

“State-of-Art” da Detecção e Diagnóstico de Avarias em Processos Industriais

Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Departamento de Engenharia Mecânica / Centro de Estudos de Engenharia Mecânica
Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, 1949-014 Lisboa
Tel.: +351 218 317 040, Fax: + 351 218 317 213, e-mail: mmendes@dem.isel.ipl.pt

Resumo: Ao longo das últimas décadas tem havido um interesse crescente, por parte da indústria e da comunidade académica, pelos sistemas de detecção e diagnóstico de avarias (sistemas FDI). A crescente complexidade dos processos e do seu controlo, assim como a necessidade de tornar os processos mais seguros e fiáveis incentivou a procura e desenvolvimento de sistemas FDI. O desenvolvimento e melhoria deste tipo de sistemas seguiu de perto a evolução na tecnologia, nomeadamente a evolução informática, que permitiu maior facilidade na análise de grandes quantidades de dados e aplicação de sistemas FDI em tempo real. Este artigo pretende fazer um ponto da situação, a nível mundial, desta área de investigação.

1. Introdução

A complexidade dos processos industriais e a necessidade de aumentar a sua fiabilidade, disponibilidade e segurança fez surgir uma, cada vez maior, preocupação pela utilização de sistemas de detecção e diagnóstico de avarias em tempo real. Assim, a supervisão de processos industriais deverá integrar sistemas de detecção e diagnóstico de avarias por forma a garantir o cumprimento destes requisitos.

A supervisão de um processo industrial pode-se dividir em: clássica e avançada. A supervisão clássica integra apenas a monitorização dos sensores do processo e baseia-se nas acções fornecidas pelos operadores humanos, dispondo de um sistema de alarmes para valores limite. Enquanto que a supervisão avançada utiliza os sinais de entrada e saída dos processos, baseando-se nos seus modelos para efectuar a detecção e diagnóstico de avarias, sendo automáticas todas as acções e decisões. Esta supervisão integra, hoje em dia, sistemas FDI (*Fault detection and Isolation*) criados através da modelação (matemática, fuzzy, redes neuronais, etc.) dos processos (Fig. 1).

Um sistema de detecção e diagnóstico de avarias (ou sistema FDI) é um sistema de monitorização que possibilita a detecção, isolamento e identificação das avarias presentes num processo. Estes três conceitos,

representam a determinação do tipo, localização, grandeza e tempo de detecção dessas avarias. Uma avaria pode ser definida como um desvio, não permitido, de pelo menos uma das variáveis ou parâmetros de um processo dos seus valores nominais (comportamento normalizado) ou aceitáveis. Nos sistemas dinâmicos, as avarias podem dividir-se em três tipos: avarias abruptas, avarias incipientes e avarias intermitentes. As avarias abruptas são as que resultam de grandes desvios nas condições normais de operação do processo, ou nas variáveis do processo, as quais sucedem num curto intervalo de tempo. As avarias incipientes são as que afectam, de forma gradual, o normal funcionamento do processo, e por isso podem levar muito tempo a serem detectadas. E as avarias intermitentes são as que têm, como o nome indica, um comportamento intermitente nos processos.

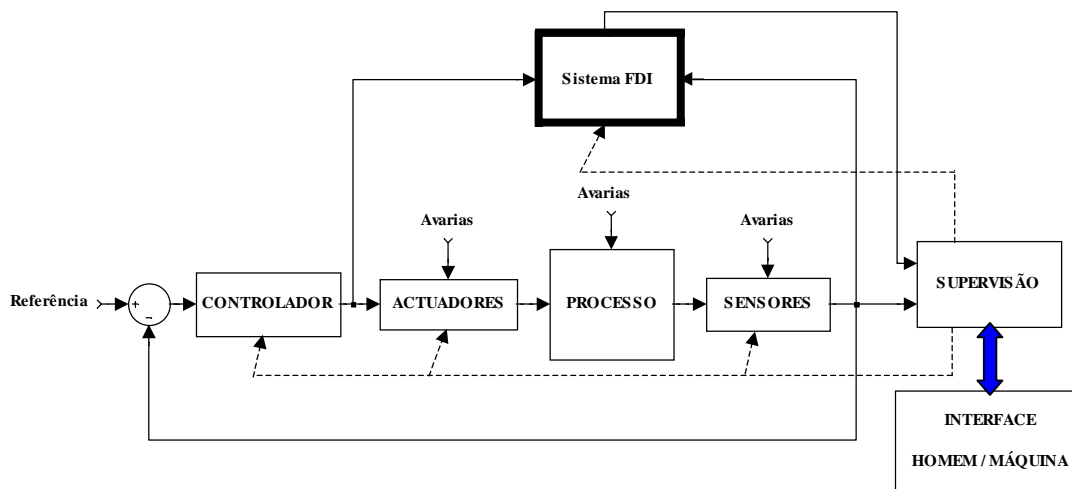


Figura 1. Supervisão de processos industriais com sistemas de detecção e diagnóstico de avarias integrado.

Esta é então uma definição geral dos conceitos básicos dos sistemas FDI utilizados, nos dias de hoje, na supervisão de processos industriais.

2. Detecção de avarias

Os sistemas automáticos de diagnóstico de avarias visam o reconhecimento do comportamento anormal (avarias) dos componentes de um processo ou do próprio processo, através dos sinais medidos. Assim, e considerando a definição utilizada para avaria, um sistema que é capaz de detectar, isolar, identificar ou classificar avarias é conhecido como um sistema de diagnóstico de avarias. A primeira etapa num sistema deste tipo é a detecção das avarias. Etapa esta que consiste na determinação das avarias presentes num processo e o seu tempo de detecção.

Os métodos, baseados nos sinais medidos, utilizados para efectuar a detecção das avarias podem ser classificados em três tipos: 1 - verificação plausível de valores limites (thresholds, tolerâncias) de sinais

únicos; 2 - métodos baseados na modelação dos sinais para sinais únicos, periódicos ou estocásticos; e 3 - métodos baseados na modelação dos processos para dois ou mais sinais. O primeiro tipo é aplicável se o sinal possuir aproximadamente um valor constante (por exemplo, tensão, pressão do óleo, temperaturas de arrefecimento, etc.). O segundo tipo utiliza métodos de análise espectral, como a transformada de Fourier ou funções de correlação para detectar anomalias (por exemplo, velocidade irregular) e por último, o terceiro tipo utiliza os sinais de entrada e saída dos processos e relaciona-os. Portanto, este último método, baseado nos modelos dos processos, é capaz de detectar várias avarias com apenas alguns sinais do processo [1].

2.1 Métodos quantitativos

Durante as últimas décadas assistiu-se a intensa actividade de investigação utilizando o último tipo de métodos de detecção de avarias, ou seja, abordagens analíticas baseadas em modelos quantitativos e/ou qualitativos dos processos. A ideia é gerar sinais que reflectam a inconsistência entre os valores nominais e os valores na presença de avarias no processo em operação. A estes sinais deu-se o nome de resíduos (Fig. 2).

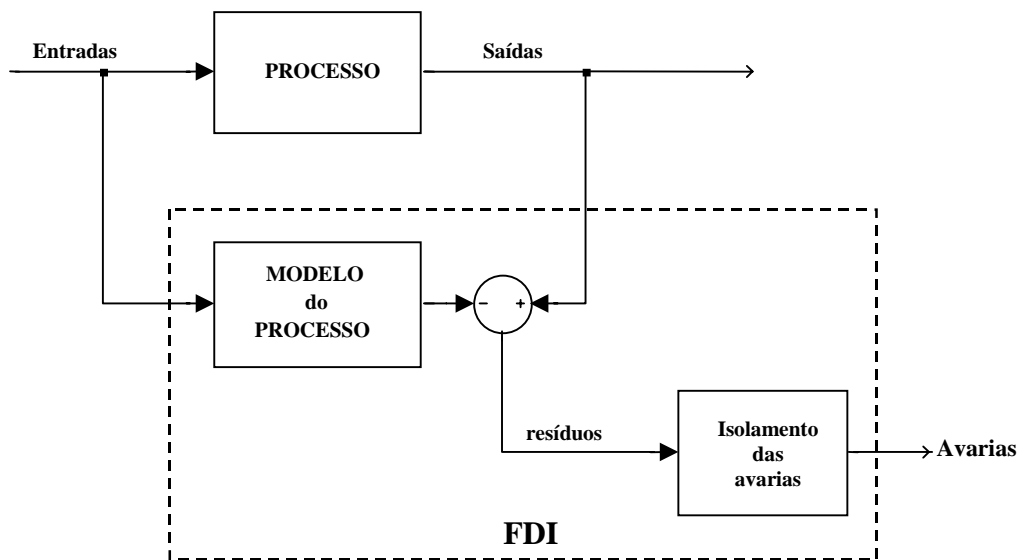


Figura 2. Sistemas FDI baseados em modelos.

No caso dos modelos quantitativos (modelação matemática dos processos), os resíduos são geralmente obtidos através de abordagens analíticas como, observadores [2, 3], em que a ideia principal é estimar as saídas do processo a partir das entradas e saídas disponíveis. Neste caso os resíduos são obtidos através da diferença entre as saídas estimadas e as saídas actuais do processo (Fig. 2). Outra abordagem é a estimação de parâmetros [1] que utiliza o facto das avarias nos componentes de um processo dinâmico poderem ser reflectidas nos parâmetros físicos do processo, como por exemplo o atrito. Nesta abordagem, as avarias são detectadas pela estimação dos parâmetros de modelos não paramétricos. Uma outra abordagem investigada são as equações de paridade [4] baseadas na redundância analítica, que utiliza as relações algébricas estáticas

entre os sinais dos sensores e dos actuadores, ou em alternativa, a redundância temporal, quando as relações dinâmicas entre as entradas e as saídas do processo são utilizadas [2]. Uma outra técnica da Inteligência Artificial utiliza modelos baseados em redes neuronais [5], que têm a vantagem de modelarem qualquer função não linear e de poderem ser treinadas para reproduzirem o comportamento de um sistema específico a partir de conjuntos de dados desse sistema.

2.2 Métodos qualitativos

Por outro lado, a necessidade de modelos analíticos precisos implica que qualquer erro resultante da modelação afectará o desempenho do sistema de diagnóstico de avarias. E isto é ainda mais importante para processos não lineares, que são a maioria dos processos reais. Para tentar ultrapassar este problema começaram a ser utilizados modelos abstractos baseados na física qualitativa [6, 7, 8], assim como, modelos baseados em lógica fuzzy [9], que tem a vantagem do comportamento dos sistemas ficar descrito através de regras “*if-then*”. Estas técnicas começaram a ser utilizadas para complementar ou substituir os modelos utilizados na obtenção dos resíduos. Aliás, estas duas áreas são cada vez mais utilizadas quer para a modelação quer também para a decisão (isolamento das avarias) nos sistemas de diagnóstico de avarias. No entanto, cada uma destas áreas isoladamente têm algumas limitações como por exemplo, o número elevado de regras fuzzy para sistemas complexos (no caso da lógica fuzzy) e os modelos do tipo caixa preta no caso das redes neuronais. Assim, um sistema de diagnóstico de avarias robusto, baseado em modelos, será um sistema que incorpore tanto a modelação quantitativa (modelação matemática, numérica) como a modelação qualitativa (conhecimento pericial do sistema, simbólico). E surgem assim as combinações entre as diversas técnicas utilizadas e que foram descritas até aqui, como por exemplo: combinação da estimação de parâmetros ou dos observadores com a lógica fuzzy [10] e da lógica fuzzy com as redes neuronais dando origem aos sistemas Neuro-Fuzzy [2, 11, 12, 13, 14]. No primeiro exemplo, a ideia principal é gerar os resíduos utilizando a estimação de parâmetros ou os observadores e utilizar a inferência fuzzy para classificar ou isolar as avarias. No segundo exemplo, pretende-se integrar as vantagens de dois métodos num só, combinando as capacidades de aprendizagem das redes neuronais com a representação explícita do conhecimento dos processos através da lógica fuzzy.

Nas técnicas de modelação dos processos que utilizam redes neuronais ainda é possível, hoje em dia, encontrar trabalhos de investigação que utilizam Algoritmos Genéticos para fazer a optimização dos modelos obtidos, por forma a assegurar boa precisão dos mesmos [15]. Assim como podemos encontrar a aplicação de Algoritmos Genéticos na optimização de observadores baseados em modelos para a geração dos resíduos [16].

3. Isolamento de avarias

A segunda e última etapa num sistema de diagnóstico de avarias é o isolamento e identificação das avarias ou simplesmente, diagnosticar as avarias presentes no processo. Alguns autores consideram que a parte da identificação se confunde com o isolamento das avarias e por isso é comum chamarem-se a estes sistemas, sistemas FDI - Fault Detection and Isolation systems, [17]. Esta tarefa pressupõe a existência da detecção e utiliza os sintomas ou resíduos gerados pela primeira etapa para determinar o tipo, localização, grandeza e do comportamento temporal das avarias. Os métodos mais utilizados de diagnóstico são os classificadores (redes neurais, sistemas periciais fuzzy, sistemas Neuro-Fuzzy, etc.), [2, 13].

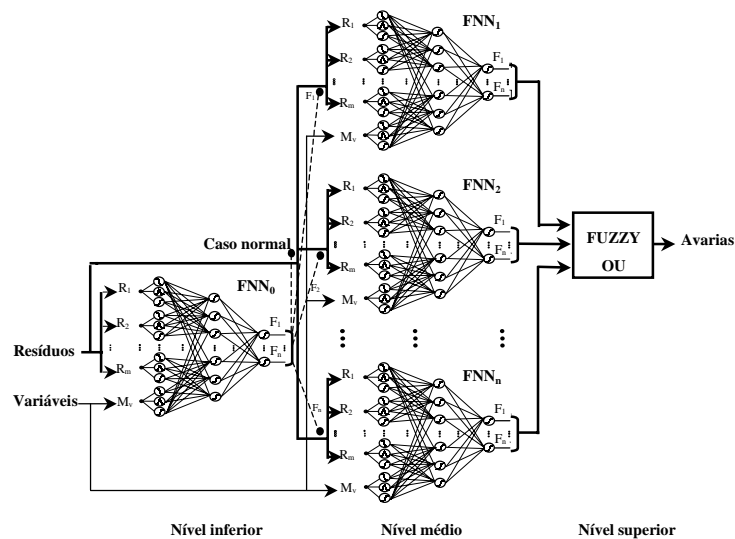


Figura 3. Estrutura hierárquica de redes Neuro-Fuzzy.

A Figura 3 mostra um exemplo de uma estrutura utilizada para o isolamento de avarias em processos industriais baseada em redes Neuro-Fuzzy [13]. Este sistema de diagnóstico de avarias é uma estrutura que combina as vantagens da lógica difusa (*fuzzy*) com as das redes neurais, sendo a lógica *fuzzy* responsável pela representação explícita do conhecimento e capaz de lidar com as incertezas do processo enquanto que as redes neurais são capazes de aprender através de exemplos. Uma das vantagens desta estrutura distribuída é permitir a divisão do conjunto de treino das redes Neuro-Fuzzy em conjuntos mais pequenos, tornando dessa forma o treino e classificação das avarias mais simples e eficiente. Esta estrutura permite também, o diagnóstico de avarias múltiplas, abruptas ou incipientes, treinando as redes apenas com sintomas de avarias abruptas simples. As redes Neuro-Fuzzy possuem uma camada de entrada *fuzzy* que garante a filtragem do ruído existente nas medições, uma compressão dos dados do processo e melhor desempenho da estrutura hierárquica perante avarias incipientes.

4. Controlo tolerante a avarias

A monitorização das avarias presentes nos componentes de um processo controlado por realimentação é feita então à custa dos sistemas FDI. Sistemas estes que permitem, hoje em dia, o desenvolvimento de actividade de investigação no chamado controlo tolerante a avarias, em que o sistema FDI é responsável pela monitorização das avarias, fornecendo toda a informação a este respeito à supervisão (Fig. 1). Esta, juntamente com todas as informações referentes às entradas e saídas dos processos, reconfigura o conjunto dos sensores e/ou actuadores por forma a isolar as avarias e sintoniza ou adapta novamente o controlador para reduzir os efeitos das avarias no controlo do processo, e daí a designação de controlo tolerante a avarias.

Enfim, este é o estado actual da investigação, a nível mundial, em sistemas de detecção e diagnóstico de avarias.

5. Conclusões

Os sistemas de detecção e diagnóstico de avarias aqui apresentados são sistemas em permanente evolução e relativamente recentes, que têm como objectivo a melhoria do funcionamento dos processos em termos de segurança, fiabilidade e disponibilidade.

A integração, no mesmo sistema FDI, dos métodos quantitativos e qualitativos é sempre a mais desejada, por forma a alcançar um sistema FDI robusto e eficiente, reduzindo a probabilidade de falsos alarmes e de más classificações das avarias, tentando ao mesmo tempo melhorar a informação heurística disponível para o operador humano.

Esta comunicação tenta fazer um estado de arte dos sistemas de detecção e diagnóstico de avarias e suas perspectivas de evolução a nível mundial. Durante a apresentação oral serão apresentados alguns exemplos práticos de aplicação dos métodos aqui referidos.

Referências

- [1] Isermann, R., "Supervision, Fault-detection and Fault-diagnosis Methods – an Introduction", *Control Engineering Practice*, Pergamon/Elsevier, Vol. 5, N.º 5, 1997, p. 637-652.
- [2] Patton, R. J., Uppal, F. J. e Lopez-Toribio, C. J., "Soft Computing Approaches To Fault Diagnosis For Dynamic Systems: A Survey", *4th IFAC Symposium on Fault Detection Supervision and Safety for Technical Processes*, Vol. 1, 2000, p. 298-311.
- [3] Chen, J. e Patton, R. J., *Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems*, Boston: USA, Kluwer Academic Publishers, 1999.

- [4] Gertler, J., *Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems*, New York: USA, Marcel Dekker, 1998.
- [5] Korbicz, J., "Neural networks and their application in fault detection and diagnosis", *Proc. IFAC Symp. on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes SAFEPROCESS'97*, Vol. 1, 1997, p.377-382.
- [6] De Kleer, J. e Williams, B. C., "Diagnosis Multiple Faults", *Artificial Intelligence*, Vol. 32, 1987, p. 97-130.
- [7] Kuipers, B. J., *Qualitative Reasoning*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1994.
- [8] Lunze, J. e Schröder, J., "Application of qualitative observation and prediction to a neutralisation process", *14th IFAC World Congress*, Vol. 1, 1999, p. 49-54.
- [9] Dexter, A. L., "Fuzzy Model-Based Fault Diagnosis", *IEE Proc. Control Theory Appl.*, 142 (6), 1995, p. 545-550.
- [10] Frank, P. M., "Analytical and Qualitative Model-Based Fault Diagnosis – a survey and some new results", *European Journal of Control*, 2 (1), 1996, p. 6-28.
- [11] Zhang, J. e Morris, A. J., "Fuzzy Neural Networks in Process Modelling and Fault Diagnosis", *Proceedings of Advanced Summer Institute (ASI'94) in Cooperative Intelligent Manufacturing Systems*, Vol.1, 1994, p. 166-173.
- [12] Calado, J. M. F. e Sá da Costa, J. M. G., "An Expert System Coupled with a Hierarchical Structure of Fuzzy Neural Networks for Fault Diagnosis", *International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences*, Vol. 9, n. ° 3, 1999, p. 667-687.
- [13] Mendes, M.J.G.C., Calado, J.M.F., Sousa, J.M.C. e Sá da Costa, J.M.G., "Industrial actuator diagnosis using hierarchical fuzzy neural networks", *European control conference ECC 2001*, 2001, p. 2723–2728.
- [14] Calado, J.M.F., Korbicz, J., Patan, K., Patton, R. J. e Sá da Costa, J.M.G., "Soft computing approaches to fault diagnosis for dynamic systems", *European Journal of Control*, volume 7 (2-3), 2001, p.169–208.
- [15] Obuchowicz, A. e Patan, K., "An Algorithm of Evolutionary Search with Soft Selection for Training Multilayer Feedforward Neural Networks", *Proc. 3rd Conf. Neural Network and Their Applications*, 1997, p.123-128.
- [16] Patton, R. J., Chen, J. e Liu, G. P., "Robust Fault Detection of Dynamic Systems via Genetic Algorithms", *Proc. of IMechE Part I-J of Syst. And Contr. Eng.*, 211 (5), 1997, p. 357-364.
- [17] Patton, R. J., Frank, P. M. e Clark, R. N., *Issues of Fault Diagnosis for Dynamic Systems*, New York: USA, Springer, 2000.