

## Designing and manufacturing a wall climbing robot model

Phuc T. Nguyen\*, & Hoan D. Tran

Faculty of Engineering and Technology, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Research paper

Received: November 11, 2017

Revised: January 29, 2018

Accepted: April 09, 2018

#### Keywords

Climbing robot

Pressure

Wifi -controller

#### \*Corresponding author

Nguyen Tan Phuc

Email: phucnt@hcmuaf.edu.vn

### ABSTRACT

Potential applications of wall climbing robot are quite numerous, such as inspection, maintenance and cleaning operations of civil infrastructures. This robot was divided into 3 parts : adhesion part, movement part and control part. This paper presented the design and manufacture of a robot model which was suitable for well operating at 0.2 - 0.4 m/s velocity, high enough adhesion and a adaptive controller. In order to operate robot, a negative pressure adhesion mechanism was controlled by a arduino micro-controller. The result of research showed that robot was well adaptive for cleaning in high building which was from 20 to 30 meters high.

---

**Cited as:** Nguyen, P. T., & Tran, H. D. (2018). Designing and manufacturing a wall climbing robot model. *The Journal of Agriculture and Development* 17(4), 11-18.

---

## Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mô hình robot leo tường

Nguyễn Tấn Phúc\* & Trần Dương Hoan

Khoa Cơ Khí Công Nghệ, Trường Đại Học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh

### THÔNG TIN BÀI BÁO

#### Bài báo khoa học

Ngày nhận: 11/11/2017

Ngày chỉnh sửa: 29/01/2018

Ngày chấp nhận: 09/04/2018

#### Từ khóa

Áp suất  
Bộ điều khiển wifi  
Robot leo tường

#### \*Tác giả liên hệ

Nguyễn Tấn Phúc  
Email: phucnt@hcmuaf.edu.vn

### TÓM TẮT

Robot leo tường trần nhà có tính ứng dụng cao có thể dùng để kiểm tra, bảo trì và lau chùi kính các tòa nhà cao tầng. Robot leo tường được cấu tạo bởi 3 bộ phận chính: bộ phận bám tường, bộ phận di chuyển và phần điều khiển cho robot. Bài báo này trình bày kết quả thiết kế, chế tạo 1 mô hình robot leo tường và trần nhà theo các yêu cầu về vận tốc tiến trong khoảng từ 0,2 - 0,4 m/giây, với độ bám đủ lớn và 1 bộ điều khiển phù hợp. Để hoạt động được robot, một cơ cấu tạo ra áp suất bên dưới robot được điều khiển bởi vi điều khiển Arduino. Kết quả nghiên cứu cho thấy robot thiết kế đạt yêu cầu đề ra, hoạt động tốt ở phạm vi các tòa nhà cao tầng có chiều cao từ 20 - 30 m.

### 1. Đặt Vấn Đề

Trong thời gian gần đây, đã có những yêu cầu mạnh mẽ về việc sử dụng robot trong cuộc sống như lau dọn, kiểm tra kết cấu kiến trúc, điều kiện về ẩm mốc, bề mặt vật liệu tòa nhà cao tầng, hoặc vị trí khó di chuyển đến. Ngoài ra đối với quân sự việc quan sát phòng thủ, giám sát và chống khủng bố từ trên cao là hết sức cần thiết. Hầu hết các robot di động ngày nay chủ yếu chuyển động trong mặt phẳng 2D hoặc trên không mà không có khả năng leo tường. Robot leo tường là một thiết bị sử dụng trong nhiều ứng dụng trong thực tế. Những robot này hoạt động được trực tiếp ở những nơi nguy hiểm trong những môi trường hoạt động hiểm trở như leo thang đứng ở các tòa nhà, công trình cao tầng...

Có rất nhiều nghiên cứu trước đây để giải quyết vấn đề này liên quan đến việc di chuyển và khả năng bám của robot. Các dạng di chuyển robot đã được nghiên cứu có thể kể ra là: robot di chuyển theo kiểu chân, sử dụng giác hút chân không có tính linh hoạt ở nhiều địa hình khác nhau như bề mặt kính, có thể thay thế bằng đinh hoặc gai dính với bề mặt gỗ ghè, ưu điểm của dạng này

là có thể di chuyển trên từng bề mặt, linh kiện dễ kiếm, chi phí thấp, tuy nhiên cơ cấu phức tạp trong chuyển động, phải thay đổi bộ phận bám dính thường xuyên (Nishi & Miyagi, 1993; Love & ctv., 2006; Li & ctv., 2009). Robot di chuyển kiểu bánh xe, khung xe sử dụng lực hút từ tính có thể giúp robot vận hành trên bề mặt tôn hoặc thép, ưu điểm của kiểu này là có thể di chuyển trên bề mặt kim loại, cơ cấu thiết kế đơn giản, dễ dàng điều khiển, nhược điểm của dạng này là khó khăn trong chế tạo bánh xe từ tính, robot không thể di chuyển trên bề mặt không chịu ảnh hưởng bởi từ tính (Kim & ctv., 2005; Johnson & Suid, 2015). Robot di chuyển theo kiểu bánh xe có ưu điểm là chuyển động liên tục trên bề mặt phẳng, nhanh, dễ dàng với các ứng dụng như lau chùi kính các nhà cao tầng (Love & ctv., 2006; Sangbae & Matthew, 2007). Phương án sử dụng robot có máy bơm chân không để tạo áp lực cần các linh kiện là máy nén khí, bộ phận điều khiển, động cơ DC cũng cơ cấu các van khí, solenoid, điểm tiếp xúc là các tấm hút có ưu điểm là khả năng bám hút cao, di chuyển trên nhiều bề mặt tuy nhiên có nhược điểm là cơ cấu thiết kế khó khăn, cần phải có ống tải khí từ máy nén đến

robot nên phạm vi di chuyển hẹp, điều khiển phức tạp (Shen & ctv., 2005; Michael & William, 2006; Jiang & ctv., 2009).

Nội dung của nghiên cứu này là:

- Chọn bộ phận bám và dịch chuyển phù hợp để thực hiện công việc lau chùi đạt năng suất.
- Thiết kế, chế tạo bộ điều khiển phù hợp để robot có thể hoạt động tốt ở phạm vi chiều cao.
- Tính toán chọn bộ phận năng lượng pin giúp đảm bảo thời gian làm việc cho robot.

Robot leo tường dùng kỹ thuật với một cơ cấu tạo áp suất cao nhưng nhỏ gọn, khắc phục được những khuyết điểm ở trên cùng với kiểu di chuyển bánh xe giúp robot di chuyển nhanh gọn, thích hợp cho công việc lau chùi kính của các tòa nhà cao tầng được đề cập đến trong nghiên cứu dưới đây. Xây dựng 1 bộ điều khiển không dây cùng với nguồn năng lượng pin lipo đủ lớn giúp cũng được thực hiện trong nghiên cứu này.

## 2. Vật Liệu và Phương Pháp Nghiên Cứu

### 2.1. Vật liệu

Động cơ hút tạo áp suất là các động cơ dễ tìm thấy trên thị trường đáp ứng đủ yêu cầu tạo lực hút bám cho robot (Hình 1).



Hình 1. Robot dùng động cơ tạo áp suất.

Động cơ hoạt động cho robot là các động cơ DC cỡ nhỏ, có tốc độ đáp ứng nhanh.

Nguồn năng lượng pin lipo có công suất lớn được chọn lựa.

Bộ điều khiển phù hợp cho robot hoạt động ở tầm 20-30 m là vi mạch thu nhận sóng wi-fi ESP 8266, dễ dàng giao tiếp với vi điều khiển arduino.

Các module điều khiển động cơ, mạch công suất là các linh kiện dễ tìm trên thị trường để dễ dàng thay thế.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Phương pháp nghiên cứu thiết kế, chế tạo

Từ yêu cầu cần thiết để một robot có khối lượng nhỏ  $m = 1 - 1,5$  kg có khả năng leo cao ở các tòa nhà cao tầng với chiều cao từ 20 – 30 m, chạy ổn định chắc chắn trên một mặt phẳng thẳng đứng như là mặt kính, robot được gắn chổi lau được thiết kế phía bên dưới robot nên di chuyển vận tốc đủ chậm  $v = 0,2 - 0,4$  m/giây, robot có thể được điều khiển một cách mịn màng, có thể lặp đi lặp lại có chu kỳ đường đã lau, thời gian hoạt động được tầm 10-15 phút cho mỗi lần thay năng lượng pin.

Dựa trên yêu cầu thiết kế, chế tạo để lựa chọn các thông số như: động cơ tạo áp suất bám, bộ điều khiển thích hợp, năng lượng pin hoạt động. Dựa trên yêu cầu về vận tốc tiến, diện tích lau chùi để lựa chọn đường kính chổi lau, đường kính bánh xe, khung robot.

#### 2.2.2. Phương pháp khảo nghiệm

Robot được khảo nghiệm trực tiếp tại tòa nhà Thiên Lý - Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.

Thời gian hoạt động của robot được đo qua bộ định thời trực tiếp của bộ điều khiển, quãng đường hoạt động được đo theo phương pháp kẻ vạch trực tiếp với sai số 1 mm.

Vận tốc tiến và diện tích lau chùi của robot được tính toán qua các thông số đã đo.

Khảo nghiệm robot nhiều lần để lấy đánh giá tính ổn định và lấy số liệu trung bình.

## 3. Kết Quả và Thảo Luận

### 3.1. Lựa chọn vật liệu để chế tạo robot

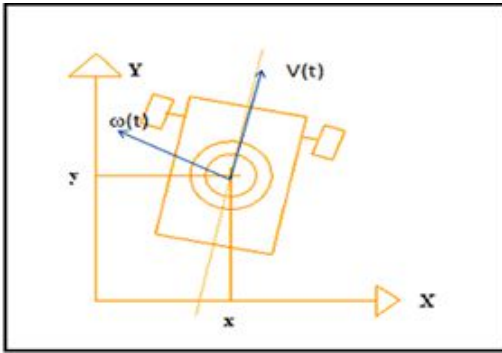
Sau khi tìm hiểu các thiết kế đã có tác giả quyết định chọn phương án sử dụng động cơ hút tạo áp suất hút là thành phần giữ Robot trên bề mặt, ở đây chọn động cơ Electrics Ducted Fans (EDF) đường kính 70 mm, số vòng quay trên vol

là 4500KV sử dụng drive ESC 60A có ngõ ra 5V cấp cho vi điều khiển. Sử dụng nguồn Lipo 4 cell 5500 mAh cấp cho toàn hệ thống, động cơ mini N20 với hộp giảm tốc tỉ số 1:150 hoạt động với điện áp từ 3 – 12V thông qua drive TB6612 dòng ra liên tục 1,2A và chuyển đổi DC – DC LM2596 3A điện áp điều chỉnh được. Bánh xe 4mm, khung nhôm và mica. Robot được điều khiển bằng ESP8266 và mạch Arduino Nano.

### 3.1.1. Tính toán lý thuyết cho robot

Dựa vào điều kiện ban đầu của robot mô hình robot với khung và các bánh di chuyển để viết phương trình động học cho robot sau đó áp dụng công thức Euler-Lagrange cho khung xe robot.

Mô hình hệ tọa độ của robot được trình bày như Hình 2:



Hình 2. Hệ tọa độ trên mô hình robot.

$x, y$ : tọa độ trọng tâm của robot  
 $v(t), w(t)$ : vận tốc dài, góc của robot  
 $M_c, M_w$ : khối lượng trục robot, bánh xe  
 $R_c, R_w$ : bán kính trục robot, bánh xe  
 $I_c, I_w$ : các momen quán tính robot, bánh xe

Sử dụng phương trình Lagrange II để tính toán được vận tốc và gia tốc của robot khi leo tường, theo Michael & ctv. (2016) ta được công thức tính gia tốc dài và gia tốc góc của robot khi hoạt động leo tường là:

$$\begin{aligned} \dot{v}(t) &= \frac{1}{2}R_w\dot{\omega}(l) + \frac{1}{2}R_w\dot{\omega}(r) \\ \dot{\omega}(t) &= \frac{R_w\dot{\omega}(l) - R_w\dot{\omega}(r)}{R_c} \end{aligned}$$

Từ 2 phương trình đòi hỏi gia tốc dài, gia tốc góc của robot yêu cầu khi hoạt động phụ thuộc vào bán kính bánh xe, bán kính khung robot, gia tốc góc của bánh trái và gia tốc góc của bánh xe phải.

### 3.1.2. Kết quả thiết kế cơ khí

Robot được thiết kế dựa trên phần mềm solidworks của công ty Solidworks Corp.

Bản vẽ chi tiết thiết kế và danh mục các thành phần theo bản vẽ Hình 3 và Bảng 1 bên dưới:

Bảng 1. Danh mục bảng vẽ thiết kế

STT	Tên
1	Khung
2	N20-1:150
3	Giá N20
4	Tấm Dệm
5	Bánh xe
6	Cánh Quạt Hút.
7	DC Hút
8	Khung DC Hút
9	Giá giữa
10	Giá Trên
11	Vành Khung Quạt
12	Giá Pin
13	HX-SHCS 0.073-72X0.5625X0.5625-C
14	HX-SHCS 0.138-40X2X1-N
15	MSHXNUT 0.073-72-S-N

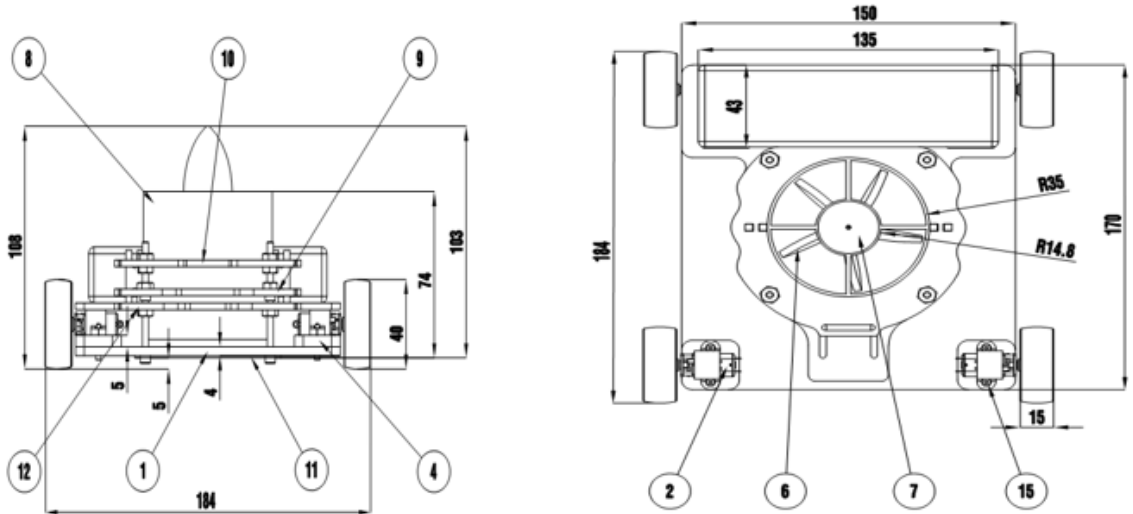
### 3.1.3. Kết quả thiết kế bộ điều khiển

Bộ điều khiển robot được thực hiện thông qua sóng wifi dùng vi mạch ESP 8266 là 1 vi mạch dễ tìm giúp robot có thể hoạt động tốt ở khoảng cách xa, ngoài trời trên các tòa nhà cao tầng đáp ứng được yêu cầu thiết kế. Bên cạnh đó, vi mạch ESP8266 còn liên kết được với adruino là 1 vi điều khiển lập trình được, giúp liên kết với các module điều khiển động cơ bánh xe một cách dễ dàng.

Giải thuật điều khiển robot Hình 4 cho thấy tín hiệu sau khi truyền qua sóng wifi đến bộ điều khiển, tín hiệu được giải mã và xuất tín hiệu điều khiển các động cơ trái và phải của bánh xe để động cơ hoạt động như mong muốn.

Để người sử dụng có thể dễ dàng điều khiển được robot, một giao diện điều khiển như Hình 5 cũng được thiết kế giúp người dùng có thể quan sát được các thông số khi hoạt động của robot như số vòng quay động cơ, tình trạng hoạt động của robot.

Kết quả thiết kế chế tạo toàn bộ mô hình điều khiển như Hình 6.



Hình 3. Bản vẽ thiết kế mô hình robot.

**3.1.4. Thiết kế bộ phận năng lượng pin**

Toàn hệ thống được cấp nguồn thông qua nguồn pin Lipo 4 cell nuôi toàn bộ mạch điều khiển và động cơ thông qua mạch BEC 5V và mạch chuyển điện áp DC-DC LM2596 dùng để điều khiển quạt hút áp suất.

$$\begin{aligned}
 I &= I_{dongco} + I_{machdieukhien} + I_{quathut} \\
 &= 2 + 1 + 30 \\
 &= 33 \text{ Ample}
 \end{aligned}$$

Dung lượng pin C=5500 mAh, thời gian sử dụng robot:  $T = C/I \times 60 = 10$  phút.

Thực tế robot hoạt động trong tầm 8-10 phút là gần đúng kết quả với lý thuyết tính toán.

**3.1.5. Kết quả khảo nghiệm robot**

Để đánh giá hoạt động của robot sau khi thiết kế toàn bộ robot, tác giả cho robot hoạt động ở 3 chế độ, mỗi chế độ tiến hành đo 3 lần về thời gian quãng đường hoạt động.

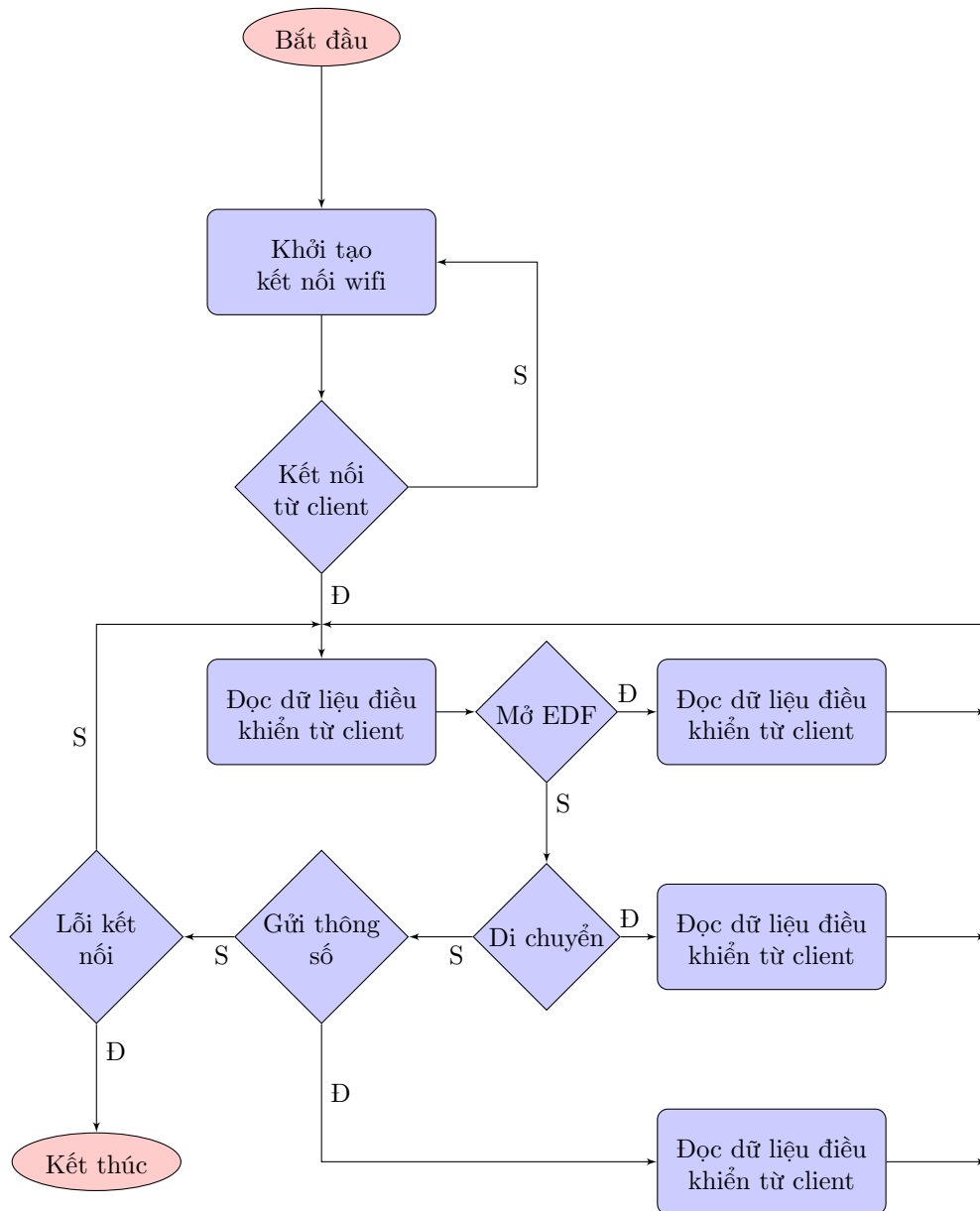
- Chế độ hoạt động bám tường chạy từ dưới lên trên: ta có kết quả Bảng 2 và đồ thị Hình 7.
- Chế độ bám tường chạy từ trên xuống: ta có bảng kết quả Bảng 3 và đồ thị Hình 8.
- Chế độ bám trần nhà: ta có kết quả Bảng 4 và đồ thị Hình 9.

Sau quá trình thiết kế và viết chương trình điều khiển cho robot cũng như tiến hành khảo nghiệm cho robot hoạt động ở cả 2 chế độ: chế độ leo bám tường và chế độ bám trần nhà (Hình 10). Kết quả cho thấy robot hoạt động khá tốt trong phạm vi có sóng wifi điều khiển ,quãng đường robot dịch chuyển trong cả 3 lần đo là tương đối ổn định, vận tốc hoạt động theo trên bảng khảo nghiệm từ 15 - 30 cm/giây thích hợp cho yêu cầu thiết kế với ứng dụng lau chùi cửa kính. Với kết quả khảo nghiệm, quãng đường robot có thể di chuyển sau 13 s ở chế độ bám tường từ dưới lên là 193-195 cm, thời gian của robot hoạt động theo tính toán là 10 phút = 600 giây tương đương quãng đường có thể lau kính là 90 m, điều này có thể thích hợp cho việc lau chùi có lặp lại các tòa nhà cao tầng từ 20-30 m như yêu cầu thiết kế.

**4. Kết Luận**

Một mô hình robot leo tường trần nhà đã được thiết kế chế tạo với khối lượng nhỏ  $m = 1,2$  kg, trong đó có bộ phận bám là 1 động cơ tạo áp suất lớn cùng với bộ điều khiển từ xa qua sóng internet.

Kết quả khảo nghiệm cho thấy được tính ổn định của robot qua 3 lần đo, robot hoạt động bám tốt trong phạm vi các tòa cao tầng từ 20 - 30 m, vận tốc hoạt động vào khoảng 20 cm/giây. Robot hoạt động mượt mà trong phạm vi sóng wifi tốt, có khả năng lặp lại đường lau. Tuy nhiên



Hình 4. Sơ đồ giải thuật điều khiển robot.

**Bảng 2.** Thời gian và quãng đường robot ở chế độ bám tường từ dưới lên

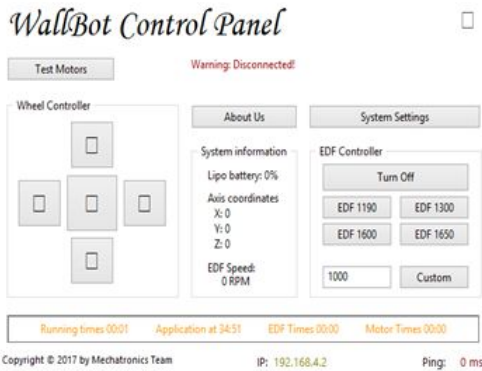
Thời gian (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lần 1 (cm)	0	14	31	45	60	76	90	104	119	133	148	163
Lần 2 (cm)	0	15	29	44	58	73	89	104	120	134	148	162
Lần 3 (cm)	0	15	28	43	58	73	88	103	121	133	147	163
Trung bình (cm)	0	14,6	29,3	44	58,3	74	89	103,6	120	133,3	147,6	162,6

**Bảng 3.** Thời gian và quãng đường robot ở chế độ bám tường từ trên xuống

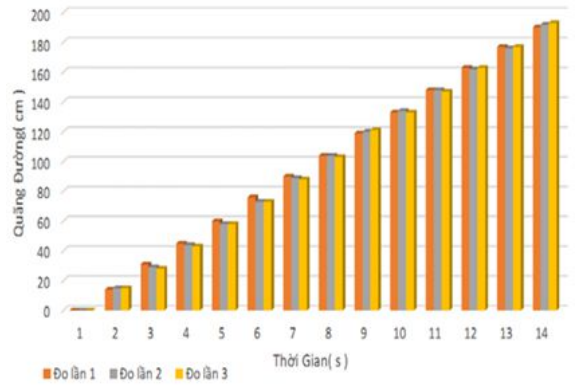
Thời gian (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lần 1 (cm)	0	23	47	70	94	117	141	164	187	209	232	254
Lần 2 (cm)	0	22	46	69	92	116	140	162	184	207	230	250
Lần 3 (cm)	0	22	47	68	93	116	140	163	185	210	232	254
Trung bình (cm)	0	22,3	46,6	69	93	116,3	140,3	163	185,3	208,6	231	252,6

**Bảng 4.** Thời gian và quãng đường robot ở chế độ bám trần nhà

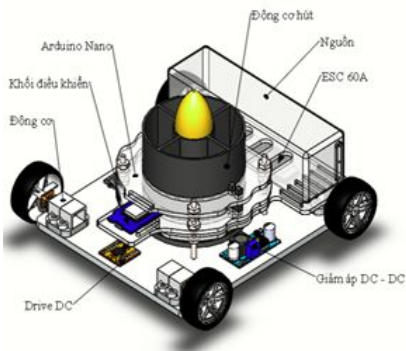
Thời gian (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lần 1 (cm)	0	23	47	70	94	117	141	164	187	209	232	254
Lần 2 (cm)	0	22	46	69	92	116	140	162	184	207	230	250
Lần 3 (cm)	0	22	47	68	93	116	140	163	185	210	232	254
Trung bình (cm)	0	22,3	46,6	69	93	116,3	140,3	163	185,3	208,6	231	252,6



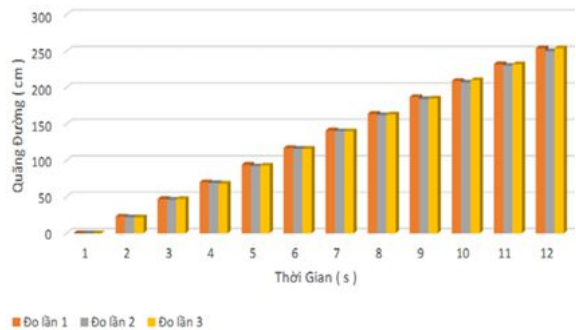
**Hình 5.** Giao diện điều khiển cho robot.



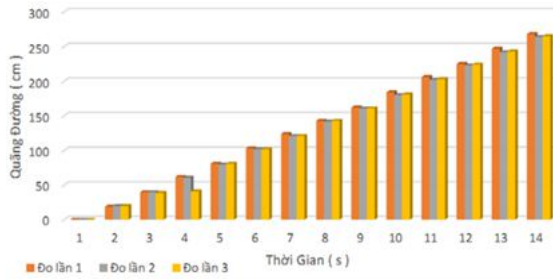
**Hình 7.** Đồ thị Robot hoạt động bám tường dưới lên.



**Hình 6.** Các thành phần điều khiển.



**Hình 8.** Đồ thị Robot hoạt động bám tường dưới lên.



Hình 9. Đồ thị Robot hoạt động bám trần.



Hình 10. Khảo nghiệm robot tại Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh.

robot vẫn còn hạn chế là thời lượng pin chưa đủ lớn để làm việc liên tục thời gian dài, bộ phận lau còn đơn giản, robot hoạt động chập chờn khi sóng wifi yếu.

Đây là bước đầu nghiên cứu cho các mô hình robot leo và bám tường điều khiển từ xa không dây, có thể phát triển thêm cho robot các ứng dụng thực tế như: nâng cao thời lượng pin để robot hoạt động lâu hơn, gắn thêm bộ phận công tác chải lau giúp lau kính các tòa nhà cao tầng, thêm camera để robot có thể truyền về các hình ảnh của các khe tường bị nứt, hoặc các đường ống bị hư tại những vị trí mà con người không hoặc khó có khả năng di chuyển đến được (Hình 11).



Hình 11. Robot làm việc ở chế độ leo kính.

## Tài Liệu Tham Khảo (References)

- Jiang, Z., Li, J., Gao, X., Fan, N., & Wei, B. (2009). Study on pneumatic wall climbing robot adhesion principle and suction control. *International Conference on Robotics and Biomimetics (1812-1817)*. Guangxi, China: IEEE.
- Johnson, R. J., & Suid, R. H. (2015). Pressure Control of Wall Climbing Robot Using PID Controller, *ARNP. Journal of engineering and applied sciences* 10(21), 9825-9829.
- Kim S., Asbeck, A. T., Provancher, W. R., & Cutkosky, M. R. (2005). SpinybotII: Climbing Hard Walls with Compliant Microspines. *ICAR 05. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference (601-606)*. Washington, USA: IEEE.
- Li, J., Gao, X., Fan, N., Li, K., & Jiang, Z. (2009). Bit climber: A centrifugal impeller based wall climbing robot. *2009 International Conference on Mechatronics and Automation (4605-4609)*. Changchun, China: IEEE.
- Love, P. K., Jason, G., & Max, M. (2006). A Wall Climbing Robot for Oil Tank Inspection. *2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (1523-1528)*. Kunming, China: IEEE.
- Michael, P. M., & William, T. (2006). Waalbot: An Agile Small-Scale Wall Climbing Robot Utilizing Pressure Sensitive Adhesives. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (330-338)*. Beijing, China: IEEE.
- Nishi, A., & Miyagi, H. (1993). Propeller type wall-climbing robot for inspection use. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction (189-196)*. Houston, Texas, USA: Elsevier.
- Sangbae, K., & Matthew, S. (2007). Whole body adhesion: hierarchical, directional and distributed control of adhesive forces for a climbing robot. *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Roma, Italy: IEEE.
- Shen, W., Gu, J., & Shen, Y. (2005). Proposed Wall Climbing Robot with Permanent Magnetic Tracks for Inspecting Oil Tanks. *IEEE International Conference Mechatronics and Automation (2072-2077)*. Niagara Falls, Ont., Canada: IEEE.