

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



Vương Thanh Tùng

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG THỊ GIÁC MÁY
TÍNH KẾT HỢP ROBOT KIỂM TRA LINH
KIỆN SMT

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
Ngành: Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa

Hà Nội – 2025

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

Vương Thanh Tùng

HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG PHÁT HIỆN VÀ
PHÂN LOẠI LỖI SẢN PHẨM SMT

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
Ngành: Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa

Cán bộ hướng dẫn: TS. Hoàng Văn Mạnh

Hà Nội – 2025

LỜI CẢM ƠN

Quãng thời gian 4,5 năm học tập và nghiên cứu tại ngành Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội là một hành trình đáng nhớ đối với tôi. Tôi xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu nhà trường, Ban Chủ nhiệm Khoa và toàn thể các thầy, cô giáo đã tận tình hướng dẫn, chia sẻ tri thức khoa học và kinh nghiệm thực tiễn, tạo nền tảng vững chắc cho sự phát triển của tôi.

Đặc biệt, tôi muốn bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TS. Hoàng Văn Mạnh, người đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo kinh nghiệm quý báu và hỗ trợ vật tư trong suốt quá trình tìm hiểu và thực hiện đề tài.

Cuối cùng tôi cũng muốn gửi lời cảm ơn đến gia đình, các anh chị, bạn bè trong Khoa Cơ học kỹ thuật và Tự động hóa, đặc biệt là lớp K66M-AT. Mọi người đã luôn chia sẻ, động viên và tạo điều kiện cho tôi phát triển cả về kiến thức và kỹ năng thực tế.

Hà Nội, ngày 29 tháng 11 năm 2025

Sinh viên

Vương Thanh Tùng

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng đồ án tốt nghiệp với đề tài “Hệ thống tự động phát hiện và phân loại lỗi sản phẩm SMT” là kết quả nghiên cứu do chính tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn của TS. Hoàng Văn Mạnh. Các tài liệu tham khảo được sử dụng trong quá trình nghiên cứu đều đã được trích dẫn đầy đủ trong phần “Tài liệu tham khảo”. Toàn bộ số liệu, kết quả thử nghiệm và nội dung trình bày trong đồ án là trung thực và phản ánh đúng quá trình thực hiện đề tài. Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm trước nhà trường về mọi nội dung trong đồ án nếu phát sinh bất kỳ sai phạm nào.

Hà Nội, ngày 29 tháng 11 năm 2025

Sinh viên

Vương Thanh Tùng

HỆ THỐNG GIÁM SÁT VÀ PHÂN LOẠI LỖI PCB SỬ DỤNG YOLO VÀ ROBOT CÔNG NGHIỆP

Vương Thanh Tùng

Khóa QH 2021-I/CQ, Ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa

Tóm tắt đồ án tốt nghiệp:

Trong sản xuất điện tử, kiểm tra ngoại quan linh kiện SMD trên bảng mạch PCB sau công đoạn SMT đóng vai trò quan trọng nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm và giảm thiểu lỗi phát sinh. Tuy nhiên, phương pháp kiểm tra thủ công vẫn tồn tại nhiều hạn chế như thời gian kiểm tra dài, chi phí nhân công lớn và độ chính xác phụ thuộc vào người vận hành.

Để khắc phục các vấn đề trên, đồ án đề xuất một hệ thống giám sát và phân loại lỗi PCB dựa trên mô hình học sâu YOLO kết hợp với quy trình tiền xử lý và tăng cường dữ liệu nhằm nâng cao khả năng nhận diện trong điều kiện thay đổi về ánh sáng và hình học. Hệ thống sử dụng camera thu nhận hình ảnh, mô hình YOLO để phát hiện và phân loại linh kiện lỗi, cùng với một trạm tự động hóa bao gồm cảm biến, cơ cấu chấp hành và robot công nghiệp để thực hiện thao tác phân loại sản phẩm lỗi theo thời gian thực.

Kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình đạt độ chính xác cao trong phát hiện sai lệch linh kiện SMD và hệ thống tích hợp hoạt động ổn định, có khả năng áp dụng như một trạm kiểm tra tự động trong dây chuyền sản xuất SMT.

Từ khóa: YOLO, Computer Vision, PLC, Robot, Python

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. Giới thiệu chung	4
1.1 Bối cảnh và sự cần thiết của hệ thống AVI trong công nghiệp	4
1.2 Hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) là gì?	4
1.3 Quy trình hoạt động của hệ thống AVI	5
1.4 Các thành phần của hệ thống AVI	6
1.4.1 Thành phần phần cứng	6
1.4.2 Thành phần phần mềm	7
1.5 Các loại lỗi mà hệ thống AVI có thể phát hiện	7
1.6 Ứng dụng của hệ thống AVI trong công nghiệp	8
1.7 Lợi ích nổi bật của hệ thống AVI	9
1.8 Thách thức và hạn chế	10
1.9 Xu hướng phát triển của hệ thống AVI	11
1.10 Kết luận	12
CHƯƠNG 2. Cơ sở lý thuyết	13
2.1 PLC Mitsubishi và HMI PFXGP4501TAA	13
2.1.1 PLC Mitsubishi	13
2.1.2 Giao diện người máy HMI	15
2.2 Mạng CC-Link và Module CC-Link QJ16BT11N	17
2.2.1 CC-Link	17
2.2.2 Master/Local Modules	18
2.2.3 Module QJ61BT11N	20
2.3 Servo motor và Module QD77MS16	21
2.3.1 Servo và Servo Amplifier	21
2.3.2 Module QD77MS16	23
2.4 Robot công nghiệp	24
2.4.1 Hệ thống Robot Yaskawa	24

2.4.2	Hệ thống robot Hyundai	30
2.5	Thị giác máy tính và mô hình YOLO	33
2.5.1	Thị giác máy tính	33
2.5.2	Mạng YOLO - Lược sử phát triển	34
2.5.3	Ultralytics YOLOv11	35
CHƯƠNG 3. Xây dựng hệ thống và chương trình điều khiển		38
3.1	Sơ đồ khối hệ thống	38
3.2	Thuật toán điều khiển	38
3.3	Cấu hình hệ thống	39
3.3.1	Cấu hình hệ thống PLC và module	39
3.3.2	Cấu hình CC-Link giao tiếp giữa PLC và Station	41
3.3.3	Cấu hình KepserverEX làm server OPC UA	43
3.3.4	Cấu hình GigE Camera Basler ac2500	44
3.4	Pipeline xử lý ảnh AVI	45
3.4.1	Thu nhận hình ảnh	46
3.4.2	Xử lý và tiền xử lý hình ảnh	46
3.4.3	Phân tích ảnh và nhận diện lỗi	46
3.4.4	Ra quyết định	47
3.4.5	Phản hồi và lưu trữ dữ liệu	47
CHƯƠNG 4. Thực nghiệm và đánh giá		48
4.1	Giao diện hệ thống (nếu có)	48
4.2	Kết quả nhận diện và phân loại sản phẩm	48
4.3	Đánh giá hiệu suất: tốc độ, độ chính xác, độ ổn định	48
4.4	So sánh với phương pháp thủ công	48
KẾT LUẬN		49
CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ		50
TÀI LIỆU THAM KHẢO		51
PHỤ LỤC A.		P1
A.1	Mã nguồn thực hiện phép phân tích nhóm	P1

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 2.1	PLC Mitsubishi Q13UDVCPU	13
Hình 2.2	Hệ thống PLC Q Series	14
Hình 2.3	HMI Mitsubishi PFXGP4501TAA	16
Hình 2.4	Mạng CC-Link	17
Hình 2.5	Cyclic Transmission	18
Hình 2.6	Transient Transmission	18
Hình 2.7	CC-Link Module Configuration	19
Hình 2.8	CC-Link Diagnostics	19
Hình 2.9	CC-Link Ver.2 vs CC-Link Ver.1	20
Hình 2.10	Prevention of a system failure	20
Hình 2.11	QJ61BT11N Master/Local Module	21
Hình 2.12	Động cơ servo HG-KR32	22
Hình 2.13	Bộ khuếch đại servo MR-J4-20B	22
Hình 2.14	Bộ điều khiển QD77MS16	23
Hình 2.15	Sơ đồ tổng quát hệ thống robot công nghiệp đơn giản	25
Hình 2.16	Tay máy GP7	26
Hình 2.17	Bộ điều khiển YRC1000micro	27
Hình 2.18	Tạo chương trình mới bằng Pendant	28
Hình 2.19	Màn hình tạo Job	29
Hình 2.20	Ngôn ngữ INFORM III	29
Hình 2.21	Hệ thống Robot Hyundai cơ bản	30
Hình 2.22	Tay máy HH7	31
Hình 2.23	Bộ điều khiển Hi5a	31
Hình 2.24	Chọn chương trình	32
Hình 2.25	Basic Command	33
Hình 2.26	YOLO Performance.	34
Hình 2.27	YOLOv11 Tasks	36
Hình 3.1	Sơ đồ khối hệ thống	38

Hình 3.2	Câu hình New Project	39
Hình 3.3	Thiết lập phần cứng	40
Hình 3.4	IO Assignment	40
Hình 3.5	Thiết lập kết nối Ethernet	41
Hình 3.6	Kết nối CC-Link giữa Robot Yaskawa và PLC	42
Hình 3.7	Kiểm tra Maintenance Mode	43
Hình 3.8	Câu hình Project Kepware	44
Hình 3.9	Câu hình Channel	44
Hình 3.10	Câu hình Device	44
Hình 3.11	Câu hình IP camera	45
Hình 3.12	Câu hình ảnh chụp	45

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1	Thông số kỹ thuật của PLC Mitsubishi Q13UDVCPU	15
Bảng 2.2	Thông số kỹ thuật của HMI PFXGP4501TAA	16
Bảng 2.3	Thông số chuyển động các trục của robot Yaskawa GP7 . . .	26

DANH MỤC VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
SMT	Surface-Mount Technology	Công nghệ gắn linh kiện bề mặt
SMD	Surface-Mount Device	Linh kiện gắn bề mặt
PCB	Printed Circuit Board	Bảng mạch in
YOLO	You Only Look Once	Thuật toán phát hiện đối tượng YOLO
ORB	Oriented FAST and Rotated BRIEF	Thuật toán đặc trưng ORB
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform	Thuật toán trích xuất đặc trưng SIFT
SURF	Speeded-Up Robust Features	Thuật toán đặc trưng SURF
SSIM	Structural Similarity Index Measure	Chỉ số đo độ tương đồng cấu trúc
PLC	Programmable Logic Controller	Bộ điều khiển logic khả trình

MỞ ĐẦU

Lý do chọn đề tài

Trong lĩnh vực sản xuất thiết bị điện tử, yêu cầu về chất lượng sản phẩm ngày càng khắt khe. Các lỗi nhỏ như lệch linh kiện, thiếu linh kiện, sai hướng, sai giá trị hay lỗi hàn đều có thể gây hỏng bo mạch và ảnh hưởng trực tiếp đến độ tin cậy của thiết bị cũng như sản phẩm. Hiện nay, nhiều dây chuyền vẫn kiểm tra thủ công hoặc sử dụng các hệ thống AOI/AVI thương mại có chi phí rất cao và khó tùy biến theo từng model sản phẩm.

Vì vậy, việc nghiên cứu một hệ thống tự động phát hiện và phân loại lỗi sản phẩm SMT có tính ứng dụng linh hoạt, chi phí hợp lý và dễ triển khai thực tế là hoàn toàn cần thiết.

Tính cấp thiết

Kiểm tra thủ công không còn đáp ứng được yêu cầu về tốc độ và độ chính xác của dây chuyền sản xuất hiện đại. Bên cạnh đó, chi phí đầu tư cho các máy AOI thương mại cao khiến doanh nghiệp khó chủ động công nghệ.

Xu hướng công nghiệp 4.0 thúc đẩy việc ứng dụng thị giác máy và trí tuệ nhân tạo vào kiểm tra chất lượng, vì vậy một hệ thống phát hiện lỗi SMT do chính người dùng tự phát triển sẽ giúp nâng cao năng lực công nghệ và tiết kiệm chi phí. Đây chính là lý do đề tài mang tính cấp thiết cả về mặt công nghệ và thực tiễn.

Mục tiêu và nội dung nghiên cứu

Mục tiêu:

- Xây dựng hệ thống tự động thu thập hình ảnh và phát hiện lỗi sản phẩm SMT.

- Ứng dụng thuật toán thị giác máy và AI để phát hiện, phân loại và đánh giá lỗi.
- Đảm bảo hệ thống có tốc độ xử lý nhanh, chính xác và dễ mở rộng.

Nội dung nghiên cứu:

- Phân tích các dạng lỗi phổ biến trong công nghệ gắn linh kiện SMT.
- Thiết kế mô hình phần cứng.
- Xử lý ảnh.
- Áp dụng các thuật toán của thị giác máy tính và mô hình AI để tìm ra giải pháp phù hợp.
- Xây dựng phần mềm kiểm tra và giao diện hiển thị.
- Đánh giá hiệu năng và độ chính xác của hệ thống.

Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết: thị giác máy, xử lý ảnh, AI, các thuật toán đối sánh và phân loại lỗi.
- Thực nghiệm: thu thập dữ liệu, chụp mẫu, huấn luyện mô hình và kiểm thử với nhiều trường hợp lỗi.
- Phân tích – so sánh: đánh giá hiệu năng các thuật toán để chọn phương pháp tối ưu.
- Xây dựng và kiểm chứng mô hình: triển khai thực tế trên fixture hoặc dây chuyền SMT (nếu có).

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học:

- Đề tài áp dụng kết hợp thuật toán thị giác máy truyền thông và mô hình AI vào bài toán kiểm tra SMT.
- Đưa ra quy trình kiểm tra tối ưu.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Cung cấp giải pháp chi phí thấp, dễ tùy biến theo từng sản phẩm.
- Giảm lỗi con người, tăng năng suất và nâng cao chất lượng sản phẩm.
- Giúp doanh nghiệp chủ động công nghệ, giảm phụ thuộc vào hệ thống ngoại nhập.

CHƯƠNG 1. Giới thiệu chung

1.1. Bối cảnh và sự cần thiết của hệ thống AVI trong công nghiệp

Trong bối cảnh cạnh tranh sản xuất ngày càng khốc liệt, việc duy trì chất lượng sản phẩm hoàn hảo không còn là lợi thế mà đã trở thành yêu cầu bắt buộc. Lỗi sản phẩm gây ra chi phí rất lớn: thu hồi hàng loạt, lãng phí nguyên vật liệu, gián đoạn dây chuyền và tổn thất nghiêm trọng đến uy tín thương hiệu. Kiểm tra ngoại quan thủ công dù được dùng rộng rãi vẫn bộc lộ hạn chế rõ rệt về tốc độ, tính ổn định và độ chính xác.

Trước các yêu cầu ngày càng khắt khe của thị trường và tiêu chuẩn chất lượng, hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động – *Automated Visual Inspection* (AVI) – nổi lên như một giải pháp trọng yếu, tận dụng sức mạnh của thị giác máy (*machine vision*) và trí tuệ nhân tạo (AI) để tái định nghĩa cách kiểm soát chất lượng trong sản xuất hiện đại.

Theo dự báo, thị trường hệ thống thị giác máy toàn cầu sẽ đạt **9,29 tỷ USD** vào năm 2032, với tốc độ tăng trưởng CAGR **7,2%** giai đoạn 2025–2032. Nhu cầu tự động hóa, xu hướng “zero-defect” và các công nghệ Công nghiệp 4.0 là yếu tố thúc đẩy mạnh mẽ sự phát triển này.

1.2. Hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) là gì?

AVI (*Automated Visual Inspection*) là hệ thống kiểm tra chất lượng sử dụng:

- camera công nghiệp độ phân giải cao,
- cảm biến thông minh,
- thuật toán xử lý ảnh và AI,

để tự động phát hiện lỗi, phân loại, đánh giá chất lượng và đưa ra quyết định theo thời gian thực.

AVI không chỉ “chụp ảnh sản phẩm” mà còn thực sự hiểu và phân tích hình ảnh nhờ các thuật toán tiên tiến như:

- Machine Learning (ML),
- Deep Learning (CNN, YOLO),
- Anomaly Detection,
- Feature Extraction.

Các chức năng chính của AVI bao gồm:

- Phát hiện lỗi (*Defect Detection*),
- Phân loại lỗi (*Classification*),
- Nhận diện bất thường (*Anomaly Detection*),
- Định vị lỗi (*Localization*),
- Dánh giá chất lượng tổng thể (*Quality Assessment*).

Khả năng tự học từ dữ liệu giúp AVI ngày càng chính xác, ít phụ thuộc vào cấu hình thủ công và thích ứng nhanh với các biến thể sản phẩm mới.

1.3. Quy trình hoạt động của hệ thống AVI

Quy trình vận hành điển hình của một hệ thống AVI bao gồm:

1. Thu nhận hình ảnh

Camera độ phân giải cao và hệ thống chiếu sáng tạo ra hình ảnh sắc nét, làm nổi bật các lỗi tiềm ẩn.

2. Xử lý ảnh

Áp dụng các kỹ thuật nâng cao chất lượng ảnh, lọc nhiễu, phát hiện biên, phân đoạn và trích xuất đặc trưng.

3. So sánh và phân tích

Hình ảnh được so sánh với các tiêu chuẩn chất lượng hoặc “golden image”. Các thuật toán AI phân tích sai lệch và nhận diện lỗi.

4. Ra quyết định

Hệ thống xác định sản phẩm đạt hoặc không đạt dựa trên các quy tắc (*rule-based*) hoặc mô hình AI đã được huấn luyện.

5. Phản hồi và báo cáo

Kết quả được gửi ngược lại dây chuyền để loại bỏ sản phẩm NG, điều chỉnh tham số và ghi log phục vụ phân tích xu hướng.

1.4. Các thành phần của hệ thống AVI

Hệ thống AVI vận hành dựa trên sự kết hợp giữa phần cứng hiện đại và phần mềm thông minh nhằm đảm bảo quá trình kiểm tra đạt độ chính xác và hiệu quả cao.

1.4.1. Thành phần phần cứng

- Camera:** Các camera công nghiệp độ phân giải cao như area-scan, line-scan, camera 3D, multispectral, infrared và X-ray được sử dụng để thu thập dữ liệu hình ảnh chi tiết. Việc lựa chọn camera phụ thuộc vào yêu cầu của từng ứng dụng.
- Hệ thống chiếu sáng:** Ánh sáng phù hợp là yếu tố then chốt để tạo ra hình ảnh rõ ràng và ổn định. Các loại đèn phổ biến gồm ring light, backlight, dome light, directional lighting, strobe và LED arrays, được sử dụng nhằm làm nổi bật các đặc điểm hoặc lỗi trên sản phẩm.
- Cảm biến:** Ngoài camera, hệ thống AVI có thể tích hợp cảm biến 3D, LIDAR, cảm biến hồng ngoại, cảm biến tiệm cận và cảm biến áp suất để thu thập dữ liệu phi hình ảnh, tăng cường khả năng kiểm tra.
- Ống kính và quang học:** Các ống kính chuyên dụng giúp đảm bảo độ nét, trường nhìn, độ phóng đại và độ sâu trường ảnh phù hợp. Ống kính telecentric

thường được sử dụng cho các bài đo kích thước có độ chính xác cao.

- **Phần cứng xử lý:** Các CPU, GPU và DSP hiệu năng cao trong máy tính công nghiệp đảm nhiệm việc xử lý và phân tích dữ liệu theo thời gian thực, đặc biệt quan trọng đối với các tác vụ deep learning.

1.4.2. Thành phần phần mềm

- **Phần mềm xử lý ảnh:** Các phần mềm chuyên dụng sử dụng thuật toán nâng cao chất lượng ảnh, lọc nhiễu, nhận dạng mẫu và trích xuất đặc trưng. Các công cụ so sánh rule-based và phân tích thống kê cũng được sử dụng.
- **Thuật toán học máy:** Các thuật toán AI như deep learning (CNN, YOLO) và anomaly detection giúp hệ thống học từ dữ liệu và cải thiện độ chính xác trong phát hiện lỗi theo thời gian.
- **Giao diện người dùng (UI):** Giao diện trực quan cho phép người vận hành thiết lập tham số kiểm tra, xem ảnh trực tiếp, hiển thị kết quả và truy cập dữ liệu lịch sử.
- **Lưu trữ dữ liệu:** Hệ thống lưu trữ cục bộ hoặc đám mây được sử dụng để quản lý lượng lớn dữ liệu kiểm tra sinh ra trong quá trình vận hành.
- **Thành phần mạng:** Kết nối qua Ethernet, Wi-Fi hoặc các giao thức công nghiệp cho phép hệ thống AVI tích hợp với các hệ thống khác và hỗ trợ giám sát từ xa.
- **Cơ chế phản hồi:** Hệ thống AVI có thể gửi kết quả kiểm tra đến các thiết bị trên dây chuyền như bộ loại NG hoặc điều chỉnh thông số vận hành.

1.5. Các loại lỗi mà hệ thống AVI có thể phát hiện

Hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) có khả năng phát hiện nhiều loại lỗi trên nhiều dạng sản phẩm và ngành công nghiệp khác nhau, bao gồm:

- **Lỗi bề mặt (Surface Defects):** trầy xước, móp, đổi màu, vết bẩn, nứt, sứt mẻ, ba via, rỗ khí, không đồng nhất bề mặt, nhăn, rách và nốt sần.

- **Lỗi kích thước (Dimensional Defects):** sai lệch về kích thước, hình dạng, góc, thể tích, lệch vị trí và lắp ghép không chuẩn.
- **Lỗi lắp ráp (Assembly Defects):** thiếu linh kiện, lắp sai vị trí, linh kiện sai loại, lỗi cực tính, lỗi hàn và lắp ráp chưa hoàn chỉnh.
- **Lỗi thẩm mỹ (Cosmetic Defects):** trầy xước nhẹ, vết quệt, đường sọc nhỏ, chấm đen và đổi màu ảnh hưởng đến ngoại quan.
- **Lỗi bao bì (Packaging Defects):** nhãn sai, bao bì hỏng, seal lỗi, thiếu vật liệu, mức dày không đúng, lỗi mã vạch/QR và nhiễm bẩn.
- **Lỗi vật liệu (Material Defects):** tạp chất, sai lệch thành phần, nứt, rỗ và bụi ngoại lai.

1.6. Ứng dụng của hệ thống AVI trong công nghiệp

Hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) được triển khai rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, mỗi ngành tận dụng công nghệ này để đáp ứng các yêu cầu kiểm soát chất lượng riêng:

- **Ô tô (Automotive):** kiểm tra ghế xe, lớp sơn, mối hàn, lắp ráp linh kiện và gai lốp. Theo Volvo Cars, hệ thống AVI tích hợp AI có khả năng phát hiện nhiều hơn 10% đến 40% lỗi so với phương pháp kiểm tra thủ công.
- **Điện tử (Electronics Manufacturing):** kiểm tra chất lượng PCB, mối hàn, vị trí linh kiện và phát hiện lỗi linh kiện gắn bề mặt (SMT).
- **Dược phẩm (Pharmaceuticals):** kiểm tra viên nén, nang, thuốc dạng lỏng nhằm phát hiện nhiễm bẩn, lỗi bao bì và kiểm tra độ chính xác của nhãn.
- **Ngành gỗ (Wood Industry):** kiểm tra lỗi bề mặt sàn gỗ như lệch màu, mốc gỗ và trầy xước.
- **Thực phẩm và đồ uống (Food and Beverage):** kiểm tra tính toàn vẹn bao bì, phát hiện dị vật, đảm bảo mức dày, chất lượng hạt và tính đồng nhất ngoại quan.

- **Hàng không (Aerospace):** kiểm tra linh kiện động cơ, vật liệu composite và các cụm chi tiết quan trọng về an toàn.
- **Xây dựng (Construction):** phát hiện vết nứt trong kết cấu, giám sát độ lún nền móng và kiểm tra bố trí cốt thép.
- **Dệt may (Textile):** kiểm tra lỗ thủng, vết bẩn, sai hoa văn và lỗi dệt.
- **Thiết bị y tế (Medical Device):** kiểm tra dụng cụ phẫu thuật, implant và thiết bị chẩn đoán nhằm đảm bảo độ chính xác kích thước và chất lượng bề mặt.
- **Bán dẫn (Semiconductor):** kiểm tra wafer silicon và vi mạch để phát hiện các lỗi siêu nhỏ và nhiễm bẩn.

1.7. Lợi ích nổi bật của hệ thống AVI

Việc triển khai hệ thống AVI mang lại nhiều lợi ích quan trọng cho các doanh nghiệp sản xuất trong việc nâng cao hiệu quả kiểm soát chất lượng:

- **Độ chính xác và tính ổn định cao:** Hệ thống AVI có khả năng phát hiện các lỗi rất nhỏ với độ chính xác từ 95% đến 99.5%, vượt trội so với kiểm tra thủ công. Các hệ thống tích hợp AI có thể phát hiện nhiều hơn 10% đến 40% lỗi so với phương pháp kiểm tra bằng mắt người.
- **Tăng năng suất và hiệu quả:** Tốc độ kiểm tra có thể đạt 0.1–0.5 giây mỗi sản phẩm, so với 3–10 giây trong kiểm tra thủ công. Hệ thống có thể vận hành liên tục 24/7 mà không bị mệt mỏi.
- **Tiết kiệm chi phí đáng kể:** Giảm chi phí nhân công, giảm phế phẩm, giảm tái chế và ngăn chặn các đợt thu hồi tốn kém. Mặc dù chi phí đầu tư ban đầu nằm trong khoảng 50,000–250,000 USD, thời gian hoàn vốn thường chỉ từ 12–24 tháng.
- **Cải thiện chất lượng sản phẩm:** Các đánh giá khách quan và nhất quán giúp nâng cao chất lượng đầu ra và tăng sự hài lòng của khách hàng.

- **Mở rộng và thích ứng linh hoạt:** Hệ thống AVI có thể được tái cấu hình nhanh chóng để kiểm tra nhiều loại sản phẩm và đáp ứng các mức sản lượng khác nhau.
- **Đánh giá khách quan:** Loại bỏ sự thiên vị của con người và đảm bảo việc áp dụng tiêu chuẩn chất lượng một cách nhất quán.
- **Vận hành trong môi trường nguy hiểm:** Hệ thống AVI có thể được triển khai tại các khu vực nguy hiểm hoặc khó tiếp cận mà con người không thể làm việc trực tiếp.
- **Thu thập và báo cáo dữ liệu toàn diện:** Dữ liệu kiểm tra chi tiết hỗ trợ phân tích xu hướng, cải tiến quy trình và đảm bảo tuân thủ các yêu cầu quy định.
- **Bảo vệ thương hiệu:** Giảm nguy cơ sản phẩm lỗi lọt ra thị trường và giảm thiểu thiệt hại liên quan đến thu hồi sản phẩm.

1.8. Thách thức và hạn chế

Mặc dù mang lại nhiều lợi ích, việc triển khai và vận hành hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) cũng tồn tại một số thách thức và hạn chế nhất định:

- **Chi phí đầu tư ban đầu cao:** Chi phí phần cứng, phần mềm và tích hợp có thể trở thành rào cản lớn đối với nhiều doanh nghiệp.
- **Độ nhạy với môi trường:** Hệ thống thường yêu cầu ánh sáng ổn định và vị trí sản phẩm chính xác để đảm bảo kết quả kiểm tra tin cậy.
- **Khó phát hiện các lỗi tinh vi:** Những lỗi rất nhỏ hoặc bất thường khó đoán có thể vẫn thách thức ngay cả với các hệ thống tiên tiến.
- **Nhu cầu dữ liệu huấn luyện lớn:** Các hệ thống dựa trên AI yêu cầu tập dữ liệu lớn, đa dạng để huấn luyện mô hình hiệu quả.
- **Xử lý sự biến thiên của sản phẩm:** Sự thay đổi tự nhiên của ngoại quan sản phẩm có thể dẫn đến hiện tượng loai sai (false reject).

- **Nguy cơ sai sót:** Sai lệch trong kiểm tra như false positive và false negative vẫn có thể xảy ra.
- **Độ phức tạp khi tích hợp:** Việc tích hợp hệ thống AVI với dây chuyền hiện tại và hạ tầng IT có thể phức tạp và đòi hỏi thời gian.
- **Yêu cầu nhân lực kỹ thuật:** Vận hành và bảo trì hệ thống đòi hỏi đội ngũ kỹ sư và kỹ thuật viên có chuyên môn cao.
- **Hạn chế theo thiết kế sản phẩm và quy trình:** Hình dạng sản phẩm hoặc đặc thù quy trình sản xuất có thể gây khó khăn cho việc kiểm tra toàn diện.

1.9. Xu hướng phát triển của hệ thống AVI

Lĩnh vực kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) đang không ngừng phát triển với nhiều tiến bộ nổi bật, mở rộng mạnh mẽ khả năng ứng dụng trong công nghiệp hiện đại:

- **Tích hợp AI tiên tiến:** Các thuật toán tự học, phân tích lỗi dự đoán và tối ưu hóa hệ thống tự động giúp nâng cao khả năng kiểm tra và độ thông minh của toàn bộ hệ thống.
- **Công nghệ hình ảnh nâng cao:** Quét 3D độ chính xác cao, hình ảnh đa phổ (multispectral), tích hợp X-ray và CT, cùng công nghệ hyperspectral giúp quá trình kiểm tra toàn diện và sâu hơn.
- **Edge Computing:** Xử lý dữ liệu thời gian thực ngay tại nguồn, giúp giảm độ trễ, giảm nhu cầu băng thông và tăng cường bảo mật cho hệ thống.
- **Robot công tác (Cobots):** Việc tích hợp robot với hệ thống thị giác tiên tiến mang lại khả năng kiểm tra linh hoạt, đa góc và phù hợp với nhiều ứng dụng khác nhau.
- **Phần mềm thân thiện và nền tảng no-code:** Cho phép người dùng không có nhiều kiến thức lập trình vẫn có thể thiết lập và vận hành hệ thống AVI dễ dàng.

- **Mô hình phát hiện bất thường dựa trên AI:** Các thuật toán học từ ảnh không lỗi để phát hiện bất thường, giảm nhu cầu thu thập lượng lớn mẫu lỗi trong quá trình huấn luyện.

1.10. Kết luận

Hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (AVI) đang tạo ra sự thay đổi mạnh mẽ trong hoạt động kiểm soát chất lượng của sản xuất hiện đại. Với độ chính xác vượt trội, hiệu suất cao và khả năng vận hành ổn định, AVI giúp các doanh nghiệp trong nhiều ngành nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm chi phí và tăng cường lợi thế cạnh tranh.

Khi các công nghệ như trí tuệ nhân tạo, học máy và thị giác máy tiếp tục phát triển, vai trò của hệ thống AVI sẽ càng trở nên quan trọng hơn, góp phần định hình tương lai của ngành sản xuất thông minh và tối ưu hóa hiệu suất toàn diện.

CHƯƠNG 2. Cơ sở lý thuyết

2.1. PLC Mitsubishi và HMI PFXGP4501TAA

2.1.1. PLC Mitsubishi

Bộ điều khiển logic khả trình (PLC) Mitsubishi Q13UDVCPU (Hình 2.1) thuộc dòng MELSEC-Q Series, là loại CPU đa năng có hiệu suất xử lý cao và khả năng mở rộng linh hoạt. Với tốc độ thực thi lệnh cơ bản chỉ 1,9 ns, bộ nhớ chương trình 130K steps và khả năng quản lý tới 8.192 điểm I/O, Q13UDVCPU đáp ứng tốt các hệ thống sản xuất yêu cầu xử lý nhanh và ổn định. CPU này tích hợp sẵn cổng Ethernet, USB và khe cắm thẻ SD, giúp kết nối dễ dàng với các thiết bị ngoại vi, mạng công nghiệp cũng như hệ thống SCADA. Nhờ đó, PLC Mitsubishi Q13UDVCPU thường được sử dụng trong các dây chuyền tự động hóa, kết hợp cùng màn hình HMI để giám sát và vận hành thuận tiện.



Figure 2.1: PLC Mitsubishi Q13UDVCPU

Một hệ thống PLC Mitsubishi Q Series cơ bản như Hình 2.2 bao gồm các thành phần: module nguồn (Power Supply), base unit, CPU Q13UDVCPU, và các module mở rộng I/O hoặc truyền thông. Module nguồn thường được lắp ở vị trí



Figure 2.2: Hệ thống PLC Q Series

ngoài cùng bên trái để cung cấp điện cho toàn bộ rack. CPU Q13UDVCPU được lắp trực tiếp lên base unit, bên cạnh module nguồn. Các module I/O số, I/O tương tự, truyền thông (ví dụ CC-Link) hoặc điều khiển chuyển động (motion) sẽ được lắp nối tiếp sang bên phải CPU. Việc lắp đặt cần đảm bảo các connector tiếp xúc chắc chắn, không để bụi bẩn hoặc rung động mạnh.

Sau khi hoàn tất lắp đặt, hệ thống cần được cấu hình phần cứng trên phần mềm GX Works2 hoặc GX Developer. Quá trình này bao gồm việc khai báo CPU, module nguồn, các module I/O theo đúng vị trí trên base unit. Nếu có sử dụng module mở rộng ở remote rack, cần khai báo địa chỉ truyền thông tương ứng. Việc cấu hình chính xác giúp hệ thống vận hành ổn định và tránh lỗi khi chạy chương trình điều khiển.

Để lập trình và cấu hình PLC Mitsubishi Q13UDVCPU, phần mềm được sử dụng phổ biến là GX Works2. Đây là môi trường phát triển tích hợp (IDE) của Mitsubishi Electric, cho phép thiết kế, viết chương trình, cấu hình phần cứng, giám sát trạng thái và chẩn đoán lỗi. GX Works2 hỗ trợ nhiều ngôn ngữ lập trình chuẩn IEC 61131-3 như Ladder Diagram (LD), Structured Text (ST), và Function Block Diagram (FBD), giúp kỹ sư có thể lựa chọn phong cách lập trình phù hợp với ứng dụng thực tế.

Trong quá trình cấu hình, người dùng khai báo loại CPU, module nguồn, vị trí các module I/O, module truyền thông hoặc motion tương ứng trên base unit. Ngoài ra, GX Works2 cũng cho phép thiết lập tham số mạng (Ethernet, CC-Link,

Table 2.1: Thông số kỹ thuật của PLC Mitsubishi Q13UDVCPU

Thông số	Giá trị
Tốc độ xử lý lệnh (LD)	1,9 ns
Dung lượng chương trình	130K steps (520 kB)
Bộ nhớ RAM tích hợp	1.024 kB
Thẻ nhớ hỗ trợ	SD/SDHC tối đa 32 GB
I/O tối đa (cục bộ)	4.096 điểm
I/O tối đa (tổn hệ thống)	8.192 điểm
Giao tiếp tích hợp	Ethernet 10/100 Mbps, USB
Nguồn tiêu thụ nội bộ	0,58 A
Kích thước	98 × 27,4 × 115 mm
Khối lượng	0,20 kg
Nhiệt độ làm việc	0 ... 55 °C
Độ ẩm làm việc	5 ... 95 % RH (không ngưng tụ)
Chuẩn chống rung/sốc	JIS B 3502, IEC 61131-2

v.v.), quản lý bộ nhớ và tải chương trình xuống CPU thông qua cổng USB hoặc Ethernet. Phần mềm còn cung cấp chức năng monitoring online, giúp quan sát trạng thái hoạt động của các bit, thanh ghi, timer/counter theo thời gian thực, từ đó hỗ trợ quá trình kiểm tra và gỡ lỗi nhanh chóng.

2.1.2. Giao diện người máy HMI

Giao diện Người – Máy (Human-Machine Interface, HMI) là thiết bị cho phép người vận hành tương tác trực tiếp với hệ thống điều khiển thông qua màn hình trực quan. Trong hệ thống này, HMI được sử dụng để giám sát trạng thái hoạt động, hiển thị dữ liệu sản xuất, theo dõi cảnh báo và cho phép người dùng nhập các lệnh điều khiển. Thiết bị HMI giúp đơn giản hóa việc vận hành, giảm sai sót và tăng tính trực quan khi quản lý dây chuyền tự động hóa.

Màn hình HMI PFXGP4501TAA thuộc dòng GP4000 Series của hãng Profibus (Schneider Electric), là một trong những thiết bị giao diện phổ biến, được thiết kế nhỏ gọn nhưng mạnh mẽ, thích hợp kết nối với PLC Mitsubishi Q Series (Hình 2.3).



Figure 2.3: HMI Mitsubishi PFXGP4501TAA

Table 2.2: Thông số kỹ thuật của HMI PFXGP4501TAA

Thông số	Giá trị
Kích thước màn hình	10,4 inch TFT LCD
Độ phân giải	640 × 480 (VGA)
Màu hiển thị	65.536 màu
Độ sáng	300 cd/m ²
Cổng giao tiếp	Ethernet, USB (Host/Device), Serial (RS-232C/422/485)
Bộ nhớ ứng dụng	16 MB (Flash)
Nguồn cấp	24 VDC
Nhiệt độ hoạt động	0 ... 50 °C
Kích thước ngoài	271 × 213 × 56 mm
Trọng lượng	Khoảng 2,2 kg
Chuẩn bảo vệ	IP65 (mặt trước)

Nhờ tích hợp nhiều cổng giao tiếp và hỗ trợ cấu hình qua phần mềm Pro-face GP-Pro EX, PFXGP4501TAA có khả năng kết nối linh hoạt với PLC, biến nó thành công cụ trực quan hóa dữ liệu và điều khiển sản xuất hiệu quả trên dây chuyền.

2.2. Mạng CC-Link và Module CC-Link QJ16BT11N

2.2.1. CC-Link

CC-Link (Control & Communication Link) là một mạng truyền thông công nghiệp do Mitsubishi Electric phát triển, được sử dụng rộng rãi để kết nối các thiết bị điều khiển trong hệ thống tự động hóa. CC-Link cho phép truyền tải cả tín hiệu ON/OFF và dữ liệu số giữa PLC và các module phân tán thông qua cáp chuyên dụng, đảm bảo tốc độ cao và độ tin cậy trong vận hành. Ưu điểm chính của CC-Link:

- Tăng hiệu quả đi dây nhờ khả năng phân tán module tới các thiết bị tại chỗ (ví dụ: băng chuyền, máy công cụ).
- Hỗ trợ truyền nhận thông tin I/O và dữ liệu số với tốc độ cao, giảm độ trễ trong điều khiển.
- Cho phép kết nối nhiều CPU PLC để xây dựng hệ thống phân tán đơn giản.
- Có khả năng tích hợp với nhiều thiết bị từ các nhà sản xuất đối tác của Mitsubishi, mang lại giải pháp linh hoạt.

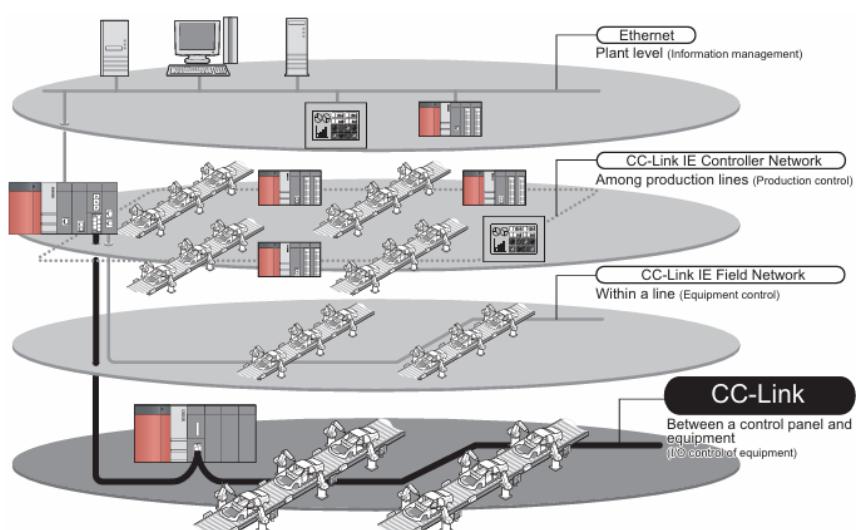


Figure 2.4: Mạng CC-Link

2.2.2. Master/Local Modules

Bằng cách sử dụng Master/Local Modules, các PLC thuộc dòng MELSEC-Q có thể kết nối với nhau qua hệ thống CC-Link. Các trạm PLC ở xa trong hệ thống CC-Link có thể được điều khiển như khi ở cùng base unit. Module hoạt động như một trạm Master hoặc một trạm Local trong hệ thống CC-Link. Các đặc điểm/tính năng chính của hệ thống CC-Link:

1. Truyền thông dữ liệu: Master/Local Modules có thể trao đổi dữ liệu liên tục theo chu kỳ quét (Hình 2.5) hoặc có thể chỉ truyền dữ liệu khi có yêu cầu (Hình 2.6).

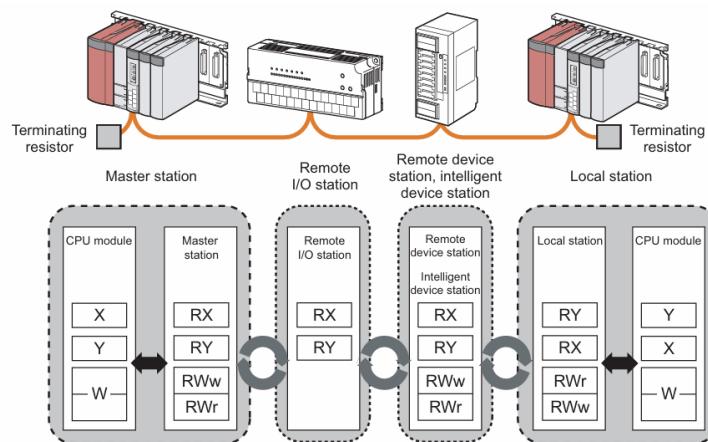


Figure 2.5: Cyclic Transmission

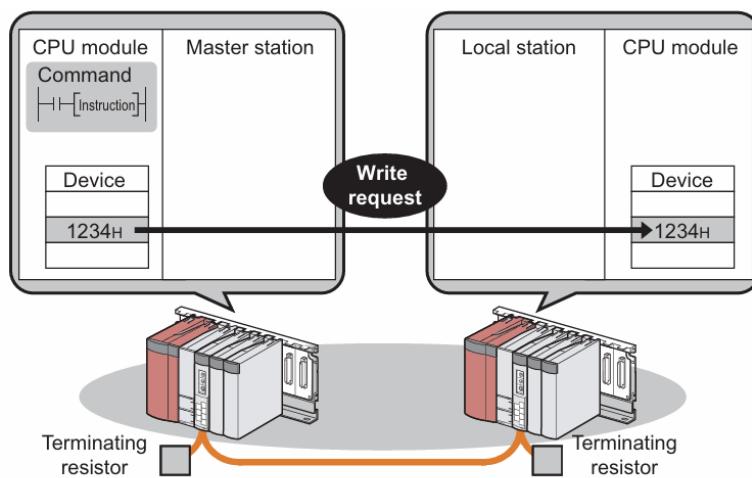


Figure 2.6: Transient Transmission

2. Thiết lập tham số và chuẩn đoán sử dụng công cụ lập trình: Các tham số của Master/Local Modules có thể được thiết lập bằng công cụ lập trình hoặc chương trình của PLC. Khi các tham số được thiết lập bằng chương trình của PLC, có thể thay đổi tham số của module Master mà không cần reset module CPU (Hình 2.7). Trạng thái của hệ thống CC-Link có thể được kiểm tra bằng công cụ lập trình. Vị trí lỗi và nguyên nhân lỗi sẽ được hiển thị trên công cụ lập trình, giúp người dùng nhanh chóng xử lý sự cố (Hình 2.8).

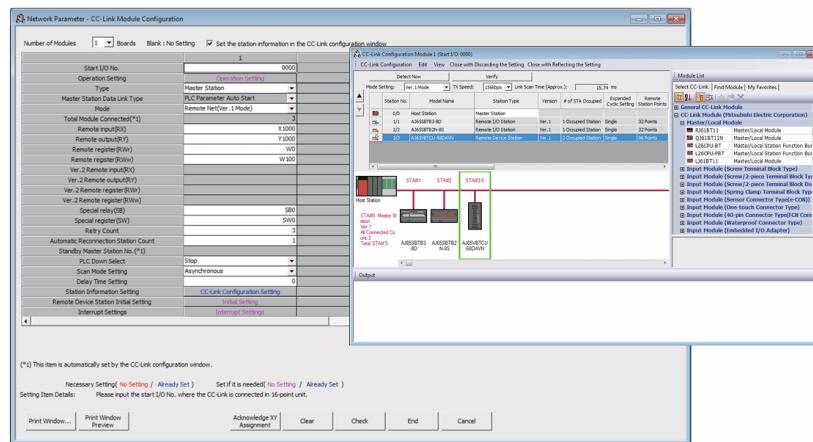


Figure 2.7: CC-Link Module Configuration

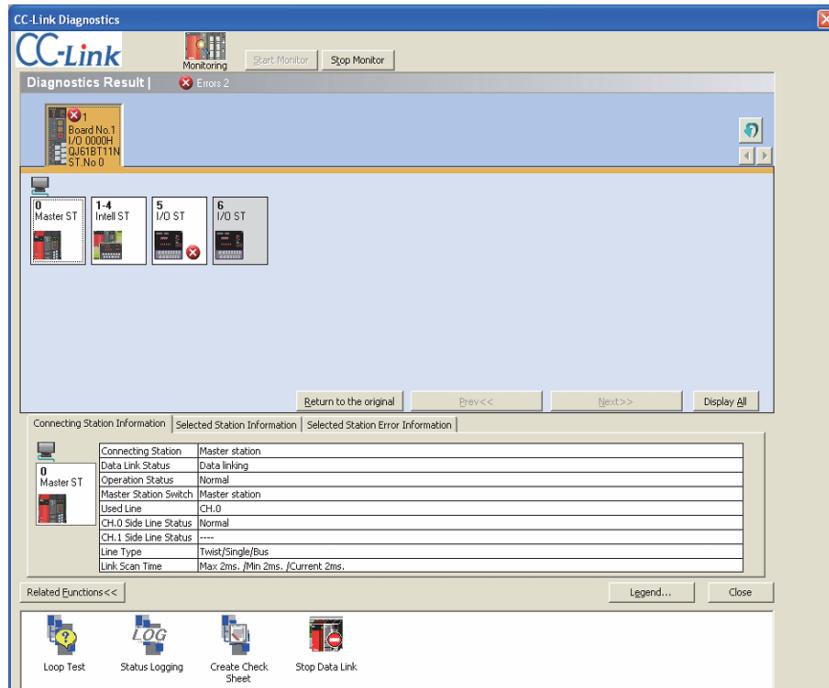


Figure 2.8: CC-Link Diagnostics

3. Module tương thích với CC-Link Ver.2: Vì master/local module là module tương thích CC-Link Ver.2, nên số điểm (points) trong mỗi hệ thống có thể tăng lên đến 8192 cho RX/RY và số word có thể tăng lên đến 2048 cho RWr/RWw. Trên cơ sở từng trạm, số điểm có thể tăng lên đến 896 cho RX/RY và số word là 128 cho RWr/RWw. Một hệ thống tương thích CC-Link Ver.2 có thể lớn hơn hệ thống tương thích CC-Link Ver.1 (Hình 2.9).

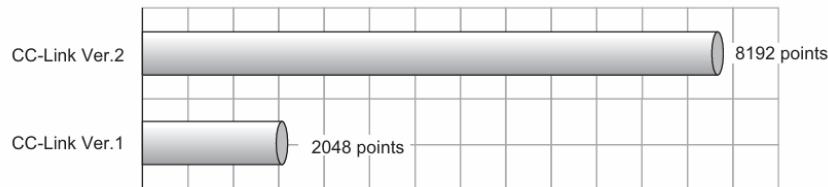


Figure 2.9: CC-Link Ver.2 vs CC-Link Ver.1

4. Phòng ngừa sự cố hệ thống: Vì sử dụng topology dạng bus nên việc truyền thông giữa các module bình thường vẫn được tiếp tục ngay cả khi có một module gặp sự cố. Sau khi thay thế/sửa chữa module gặp sự cố, hệ thống sẽ hoạt động bình thường trở lại mà không cần phải thiết lập lại (Hình 2.10).

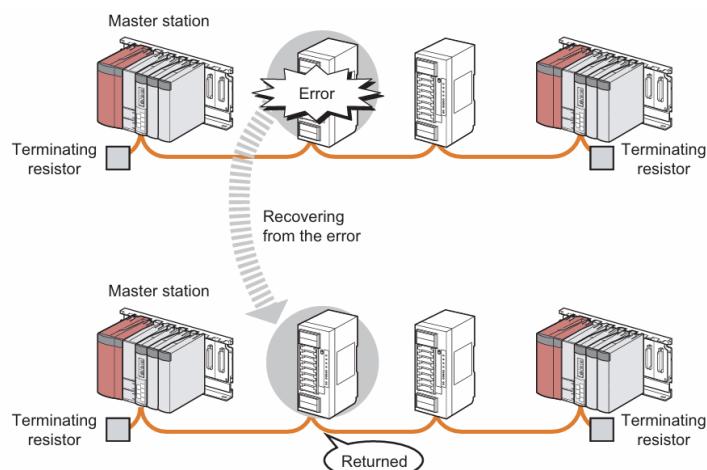


Figure 2.10: Prevention of a system failure

2.2.3. Module QJ61BT11N

QJ61BT11N là module Master/Local CC-Link dùng cho dòng PLC MELSEC-Q của Mitsubishi.

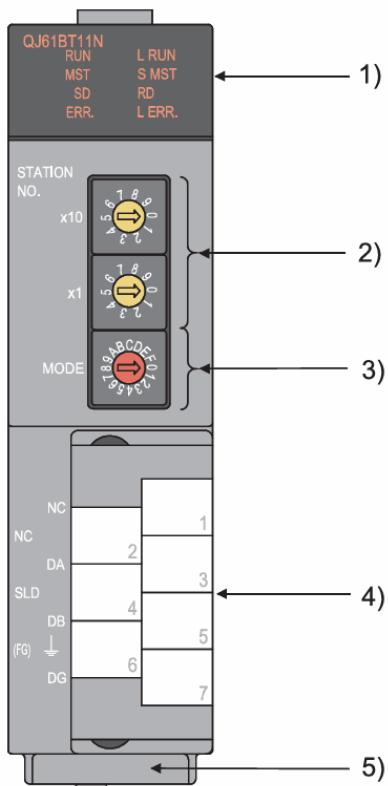


Figure 2.11: QJ61BT11N Master/Local Module

Giao diện mặt trước của module gồm các phần: Led thông báo/hiển thị trạng thái (1); thiết lập thứ tự trạm (2); thiết lập tốc độ truyền thông (3); giao diện kết nối cáp CC-Link (4); Serial Number (5).

2.3. Servo motor và Module QD77MS16

2.3.1. Servo và Servo Amplifier

Servo (servo motor và bộ khuếch đại điều khiển) là thiết bị truyền động được sử dụng rộng rãi trong tự động hóa công nghiệp để điều khiển vị trí, tốc độ và mô-men xoắn một cách chính xác. Khác với động cơ thường, servo được trang bị encoder hoặc cảm biến hồi tiếp, giúp hệ thống biết chính xác trạng thái của trục motor và thực hiện điều khiển vòng kín (closed-loop control). Nhờ vậy, servo có khả năng đáp ứng nhanh, sai số nhỏ, ổn định cao và phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu độ chính xác như máy CNC, robot công nghiệp, dây chuyền sản xuất điện tử, đóng gói và in ấn. Một hệ thống servo thường bao gồm servo motor (động cơ),

servo amplifier/driver (bộ khuếch đại) và bộ điều khiển (PLC, motion controller), trong đó bộ khuếch đại đóng vai trò nhận lệnh từ bộ điều khiển, điều chỉnh dòng điện cấp cho motor theo tín hiệu phản hồi từ encoder. Nhờ ưu điểm gọn nhẹ, hiệu suất cao và khả năng đồng bộ nhiều trục, servo ngày nay đã trở thành phần không thể thiếu trong các giải pháp tự động hóa hiện đại.

Servo được sử dụng là HG-KR32 (Hình 2.12) kết hợp cùng với Servo Amplifier MR-J4-20B (Hình 2.13). Ngoài ra Mitsubishi cũng có rất nhiều loại động cơ servo và bộ khuếch đại khác.



Figure 2.12: Động cơ servo HG-KR32



Figure 2.13: Bộ khuếch đại servo MR-J4-20B

2.3.2. Module QD77MS16

QD77MS16 (Hình 2.14) là module điều khiển chuyển động (Simple Motion Module) thuộc dòng MELSEC-Q series của Mitsubishi Electric. Module này được thiết kế để thực hiện các bài toán điều khiển vị trí, tốc độ và mô-men xoắn với độ chính xác cao, đồng bộ nhiều trục trong hệ thống tự động hóa.



Figure 2.14: Bộ điều khiển QD77MS16

Đặc điểm chính của QD77MS16:

- **Thời gian khởi động nhanh:** Đạt 0.88 ms (với QD77MS4) trong chế độ định vị.
- **Nhiều chức năng điều khiển định vị:** Hỗ trợ điều khiển HPR, điều khiển vị trí, điều khiển tốc độ, chuyển đổi vị trí-tốc độ, và điều khiển bằng tay.
 - 6 phương pháp HPR khác nhau, kèm chức năng HPR retry.
 - Điều khiển độc lập từng trục hoặc nội suy nhiều trục (2–4 trục).
 - Điều khiển tốc độ-mô-men không qua vòng vị trí.
 - Tối đa 600 bộ dữ liệu định vị cho mỗi trục.
 - Xử lý liên tục nhiều khối dữ liệu định vị.
 - Hai dạng gia tốc/giảm tốc: tuyến tính (trapezoidal) và cong S.
- **Điều khiển đồng bộ và cam điện tử (E-Cam).**

- **Chức năng phát hiện mark:** Có thể latch dữ liệu theo tín hiệu ngoài DI1–DI4.
- **Khả năng bảo trì cao:** Lưu dữ liệu trong flash ROM (không cần pin); thông tin lỗi được lưu và truy xuất từ PLC CPU.
- **Hỗ trợ lệnh chuyên dụng:** Như Positioning Start, Teaching, tương thích với LD77MH/QD75MH.
- **Thiết lập và giám sát qua GX Works2:** Dễ dàng cấu hình tham số, kiểm tra wiring, chạy thử, giám sát và debug. Có thể kết hợp với MR Configurator2 để thiết lập tham số servo.
- **Tương thích với LD77MH/QD75MH:** Cho phép tái sử dụng chương trình cũ.
- **Chức năng dừng cưỡng bức (Forced stop):** Có thể dừng toàn bộ trực qua tín hiệu stop.
- **Kết nối tốc độ cao với servo amplifier qua SSCNET III/H:** Hỗ trợ MR-J5-B, MR-J4-B, MR-J3-B, MR-JE-B(F); truyền quang giảm nhiễu; cho phép đọc/ghi tham số servo trực tiếp từ QD77MS.
- **Hệ thống vị trí tuyệt đối (Absolute Position System):** Dùng với servo MR-J5/J4/J3; chỉ cần gắn pin absolute vào amplifier, không cần proximity dog; khi bật nguồn lại không cần HPR.

2.4. Robot công nghiệp

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đang diễn ra mạnh mẽ, việc ứng dụng robot, đặc biệt là cánh tay robot, vào sản xuất và đời sống đã trở thành xu hướng tất yếu để nâng cao năng suất, chất lượng và giảm thiểu chi phí lao động.

2.4.1. Hệ thống Robot Yaskawa

Hệ thống điều khiển Robot tiêu chuẩn bao gồm Controller (Bộ điều khiển robot công nghiệp), Manipulator (Tay máy), Programming pendant (Điều khiển

cầm tay). Ngoài ra còn cần các cáp kết nối giữa các bộ phận của hệ thống robot.

- **Programming pendant cable:** Cáp kết nối thiết bị điều khiển cầm tay với bộ điều khiển.
- **Manipulator cable:** Cáp kết nối bộ điều khiển với tay máy, cung cấp nguồn và tín hiệu điều khiển servo.
- **Power supply cable:** Cáp cấp nguồn cho toàn bộ hệ thống (nguồn 1 pha hoặc 3 pha), yêu cầu có bộ lọc nhiễu.

Sơ đồ kết nối tổng quát của hệ thống robot được mô tả như Hình 2.15

Fig. 4-6: Cable Connection

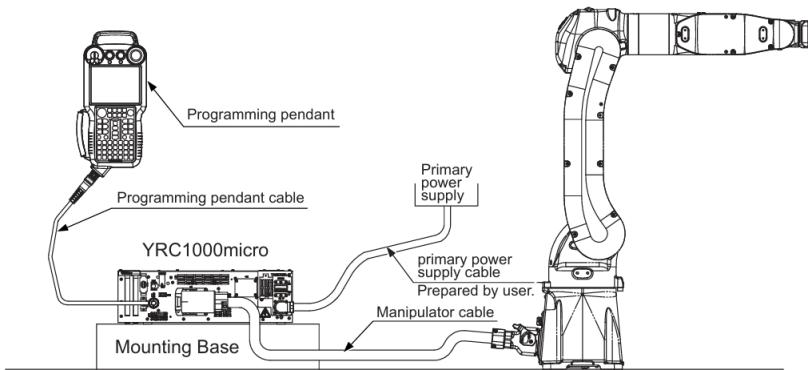


Figure 2.15: Sơ đồ tổng quát hệ thống robot công nghiệp đơn giản

Hệ thống tại phòng thực hành sử dụng tay máy GP7 và bộ điều khiển công nghiệp YRC1000micro cùng với điều khiển cầm tay đi kèm.

Tay máy GP7

Robot Yaskawa GP7 (Hình 2.16) là robot công nghiệp 6 trục với tải trọng 7 kg, tốc độ cao và độ chính xác vượt trội. Thiết kế nhỏ gọn tối ưu cho các không gian hẹp, phù hợp với nhiều ứng dụng như gấp–đặt, lắp ráp, đóng gói và kiểm tra. GP7 hỗ trợ điều khiển linh hoạt và lập trình dễ dàng thông qua bộ điều khiển YRC1000. Robot có độ chính xác lắp lại đạt ± 0.01 mm, tốc độ di chuyển nhanh giúp cải thiện hiệu suất và độ ổn định của dây chuyền tự động hóa. Đây là một trong những lựa chọn phổ biến trong các hệ thống sản xuất hiện đại.



Figure 2.16: Tay máy GP7

Thông số kỹ thuật chính:

- Tải trọng: **7 kg**
- Tầm với ngang (Horizontal reach): **927 mm**
- Tầm với dọc (Vertical reach): **1693 mm**
- Độ chính xác lặp lại (Repeatability): ± 0.01 mm

Phạm vi hoạt động theo từng trục:

Trục	Phạm vi chuyển động (Degrees)	Tốc độ (°/s)	Moment (N·m)
S	± 170	375	-
L	$+145 / - 65$	315	-
U	$+190 / - 70$	410	-
R	± 190	550	17
B	± 135	550	17
T	± 360	1000	10

Table 2.3: Thông số chuyển động các trục của robot Yaskawa GP7

Bộ điều khiển tương thích:

- YRC1000

- YRC1000micro

Bộ điều khiển YRC1000micro

Fig. 1-1: YRC1000micro Front View

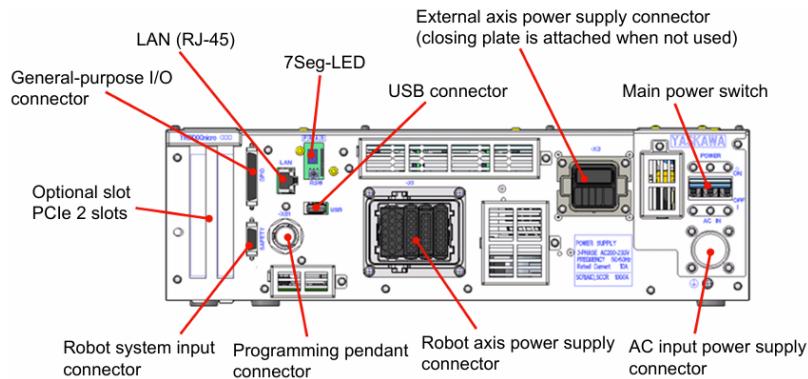


Figure 2.17: Bộ điều khiển YRC1000micro

Mặt trước của bộ điều khiển robot bao gồm các cổng kết nối và thành phần điều khiển chính như sau:

- **AC input power supply connector:** Đầu kết nối nguồn cấp cho hệ thống.
- **Main power switch:** Công tắc gạt dùng để bật/tắt nguồn hệ thống.
- **Robot axis power supply connector:** Đầu kết nối cấp nguồn và tín hiệu điều khiển tới tay máy robot.
- **USB connector:** Cổng USB dùng để kết nối bộ nhớ ngoài (tương tự USB/SD card trên pendant).
- **Programming pendant connector:** Đầu kết nối với thiết bị điều khiển cầm tay (programming pendant).
- **LAN RJ-45:** Cổng kết nối Ethernet/IP để truyền thông mạng công nghiệp.
- **General-purpose I/O connector:** Cổng I/O kết nối với các thiết bị ngoại vi như cảm biến, công tắc, relay, v.v.

- **Robot system input connector (SAFETY):** Cổng đầu vào chuyên dụng cho các chức năng an toàn (cửa an toàn, công tắc dừng khẩn cấp, cảm biến vùng), dùng để ngừng robot khi điều kiện an toàn không được đảm bảo.

Viết chương trình cho Robot Yaskawa

Trước khi có thể viết một chương trình cho robot, cần kiểm tra các điều kiện: nút [EMERGENCY STOP] không được nhấn và [Mode switch] ở trạng thái Teach Mode. Sau đó có thể di chuyển Robot bằng cách nhấn Switch sau tay cầm và bật nguồn Servo, dùng các nút di chuyển trực để di chuyển. Để tạo mới một chương trình, nhấn nút [MAIN MENU] -> JOB -> CREATE NEW JOB. Sau đó điền tên chương trình và có thể chọn Folder để lưu trữ. Kết thúc quá trình bằng nút EXECUTE.



Figure 2.18: Tạo chương trình mới bằng Pendant

Màn hình viết chương trình sẽ được hiển thị:

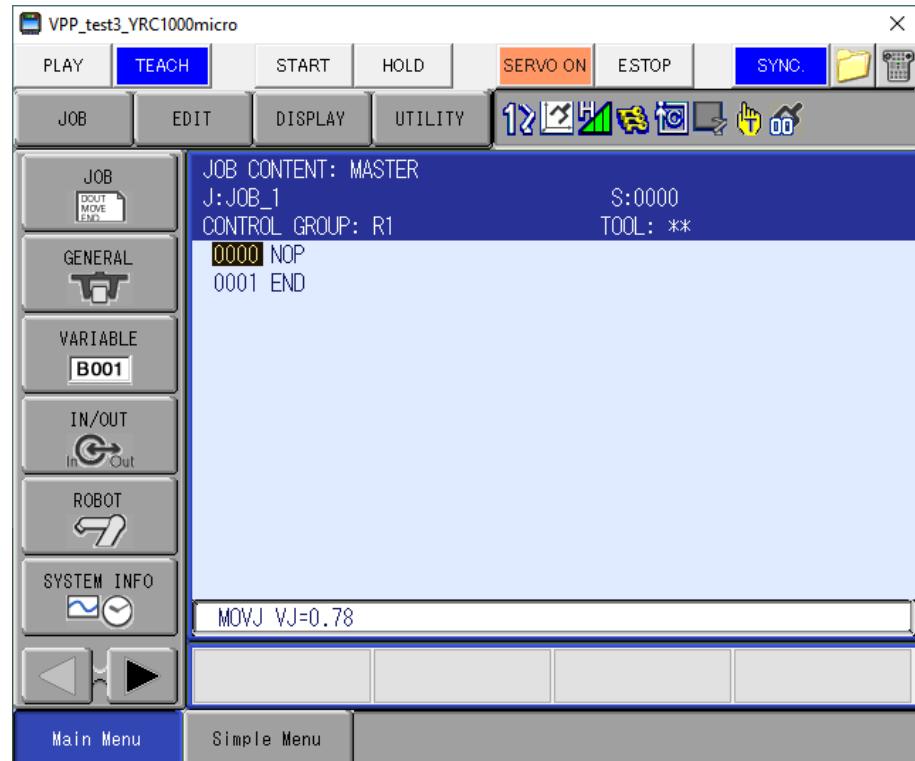


Figure 2.19: Màn hình tạo Job

Ngôn ngữ được sử dụng để viết chương trình là INFORM III. Cấu trúc của một câu lệnh bao gồm hai phần là Instruction và Additional item.

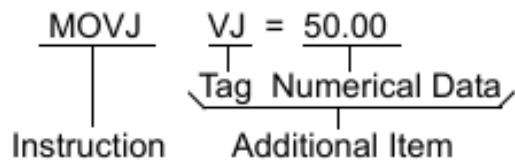


Figure 2.20: Ngôn ngữ INFORM III

- **Instruction:** Hướng dẫn để thực hiện một lệnh.
- **Additional item:** Phần điều kiện bổ sung cho Instruction trước đó.

Các loại Instruction trong INFORM III như sau:

Type	Content
I/O Instruction	Các lệnh điều khiển I/O
Control Instruction	Điều khiển luồng xử lý của chương trình
Operating Instruction	Điều khiển các biến trong chương trình
Move Instruction	Điều khiển di chuyển của tay máy
Shift Instruction	Di chuyển điểm dạy hiện tại
Adheres Instruction	Lệnh đi kèm theo lệnh khác
Work Instruction	Lệnh liên quan đến làm việc của robot
Optional Instruction	Lệnh chức năng tùy chọn

Chi tiết về các lệnh có trong *[YRC1000micro OPTIONS INSTRUCTION FOR INFORM LANGUAGE RE-CKI-A468]*.

2.4.2. Hệ thống robot Hyundai

Tay máy và bộ điều khiển

Tương tự như hệ thống của Robot Yaskawa, hệ thống Robot Hyundai cũng chia làm hai phần chính là cánh tay Robot và bộ điều khiển dùng để điều khiển Robot. Như minh họa tại Hình 2.21

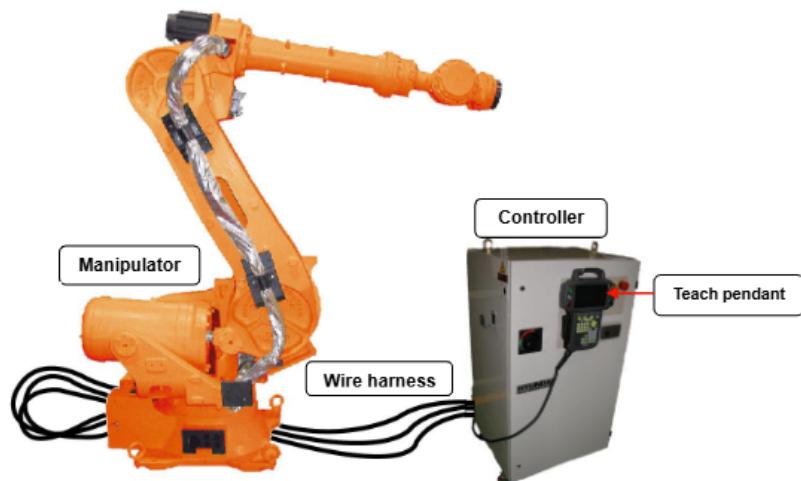


Figure 2.3 Basic configuration drawing of the Robot system (Vertical Articulated Robot)

Figure 2.21: Hệ thống Robot Hyundai cơ bản

Hệ thống Robot Hyundai dùng tại phòng thực hành bao gồm tay máy Hyundai HH7 và bộ điều khiển Hi5a.



Figure 2.22: Tay máy HH7



Figure 2.23: Bộ điều khiển Hi5a

Teach pendant của Hi5a cũng cho phép chuyển chế độ hoạt động, điều khiển hệ thống tương tự với teach pendant của Robot Yaskawa.

Viết chương trình điều khiển bằng Teach pendant

Chọn chương trình bằng cách bấm phím [SHIFT] + [PROG] trên Teach pendant, chọn List show/hide để hiện thông tin của chương trình (Hình2.24).

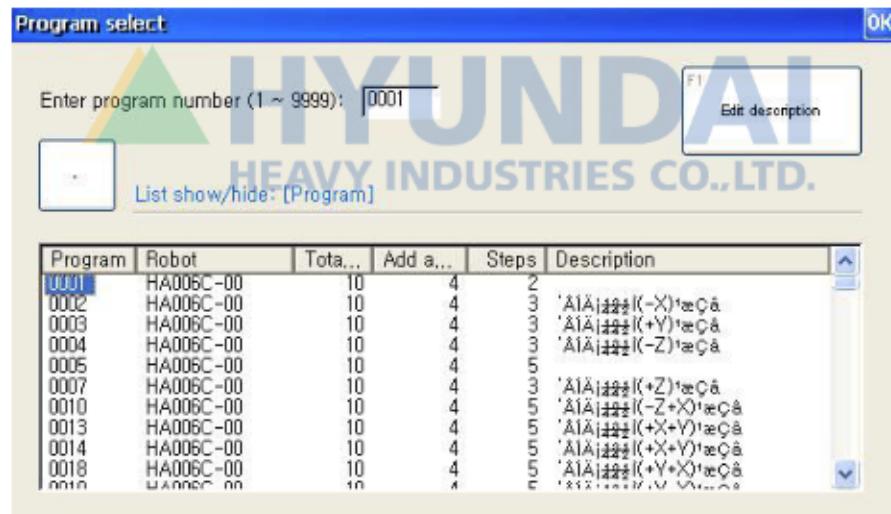


Figure 2.24: Chọn chương trình

Một chương trình điều khiển robot thường gồm hai loại lệnh:

- **Lệnh bước (step command):** dùng để di chuyển robot.
- **Lệnh chức năng (function command):** dùng để thực hiện thao tác.

Mỗi lệnh bao gồm phần *command* và các *thuộc tính (properties)*, được chia thành:

- **Thuộc tính bắt buộc (base properties).**
- **Thuộc tính tùy chọn (optional properties).**

Khi người dùng nhập một lệnh, các giá trị mặc định sẽ được gán cho thuộc tính bắt buộc, và có thể thay đổi. Thuộc tính tùy chọn được hiển thị bằng ký tự

“_” trên con trỏ làm việc; khi di chuyển đến mục này, khung chính sẽ hiển thị các thuộc tính có thể chỉnh sửa.

Khi chỉnh sửa thuộc tính của lệnh, người dùng có thể:

- Nhập trực tiếp bằng phím số.
- Chọn tham số hoặc chức năng từ menu và nhập mã (*index*).
- Nhập theo ký tự bằng *Formula* hoặc *Character entry*.

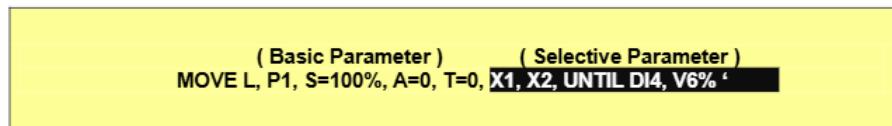


Figure 2.25: Basic Command

2.5. Thị giác máy tính và mô hình YOLO

2.5.1. Thị giác máy tính

Thị giác máy tính (Computer Vision) là lĩnh vực nghiên cứu cách máy tính hiểu và diễn giải hình ảnh hoặc video, tương tự như cách con người nhận thức thị giác. Trong công nghiệp, thị giác máy đóng vai trò quan trọng trong tự động hóa các tác vụ kiểm tra, giám sát và điều khiển chất lượng.

Một trong những ứng dụng phổ biến nhất của thị giác máy tính là kiểm tra sản phẩm trên dây chuyền sản xuất. Hệ thống camera thu thập hình ảnh sản phẩm, sau đó sử dụng thuật toán xử lý ảnh để phát hiện lỗi như thiếu linh kiện, lắp sai hướng, sai vị trí hoặc khuyết tật bề mặt. So với kiểm tra thủ công, thị giác máy có ưu thế vượt trội về tốc độ, độ chính xác và khả năng hoạt động liên tục.

Ngoài kiểm tra chất lượng, thị giác máy còn được ứng dụng trong các nhiệm vụ như:

- **Dẫn đường robot:** Nhận diện vị trí đối tượng hoặc xác định tọa độ để robot thực hiện thao tác.

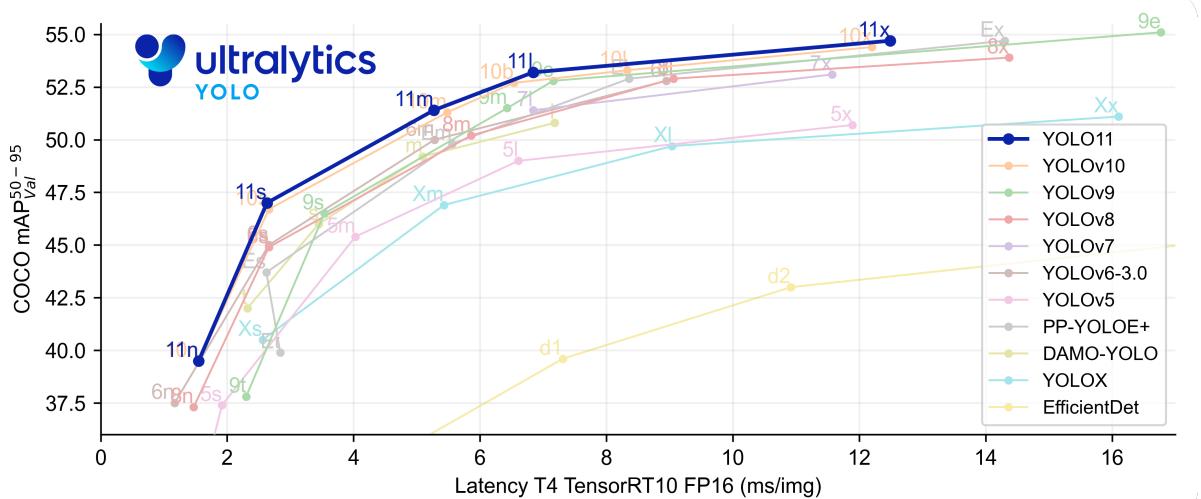


Figure 2.26: YOLO Performance.

- **Đọc mã vạch, OCR:** Tự động đọc nhãn sản phẩm, mã QR, số serial...
- **Giám sát an toàn:** Theo dõi khu vực nguy hiểm, phát hiện người xâm nhập vùng cấm.

Trong sản xuất điện tử SMT, thị giác máy đặc biệt quan trọng ở khâu kiểm tra AOI/AVI. Các mô hình học sâu hiện đại như CNN, YOLO giúp hệ thống phân loại và phát hiện linh kiện nhanh, chính xác hơn, giảm đáng kể tỷ lệ lỗi do con người.

2.5.2. Mạng YOLO - Lược sử phát triển

YOLO (You Only Look Once) là một mô hình nổi tiếng trong lĩnh vực phát hiện đối tượng và phân đoạn ảnh, được phát triển bởi Joseph Redmon và Ali Farhadi tại Đại học Washington. Ra mắt vào năm 2015, YOLO nhanh chóng được ưa chuộng nhờ tốc độ cao và độ chính xác vượt trội.

- **YOLOv2 (2016):** Cải tiến so với bản gốc bằng cách bổ sung *batch normalization*, *anchor boxes* và *dimension clusters*.
- **YOLOv3 (2018):** Nâng cao hiệu năng với *backbone* hiệu quả hơn, nhiều *anchors* hơn và *spatial pyramid pooling*.

- **YOLOv4 (2020):** Giới thiệu các cải tiến như *Mosaic data augmentation*, *anchor-free detection head* và *loss function* mới.
- **YOLOv5:** Tiếp tục cải thiện hiệu năng và bổ sung tính năng mới như tối ưu siêu tham số (*hyperparameter optimization*), theo dõi thí nghiệm tích hợp, và tự động xuất ra các định dạng phổ biến.
- **YOLOv6 (2022):** Được Meituan phát hành mã nguồn mở, ứng dụng nhiều trong các robot giao hàng tự động.
- **YOLOv7:** Mở rộng thêm các tác vụ như ước lượng tư thế (*pose estimation*) trên tập dữ liệu *COCO keypoints*.
- **YOLOv8 (2023, Ultralytics):** Bổ sung nhiều tính năng và cải tiến mới, tăng hiệu suất, tính linh hoạt và hiệu quả, đồng thời hỗ trợ đầy đủ các tác vụ thị giác máy tính (*vision AI*).
- **YOLOv9:** Giới thiệu phương pháp mới như *Programmable Gradient Information (PGI)* và *Generalized Efficient Layer Aggregation Network (GELAN)*.
- **YOLOv10:** Do các nhà nghiên cứu Đại học Thanh Hoa phát triển bằng gói Python của Ultralytics, mang lại tiến bộ trong phát hiện đối tượng thời gian thực nhờ *End-to-End head* loại bỏ nhu cầu sử dụng *Non-Maximum Suppression (NMS)*.
- **YOLOv11 (Mới nhất):** Dòng mô hình mới nhất của Ultralytics, đạt hiệu suất tiên tiến (*state-of-the-art*) trên nhiều tác vụ như phát hiện đối tượng, phân đoạn, ước lượng tư thế, theo dõi và phân loại, với khả năng ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực AI.

2.5.3. Ultralytics YOLOv11

Ultralytics YOLO11 là một khung AI linh hoạt, hỗ trợ nhiều tác vụ thị giác máy tính khác nhau. Khung này có thể được sử dụng để thực hiện phát hiện đối tượng (detection), phân đoạn ảnh (segmentation), OBB (Oriented Bounding Box), phân loại (classification), và ước lượng tư thế (pose estimation). Mỗi tác vụ có mục



Figure 2.27: YOLOv11 Tasks

tiêu và ứng dụng riêng, cho phép giải quyết nhiều thách thức trong thị giác máy tính chỉ với một framework duy nhất (Hình 2.27).

1. **Detection (Phát hiện đối tượng):** Phát hiện là tác vụ chính được hỗ trợ bởi YOLO11. Nó bao gồm việc xác định các đối tượng trong ảnh hoặc video và vẽ hộp bao quanh (bounding box) chúng. Các đối tượng được phân loại dựa trên đặc trưng. YOLO11 có thể phát hiện nhiều đối tượng trong một ảnh với độ chính xác và tốc độ cao, phù hợp cho các ứng dụng thời gian thực như giám sát an ninh và xe tự hành.
2. **Segmentation (Phân đoạn ảnh):** Phân đoạn chia ảnh thành nhiều vùng dựa trên nội dung, với độ chính xác đến từng pixel. Ứng dụng điển hình gồm chẩn đoán y tế, phân tích nông nghiệp, và kiểm soát chất lượng. YOLO11 triển khai một biến thể của kiến trúc U-Net để đạt hiệu quả cao.
3. **Classification (Phân loại ảnh):** Phân loại gán nhãn cho toàn bộ ảnh dựa trên nội dung. YOLO11 sử dụng biến thể của EfficientNet để đạt hiệu năng cao. Tác vụ này quan trọng trong thương mại điện tử, kiểm duyệt nội dung, và theo dõi động vật hoang dã.
4. **Pose Estimation (Ước lượng tư thế):** Ước lượng tư thế phát hiện các điểm mốc (keypoints) trong ảnh hoặc video để theo dõi chuyển động hoặc ước lượng dáng điệu. Các điểm mốc có thể là khớp cơ thể, đặc điểm khuôn mặt, hoặc các điểm quan trọng khác. YOLO11 cho độ chính xác cao, ứng dụng trong thể dục, phân tích thể thao, và tương tác người-máy.
5. **OBB (Oriented Bounding Box – Hộp bao định hướng):** OBB mở rộng phát hiện đối tượng bằng cách thêm thông tin góc xoay, giúp định vị chính xác hơn.

xác các vật thể bị nghiêng hoặc xoay. Điều này đặc biệt hữu ích trong phân tích ảnh hàng không, xử lý tài liệu, và các ứng dụng công nghiệp. YOLOv11 hỗ trợ OBB với tốc độ và độ chính xác cao.

CHƯƠNG 3. Xây dựng hệ thống và chương trình điều khiển

3.1. Sơ đồ khái niệm hệ thống

Thành phần hệ thống bao gồm một bộ PLC bao gồm nguồn, CPU, Module QJ61BT11N, Module QD77MS16; một màn hình HMI; các remote IO và các trạm Robot; các động cơ servo cùng bộ khuếch đại; cuối cùng là một máy tính sử dụng để triển khai hệ thống thị giác máy tính. Sơ đồ khái niệm hệ thống như Hình 3.1:

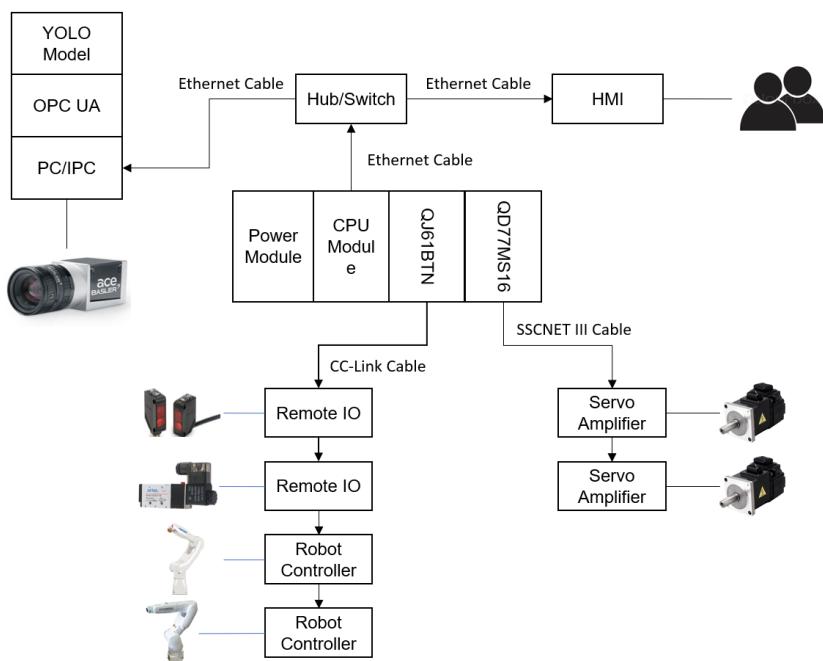


Figure 3.1: Sơ đồ khái niệm hệ thống

3.2. Thuật toán điều khiển

Giải thích chi tiết cách điều khiển của hệ thống.

3.3. Cấu hình hệ thống

3.3.1. Cấu hình hệ thống PLC và module

Công cụ lập trình dùng cho PLC Mitsubishi Q Series là phần mềm GX Works2. Khi khởi tạo project cần chọn dòng PLC (Q mode); loại CPU (Q13UDV); loại project (Simple Project) và ngôn ngữ lập trình sử dụng trong project (Ladder). Cấu hình như Hình 3.2.

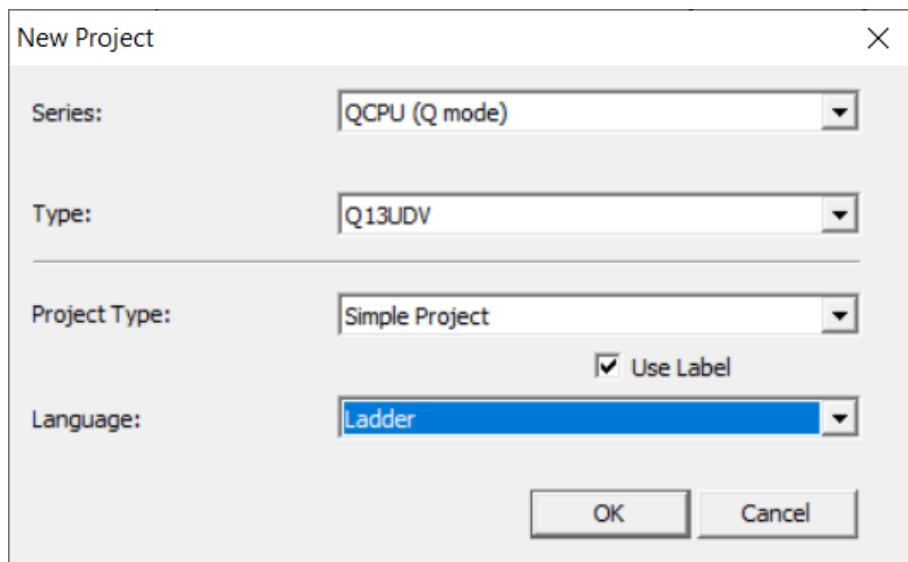


Figure 3.2: Cấu hình New Project

Sau khi đã tạo thành công project mới, cần cấu hình hệ thống PLC tương ứng với phần cứng sử dụng.

1. Cấu hình base unit và các module giống với thiết lập phần cứng như Hình 3.3. Thiết lập thông tin của base unit và vị trí module trong GX Works2 như Hình 3.4 tại *Parameter → PLC Parameter → I/O Assignment*.
2. Cấu hình giao tiếp/kết nối giữa PLC với GX Works2 như Hình 3.5. Bao gồm thiết lập IP cho PLC, giao thức MC Protocol.

Sau khi kết thúc thiết lập, bấm End để lưu thiết lập.



Figure 3.3: Thiết lập phần cứng

Q Parameter Setting

PLC Name | PLC System | PLC File | PLC RAS | Boot File | Program | SFC | Device | I/O Assignment | Multiple CPU Setting | Built-in Ethernet Port Setting |

I/O Assignment(*1)

No.	Slot	Type	Model Name	Points	Start XY
0	PLC	PLC			
1	0(0-0)	Intelligent	QJ61BT11N	32Points	0000
2	1(0-1)	Intelligent	QD77MS16	32Points	0020
3	2(0-2)				
4	3(0-3)				
5	4(0-4)				
6					
7					

Assigning the I/O address is not necessary as the CPU does it automatically.
Leaving this setting blank will not cause an error to occur.

Base Setting(*1)

Main	Base Model Name	Power Model Name	Extension Cable	Slots
Ext.Base1				
Ext.Base2				
Ext.Base3				
Ext.Base4				
Ext.Base5				
Ext.Base6				
Ext.Base7				

Base Mode
 Auto
 Detail

8 Slot Default
12 Slot Default
Select module name

Export to CSV File | Import Multiple CPU Parameter | Read PLC Data

(*1)Setting should be set as same when using multiple CPU.

Print Window... | Print Window Preview | Acknowledge XY Assignment | Default | Check | End | Cancel

Figure 3.4: IO Assignment

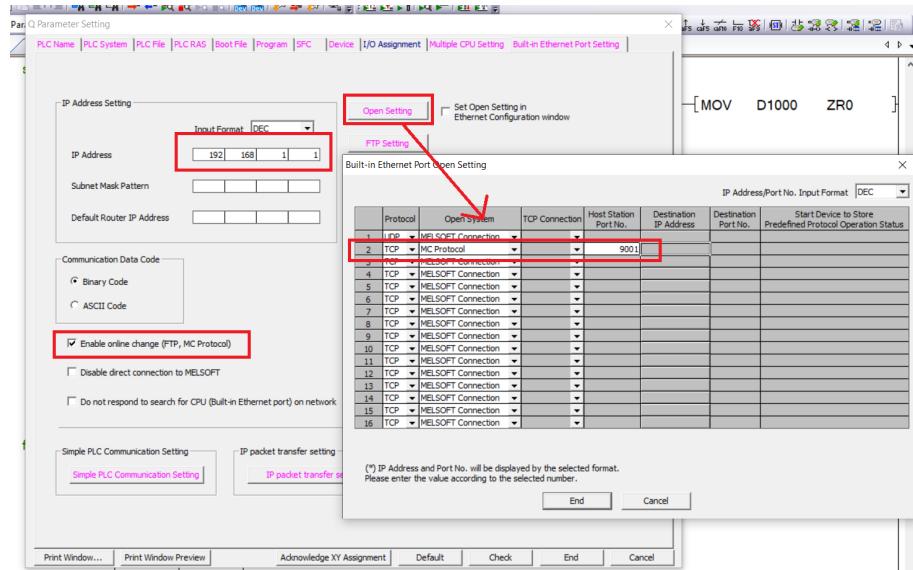


Figure 3.5: Thiết lập kết nối Ethernet

3.3.2. Cấu hình CC-Link giao tiếp giữa PLC và Station

Để có thể kết nối các Stations với PLC qua CC-Link cần thiết lập cả phần cứng và phần mềm.

1. Trạm I/O: Cấu hình các trạm IO là Remote IO Station.
2. Robot Hyundai: Cấu hình robot là Remote Device Station.
3. Robot Yaskawa: Để có thể kết nối Robot với PLC qua CC-Link giúp truyền nhận tín hiệu In/Out và Register, cần phải lắp đặt phần cứng là CCS-PCIE Board vào bộ điều khiển của Robot (YRC1000micro), kết nối dây theo tiêu chuẩn của CC-Link và cấu hình Robot như một Remote Device Station. Minh họa như Hình 3.6

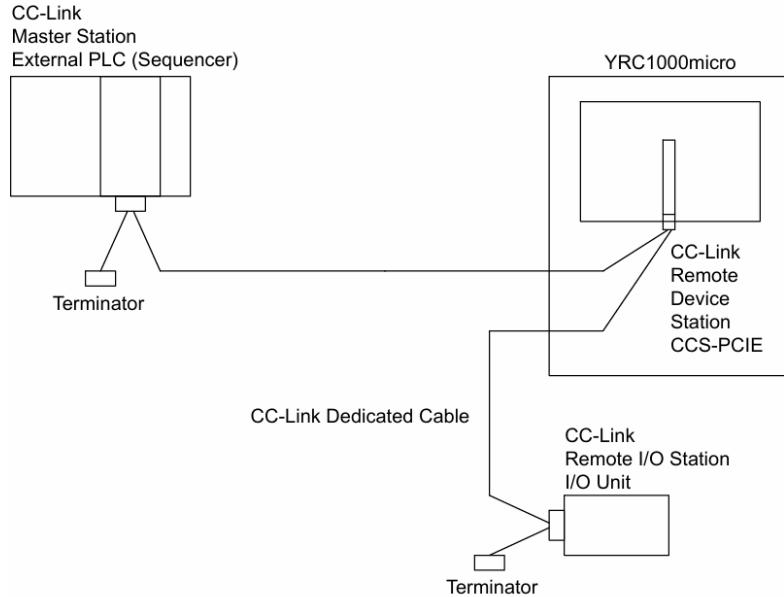


Figure 3.6: Kết nối CC-Link giữa Robot Yaskawa và PLC

4. Cấu hình PLC là Master: Sau khi đã cấu hình xong các trạm Remote I/O và Remote Device Station, tiếp đến là cấu hình giao tiếp CC-Link tại trạm Master (module QJ16BT11N).

Cấu hình Robot Yaskawa làm Slave trong mạng CC-Link

Để có thể giao tiếp cần có CCS-PCIE board, gắn vào phần Optional Slot của bộ điều khiển YRC1000micro. Để thiết lập cần vào Maintenance Mode: Nhấn [MAIN MENU] trong khi bật nguồn YRC1000micro. [MAIN MENU] -> SYSTEM -> SETUP -> OPTION BOARD -> CCS-PCIE. Thiết lập thông số cho board CCS-PCIE như dưới:

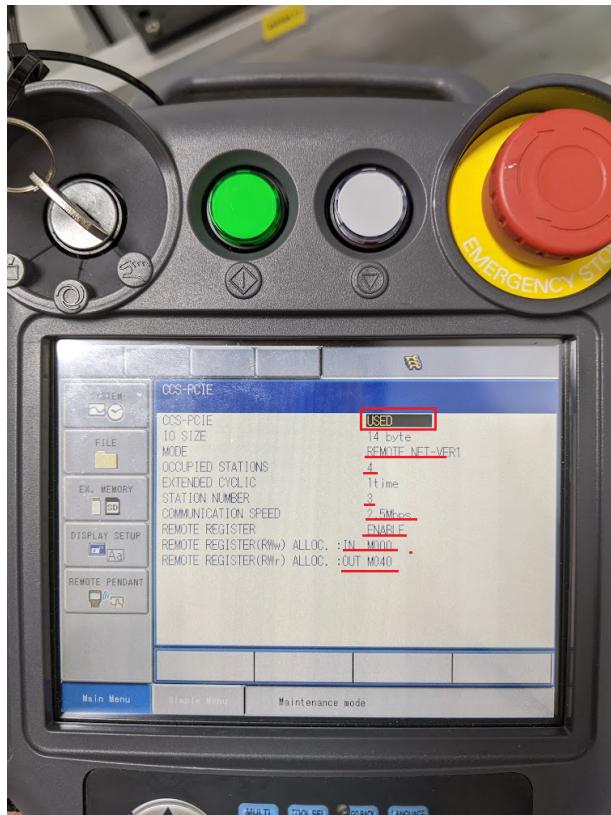


Figure 3.7: Kiểm tra Maintenance Mode

Ấn [ENTER], cho đến màn hình EXTERNAL IO SETUP. Đây là phần thiết lập dữ liệu gửi và nhận (Rx, Ry) trên mạng CC-Link được đưa vào External Input và External Output.

3.3.3. Cấu hình KepserverEX làm server OPC UA

Kết nối KepserverEX với PLC qua card mạng của máy tính. Giao thức được chọn và sử dụng trong phần mềm GX-Works2 và phần mềm KepserverEX phải giống nhau để đảm bảo giao tiếp giữa OPC UA Server với PLC.

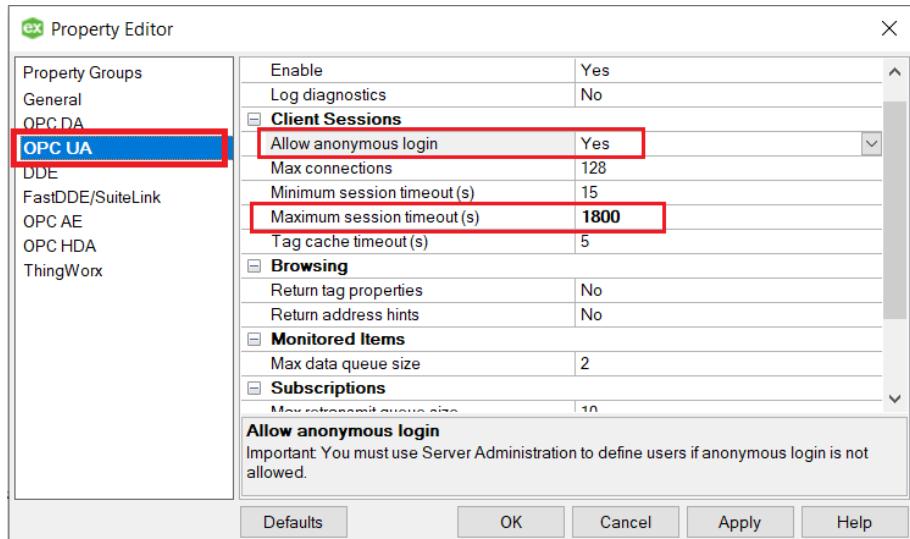


Figure 3.8: Cấu hình Project Kepware

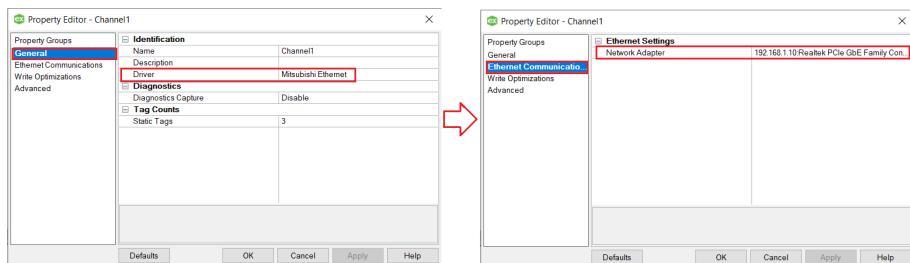


Figure 3.9: Cấu hình Channel

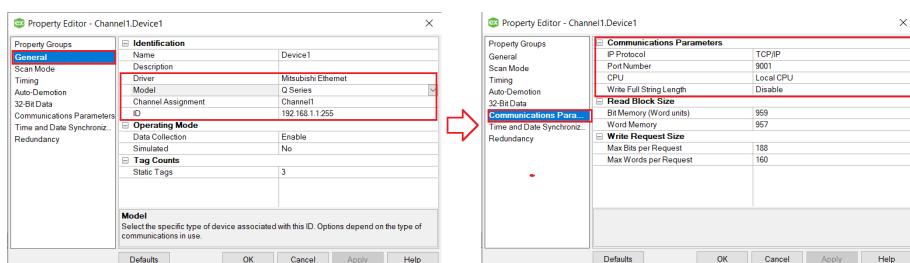


Figure 3.10: Cấu hình Device

3.3.4. Cấu hình GigE Camera Basler ac2500

Kết nối Camera với máy tính qua cổng mạng IP, cần cấu hình IP của camera với IP của máy tính trong cùng lớp mạng.

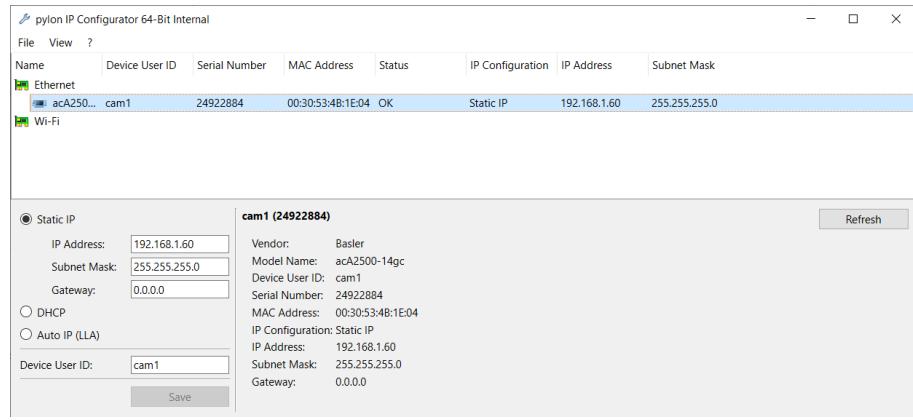


Figure 3.11: Cấu hình IP camera

Tiếp theo là cấu hình thông số ảnh chụp như Gain, Gamma, Exposure time. Có thể sử dụng chức năng Automatic Image Adjustment.

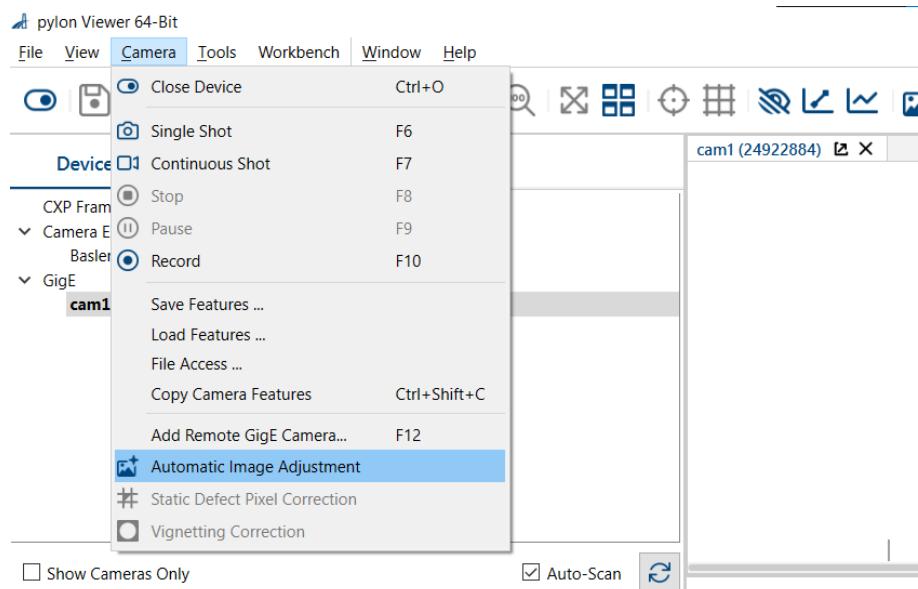


Figure 3.12: Cấu hình ảnh chụp

3.4. Pipeline xử lý ảnh AVI

Hệ thống kiểm tra ngoại quan tự động (Automated Visual Inspection – AVI) vận hành thông qua một chuỗi các bước xử lý ảnh được tổ chức theo dạng pipeline nhằm đảm bảo quá trình kiểm tra diễn ra chính xác, ổn định và nhanh chóng. Pipeline xử lý ảnh của hệ thống có thể được mô tả qua các giai đoạn chính như sau:

3.4.1. Thu nhận hình ảnh

Ở giai đoạn đầu tiên, camera độ phân giải cao hoặc thiết bị ghi hình chuyên dụng được sử dụng để thu nhận ảnh hoặc video của sản phẩm. Chất lượng ảnh đầu vào phụ thuộc vào loại camera, ống kính, khoảng cách chụp và cấu hình hệ thống chiếu sáng. Đây là nguồn dữ liệu cơ bản phục vụ toàn bộ quá trình xử lý phía sau.

3.4.2. Xử lý và tiền xử lý hình ảnh

Sau khi thu nhận, hình ảnh được đưa vào các thuật toán xử lý nhằm tăng cường chất lượng, làm nổi bật đặc trưng quan trọng và giảm nhiễu. Các bước thường bao gồm:

- Cân bằng sáng, tăng tương phản hoặc hiệu chỉnh màu.
- Lọc nhiễu và cải thiện độ nét.
- Chuẩn hóa kích thước, góc xoay hoặc cắt vùng quan tâm (ROI).

Giai đoạn này đảm bảo rằng hình ảnh đầu vào luôn đạt chất lượng ổn định để phục vụ nhận diện lối.

3.4.3. Phân tích ảnh và nhận diện lối

Ở bước này, hệ thống áp dụng các thuật toán xử lý ảnh nâng cao và mô hình học máy để:

- Trích xuất đặc trưng của sản phẩm.
- Phát hiện các bất thường hoặc khuyết tật như vết nứt, thiếu linh kiện, sai lệch vị trí, biến dạng hình học.
- So sánh với hình mẫu hoặc tiêu chuẩn kỹ thuật đã thiết lập.

Thuật toán AI và machine learning giúp hệ thống thích nghi với biến động trong môi trường sản xuất, từ đó cải thiện độ chính xác theo thời gian.

3.4.4. Ra quyết định

Dựa trên các tiêu chí chất lượng đã định nghĩa trước, hệ thống phân loại sản phẩm thành hai nhóm: đạt yêu cầu (OK) hoặc không đạt (NG). Việc ra quyết định được tự động hóa và đảm bảo tính khách quan, loại bỏ hoàn toàn yếu tố chủ quan của con người.

3.4.5. Phản hồi và lưu trữ dữ liệu

Kết quả kiểm tra được ghi nhận và phản hồi trực tiếp đến hệ thống sản xuất để thực hiện các hành động kịp thời như loại bỏ sản phẩm lỗi hoặc điều chỉnh quy trình. Đồng thời, dữ liệu hình ảnh, log lỗi và thống kê được lưu trữ trên cơ sở dữ liệu cục bộ hoặc đám mây để phục vụ phân tích chất lượng, tối ưu hóa dây chuyền và truy vết trong sản xuất.

Pipeline trên giúp hệ thống AVI hoạt động mạch lạc, hiệu quả và có khả năng mở rộng theo yêu cầu thực tế của từng dây chuyền sản xuất.

CHƯƠNG 4. Thực nghiệm và đánh giá

4.1. Giao diện hệ thống (nếu có)

4.2. Kết quả nhận diện và phân loại sản phẩm

4.3. Đánh giá hiệu suất: tốc độ, độ chính xác, độ ổn định

4.4. So sánh với phương pháp thủ công

KẾT LUẬN

CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

[CT1] Hoang Van Manh, Ngoc-Viet Nguyen, Pham Manh Thang (2021), “An innovative method based on Shannon energy envelope and summit navigation for detecting R peaks of noise stress test signals”, *Journal of Electrocardiology*, ISSN: 0022-0736, Elsevier, Vol. 65, pp. 8-17.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

PHỤ LỤC

MỘT SỐ ĐOẠN MÃ NGUỒN

A.1. Mã nguồn thực hiện phép phân tích nhóm

```
1 function cluster_output = cluster_analysis(QRSm, threshold)
2     m = sort(cell2mat(QRSm));
3
4     if length(m)>=2
5         Y = pdist(m');
6         Z = linkage(Y);
7
8         T = cluster(Z, 'cutoff', threshold, 'criterion', 'distance')
9             ;
10
11    [uT,oT] = unique(T, 'first');
12    [~,pos] = sort(oT);
13    cluster_output = cell(1,length(uT));
14
15    for i = uT
16        cluster_output{i} = sort(m(T==pos(i)));
17    end
18
19    else
20        cluster_output = {m};
21    end
22
23 end
```