

TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



**Nghiên cứu và thiết kế robot song song với cơ cấu xi lanh
khí nén và bộ đo hành trình sử dụng biến trở**

BÁO CÁO MÔN HỌC
Ngành : Công nghệ Hàng không Vũ trụ

HÀ NỘI - 2024

TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

**Nghiên cứu và thiết kế robot song song với cơ cấu xi lanh
khí nén và bộ đo hành trình sử dụng biến trở**

BÁO CÁO MÔN HỌC

Ngành : Công nghệ Hàng không Vũ trụ

Tên môn học:	Điều khiển điện thủy khí
Giảng viên hướng dẫn:	TS. Nguyễn Hoàng Quân, KS. Trần Đăng Huy
Lớp: K66AE	Viện Công nghệ Hàng Không Vũ trụ
Họ và tên sinh viên:	1. Vũ Đức Lương 2. Nguyễn Trọng Khánh Huy 3. Nguyễn Trung Nam 4. Đỗ Hải Long 5. Đỗ Minh Hiếu 6. Phạm Quang Huy

HÀ NỘI - 2024

Tóm tắt

Tóm tắt:

Robot song song là một loại robot với cấu trúc độc đáo, sử dụng các chuỗi động học song song để kết nối bộ cố định và bộ di động. Loại robot này có ưu điểm về độ cứng vững cao, khả năng tải trọng lớn và độ chính xác chuyển động. Tuy nhiên, phần lớn robot song song hiện nay sử dụng khớp cầu và hệ thống truyền động thủy lực hoặc xy lanh điện, dẫn đến chi phí cao và độ phức tạp cơ khí lớn. Nghiên cứu này tập trung phát triển một robot song song sử dụng khí nén với thiết kế cơ cấu đo hành trình xy lanh dựa trên biên trở và bánh răng, cùng với cụm khớp nối giữa xy lanh và bộ di động nhằm giảm chi phí chế tạo mà vẫn đảm bảo hiệu quả và độ ổn định của hệ thống.

Từ khóa: Robot song song, Khí nén, Đo hành trình xy lanh.

Lời cam đoan

Nhóm nghiên cứu xin cam đoan kết quả đạt được trong báo cáo “Nghiên cứu và thiết kế robot song song với cơ cấu xi lanh khí nén và bộ đo hành trình sử dụng biến trở” là sản phẩm được nghiên cứu, tìm hiểu của riêng nhóm nghiên cứu. Trong toàn bộ nội dung đồ án, những điều được trình bày hoặc là của nhóm hoặc được tổng hợp từ nhiều nguồn tài liệu. Tất cả tài liệu tham khảo đều có xuất xứ rõ ràng và được trích dẫn hợp pháp. Nhóm xin hoàn toàn chịu trách nhiệm và chịu mọi hình thức kỷ luật theo quy định cho lời cam đoan của mình.

Lời cảm ơn

Chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc đến thầy Nguyễn Hoàng Quân và thầy Trần Đăng Huy đã tận tâm giảng dạy và hướng dẫn chúng em trong suốt quá trình học tập môn Điều khiển điện thủy khí. Nhờ sự tận tụy và nhiệt huyết của các thầy, chúng em không chỉ tiếp thu được những kiến thức nền tảng vững chắc về lĩnh vực điện thủy khí mà còn được truyền cảm hứng về cách tư duy sáng tạo và cách ứng dụng lý thuyết vào thực tế. Các thầy đã không ngừng giải đáp thắc mắc, chia sẻ những kinh nghiệm quý báu, giúp chúng em hiểu rõ hơn về các cơ chế điều khiển, các phương pháp thiết kế, và cách ứng dụng công nghệ trong các hệ thống thực tiễn.

Môn học này đã mang lại cho chúng em không chỉ kiến thức chuyên môn mà còn kỹ năng làm việc, tư duy phân tích và sáng tạo trong giải quyết vấn đề. Chúng em tin rằng những điều đã học được từ các thầy sẽ là hành trang quý giá để áp dụng vào các dự án thực tế trong tương lai.

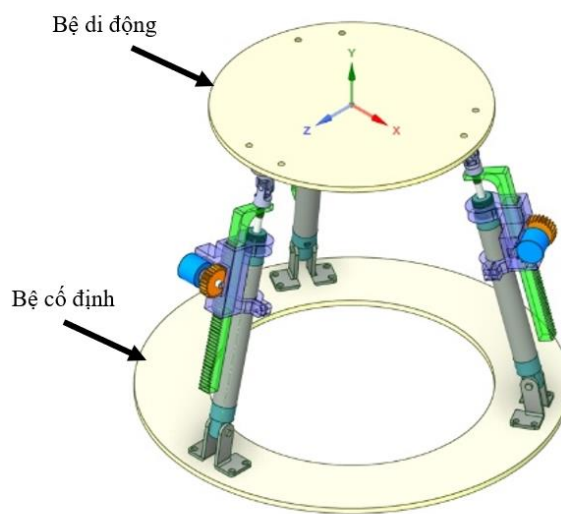
Một lần nữa, chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến các thầy và kính chúc các thầy luôn dồi dào sức khỏe, hạnh phúc và đạt nhiều thành công trong sự nghiệp giảng dạy cũng như nghiên cứu khoa học.

Mục Lục

Tóm tắt.....	1
Lời cam đoan	2
Lời cảm ơn	3
Chương 1. Mở đầu	1
Chương 2. Cơ sở lý thuyết.....	3
2.1. Ứng dụng xi lanh khí nén cho điều khiển robot song song	3
2.2. Bài toán động học của robot song song.....	4
Chương 3. Thiết kế robot song song.....	6
3.1. Cơ cấu chấp hành khí nén.....	6
3.1.1. Lựa chọn xy lanh khí nén	6
3.1.2. Lựa chọn van điều khiển.....	7
3.1.3. Sơ đồ khí nén	8
3.2. Thiết kế mô hình robot song song	8
3.2.1 Cơ cấu đo hành trình.....	8
3.2.2.Thiết kế mô hình robot song song hoàn chỉnh.....	10
Chương 4. Hệ thống điều khiển cho robot song song	12
4.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống	12
4.2. Xác lập đầu vào của hệ thống và tính toán vị trí xy lanh.	13
4.3. Điều khiển xy lanh.....	18
4.4. Tổng quan chương trình điều khiển.....	22
Chương 5. Kết luận.....	23
Phụ Lục	24
Tài liệu tham khảo	31

Chương 1. Mở đầu

Robot song song là một loại robot có cấu trúc đặc biệt với cơ cấu điều khiển dựa trên các chuỗi động học song song. Khác với robot nối tiếp, robot song song được cấu thành từ các khâu được kết nối với cả bộ cố định và bộ di động thông qua các chuỗi động học song song. Trong hình 1.1 bộ cố định là phần khung cố định (không di chuyển), nơi gắn với đế gắn xy lanh, trong khi bộ di động là phần chịu tác động từ các cơ cấu truyền động như van thủy lực, khí nén .v.vv nhằm thực hiện các chuyển động không gian. Cấu trúc này mang lại những ưu điểm nổi bật như độ cứng vững cao, khả năng tải trọng lớn, và độ chính xác chuyển động cao.



Hình 1.1. Robot điều khiển song song

Trong những năm gần đây, robot song song đã trở thành một chủ đề nghiên cứu thu hút sự quan tâm lớn của các nhà khoa học và kỹ sư [1,2]. Phần lớn robot song song hiện nay sử dụng khớp cầu [3,4], nhưng việc sản xuất hoặc mua sẵn các khớp cầu thường gặp khó khăn do chi phí cao và độ phức tạp cơ khí. Một phương pháp thay thế khác được Silva và cộng sự [5] đề xuất sử dụng sự kết hợp giữa khớp cardan và khớp bi, cung cấp chức năng tương tự như khớp cầu nhưng với thiết kế đơn giản và dễ chế tạo hơn. Bên cạnh đó, nhiều robot song song hiện nay chủ yếu sử dụng các hệ thống truyền động thủy lực hoặc xy lanh điện [6]. Những hệ thống này có ưu điểm là khả năng trả về chính xác vị trí của xy lanh thông qua cảm biến tích hợp. Tuy nhiên, việc nghiên cứu sử dụng khí nén trong robot song song còn khá hạn chế [7]. Khí nén có ưu điểm về chi phí, nhưng do hạn chế trong việc đo đặc hành trình xy lanh như ở hệ thống thủy lực hoặc xy lanh điện, nên việc ứng dụng xy lanh khí nén trong chế tạo robot song song vẫn chưa được

nghiên cứu rộng rãi. Một số phương pháp để đo hành trình như sử dụng xy lanh có tích hợp thang đo vị trí, nhưng chi phí của các hệ thống này thường rất cao [8]. Theo nghiên cứu của [9], một giải pháp tiết kiệm chi phí là thiết kế một bộ đo hành trình sử dụng biến trở và cơ cấu dây truyền để truyền động, mang lại hiệu quả đáng kể, bởi biến trở có thể trả về tín hiệu analog tuyến tính với hành trình của xy lanh.

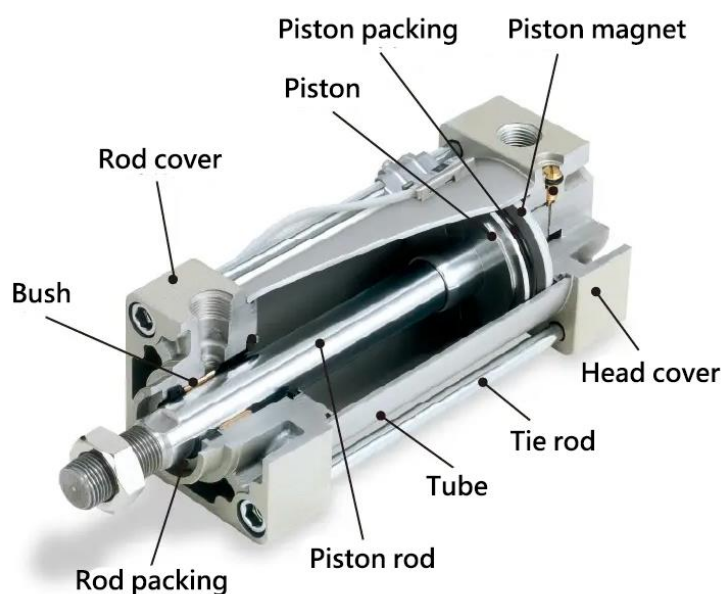
Xuất phát từ các vấn đề nêu trên, nghiên cứu này tập trung vào việc thiết kế và chế tạo một robot song song sử dụng khí nén, điều khiển bằng joystick. Đồng thời, nghiên cứu sẽ phát triển một cơ cấu đo hành trình xy lanh dựa trên biến trở kết hợp với bánh răng để xác định vị trí xy lanh dựa trên ý tưởng sử dụng biến trở [9]. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng hướng đến thiết kế cụm khớp nối giữa xy lanh và bộ di động [5], nhằm giảm chi phí mà vẫn đảm bảo tính ổn định của hệ thống. Những đóng góp này không chỉ mở rộng khả năng ứng dụng của robot song song mà còn mang lại giải pháp hiệu quả về mặt chi phí và công nghệ.

Chương 2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Ứng dụng xi lanh khí nén cho điều khiển robot song song

Xi lanh khí nén là một thiết bị cơ khí sử dụng năng lượng khí nén để thực hiện chuyển động cơ học thông qua cơ chế đẩy và kéo. Cấu tạo của xi lanh bao gồm các bộ phận chính (hình 2.1) như Tube (ống hình trụ), tạo thành buồng xi lanh và là đường dẫn cho hoạt động trượt của piston; Head cover và Rod cover (che phủ), chia xi lanh thành hai khoang riêng biệt (đầu và đuôi) và bảo đảm khí nén không rò rỉ; Tie rod (thanh giằng), kết nối và cố định các bộ phận xi lanh với nhau; Piston (pít-tông), thực hiện chuyển động nhờ áp lực của khí nén; Piston packing (vòng đệm pít-tông), giúp giữ kín khí nén trong xi lanh; Piston magnet (nam châm pít-tông), dùng để phát hiện vị trí của piston; Piston rod (thanh pít-tông), truyền lực từ pít-tông đến thiết bị bên ngoài; Rod packing (vòng đệm thanh pít-tông), đảm bảo kín khí và ngăn rò rỉ dọc theo thanh piston; và Bush (bạc lót), hỗ trợ dẫn hướng và chuyển động của thanh piston.

Về nguyên lý hoạt động, khi khí nén được đưa vào khoang đầu xi lanh, áp suất khí nén đẩy piston di chuyển và đẩy thanh piston ra ngoài, đồng thời khí nén ở phía khoang đuôi được xả ra ngoài qua cổng xả (hoạt động đẩy). Ngược lại, khi khí nén được đưa vào khoang đuôi, piston di chuyển ngược lại, kéo thanh piston vào trong, và khí nén trong khoang đầu được xả ra ngoài (hoạt động kéo). Nguyên lý này giúp xi lanh khí nén tạo ra các chuyển động cơ học chính xác và linh hoạt, ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực công nghiệp như tự động hóa, điều khiển và sản xuất

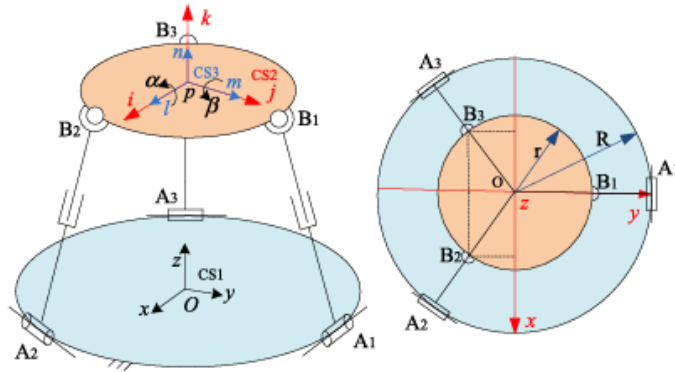


Hình 2.1: Cấu trúc xi lanh khí nén

Sử dụng xi lanh khí nén trong robot song song là một giải pháp tiết kiệm chi phí so với xi lanh thủy lực hoặc điện. Tuy nhiên, việc đo hành trình xi lanh khí nén gặp nhiều thách thức do thiếu cảm biến tích hợp như xi lanh thủy lực hay điện, để giải quyết vấn đề này nhóm đã thiết kế một bộ đo hành trình xi lanh khí nén sử dụng biến trở, thanh ray và bánh răng. Cơ cấu đo hành trình được thiết kế nhằm chuyển đổi chuyển động của xy lanh khí nén thành tín hiệu điện để đo lường hành trình chính xác. Khi xy lanh di chuyển, ray trượt được gắn trực tiếp với piston sẽ kéo theo bánh răng quay một góc tỉ lệ với hành trình của xy lanh. Chuyển động quay này làm thay đổi vị trí của trục biến trở, từ đó biến trở chuyển đổi thành tín hiệu điện áp tuyến tính. Ngoài ra hệ thống còn sử dụng hiệu chỉnh động có thể tự động đo và ghi nhận các giá trị cực đại (min, max) của tín hiệu điện áp từ biến trở sau mỗi lần khởi động, đảm bảo độ chính xác dù có sự thay đổi do nhiệt độ hoặc môi trường.

2.2. Bài toán động học của robot song song.

Động học ngược là bài toán xác định chiều dài cần thiết của các xy lanh khí nén để bộ di động đạt được vị trí và góc quay mong muốn (góc Euler). Với các hệ tọa độ được thiết lập CS1 là hệ tọa độ gắn với bộ cố định và CS2 là hệ tọa độ gắn với bộ di động [10], theo hình 2.2.



Hình 2.2: Cơ chế robot song song 3RPS và các hệ tọa độ quy ước.[10]

Với ma trận quay của hệ thống được xác định bằng ma trận quay quanh trục x (góc pitch α) và ma trận quay quanh trục y (góc yaw β).

$$T = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \cos \beta & -\cos \alpha \sin \beta \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \beta & -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

Xét tâm của fix-base (CS1) làm gốc thì vị trí ngàm $[A1, A2, A3]$ được thể hiện bằng ma trận sau.

$$\mathbf{P}_{t-CS1} = [\mathbf{A1A2A3}] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\sqrt{3}R}{2} & \frac{-\sqrt{3}R}{2} \\ R & \frac{-R}{2} & \frac{-R}{2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Chiều move-base (CS2) xuống mặt phẳng chứa fix-base và xét hệ tọa độ có tâm của fix base làm gốc thì vị trí ngàm của CS2 được xác định.

$$\mathbf{P}_{b-CS1} = [\mathbf{B1B2B3}] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\sqrt{3}r}{2} & \frac{-\sqrt{3}r}{2} \\ r & \frac{-r}{2} & \frac{-r}{2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Khi alpha và beta bắt đầu thay đổi một khoảng thì hành trình xy lanh cần di chuyển được xác định qua phương trình sau (với i là thứ tự các xy lanh tương ứng với cột của các ma trận trên, h là khoảng cách giữa hai tấm, k là vector đơn vị theo trục z).

$$\Delta L^{(i)} = \left\| \left(\mathbf{T} \times \mathbf{P}_{t-CS1}^{(i)} + h \times \mathbf{k} \right) - \mathbf{P}_{b-CS1}^i \right\| - L_n \quad (4)$$

L_n được xác định như sau.

$$L_n = \sqrt{(R-r)^2 + h^2} \quad (5)$$

Chương 3. Thiết kế robot song song

3.1. Cơ cấu chấp hành khí nén

3.1.1. Lựa chọn xy lanh khí nén



Hình 3.1: Xy lanh khí nén MAL 16x100 [11]

Dựa trên các thiết kế đã được sử dụng trong các nghiên cứu trước [1-5] cùng với mục tiêu đề ra là thiết kế mô hình có đầy đủ cơ cấu chấp hành, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn xy lanh khí nén MAL16x100 với các thông số: đường kính trong 16 mm, đường kính trục 6 mm và hành trình 100 mm (hình 3.1) cho hệ thống robot song song. Quyết định này được đưa ra dựa trên các tiêu chí thực tế như kích thước nhỏ gọn, phù hợp với mô hình thử nghiệm, và chi phí hợp lý. Bên cạnh đó, xy lanh này dễ dàng lắp đặt nhờ kích thước nhỏ gọn tiêu chuẩn.

Yêu cầu về lưu lượng

Yêu cầu đặt ra xy lanh cần di chuyển vs vận tốc 0.1 m/s (vận tốc phù hợp với điều khiển) nên nhóm tiến hành tính toán lưu lượng cần thiết cho xy lanh theo công thức (1).

$$Q = A.v \quad (6)$$

Trong đó:

- Q: Lưu lượng (m^3/s)
- A: Diện tích tiết diện trong của xy lanh (m^2)
- v: Vận tốc xy lanh (m/s)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.016)^2}{4} \approx 2.01e-4 (m^2) \quad (7)$$

Từ (1) và (2) lưu lượng cần thiết để xy lanh hoạt động được là 1.206 lít/phút. Nhóm nghiên cứu sử dụng máy bơm được cung cấp bởi các thông số tại bảng 3.1.

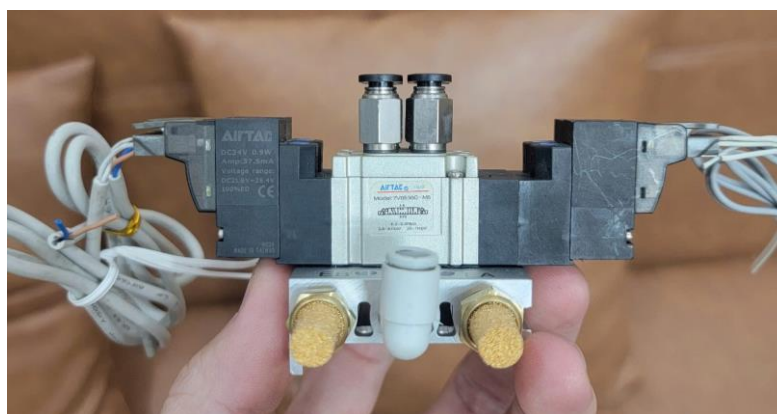
Bảng 3.1. Thông số máy bơm

Model	GL-15L
Công suất	1HP/600W
Lưu lượng	110 lít/phút
Dung tích bình	15L
Áp suất lớn nhất	0.8MPa

Mục tiêu chính của việc lựa chọn là để tập trung phát triển và kiểm nghiệm hệ thống điều khiển cũng như hiệu quả của van điều khiển khí nén. Dù lựa chọn ban đầu dựa trên các tiêu chí kích thước và chi phí, dựa trên tính toán lưu lượng cùng với thông số máy bơm được đưa ra sau đó đã khẳng định rằng xy lanh này hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu vận hành, đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và hiệu quả. Đây sẽ là lưu lượng được điều chỉnh ở van tiết lưu để xy lanh đạt được vận tốc mong muốn.

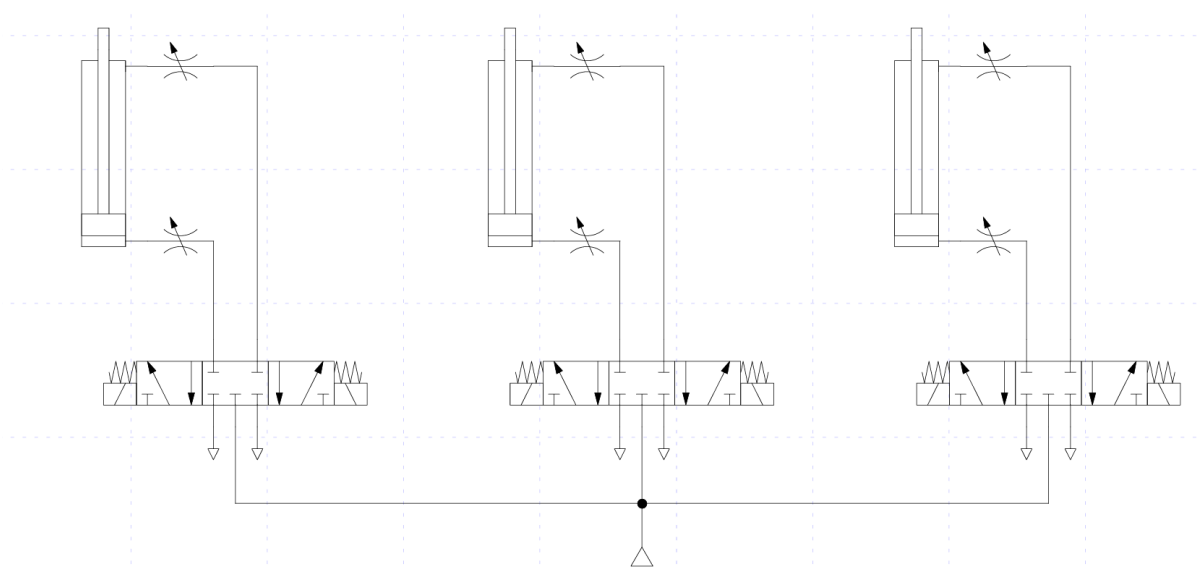
3.1.2. Lựa chọn van điều khiển

Với yêu cầu hệ thống có thể dừng tại các vị trí điều khiển, nhóm lựa chọn van 5/3 (hình 3.2) với áp suất làm việc lớn nhất có thể chịu là 0.8MPa, đảm bảo có thể làm việc với thông số máy bơm sử dụng tại bảng 1.



Hình 3.2: Van khí nén 5/3

3.1.3. Sơ đồ khí nén



Hình 3.3: Sơ đồ khí nén

Từ các tính toán và lựa chọn trên, nhóm đưa ra được sơ đồ khí nén tại hình 3.3. Hệ thống gồm 3 xy lanh khí nén được nối với van tiết lưu tại mỗi cổng xy lanh, tiếp đó được điều khiển thông qua 3 van 5/3, các ký hiệu được biểu diễn tại bảng 3.2. Thiết kế bộ điều khiển sẽ được chi tiết hơn trong các chương sau.

Bảng 3.2. Các ký hiệu

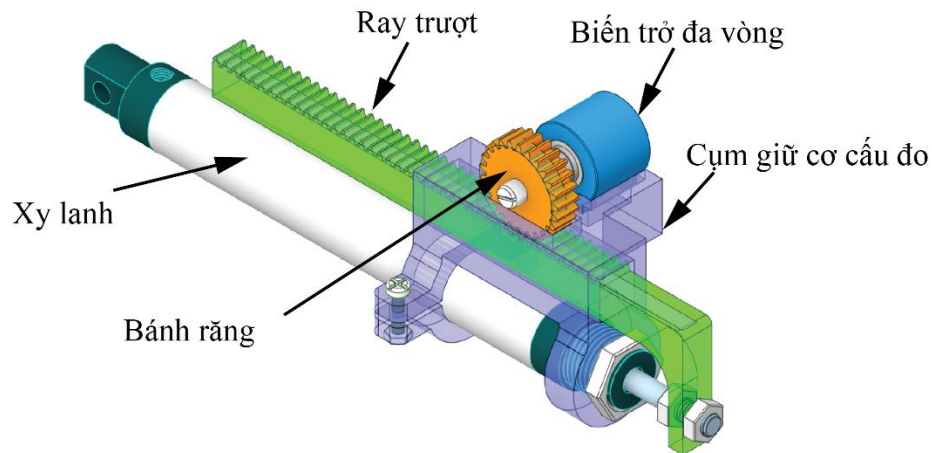
Tên phần tử	Ký hiệu
Xy lanh khí nén	
Van điện từ 5/3	
Van tiết lưu	
Van thoát khí	
Nguồn khí nén	

3.2. Thiết kế mô hình robot song song

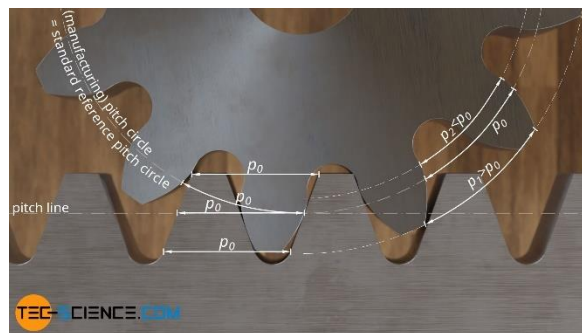
3.2.1 Cơ cấu đo hành trình

Với mục tiêu đề ra thiết kế được một cơ cấu đo hành trình cho xy lanh khí nén, dựa trên ý tưởng [8] nhóm nghiên cứu đưa ra được thiết kế cụm đo có tại hình 3.4. Cơ cấu sử dụng nguyên lý bánh răng kết hợp ray trượt làm quay biến trở khi có sự di chuyển của xy lanh, từ đây thu được tín hiệu analog tuyến tính với hành trình. Với bánh răng ray trượt và cụm giữ cơ cấu đo được in 3D bằng nhựa PETG có độ cứng tốt, đảm bảo

điều kiện hoạt động của mô hình. Trong đó các thông số kích thước được đưa ra nhằm phù hợp với giá thành và nằm trong giới hạn chất lượng của máy in 3D.



Hình 3.4: Cơ cấu đo hành trình xy lanh

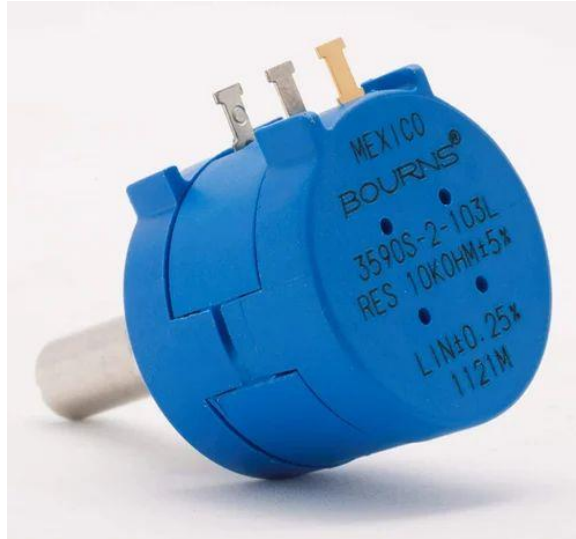


Hình 3.5. Các kích thước vòng chia được quy ước của ray bánh răng [12]

Từ các thông số tại hình 3.5 với p_0 là khoảng cách giữa hai răng của ray, ta tính ra được đường kính bán kính vòng chia của bánh răng quay dựa trên công thức chu vi hình tròn theo công thức (8)

$$d = \frac{N_r p_0}{\pi} \quad (8)$$

Trong đó N_r là số bánh răng (tương ứng với 25), p_0 có giá trị bằng 3.14mm, từ đó đường kính vòng chia là 24.99mm. Như vậy khi xi lanh di chuyển được hành trình 100m, bánh răng quay được 1.27 vòng tương ứng với 457.2°, nhằm đáp ứng được vòng quay, từ các thông số trên biến trở được nhóm lựa chọn là biến trở đa vòng quay có giá trị 10kΩ tại hình 3.6. Sau khi lắp ráp nhóm có được cơ cấu đo hoàn chỉnh tại hình 3.7.



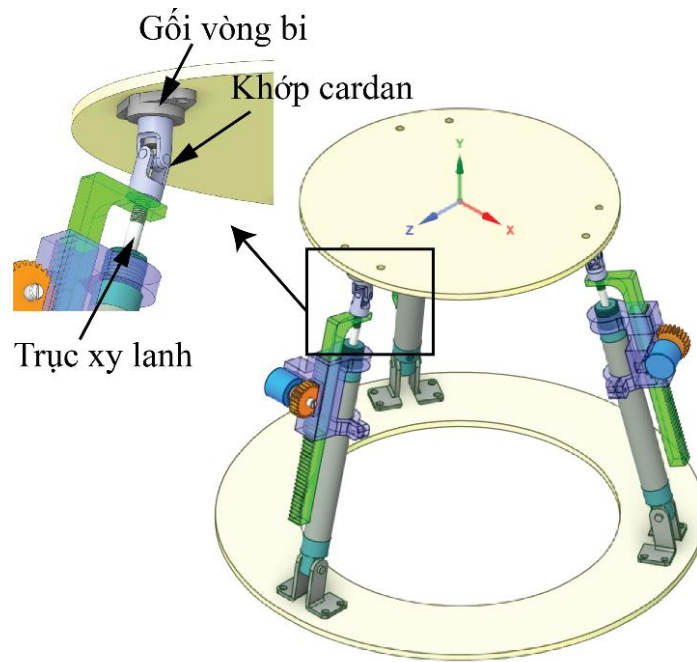
Hình 3.6: Biến trở đa vòng quay



Hình 3.7: Cụm đo hành trình sau khi lắp ráp hoàn chỉnh

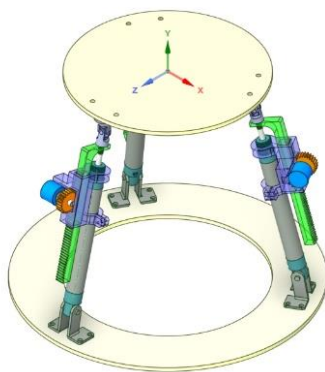
3.2.2. Thiết kế mô hình robot song song hoàn chỉnh

Phần lớn các thiết kế về robot 3 song song đều sử dụng các khớp bi khi nối xy lanh với mặt đế di động [1-4], tuy nhiên các khớp bi thường rất khó kiếm. Vì vậy, nhóm dựa trên thiết kế của tác giả Silva và cộng sự [5] một tổ hợp gồm bạc đạn KFL08, trục 8mm, và khớp nối cardan 6mm x 8mm đã được sử dụng để kết nối giữa đế trên với xy lanh, có thể thấy trong hình 2.9, khớp nối có chức năng tương tự như một khớp cầu với giá thành phải chăng.



Hình 3.8: Khớp cardan và gối vòng bi

Cho đến nay, vẫn chưa có nghiên cứu cụ thể nào đưa ra đề xuất cho kích thước tấm đế cố định và di động, vì vậy hai tấm đế được lựa chọn thiết kế sao cho vừa kích thước và hành trình của xy lanh. Hai tấm được sử dụng gỗ balsa có chiều dày 3mm và được cắt laser theo bản vẽ. Sau khi tiến hành lắp ráp trong phần mềm thiết kế và lắp thực tế, nhóm thu được kết quả tại hình 3.9



(a)

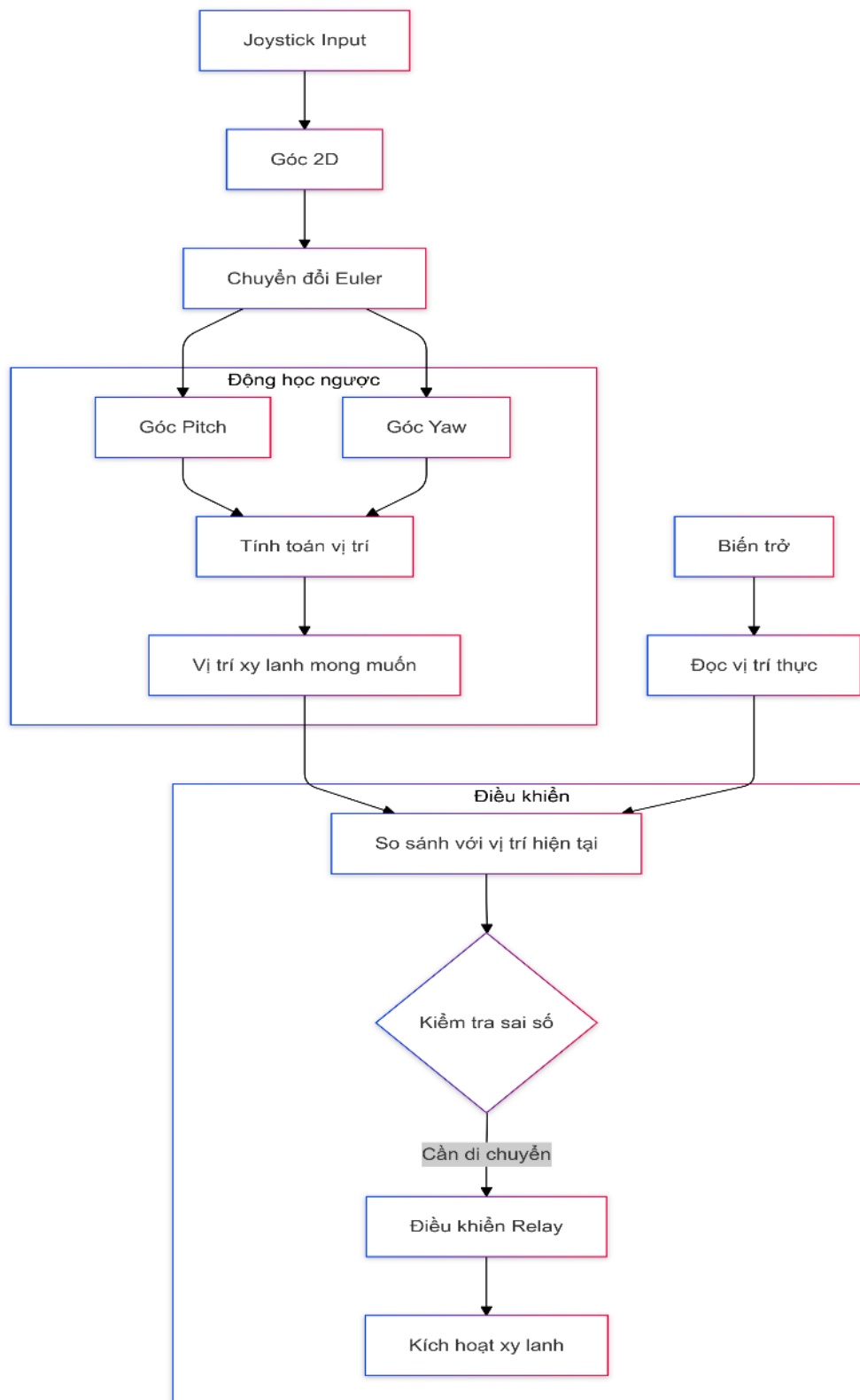


(b)

Hình 3.19: (a) Hình chiếu 3 chiều ; (b) Robot sau khi được lắp hoàn chỉnh

Chương 4. Hệ thống điều khiển cho robot song song

4.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống

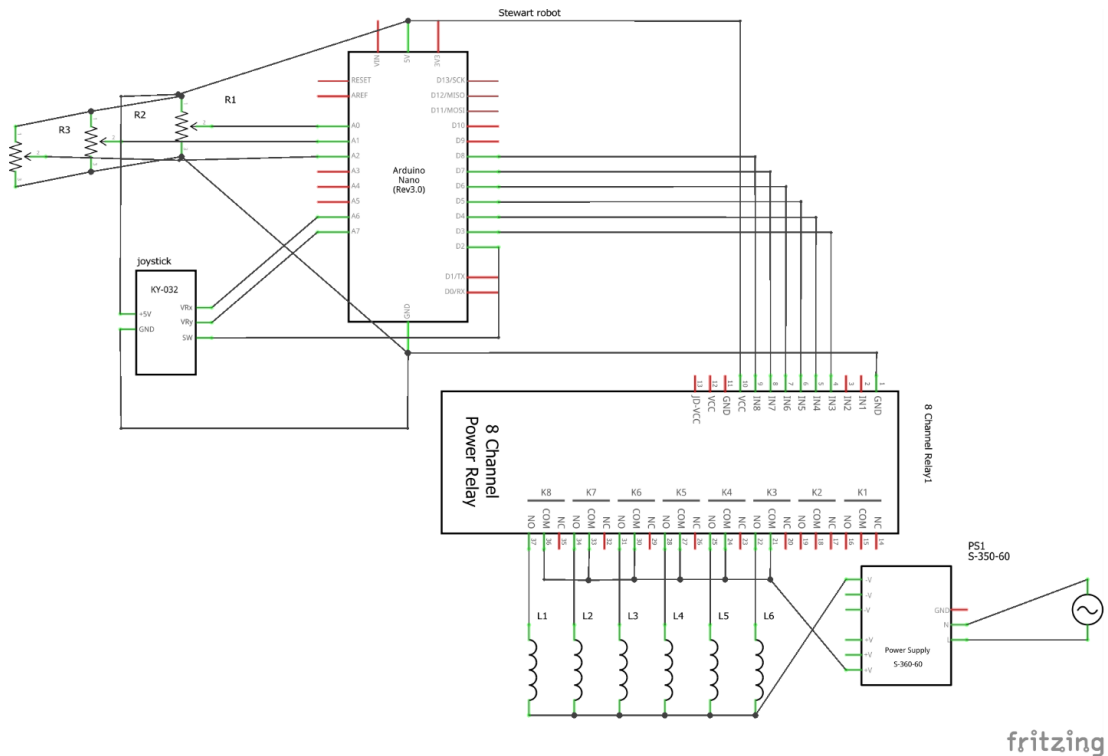


Hình 4.1: Sơ đồ nguyên lý hệ thống

Đầu vào của hệ thống được thiết lập qua một joystick ba bậc tự do, các góc 2D từ joystick sẽ được chuyển đổi sang các góc euler (pitch, yaw) mà hệ thống yêu cầu qua đó có thể tính toán được vị trí cần thiết cho các xy lanh qua các phương trình về động học ngược sẽ được trình bày chi tiết ở phần dưới. Các vị trí xy lanh được xác định qua các tính toán sẽ được so sánh với vị trí hiện tại của xy lanh từ đó có thể kích hoạt các relay đóng mở van điện từ theo ý muốn, sơ đồ nguyên lý của hệ thống sẽ được trình bày ở hình 4.1.

Về phần linh kiện nhóm sử dụng một Arduino Nano dùng vi điều khiển Atmega328PAU với IC nạp và giao tiếp UART CH340 điện áp nạp 5V, một mạch relay 8 kênh với điện áp kích ở mức 0 V, biến trở và van điện từ đã được đề cập ở phần trên. Các linh kiện được kết nối với nhau như sơ đồ hình 4.2 được vẽ bằng phần mềm fritzing,

Hình 4.1: Sơ đồ nguyên lý hệ thống

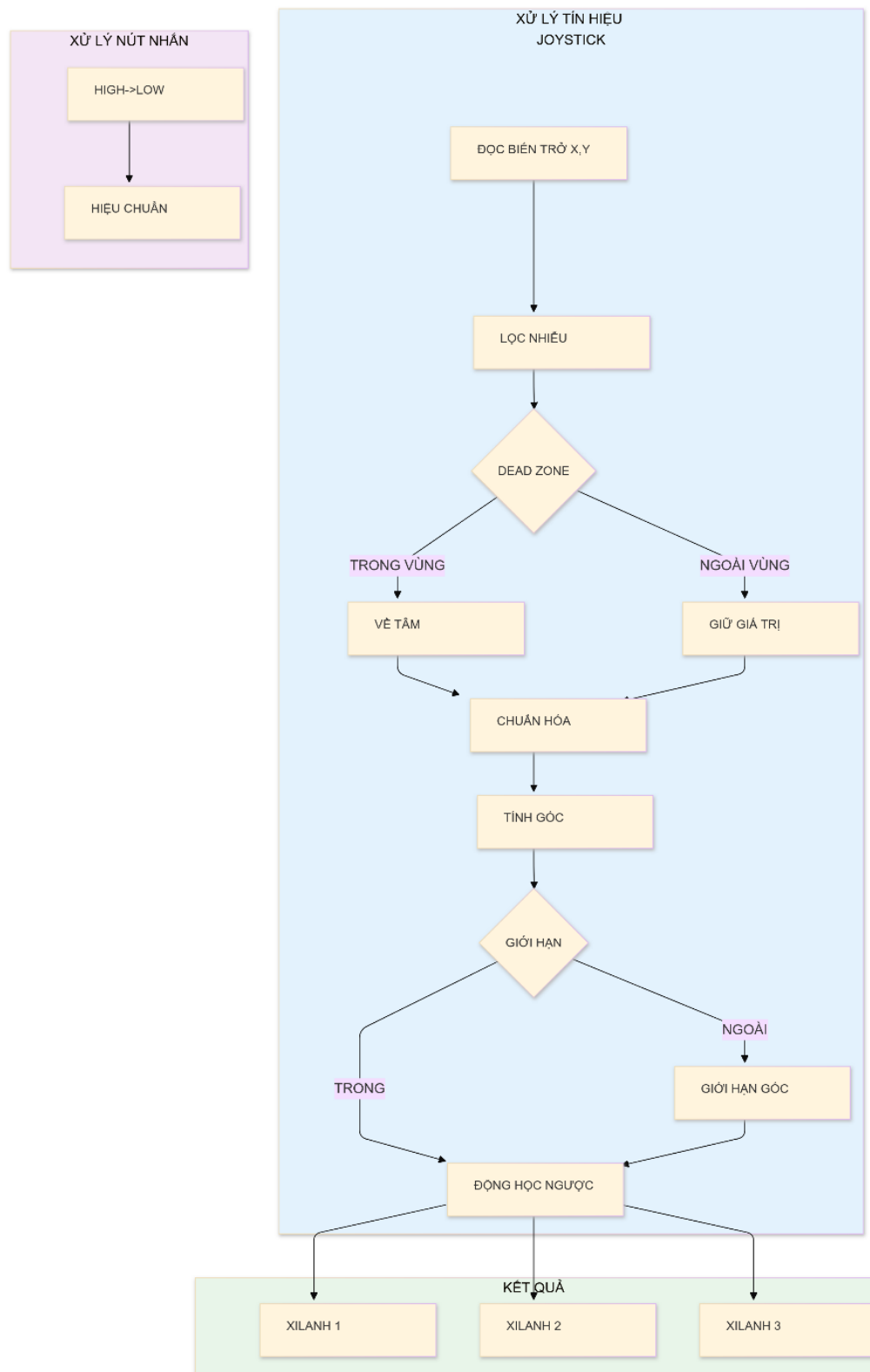


Hình 4.2: Sơ đồ kết nối các linh kiện.

4.2. Xác lập đầu vào của hệ thống và tính toán vị trí xy lanh.

Hệ thống sử dụng joystick ba bậc tự do với nút bấm để bắt đầu quá trình hiệu chỉnh (quá trình này sẽ được trình bày ở phần dưới), và phần tay gạt để thay đổi hai biến trở theo hai trục x và y được kết nối với các chân analog A6 và A7 của Arduino nano (hình 4.3). Tín hiệu analog từ joystick sẽ được lọc nhiễu tiếp đó áp dụng cơ chế deadzone để giảm độ nhạy của joystick, việc áp dụng lọc nhiễu và deadzone giúp hệ thống ổn định

tránh việc gửi quá nhiều input vào hệ thống. Tín hiệu analog sau khi được lọc sẽ được chuyển thành các góc pitch và yaw với giới hạn ± 60 cho cả hai trục



Hình 4.3. Lưu đồ quá trình thiết lập đầu vào và tính toán hành trình xi lanh

Hệ thống sử dụng phương pháp lọc nhiễu lọc trung bình được triển khai trong hàm 1.

Hàm 1: ReadanalogFiltered(pin_number)

Đầu vào: Giá trị analog đọc từ chân pin_number của arduino nano

Đầu ra: Giá trị analog qua quá trình lọc

1. Khởi tạo sum = 0
2. Đặt samples > 0
3. **for** counter = 0 to (samples - 1) **do**
4. analog_value = giá trị analog đọc được từ pin_number
5. sum+=analog_value
6. Chờ sampling time đọc lần tiếp theo
7. **end for**
8. **return** sum/samples

Phương pháp lọc trung bình là phương pháp cơ bản đọc ngẫu nhiên sample (10) lần mỗi lần đọc cách nhau một khoảng sample_delay (10s), sau đó cộng dồn các giá trị đọc lại và lấy trung bình.

Cơ chế deadzone được thực hiện ở hàm 2.

Hàm 2: ApplyDeadZone(value, center, threshold)

Đầu vào: Giá trị analog hiện tại (value), giá trị giữa joystick (center), ngưỡng xấp xỉ về giữa (threshold)

Đầu ra: Giá trị sau khi áp dụng cơ chế deadzone

1. Đặt diff = **abs**(value-center)
2. **if** diff<threshold **then**
3. **return** center
4. **else**
5. **return** value
6. **end if**

Giá trị analog có dải từ 0-1023 với giá trị trung tâm được lấy là 512, ngưỡng dead_zone được lấy là 100 để khi giá trị trả về quá trong khoảng này thì sẽ giá trị trung tâm,

Sau khi áp dụng lọc nhiễu và cơ chế *dead_zone* thì chuẩn hóa dữ liệu analog về các góc euler. Chuyển đổi từ thang đo từ 0 đến 1023 thành -1 đến 1 đảm bảo hệ thống có tính đối xứng sau đó đặt giới hạn góc vào dải đo vừa được chuyển đổi. Hàm *constrain* được sử dụng sẽ giúp giới hạn các giá trị đo được các giá trị nào vượt ngưỡng sẽ được chuyển thành các góc giới hạn.

$$x_normalized = \frac{x_value - center_value}{max_value - center_value} \quad (9)$$

$$angle = constrain(x_normalized * angle_limit, -angle_limit, angle_limit) \quad (10)$$

Từ các góc pitch và yaw áp dụng phương trình inverse kinematic [10] có thể giải ra được hành trình xi lanh cần đến. Với ma trận quay của hệ thống được xác định bằng ma trận quay quanh trục x (góc pitch α) và ma trận quay quanh trục y (góc yaw). Mã giả cho quá trình tính toán động học ngược được trình bày theo hàm 3 và 4.

Hàm 3: calculateRotationMatrix(alpha, beta)

Đầu vào: Góc alpha (pitch) và beta (yaw).

Đầu ra: Ma trận quay 3x3 T

1. Khai báo T là một ma trận 3x3 (float T[3][3])
 2. Tính toán ma trận xoay.
 3. $T[0,0] = \cos(\beta)$
 4. $T[0,1] = \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$
 5. $T[0,2] = \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$
 6. $T[1,0] = 0$
 7. $T[1,1] = \cos(\alpha)$
 8. $T[1,2] = -\sin(\alpha)$
 9. $T[2,0] = -\sin(\beta)$
 10. $T[2,1] = \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)$
 11. $T[2,2] = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$
 12. Return T
-

Hàm 4: calculateCylinderLength(index, alpha, beta)

Đầu vào: Chỉ số xi lanh, góc quay alpha (pitch), góc quay beta (yaw).

Đầu ra: Hành trình của mỗi xi lanh

1. Khởi tạo ma trận các điểm nằm trên tâm cố định CS1

Đặt $P_t = [$

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{\sqrt{3}R}{2} & -\frac{\sqrt{3}R}{2} \end{bmatrix} // \text{Theo trục x}$$

$$\begin{bmatrix} R & -\frac{R}{2} & -\frac{R}{2} \end{bmatrix} // \text{Theo trục y}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} // \text{Theo trục z}$$

$]$

2. Khởi tạo ma trận các điểm nằm trên tâm di động CS2

Đặt $P_b = [$

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{\sqrt{3}}{2}r & -\frac{\sqrt{3}}{2}r \end{bmatrix} // \text{Theo trục x}$$

$$\begin{bmatrix} r & -\frac{r}{2} & -\frac{r}{2} \end{bmatrix} // \text{Theo trục y}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} // \text{Theo trục z}$$

$]$

3. $T = \text{calculateRotationMatrix}(\alpha, \beta)$ //function 3

4. Đặt $B_t = [0 \ 0 \ 0]$

5. **for** $j = 0$ to 2 **do**

6. $B_t[j] = T[j,0] \cdot P_b[0,\text{index}] + T[j,1] \cdot P_b[1,\text{index}] + T[j,2] \cdot P_b[2,\text{index}]$

7. **end for**

8. Đặt $P_0 = [0 \ 0 \ h]$

9. $\Delta X = (B_t[0] + P_0[0]) - P_t[0,\text{index}]$

$$\Delta Y = (Bt[1] + P0[1]) - Pt[1,index]$$

$$\Delta Z = (Bt[2] + P0[2]) - Pt[2,index]$$

$$10. \quad \text{Đặt } L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

$$11 \quad \text{return } (L-Ln)+50 // Ln \text{ là chiều dài xi lanh ở đầu hành trình}$$

4.3. Điều khiển xy lanh.

Từ giá trị đo lường analog từ biến trở có thể quy đổi sang hành trình của xi lanh qua công thức (length là hành trình xy lanh, analog là giá trị analog đo được, analog_min là giá trị analog ở hành trình xi lanh bằng 0, analog_max là giá trị analog ở hành trình xi lanh bằng 100).

$$length = \left(\frac{analog}{analog_max - analog_min} \right) \times (100 - 0) \quad (11)$$

Hệ thống điều khiển vị trí xy lanh được thiết lập một cách tuần tự bằng cách luôn so sánh vị trí xy lanh hiện tại với hành trình xy lanh được tính toán từ quá trình động học ngược từ đó đóng mở các relay điều khiển. Về cơ chế đo hành trình xy lanh, trong cơ chế này có nhược điểm là số vòng quay hạn chế làm dải analog đầu ra rất hẹp có thể gây sai số lớn do chỉ cần giá trị analog thay đổi nhỏ cũng ảnh hưởng đến quá trình điều khiển ví dụ ở một thời điểm đo giá trị analog là 234 nhưng đột nhiên có sự biến động khiến analog tăng lên 235 cũng có thể gây ra sai số (qua quá trình thử nghiệm giá trị analog xy lanh dao động trong khoảng max-min = 120).

$$error = \left(\frac{235 - 234}{max - min} \right) * 100 \approx 0.83 \quad (12)$$

Sai số này khiến các xy lanh không xác nhận được vị trí chính xác làm các xy lanh luôn dao động liên tục ở một khoảng do đó cần thiết lập một sai số cho phép 1.00 mm qua thực nghiệm có thể thấy ở khoảng này hệ thống hoạt động ổn định

Do một số ảnh hưởng từ môi trường nên dải analog mà biến trở trả ra không giống nhau trong mọi trường hợp nên việc hiệu chuẩn tĩnh không đáp ứng được yêu cầu hệ thống, do đó cần hiệu chuẩn động để có thể đo được giá trị analog qua mỗi lần thử nghiệm từ đó có thể giảm được sai số của hệ thống giúp hệ thống hoạt động ổn định. Quá trình này gồm 2 giai đoạn đầu tiên mở rộng hành trình xy lanh bật các relay điều khiển van cho xy lanh đi hết hành trình (các van này mở trong vòng 4s đảm bảo xy lanh có thể đi hết hành trình và ở 500ms cuối bắt đầu đọc các giá trị analog 10 lần sau đó áp

dụng phương pháp lọc trung bình) tại hàm 5, sau đó tiến vào giai đoạn hai từ 4s đến 8s mở các relay điều khiển van cho xy lanh quay trở lại hành trình 0 mm và tắt các relay đẩy xi lanh đi hết hành trình, sau đó 7.5s bắt đầu đọc các giá trị analog 10 được viết tại hàm 6, lần kết thúc quá trình lưu lại hai giá trị analog làm giá trị analog cho hàm quy đổi vị trí xy lanh từ analog được viết như sau.

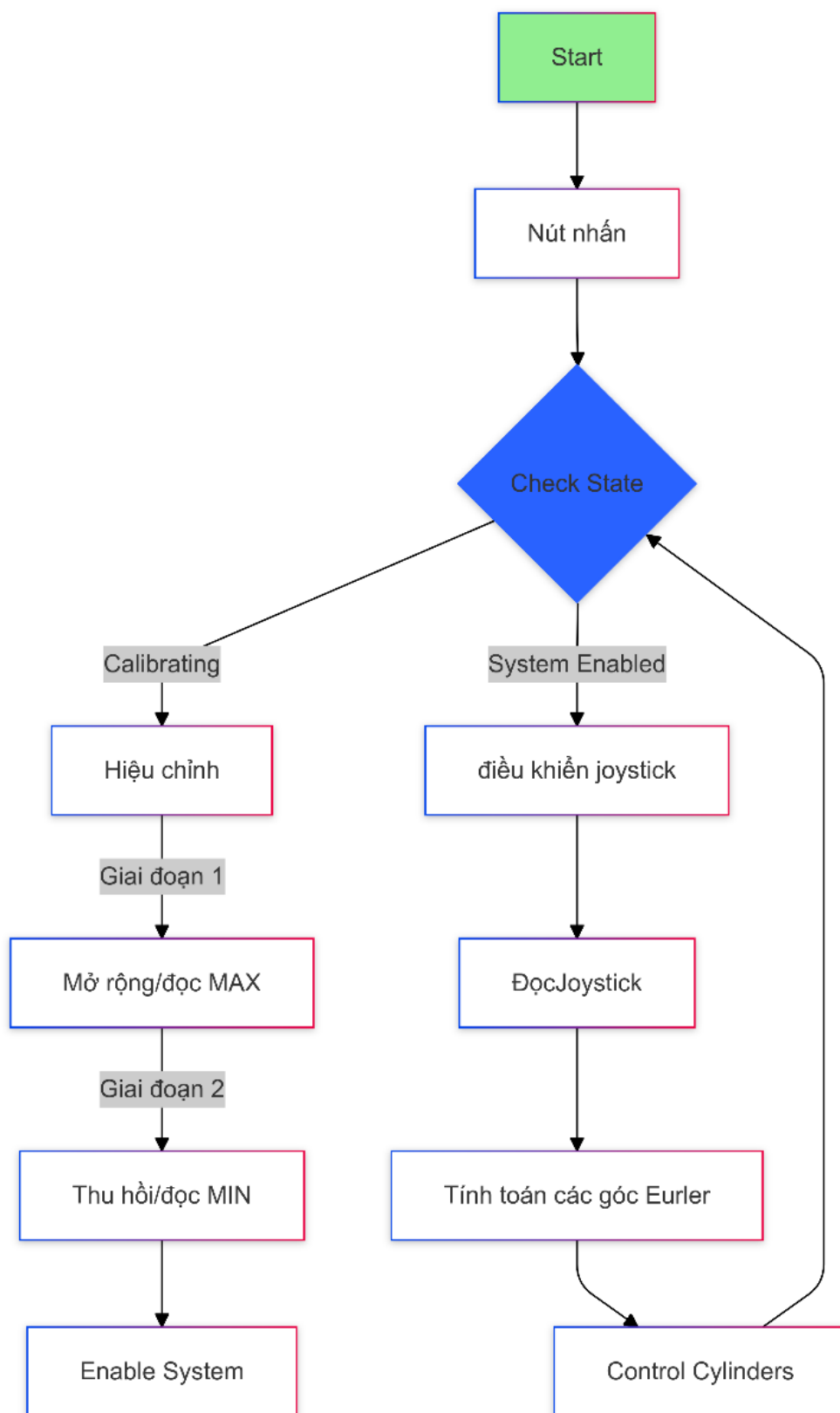
Giai đoạn 1 quá trình hiệu chuẩn.

Hàm 5: CalibrateMaxPosition(cylinders, calibration_time)

Đầu vào: Mảng các xi lanh (cylinders), thời gian quá trình hiệu chỉnh (calibration_time)

Đầu ra: Cập nhật giá trị analog ở vị trí hành trình xi lanh đạt cao nhất

1. if calibration_time < 4000 then
 2. for i = 0 to 2 do
 3. Thiết lập relay A = Low
 - Thiết lập relay B= HIGH
 4. if calibration_time ≥ 3500 then
 5. sum = 0
 6. for j=0 to 9 do
 7. sum += giá trị analog được đọc ở (cylinder_i)
 8. end for
 9. cylinders[i].analogMax = sum/10
 10. end if
 11. end for
 12. end if
-



Hình 4.4: Lưu đồ tổng quan chương trình.

Hàm 6: CalibrateMinPosition(cylinders, calibration_time)

Đầu vào: Mảng các xi lanh (cylinders), thời gian quá trình hiệu chỉnh (calibration_time)

Đầu ra: Cập nhật giá trị analog ở vị trí hành trình xi lanh đạt cao nhất

1. if calibration_time < 4000 then
 2. for i = 0 to 2 do
 3. Thiết lập relay A = Low
 Thiết lập relay B= HIGH
 4. if calibration_time ≥ 3500 then
 5. sum = 0
 6. for j=0 to 9 do
 7. sum += giá trị analog được đọc ở (cylinder_i)
 8. end for
 9. cylinders[i].analogMax = sum/10
 10. end if
 11. end for
 12. end if
-

Hàm điều khiển xy lanh được viết tại hàm 7.

Hàm 7: controlCylinders (cylinders, numberOfCylinders)

Đầu vào: Mảng các xi lanh (cylinders), số lượng các xi lanh (numberOfCylinders)

Đầu ra: Trạng thái relay

1. Đặt tolerance = 1.00 ;
2. **for** i = 0 to numberOfCylinders - 1 **do**
3. Đọc giá trị analog ở từng xi lanh
4. Quy đổi ra độ dài xi lanh (công thức 11)

```
5.      if currentLength < (cylinders[i].targetPos - tolerance) then
6.          Thiết lập relayA[i] = LOW
7.          Thiết lập relayB[i] = HIGH
8.      else if currentLength > (cylinders[i].targetPos + tolerance) then
9.          Thiết lập relayA[i] = HIGH
10.         Thiết lập relayB[i] = LOW
11.     else
12.         Thiết lập relayA[i] = HIGH
13.         Thiết lập relayA[i] = HIGH
```

4.4. Tổng quan chương trình điều khiển.

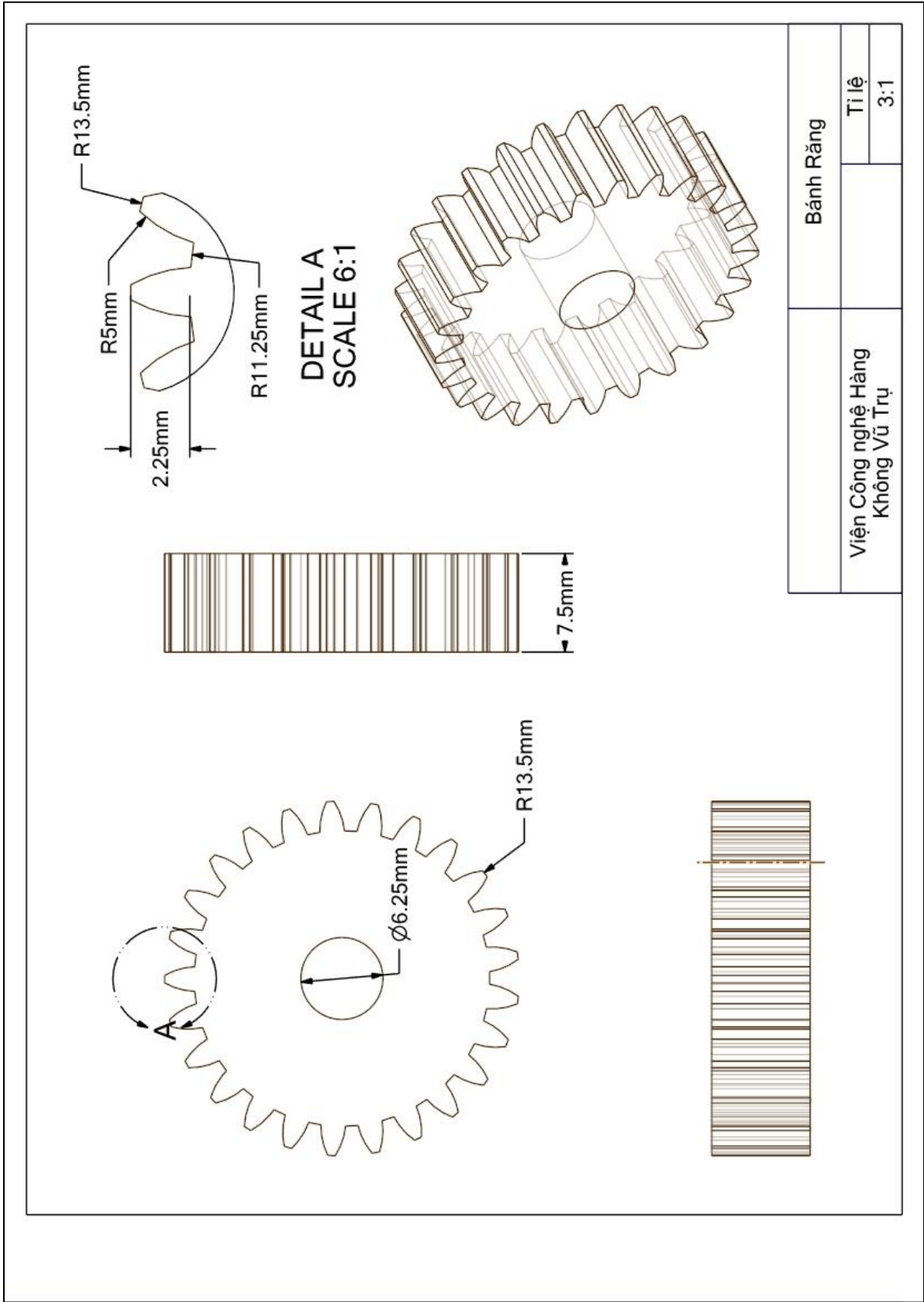
Lưu đồ chương trình điều khiển tổng quan được trình bày tại hình 4.4. Quá trình hiệu chỉnh được bắt đầu bởi nút nhấn trên joystick sau khi kết thúc quá trình hiệu chỉnh hệ thống mới nhận đầu vào từ tay gạt của joystick và bắt đầu thực hiện tính toán điều khiển xi lanh như các bước đã trình bày.

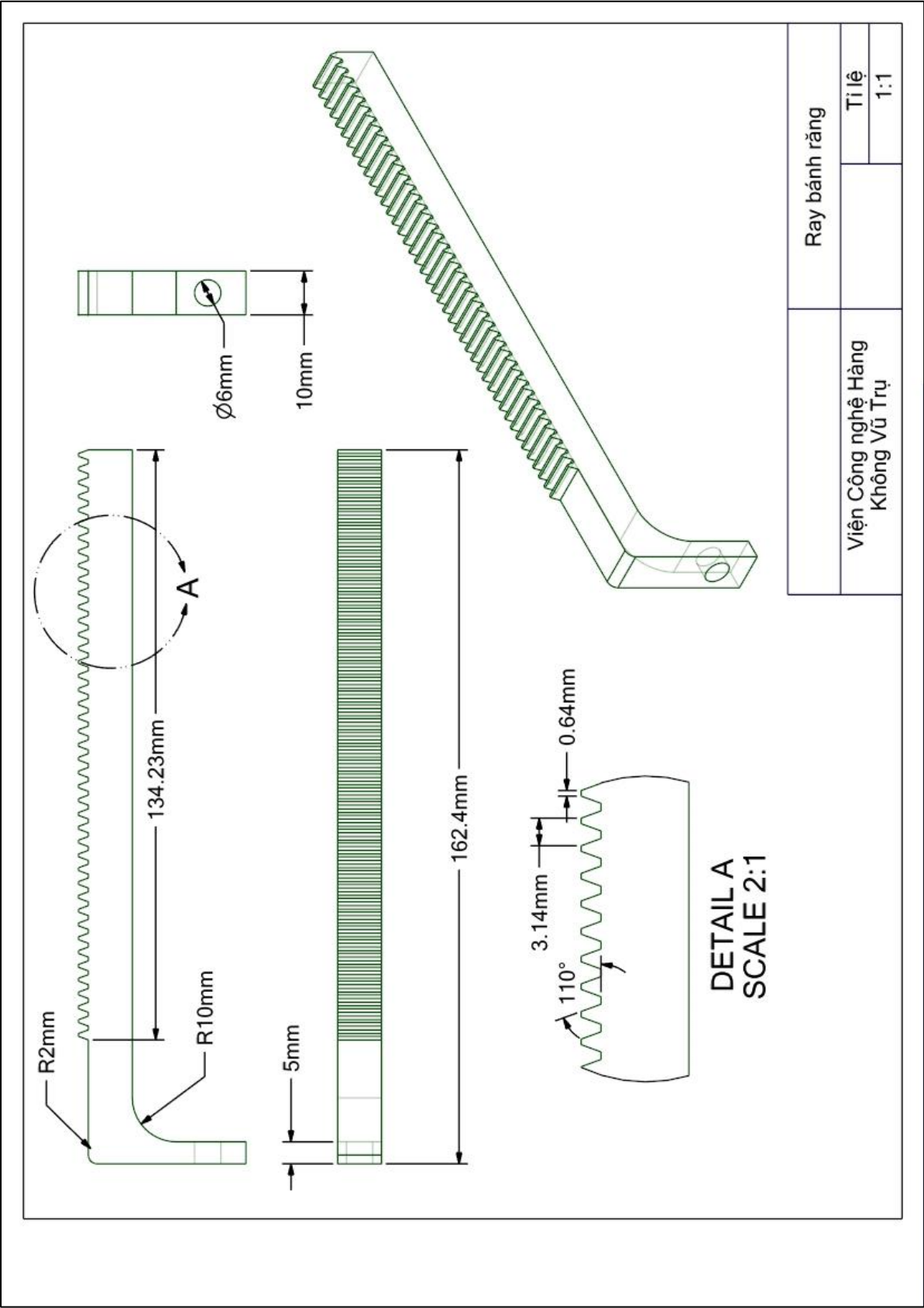
Chương 5. Kết luận.

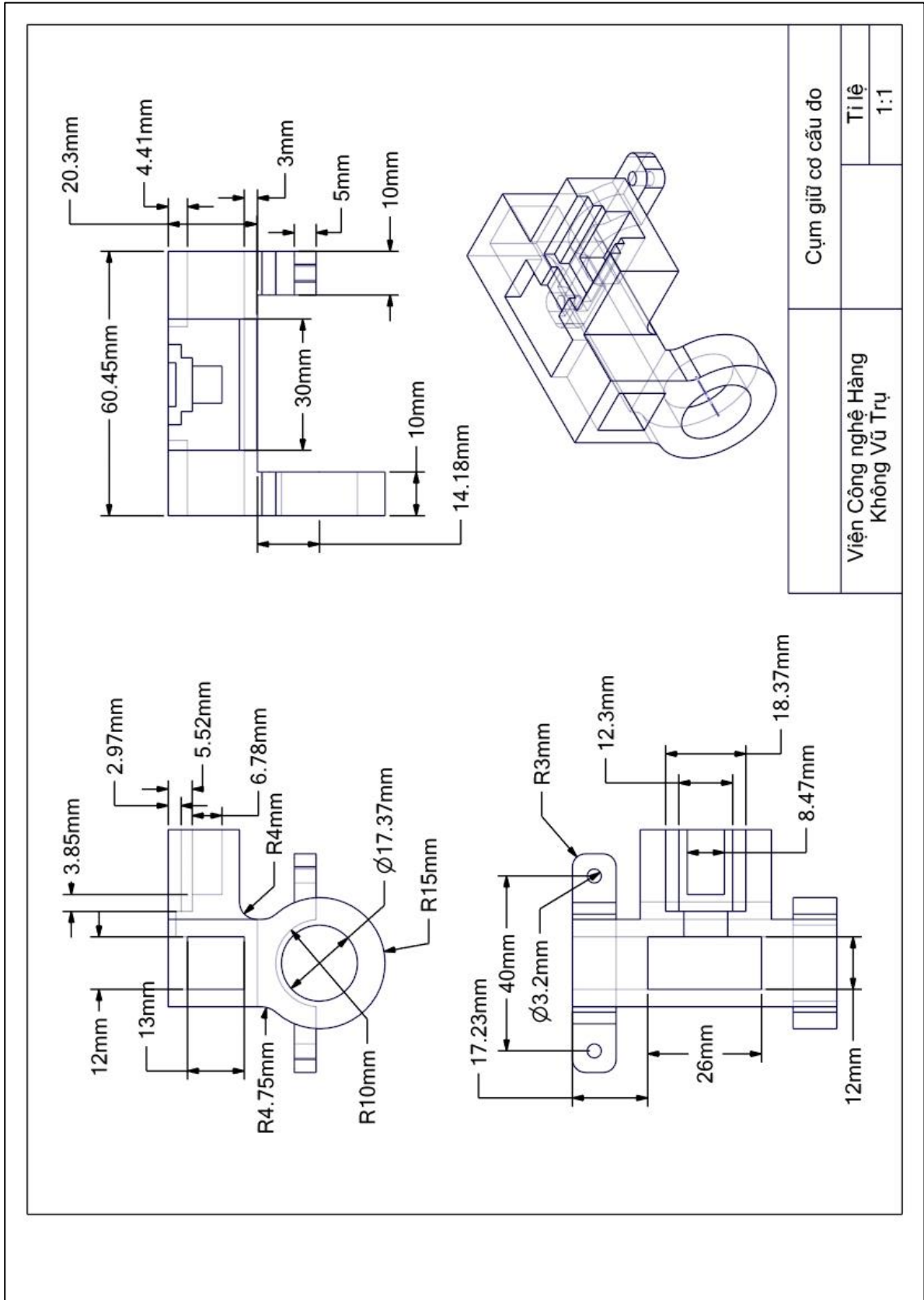
Nhóm đã thành công trong việc phát triển hệ robot song song với cơ cấu xy lanh khí nén và bộ đo hành trình sử dụng biến trở. Hệ thống có sai số cho mỗi xy lanh chỉ khoảng 1mm không gây sai lệch về góc, đưa ra ý tưởng về cơ chế đo lường mới và tiết kiệm chi phí nhưng còn điểm yếu là dải analog còn hẹp và dải analog đo được của biến trở bị thay đổi ở mỗi lần thử nghiệm. Chương trình điều khiển xy lanh tuần tự vẫn có thể đáp ứng nhưng chưa hiệu quả cao nên tích hợp bộ điều khiển pid để điều khiển chính xác hơn. Vì điều khiển sử dụng Arduino nano có độ nhiễu cao, hiệu suất tính toán chưa tốt có thể thay thế bằng PLC hoặc máy tính nhúng. Quá trình lắp ráp cơ khí còn chưa chắc chắn.

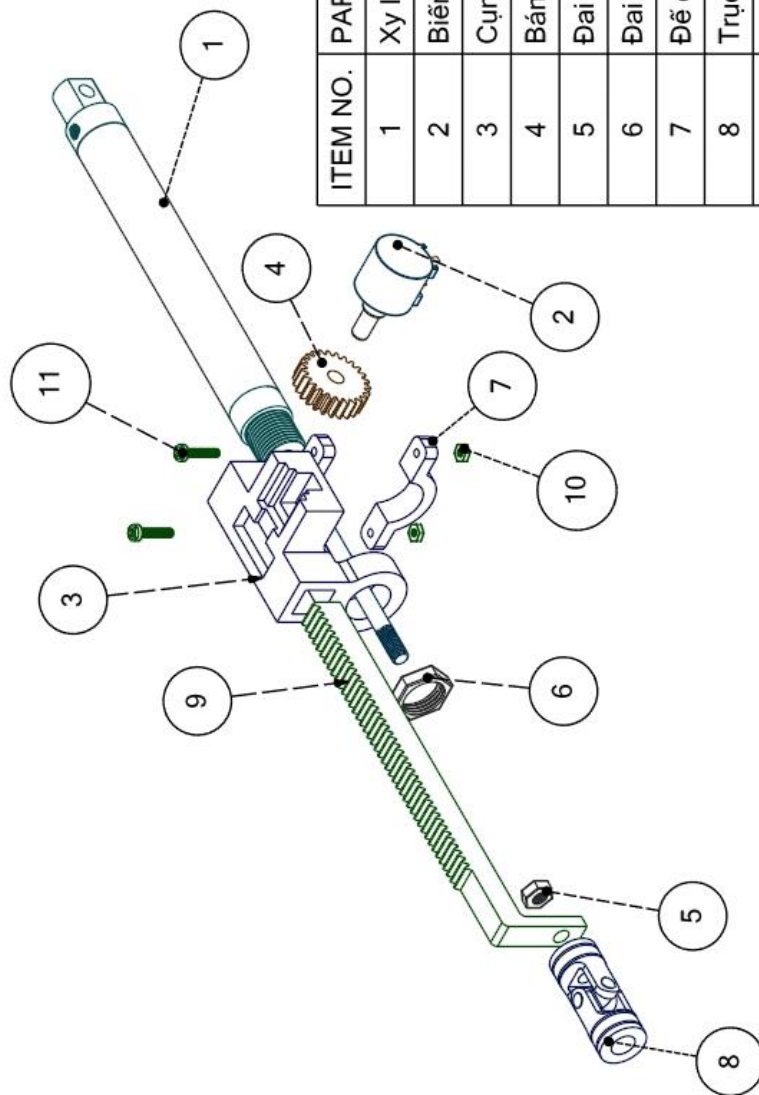
Phụ Lục

STT	Tên thiết bị	Số lượng	Đơn giá	Thành tiền
1	Xy lanh MAL 16x100	3	80,000	240,000
2	Van tiết lưu	6	12,500	75,000
3	Van điện từ 5/3 RPS	3	80,000	240,000
4	Ống nối chữ thập	1	5,000	5,000
5	Chiết áp	3	55,000	165,000
6	Đế gắn xy lanh	3	26,700	80,100
7	Bạc đỡ KFL08	3	16,500	49,500
8	Cardan 6*8	3	37,000	111,000
9	Relay 8 kênh	1	80,000	80,000
10	Ống dẫn khí			45,000
11	Dây điện			
12	Dây co nhiệt			
13	Bệ đỡ (cắt laser)	1		70,000
14	Joystick	1	40,000	40,000
15	Arduino nano	1	80,000	80,000
16	Nguồn tổ ong	1	150,000	150,000
17	Bộ thanh ray - bánh răng (in 3d)	1	25,000	75,000
Tổng tiền				1,505,600



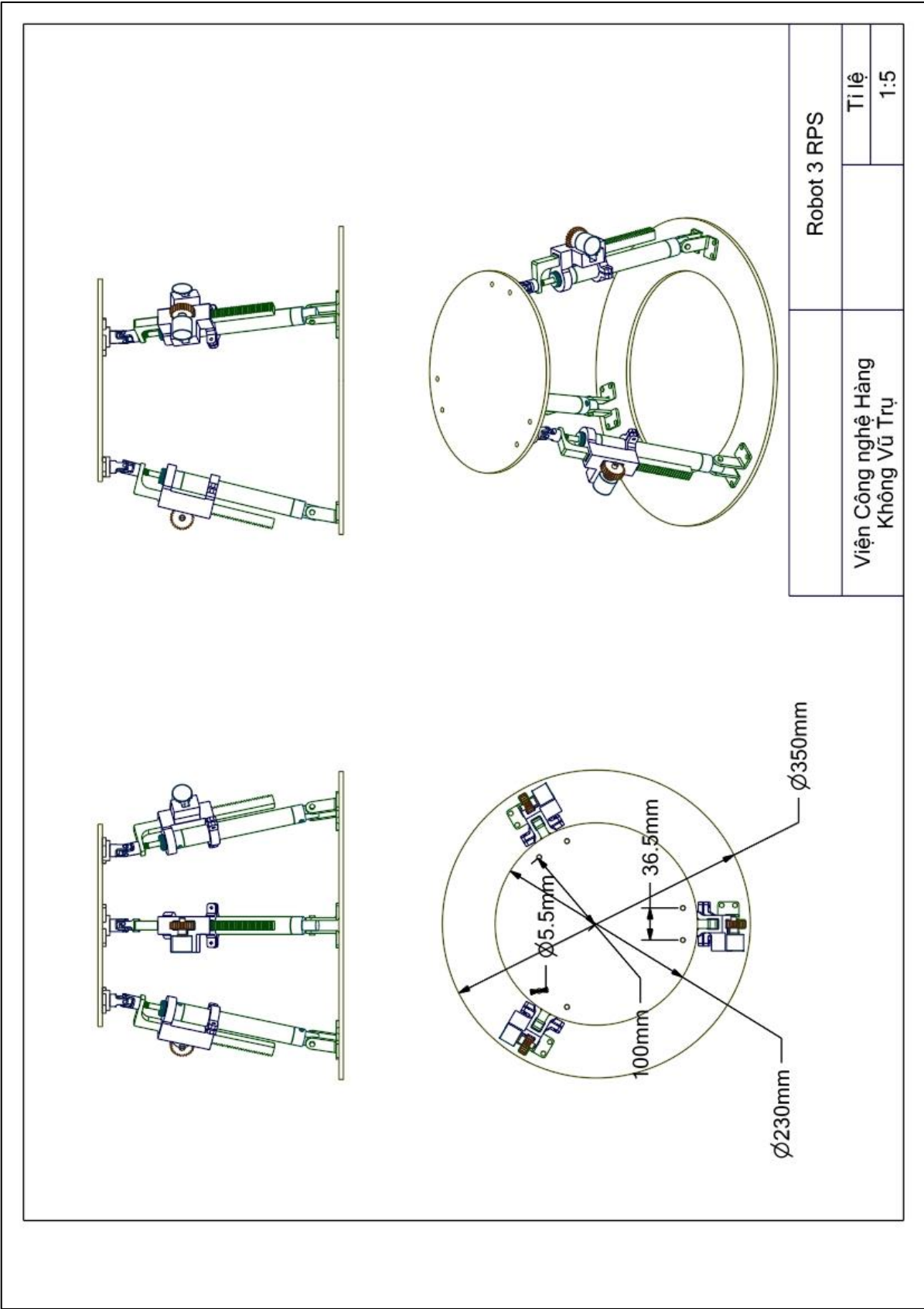




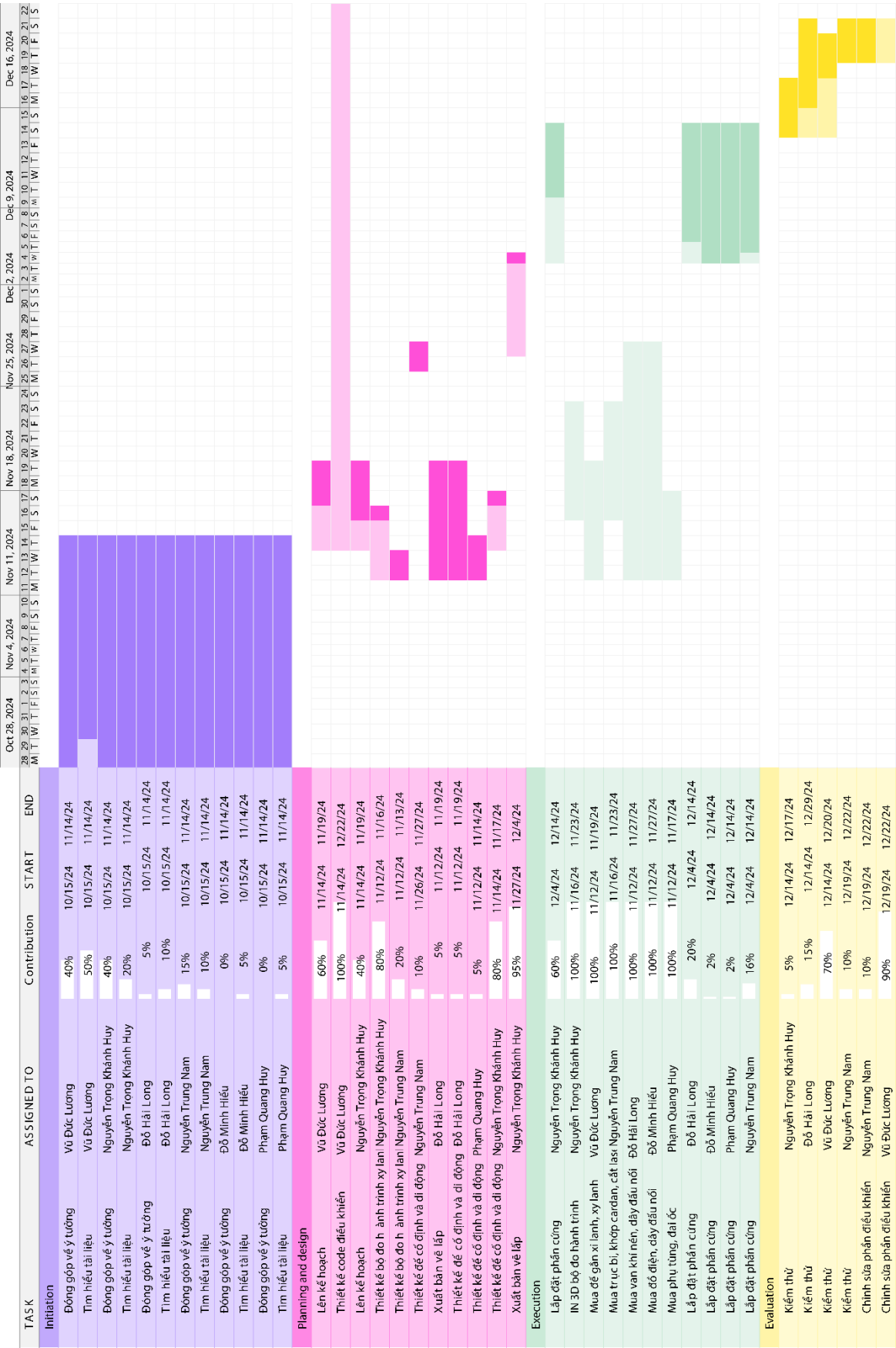


ITEM NO.	PART NUMBER	QTY
1	Xy lanh khí nén 16X-100	1
2	Biến trở 3590S	1
3	Cụm giữ cơ cấu đo	1
4	Bánh răng	1
5	Đai ốc M6	1
6	Đai ốc M16	1
7	Đế chữ C	1
8	Trục cardan 6x8	1
9	Ray bánh răng	1
10	Đai ốc M3	2
11	Ốc M3	2

Cơ cấu đo hành trình	
Viện Công nghệ Hàng Không Vũ Trụ	Tỉ lệ
	1:2



Sơ đồ gant phân chia công việc và phần trăm đóng góp



Tài liệu tham khảo

- [1] Rossell, Josep M., Jesus Vicente-Rodrigo, Josep Rubió-Massegú, and Víctor Barcons. "An effective strategy of real-time vision-based control for a Stewart platform." In 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), pp. 75-80. IEEE, 2018.
- [2] Duan, X., Mi, J. and Zhao, Z., 2016. Vibration isolation and trajectory following control of a cable suspended stewart platform. *Machines*, 4(4), p.20.
- [3] Dabiri, A., Sabet, S., Poursina, M., Armstrong, D.G. and Nikraves, P.E., 2017, May. An optimal Stewart platform for lower extremity robotic rehabilitation. In 2017 American Control Conference (ACC) (pp. 5294-5299). IEEE.
- [4] Abedinnasab, M.H., Farahmand, F., Tarvirdizadeh, B., Zohoor, H. and Gallardo-Alvarado, J., 2017. Kinematic effects of number of legs in 6-DOF UPS parallel mechanisms. *Robotica*, 35(12), pp.2257-2277.
- [5] Silva, D., Garrido, J. and Riveiro, E., 2022. Stewart platform motion control automation with industrial resources to perform cycloidal and oceanic wave trajectories. *Machines*, 10(8), p.711.
- [6] <https://www.youtube.com/shorts/uS7sJ0Ac0VY>
- [7] <https://amir-yazdani.github.io/project/stewart/>
- [8] <https://www.adttech.com.vn/vn/thuoc-do-hanh-trinh-xy-lanh-analog.html>
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=d7ErG5ecO2s>
- [10] Ba Xin, Luo Xiaohui, Shi Zhaocun, Zhu Yuquan, A vectored water jet propulsion method for autonomous underwater vehicles, *Ocean Engineering*, Volume 74, 2013, Pages 133-140, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.10.003>.
- [11] shopee.vn/Xylanh-khí-nén-hành-trình-100mm-MAL16x100-i.250971596.22968557608
- [12] <https://www.tec-science.com/mechanical-power-transmission/involute-gear/rack-meshing/>