajas sobre los puramente analógicos, ya que permiten el envío de la información de la medida en unidades ingenieriles y un cierto diagnóstico interno.

El incremento en la complejidad de los sistemas automatizados y la necesidad de disminuir las tasas de fallos en los sistemas, llevan al desarrollo de nuevas estrategias tanto en la detección de fallos como en el control tolerante a fallos. Muchas de estas técnicas o estrategias están enfocadas a un sistema, de forma que engloban los fallos tanto en sensores como actuadores o en el propio sistema. Por lo general son sistemas hechos a medida y por lo tanto no transportables.

Recientemente, se ha planteado la idea de diseño de sistemas de diagnóstico de fallos jerárquicos con respecto a los componentes en grandes sistemas, y dentro de ese objetivo se plantean los métodos de diagnóstico local para sensores.

Se plantea el uso de redes neuronales para la realización de dichas tareas de diagnóstico en base a la capacidad de proceso de los sensores y a sus capacidades de comunicación.

Las redes neuronales han sido ampliamente utilizadas en distintas aplicaciones para análisis de datos y extracción de características o patrones. En este caso se propone el uso de las redes neuronales para la detección y aislamiento de fallos. Una vez que la red

es entrenada para una tarea particular, el funcionamiento consiste en la propagación de datos a través del mapa de la red, haciendo posible así autodiagnóstico y monitorización en tiempo real.

2 AUTODIAGNOSTICO EN SENSORES

En muchas aplicaciones industriales la precisión y fiabilidad de los sensores son de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema. A pesar de los avances en la tecnología de fabricación de los sensores, estos tienen imperfecciones, y estas pueden ser variaciones de sensor a sensor y con el tiempo. Algunas de las variaciones que presentan los sensores pueden ser corregidas mediante los acondicionadores en los llamados instrumentos inteligentes, donde mediante el procesamiento de la señal de salida del sensor y sabiendo cuáles son las imperfecciones inherentes a un sensor o grupo de sensores concretos, estas son corregidas en la medida de lo posible. Sin embargo, durante su funcionamiento, los sensores, pueden desarrollar varios tipos de fallos, o fallar de distintas formas.

En los sistemas en los que la seguridad es crítica el fallo en un sensor durante su funcionamiento es solucionado mediante el uso de redundancia hardware o bien mediante ponderación (sistema típico en aviación civil)[7]. Generalmente, el uso de estas técnicas de validación en sistemas no críticos no es viable debido al encarecimiento del sistema.

Otras técnicas utilizadas para realizar la validación de las señales obtenidas desde los sensores, para diagnosticar fallos en los mismos es mediante redundancia analítica, y están basadas bien en el modelado matemático, bien en el modelado basado en el conocimiento del sistema bajo medida.[2][3] Con estas técnicas, es necesario un modelo matemático detallado del sistema o proceso, lo cual es difícil de realizar y puede contener errores significativos, aunque se ha avanzado mediante el uso de ANN para el modelado y detección de estos sistemas.

En la medida de temperatura con termopares existen metodologías de autovalidación de la medida dentro de la estructura del sensor inteligente[9]. Estos métodos requieren la realización del análisis de la respuesta transitoria del sensor ante una entrada, que para este caso es el autocalentamiento del propio elemento de medida. Por lo tanto se necesita aplicar potencia al sistema para poder realizar la medida de sus parámetros y por lo tanto el diagnóstico.

Con las tecnologías actuales de fabricación de circuitos es posible diseñar y fabricar sistemas de

bajo costo que incluyan la medida de la señal y el procesamiento de la misma. Esta función de procesamiento junto con las capacidades de comunicación permitirían descargar a los procesadores centrales de parte de las tareas de supervisión, y así tener una autovalidación del sensor, lo cual podría redundar en mejorar la monitorización y control de la planta o proceso. Por otro lado, se podría conseguir una pronta detección de fallos incipientes en los sensores, reduciendo así los tiempos de parada y paradas intempestivas, además de la identificación de distintos tipos de fallos (recuperables o irre recuperables) del sensor.

La línea de trabajo presentada en este artículo se basa en conseguir las capacidades de diagnóstico de fallos y validación de las medidas sin utilizar redundancia hardware, sino utilizando la información suministrada por las señales disponibles[4]. Se utilizarán las señales de salida del propio sensor y la información recogida de sensores que trabajan en el mismo entorno. Las capacidades mencionadas podrían incorporarse dentro de un módulo de diagnóstico y validación, que asociado con el sensor sería capaz de detectar en tiempo real distintos tipos usuales de defectos y fallos, y además podría indicar el grado de validez de la medida. Otra posibilidad es utilizar las facilidades ofrecidas por arquitecturas de control distribuido bajo el estándar Fundación Fieldbus utilizando herramientas como DeltaV y DeltaV Neural los cuales incluyen bloques función para realizar dichas tareas.

El planteamiento indicado para la tarea a desarrollar implica una serie de acciones o pasos que se tienen que llevar a cabo[4]. Primero es necesario identificar las características de distintos fallos comunes en el sensor. A continuación hay que determinar cual es la información contextual que puede ser utilizada junto con la salida del sensor para el diagnóstico de defectos y validación de las medidas. Por último, es necesario estudiar la viabilidad y aplicabilidad de usar técnicas ANN para representar cuantitativa y cualitativamente la información reunida previamente.

3 TERMOPARES

Una de las variables más medidas en muchos procesos es la temperatura, que es utilizada en gran cantidad de sistemas de control y seguridad[9].

En la Figura 1 se muestra un esquema de un sistema industrial básico de medida de temperatura. El termopar, que está habitualmente colocado en un alojamiento térmico (vaina), por lo que está protegido de ambientes agresivos, es el transductor del que se obtiene una señal en respuesta a la temperatura que está siendo medida. La fuerza

termo-electromotriz generada por el termopar es del orden de mV, y necesita ser amplificada por la electrónica de acondicionamiento. En un sensor convencional, esta señal acondicionada es transformada en una señal de 4 a 20mA, pero en un sensor inteligente, el microprocesador integrado, utiliza la señal acondicionada para realizar cálculos, presentar la señal medida en unidades ingenieriles...

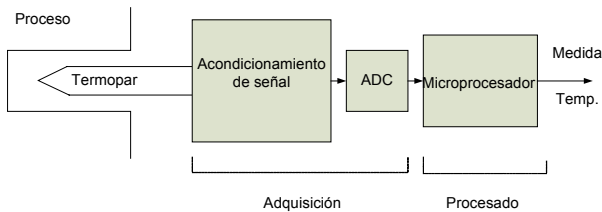


Figura 1. Sistema de medida de temperatura

Los transmisores de temperatura inteligentes, son suministrados por diversos fabricantes. Estos transmisores, aceptan distintos tipos de termopares, y habitualmente tienen incorporada la compensación de la temperatura de la unión de referencia. Suelen integrar funciones básicas de diagnóstico (pérdida de alimentación, quemado del termopar..). La precisión en la lectura está alrededor de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ y la lectura de la temperatura es actualizada dos o tres veces por segundo.

Como se ha mencionado en la sección anterior el primer paso para poder diagnosticar un fallo o defecto, es conocer cuales son los fallos habituales en dicho sensor. A continuación se indican los posibles modos de fallo, y como afectan a la tarea de control.

3.1 Fallos en termopares

Los termopares son generalmente bastante fiables[5]. Los fallos más comunes son:

- En el transmisor de temperatura
 - Desconexión del transmisor
 - Fallo de alimentación.
- Fallo en el elemento termopar
 - Desconexión en la cabeza del termopar
 - Fallo por circuito abierto (quemado)
- Fallos en la vaina
 - Vaina térmica agujereada y pérdida del aceite conductor.
 - Vaina térmica llena de incrustaciones.

Los fallos en el transmisor y en la vaina son un problema importante ya que las lecturas de temperatura no mantienen parecido con las temperaturas del proceso. Afortunadamente este tipo

de fallos son abruptos y son fáciles de detectar y diagnosticar. Los fallos asociados con la vaina térmica son potencialmente mas serios.

3.2 Efectos de falta de contacto

La respuesta dinámica de un termopar esta gobernada por un proceso de transferencia de calor entre el transductor y el medio donde se mide. Utilizando la siguiente notación referida a la Figura 2, tenemos

- U_{ij} y A_{ij} son el coeficiente de transferencia de calor y el área de transferencia de calor entre los medios i y j .
- M_i , c_i y T_i son la masa, la capacidad calorífica específica y la temperatura del medio i .
- Los sufijos t , f , y p se refieren al transductor, fluido de la vaina y proceso respectivamente

Se puede demostrar [9] que la función de transferencia entre el sensor y el proceso es:

$$\frac{T_t(s)}{T_p(s)} = \frac{1}{\left(1 + s \frac{m_t c_t}{U_{f,t} A_{f,t}}\right) \left(1 + s \frac{m_f c_f}{U_{p,f} A_{p,f}}\right)} \quad (1)$$

$$= \frac{1}{(1 + sp)(1 + sq)}$$

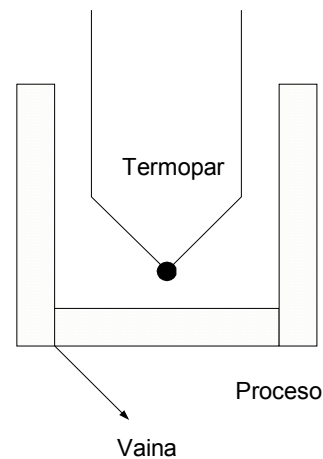


Figura2. Camino de transferencia del calor

El transductor reacciona rápidamente a los cambios en la temperatura del proceso si ambas constantes de tiempo p y q son pequeñas. Para valores grandes de p o q , T_t será igual a T_q después de un cierto tiempo como se muestra en la Figura 3. La velocidad de esta

respuesta influye de forma importante en el sistema de control.

En el diseño de controles normalmente se asume que las lecturas desde los sensores son instantáneas, y si hay un retraso importante puede causar problemas en sistemas automáticos. Por ejemplo, en reactores químicos tipo batch [8] durante la etapa de calentamiento la temperatura de reacción deseada puede ser excedida, con el consiguiente peligro para el proceso. Según el retardo se incrementa, el sistema de control automático se puede volver inestable. La degradación en el rendimiento del controlador podría causar una reducción de la calidad del producto final, un aumento del tiempo de ciclo batch, y un incremento en el consumo de energía, y en casos extremos las consecuencias podrían ser graves. Dada la importancia de obtener tiempos de respuesta pequeños, una solución habitual es rellenar la vaina con un fluido conductor térmico como pasta de silicona.

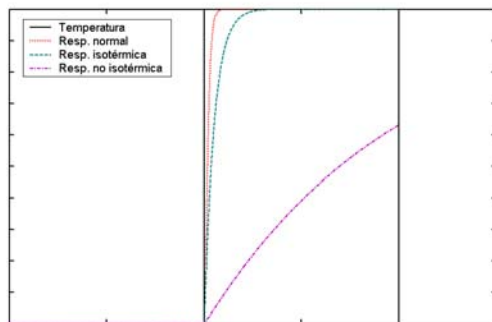


Figura 3. Respuesta del sensor

Durante el funcionamiento del sensor podría ocurrir un fallo de falta de contacto como se muestra en la Figura 3. El transductor podría distanciarse de la evolución del proceso si se pierde el fluido conductor de la vaina, o bien se depositan escorias sobre la vaina, de forma que incrementa la constante de transferencia de calor. La temperatura medida por el termopar podría ser errónea o bien se aproximaría a la del proceso con un retardo grande, causando así problemas al controlador. Este tipo de fallos son difíciles de detectar mediante métodos convencionales, por lo que se propone un método alternativo mediante ANN.

4 DIAGNOSTICO DEL SENSOR BASADO EN NN

Basándonos en lo expuesto en el apartado anterior, parece claro que es imposible el autodiagnóstico del sensor basándose únicamente en su salida. Se pueden

deducir una serie de reglas basadas en los principios físicos para los datos esperados en los sensores del entorno. Evidentemente los razonamientos relativos a la aplicación deberán minimizarse, para intentar mantener la generalidad del método.

El esquema planteado para la realización de las primeras pruebas, se basa en la utilización de dos sensores midiendo sobre el mismo proceso. Por simplicidad se ha planteado la medida sobre el mismo punto, lo cual en principio no generaría restricciones sobre la metodología en desarrollo, ya que se trabaja sobre la salida de los dos sensores para la realización de la tarea de diagnóstico.

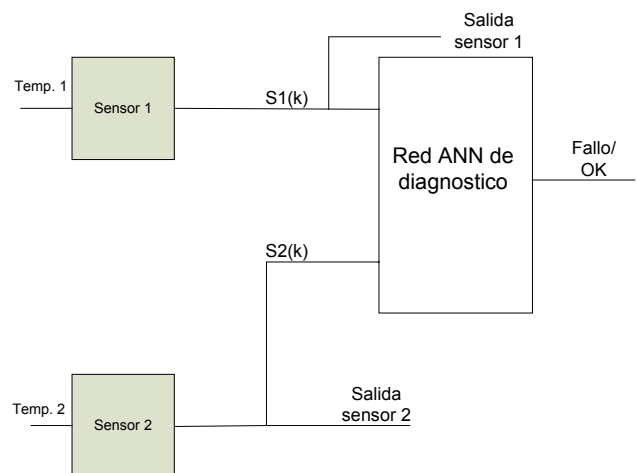


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema de diagnóstico

El sistema de diagnóstico bajo diseño está asociado con el Sensor 1 y la información de contexto es suministrada por el Sensor 2 como se muestra en la Figura 4. La salida del sistema de diagnóstico indicará si existe fallo en el sensor o no. Se ha estudiado la aparición de un único error simultáneamente.

En la ANN propuesta se utilizan retardos para incorporar el comportamiento dinámico del sensor.

Basándonos en estas consideraciones, se puede simular el funcionamiento de ambos sensores para obtener los datos necesarios en las distintas condiciones de funcionamiento, de forma que estos datos se utilicen para entrenar a la red de neuronas.

De esta forma es posible diseñar un módulo de auto-validación de la señal para la medida de temperatura mediante termopar basándose en la salida del propio sensor y teniendo en cuenta la información de contexto proporcionada por sensores vecinos.

Evidentemente este es un trabajo inicial, el cual tendrá que proseguir en la línea de diagnóstico de

múltiples fallos o defectos y en la validación del método para otro tipo de sensores.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se discute la utilización de ANN en la auto-detección de posibles fallos o malfuncionamientos de sensores. La aproximación se realiza teniendo en cuenta la imposibilidad de que un sensor sea capaz de realizar un autodiagnóstico basándose únicamente en su salida. Se plantea la posibilidad de utilizar la señal de sensores ubicados en el mismo proceso y cuya variación esté relacionada de alguna forma con la del sensor bajo autodiagnóstico. Este planteamiento es particularmente útil en aquellas aplicaciones en las que por características del proceso se realicen medidas en múltiples puntos del sistema y exista una relación entre ellas. Son ejemplos de este tipo de instalaciones la medida de temperatura en las columnas de destilación de la industria petroquímica, la monitorización y control de reactores o turbinas.

En cuanto a la implementación del módulo de diagnóstico es posible ubicarlo dentro de lo que sería el propio sensor inteligente colocado en una red o bus de comunicaciones para poder compartir los datos para realizar el autodiagnóstico. También se ha mencionado la posibilidad de realizar dicho diagnóstico sobre una topología tipo Foundation Fieldbus cuya arquitectura nos permite la realización de control distribuido. Mediante herramientas estándar tipo Delta V y Delta Neural se podría implementar el módulo de diagnóstico sobre dicha red.

Referencias

- [1] Alag, S., Goebel, K. Agonino, A. A methodology for intelligent sensor validation and fusion used in tracking and avoidance of objects for automated vehicles, (1995) <http://best.me.berkeley.edu/~goebel/pth/dir/ACC.dir/ACC.final.html>
- [2] Clarke, D.W. (1999) Sensor, Actuator and Loop Validation Advances in Control Technology (Ref. No. 1999/142), IEE Colloquium
- [3] Ferreiro Garcia,R., Piñón Pazos,A.J.(2003) Sensores Virtuales con Foundation Fieldbs. XXIV Jornadas de Automática. CEA-IFAC Universidad de Leon.
- [4] Gaura, E., Newman,R.(2003). Intelligent sensing: Neural Network based health diagnosis for sensor array
- [5] Lees,F.P. (1973). Some data on the failure modes of instruments in the chemical plant environment, Chem. Eng., pp.418-421
- [6] NASA TechTracs.(2000).System Fault Detection and Accommodation, Technology Opportunity Sheet
- [7] Patton, R., Uppal, F., Lopez-Toribio, C.(2000) Soft computing approaches to fault diagnosis for dynamic systems: a survey. IFAC Safeprocess, Hungary, Proceedings, pp.298-311
- [8] Thomas P.W., (1985)Temperature measurement in batch chemical reactors. Imperial Chemical Industries PLC, Rep. IC 02272
- [9] Yang, J.C.-Y.; Clarke, D.W.; (1997) A self-validating thermocouple. Control Systems Technology, IEEE Transactions, Volume: 5, Issue: 2, Pages:239 - 253