

Điều khiển Robot tự hành trong tác nghiệp chữa cháy Control Autonomous Mobile Robot for Firefighting Task

Nguyễn Phạm Thục Anh^{1,*}

¹ Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Corresponding author E-mail: anh.nguyenphamthuc@hust.edu.vn

Abstract

Fire plays an indispensable role for humans. However, fire accident is one of the leading hazards endangering human life and health, leads to unpredictable loss to the economy, and destroy the environment. Fire accident may happen anywhere, when fires outbreak will push the firefighters on duty facing with dangers. Research and development of firefighting robots to replace firefighters becomes necessary. In general, firefighting robots are required to be able to move on chaotic and constantly changing terrain, avoid obstacles, detect and approach to fire areas, extinguish fire and save victim. In this research, we have designed and manufactured a belt-driven mobile robot capable of moving on a number of variable terrains, integrated with a machine vision system to detect and identify fires. PLC-based controller is responsible for control the robot to approach the fire areas and avoid obstacles. Experiment work has been conducted and results showed the accuracy of fire detection and an ability of the proposed robot in performing the required firefighting activities.

Keywords: Firefighting robot, Autonomous control, YOLO4, Obstacle avoidance, Fire detection.

Tóm tắt

Lửa đóng vai trò không thể thiếu được với con người. Tuy nhiên hỏa hoạn lại là một trong những thảm họa gây nguy hiểm tới tính mạng và sức khỏe con người, gây thiệt hại không dự đoán trước cho nền kinh tế và phá hủy môi trường. Hỏa hoạn có thể xảy ra bất kỳ lúc nào và bất kỳ ở đâu. Khi đám cháy bùng phát, những người lính cứu hỏa tác nghiệp phải đối diện với rất nhiều nguy hiểm. Nghiên cứu và phát triển các robot chữa cháy để thay thế những người lính cứu hỏa trong các hoạt động dập lửa và trở thành yêu cầu cấp thiết. Yêu cầu của một hệ thống Robot chữa cháy là có khả năng di chuyển trên nhiều địa hình hỗn loạn và thay đổi liên tục, tránh những chướng ngại vật, phát hiện ra và tiếp cận được những vùng lửa cháy, dập cháy và cứu các nạn nhân. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã thiết kế, chế tạo và điều khiển Robot di động dạng bánh đai có khả năng di chuyển trên một số địa hình biến đổi, được trang bị hệ thống thị giác máy để nhận dạng lửa và di chuyển tới vùng lửa, tránh các chướng ngại vật trên đường di chuyển. Các kết quả thử nghiệm ban đầu cho thấy sự chính xác của việc nhận dạng lửa và khả năng của Robot tránh các vật cản trong khi tiếp cận vùng lửa để thực hiện tác nghiệp yêu cầu.

1. Tổng quan về Robot chữa cháy

Hỏa hoạn là một trong những thảm họa lớn gây thiệt hại lớn cho tính mạng và sức khỏe con người, phá hủy tài nguyên thiên nhiên và gây ô nhiễm môi trường. Tại Việt Nam những năm

gần đây, tốc độ đô thị hóa và công nghiệp hóa diễn ra mạnh mẽ dẫn đến số vụ hỏa hoạn cũng tăng lên không ngừng. Theo thông báo của Sở Cảnh sát và phòng cháy Hà Nội, trong năm 2023 xảy ra 3456 vụ cháy nổ khiến 157 người chết, 136 người bị thương và thiệt hại tài sản lên đến 878 tỉ đồng [1]. Khi đám cháy lớn bùng phát, nhiệm vụ của người cứu hỏa là nhanh chóng dập lửa và cứu hộ người ra khỏi khu vực nguy hiểm. Công việc của những người lính cứu hỏa là vô cùng nguy hiểm. Môi trường hỗn loạn trong hỏa hoạn là nguyên nhân chính gây ra cái chết và bị thương của những người bị lửa bao vây. Người lính cứu hỏa cần phải tiếp cận vùng lửa và tiến hành dập lửa trước khi lửa bùng lên không thể kiểm soát. Những người lính cứu hỏa cần phải có đủ thông tin về vùng cháy, mức độ cháy và cả vị trí của những người đang gặp nạn trong thời gian thực để đưa ra quyết định dập lửa và cứu hộ cứu nạn đúng lúc. Đây là công việc rất khó khăn khi tầm nhìn bị hạn chế, môi trường làm việc thay đổi liên tục do khói dày đặc, nhiệt độ cao, tường và trần nhà và các vật dụng khác có thể đổ sập.

Robot là một trong những lĩnh vực tự động hóa phát triển rất nhanh trong những thập kỷ qua. Rất nhiều các hệ thống Robot được phát triển để loại trừ yếu tố con người khỏi những công việc nguy hiểm. Việc nghiên cứu và phát triển các Robot chữa cháy để trợ giúp và thay thế những người lính cứu hỏa trở nên cấp thiết. Những Robot này có thể thâm nhập vào những vùng cháy để kiểm tra tình trạng, thực hiện các hoạt động cứu hộ cứu nạn và dập cháy theo chế độ điều khiển bằng tay hoặc tự động hoàn toàn. Có một số các Robot chữa cháy được phát triển tại Nhật Bản và Mỹ. Ở giai đoạn phát triển đầu tiên, hầu hết các

Robot chữa cháy hoạt động ở chế độ điều khiển từ xa [2,3,4,5,6,7]. Robot Thermite RS3 được sản xuất bởi công ty Howe & Howe Technology-Mỹ là một Robot chữa cháy chuyên dụng, được điều khiển từ xa và có thể di chuyển trong phạm vi 400m. Kết hợp với video quan sát bên trong, Robot này có thể được điều khiển người vận hành di chuyển trên các địa hình phức tạp của đám cháy, đẩy những vật cản ra khỏi đường đi của chúng. Robot Thermite là một trong các Robot đáp ứng được yêu cầu làm việc trong môi trường nguy hiểm và biến đổi của môi trường hoạt động của các vụ cháy [2]. Robot chữa cháy Scrum Force được phát triển tại Nhật Bản và được sử dụng bởi phòng Cảnh sát chữa cháy thành phố Ichihara-Nhật Bản. Đây là Robot di động dạng bánh xe, di chuyển linh hoạt và tương đối nhanh, nhưng khả năng vượt tránh vật cản chưa hiệu quả [3]. Cho đến nay, hầu như chưa có Robot chữa cháy tự động nào được phát triển và tham gia vào tác nghiệp thực tế. Một số mô hình được phát triển trong phòng thí nghiệm, còn rất nhiều hạn chế, hầu hết các nghiên cứu về Robot chữa cháy chủ yếu tập trung giải quyết bài toán xử lý ảnh, chưa quan tâm đến thiết kế phù hợp với địa hình làm việc thực tế và các bài toán chuyển động yêu cầu [8,9,10]. Một số mô hình được phát triển trong phòng thí nghiệm, như mô hình Robot cứu hỏa dạng người SAFFiR được trang bị camera hồng ngoại, tuy nhiên nghiên cứu cũng chỉ dừng lại ở bước thiết kế Robot và thực hiện nhận dạng cháy mà chưa giải quyết bài toán điều khiển Robot thực hiện hoạt động di chuyển và chữa cháy [11].

Nhằm phát triển một hệ thống Robot có khả năng di chuyển trên địa hình phức tạp và hỗn loạn, chúng tôi đề xuất thiết kế và chế tạo robot dạng đai bám đường. Việc sử dụng các loại đai bám đường được chứng minh tăng khả năng linh hoạt di chuyển trên các địa hình phức tạp, các địa hình có độ dốc như cầu thang [12]. Robot có hai chế độ hoạt động là điều khiển từ xa và tự chủ hoàn toàn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung vào việc thiết kế và điều khiển Robot hoạt động tự động tránh vật cản và tiếp cận đám cháy để dập lửa. Công nghệ học sâu deep-learning- cụ thể là công cụ YOLOv4 được ứng dụng trong việc phát hiện lửa và được tích hợp vào hệ thống cho phép thực hiện trong thời gian thực [13]. Bộ điều khiển được thiết kế trên cơ sở bộ điều khiển logic khả trình kết hợp với máy tính chủ. Thuật toán Bug 2 được sử dụng để thiết kế quỹ đạo tránh vật cản cho Robot nhờ các tín hiệu nhận được từ cảm biến siêu âm lắp đặt phía trước và phần hông xe. Các thử nghiệm trên hệ thống cho thấy mô hình YOLOv4 cho nhận dạng lửa với độ tin cậy cao và Robot có khả năng tiếp cận vùng lửa trong khi tránh các chướng ngại vật trên đường di chuyển.

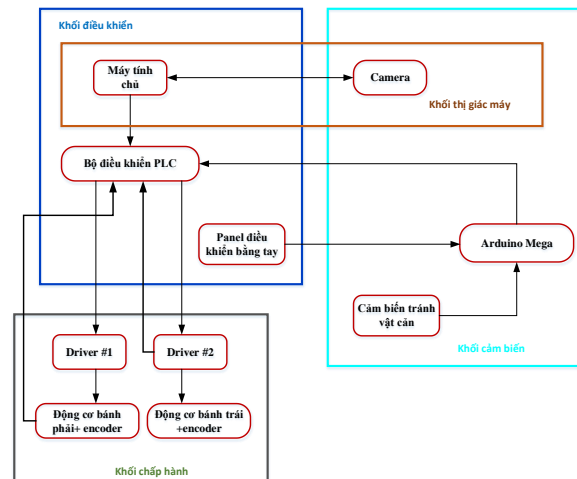
Cấu trúc của bài báo như sau: mục II mô tả thiết kế và nguyên lý làm việc của Robot chữa cháy đề xuất, mục III giới thiệu khối thị giác máy và một số kết quả ứng dụng, mục IV trình bày về kịch bản thử nghiệm và đánh giá, mục V dành cho kết luận và hướng phát triển.

2. Cấu trúc và nguyên lý làm việc của Robot chữa cháy

2.1. Cấu trúc và các phần tử cơ bản của hệ thống Robot chữa cháy đề xuất

Yêu cầu cơ bản của Robot chữa cháy là phát hiện, tiếp cận được vùng lửa, di chuyển và dừng lại tại một khoảng cách thích hợp để dập cháy. Để đáp ứng yêu cầu trên, chúng tôi đề xuất cấu trúc của Robot chữa cháy gồm các khối chức năng

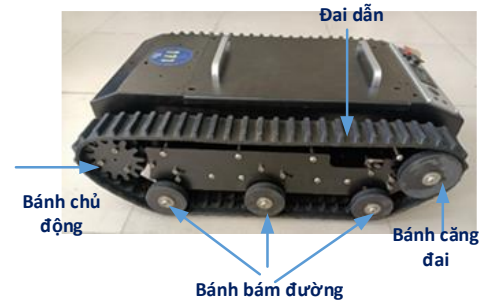
chính như sau: khung cơ khí, khối điều khiển, khối chấp hành, khối thị giác máy và khối cảm biến (Hình 1).



Hình 1: Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống Robot chữa cháy.

2.2. Cấu trúc cơ khí của Robot

Robot chữa cháy được thiết kế có kích thước $0.72 \times 1 \times 0.3$ (m³) với khối lượng 50 kg, nguồn cấp cho Robots hoạt động tối thiểu là 4 giờ, chịu được nhiệt độ trên dưới 300°C (Hình 2).



Hình 2. Thiết kế của Robot.

Cấu trúc cơ khí của hệ thống bao gồm: khung xe, gầm, đai truyền, hai bánh chủ động, hai bánh thụ động và ba cặp bánh bám đường. Khung xe và gầm được làm từ hợp kim thép có phun lớp sơn tĩnh điện để tăng khả năng chịu nhiệt và chống rỉ sét. Hai bánh chủ động được lắp đặt phía sau xe, mỗi bánh được truyền động bởi động cơ một chiều có giảm tốc. Bánh truyền động có các vấu ăn khớp với đai truyền để kéo đai truyền chuyển động. Hai bánh thụ động được bố trí phía trước xe, có nhiệm vụ căng đai, tránh hiện tượng chùng đai. Đai truyền được làm từ vật liệu cao su chịu nhiệt được sử dụng để truyền lực từ bánh chủ động sang các bánh bám đường và bánh căng đai. Nhờ đai truyền này, Robot có khả năng bám mặt đất tốt hơn do diện tích tiếp xúc lớn, phân bố trọng lượng đều hơn và di chuyển trên các địa hình có bề mặt mấp mô, cầu thang dốc hoặc nền đất yếu.

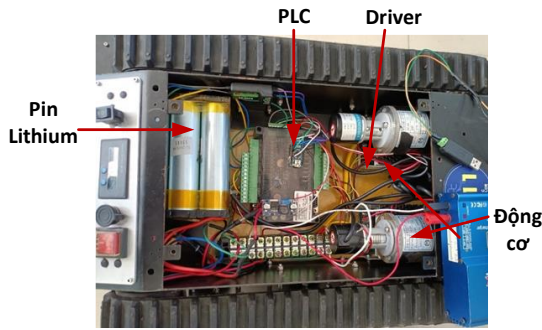
Thông số kỹ thuật cơ bản của Robot được trình bày trên bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản

Các thông số chung	
Tổng khối lượng	50 kg
Kích thước	0.72 (m)x1(m)x0.3(m)
Tốc độ tối đa	0.2m/s
Số giờ hoạt động liên tục tối đa	4 giờ

2.3. Nguồn cấp và hệ truyền động

Nguồn cấp cho hệ thống bộ 8 cell pin lithium có điện áp 24 V và dung lượng 400Ah, có mạch nạp/xả, nhờ đó hệ thống có thể hoạt động liên tục trong 4 giờ. Để truyền động cho hai bánh chủ động, hai động cơ một chiều có giảm tốc được cấp tín hiệu điều khiển từ các drivers. Mỗi động cơ đều có gắn encoder. Trên khung xe có gắn đèn và còi, ngoài ra phía trước và hông xe có gắn các nút dừng khẩn cấp để ngắt nguồn trong trường hợp sự cố. Các thiết bị truyền động và điều khiển được bố trí bên trong của Robot như trên Hình 3.



Hình 3. Các thiết bị truyền động và điều khiển được lắp đặt trong robot.

Các thông số cơ bản của khối truyền động được liệt kê trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số khối truyền động

Khối nguồn	8 cells LIPO 24V, 400Ah
Động cơ truyền động	Động cơ DC có giảm tốc, công suất 100W, điện áp 24V, tốc độ định mức 270 vòng/phút.
Encoder	Độ phân giải 100 xung/vòng, điện áp làm việc 0-30VDC.
Driver	Điện áp cung cấp: 12-40 VDC Dòng điện đầu ra: 0-40A Công suất đầu ra lớn nhất: 400W Điện áp điều khiển tương tự: 0-5VDC Tần số PWM: 13kHz Chế độ đảo chiều động cơ

2.4. Khối cảm biến

Trong hệ thống Robot này, encoder là một thiết bị được sử dụng để xác định tốc độ quay của động cơ và tính toán quãng đường mà robot đã đi được. Thông tin này được gửi đến bộ điều khiển vận tốc và vị trí, giúp cho hệ thống có thể điều chỉnh tốc độ và vị trí di chuyển của robot một cách chính xác. Các thông số của Encoder được xác định trong bảng 2.

Cảm biến siêu âm SRF05 được lựa chọn để phát hiện và xác định khoảng cách đến vật cản. Thông tin này được gửi đến và xử lý trên Arduino Mega và trả lại các vận tốc cần thiết cho khối điều khiển chính là PLC. Cảm biến này có góc quét 15° và phạm vi phát hiện vật cản từ 2 cm đến 450 cm.

Camera độ sâu cũng là một thiết bị cảm biến hình ảnh được sử dụng trong hệ thống. Các thông số cụ thể của Camera được trình bày trong phân thị giác máy.

2.5. Khối điều khiển

Robot được phát triển để làm việc ở cả hai chế độ: điều khiển từ xa và tự động. Việc điều khiển thủ công được thực hiện thông qua tay cầm không dây kết nối với bộ thu tín hiệu đặt trong robot. Chức năng điều khiển tự động được vận hành

thông qua tín hiệu trả về máy tính từ camera, truyền thông các tín hiệu xuống PLC bằng giao thức modbus qua cổng RS485.

2.5.1. Chế độ điều khiển từ xa

Thiết bị điều khiển từ xa bao gồm thiết bị tay khiển Flysky 6 kênh làm nhiệm vụ phát tín hiệu và thiết bị thu Fs-ia6b. Bộ thu tín hiệu được sử dụng để nhận tín hiệu từ tay khiển, cho phép người điều khiển robot di chuyển trong phạm vi người điều khiển có thể quan sát. Ngoài ra, bộ thu tín hiệu tay cầm còn cho phép chuyển đổi giữa chế độ điều khiển bằng tay và chế độ tự động, giúp cho người điều khiển có thể linh hoạt thay đổi chế độ điều khiển tùy theo tình huống.

Do bộ điều khiển sử dụng PLC không đọc được dữ liệu từ bộ thu tín hiệu một cách trực tiếp, vì điều khiển Arduino mega 2560 được sử dụng để đọc được tín hiệu này và gửi thông tin về cho PLC.



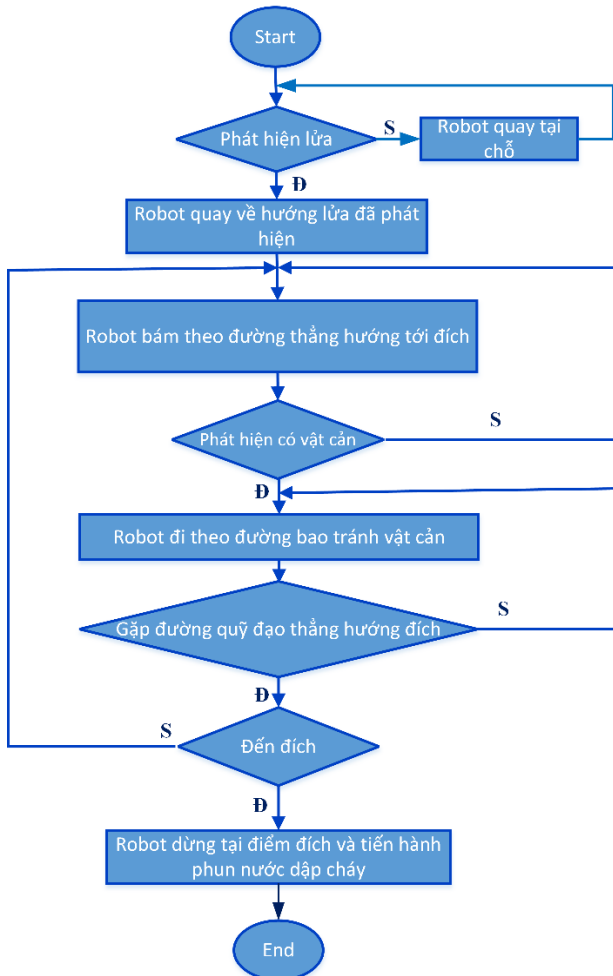
Hình 4. Tay khiển (a) và thiết bị thu tín hiệu (b).

2.5.2. Chế độ điều khiển tự động

Bộ điều khiển tự động bao gồm máy tính chủ và PLC FX3U 24MT 6AD 2DA với kết nối RS485 để điều khiển hoạt động của hai động cơ truyền động bánh chủ động, di chuyển Robot tiếp cận vùng lửa và tránh các chướng ngại vật trên đường đi. Máy tính chủ được cài đặt bộ phát hiện lửa được huấn luyện trên YOLOv4, nhận dữ liệu vật cản từ các cảm biến siêu âm, thực hiện thuật toán xác định vị trí hiện tại của Robot, thiết kế quỹ đạo tránh vật cản. Thông tin này cùng với các thông tin từ các cảm biến khác được gửi đến PLC để xử lý và tính toán để tạo ra tín hiệu điều khiển cho driver, giúp điều khiển hai động cơ của hệ thống hoạt động một cách chính xác và ổn định. PLC FX3U 24MT 6AD 2DA được lựa chọn do cung cấp đủ các đầu ra tương tự để điều khiển hai động cơ truyền động bánh, các đầu vào đọc tín hiệu từ các encoder, các đầu ra số để điều khiển chiều quay của các động cơ, cổng RS485 để giao tiếp với máy tính.

Chu trình hoạt động của Robot được mô tả trên hình 5. Bắt đầu chu trình, Camera đặt trên Robot sẽ chụp ảnh và gửi thông tin về máy tính chủ để nhận dạng và khoanh các vùng lửa nhận dạng được trên ảnh, sau đó tính toán góc nghiêng giữa camera và tâm vùng cháy, tọa độ của tâm vùng cháy được chuyển xuống PLC (đây là nhiệm vụ của khối thị giác máy sẽ được trình bày chi tiết trong mục sau). Dựa vào các thông tin này, PLC sẽ xử lý, tính toán đưa tín hiệu điều khiển xuống các driver để điều khiển các động cơ truyền động bánh chủ, đưa Robot tiếp cận vùng cháy và dừng lại tại khoảng cách an toàn trước đám cháy (quy ước là vị trí đích). Giao tiếp được giữa máy tính và PLC là modbus RTU thông qua cổng RS-485. Giao thức Modbus được sử dụng phổ biến nhất là Modbus RTU trên đường truyền vật lý RS-485. Modbus RTU là một giao thức truyền nối tiếp tương đối đơn giản

dựa trên giao thức UART. Dữ liệu được truyền theo byte, tốc độ baudrate thường được cấu hình trong khoảng từ 1200bps đến 115200bps. Để theo dõi dữ liệu thành ghi tại PLC từ PC và đồng bộ ngôn ngữ Python sử dụng phân lập trình theo phát hiện vật thể, ngôn ngữ Python và bộ thư viện Easymodbus được sử dụng.



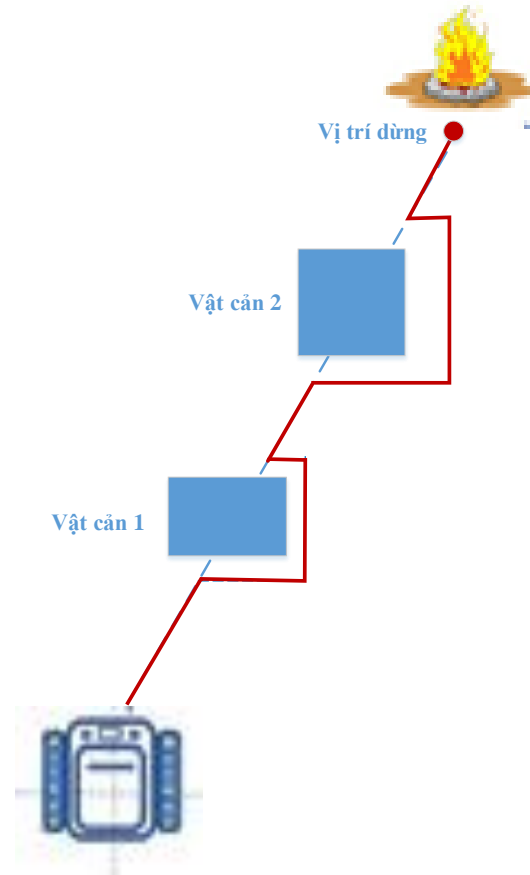
Hình 5. Lưu đồ di chuyển tiếp cận lửa và tránh vật cản của Robot trong chế độ tự động.

Quỹ đạo chuyển động sẽ được hoạch định sơ bộ ban đầu là đường thẳng từ vị trí hiện tại của Robot tới vị trí đích trước đám cháy. Nếu trên đường đi robot phát hiện vật cản, robot dựa vào tín hiệu các cảm biến siêu âm sẽ chuyển hướng và đi theo đường bao của vật cản theo thuật toán Bug2 [8]. Để xác định vật cản, năm bộ cảm biến siêu âm SRF05 được gắn phía trước và hông của Robot. Trong quá trình di chuyển, robot liên tục tính toán vị trí tọa độ của chính nó dựa trên thông tin nhận được từ các encoder. Khi quỹ đạo vòng theo đường bao vật cản cắt quỹ đạo thẳng ban đầu, robot sẽ xoay hướng và bám theo quỹ đạo thẳng. Quá trình vòng theo đường bao sẽ tiếp tục nếu Robot gặp các vật cản khác cho đến khi đạt tới vị trí đích. Minh họa về di chuyển tiếp cận đám cháy và tránh vật cản được mô tả trên Hình 6.

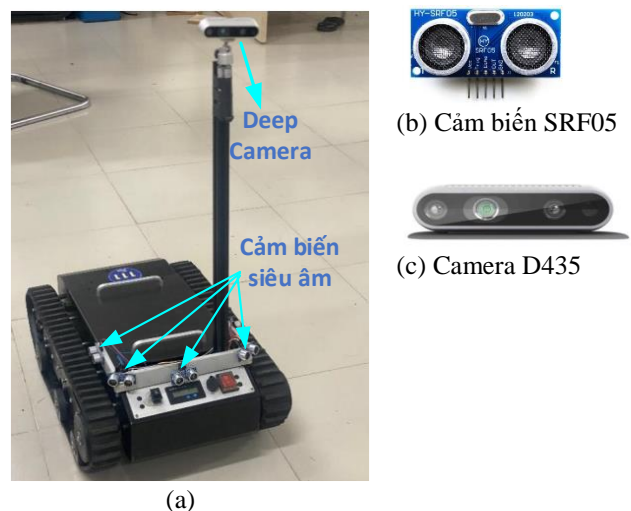
3. Khởi thị giác máy

Khởi thị giác máy được thiết kế bao gồm máy tính chủ và camera D435i (Hình 7c). Camera D435i sử dụng công nghệ đo độ sâu, có phạm vi góc quan sát $69^\circ \times 42^\circ (\pm 3^\circ)$, độ phân

giải tối đa là 1920×1080 , tốc độ khung hình 30FPS và phạm vi hoạt động từ 30cm đến 500 cm. Camera được sử dụng để lấy hình ảnh thời gian thực để làm đầu vào cho bài toán nhận dạng các vật thể, ở đây là lửa. Từ các hình ảnh thu thập được từ camera, khối điều khiển có thể xác định khoảng cách và góc đến ngọn lửa và từ đó có thể đưa ra các tín hiệu tới PLC để điều khiển cho robot chuyển động hướng đến vùng lửa.



Hình 6. Chuyển động hướng về phía vùng lửa được phát hiện và tránh vật cản theo thuật toán Bug 2.

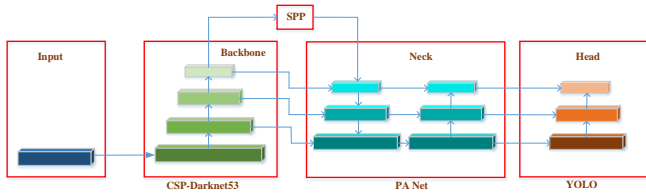


Hình 7. Robot được trang bị Camera và các cảm biến tránh vật cản.

Khởi thị giác được sử dụng trong hệ thống để thực hiện việc nhận dạng vùng lửa. Camera độ sâu 435i chụp và gửi ảnh về máy tính chủ để xác định tọa độ vùng cháy trong thời gian thực và truyền thông tin tới bộ điều khiển chuyển động PLC.

Trong nghiên cứu này, mạng YOLOv4 được sử dụng để nhận dạng vùng lửa. Kiến trúc được sử dụng trong YOLOv4 bao gồm 3 thành phần chính như trên hình 8:

- Xương sống (Backbone): CSPDarkNet53
- Cổ (Neck): SPP (Spatial Pyramid Pooling) module, PANet
- Head: YOLOv3



Hình 8. Cấu trúc của bộ nhận dạng YOLOv4.

Tương tự như các bộ nhận dạng khác, YOLOv4 nhận ảnh đầu vào và trích xuất các đặc trưng thông qua các lớp nơ-ron tích chập của phần xương sống (backbone). Phần xương sống này được xây dựng từ CSPDarknet53 bao gồm 106 lớp tích chập và kết nối dư, có nhiệm vụ trích xuất đặc trưng của hình ảnh đầu vào khi thu nhỏ dần kích thước của ảnh. Khối cổ (neck) sử dụng SPP Block và PANet có nhiệm vụ trộn và kết hợp bản đồ đặc trưng đã được học thông qua quá trình trích xuất đặc trưng và quá trình nhận dạng. Khối đầu (head) được sử dụng để tổng hợp và tương tác với bản đồ đặc trưng với các tỷ lệ khác nhau để nhận dạng vật thể với các kích thước khác nhau. Việc nhận dạng các vật thể trong các ảnh diễn ra ở phần đầu của YOLO.

Quá trình huấn luyện mạng nhận dạng gồm các bước như sau:

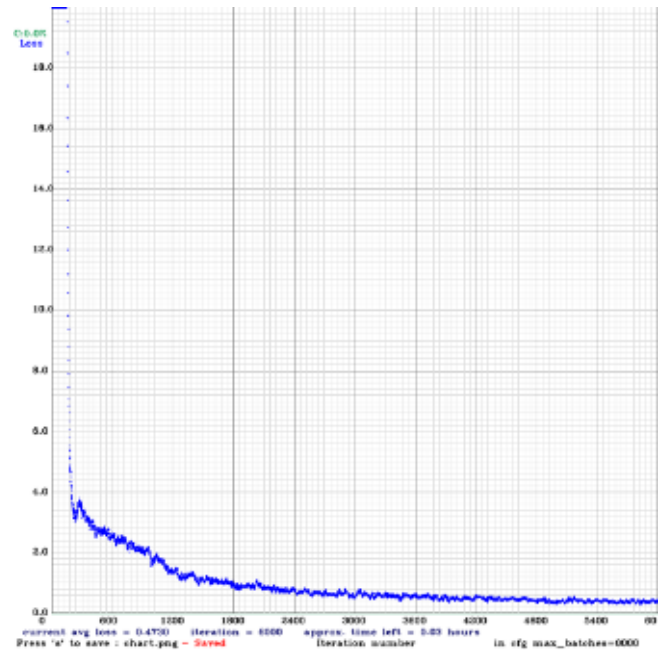
Bước 1. Thu thập dữ liệu: khoảng 2500 ảnh lửa được thu thập và sau đó sử dụng kỹ thuật tăng cường để đa dạng dữ liệu (Hình 9). Các ảnh được lấy từ nhiều nguồn khác nhau như trên tập dữ liệu của Kaggle, ảnh do Sở Cảnh sát Phòng cháy chữa cháy cung cấp và ảnh tự chụp với các điều kiện thời tiết khác nhau, các khu vực khác nhau và tại các thời điểm khác nhau trong ngày để đảm bảo sự đa dạng của dữ liệu.



Hình 9. Một số ảnh lửa thu thập và tăng cường.

Bước 2. Gán nhãn: sử dụng công cụ LabelImg tạo một hình hộp (box bounding) bao quang các vùng lửa trong tất cả các ảnh dữ liệu với ghi chú “Fire”. Sau khi gán nhãn xong, chúng ta sẽ có file .txt ghi lại tất cả các thông tin về lửa trong tất cả các ảnh.

Bước 3. Huấn luyện mô hình trên YOLOv4
Sử dụng Google Colab với cấu hình GPU Tesla P100 với 12GB RAM, trên môi trường Python 3, Torch 1.7 để huấn luyện mô hình. Các dữ liệu thu thập chia thành ba tập huấn luyện (train), đối sánh (val) và kiểm tra (test) theo tỷ lệ 70:20:10.



Hình 10. Hàm tổn thất của mô hình sau khoảng 6000 vòng train.

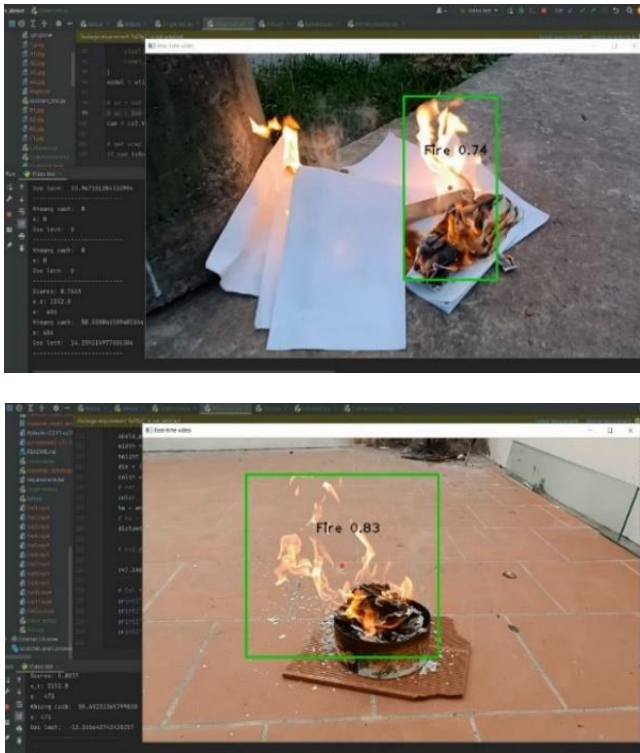
Học chuyển giao (Transfer learning) được áp dụng để học các trích xuất đặc trưng từ dữ liệu và tinh chỉnh (fine-tuning) trên đặc tính của ảnh lửa. Mô hình tiền huấn luyện được lấy từ Yolo4-custom với tốc độ học (learning rate) là $1e^{-3}$ và lượng ảnh mẫu dữ liệu trong một lần huấn luyện (batch size) bằng 32. Hiệu quả của mô hình huấn luyện được đánh giá qua hàm tổn thất biểu diễn sai lệch giữa nhãn do mô hình đang dự đoán so với nhãn thực. Đồ thị hàm tổn thất (loss function) thu được như trên Hình 10.

Kết quả hàm loss đạt giá trị bão hòa và thay đổi không đáng kể từ vòng thứ 5000. Để tránh hiện tượng quá khớp, đó là mô hình nhận dạng quá chi tiết vào các dữ liệu huấn luyện, làm mất đi sự đa dạng khi nhận dạng đối tượng với nền và góc chụp khác nhau, việc huấn luyện mô hình sẽ dừng lại sau 6000 vòng huấn luyện. Kết quả của quá trình huấn luyện là một mạng Nơ-ron với các trọng số đã được cập nhật để có thể phát hiện và nhận dạng lửa. Để kiểm tra độ chính xác của mô hình, chúng tôi đã kiểm thử mô hình trên một số ảnh trên tập test (Hình. 11) và ảnh chụp từ camera gắn trên Robot được chuyển về máy tính trong thời gian thực (Hình 11).



Hình 11. Các kết quả nhận dạng một số ảnh trong tập test trên mô hình đã huấn luyện.

Kết quả nhận dạng một số ảnh trong tập kiểm tra được thể hiện trên Hình 12.

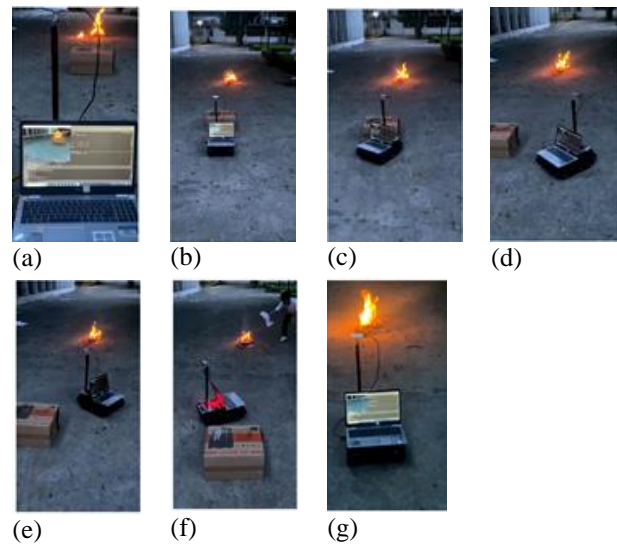


Hình 12. Kết quả nhận dạng vùng lửa trong thời gian thực từ ảnh chụp và truyền từ camera về máy chủ.

Có thể thấy khi ảnh có độ sáng, vùng lửa rõ ràng thì độ tự tin (confidence score) lớn ($=1$) và khi ảnh mờ hơn thì độ tin cậy giảm đi ($=0.98$). Hình 12 cho thấy kết quả nhận dạng trong thời gian thực. Camera gắn trên Robot gửi video về máy tính chủ, kết quả nhận dạng cho thấy mô hình huấn luyện nhận dạng được các vùng lửa trên video với độ chính xác cao. Với kết quả này, hoàn toàn có thể tích hợp khối thị giác máy vào hệ thống Robot để thực hiện bài toán yêu cầu.

4. Thử nghiệm và kết quả

Để kiểm tra khả năng nhận dạng lửa và tiếp cận chính xác của Robot, một số thí nghiệm được thực hiện. Kịch bản và kết quả thử nghiệm được thể hiện trên Hình 13. Robot được điều khiển từ xa tới hiện trường có đám cháy. Trong kịch bản này, Robot cách đám cháy 10m và nghiêng với đám cháy khoảng 30 độ. Đầu tiên, Robot sẽ quay tại chỗ để khối thị giác máy phát hiện và nhận dạng vùng lửa, khi vùng lửa được phát hiện, máy tính chủ chạy chương trình xác định góc lệch hướng giữa Robot với tâm lửa và vị trí của tâm vùng lửa. Robot sẽ quay một góc lệch để hướng về vùng lửa (Hình 13.a). Quỹ đạo toàn cục được xác lập là đường thẳng nối vị trí thực tế của Robot tới vị trí trước vùng lửa một khoảng cách an toàn là 40 cm. Robot sẽ chuyển động theo đường thẳng (Hình 13. b). Khi có chuông ngại vật xuất hiện, Robot sẽ dừng lại và xoay hướng và vận chuyển theo đường bao quanh vật cản (Hình 13. c,d). Robot tiếp tục di chuyển xung quanh đường bao cho đến khi gặp quỹ đạo thẳng ban đầu sẽ dừng lại (13. e) và quay hướng để bám theo quỹ đạo thẳng (13.f) và dừng lại trước vùng cháy 40 cm (13.g) để chuẩn bị dập cháy.



Hình 13. Kết quả thực nghiệm tránh vật cản và tiếp cận vùng cháy.

Kết quả thực nghiệm cho thấy khả năng nhận dạng chính xác vùng lửa của hệ thống thị giác máy và tính hiệu quả của hệ thống điều khiển chuyển động Robot tiếp cận chính xác vùng lửa.

5. Kết luận

Robot chữa cháy được thiết kế trong nghiên cứu này có dạng đai truyền bánh đường và cấu trúc phù hợp để di chuyển linh hoạt và làm từ các vật liệu chịu nhiệt, phù hợp với môi trường khắc nghiệt của các vụ cháy. Khối thị giác máy trên cơ sở bộ nhận dạng YOLOv4 có khả năng nhận dạng và phát hiện các vùng cháy với độ chính xác cao trong thời gian thực. Robot được trang bị các cảm biến siêu âm để tránh có khả năng tránh được các vật cản trên quãng đường di chuyển về phía các vùng cháy. Khối điều khiển sử dụng PLC và máy tính chủ được thiết kế để thực hiện di chuyển Robot tiếp cận chính xác vùng cháy nhận dạng được. Các kết quả thử nghiệm cho thấy Robot đã bước đầu đáp ứng các yêu cầu cơ bản trong ứng dụng dập cháy. Trong các nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ tiếp tục nâng cao tính hiệu quả, độ chính xác và tốc độ hoạt động của bộ nhận dạng của khối thị giác máy và khối cảm biến tránh vật cản, phát triển hệ thống Robot chữa cháy có thể làm việc trong các môi trường thực tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) trong đề tài mã số T2022-PC-004.

Tác giả trân trọng cảm ơn các kỹ sư Nguyễn Quang Nhã, Nguyễn Trường Khánh, Nguyễn Viết Hải, Nguyễn Văn Quân, Trần Tuấn Anh và nhóm AI Robotics- Đại học Bách khoa Hà Nội đã tham gia và hỗ trợ kỹ thuật cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] <https://baotintuc.vn/phap-luat/thiet-hai-ve-chay-no-trong-nam-2023-len-den-878-ty-dong-20240105163328649.html>
- [2] Kiran, Keerthana Krisnan, Meghana M, Nikitha, Sindhu "A review on Fire Fighting Robot", *International Research Journal of Engineering and Technology* (2022), pp.3623–3626.

- [3] Sampath, B. Swetha. "Automatic fire extinguisher robot." *2011 8th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, pp.215-218. IEEE, 2011.
- [4] Aliff, Mohd, M. Yusof, Nor Samsiah Sani, and Azavitra Zainal, "Development of firefighting robot (QROB)." *Development* 10, no. 1, 2019.
- [5] Phyo Wai Aung, Wut Yi Win "Remote Controlled Fire Fighting Robot", *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, pp. 4830-4835, 2014.
- [6] Jianwei Zao, Zhiwei Zhang, Shengyi Liu, Yuanhao Tao, Yushuo Liu, "Design and Research of an Articulated Tracked Firefighting Robot", *Sensor* 2022, 22, 5086.
- [7] V. Mangayakarasi, "Remote Controlled Fire Fighting Robot", *International of Trend in Scientific Research and Development*, 2018, pp. 820-826.
- [8] C.-B. Liu, N. Ahuja, "Vision based fire detection", *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, 2004, pp. 134-137.
- [9] Jong-Hwan Kim, Seongsik Jo, and Brian Y. Lattimer, "Feature Selection for Intelligent Firefighting Robot Classification of Fire, Smoke, and Thermal Reflections Using Thermal Infrared Images", *Journal of Sensors Volume 2016*, Article ID 8410731, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8410731>.
- [10] J Jalani , D Misman , A S Sadun and L C Hong, "Automatic fire fighting robot with notification", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 637, 2019, pp. 1-5.
- [11] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," *ArXiv Prepr. ArXiv200410934*, 2020.
- [12] S. Hoang, A. P. T. Nguyen and N. X. Nguyen, "Designing and Control Track-Belt Robot for Firefighting Task," 2023 7th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS), Wuhan, China, 2023, pp. 53-57, doi: 10.1109/ICRAS57898.2023.10221617.
- [13] Saif, A., Muneer, G., Abdulrahman, Y., Abdulbaqi, H., Abdullah, A., Ali, A., & Derhim, A. (2022). Developing a prototype of fire detection and automatic extinguisher mobile robot based on convolutional neural network. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(1(68)), 15-23. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.269861>