ISSN:2594-6153

Sistemas de Filtragem Inteligentes: Alavancando Redes Neurais e Dados Integrados SCADA/MES para Controle de Partículas e Pureza do Produto em Ambientes Industriais

Vladmir Barbeiro da Cruz, João Inácio da Silva Filho, Vitor da Silva Rosa

Universidade Santa Cecília, Santos-SP, Brasil

E-mail: vladcruz@gmail.com, inacioepg@unisanta.br, victor@unisanta.br

Resumo: O presente artigo analisa estudos existentes sobre sistemas de filtragem de partículas em ambientes fabris, com foco na eficiência de filtros e métodos de isolamento de contaminantes para garantir a pureza do produto final. Explora a aplicação de redes neurais, tanto não supervisionadas para segmentação e perfilamento de comportamento, quanto supervisionadas para detecção e previsão de cenários, utilizando dados de sensores, SCADA e MES. O objetivo é fundamentar a criação de modelos práticos em estudos posteriores, destacando o potencial da inteligência artificial para otimizar a pureza do produto e a eficiência operacional em processos industriais.

Palavras-chave: Filtragem Industrial; Redes Neurais; SCADA; MES; Pureza do Produto.

Intelligent Filtration Systems: Leveraging Neural Networks and Integrated SCADA/MES Data for Particle Control and Product Purity in Industrial Environments

Abstract: This article analyzes existing studies on particle filtration systems in industrial environments, focusing on filter efficiency and contaminant isolation methods to ensure final product purity. It explores the application of neural networks, both unsupervised for data segmentation and behavioral profiling, and supervised for scenario detection and prediction, utilizing data from sensors, SCADA and MES systems. The objective is to lay the groundwork for future practical model development, highlighting the potential of artificial intelligence to optimize product purity and operational efficiency in industrial processes.

Keywords: Industrial Filtration; Neural Networks; SCADA; MES; Product Purity.

Introdução

A filtragem de partículas é um processo fundamental em ambientes industriais, indispensável para a proteção de equipamentos, a purificação de fluxos de ar e gases, a salvaguarda da saúde ocupacional e, sobretudo, para o isolamento de contaminantes que possam comprometer a pureza do produto final [1]. Em setores como o químico e farmacêutico, a filtração é uma medida crítica de controle de qualidade, assegurando a eficácia e segurança do produto em conformidade com padrões regulatórios rigorosos [2].

A crescente complexidade dos processos industriais impulsiona a necessidade de uma evolução na gestão da filtragem, passando de abordagens reativas para paradigmas proativos e inteligentes. Esta demanda exige soluções pautadas em **inteligência artificial (IA)** e **machine learning (ML)** para gerenciar a complexidade inerente e mitigar falhas dispendiosas ou a rejeição de lotes [3, 4].

A integração de sistemas **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)** e **MES (Manufacturing Execution Systems)** é vital para estabelecer um fluxo contínuo de dados e um controle de processo em tempo real [5]. Essa sinergia é um pilar da **Indústria 4.0**, facilitando a incorporação de IA e ML para manutenção preditiva e otimização abrangente dos processos produtivos [5]. A integração SCADA/MES com IA otimiza a filtragem industrial, transformando-a em otimização contínua. Isso permite ajustes proativos em tempo real, garantindo pureza do produto, eficiência operacional e redução de custos. [5].

O presente artigo visa revisar a literatura científica existente sobre a eficiência de filtros e os métodos de sua aplicação em ambientes industriais de emissão de partículas, com foco na otimização impulsionada por **redes neurais**. Serão exploradas as capacidades de **modelos não supervisionados** para segmentação de dados e perfilamento de comportamento do sistema de filtragem, e de **modelos supervisionados** para detecção e previsão de resultados em cenários operacionais específicos, utilizando dados provenientes de sensores integrados a sistemas SCADA e MES [3, 4].

Objetivos

O objetivo principal deste artigo é analisar e sintetizar a literatura científica que suporte a aplicação de redes neurais para otimizar sistemas de filtragem de partículas em ambientes fabris. Especificamente, busca-se investigar: 1) a eficiência e os métodos de filtragem para isolamento de contaminantes e garantia da pureza do produto; 2) o uso de redes neurais não supervisionadas para segmentação de dados e perfilamento de comportamentos operacionais; 3) a aplicação de redes neurais supervisionadas para detecção e previsão de cenários de emissão e desempenho de filtros; e 4) a integração de dados de sensores, SCADA e MES como base para sistemas de IA na otimização da filtragem.

Material e Métodos

A metodologia adotada para a elaboração deste artigo consistiu em uma revisão bibliográfica sistemática de literatura científica publicada em periódicos arbitrados e livros de referência nas áreas de engenharia mecânica, engenharia química, inteligência artificial e automação industrial. A pesquisa foi realizada em bases de dados acadêmicas como Scopus, Web of Science e Google Scholar e livros especializados, utilizando combinações de palavras-chave em português e inglês, tais como: "filtragem industrial", "eficiência de filtros", "controle de partículas", "pureza do produto", "redes neurais", "aprendizado supervisionado", "aprendizado não supervisionado", "detecção de anomalias", "previsão de partículas",

"SCADA", "MES", "sensores IoT", "otimização industrial", "temperatura e umidade na filtragem".

Publicações foram selecionadas com base em dados empíricos, modelos conceituais ou revisões de literatura, e a análise qualitativa buscou sintetizar conceitos e resultados relevantes aos objetivos do estudo.

O processo de revisão foi estruturado para abordar as seguintes frentes:

- **Fundamentos de Filtragem Industrial:** Compreensão dos tipos de filtros, seus mecanismos de operação (impactação, interceptação, difusão), métricas de eficiência (PFE) e o impacto de fatores ambientais como temperatura e umidade no desempenho dos filtros [1, 2].
- **Modelagem com Redes Neurais Não Supervisionadas:** Levantamento de estudos que utilizam técnicas como clustering e autoencoders para descoberta de padrões, segmentação de dados e detecção de anomalias em conjuntos de dados de sensores industriais, sem a necessidade de rotulagem prévia [3, 4].
- **Modelagem com Redes Neurais Supervisionadas:** Pesquisa sobre aplicações de redes neurais para previsão de concentrações de partículas, otimização de ciclos de limpeza de filtros e controle de variáveis operacionais (como velocidade do ventilador) com base em dados rotulados e históricos [3, 4].
- **Sistemas de Aquisição e Gerenciamento de Dados:** Análise da literatura sobre a integração de sensores e sistemas SCADA e MES para coleta e contextualização de dados em tempo real [5].

A partir dessa análise, buscou-se construir um arcabouço teórico para a proposição de um sistema integrado e inteligente de filtragem, que sirva como base para futuros estudos de aplicação prática.

Resultados

A revisão da literatura destaca a viabilidade e os benefícios das redes neurais na otimização de sistemas de filtragem industrial, especialmente na indústria química. Os resultados principais, baseados na compreensão da filtragem, no aprendizado não supervisionado para perfilamento, na capacidade preditiva do aprendizado supervisionado e na integração de dados para IA, oferecem um panorama robusto para a aplicação dessas tecnologias.

Em relação à **Análise da Eficiência e Métodos de Filtragem**, a pesquisa revelou a diversidade de tipos de filtros e seus complexos mecanismos de ação (impactação,

interceptação, difusão), enfatizando que a eficiência é uma função multifacetada do tamanho da partícula, do tipo de meio filtrante e das condições operacionais [1, 2].

No que tange às **Redes Neurais Não Supervisionadas para Segmentação e Perfilamento de Comportamento**, Redes não supervisionadas, como K-means e autoencoders, identificam padrões e anomalias em dados de sensores não rotulados, sendo ferramentas eficazes em sistemas de controle industrial [3, 4].

Quanto às **Redes Neurais Supervisionadas para Detecção e Previsão de Cenários**, Modelos de Redes Neurais Supervisionadas preveem a concentração de partículas com alta precisão, utilizando dados como temperatura, umidade e sinais de sensores. LSTM são ideais para séries temporais devido à sua capacidade de lidar com dependências de longo prazo [3, 4].

Finalmente, a **Integração de Dados de Sensores, SCADA e MES para Aplicações de IA** A integração de sensores, SCADA e MES é crucial para a IA em filtragem. Eles fornecem dados essenciais em tempo real, agindo como a espinha dorsal para um fluxo contínuo de informações entre a fábrica e os modelos de IA [5].

Discussão

A implementação de sistemas de filtragem inteligentes, ancorados em redes neurais e na integração de dados de sensores, SCADA e MES, representa um avanço significativo para a otimização da pureza do produto e da eficiência operacional em ambientes fabris.

A complexidade dos mecanismos de filtragem e a influência dinâmica de fatores como temperatura e umidade justificam a necessidade de sistemas de controle mais sofisticados do que os métodos tradicionais [1, 2]. As redes neurais não supervisionadas oferecem uma capacidade transformadora na identificação de "perfis de comportamento" para os sistemas de filtragem e na detecção de desvios sutis, permitindo manutenção preditiva [3, 4]. As redes neurais supervisionadas, por sua vez, complementam essa capacidade ao permitir a previsão e otimização em cenários conhecidos, habilitando a tomada de decisões proativas e resultando em ganhos significativos de **eficiência energética** [3, 4].

A integração de dados de sensores, SCADA e MES é a espinha dorsal para o sucesso dessas aplicações de IA [5]. Essa fusão de dados permite que os modelos de IA entendam não apenas o que está acontecendo, mas por que está acontecendo, alinhando-se perfeitamente com os princípios da **Indústria 4.0** [5].

Para a indústria química, prever e mitigar contaminações evita perdas e garante conformidade. Otimizar o consumo de energia e a vida útil dos filtros reduz custos operacionais e o impacto ambiental.

Conclusão

A integração de redes neurais com dados de sensores, SCADA e MES otimiza sistemas de filtragem industrial. Redes não supervisionadas criam perfis de comportamento e detectam anomalias, enquanto supervisionadas preveem cenários e otimizam processos, melhorando a pureza do produto e a eficiência energética [3, 4]. A integração de dados de sensores, SCADA e MES fornece a base robusta e contextualizada para alimentar esses modelos de IA permitindo uma gestão proativa e preditiva dos sistemas de filtragem [5]. Esta pesquisa fundamental estabelece as bases teóricas para o desenvolvimento de modelos de IA práticos, adaptáveis e escaláveis que podem impulsionar os avanços da Indústria 4.0 na pureza e sustentabilidade da fabricação.

Referências

1. Hinds WC. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1999.
2. Cadle RD. The Measurement of Airborne Particles. New York: Wiley-Interscience Publication; 1975.
3. Aggarwal CC. Neural Networks and Deep Learning: A Textbook. 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG; 2023.
4. Bishop CM. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford, UK: Clarendon Press Oxford; 1995.
5. Knapp ED, Langill JT. Industrial Network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA, and Other Industrial Control Systems. 2nd ed. Waltham, MA: Elsevier; 2015.