

NGHIÊN CỨU VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC BỐ TRÍ CẢM BIẾN HỒNG NGOẠI DÀNH CHO XE DÒ LINE

STUDY ON EFFECT OF DIFFERENT IR-SENSOR LAYOUTS ON EXTRACTING RELEVANT INFORMATION FOR LINE FOLLOWER.

Trịnh Vương Quang Huy^{2,3}, Dương Văn Tú^{1,2,3}, Nguyễn Huy Hùng^{2,3,4}, Nguyễn Tấn Tiến^{1,2,3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

⁴Trường Đại học Sài Gòn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu về sự thay đổi tín hiệu phản hồi từ cảm biến hồng ngoại, được ứng dụng rộng rãi trong xe dò line, theo cách bố trí cảm biến. Việc bố trí một cách hợp lý các cảm biến hồng ngoại trong xe dò line đóng vai trò quan trọng đối với việc xử lý tín hiệu cảm biến và đơn giản hóa bộ điều khiển, tăng hiệu quả cho toàn hệ thống. Nghiên cứu cho thấy một trong những cách bố trí hiệu quả là sắp xếp các cảm biến theo một đường thẳng, hợp với phương tiếp tuyến của xe một góc 30 độ để tạo sự chênh lệch giữa giá trị nhận được khi xe chệch sang trái và sang phải so với phương thẳng của line. Kết quả mô phỏng bằng Matlab cho thấy sự ảnh hưởng rõ rệt của việc bố trí này đối với việc xử lý tín hiệu phản hồi từ cảm biến hồng ngoại.

Từ khóa: Cảm biến hồng ngoại; Bố trí cảm biến; Xe đua dò line.

ABSTRACT

This paper presents research on the change in response signals from infrared sensors, widely used in line detectors, according to the sensor arrangement. Proper arrangement of infrared sensors in the line detector plays an important role in processing sensor signals and simplifying the controller, increasing the efficiency of the entire system. Research shows that one of the effective arrangements is to arrange the sensors in a straight line, at a 30-degree angle to the vehicle's tangent direction to create the difference between the value received when the vehicle leans left and right to the reference line. Simulation results using Matlab show a clear influence of this arrangement on the processing of feedback signals from the infrared sensor.

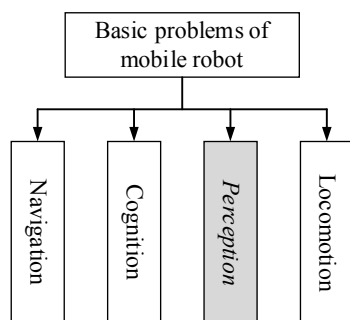
Keywords: Infrared sensors; Sensor layout; Line tracking racing car.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Là một đầu bài có đầy đủ tất cả yếu tố của một sản phẩm Cơ Điện tử như: cơ khí, điện tử, điều khiển và lập trình; thiết kế xe đua dò line đã trở thành một trong những đề tài phổ biến mang tính thách thức trong các cuộc thi quốc tế và trong giảng đường đại học kỹ thuật giảng dạy chuyên ngành Cơ Điện tử tại Việt Nam [1].

Để giải quyết được bài toán lớn là thiết kế xe đua bám đường đua cho trước và chạy với vận tốc nhanh nhất, một trong những cách tiếp cận chính là chia nhỏ các vấn đề cần được giải quyết thành những bài toán nhỏ, dựa trên những khía cạnh nền tảng của một mobile robot [2] được miêu tả như Hình 1: locomotion (sự vận động) – giải quyết các vấn đề về chuyển động; perception (sự nhận biết) – liên quan đến việc thu nhận và xử lý tín hiệu từ hệ thống cảm biến; cognition (sự nhận thức) – bộ điều khiển quyết định, tính toán tín hiệu đầu ra dựa trên những dữ liệu đã được tổng hợp; navigation (sự định hướng) – liên quan đến kỹ năng định vị (navigation skill), hoạch định chuyển động (path planning), lập bản đồ và bản địa hóa (localization and mapping).

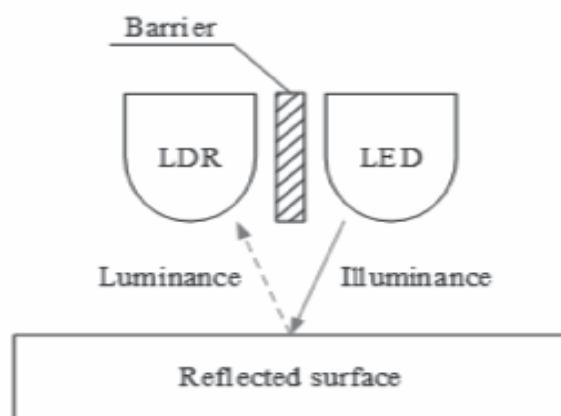


Hình 1. Các vấn đề nền tảng của mobile robot

Bài báo này tập trung giải quyết một khía cạnh duy nhất của xe dò line là perception (sự nhận biết), trong đó có một bước đóng vai

trò chủ đạo trước khi bắt đầu quá trình thiết kế chính là lựa chọn cảm biến. Đối với bài toán dò line, cảm biến hồng ngoại thường được sử dụng do độ phổ biến, đa dạng trên thị trường với nhiều loại giá thành, độ phức tạp của thuật toán xử lý thấp hơn so với các loại cảm biến khác [3], [4].

Về cấu tạo, cảm biến hồng ngoại thông dụng sẽ bao gồm LED (Light Emitting Diode – Đi-ốt phát quang) và LDR (Light Dependent Resistor – Điện trở quang) được ngăn cách bởi Barrier (lá chắn). Tín hiệu thu được từ cảm biến sẽ phụ thuộc vào công suất phát của bóng LED, và bề mặt phản quang (Reflected surface) được mô tả như Hình 2.



Hình 2. Cấu tạo của một cảm biến hồng ngoại điển hình

Marc E. Schiler đã đề cập chi tiết về sự khác biệt giữa 2 khái niệm Luminance (độ chói) và Illuminance (độ rọi), cũng như mối quan hệ giữa chúng trong bài báo của mình [5] thông qua công thức:

$$L_v = E_v \cdot \rho \quad (1)$$

Trong đó, L_v (lux) và E_v (lux) là độ chói sáng và độ rọi sáng; ρ là hệ số phản quang của bề mặt, giá trị này sẽ phụ thuộc vào vật

liệu và màu sơn của bề mặt phản quang như trong nghiên cứu của Loe D. Rowlands E. và Mansfield K. [6] được thể hiện qua Bảng 1.

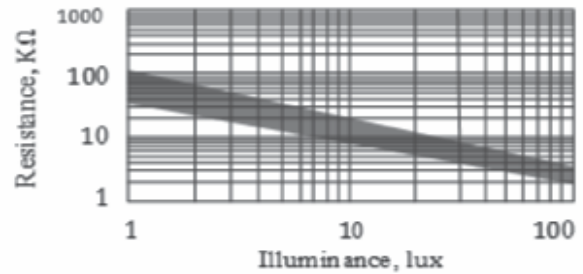
Bảng 1. Hệ số phản quang của các bề mặt hoàn thiện khác nhau

Màu sơn bề mặt	Hệ số phản quang
Trắng	0.85
Kem	0.8
Xám nhạt	0.7
Xám đen	0.15
Đen	0.05
Vật liệu của bề mặt	Hệ số phản quang
Giấy	0.8
Thảm	0.1-0.45
Gạch vữa	0.2-0.3
Kính trong suốt	0.1

Có thể thấy giá trị của L_v sẽ biến đổi tuyến tính với hệ số ρ khi thay đổi từ bề mặt phản quang màu đen (Black paint – 0.05) sang màu trắng (White paint – 0.85), dẫn đến sự khác biệt rõ rệt trong nội trở (Internal Resistance) của LDR – một biểu hiện điển hình của LDR được thể hiện trong đồ thị Hình 3. Từ đồ thị này có thể suy ra được công thức tính giá trị nội trở (Internal Resistance) gần đúng của bóng LDR theo hàm bậc nhất như sau:

$$R_{IR} \approx -k_1 \cdot E_v + k_2 \quad (2)$$

Với R_{IR} là giá trị nội trở của cảm biến hồng ngoại, E_v là độ chói (Illuminance) từ bề mặt phản quang đến cảm biến, cùng với $\{k_1, k_2\} > 0$ là cặp hệ số sẽ thay đổi với những LDR khác nhau. Đối với một cảm biến hồng ngoại, cặp giá trị k_1, k_2 này còn sẽ phụ thuộc vào công suất của bóng phát (LED) và khoảng cách giữa cảm biến và bề mặt phản quang, nhưng bài báo này sẽ đưa sự ảnh hưởng của hai yếu tố này vào hai biến k_1 và k_2 ở trên.



Hình 3. Mối liên hệ giữa Illuminance và Resistance của LDR GL5528

Đối với bài toán dò line đen trên bề mặt màu trắng, cần cân nhắc đến hình dạng vùng bao phủ (covered area) của mỗi cảm biến hồng ngoại và hệ số phản quang ρ của vùng bao phủ được kết hợp bởi hai phần màu trắng và đen với tỉ lệ khác nhau, bài báo này sẽ đặt giả thiết hệ số ρ sẽ biến đổi tuyến tính với tỉ lệ của phần màu trắng của bề mặt dò line trong vùng bao phủ (giả thiết 1) và hình dạng của vùng này là một hình tròn (giả thiết 2). Từ đó có thể suy ra:

$$\rho_{CA} = \rho_{color} \times \rho_{material} \quad (3)$$

Trong đó, ρ_{CA} là hệ số phản quang từ bề mặt bao phủ (covered area) của cảm biến; $\rho_{material}$ là hệ số phản quang ảnh hưởng bởi loại vật liệu của bề mặt này; ρ_{color} là hệ số phản quang liên quan đến màu sắc được tính bởi công thức được suy ra từ giả thiết 1:

$$\rho_{color} = H_w(\rho_w - \rho_b) + \rho_b \quad (4)$$

Với, H_w là tỉ lệ của phần màu trắng trong vùng được bao phủ của cảm biến; ρ_w và ρ_b là hệ số phản quang của bề mặt sơn màu trắng và đen.

Cuối cùng từ hai công thức (2) và (3) có thể suy ra được công thức tổng quát tính nội trở R_{IR} của cảm biến hồng ngoại dựa trên sự thay đổi của tỉ lệ phần màu trắng H_w trong bề mặt bao phủ:

$$R_{IR} \approx [H_w (\rho_w - \rho_b) + \rho_b] \cdot \rho_{\text{material}} - k_1 + k_2 \quad (5)$$

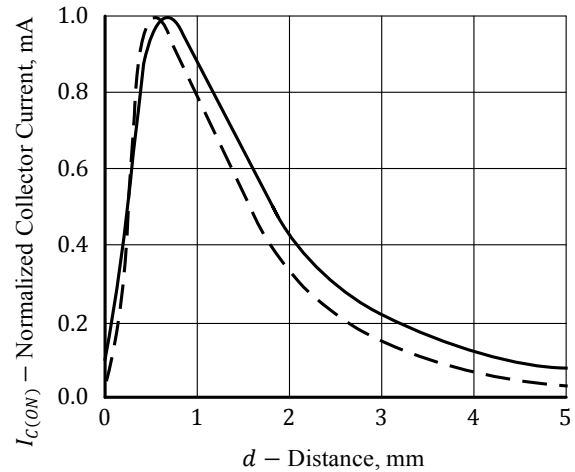
Để có thể chuyển thành thông tin hữu ích đưa vào bộ điều khiển từ hệ thống các cảm biến hồng ngoại với những cơ sở lý thuyết trên, có một số những yếu tố cần được cân nhắc kỹ càng trong quá trình thiết kế cảm biến:

Một là số lượng tối thiểu các cảm biến được sử dụng, và khoảng cách tương đối giữa các cảm biến, điều đã được M. Zafri Baharuddin (2016) trình bày một cách chi tiết [6], cùng với công thức tính khoảng cách tối thiểu giữa hai cảm biến được bố trí xa nhau nhất:

$$w < |S_{RR} - S_{LL}| < \frac{w}{\tan \theta_c} \quad (6)$$

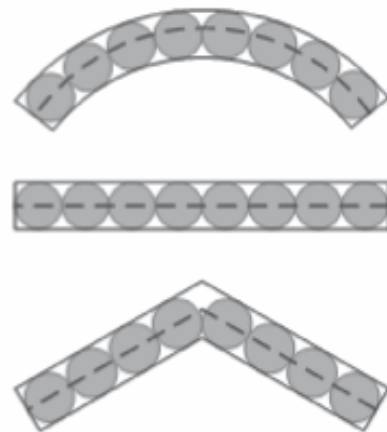
Trong đó, $|S_{RR} - S_{LL}|$ là khoảng cách giữa cảm biến bên trái – ngoài cùng và bên phải – ngoài cùng, mm; w là độ rộng của line, mm; θ_c là góc nghiêng tối đa của xe so với line, rad.

Hai là khoảng cách tối ưu giữa bề mặt cảm biến hồng ngoại và mặt phẳng cần dò line. Thông thường, thông tin này sẽ được mô tả trong datasheet của các loại cảm biến hồng ngoại, ví dụ trong Hình 4 là một đồ thị được lấy từ datasheet của cảm biến QRE1113R thể hiện mối liên hệ điển hình giữa $I_{C(ON)}$ On-State Collector Current (dòng điện kênh thu ở trạng thái kích hoạt) và d – khoảng cách giữa cảm biến và bề mặt phản quang, đường nét liền và đường nét đứt lần lượt đại diện cho bề mặt giấy trắng với hệ số phản quang ($\rho = 0,9$), và bề mặt gương. Có thể thấy, đối với khoảng cách $d = 0,4 \div 1,2$ mm, giá trị của $I_{C(ON)}$ luôn lớn hơn 0.8mA, suy ra đây chính là khoảng độ cao tối ưu giữa cảm biến và mặt phẳng dò line dành cho loại cảm biến QRE1113R.



Hình 4. Mối liên hệ giữa $I_{C(ON)}$ và d của cảm biến QRE1113R

Cuối cùng, một yếu tố hiếm khi được đề cập nhưng lại có ảnh hưởng không nhỏ trong việc phản hồi tín hiệu, chính là cách phân bố hệ thống cảm biến, một hệ thống cùng với một số lượng cảm biến và khoảng cách tương đối cũng có thể được sắp xếp theo nhiều hình dạng khác nhau như Hình 5.



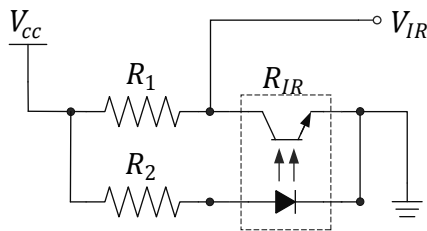
Hình 5. Các hình dạng khác nhau của hệ thống cảm biến hồng ngoại

Bài báo này tập trung nghiên cứu về sự ảnh hưởng của những cách bố trí khác nhau của hệ thống cảm biến đối với tín hiệu phản hồi.

2. THIẾT LẬP MÔ PHỎNG

2.1. Sơ đồ mạch cảm biến hồng ngoại

Để có thể mô phỏng tín hiệu trả về từ cảm biến, sơ đồ nguyên lý mạch điện của một cảm biến hồng ngoại đơn được mô tả như Hình 6:



Hình 6. Nguyên lý mạch cảm biến hồng ngoại

Với sơ đồ mạch trên, mắt phát (LED) sẽ liên tục phát tia hồng ngoại (IR) với công suất không đổi phụ thuộc vào điện áp cấp V_{cc} và điện trở hạn dòng R_2 . Bài báo này sẽ không thiết lập thông số R_2 do đã quy sự ảnh hưởng của mắt phát (LED) vào cặp hệ số $\{k_1, k_2\}$ như đã đề cập ở phần trước. Như vậy, điện áp V_{IR} sẽ thay đổi theo giá trị điện trở R_{IR} theo công thức:

$$V_{IR} = \frac{R_{IR}}{R_1 + R_{IR}} V_{cc} \quad (7)$$

Với một mạch chuyển đổi Analog sang Digital (ADC Converter) N-bits và giá trị điện áp so sánh V_{ref} , trị số Analog thu được sẽ được tính từ công thức:

$$ADC_{val} = \frac{V_{IR}}{V_{ref}} (2^N - 1) \quad (8)$$

Đối với một hệ thống gồm n cảm biến hồng ngoại, tổng giá trị Analog từ hệ thống trên sẽ được tính bằng công thức dưới đây:

$$ADC_{total} = \sum_{i=1}^n ADC_i \quad (9)$$

2.2. Thiết lập thông số hệ thống

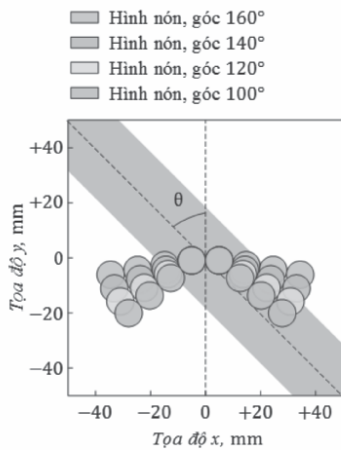
Với bài toán dò line trên mặt phẳng trắng và line màu đen, bài báo này sẽ thực hiện mô phỏng bằng Matlab tín hiệu trả về từ hệ thống cảm biến hồng ngoại với những thông số trong bảng dưới đây:

Bảng 2. Thông số hệ thống cho mô phỏng

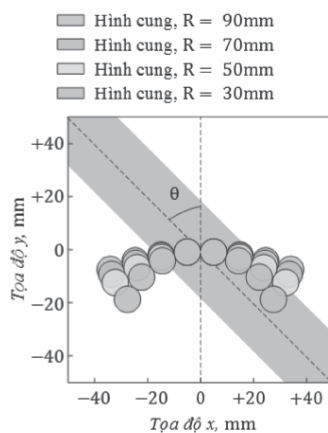
Thông số	Giá trị
Độ rộng của line, w_{line} , mm	26
Bán kính vùng bao phủ của mỗi cảm biến hồng ngoại, R_{CA} , mm	5
Hệ số nội trở LDR, k_1	3×10^4
Hệ số nội trở LDR, k_2	2×10^4
Hệ số phản quang từ vật liệu bề mặt dò line, $\rho_{material}$	0.7
Hệ số phản quang bề mặt đen, ρ_b	0.05
Hệ số phản quang bề mặt trắng, ρ_w	0.85
Điện trở hạn dòng, R_1 , k Ω	10
Điện áp so sánh, V_{ref} , V	5
Điện áp cấp cho cảm biến, V_{cc} , V	5
Độ phân giải bộ ADC, N, bits	10

2.3. Thiết lập mô phỏng

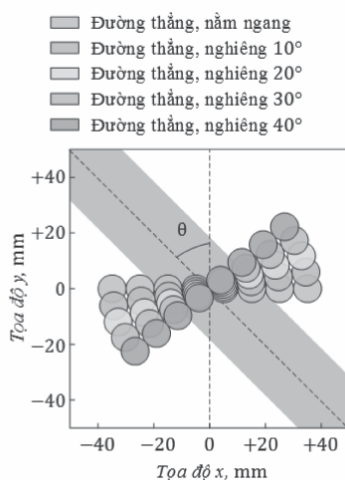
Mô phỏng được tiến hành với ba dạng bố trí cảm biến chính như Hình 5, các kiểu bố trí khác nhau được thể hiện trong Hình 7, Hình 8 và Hình 9.



Hình 7. Mô phỏng cảm biến theo dạng hình nón



Hình 8. Mô phỏng cảm biến theo dạng hình cung

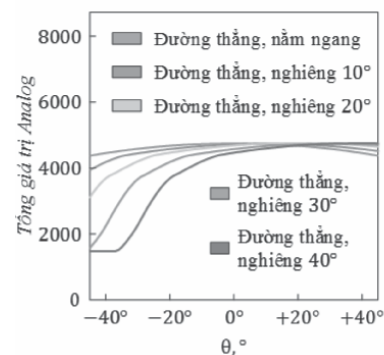
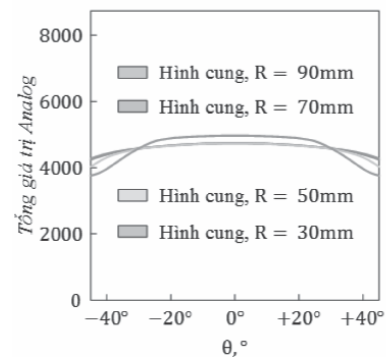
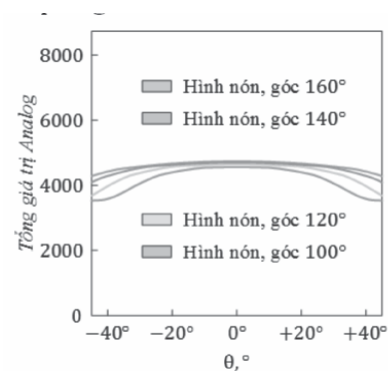


Hình 9. Mô phỏng cảm biến theo dạng đường thẳng

Cách bố trí cảm biến hồng ngoại phổ biến là dạng đường thẳng, trùng với phương tiếp tuyến của thân robot như Hình 9, tuy nhiên có thể tạo ra nhiều kiểu bố trí khác nhau bằng cách tạo góc nghiêng cùng với θ là góc hợp bởi phương của line trên bề mặt di chuyển và phương của thân robot.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Kết quả dữ liệu mô phỏng



Hình 10. Kết quả mô phỏng thể hiện qua biểu đồ

Bảng 3. Tổng hợp dữ liệu mô phỏng

Bố trí hình nón, độ	Tổng giá trị Analog		
	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Thay đổi
Góc 160	4267	4719	5.5%
Góc 140	4076	4685	7.4%
Góc 120	3670	4627	11.7%
Góc 100	3518	4542	12.5%
Bố trí hình cung, mm	Tổng giá trị Analog		
	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Thay đổi
Bán kính 90	4269	4725	5.5%
Bán kính 70	4225	4722	6.1%
Bán kính 50	4015	4715	8.5%
Bán kính 30	3489	4688	14.6%
Bố trí hình nón, mm	Tổng giá trị Analog		
	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Thay đổi
R=90	4269	4725	5.5%
R=70	4225	4722	6.1%
R=50	4015	4715	8.5%
R=30	3489	4688	14.6%
Bố trí đường thẳng, độ	Tổng giá trị Analog		
	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Thay đổi
Nằm ngang	4357	4730	4.5%
Nghiêng 10	3936	4730	9.7%
Nghiêng 20	3084	4730	20.1%
Nghiêng 30	1583	4730	38.4%
Nghiêng 40	1454	4730	40%

3.2. Nhận xét kết quả mô phỏng

Dựa vào sự chênh lệch của giá trị Analog nhỏ nhất và lớn nhất:

Với cách bố trí cảm biến theo dạng đường thẳng nằm ngang thường thấy ở các hệ thống cảm biến hồng ngoại dành cho xe dò line, giá trị Analog nhỏ nhất và lớn nhất lần lượt là 4357 và 4730, độ chênh lệch giữa hai giá trị này là 372. Điều này sẽ làm cho việc phân biệt góc nghiêng của line từ hệ thống cảm biến hồng ngoại là không khả thi (tương ứng với độ lớn của góc θ), bởi độ phân giải tín hiệu thu về là quá nhỏ, chỉ chiếm 4.55% tổng giá trị Analog tối đa.

Với cách bố trí hình nón và hình cung, sự chênh lệch giữa hai giá trị này tăng cùng góc nhỏ hơn đối với hình nón, hoặc bán kính nhỏ hơn đối với hình cung và đạt cao nhất đối với cách bố trí cảm biến theo hình cung R = 30mm, 14.6% so với tổng giá trị tối đa. Cuối cùng sự thay đổi này đạt giá trị cực đại khi mô phỏng ở dạng đường thẳng, hợp góc 40° so với phương tiếp tuyến của xe, với $ADC_{val} = 3276$ tương đương 40% tổng giá trị tối đa khi thay đổi góc θ từ $-45^\circ \div 45^\circ$, hơn 8.8 lần độ chênh lệch của cách bố trí đường thẳng nằm ngang truyền thống.

Dựa vào biểu đồ kết quả mô phỏng:

Kết quả thu được từ biểu đồ kết quả mô phỏng dữ liệu còn cho thấy thêm một nhược điểm của cách bố trí cảm biến theo dạng đường thẳng truyền thống, đó là sự đối xứng trong biểu đồ tổng giá trị Analog thu được qua đường thẳng $\theta = 0^\circ$, hiện tượng này lặp lại đối với cách bố trí hình cung và hình nón. Điều này có nghĩa là các hệ thống cảm biến trên sẽ không thể cung cấp thông tin về hướng khi góc line bị lệch về

bên trái hoặc bên phải so với phương của thân xe (tương ứng với giá trị âm hoặc dương của góc θ).

Có thể thấy, cùng với cách bố trí đường thẳng, nhưng khi xuất hiện một góc lệch so với phương tiếp tuyến của xe trong cách bố trí cảm biến, hiện tượng bất đối xứng đối với đường thẳng $\theta = 0^\circ$ sẽ xuất hiện, tăng dần và đạt cực đại ở góc nghiêng 40° . Điều này sẽ có ý nghĩa lớn trong việc phân biệt giữa hướng góc lệch khi line chệch sang trái hoặc sang phải khi ứng dụng tín hiệu vào bộ điều khiển xe dò line. Tuy nhiên, khi sử dụng cách bố trí dạng đường thẳng nghiêng 40° , sẽ không thể phân biệt được góc lệch trong khoảng từ -45° đến -35° bởi tín hiệu Analog thu được ở vùng này là như nhau, do xảy ra sự bao phủ hoàn toàn của dãy cảm biến đối với line trên mặt phẳng dò. Vì vậy, dạng đường thẳng nghiêng 30° sẽ là cách bố trí tối ưu nhất của hệ thống cảm biến hồng ngoại để ứng dụng cho xe dò line, độ chênh lệch giữa giá trị Analog nhỏ nhất và lớn nhất của cách bố trí này gấp 8.53 lần đối với cách bố trí đường thẳng nằm ngang truyền thống.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày về sự ảnh hưởng của việc thay đổi cách bố trí cảm biến hồng ngoại đối với tín hiệu Analog thu được. Từ kết quả mô phỏng bằng Matlab đối với nhiều hình dạng khác nhau và các tiêu chí để so sánh dữ liệu thu được, cách bố trí dạng đường thẳng nghiêng 30° đã được chứng minh hiệu quả hơn 8.53 lần cách bố trí truyền thống, đồng thời bài báo đã nêu ra tính hiệu quả của cách bố trí trên để giải quyết vấn đề được đặt ra.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học

Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số TX2024-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Điều khiển Số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **15/3/2024**

Ngày phản biện: **22/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. T.T. Nguyen, T.T. Tran, and S.B. Kim; “*Giảng dạy thiết kế hệ thống Cơ điện tử qua đồ án*”, Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 8 (VCM-2016), pp.416-422, Cần Thơ, ngày 25-26/11/2016.
- [2]. F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert, “*A review of mobile robots: concepts, methods, theoretical framework, and applications*,” Int’l Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.16, No.2. SAGE Publications Inc., Mar. 01, 2019. doi: 10.1177/1729881419839596.
- [3]. G. Dewantoro, J. Mansuri, and F. D. Setiaji, “*Comparative Study of Computer Vision Based Line Followers using Raspberry Pi and Jetson Nano*,” Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol.17, No.4, Dec. 2021, doi: 10.17529/jre.v17i4.21324.
- [4]. Kazi Mahmud Hasan, Abdullah-AI-Nahid, and Abdullah Al Mamun, “*Implementation of autonomous line follower robot*”, IEEE/OSA/IAPR Int’l Conf. on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV 2012), pp.865-869, 18-19 May 2012, doi: 10.1109/ICIEV.2012.6317486.
- [5]. Marc Schiler, “*Interior illuminance, daylight controls and occupant response*.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228688521>
- [6]. J. Seo et al., “*Model tests on resistance and seakeeping performance of wave-piercing high-speed vessel with spray rails*,”. Int’l Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol.8, No.5, pp. 442–455, September 2016, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.05.010.