

APLICAÇÕES EM PROCESSAMENTO DE IMAGENS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS – Projeto de Pesquisa

WALDEMAR BONVENTI JR.¹

¹Fatec Sorocaba- Coordenadoria de Manufatura Avançada
waldemar.junior@fatec.sp.gov.br

Image Processing Applications Using Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks

Eixo Tecnológico: *Controle e Processos Industriais / Ambiente e Saúde*

Resumo

Na área industrial, o aumento da produtividade requer níveis com maior complexidade em automação e o aumento de velocidade dos processos. Na área médica, a interpretação das imagens requer precisão e velocidade, para diagnósticos e terapias mais bem-sucedidas. Nestes contextos se encaixam a área de “Visão de Máquinas” ou “Visão Computacional”. Neste projeto pretende-se contemplar duas áreas da I.A.: a Lógica Fuzzy, que permite lidar com imprecisões e vaguidade e as Redes Neurais, que podem ser “treinadas” para armazenar informações relevantes dos padrões a fim de aprimorar o reconhecimento dos objetos. Objetiva-se combinar os métodos de técnicas de Machine Learning e Fuzzy Logic em processamento digital de imagens, a fim de aprimorar a segmentação da imagem e reconhecimento de objetos, como também desenvolver e combinar algoritmos que possam gerar programas de computador, aplicáveis em sistemas industriais e médicos, aumentando sua eficiência e assessorar a decisão médica na interpretação das imagens. A classificação de objetos em imagens por lógica fuzzy e redes neurais consiste em: agrupar os pixels por similaridade (cor e vizinhança); atribuir um grau de pertinência do pixel ao grupo; treinar as redes neurais com a classificação obtida; testar o reconhecimento pela rede em amostra de objetos previamente conhecida; avaliar o desempenho por matrizes de confusão e índice *kappa*. Esta sequência de ações pode ser codificada em software e aplicada a sistemas de visão computacional nos domínios propostos. Espera-se, em uma primeira etapa, não ainda o software pronto para usuários, mas um conjunto de algoritmos aplicáveis e reproduzíveis adaptados aos domínios de aplicação, a saber: industrial, médico e ambiental.

Palavras-chave: *Processamento de imagens, Lógica fuzzy. Redes neurais artificiais, Reconhecimento de padrões, Algoritmos computacionais*

Abstract

In industry, increasing productivity requires ever more complex levels of automation and faster processes. In the medical field, image interpretation requires greater precision and speed for more successful diagnoses and therapies. In these contexts, the area of "Machine Vision" or "Computer Vision" fits in. This project aims to address two areas of AI: Fuzzy Logic, which allows us to deal with imprecision and vagueness, and Neural Networks, which can be "trained" to store relevant pattern information in order to improve object recognition. The aim is to combine the methods of Machine Learning and Fuzzy Logic techniques in digital image processing in order to improve image segmentation and object recognition, as well as to develop and combine algorithms that can generate computer programs, applicable in industrial and medical systems, increasing their efficiency and advising medical decision making in the interpretation of images. The classification of objects in images using fuzzy logic and neural networks consists of grouping pixels by similarity (colour and neighbourhood); assigning a degree of pertinence of the pixel to the group; training the neural networks with the classification obtained; testing recognition by the network on a previously known sample of objects; evaluating performance using confusion matrices and the kappa index. This sequence of actions can be coded in software and applied to computer vision systems in the proposed domains. It is hoped that, in the first stage, the software will not yet be ready for users, but rather a set of applicable and reproducible algorithms adapted to the application domains, namely: industrial, medical and environmental.

Keywords: *Image processing, Fuzzy logic, Artificial neural networks, Pattern recognition, Computer algorithms*

1. Introdução

Na área industrial, o aumento da produtividade requer níveis cada vez complexos de automação e velocidade dos processos. Na área médica e ambiental (p. ex. satélites e aerofotos), a interpretação das imagens requer precisão e velocidade para tomadas de decisão.

Nestes contextos se encaixam a área de “Visão de Máquinas” ou “Visão Computacional”. É um conjunto de métodos e técnicas para o reconhecimento de objetos em imagens digitais. Compreende a identificação de padrões e associação com objetos interpretáveis. A área da Inteligência Artificial (I.A.) têm fornecido meios de aprimoramento nestes processos. Pretende-se utilizar duas áreas da I.A.: a Lógica Fuzzy, que permite lidar com imprecisões e vaguidade e as Redes Neurais, que podem ser “treinadas” para armazenar informações relevantes dos padrões para aprimorar o reconhecimento dos objetos.

Mesmo já existindo métodos de processamento de imagens nestas áreas, pretende-se investigar como a lógica *fuzzy* e redes neurais podem ser combinadas na elaboração de novos métodos e técnicas, no desenvolvimento de novos algoritmos para programas de computador e equipamentos com visão de máquina.

Problema abordado

Reconhecer objetos em uma imagem digital, identificados ou manipulados por processos industriais, ou regiões biológicas em imagens médicas ou imagens aéreas, passa por uma etapa fundamental do processamento, denominado “segmentação da imagem”, a qual visa identificar os objetos que a constituem por vários métodos, tanto morfológicos quanto “inteligentes”.

As Redes Neurais Artificiais, especialmente as “Deep Learning” (aprendizado profundo), são utilizadas para reconhecimento de objetos e automatizar a análise de grandes quantidades de dados visuais.

A Lógica Fuzzy, pelo princípio de classificação de dados imprecisos, ambíguos e vagos, pode lidar com a imprecisão dos limites de uma região e se uma ela é homogênea tal que seja unicamente segmentada. Pode ser combinada com o Deep Learning no treinamento mais eficaz da Rede Neural.

Hipótese

Em que condições a utilização da Lógica Fuzzy, combinada com as Redes Neurais no processamento de imagens, aumenta a eficiência no reconhecimento de objetos, em relação aos aspectos de redução na quantidade de imagens e dados para o treinamento e precisão do reconhecimento?

Estado da arte

Deep Learning é uma categoria de aprendizado computacional com redes neurais de várias camadas ocultas – redes convolucionais (CNNs) e as redes recorrentes (RNNs), que permitiram um aprendizado mais eficaz com grandes conjuntos de dados. Um artigo primordial é o de Lecun et al [1], que descreveram a arquitetura básica das CNNs ainda usada. Fukushima e colegas [2] construíram um modelo de retropropagação com auto-organização, mas sem o mapeamento das redes SOMs clássicas. Nebauer [3] aplicou as CNNs no reconhecimento de objetos em imagens. As redes neurais parcialmente recorrentes surgiram no final da década de 1980 por vários pesquisadores [4], [5], [6], [7], cuja arquitetura tem evoluído.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

A CNN e as redes neurais profundas (DNN) não conseguem lidar com as informações temporais dos dados de entrada. Em problemas que contêm dados sequenciais, como texto, áudio e vídeo, as RNNs são dominantes.

Tem havido um crescente interesse em combinar lógica *fuzzy* e *deep learning* para o processamento de imagens, com o avanço de ambas as áreas. Exemplos de pesquisas recentes: [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], para não ser mais extensivo.

A combinação de *lógica fuzzy* e *deep learning* tem o potencial de melhorar o processamento de imagens em diversas aplicações. As pesquisas nessa área têm desenvolvido novas técnicas e aplicações.

No contexto dos cursos da Fatec de Sorocaba, *lógica fuzzy* e *deep learning* em processamento de imagens podem abranger domínios de aplicações, a princípio distintos, mas com metodologias em comum:

1. Máquinas industriais que aprendem – contexto do curso de Manufatura Avançada
2. Classificação de patologias em tecidos celulares – contexto do curso de Sistemas Biomédicos
3. Mapeamento de áreas de risco, urbanas ou de preservação ambiental – contexto do curso de Manufatura Avançada

A proposta para esta linha de trabalho prevê, em linhas gerais, no primeiro ano de pesquisa, dominar as técnicas e algoritmos recentes que empregam *lógica fuzzy* e *deep learning* em processamento de imagens, incluindo testes, prova de conceitos e estudos de casos, desenvolvendo ou aperfeiçoar métodos e técnicas.

Objetivos:

Objetivo Geral: combinar os métodos de técnicas de machine learning em Redes Neurais e Fuzzy Logic em processamento digital de imagens, a fim de aprimorar a segmentação da imagem e reconhecimento de objetos, em alguns domínios de aplicação.

Objetivos específicos:

- a) Elencar os principais métodos e técnicas de machine learning em redes neurais artificiais que sejam mais propícios às tarefas de reconhecimento de padrões em imagens.
- b) Realizar testes utilizando imagens de referência, com objetos identificados, para o treinamento da rede neural.
- c) Utilizar a *lógica fuzzy* para lidar com incertezas provenientes da resolução da imagem, bem como incertezas na classificação dos padrões encontrados.
- d) Desenvolver e combinar algoritmos que possam se transformar futuramente em programas de computador, aplicáveis em sistemas industriais, médicos e ambientais.
- e) Testar estes algoritmos nos domínios de aplicação propostos.
- f) Divulgar os resultados obtidos, por apresentações em simpósios, congressos, artigos e minicursos ou palestras. Envolver públicos e instituições externas.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais e instrumentos

As instalações físicas que se pretende usar são os laboratórios de informática, automação de processos e de biologia da Fatec Sorocaba, computador pessoal do autor, laboratório de processamento de imagens e sistemas ambientais da Unesp Sorocaba.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

Os programas de desenvolvimento pretendidos são as linguagens Python, Java ou C# e as plataformas de desenvolvimento Scilab ou Octave.

2.2. Metodologia

A pesquisa para o desenvolvimento tecnológico pretendida se caracteriza como TRLs 3, 4 e até 5, segundo Capacitação em RJ realizada. Com as parcerias iniciais com a Unesp, utilizar conhecimentos dos níveis TRLs 1, 2 e 3 a fim de alavancar as aplicações. Combina resultados de pesquisa pura, na resolução de problemas, como também aplicada. É do tipo qualitativa e quantitativa, explicativa e intervencionista; laboratorial, experimental e de estudos de casos.

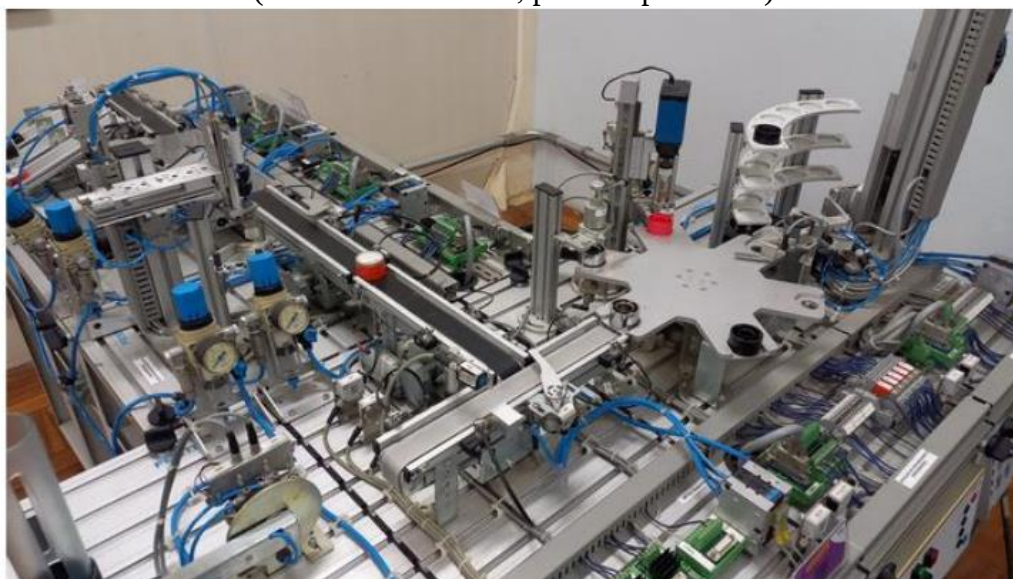
A “matéria prima” sobre a qual será realizado o processamento são imagens de processos industriais, médicas ou citológicas e ambientais (aéreas), preferencialmente em cores, captadas pelos equipamentos de imagens mais adequados ao domínio da aplicação. Em seguida, a imagem é transformada em uma matriz onde cada elemento representa um pixel (*picture element*) que contém os dados de cor pelas três cores primárias que a formam (RGB – *red, green, blue*).

A partir disso, os seguintes procedimentos poderão ser executados, não necessariamente nesta ordem:

- agrupamentos de pixels por cores, utilizando *fuzzy c-means*;
- entrada em uma rede neural dos dados da matriz para armazenar e classificar padrões;
- entrada em uma rede neural dos dados resultantes do agrupamento *fuzzy*;
- classificação *fuzzy* para lidar com os pixels com pertinência parcial em cada grupo;
- classificação *fuzzy* do resultado gerado pela rede neural;
- tomadas de decisão *fuzzy* relativas à cada etapa do processo;
- combinação híbrida ou paralela dos procedimentos anteriores.

Como exemplo, segue a figura 1 relativa a um dos domínios de aplicação considerados neste projeto.

Fig. 1 - Reconhecimento de produtos em processamento em um sistema automatizado (cilindros vermelhos, pretos e prateados)



Fonte: (Autor, 2025).

3. Resultados Parciais e Discussão

Os testes preliminares aqui realizados utilizaram métodos “convencionais” de processamento de imagens para o levantamento de problemas e dificuldades que possam ser mais bem abordados com a lógica *fuzzy* e aprendizado computacional, especialmente redes neurais artificiais.

Existem alguns métodos de rastreamento de objetos, dentro da área de Visão Computacional, baseados em propriedades geométricas e fotométricas da imagem. Aqui foram utilizados

1. Rastreador MIL (*Multiple Instance Learning*): uma melhoria do rastreador Boosting, considera uma vizinhança de pontos ao redor da localização atual para criar múltiplas instâncias. Tem um desempenho melhor que o Boosting, mas pode não acusar falhas de rastreamento.
2. Rastreador KCF (*Kernelized Correlation Filters*): explora propriedades do rastreador MIL e usa funções matemáticas convenientes para obter um rastreamento mais preciso e rápido. É uma boa escolha inicial, pois apresenta um desempenho melhor que o MIL e o Boosting.

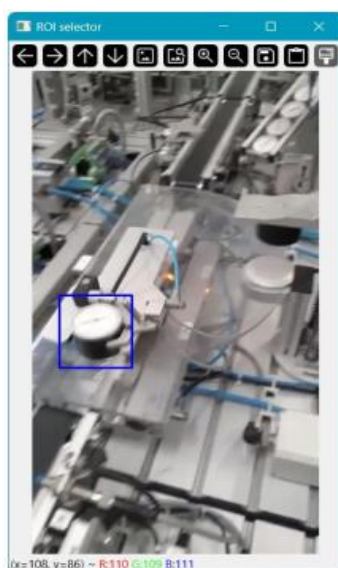
Foram implementados os métodos MIL e KCF e capturados quatro quadros de imagens para cada um deles, coletadas por uma câmera de celular.

O sistema de manufatura empregado foi o MPS da Festo, utilizado para fins didáticos no laboratório da Fatec Sorocaba. O sistema contém várias estações de processamento e montagem de um produto. Neste teste, foi dada ênfase à fase final, onde uma estação separadora identifica, por sensor óptico, a cor do produto montado.

O operador contorna a peça estacionada no início da esteira horizontal com um quadro via mouse do computador, e o sistema de visão computacional rastreia-a no início, na esteira horizontal, e na rampa da estação separadora.

Na figura 2, observa-se a marcação com um quadro azul do produto a ser rastreado. Nas figuras 3A-D, o sistema marcando automaticamente a peça rastreada pelo método MIL e nas figuras 4A-D, a peça rastreada pelo método KCF.

Fig. 2 - Marcação da peça com o mouse.



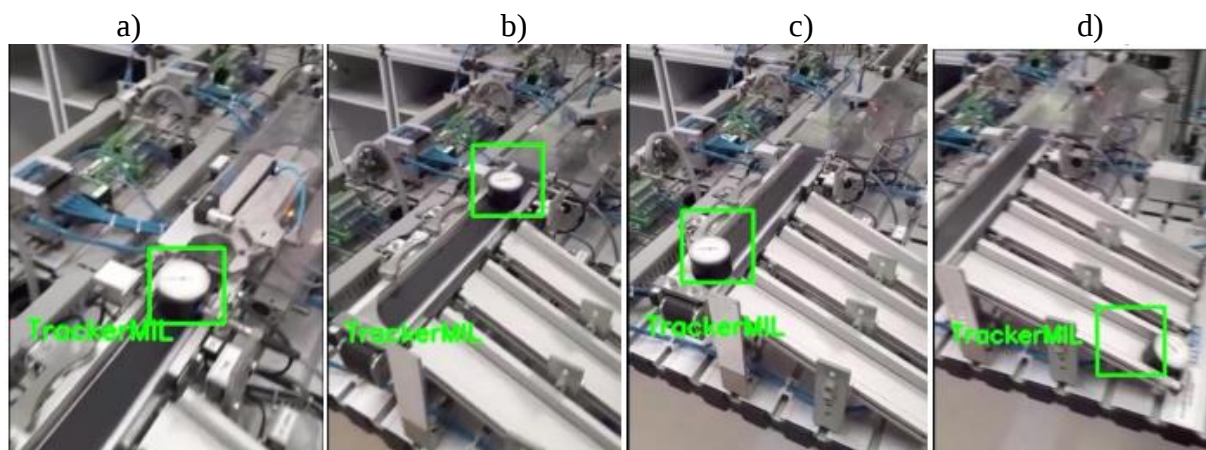
Fonte: (Autor, 2025).

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

Na figura 3D, o rastreamento MIL perdeu a peça um instante antes dela repousar no final da rampa, e na figura 4D a perda ocorreu logo no instante seguinte ao ingresso da peça na rampa.

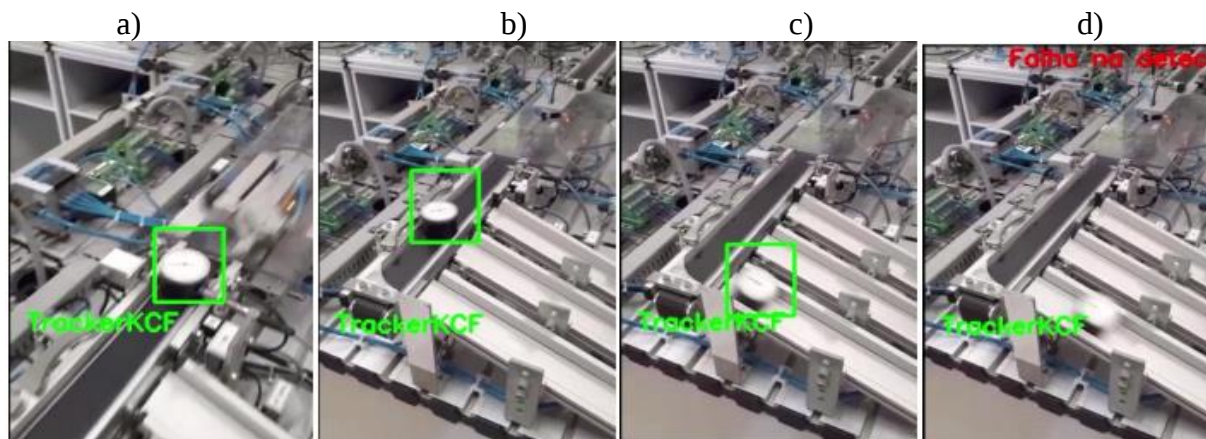
Observa-se que a peça desce a rampa em alta velocidade, sendo a qualidade da imagem limitada pela resolução da câmera.

Fig. 3 - Sequência de rastreamento utilizando método MIL.



Fonte: (Autor, 2025).

Fig. 4 - Sequência de rastreamento pelo método KCF.



Fonte: (Autor, 2025).

4. Considerações finais

Foram identificados dois desafios principais a serem tratados na continuidade do projeto:

1. Verificar como a lógica fuzzy pode lidar com as incertezas no reconhecimento da imagem em movimento, causada pela perda de resolução, principalmente em velocidades mais altas.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

2. Verificar como as redes neurais artificiais podem “aprender” um modelo da peça a ser rastreada e realizar a identificação para grandes volumes de produção, evitando o uso constante de marcação manual para o rastreador

Consideramos este estudo um marco bastante significativo no avanço do projeto, pois permite compreender como a utilização da lógica *fuzzy* e das redes neurais artificiais poderá melhorar significativamente a eficácia e, talvez, a eficiência dos sistemas industriais de visão computacional.

Referências

- [1] LECUN, Y.; BENGIO, Y.; et al. **Convolutional networks for images, speech, and time series**. The handbook of brain theory and neural networks, v. 3361, p. 1995, 1995.
- [2] FUKUSHIMA, K. Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. **Biological Cybernetics**, v. 36, p. 193-202, 1980.
- [3] NEBAUER, C. Evaluation of convolutional neural networks for visual recognition. **IEEE Trans on Neural Networks**, v. 9, p. 685-696, July 1998. ISSN: 1041-0093.
- [4] ROBINSON, A.; FALLSIDE, F. Static and dynamic error propagation networks with application to speech coding. **Neural information processing systems**. [S.l.]: [s.n.]. 1987.
- [5] WERBOS, P. J. Generalization of backpropagation with application to a recurrent gas market model. **Neural Networks**, v. 1, p. 339-356, 1988. ISSN: 0893-6080.
- [6] WILLIAMS, R. J.; ZIPSER, D. A learning algorithm for continually running fully recurrent neural networks. **Neural computation**, v. 1, p. 270–280, 1989.
- [7] WENG, J.; AHUJA, N.; HUANG, T. S. Optimal motion and structure estimation. **IEEE Trans on pattern analysis and machine intelligence**, v. 15, p. 864–884, 1993.
- [8] DAS, R.; SEN, S.; MAULIK, U. A survey on fuzzy deep neural networks. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 53, p. 1–25, 2020.
- [9] DENG, Y. et al. A hierarchical fused fuzzy deep neural network for data classification. **IEEE Trans on Fuzzy Systems**, v. 25, p. 1006–1012, 2016.
- [10] KAMTHAN, S.; SINGH, H. Hierarchical fuzzy deep learning system for various classes of images. **Memories-Materials, Devices, Circuits and Systems**, v. 4, p. 100023, 2023.
- [11] KUMAR, S. et al. Fuzz-ClustNet: Coupled fuzzy clustering and deep neural networks for Arrhythmia detection from ECG signals. **Computers in Biology and Medicine**, v. 153, p. 106511, 2023.
- [12] SHARMA, T. et al. Fuzzy based pooling in convolutional neural network for image classification. 2019 IEEE Intl. conference on fuzzy systems (FUZZ-IEEE). [S.l.]: [s.n.]. 2019. p. 1–6.
- [13] SHARMA, T.; VERMA, N. K.; MASOOD, S. Mixed fuzzy pooling in convolutional neural networks for image classification. **Multimedia Tools and Applications**, v. 82, p. 8405–8421, 2023.
- [14] SUCCETTI, F.; ROSATO, A.; PANELLA, M. Multi-label classification with imbalanced classes by fuzzy deep neural networks. **Integrated Computer-Aided Engineering**, p. 1–14, 2024.
- [15] WANG, Y. et al. Unsupervised multilayer fuzzy neural networks for image clustering. **Information Sciences**, v. 622, p. 682–709, 2023.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

- [16] YAZDANBAKHS, O.; DICK, S. A deep neuro-fuzzy network for image classification. arXiv preprint arXiv:2001.01686, 2019.
- [17] ZHAO, T. et al. Remote sensing image segmentation based on the fuzzy deep convolutional neural network. Intl. **Journal of Remote Sensing**, v. 42, p. 6264–6283, 2021.
- [18] ZHENG, Y.; XU, Z.; WANG, X. The Fusion of Deep Learning and Fuzzy Systems: A State-of-the-Art Survey. **IEEE Trans on Fuzzy Systems**, v. 30, p. 2783-2799, August 2022. ISSN ISSN: 1941-0034.