ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP TĂNG CƯỜNG DỮ LIỆU VÀO CỦA CẢM BIẾN LASER RPLIDAR TRONG XÂY DỰNG BẢN ĐỒ SỐ

SOLUTION FOR ENHANCING INPUT DATA OF LASER RPLIDAR IN DIGITAL MAP CONSTRUCTION

PHẠM TRUNG MINH*, NGUYỄN DUY TRƯỜNG GIANG

Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**Email liên hệ: minhpt@vimaru.edu.vn*

Tóm tắt

Sự kết hợp robot di chuyển với hệ thống tự định vị bằng bản đồ số đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong thực tế mang lại lợi ích cho con người trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Chất lượng, độ chính xác của các hệ thống này phụ thuộc rất nhiều vào các cảm biến laser trong quá trình xây dựng bản đồ số. Nhằm nâng cao chất lượng cho hệ thống, các giải pháp kỹ thuật và công nghệ đã được áp dụng. Song, với các giải pháp phần cứng, chi phí cho hệ thống là không nhỏ. Khi đó, việc nâng cao chất lượng hệ thống bằng phần mềm được xem là một giải pháp hiệu quả bởi tính linh hoạt, mềm dẻo và tiết kiệm chi phí. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một giải pháp tăng cường dữ liệu đầu vào của của cảm biến laser nhằm nâng cao chất lượng bản đồ số. Tiến hành thử nghiệm trên mô hình robot di động, qua đó khẳng định tính hiệu quả của giải pháp trong việc xây dựng bản đồ số.

Từ khóa: *Robot, bản đồ số, cảm biến laser, thuật toán tăng cường dữ liệu.*

Abstract

The combination of mobile robot with localization and mapping system has been widely applied and studied in different fields. The quality and the accuracy of those systems depend highly on laser sensors of digital map construction. Technical and technological solutions have been applied in order to improve the quality of those systems. On the side of hardware solutions, the cost of systems is expensive. In contrast, software solutions are considered as an effective approach because of the flexibility and the acceptable cost. In this paper, the authors propose a solution to enhance the input data of the laser sensor to improve the quality of digital maps. Experiments on a mobile robot model are performed to confirm the effectiveness of the solution in digital map construction.

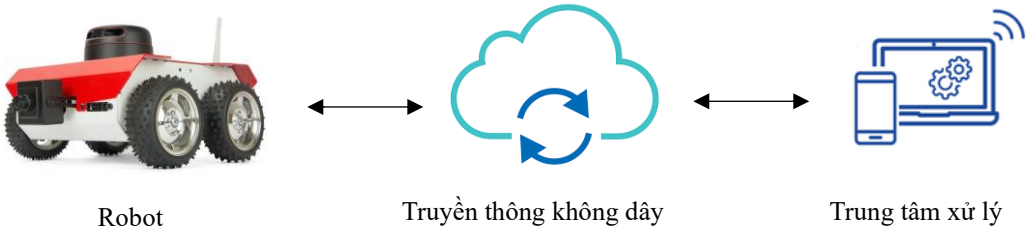
Keywords: *Robot, digital map, laser sensor, data enhancement algorithm.*

1. Mở đầu

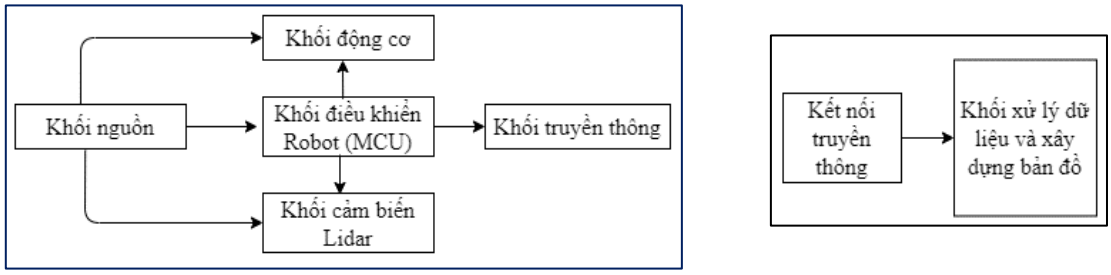
Sự kết hợp robot di chuyển với hệ thống tự định vị bằng bản đồ số đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong thực tế, đặc biệt các lĩnh vực thiết bị tự lái, hỗ trợ người tàn tật, xe vận chuyển trong kho hàng, y tế và quốc phòng [1]. Hệ thống định vị robot dựa trên nguyên lý thực hiện quá trình thiết lập sự tương ứng giữa hệ tọa độ của bản đồ số và hệ tọa độ cục bộ của robot [2]. Bản đồ số là sự tái lập lại môi trường dựa trên thông số đường biên bề mặt của các vật thể trong môi trường xung quanh. Các đường biên được biểu diễn dưới dạng hình ảnh đồ họa số. Bản đồ số có thể được trình bày dưới dạng "số liệu" hoặc "cấu trúc liên kết", mô hình số hóa các vị trí vật thể, đối tượng trong phạm vi khu vực đã quy định. Bản đồ số có thể thiết lập bằng cách sử dụng nhiều loại thiết bị khác nhau như là camera, cảm biến siêu âm, cảm biến đo khoảng cách laser,… Trong đó, loại cảm biến Lidar (Light Detection and Ranging) là loại cảm biến laser nhỏ gọn, đơn giản, giá thành thấp, phù hợp lắp đặt với robot di chuyển. Đã có nhiều nghiên cứu áp dụng Lidar trong việc xây dựng bản đồ số và định vị [3-6]. Điểm chung trong các nghiên cứu này là các giải pháp nâng cao chất lượng của bản đồ số 2D, vì chất lượng bản đồ số ảnh hưởng trực tiếp đến các thuật toán định vị robot. Nguồn dữ liệu thu nhận từ cảm biến Lidar là đầu vào quan trọng để lập bản đồ số, tuy nhiên những hạn chế về mặt kỹ thuật hoạt động của cảm biến Lidar là rào cản rất lớn trong việc đảm bảo chất lượng bản đồ số. Do đó cần có phương pháp xử lý dữ liệu phù hợp để giải quyết vấn đề này.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một giải pháp nâng cao chất lượng dữ liệu thu nhận từ Lidar, tạo tiền đề tăng chất lượng của bản đồ số 2D. Tiến hành thử nghiệm trên mô hình robot di động, qua đó khẳng định tính hiệu quả của giải pháp trong việc xây dựng bản đồ số.

TẠP CHÍ ISSN: 1859-316X
KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI
-JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY-



Hình 1. Mô hình kiến trúc hệ thống



a. Robot *b. Khối trung tâm xử lý*

Hình 2. Cấu trúc của Robot và Khối trung tâm xử lý

2. Mô hình kiến trúc hệ thống cảm biến RPLidar

2.1. Mô hình kiến trúc hệ thống

Hệ thống tổng quan của robot phục vụ xây dựng bản đồ số 2D trong không gian trong nhà được chỉ ra trong Hình 1, với các khối chính:

Khối Robot: Với tâm điểm là một Vi điều khiển (MCU - Microcontroller Unit) được sử dụng để điều khiển các hoạt động chuyển động của Robot cũng như thu nhận dữ liệu từ khối cảm biến Lidar. Robot này đồng thời được tích hợp mô đun truyền thông không dây, cho phép trao đổi thông tin, dữ liệu với trung tâm xử lý (Hình 2a).

Khối trung tâm xử lý: Giám sát, điều khiển hoạt động của Robot. Thu nhận dữ liệu, xử lý và xây dựng bản đồ số 2D (Hình 2b).

Với mô hình kiến trúc như trên, hệ thống đảm bảo tại các vị trí robot di chuyển, dữ liệu thu từ cảm biến RPLidar gắn trên robot sẽ được khối MCU đóng gói và truyền tới khối trung tâm xử lý phục vụ việc xây dựng, tái tạo bản đồ số 2D xung quanh vị trí robot. Việc trao đổi dữ liệu giữa robot và trung tâm xử lý được thực hiện thông qua môi trường truyền thông không dây sóng wifi với giao thức TCP/IP [7].

2.2. Cảm biến laser RPLidar

Cảm biến RPLidar là thiết bị đo khoảng cách bằng tia laser, có khả năng tự quay và phóng chùm tia laser 360^0 [8]. Đây là thiết bị cảm biến có khả năng thu nhận tín hiệu đường biên của các vật thể trong môi trường xung quanh, tiền đề quan trọng cho việc xây dựng bản đồ số 2D.

RPLidar có thể thực hiện quét 360^0 trong phạm vi 6m. Tần số quét 5.5Hz cho phép RPLidar thu được tối đa 360 mẫu dữ liệu trên một vòng quét. RPLidar đo khoảng cách dựa trên nguyên lý sử dụng phóng chùm xung laser và sau đó đo các xung phản xạ ánh sáng của các đối tượng xung quanh bằng cảm biến. Sự sai lệch về thời gian truyền và bước sóng laser được dùng để tính toán ra khoảng cách đối tượng khiến tia laser bị phản xạ.

Kết quả sau một lần quay 360^0, RPLidar cung cấp một khối dữ liệu bao gồm các bộ dữ liệu (i) thể hiện bằng ba tham số quan trọng, đó là góc, khoảng cách và chất lượng tương ứng (Hình 3). Giá trị d thể hiện khoảng cách giữa một vị trí vật thể và RPLidar tại góc θ_{deg}, đơn vị là mm. Tham số chất lượng ($Quality$) có giá trị cao thể hiện d và θ_{deg} có độ tin cậy, chính xác lớn.

Trong quá trình hoạt động, tại mỗi vị trí di chuyển của robot, khối dữ liệu sau một quay 360^0 của RPLidar được gắn trên robot sẽ được chuyển về trung tâm xử lý nhằm tái tạo, xây dựng bản đồ số 2D môi trường xung quanh robot.

Thứ tự	Góc (θ_{deg})	Khoảng cách (*d-mm*)	Chất lượng (*Quality*)
i	21.3922	6337	9
i+1	24.5245	6328	12
i+2	25.3948	3043	15
-	-	-	-

Hình 3. Cảm biến RPLidar và ví dụ dữ liệu thu nhận

3. Giải thuật xử lý dữ liệu RPLidar

Khối dữ liệu thu từ RPLidar được MCU gửi về trung tâm xử lý bằng truyền thông dây. Một chương trình được sử dụng để phân tích và mô hình hóa thành một bản đồ số 2D. Tọa độ mỗi điểm trên bản đồ tương ứng với một bộ dữ liệu (θ_{deg}, *d, Quality*). Tham số *Quality* thể hiện độ tin cậy của bộ dữ liệu. Nhóm tác giả đã thử nghiệm đo đạc thực tế và xác định tham số *Quality* cần đạt giá trị lớn hơn 10 thì cặp thông số θ_{deg} và *d* sẽ đạt được độ chính xác cao. Như vậy, chương trình cần lọc bỏ các bộ dữ liệu có *Quality* ≤ 10. Đối với từng cặp tham số θ_{deg} và *d*, tọa độ *X-Y* của một điểm chấm trên bản đồ hệ trục tọa độ 2 chiều *XOY* tương ứng sẽ được tính toán bằng công thức dưới đây:

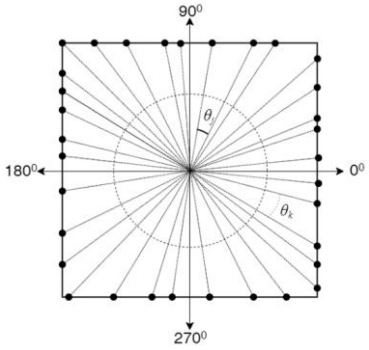
i. Chuyển góc sang hệ radian:

$$\theta_{rad} = \theta_{deg} \times \frac{\pi}{180} \quad (1)$$

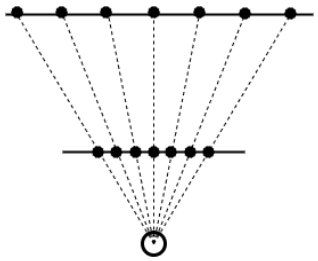
ii. Tính *x* và *y* :

$$\begin{aligned} x &= d \times sin(\theta_{rad}) \\ y &= d \times cos(\theta_{rad}) \end{aligned} \quad (2)$$

Tập hợp các điểm chấm trên bản đồ số 2D thể hiện các đường biên của các vật thể xung quanh robot. Nếu robot di chuyển trong một căn phòng, các vật thể là những đồ vật trong phòng hoặc các bức tường. Chất lượng đường biên thể hiện ở sự liền mạch của các điểm chấm, cũng như không có những điểm chấm bất thường (nhiễu). Điều này phụ thuộc và khả năng phân tích, xử lý nâng cao chất lượng các khối dữ liệu thô thu được từ các lần quay 360^0 của RPLidar. Tốc độ mô tơ quay và tốc độ phóng /thu các chùm tia laser không đồng bộ, dẫn đến các khối dữ liệu thô thu được



a. Mô hình hóa bản đồ số 2D từ bộ dữ liệu thô



b. Khoảng cách vật cản ảnh hưởng đến chất lượng điểm chấm trên bản đồ

Hình 4. Dữ liệu thô thu từ RPLidar

từ RPLidar sau khi quay 360^0 có xu hướng rời rạc, sai số lớn, độ hội tụ kém. Nếu sử dụng dữ liệu thô này để xây dựng bản đồ số 2D sẽ không đảm bảo độ liền mạch của đường biên. Trong Hình 4a thể hiện sau một vòng quay 360^0 của RPLidar, tiến hành loại bỏ các bộ dữ liệu có *Quality* ≤ 10 thì kết quả chỉ xác định được 33 điểm chấm trên bản đồ. Bên cạnh đó, cần phải tính toán đến trường hợp nếu khoảng cách vật thể càng xa RPLidar thì góc phản xạ laser càng lớn, dẫn đến vị trí các điểm chấm trên bản đồ số 2D sẽ càng cách xa nhau (Hình 4b).

Nhằm khắc phục những hạn chế của khối dữ liệu thô đã nêu trên, giải pháp tăng cường chất lượng dữ liệu đầu vào được đề xuất theo các giai đoạn tại mỗi vị trí dừng của Robot:

a. RPLidar thực hiện *n* quay 360^0. Các khối dữ liệu thô tương ứng từng vòng quay được lưu trữ.

b. Tổng hợp các khối dữ liệu thô đã thu được thành một khối dữ liệu duy nhất bằng phương pháp tăng độ phủ dữ liệu.

c. Dữ liệu sau khi tăng độ phủ được dùng tái tạo lại bản đồ số 2D.

Khối dữ liệu thô sau mỗi một vòng quay 360^0 của RPLidar chỉ cung cấp một số lượng ít khoảng cách d_i tương ứng với các góc θ_i không đều nhau. Mục tiêu thuật toán nhằm tăng độ phủ dữ liệu bằng cách chia 360^0 thành 3600 góc nhỏ θ_i (*i*=1..3600) cách đều nhau

TẠP CHÍ ISSN: 1859-316X
KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI
JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY

tới độ chính xác $0{,}1^0$, cho phép tổng hợp được tối đa 3600 giá trị d trong một vòng quay 360^0. Mục tiêu này được thực hiện bằng cách tổng hợp các khối dữ liệu của nhiều lần quay 360^0. Tại lần quay 360^0 thứ k (k=1..n), sau khi loại bỏ các bộ dữ liệu thô có $Quality \le 10$, có khả năng thu được giá trị $d_{i\text{-}k}$ của góc $\theta_{i\text{-}k}$. Mặt khác, trong lần quay thứ k có thể sẽ không thu được giá trị $d_{j\text{-}k}$ của góc $\theta_{j\text{-}k}$. Tuy nhiên, tại lần quay khác, có thể xuất hiện giá trị d_j tại góc θ_j. Xác suất có thể xảy ra trường hợp sau nhiều lần quay 360^0 nhưng RPLidar không thu được bộ dữ liệu tương ứng với góc θ_j, hoặc nếu có thì $Quality$ thấp, không đủ độ tin cậy để sử dụng.

Tập hợp các khối dữ liệu thô thu được sau n quay 360^0 sẽ tổ chức như dưới đây:

$$Scan = \left(\left[d_{\theta 1},\ldots,d_{\theta 3600}\right]_1,\ldots,\left[d_{\theta 1},,\ldots,d_{\theta 3600}\right]_n\right)$$

d_i là giá trị khoảng cách trong bộ dữ liệu tương ứng góc θ_i với $Quality > 10$.

Tiếp theo, áp dụng giá trị trung bình của các giá trị $d_i \neq 0$ của cùng góc θ_i:

$$Data_{\Phi} = \left[D_{\theta i}\right], i = 1\ldots 3600$$

Trong đó:

$$D_{\theta i} = \frac{\sum_{k=1}^{n} d_{\theta i_k}}{m} \qquad (3)$$

Với m là số lượng $d_{\theta i_k} \neq 0$.

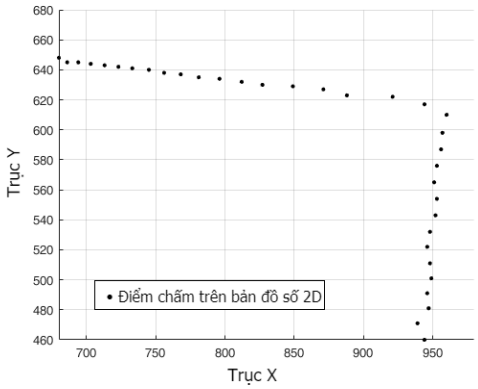
$Data_{\Phi}$ là khối dữ liệu đã được tăng cường chất lượng, được dùng làm nguồn dữ liệu đầu vào của chương trình mô hình hóa bản đồ số 2D. Trường hợp n=1, $Data_{\Phi}$ tương đương với khối dữ liệu thô.

Khi đó, Thuật toán tăng cường chất lượng dữ liệu đầu vào được cài đặt:

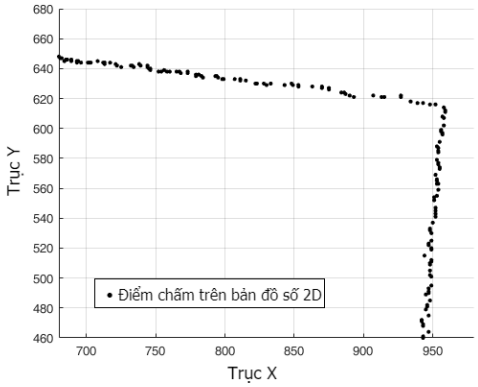
```
Khởi tạo các tham số:
  scan[],data[3600][2],Data_result[3600],n,count=0
While (count<n)
  scan[]=Lidar.scan()
  for i in range(len(scan)) do
  scan[i]→Quality_i, θ_i, d_i
    if Quality_i>10
      index=10*round(θ_i,1)
      if data[index][1] ==0
        data[index][1]= d_i ; data[index][2]+=1
      else data[index][1]+=d_i; data[index][2]+=1
    endif
  Endfor
  count+=1
Endwhile
return Data_result=Func_average(data)
```

Hình 5 chỉ ra mật độ chấm điểm trên đường biên khi áp dụng (5b) và không áp dụng (5a) thuật toán. Các chấm điểm trên bản đồ Hình 5b đã xuất hiện dày hơn, thể hiện đường biên chính xác, có xu hướng khép kín hơn so với bản đồ trong Hình 5a.

Khối dữ liệu $Data_{\Phi}$ có số lượng phần tử lên đến 3600, tuy nhiên chất lượng của khối $Data_{\Phi}$ phụ thuộc vào số lượng phần tử $D_{\Phi i}$ có ý nghĩa (giá trị khác 0). Số lượng phần tử có ý nghĩa sẽ tương ứng với số lượng điểm chấm trên bản đồ số 2D. Nếu số lần quay 360^0 n càng tăng thì số lượng phần tử có ý nghĩa cũng có cơ hội được cải thiện.

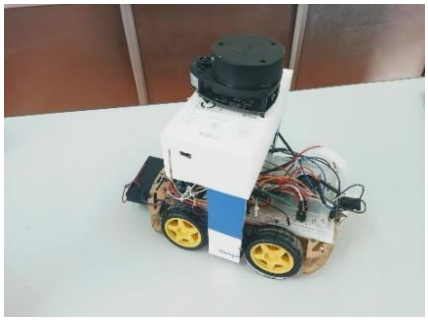


a. Không áp dụng thuật toán tăng cường dữ liệu

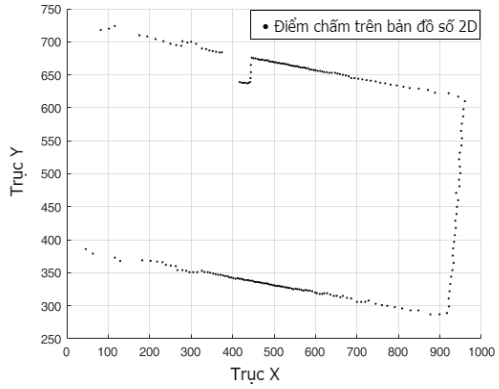


b. Áp dụng thuật toán tăng cường dữ liệu với n=5

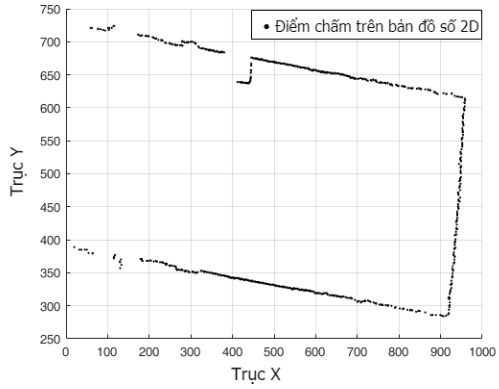
Hình 5. Đường biên vật thể trên bản đồ số 2D



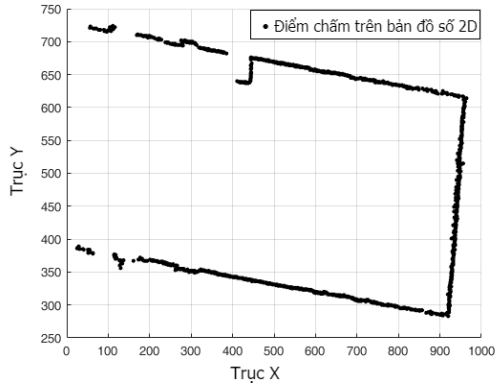
Hình 6. Robot gắn RPLidar được chế tạo



a. Bản đồ số 2D sử dụng dữ liệu thô



b. Bản đồ số 2D sử dụng thuật toán tăng cường dữ liệu, n=5



c. Bản đồ số 2D sử dụng thuật toán tăng cường dữ liệu, n=15

Hình 7. Thực nghiệm tái lập bản đồ số 2D

4. Xây dựng hệ thống

Áp dụng mô hình kiến trúc đã đề xuất, hệ thống thực nghiệm được xây dựng: Một Robot di động (Hình 6) sử dụng MCU Raspberry Pi 4 [9]; Khối trung tâm xử lý sử dụng Laptop EliteBook 8470p (Intel Core i5-3320M, 4Gb Ram) với thuật toán điều khiển robot di chuyển cũng như thuật toán nâng cao dữ liệu đầu vào được cài đặt bằng ngôn ngữ lập trình Python

Tiến hành thực nghiệm hệ thống trong không gian hành lang tầng 3 tòa nhà A4 Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Hình 7a thể hiện bản đồ số 2D các vật thể xung quanh robot đã được tái lập từ khối dữ liệu thô của RPLidar. Thuật toán tăng cường dữ liệu được áp dụng thể hiện ở Hình 7b và Hình 7c tương ứng lần lượt với *n=5* và *n=15*. Có thể rõ ràng nhận thấy sau khi áp dụng thuật toán tăng cường dữ liệu, chất lượng bản đồ số 2D đã được nâng cao chất lượng. Số lượng và tính liên tục của các điểm chấm trên bản đồ được cải thiện theo việc tăng giá trị *n*. Khi giá trị *n* đủ lớn (Hình 7c), thuật toán thể hiện sự hiệu quả thông qua việc bản đồ số có các đường biên được hiển thị một cách rõ ràng, dày dặn và khép kín.

Bên cạnh hiệu ứng hình ảnh của bản đồ số 2D, thuật toán tăng cường dữ liệu thể hiện sự hiệu quả thông qua số lượng phần tử $D_{\Phi i}$ có ý nghĩa tương ứng với số lượng điểm chấm trên bản đồ số 2D. Phân tích kết quả thực nghiệm, nếu không áp dụng thuật toán, chỉ sử dụng khối dữ liệu thô thì số lượng điểm chấm trên bản đồ chỉ đạt 232 điểm. Dữ liệu thể hiện trong Bảng 1 đã chỉ ra thuật toán hoạt động với số vòng quay *n* là 5,10, 15 và 20 sẽ đạt được tỷ lệ số lượng điểm chấm so với việc không áp dụng thuật toán lần lượt gấp 4.3, 6.4, 8.1 và 15.1 lần. Tốc độ thực hiện thuật toán thể hiện thông thời gian thực hiện. Thuật toán cần 277 mili giây để hoàn thành khi áp dụng số vòng quay *n=15*. Tốc độ này hoàn toàn đáp ứng nhu cầu hoạt động của mô hình hệ thống đã đề xuất. Khi *n= 20*, tuy số lượng điểm chấm đạt tới 3598, tuy nhiên thời gian thực hiện cần 451 mili giây, xuất hiện độ trễ trong việc đáp ứng thao tác điều khiển và truyền, nhận thông tin. Những dữ liệu này khẳng định sự hiệu quả của thuật toán tăng cường dữ liệu đạt mức tốt nhất với số vòng quay *n=15*.

Bảng 1. Đánh giá hiệu quả của thuật toán.

n	Số lượng điểm chấm (phần tử)	Tỷ lệ so với không áp dụng thuật toán (lần)	Thời gian thực hiện (mili giây)
5	999	4.3	148
10	1492	6.4	211
15	1890	8.1	277
20	3598	15.1	451

5. Kết luận

Việc nâng cao chất lượng bản đồ số 2D được tái tạo từ cảm biến RPLidar lắp đặt trên robot là cần thiết, điều này nhằm hỗ trợ và nâng cao khả năng xác định

TẠP CHÍ ISSN: 1859-316X
KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI
JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY

vị trí tương quan của robot với các vật thể xung quanh. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một giải pháp cho phép nâng cao chất lượng bản đồ số 2D với nguồn dữ liệu đầu vào từ cảm biến laser RPLidar. Giải pháp hiện mang tính thử nghiệm, song hoàn toàn có thể nâng cấp, cải thiện và áp dụng thêm kỹ thuật lọc nhiễu để có thể áp dụng trọng thực tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT20-21.54**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] G. Bresson, Z. Alsayed, L. Yu, and S. Glaser, *Simultaneous Localization and Mapping: A Survey of Current Trends in Autonomous Driving*, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol.2, No.3. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp.194-220, 01-Sep-2017.

[2] S. Thrun, *Probabilistic robotics*, Commun. ACM, Vol.45, No.3, pp.52-57, 2002.

[3] J. Wen, C. Qian, J. Tang, H. Liu, W. Ye, and X. Fan, *2D Lidar Slam Back-End Optimization With Control Network Constraint for Mobile Mapping*, Sensors, Vol.18, No.11, pp.1-14, 2018.

[4] P. D. Broxton, W. J. D. van Leeuwen, and J. A. Biederman, *Improving Snow Water Equivalent Maps With Machine Learning of Snow Survey and Lidar Measurements*, Water Resour. Res., Vol.55, No.5, pp.3739-3757, 2019.

[5] T. Shan and B. Englot, *LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain*, IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp.4758-4765, 2018.

[6] M. G. Ocando and N. Certad, *Autonomous 3D mapping of an enviroment , while simultaneously making 2D SLAM, using a single 2D LIDAR and ROS* *, pp.2-7, 2017.

[7] M. M. Alani, Guide to OSI and TCP/IP Models. 2014.

[8] L. SHANGHAI SLAMTEC CO., Rplidar a1: Low Cost 360 Degree Laser Range Scanner - Datasheet. pp.1-16, 2016.

[9] Programming the Raspberry Pi: Getting Started with Python. McGraw-Hill Education Tab, 2012.

Ngày nhận bài: 07/6/2021
Ngày nhận bản sửa: 15/6/2021
Ngày duyệt đăng: 18/6/2021