



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghệ Đông Á
Website Tạp chí: <https://vjai.org.vn>

Research on Developing a Real-Time Computer Vision System for Detecting Assembly Errors in Power Transmission Systems

Bui Quang Toan

Faculty of Mechanical Engineering, East Asia University of Technology

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

gearbox, assembly defects, computer vision, real-time

In the context of modern mechanical manufacturing, quality inspection of assembled drivetrain components such as gearboxes plays a critical role in ensuring system reliability and operational performance. This paper presents a study on the development of a real-time computer-vision-based system for detecting assembly defects in gearbox housings and gear sets. The system consists of an image acquisition module using an industrial camera and a deep learning model (YOLOv8) capable of identifying defects such as missing gears, incorrect orientation, shaft misalignment, and the absence of auxiliary components. Experimental results demonstrate a defect-detection accuracy exceeding 95 percent, with an average processing time below 200 milliseconds, meeting the requirements for online inspection in production lines. This research contributes to enhanced automation, reduced reliance on manual inspection, and expands the potential applications of AI in quality control within the mechanical manufacturing industry.

* Corresponding author

Email: toanbq@eaut.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65153/mv2f4k73>

Received: 20/06/2025; Received in revised form: 23/03/2026; Accepted: 30/03/2026

Available online: 03/04/2026

Published by: East Asia University of Technology



Nghiên cứu xây dựng hệ thống kiểm tra lỗi lắp ráp cụm truyền động bằng thị giác máy tính thời gian thực

Bùi Quang Toàn
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Từ khóa:

hộp giảm tốc, lỗi lắp ráp, thị giác máy tính, thời gian thực

Trong bối cảnh sản xuất cơ khí hiện đại, việc kiểm tra chất lượng lắp ráp các cụm truyền động như hộp giảm tốc đóng vai trò then chốt nhằm đảm bảo độ tin cậy và hiệu suất hoạt động của hệ thống. Bài báo này trình bày nghiên cứu xây dựng một hệ thống phát hiện lỗi lắp ráp dựa trên công nghệ thị giác máy tính thời gian thực, ứng dụng trong cụm vỏ hộp giảm tốc và bánh răng. Hệ thống bao gồm module thu nhận hình ảnh từ camera công nghiệp, mô hình học sâu (YOLOv8) để phát hiện các lỗi như thiếu bánh răng, lắp sai chiều, lệch trục, hoặc thiếu chi tiết phụ trợ. Kết quả thử nghiệm cho thấy độ chính xác phát hiện lỗi đạt trên 95% với thời gian xử lý trung bình dưới 200ms, đáp ứng yêu cầu kiểm tra trực tuyến trong dây chuyền sản xuất. Nghiên cứu này góp phần nâng cao tự động hóa, giảm phụ thuộc vào kiểm tra thủ công, và mở ra hướng ứng dụng AI trong kiểm soát chất lượng ngành cơ khí chế tạo máy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các hệ thống truyền động cơ khí, đặc biệt là cụm hộp giảm tốc, chất lượng lắp ráp đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo độ chính xác và độ bền của thiết bị. Tuy nhiên, hiện nay, việc kiểm tra lỗi lắp ráp vẫn chủ yếu dựa vào con người hoặc các cảm biến truyền thống, vốn khó phát hiện được các lỗi hình học phức tạp như sai vị trí bánh răng, thiếu chi tiết, hoặc lắp sai chiều.

Trong bối cảnh chuyển đổi số và sản xuất thông minh, nhu cầu về một hệ thống kiểm tra tự động, nhanh chóng và chính xác đang trở nên cấp thiết. Mặc dù thị giác máy tính và học sâu đã được ứng dụng trong một số lĩnh vực sản xuất,

việc áp dụng công nghệ này để kiểm tra lỗi lắp ráp cụ thể cho cụm truyền động – với yêu cầu thời gian thực và khả năng tích hợp dây chuyền – vẫn còn hạn chế.

Bài báo này đề xuất một hướng tiếp cận mới: xây dựng hệ thống phát hiện lỗi lắp ráp cụm truyền động bằng thị giác máy tính thời gian thực, sử dụng mô hình học sâu hiện đại. Nghiên cứu không chỉ mang lại giải pháp thay thế kiểm tra thủ công mà còn hướng đến nâng cao tự động hóa, giảm sai sót và tăng chất lượng sản phẩm trong ngành cơ khí chế tạo máy.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Mục tiêu và phương pháp nghiên cứu

* Tác giả liên hệ

Email: toanbg@eaut.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65153/mv2f4k73>

Ngày nhận: 20/06/2025; Ngày nhận bản sửa: 23/03/2026; Ngày chấp nhận: 30/03/2026

Ngày online: 03/04/2026

Đơn vị xuất bản: Trường Đại học Công nghệ Đông Á

2.1.1. Mục tiêu

Nghiên cứu này nhằm xây dựng một hệ thống kiểm tra lỗi lắp ráp cụm truyền động cơ khí, cụ thể là hộp giảm tốc và bánh răng, sử dụng công nghệ thị giác máy tính thời gian thực kết hợp với học sâu [7]. Các mục tiêu cụ thể bao gồm:

- Thiết kế hệ thống thu nhận và xử lý hình ảnh từ cụm lắp ráp trong môi trường sản xuất thực tế.

- Phát triển mô hình nhận dạng lỗi lắp ráp dựa trên mạng nơ-ron tích chập (CNN), có khả năng phát hiện các lỗi như: thiếu bánh răng, sai chiều lắp, lệch trục hoặc thiếu chi tiết phụ trợ.

- Đánh giá hiệu quả hệ thống qua các chỉ số: độ chính xác phát hiện lỗi, thời gian xử lý, và khả năng tích hợp vào quy trình sản xuất.

2.1.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện qua các bước chính sau:

* Bước 1. Thu thập và xử lý dữ liệu

- Tiến hành lắp ráp cụm hộp giảm tốc với cả trường hợp đúng (OK) và lỗi (NG), bao gồm các dạng lỗi phổ biến như thiếu bánh răng, lệch trục, lắp sai chiều.

- Sử dụng camera công nghiệp ghi lại hình ảnh ở các góc độ khác nhau.

- Gán nhãn dữ liệu bằng công cụ LabelImg hoặc Roboflow để tạo bộ dữ liệu huấn luyện.

* Bước 2. Xây dựng mô hình học sâu

- Sử dụng mô hình YOLOv8 hoặc EfficientDet để phát hiện và phân loại lỗi trong ảnh. [1]

- Huấn luyện mô hình với dữ liệu đã gán nhãn, tối ưu hóa thông số để đạt độ chính xác cao.

* Bước 3. Thiết kế hệ thống kiểm tra lỗi thời gian thực

- Tích hợp mô hình đã huấn luyện vào hệ thống xử lý ảnh thời gian thực.

- Xây dựng giao diện kiểm tra, cảnh báo lỗi và ghi log kết quả.

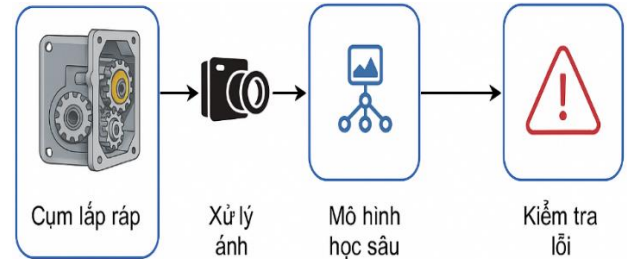
* Bước 4. Đánh giá và hiệu chỉnh

- Thử nghiệm hệ thống với dữ liệu mới trên mô hình lắp ráp thực tế.

- Đánh giá độ chính xác (precision, recall), thời gian phản hồi, và độ ổn định.

- So sánh với phương pháp kiểm tra thủ công để xác định mức độ cải tiến.

2.2. Xây dựng hệ thống



Hình 1. Mô hình hệ thống kiểm tra lỗi

Phân tích hệ thống

* Cụm lắp ráp

- Là đối tượng đầu vào của hệ thống (ví dụ: cụm hộp giảm tốc gồm bánh răng, trục, ổ bi...)

- Đây là nơi có thể xảy ra các lỗi như: thiếu bánh răng, lắp sai vị trí, lắp lệch trục, thiếu bulong...

* Xử lý ảnh (Camera công nghiệp)

- Camera thu nhận hình ảnh của cụm lắp ráp.

- Có thể sử dụng camera công nghiệp (Basler, Hikvision...) để đảm bảo độ phân giải cao, chụp được các chi tiết nhỏ.

- Ảnh sẽ được gửi đến bộ xử lý để tiếp tục phân tích.

* Mô hình học sâu (Deep Learning)

- Ảnh sau xử lý được đưa vào mô hình học sâu (như YOLOv8, EfficientDet, hoặc CNN tùy biến).

- Nhiệm vụ của mô hình:

- + Nhận diện vị trí các chi tiết lắp ráp.

- + So sánh với mẫu chuẩn để phát hiện lỗi như sai chiều, thiếu chi tiết, hỏng hóc...

- Đây là trung tâm xử lý thông minh của hệ thống.

* Kiểm tra lỗi (Cảnh báo sai lệch)

- Nếu mô hình phát hiện lỗi, hệ thống sẽ gửi cảnh báo.

- Có thể tích hợp với:

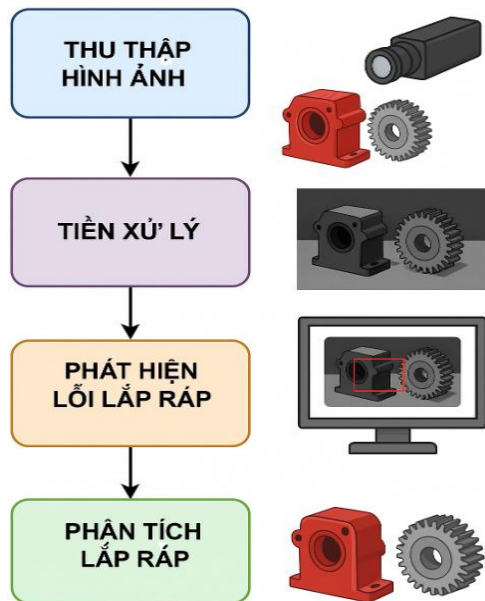
- + Đèn báo/âm thanh cảnh báo.

- + Giao tiếp với PLC để loại bỏ sản phẩm lỗi khỏi dây chuyền.

+ Ghi log lỗi để truy xuất về sau.

Trong hệ thống kiểm tra lỗi lắp ráp bằng thị giác máy tính thời gian thực, mỗi bộ phận đảm nhiệm một vai trò rõ ràng và liên kết chặt chẽ. Cụm lắp ráp là đối tượng cần kiểm tra, nơi có thể xuất hiện các lỗi như thiếu chi tiết, lắp sai vị trí. Camera công nghiệp thu nhận hình ảnh đầu vào với độ chính xác cao, làm cơ sở cho quá trình xử lý. Mô hình học sâu phân tích ảnh và nhận diện lỗi lắp ráp dựa trên dữ liệu đã huấn luyện. Cuối cùng, hệ thống kiểm tra lỗi tiếp nhận kết quả và đưa ra phản hồi như cảnh báo hoặc loại bỏ sản phẩm lỗi. Sự phối hợp giữa các bộ phận giúp hệ thống vận hành chính xác, ổn định và phù hợp với sản xuất thực tế.

2.3. Quy trình vận hành tổng thể của mô hình:



Hình 2. Quy trình vận hành tổng thể của hệ thống

- Thu thập hình ảnh: Giai đoạn đầu tiên trong hệ thống, sử dụng camera công nghiệp để chụp ảnh cụm lắp ráp dưới nhiều góc nhìn và điều kiện ánh sáng khác nhau. Nhằm tạo dữ liệu đầu vào cho toàn bộ quá trình kiểm tra.

- Tiền xử lý: Giai đoạn làm sạch, cân chỉnh ảnh để chuẩn hóa đầu vào cho mô hình nhận dạng. Có thể bao gồm các bước như cắt ảnh, tăng sáng, khử nhiễu... Nhằm đảm bảo mô hình xử lý dữ liệu nhất quán và hiệu quả hơn.

- Phát hiện lỗi lắp ráp: Giai đoạn quan trọng nhất – sử dụng mô hình học sâu để tự động phát

hiện các lỗi như thiếu bánh răng, lệch trục, sai chiều, mẻ răng... Giúp hệ thống phân loại sản phẩm OK/NG một cách chính xác và nhanh chóng.

- Phân tích lắp ráp: Giai đoạn phân tích kết quả và xử lý hậu kiểm. Có thể đưa ra cảnh báo, lưu trữ log hoặc gửi tín hiệu điều khiển cho dây chuyền sản xuất. Nhằm đảm bảo truy xuất nguồn lỗi và tối ưu hóa quy trình sản xuất.

2.3.1. Ưu điểm của mô hình

- Tự động hóa quy trình kiểm tra: Hệ thống giúp loại bỏ sự phụ thuộc vào con người, tăng tính nhất quán và giảm sai sót trong quá trình kiểm tra lắp ráp. [6]

- Khả năng phát hiện lỗi phức tạp: Mô hình học sâu có thể nhận diện các lỗi hình học tinh vi mà các phương pháp cảm biến truyền thống không phát hiện được.

- Phản hồi thời gian thực: Với tốc độ xử lý cao, hệ thống có thể kiểm tra liên tục và đưa ra cảnh báo ngay trong quá trình sản xuất.

- Khả năng mở rộng và điều chỉnh: Hệ thống có thể mở rộng để kiểm tra nhiều loại cụm lắp ráp khác nhau chỉ bằng cách huấn luyện lại dữ liệu ảnh. [8]

2.3.2. Nhược điểm của mô hình

- Phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu đầu vào: Dữ liệu hình ảnh không đủ rõ nét hoặc gán nhãn sai sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của mô hình.

- Chi phí thiết lập ban đầu: Việc đầu tư camera công nghiệp, GPU xử lý và đào tạo mô hình đòi hỏi chi phí và nhân lực kỹ thuật ban đầu tương đối lớn.

- Yêu cầu kỹ năng chuyên môn cao: Quá trình tiền xử lý, huấn luyện mô hình và triển khai hệ thống đòi hỏi kiến thức chuyên sâu về AI, thị giác máy và kỹ thuật cơ khí.

- Cần hiệu chỉnh liên tục trong môi trường thực tế: Khi điều kiện ánh sáng, vị trí camera hoặc chi tiết sản phẩm thay đổi, hệ thống có thể cần hiệu chỉnh lại để duy trì hiệu suất.

2.4. Mô hình thực nghiệm và dữ liệu đánh giá

* Hệ thống kiểm tra lỗi lắp ráp được triển khai thử nghiệm trên mô hình cụm truyền động cơ khí, cụ thể là hộp giảm tốc kiểu đơn giản, thường được sử dụng trong cơ cấu truyền động công nghiệp nhẹ và máy móc tự động hóa. Cụm lắp ráp bao gồm các chi tiết cơ khí điển hình như:

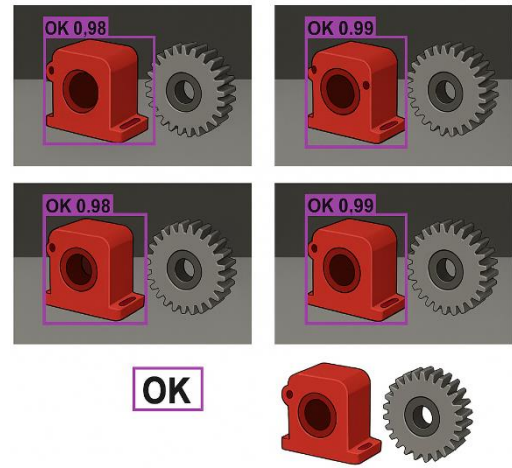
- 4 bánh răng trụ thẳng (2 bánh chủ động – 2 bánh bị động),
- 2 trục chính (trục vào và trục ra),
- 2 ổ lăn (bạc đạn) để cố định và giảm ma sát quay,
- Hệ thống bulong và đai ốc bắt cố định nắp hộp và gối đỡ.

Mô hình này được chọn vì có kết cấu tương đối phổ biến, dễ tháo lắp, đồng thời cho phép tạo ra nhiều dạng lỗi điển hình trong quá trình lắp ráp, từ đó giúp đánh giá hiệu quả nhận dạng lỗi của hệ thống một cách rõ ràng và thực tế.

* Tập dữ liệu kiểm tra: Quá trình thực nghiệm được tiến hành bằng cách chụp ảnh cụm lắp ráp ở nhiều trạng thái và góc độ khác nhau, thu thập được 1.000 ảnh mẫu để huấn luyện và kiểm tra hệ thống, cụ thể:

- 600 ảnh mẫu đúng (OK): Các cụm lắp ráp đúng kỹ thuật, đầy đủ chi tiết, đúng vị trí và đúng chiều quay của bánh răng.

- 400 ảnh mẫu lỗi (NG): Các cụm lắp ráp bị cố tình tạo lỗi, chia thành 5 loại lỗi phổ biến thường gặp trong thực tế sản xuất:



Hình 3. Mô hình kết quả mô phỏng thí nghiệm
2.4.1. Hiệu quả phát hiện lỗi theo từng loại

Mỗi loại lỗi đều được chụp trong nhiều điều kiện ánh sáng khác nhau và từ các góc độ khác nhau (trực diện, nghiêng 45°, từ trên xuống) [3], nhằm đảm bảo dữ liệu huấn luyện phong phú và tăng khả năng khái quát của mô hình. [4,7]

Bảng 1. Lỗi lắp ráp và kết quả xử lý

Loại lỗi lắp ráp	Mô tả lỗi	Số ảnh lỗi	Phát hiện đúng	Độ chính xác (%)
Thiếu bánh răng	Loại bỏ một bánh răng trong hệ truyền động	100	98	98.0
Lắp sai chiều bánh răng	Quay ngược bánh răng khiến răng không ăn khớp đúng	80	74	92.5
Lệch trục – sai vị trí ổ đỡ	Trục bị nghiêng hoặc ổ lăn bị lắp lệch tâm	80	71	88.7
Thiếu bulong/vòng đệm	Một hoặc nhiều bulong cố định không được siết hoặc thiếu	80	69	86.2
Mẻ răng bánh răng	Bánh răng có vết nứt hoặc gãy nhẹ ở rìa răng	60	56	93.3
Tổng cộng (trung bình)		400	368	92.0

Việc xây dựng tập dữ liệu bao gồm cả mẫu đúng và sai được phân bố hợp lý giúp đảm bảo độ cân bằng khi huấn luyện mô hình [5]. Việc lựa chọn 5 loại lỗi phổ biến phản ánh tốt các tình huống thực tế trong sản xuất, tạo điều kiện kiểm chứng hiệu quả của hệ thống phát hiện lỗi một

cách toàn diện, từ lỗi hình học rõ ràng đến lỗi nhỏ khó nhận diện bằng mắt thường. Nhìn chung, mô hình hoạt động ổn định và phân loại lỗi tốt theo từng nhóm.

2.4.2. Thời gian xử lý và hiệu suất

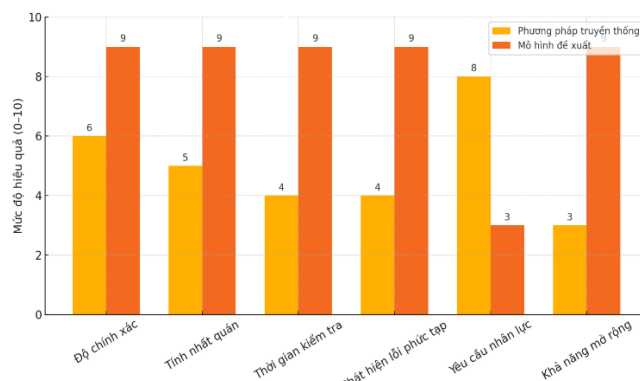
Bảng 2. Thời gian xử lý và hiệu suất

Thông số đánh giá	Giá trị đo được
Thời gian xử lý trung bình/ảnh	185 ms (0.185 giây)
FPS (số ảnh xử lý/giây)	~5.4 fps
Độ chính xác trung bình (Precision)	93.1%
Tỷ lệ phát hiện đúng (Recall)	91.0%
F1-score tổng hợp	92.0%
Tỷ lệ cảnh báo sai (False Positive Rate)	4.2%

Hệ thống đạt thời gian xử lý trung bình khoảng 185 ms/ảnh (tương đương ~5.4 ảnh/giây), đáp ứng yêu cầu kiểm tra thời gian thực. Hiệu suất có thể tăng đáng kể khi sử dụng GPU mạnh, cho phép triển khai hiệu quả trên dây chuyền sản xuất tự động.

Bảng 3. Đánh giá các tiêu chí so sánh giữa 2 phương pháp

TT	Tiêu chí	Phương pháp truyền thống	Mô hình hệ thống đề xuất
1	Cách thức kiểm tra	Thủ công bằng mắt người hoặc cảm biến vật lý cơ bản	Tự động qua hình ảnh và phân tích bằng mô hình học sâu
2	Độ chính xác phát hiện lỗi	Trung bình (80–90%), phụ thuộc vào tay nghề người kiểm tra	Cao (trên 92–95%), ổn định nhờ huấn luyện mô hình
3	Tính nhất quán	Không ổn định, dễ sai lệch giữa các ca/kíp	Ổn định và đồng đều giữa các lô sản phẩm
4	Thời gian kiểm tra	10–20 giây/sản phẩm (hoặc hơn, tùy độ phức tạp)	<1 giây/sản phẩm (thời gian thực)
5	Phát hiện lỗi phức tạp	Khó phát hiện các lỗi nhỏ, hình học tinh vi	Nhận diện được cả lỗi hình học và vị trí lắp sai
6	Yêu cầu nhân lực	Cần người kiểm tra liên tục	Giảm mạnh, chỉ cần vận hành và giám sát hệ thống
7	Khả năng mở rộng	Khó mở rộng, phụ thuộc nhiều vào đào tạo con người	Dễ mở rộng qua cập nhật mô hình hoặc thêm dữ liệu huấn luyện
8	Chi phí đầu tư ban đầu	Thấp – chỉ cần nhân công và thiết bị đơn giản	Cao hơn – cần camera, máy tính, mô hình AI
9	Chi phí duy trì lâu dài	Cao (do tổn nhân lực, lỗi phát sinh nhiều)	Thấp (ít lỗi, ít nhân sự, vận hành ổn định)



Hình 4. So sánh các tiêu chí của mô hình đề xuất và truyền thống

Biểu đồ cho thấy mô hình đề xuất vượt trội rõ rệt so với phương pháp truyền thống về độ chính xác, tính nhất quán, thời gian kiểm tra, khả năng phát hiện lỗi phức tạp và khả năng mở rộng. Ngược lại, phương pháp truyền thống chỉ vượt trội ở tiêu chí yêu cầu nhân lực thấp hơn về chi phí đầu tư ban đầu.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công hệ thống kiểm tra lỗi lắp ráp cụm truyền động cơ khí bằng thị giác máy tính và mô hình học sâu. Hệ thống cho kết quả khả quan với độ chính xác trên 92%, thời gian xử lý trung bình dưới 200ms, đáp

ứng yêu cầu kiểm tra thời gian thực trong sản xuất.

Hệ thống đặc biệt hiệu quả với các lỗi như thiếu bánh răng, sai chiều lắp và mẻ răng. Dù vẫn còn hạn chế trong điều kiện ánh sáng không ổn định và lỗi nhỏ, hệ thống có thể tiếp tục hoàn thiện bằng cách mở rộng dữ liệu huấn luyện và tối ưu mô hình.

Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng thực tế cao trong tự động hóa kiểm tra chất lượng sản phẩm cơ khí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Văn Chính (2021), *Ứng dụng thị giác máy trong kiểm tra chất lượng sản phẩm cơ khí*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 3, tr. 45–49.
- [2]. Nguyễn Văn Dũng (2022), *Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ-ron trong nhận dạng lỗi lắp ráp chi tiết cơ khí*, Tạp chí Tự động hóa ngày nay, số 6, tr.27–33.
- [3]. Đào Ngọc Chiến (2020), *Xử lý ảnh và thị giác máy tính*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP.HCM.
- [4]. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 779–788.
- [5]. Bochkovskiy, A., Wang, C.Y., & Liao, H.Y.M. (2020). *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. arXiv preprint arXiv:2004.10934.
- [6]. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- [7]. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). *Mask R-CNN*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2961–2969.
- [8]. Zhang, Y., et al. (2021). *Automated visual inspection for mechanical parts using deep learning: A survey*. Journal of Manufacturing Systems, 60, 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.001>