ISSN:2594-6153

Classificação Inteligente de Alarmes Utilizando Lógica Paraconsistente Aplicada ao Monitoramento de Pressão

Guilherme Ariel Ferreira

Universidade Santa Cecília (UNISANTA) –Santos-SP, Brasil

E-mail: gf249460@alunos.unisanta.br

Resumo: Para garantir a segurança das operações em tanques de armazenamento, é essencial assertividade nos alarmes gerados pelos sensores. Muitas vezes informações contraditórias ou incompletas causam alarmes falsos. Este estudo apresenta uma nova forma de classificar alarmes usando a Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois Valores (LPA2v). O método usado define níveis de evidência positivos para situações de risco e normais com base nas leituras de pressão, que são analisados por um Nó de Análise Paraconsistente (NAP) classifica em "Agir imediatamente" (para casos críticos e claros), "Relatar problema no instrumento" (para defeitos em sensores ou erro nos dados) e "Alarme com possível set point incorreto" (para padrões de alarmes confusos ou de baixa certeza).

Palavras-chave: Lógica Paraconsistente; Classificação de Alarmes; Engenharia de Confiabilidade; Inteligência Artificial.

Intelligent Alarm Classification Using Paraconsistent Logic Applied to Pressure Monitoring

Abstract: To ensure the safety of operations in storage tanks, it is essential to have accurate alarms generated by sensors. Often, contradictory or incomplete information causes false alarms. This study presents a new way to classify alarms using Paraconsistent Annotated Logic with Annotation of Two-Value (PAL2v). The method defines positive evidence levels for hazardous and normal conditions based on pressure readings, which are analyzed by a Paraconsistent Analysis Node (PAN) that classifies them into “Act immediately” (for clear, critical cases), “Report instrument problem” (for sensor faults or data errors), and “Alarm with a possibly incorrect setpoint” (for ambiguous alarm patterns or low-certainty signals).

Keywords: Paraconsistent Logic; Alarm Classification; Reliability Engineering; Artificial Intelligence.

Introdução

Tanques de armazenamento de líquidos são amplamente utilizados em diversos setores, e monitorar a pressão, um de seus parâmetros mais críticos, é essencial para a segurança operacional[1]. Monitorar, aqui, significa observar continuamente o comportamento do sistema para detectar desvios, identificar tendências que apontem para condições críticas e confirmar se o processo está retornando à normalidade após perturbações. O desafio é que, no mundo real, as medições podem ser ruidosas, atrasadas, incompletas ou mesmo contraditórias o que para as

abordagens baseadas em lógica clássica, que exigem consistência e decisões binárias, tendem a se tornar pouco confiáveis ou gerar falsos alarmes diante de informações conflituosas[2,3].

Para enfrentar esse problema, o artigo apresenta o uso da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), que permite raciocinar mesmo quando há contradições e incertezas, sem descartar informações valiosas ou tomar decisões arbitrárias. Na LPA2v, cada informação é representada por uma proposição P e dois graus de evidência, ambos variando entre 0 e 1: um favorável (μ) e outro desfavorável (λ) à P. A partir desses dois graus, derivam-se o Grau de Certeza, que expressa o quanto a conclusão está sustentada pelos dados e o Grau de Contradição, que mede o nível de conflito entre as evidências. Juntos, eles definem o estado lógico paraconsistente, um retrato resumido da situação que preserva particularidades importantes para a tomada de decisão[4].

Para levar leituras físicas, como pressão, ao formato exigido pela LPA2v, utiliza-se um Extrator de Graus de Evidência. Esse algoritmo transforma os sinais dos instrumentos em evidências normalizadas e comparáveis, reduzindo o impacto de escalas diferentes e facilitando a interpretação de dados. Em seguida, um Nó de Análise Paraconsistente (NAP) recebe os pares de evidências, realiza calculos e gera o Grau de Evidência Resultante Normalizado, que consegue determinar a decisão mesmo quando as entradas apresentam informações inconsistentes [5,6].

Como entradas e saídas são padronizadas, múltiplos NAPs podem ser conectados em sequência ou em paralelo, formando Redes de Análises Paraconsistentes (RAPs)[7]. Nessas redes, extratores e NAPs se alimentam mutuamente e integram informações de diferentes fontes, cruzando medições e contextos para chegar a conclusões mais robustas e refinadas. Em aplicações de monitoramento de pressão em tanques, essa arquitetura favorece a redução de alarmes falsos, melhora a confiabilidade do diagnóstico e sustenta decisões mais precisas e tempestivas para manter a operação em condições seguras.

Objetivos

O principal objetivo deste estudo é desenvolver e demonstrar um sistema de classificação inteligente de alarmes para monitoramento de pressão em ambientes industriais, utilizando os princípios da LPA2v. Busca-se aprimorar a capacidade de decisão operacional, que lide de forma eficaz com a incerteza, a ambiguidade e as contradições dos dados de processo.

Material e Métodos

O estudo avalia um sistema de alarmes para monitoramento de pressão em um tanque de armazenamento, empregando a LPA2v para classificar os eventos. A implementação em

Python foi organizada em módulos separados: um para a base paraconsistente e outro para a lógica de classificação. O sistema foi parametrizado com constantes referentes ao tanque e com limiares que definem os estados de alarme.

Na camada paraconsistente, as leituras brutas de pressão são convertidas em graus de evidência u_critica e u_normal, com tratamento explícito para dados ausentes (Error). Esses sinais alimentam um NAP, que calcula o Grau de Certeza (GC), o Grau de Contradição (Gct) e o Grau de Evidência Resultante Normalizado (μER). Esses valores combinam, de forma robusta, a confiança e o conflito das informações, mesmo quando há ruído ou inconsistências nas medições.

Sobre essa base, foi criada uma classe de classificação de alarmes que combina os resultados da análise paraconsistente com o histórico e a taxa de variação da pressão, calculada internamente. A lógica de decisão adota prioridades para emitir diagnósticos como “Problema no Instrumento”, “Agir Imediatamente” e “Alarme com possível set point incorreto”. Para validar o comportamento do classificador, foram gerados dados sintéticos de pressão que representam diferentes cenários operacionais. Cada leitura passa pelo processamento paraconsistente e pela etapa de classificação, produzindo, a cada ciclo, um retorno em tempo quase real com o diagnóstico e a justificativa correspondente.

Resultados

A simulação computacional do classificador baseado em Lógica Paraconsistente mostrou que o sistema identifica e categoriza eventos de pressão com maior rapidez e precisão que a avaliação exclusivamente humana. Embora os testes tenham ocorrido em ambiente simulado, o comportamento observado reflete o esperado para diferentes condições operacionais e valida as três categorias de saída: “Agir imediatamente”, “Relatar problema no instrumento” e “Alarme com possível set point incorreto”.

Na categoria “Agir imediatamente”, quando a pressão apresentava taxa de variação acentuada e consistente, com μER elevado, Gct baixo e GC positivo, o sistema sinalizou corretamente a necessidade de intervenção imediata. A transição do estado normal para o crítico foi acompanhada por aumento marcado do μER e confirmação pelo GC, conforme ilustrado na Figura 1.

```
Leitura 01: Pressão: 215.53  , μ_ER: 0.00, GC: -1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Normal ou Sem Alarme                 (Operação Normal)
Leitura 02: Pressão: 187.72  , μ_ER: 0.00, GC: -1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Normal ou Sem Alarme                 (Operação Normal)
Leitura 03: Pressão: 81.07   , μ_ER: 0.50, GC: 0.00, Gct: 1.00, Classificação IA: Normal ou Sem Alarme                 (Operação Normal)
Leitura 04: Pressão: 78.20   , μ_ER: 0.50, GC: 0.00, Gct: 1.00, Classificação IA: Normal ou Sem Alarme                 (Operação Normal)
Leitura 05: Pressão: 121.06  , μ_ER: 0.00, GC: -1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Normal ou Sem Alarme                 (Operação Normal)
Leitura 06: Pressão: 472.00  , μ_ER: 1.00, GC: 1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Agir imediatamente                   (Pressão alta súbita e crescente)
Leitura 07: Pressão: 473.00  , μ_ER: 1.00, GC: 1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Agir imediatamente                   (Pressão alta crítica e subindo: 473.00
Leitura 08: Pressão: 474.00  , μ_ER: 1.00, GC: 1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Agir imediatamente                   (Pressão alta crítica e subindo: 474.00
Leitura 09: Pressão: 475.00  , μ_ER: 1.00, GC: 1.00, Gct: 0.00, Classificação IA: Agir imediatamente                   (Pressão alta crítica e subindo: 475.00
Leitura 10: Pressão: 119.01  , μ_ER: 0.50, GC: 0.00, Gct: 1.00, Classificação IA: Normal ou Sem Alarme                 (Operação Normal)
```

Figura 1. Funcionamento do código, indicando “Agir imediatamente”.

Para “Relatar problema no instrumento”, a introdução de leituras “Error” ou leituras constantes e incompatíveis com a faixa operacional levou o classificador a apontar falha de instrumento. Nesses casos, μ e λ próximos de zero resultaram em μER de 0,5 (paracompletude), evidenciando ausência de informação útil e sustentando a decisão, como visto na Figura 2.

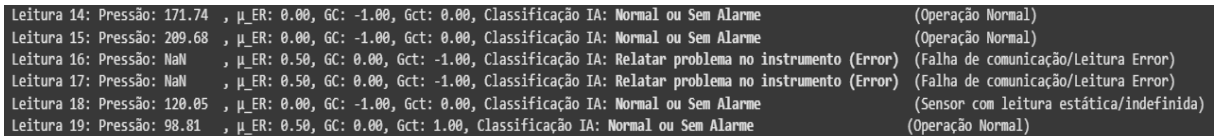


Figura 2. Funcionamento do código, indicando “Relatar problema no instrumento”.

Discussão

A simulação do classificador de alarmes baseado em LPA2v mostrou que é possível identificar e categorizar eventos de pressão com mais precisão do que sistemas tradicionais. Em vez de apenas sinalizar quando um valor passa do limite, o método considera os graus de certeza e de contradição dos dados, refinando o diagnóstico e aproximando a resposta do que de fato está acontecendo no processo.

Nos cenários classificados como “Agir imediatamente”, o μER se manteve alto, acompanhado por GC elevado e Gct baixo, indicando evidência consistente para decisão rápida. A inclusão da taxa de variação da pressão ajudou a reconhecer tendências rápidas e sustentadas, típicas de falhas em formação ou perda de controle, e a filtrar picos isolados que não correspondem a um problema real.

A categoria “Relatar problema no instrumento” evidenciou a capacidade de apontar falhas na medição. Leituras “Error”, típicas de perda de comunicação ou sensor desconectado, foram corretamente encaminhadas para essa classe. Além disso, condições de evidência indefinida (estado P(0,0), com μ e λ muito baixos) indicaram comportamentos como sensor travado, sem resposta ao processo. Separar defeito de sensor de anomalia de processo direciona melhor as ações de manutenção e evita intervenções desnecessárias.

A classificação “Alarme com possível set point incorreto” atacou a fonte de alarmes incômodos. Alarmes ativos com Gct alto ou GC baixo foram marcados como ambíguos e tratados como falsos positivos simulados. Quando esse padrão se repete em certo período, o sistema recomenda revisar o setpoint. Esse recurso reduz ruído, diminui fadiga do operador e melhora a utilidade do sistema de alarmes.

Em síntese, os resultados indicam que a Lógica Paraconsistente Anotada de Segunda Ordem permite diferenciar tipos de eventos a partir de graus de certeza e contradição, superando classificações binárias simples e contribuindo para maior confiabilidade e eficácia operacional.

Conclusões

O estudo demonstrou a viabilidade e eficácia de um sistema de classificação de alarmes baseado em Lógica Paraconsistente Anotada (LPA2v) e Nó de Análise Paraconsistente (NAP) para o monitoramento de pressão em tanques de armazenamento. Os objetivos de desenvolver e categorizar alarmes de forma inteligente foram alcançados, com o classificador distinguindo eficientemente entre situações que exigem "Agir imediatamente" (alta certeza e baixa contradição), "Relatar problema no instrumento" (ausência ou indefinição de evidência), e "Alarme com possível set point incorreto" (baseado em padrões históricos de contradição ou baixa certeza). A abordagem se mostrou superior aos sistemas binários tradicionais ao quantificar incertezas e contradições, transformando o "ruído" de alarmes em informações acionáveis e otimizando a tomada de decisão. A metodologia de integração com dados em tempo real, detalhando a seleção de protocolos e bibliotecas Python, oferece um caminho claro para a aplicação prática deste sistema em ambientes industriais. Conclui-se que a LPA2v proporciona uma camada de inteligência e nuance essencial para aprimorar a confiabilidade operacional e a eficiência na gestão de alarmes, contribuindo significativamente para a manutenção preditiva e proativa.

Referências

1. F. Trebuňa, F. Šimčák, J. Bocko, Failure analysis of storage tank, Engineering Failure Analysis, Volume 16, páginas 26-28, 2009.
2. Dvorak D. Expert systems for monitoring and control. Technical Report AI87-55, Department of Computer Sciences, The University of Texasat Austin, May 1987.
3. Da Costa, N.C.A., Abe, J.M., Subrahmanian, V.S., “Remarks on annotated logic”, Zeitschrift f. math. Logik und Grundlagen d. Math. 37, Vol.37, pp 561-570, 1991.
4. Da Silva Fiho, J. I., Lambert-Torres, G., Abe, Inteligência Artificial com Redes de Análises Paraconsistentes -- ISBN: 9788521616313 - Editora LTC – Grupo GEN Rio de Janeiro, 2008.
5. Da Silva Filho, J., I. “Lógica ParaFuzzy – Um método de Aplicação da Lógica Paraconsistente e Fuzzy em Sistemas de Controle Híbridos”, Revista Seleção Documental, N.2 Ano 1 ISSN 1809-0648, (16-24) pp - Janeiro/Fev/Março, Ed. Paralogike - Santos – SP-Brasil, 2006
6. Da Silva Fiho, J. I., Lambert-Torres, G., Abe, Inteligência Artificial com Redes de Análises Paraconsistentes -- ISBN: 9788521616313 - Editora LTC – Grupo GEN Rio de Janeiro, 2008.
7. Da Silva Fiho, J. I., Introdução ao conceito de Estado Lógico Paraconsistente ε. - Revista Seleção Documental n17, 20-24 pp. ISSN 1809-0648. ano 5- jan/fev/março, Editora Paralogike, Santos, São Paulo, Brasil, 2010.