

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU, THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH ROBOT LỌC VỐT DẦU TRÊN MẶT NƯỚC

Trần Ân Minh¹, Nguyễn Phan Bảo Như¹, Lâm Ngọc Cóm²

TÓM TẮT

Ô nhiễm dầu trên mặt nước là một trong những vấn đề môi trường đáng quan tâm hiện nay, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng nguồn nước và hệ sinh thái thủy sinh. Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế và chế tạo robot lọc vớt dầu trên mặt nước có khả năng điều khiển từ xa, giám sát hoạt động thông qua camera và thực hiện thu gom dầu bằng cơ cấu bánh quay. Hệ thống sử dụng công nghệ truyền thông không dây NRF24L01, kết hợp vi điều khiển ESP32 Devkit V1 và Arduino Nano để điều khiển và giám sát hoạt động. Kết quả thử nghiệm cho thấy robot có khả năng nổi ổn định, di chuyển trên mặt nước, thu gom dầu và truyền dữ liệu vận hành về thiết bị điều khiển. Nghiên cứu góp phần đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ robot trong hỗ trợ xử lý ô nhiễm môi trường nước.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Môi trường nước giữ vai trò đặc biệt quan trọng đối với đời sống con người và sự phát triển của hệ sinh thái. Tuy nhiên, cùng với quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa, tình trạng ô nhiễm dầu tại các sông, hồ và vùng nước nội địa ngày càng gia tăng. Dầu phát sinh từ hoạt động sản xuất công nghiệp, vận hành máy móc, phương tiện thủy hoặc các hoạt động dân sinh có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng nguồn nước và môi trường sinh thái.

Hiện nay, việc xử lý dầu tràn chủ yếu dựa vào các biện pháp thủ công hoặc sử dụng vật liệu hấp phụ, đòi hỏi nhiều nhân lực, thời gian

và chi phí. Do đó, việc nghiên cứu các thiết bị hỗ trợ thu gom dầu theo hướng tự động hóa là cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả xử lý ô nhiễm môi trường nước.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nhóm nghiên cứu thực hiện đề tài “Nghiên cứu và chế tạo robot lọc vớt dầu trên mặt nước” nhằm xây dựng mô hình robot có khả năng điều khiển từ xa, giám sát hoạt động và hỗ trợ thu gom dầu trên mặt nước.

Bắt đầu từ tháng 6 năm 2025, nhóm nghiên cứu của các học sinh và giáo viên Trường THPT chuyên Lý Tự Trọng, thành phố Cần Thơ đã thu được những kết quả bước đầu đáng khích lệ.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG

2.1. Nguyên lý thu gom dầu

Robot được thiết kế dựa trên đặc tính dầu có khối lượng riêng nhỏ hơn nước nên nổi trên bề mặt. Hệ thống thu gom sử dụng tám bánh quay liên tục tiếp xúc với mặt nước để đưa lớp dầu loãng lên phía trên.

Dầu sau khi được thu gom sẽ được dẫn vào hai thùng chứa bố trí trên thân robot. Trong quá trình này, hệ thống rãnh thoát và lưới lọc được sử dụng để tách nước khỏi dầu. Phần nước được trả lại môi trường, trong khi dầu được giữ lại trong khoang chứa riêng biệt.

2.2. Công nghệ truyền thông không dây

Hệ thống điều khiển sử dụng mô-đun NRF24L01 hoạt động trên băng tần 2,4 GHz. Mô-đun này cho phép truyền nhận dữ liệu giữa tay điều khiển và robot với mức tiêu thụ năng lượng thấp, tốc độ truyền dữ liệu cao và khả năng tích hợp thuận tiện với các vi điều khiển.

Khi người vận hành thực hiện thao tác điều khiển, dữ liệu được mã hóa và truyền đến robot. Bộ thu trên robot tiếp nhận tín hiệu, chuyển tới bộ xử lý để điều khiển các cơ cấu chấp hành. Đồng thời, robot gửi các thông tin vận hành về tay điều khiển nhằm phục vụ giám sát từ xa.

2.3. Hệ thống xử lý và điều khiển

¹Học sinh, ²Giáo viên Trường THPT chuyên Lý Tự Trọng, thành phố Cần Thơ.

Tay điều khiển sử dụng vi điều khiển ESP32 Devkit V1 để xử lý tín hiệu từ các nút nhấn, giao tiếp với màn hình HMI và thực hiện truyền nhận dữ liệu không dây với robot.

Trên robot, Arduino Nano được sử dụng làm bộ điều khiển trung tâm. Vi điều khiển này đảm nhận nhiệm vụ tiếp nhận dữ liệu từ mô-đun NRF24L01, xử lý tín hiệu từ các cảm biến và điều khiển các cơ cấu chấp hành.

Hệ thống giám sát gồm màn hình HMI UART 2.8 inch dùng để hiển thị các thông số vận hành như tọa độ GPS, trạng thái hệ thống và mức dầu trong thùng chứa. Đồng thời, robot được tích hợp camera FPV kết hợp màn hình Hawkeye giúp truyền hình ảnh với độ trễ thấp, hỗ trợ quan sát hiện trường trong quá trình vận hành.

Để theo dõi lượng dầu trong thùng chứa, hệ thống sử dụng phao cảm biến mức nước CTP5210. Các tín hiệu cảm biến được truyền về bộ điều khiển nhằm phục vụ quá trình vận hành và giám sát.

2.4. Tính toán, lựa chọn một số thông số

2.4.1. Tính toán thể tích phao nổi của Robot

Robot được đặt trên hệ phao nổi trên mặt nước, do đó điều kiện để Robot nổi được trên mặt nước được xác định dựa trên lực đẩy Acsimet như sau:

$$\rho_{\text{nước}} V_{\text{chìm}} \geq P_{\text{Robot}} \quad (1)$$

Khối lượng toàn bộ linh kiện và các thiết bị lắp trên phao dự kiến khoảng 12kg. Như vậy $P_{\text{Robot}} = 120\text{N}$; khối lượng riêng của nước: $\rho_{\text{nước}} = 10000\text{N/m}^3$.

Thay số vào ta xác định được $V_{\text{chìm}} = \frac{240}{10000} = 0,024\text{m}^3$

Để Robot ổn định cần lắp 2 phao hai bên, do đó mỗi phao sẽ chịu một nửa thể tích chìm để tính toán:

$$V'_{\text{chìm}} = \frac{V_{\text{chìm}}}{2} = \frac{0,024}{2} = 0,012\text{m}^3$$

Chọn chiều dài của phao là 0,6m khi đó xác định được tiết diện phao là hình chữ nhật có chiều dài 600mm; rộng 200mm và cao 200mm (giả sử phao chìm 50%).

2.4.2. Tính toán, lựa chọn động cơ truyền động chân vịt

Để Robot di chuyển được trên mặt nước thì lực đẩy của chân vịt phải đủ lớn. Lực đẩy được tính toán thông qua lực cản của nước khi Robot di chuyển. Giả sử robot di chuyển với vận tốc $v = 1\text{m/s}$, hệ số cản của nước $C_d = 0,6$, diện tích cản $A = 0,02\text{m}^2$, lực cản thủy động:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 = 0,5 * 1000 * 0,6 * 0,02 * 1^2 = 6\text{N}$$

=> Lực đẩy yêu cầu $F_{yc} = 6 * 2 = 12\text{N}$.

Công suất trục cần thiết (hiệu quả chân vịt 0.6): $P = \frac{F_{yc} * v}{\eta} = \frac{12 * 1}{0,6} = 20\text{W}$.

Như vậy để đảm bảo công suất và kích thước nhỏ gọn, phù hợp với nguồn điện từ pin mặt trời, chúng em lựa chọn động cơ điện 1 chiều 12V loại RS-755 để truyền động trực tiếp cho trục cánh vịt di chuyển của Robot.

2.4.3. Tính toán, lựa chọn động cơ truyền động đĩa thu gom dầu

Sử dụng động cơ JGB-37 được sử dụng để quay 8 bánh tách dầu nhờ khả năng cung cấp mô-men xoắn cao và tốc độ ổn định. Bán kính mỗi bánh là: $r = 50\text{mm} = 0.05\text{m}$

Tốc độ tuyến tính mong muốn tại mép bánh: $v = 0.2\text{m/s}$

Khi đó, tốc độ quay của bánh được tính theo công thức:

$$n = \frac{v}{2 * \pi * r} * 60 = \frac{0.2}{2 * \pi * 0.05} * 60 = 38.2 \text{ vòng/phút}$$

Lực kéo cần thiết tại mép mỗi bánh để kéo dầu là $F = 1.5\text{N}$, mô-men của một bánh là:

$$T_1 = F * r = 1.5 * 0.05 = 0.075\text{N/m}$$

Tổng mô-men cho 8 bánh: $T_{\text{tổng}} = 8 * T_1 = 0.6\text{N/m}$

Công cơ học tại trục bánh: $A = T_{\text{tổng}} * \omega = 0.6 * 2\pi * \frac{38.2}{60} = 2.4\text{W}$

Xét hiệu suất cơ khí và điện ước lượng là 0.6 hiệu suất $\eta_{gb} = 0.8$, từ đó công suất điện cần thiết là:

$$P_{\text{điện}} = \frac{A}{n_{gb} \cdot n_m} = \frac{2.4}{0.8 \cdot 0.6} = 5W.$$

2.4.4. Tính toán, lựa chọn bơm dầu

Lựa chọn 2 máy bơm mini 12V để thực hiện nhiệm vụ hút dầu vào thùng chứa và hút dầu ra khỏi thùng chứa, thay thế cho việc dùng động cơ DC thuần.

Giả sử lưu lượng cần thiết của mỗi bơm là: $Q = 1 \frac{L}{\text{phút}} = 1,67 \cdot 10^{-5} m^3/s$

Chiều cao cột áp tương đương cần vượt qua (bao gồm tổn hao đường ống và chênh cao mức chất lỏng): $H = 1,2m$

3. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT

Robot được thiết kế theo dạng mô-đun gồm khung nổi, hệ thống thu gom dầu, thùng chứa dầu, hệ thống truyền động và các mạch điều khiển điện tử.

Khung robot được chế tạo từ vật liệu nhẹ nhằm bảo đảm khả năng nổi và thuận lợi cho việc lắp đặt các bộ phận chức năng. Phía trước robot bố trí tám bánh quay thực hiện nhiệm vụ thu gom dầu trên bề mặt nước. Dầu được dẫn vào hai thùng chứa riêng biệt đặt trên thân robot.

Hệ thống điều khiển được thiết kế theo mô hình các khối chức năng gồm khối nguồn, khối cảm biến, mô-đun GPS, khối điều khiển trung tâm, khối chấp hành và khối truyền thông RF. Khối nguồn cung cấp điện năng cho toàn bộ hệ thống; khối cảm biến thực hiện giám sát mức dầu trong thùng chứa; mô-

Công suất thủy lực yêu cầu của bơm được tính theo công thức:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Trong đó $\rho = \frac{850kg}{m^3}$, $g = 9,81m/s^2$

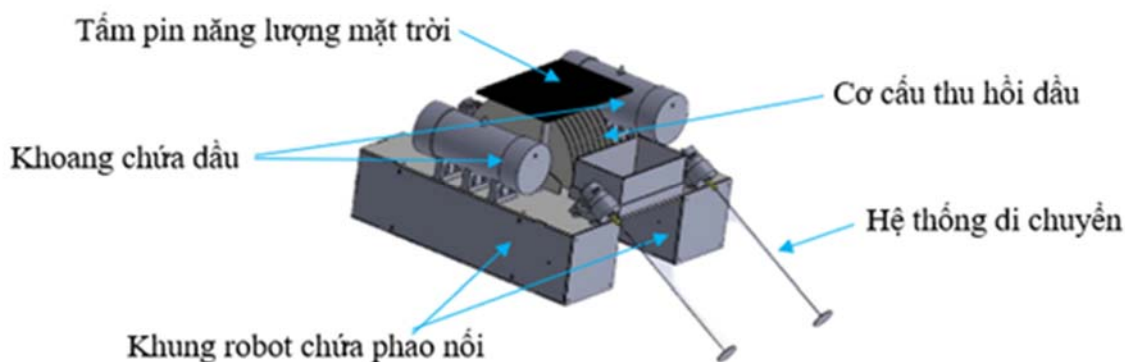
$$P = 850 \cdot 9,81 \cdot 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot 1.2 = 0,167W$$

Xét đến hiệu suất toàn phần của bơm và động cơ ($\eta = 0,4$), công suất điện cần cấp:

$$P_{\text{điện}} = \frac{P}{\eta} = \frac{0,167}{0,4} \approx 0,42 W$$

đun GPS cung cấp dữ liệu vị trí; khối điều khiển trung tâm tiếp nhận và xử lý dữ liệu; khối chấp hành điều khiển động cơ và bơm; trong khi khối RF đảm nhiệm việc truyền nhận dữ liệu giữa robot và tay điều khiển.

Chương trình điều khiển robot được xây dựng theo nguyên tắc hoạt động tuần hoàn. Sau khi khởi tạo hệ thống, robot tiếp nhận lệnh từ tay điều khiển thông qua mô-đun NRF24L01, đồng thời thực hiện đọc dữ liệu từ cảm biến mức dầu, mô-đun GPS và hệ thống giám sát nguồn điện. Trên cơ sở các dữ liệu thu thập được, bộ điều khiển sẽ thực hiện điều khiển động cơ di chuyển, hệ thống thu gom dầu và bơm hút dầu. Các thông số vận hành được gửi định kỳ về tay điều khiển để hiển thị trên màn hình HMI và cập nhật lên Google Sheet phục vụ giám sát và lưu trữ dữ liệu.



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo Robot lọc vớt dầu chạy bằng năng lượng mặt trời



Hình 2. Vận hành thử nghiệm Robot lọc vớt dầu chạy bằng năng lượng mặt trời

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Sau quá trình thiết kế, chế tạo và lắp ráp, robot đã được đưa vào thử nghiệm trong môi trường mô phỏng.

Kết quả cho thấy robot có khả năng nổi ổn định trên mặt nước nhờ hệ thống phao nổi và thiết kế cân bằng trọng tâm. Robot có thể di chuyển theo các hướng điều khiển và duy trì trạng thái hoạt động ổn định trong quá trình vận hành.

Hệ thống thu gom dầu hoạt động theo đúng nguyên lý thiết kế, đưa dầu từ mặt nước vào thùng chứa và thực hiện tách nước trước khi lưu trữ. Các bộ phận cơ khí và điện tử hoạt động đồng bộ trong quá trình thử nghiệm.

Hệ thống điều khiển từ xa sử dụng NRF24L01 cho phép truyền nhận dữ liệu giữa robot và tay điều khiển. Màn hình HMI hiển thị các thông tin về trạng thái hoạt động, tọa độ GPS và mức dầu trong thùng chứa. Hệ thống camera FPV hỗ trợ quan sát hiện trường thông qua hình ảnh truyền về với độ trễ thấp.

Ngoài ra, dữ liệu vận hành của robot được cập nhật định kỳ lên Google Sheet nhằm phục vụ việc theo dõi và lưu trữ thông tin. Việc tích hợp tấm pin năng lượng mặt trời giúp hỗ trợ nguồn điện và kéo dài thời gian hoạt động của hệ thống.



Hình 3. Vận hành thử nghiệm Robot lọc vớt dầu chạy bằng năng lượng mặt trời trong điều kiện thực tế

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo thành công mô hình robot lọc vớt dầu trên mặt nước có khả năng điều khiển từ xa, giám sát hoạt động thông qua hệ thống camera FPV, GPS và màn hình HMI. Robot thực hiện được các chức năng nổi, di chuyển, thu gom dầu và truyền dữ liệu vận hành về thiết bị điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ESP32 Pinout Reference: Which GPIO Pins Should You Use?. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>
2. Arduino Việt Nam (2014), *Làm quen với Arduino IDE*. Available: <http://arduino.vn/reference/getting-started/step3a>

Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của công nghệ robot trong hỗ trợ xử lý ô nhiễm dầu trên mặt nước. Trong tương lai, hệ thống có thể tiếp tục được hoàn thiện theo hướng nâng cao hiệu suất thu gom dầu, tăng khả năng hoạt động trong điều kiện môi trường phức tạp và tích hợp các chức năng tự động hóa nhằm mở rộng khả năng ứng dụng thực tiễn.

3. Nguyễn Khuê, *Học Altium từ A tới Z cho sinh viên điện tử*. Available: <https://khuenguyencreator.com/hoc-altium-tu-a-toi-z-cho-sinh-vien/>

4. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, *Các giải pháp xử lý tràn dầu trên biển*. Available: <https://mtb.vimaru.edu.vn/bai-viet/cac-giai-phap-xu-ly-tran-dau-tren-bien>

5. Tạ Văn Hòa (2018), *Vật lý đại cương 1*, NXB Bách khoa Hà Nội.

- Ngày gửi bài: 27/04/2026
- Ngày phản biện: 25/05/2026
- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026