

Research on Optimizing Omnidirectional Control Algorithms for Patient Care Nurse Robots

Quoc-Cuong Pham¹, Thanh-Long Le^{2*}, Huy-Hoang Pham¹, Huu-Dung Nguyen², Thanh-Huy Phung²

¹Ho Chi Minh City University of Industry and Trade (HUIT), Vietnam

²Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM, Vietnam

*Corresponding author. Email: lulong@hcmut.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 20/11/2025
Revised: 23/02/2026
Accepted: 17/03/2026
Online First: 23/04/2026
Published:

KEYWORDS

Nurse robot;
Velocity smoothing;
Autonomous navigation;
Hospital environment;
Service robot.

ABSTRACT

This research aims to address the instability of localization and navigation systems in service robots operating at high speeds within hospital environments. Rapid fluctuations in velocity often induce mechanical vibrations that distort data from laser scanning sensors, leading to significant errors in map matching and positioning. To overcome this challenge, the paper proposes a method of integrating a first-order low-pass filter into the control loop to smooth linear and angular velocity signals before transmission to the actuators. The approach was experimentally validated using a differential drive nurse robot in a standard corridor scenario with incrementally increasing speed levels. The results demonstrate that the proposed solution significantly improves system reliability, particularly at a velocity of 0.9 meters per second. Specifically, the task completion rate increased substantially from 60% to 92%, while the failure rate in scan matching dropped sharply from 40% to 8%. These figures confirm that suppressing high-frequency components in control commands enhances data overlap, thereby stabilizing the localization process. This solution offers high practical efficiency with low computational cost, making it highly suitable for widespread deployment on autonomous medical robot platforms.

Nghiên cứu tối ưu giải thuật điều khiển đa hướng cho Robot y tá chăm sóc bệnh nhân

Phạm Quốc Cường¹, Lê Thanh Long^{2*}, Phạm Huy Hoàng¹, Nguyễn Hữu Dũng², Phùng Thanh Huy²

¹Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, ĐHQG-HCM, Việt Nam

*Tác giả liên hệ. Email: lulong@hcmut.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 20/11/2025
Ngày hoàn thiện: 23/02/2026
Ngày chấp nhận đăng: 17/03/2026
Ngày đăng trực tuyến: 23/04/2026
Ngày xuất bản:

TỪ KHÓA

Robot y tá;
Làm mượt vận tốc;
Điều hướng tự động;
Môi trường bệnh viện;
Robot dịch vụ.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung giải quyết vấn đề mất ổn định trong định vị và điều hướng khi robot dịch vụ vận hành ở tốc độ cao tại môi trường bệnh viện. Khi vận tốc thay đổi đột ngột, các rung động cơ học thường gây méo dữ liệu từ cảm biến quét laser, dẫn đến sai lệch nghiêm trọng trong quá trình ghép nối bản đồ và định vị. Để khắc phục, bài báo đề xuất phương pháp tích hợp bộ lọc thông thấp bậc nhất vào chuỗi điều khiển nhằm làm mượt tín hiệu vận tốc tuyến tính và vận tốc góc trước khi gửi xuống bộ dẫn động. Phương pháp được kiểm chứng thực nghiệm trên robot y tá dẫn động vi sai trong kịch bản hành lang tiêu chuẩn với các mức tốc độ tăng dần. Kết quả cho thấy giải pháp đề xuất cải thiện vượt trội độ tin cậy của hệ thống, đặc biệt tại vận tốc 0,9 mét trên giây. Cụ thể, tỷ lệ hoàn thành nhiệm vụ tăng từ 60% lên 92%, trong khi tỷ lệ thất bại trong so khớp dữ liệu quét giảm mạnh từ 40% xuống còn 8%. Những số liệu này chứng minh rằng việc triệt tiêu thành phần tần số cao trong lệnh điều khiển giúp tăng độ chồng phủ dữ liệu quét, qua đó ổn định quá trình định vị. Giải pháp này

mang lại hiệu quả thực tiễn cao với chi phí tính toán thấp, phù hợp để triển khai rộng rãi trên các nền tảng robot y tế tự hành.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2026.2018>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Sự hiện diện của robot dịch vụ tự động trong môi trường bệnh viện đang ngày càng trở nên phổ biến. Chúng đảm nhận nhiều nhiệm vụ quan trọng như vận chuyển vật tư, khử khuẩn bằng tia UV và hỗ trợ tương tác với bệnh nhân, qua đó giúp giảm tải áp lực cho nhân viên y tế, tối ưu hóa quy trình vận hành và nâng cao tiêu chuẩn an toàn. Các nghiên cứu gần đây khẳng định rằng robot hoàn toàn có thể điều hướng tin cậy trong các môi trường trong nhà phức tạp, miễn là đáp ứng được các yêu cầu khắt khe về độ chính xác khi định vị, khả năng nhận biết vòng lặp và tái định vị nhanh chóng khi xảy ra sai lệch. Những yếu tố này là then chốt để đảm bảo robot hoạt động liên tục và ổn định giữa các khoa phòng khác nhau [1], [2].

Trong lĩnh vực định vị và lập bản đồ đồng thời (SLAM), các nền tảng lý thuyết đã được phát triển sâu rộng. Huang, Mourikis và Roumeliotis đã thiết lập các quy tắc dựa trên tính quan sát để thiết kế bộ lọc EKF-SLAM nhất quán, đồng thời cảnh báo về những cấu hình cảm biến hoặc động học dễ gây mất tính nhất quán cho bộ lọc [3]. Ở hướng tiếp cận khác, dòng thuật toán RBPF/FastSLAM của Thrun và Montemerlo tuy giải quyết tốt vấn đề số lượng mốc lớn bằng cách phân rã bài toán, nhưng lại nhạy cảm với nhiễu và dễ bị suy giảm mẫu trong các môi trường ít đặc trưng [4]. Để khắc phục các hạn chế này, phương pháp tối ưu đồ thị gia tăng như iSAM2 đã khai thác cấu trúc Bayes tree để cập nhật trực tuyến hiệu quả và ổn định hơn so với tối ưu hóa theo lô (batch optimization) [5]. Song song đó, các nghiên cứu về tối ưu hóa đồ thị tư thế (pose-graph optimization) kết hợp cơ chế kiểm chứng đang mở đường cho các thuật toán có khả năng chứng nhận tối ưu toàn cục ngay cả khi tồn tại dữ liệu ngoại lai [6].

Về khía cạnh nền tảng di động, robot đa hướng (omnidirectional robot) cho thấy sự ưu việt trong không gian chật hẹp nhờ khả năng tịnh tiến theo mọi phương mà không cần quay thân xe. Đặc tính này giúp tăng độ chòng phủ của dữ liệu quét và ổn định quá trình so khớp/đóng vòng - điều đã được kiểm chứng trong môi trường công nghiệp và hoàn toàn phù hợp với đặc thù hành lang bệnh viện [7]. Tuy nhiên, về mặt cảm biến, vận tốc tuyến tính hoặc tốc độ quay cao thường gây ra hiện tượng méo dạng do chuyển động. Các kỹ thuật bù trừ sai lệch này đã được chứng minh là giúp giảm trôi và cải thiện đáng kể khả năng đóng vòng [8]. Để đánh giá hiệu quả thực tế, việc áp dụng bộ kích bản và thước đo tiêu chuẩn dành riêng cho môi trường bệnh viện là rất cần thiết, giúp làm rõ các yêu cầu về an toàn tại hành lang, nút giao và khu vực đông người qua lại [2]. Từ góc độ ứng dụng, nhu cầu vận hành liên tục của robot khử khuẩn UV càng củng cố thêm tính cấp thiết của các giải pháp định vị ổn định và tin cậy [1].

Mặc dù phần lớn các nghiên cứu hiện nay tập trung vào các thuật toán SLAM phức tạp hoặc các chiến lược điều khiển tối ưu như điều khiển trượt (SMC) cho robot Mecanum [9], vai trò của các bộ lọc trong việc cải thiện tín hiệu điều khiển di động (mobile robot control) đang ngày càng được chú trọng trong các nghiên cứu gần đây. Cụ thể, các kỹ thuật điều khiển trượt thích nghi tích hợp bộ lọc đã được phát triển để bám sát quỹ đạo cho robot phi toàn diện trong điều kiện nhiễu động [10]. Song song đó, các bộ lọc Kalman (như Extended hoặc Unscented Kalman Filter) tiếp tục được ứng dụng mạnh mẽ để hiệu chỉnh và làm mượt quỹ đạo thực thi của robot, giúp giảm thiểu rủi ro sai lệch định vị [11]. Ở một góc độ thực hành hơn, bộ lọc thông thấp (low-pass filter) cũng đã được kết hợp thành công vào các bộ điều khiển để triệt tiêu nhiễu tần số cao (chattering) khi bù trừ hiện tượng trượt bánh [12], hoặc ứng dụng trực tiếp để làm mượt tín hiệu vận tốc cấp cho hệ thống truyền động [13]. Mặc dù vậy, các giải pháp điều khiển đơn giản nhưng hiệu quả dành cho robot đa hướng nhằm hỗ trợ trực tiếp cho SLAM vẫn chưa nhận được sự quan tâm đúng mức. Cụ thể, các kỹ thuật thực dụng như làm mượt vận tốc hay quay trước (pre-turn) nhằm tối ưu hóa việc thu thập dữ liệu LiDAR trong hành lang bệnh viện vẫn chưa được nghiên cứu một cách hệ thống.

Để giải quyết khoảng trống này, bài báo đề xuất một giải pháp dễ dàng tích hợp trên nền tảng hệ điều hành Robot (Robot Operating System - ROS): sử dụng bộ lọc bậc nhất để làm mượt lệnh điều khiển (v , ω). Giải pháp này giúp robot vận hành êm ái hơn, từ đó giảm thiểu hiện tượng méo dữ liệu quét. Quy

trình cài đặt, lựa chọn tham số và phương pháp đánh giá hiệu quả sẽ được trình bày chi tiết dựa trên các chỉ số như tỷ lệ/thời gian hoàn thành nhiệm vụ và sai số vị trí đích (có thể mở rộng với các chỉ số ATE/RPE). Đây là một phương pháp luận thực dụng với chi phí thấp, hứa hẹn tăng cường đáng kể độ tin cậy khi triển khai robot trong môi trường bệnh viện thực tế.

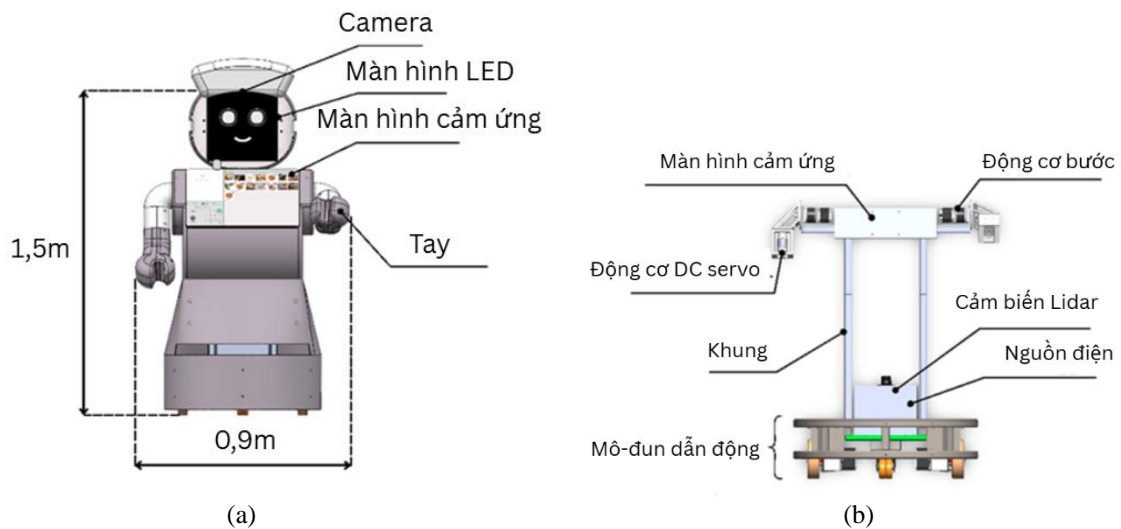
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình robot y tá

Robot y tá hỗ trợ chăm sóc bệnh nhân được phát triển theo cấu trúc hình người (humanoid), thiết kế chuyên biệt để vận hành tự động hoàn toàn trong môi trường nội thất phức tạp của bệnh viện. Các khu vực như hành lang và buồng bệnh thường có tính động cao với mật độ người qua lại lớn cùng sự xuất hiện thường xuyên của các vật cản di động, đặt ra yêu cầu khắt khe về khả năng thích nghi.

Kiến trúc điều khiển trung tâm của robot được xây dựng trên nền tảng một máy tính nhúng. Khối xử lý này đảm nhiệm vai trò hợp nhất dữ liệu từ hệ thống cảm biến đa phương thức, đồng thời giám sát và điều phối quá trình truyền động thông qua các vi điều khiển và bộ điều khiển động cơ (motor drivers).

Về đặc tính cơ học, robot có kích thước tổng thể 1,5m x 0,9m (Cao x Rộng) và trọng lượng xấp xỉ 60kg. Hệ thống thao tác bao gồm hai cánh tay máy, mỗi tay sở hữu hai bậc tự do, cho phép thực hiện các tác vụ tương tác vật lý cơ bản. Đối với khả năng di chuyển, nền tảng robot sử dụng cơ cấu dẫn động vi sai (differential drive) với hai bánh chủ động (được tích hợp encoder để phản hồi vị trí) kết hợp cùng hai bánh tự do, giúp đảm bảo sự cân bằng ổn định và tính cơ động cao.



Hình 1. Kết cấu bên ngoài (a) và bên trong (b) của robot.

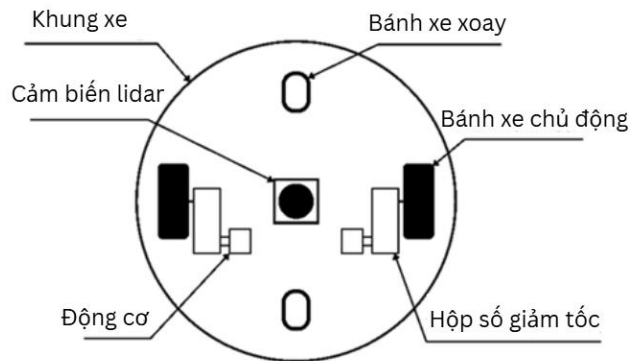


Hình 2. Mẫu robot thử nghiệm.

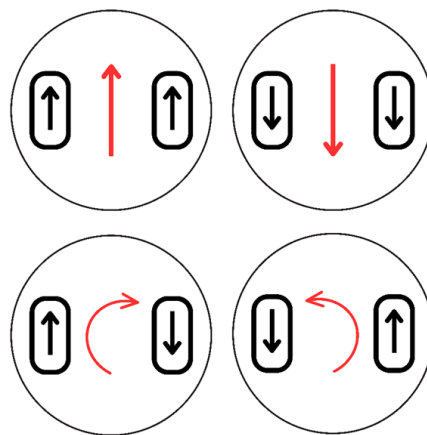
Để đáp ứng các yêu cầu về nhận thức môi trường, tương tác người-máy (HRI) và an toàn va chạm trong thời gian thực, robot được trang bị một hệ thống cảm biến hiện đại bao gồm: màn hình cảm ứng, webcam, tổ hợp thu phát âm thanh (micro, loa) và cảm biến LiDAR 2D. Toàn bộ thiết kế cơ khí đã được mô hình hóa và kiểm nghiệm chặt chẽ trên phần mềm SolidWorks; chi tiết về bố trí kết cấu được trình bày tại Hình 1. Hình 2 trình bày mẫu robot trợ lý chăm sóc sức khỏe ở giai đoạn thử nghiệm, được phát triển trong khuôn khổ nghiên cứu của nhóm. Toàn bộ lớp vỏ được in 3D để dễ dàng tùy chỉnh trong quá trình nghiên cứu, trong khi các mô-đun điện tử và cảm biến được bố trí bên trong thân nhằm tối ưu không gian và đảm bảo an toàn vận hành.

Hình 3 minh họa chi tiết cụm dẫn động của robot. Hệ thống được vận hành bởi hai động cơ một chiều không chổi than (BLDC) 24V với tốc độ danh định 3000 vòng/phút, tích hợp hộp giảm tốc nhằm khuếch đại mô-men xoắn đầu ra. Nhờ ứng dụng cơ cấu lái vi sai (differential drive), robot có khả năng điều khiển độc lập vận tốc của từng bánh xe. Cơ chế này không chỉ cho phép chuyển động tịnh tiến mà còn hỗ trợ quay tại chỗ (zero-radius turn), tối ưu hóa khả năng xoay sở trong các không gian hạn chế.

Về cấu hình khung gầm (như thể hiện tại Hình 4), hệ thống di chuyển bao gồm hai bánh chủ động đường kính 150mm với lớp cao su nhằm tăng cường độ bám, kết hợp cùng hai bánh tự do (caster wheels) đường kính 75mm bố trí đối xứng phía trước và sau. Thiết kế này giúp đảm bảo sự cân bằng trọng tâm và duy trì độ ổn định cho robot trong suốt quá trình vận hành.



Hình 3. Góc nhìn từ trên xuống của mô-đun lái với các phần chính.

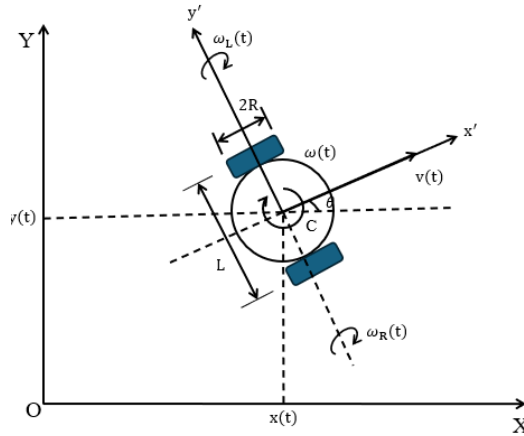


Hình 4. Các chuyển động của robot.

2.2. Hệ thống và Bối cảnh Thử nghiệm

Robot được sử dụng trong nghiên cứu này có cấu hình dẫn động vi sai được minh họa ở Hình 5, một thiết kế phổ biến trong robot di động nhờ vào tính đơn giản về cấu trúc cơ học và hiệu quả vận hành trong môi trường phẳng. Mỗi bánh xe được điều khiển độc lập bởi một động cơ riêng biệt, và khả năng quay tại chỗ giúp robot dễ dàng điều hướng trong không gian hạn chế. Chuyển động của robot được mô hình hóa thông qua một sơ đồ động học phi tuyến trong mặt phẳng 2D, với các ràng buộc vật lý phản ánh đặc trưng không thể chuyển động theo phương ngang (vuông góc với trục chính của robot). Điều

này dẫn đến một hệ thống có ràng buộc phi điều khiển học (non-holonomic), tức là robot không thể đạt đến mọi cấu hình tùy ý trong không gian trạng thái chỉ bằng cách thay đổi vận tốc tức thời.



Hình 5. Sơ đồ động học robot dẫn động vi sai.

Trạng thái của robot tại một thời điểm t được mô tả bằng vector trạng thái $x(t) = [x(t), y(t), \theta(t)]^T$ trong đó $x(t)$ và $y(t)$ mô tả vị trí của tâm hình học robot trong hệ tọa độ phân cực còn $\theta(t)$ là góc định hướng của robot so với trục x của thế giới. Tín hiệu điều khiển đầu vào gồm vận tốc tuyến tính $v(t)$ và vận tốc góc $\omega(t)$, tương ứng với tốc độ tiến và tốc độ quay của robot. Dưới tác động của các điều khiển này, chuyển động của robot được mô tả bằng các phương trình động học liên tục:

$$\dot{x}(t) = v(t) \cos[\theta(t)] \quad (1)$$

$$\dot{y}(t) = v(t) \sin[\theta(t)] \quad (2)$$

$$\dot{\theta}(t) = \omega(t) \quad (3)$$

Ba phương trình trên thể hiện rằng robot chỉ có khả năng di chuyển dọc theo phương mà nó đang đối mặt. Đây là một đặc điểm quan trọng của các hệ thống phi điều khiển học, nơi chuyển động bị giới hạn bởi cấu trúc vật lý và không thể được điều khiển hoàn toàn theo mọi hướng tại mỗi thời điểm. Từ mô hình này, ta có thể suy ra rằng ràng buộc phi điều khiển học như sau:

$$\dot{y}(t) \cos[\theta(t)] - \dot{x}(t) \sin[\theta(t)] = 0 \quad (4)$$

Phương trình nêu rõ rằng vận tốc tức thời của robot không có thành phần dọc theo phương vuông góc với trục chính, nghĩa là không có chuyển động trượt ngang. Sự ràng buộc này giới hạn không gian các quỹ đạo khả thi mà robot có thể theo đuổi, và đồng thời làm cho phân tích động học đơn giản hơn nhờ việc giảm số bậc tự do có thể điều khiển trực tiếp. Điều này rất hữu ích trong các hệ thống điều hướng và SLAM vì nó cho phép thiết kế các thuật toán định hướng chính xác hơn, với không gian tìm kiếm nhỏ hơn và phù hợp hơn với thực tế.

Tuy nhiên, để thực sự điều khiển robot trong thực tiễn, ta cần liên hệ các tín hiệu $v(t)$ và $\omega(t)$ với chuyển động thực tế của các bánh xe. Gọi R là bán kính của mỗi bánh xe và L là khoảng cách giữa tâm hai bánh. Khi đó, nếu bánh trái và phải quay với vận tốc góc ω_L và ω_R , thì vận tốc tuyến tính và góc của robot có thể được tính như sau:

$$v(t) = \frac{R}{2} (\omega_R + \omega_L) \quad (5)$$

$$\omega(t) = \frac{R}{L} (\omega_R - \omega_L) \quad (6)$$

Hai phương trình trên giả định điều kiện lý tưởng: bánh xe không trượt, không mất tiếp xúc và ma sát đủ lớn để duy trì chuyển động chuẩn xác. Dưới giả định này, robot có thể xác định vị trí và góc quay

của mình thông qua phép tích phân liên tục của $v(t)$ và $\omega(t)$ theo thời gian. Đây là nguyên tắc cốt lõi trong tính toán quán tính (odometry), nơi dữ liệu từ encoder gắn vào động cơ được sử dụng để xây dựng chuỗi các trạng thái liên tiếp, phục vụ cho ước lượng quỹ đạo. Trong bối cảnh SLAM, thông tin quán tính này đóng vai trò như phép đo tương đối giữa các cặp pose kế tiếp, tạo nên các ràng buộc đầu vào cho quá trình tối ưu hóa trong đồ thị tư thế (pose graph) [14], [15].

Vì hệ thống điều khiển và định vị được thực hiện trên phần mềm số, mô hình động học liên tục cần được rời rạc hóa để sử dụng trong thực tế. Với khoảng thời gian lấy mẫu cố định là Δt , ta có thể viết lại các phương trình cập nhật trạng thái rời rạc như sau:

$$x_{k+1} = x_k + v_k \cos(\theta_k) \Delta t \quad (7)$$

$$y_{k+1} = y_k + v_k \sin(\theta_k) \Delta t \quad (8)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \omega_k \Delta t \quad (9)$$

Toàn bộ hệ thống được vận hành trên nền tảng ROS, tương thích với cả phiên bản Noetic. Hệ thống sử dụng cảm biến laser 2D (model LDROBOT LD19, dựa trên công nghệ dToF) làm thiết bị đo lường chủ đạo để thu thập dữ liệu và nhận diện môi trường xung quanh. Cảm biến được cấu hình hoạt động với tần số quét 10 Hz, đạt độ phân giải góc 0,8 độ và có tầm đo hiệu dụng lên đến 12 mét. Tần số lấy mẫu cao (4500 điểm/giây) của LiDAR cung cấp mật độ điểm ảnh đủ dày để phục vụ thuật toán nội suy. Dữ liệu quét này được kết hợp với dữ liệu odometry (ước tính quãng đường) thu thập từ bánh xe. Về mặt phần mềm, bài toán SLAM được giải quyết thông qua cấu hình SLAM dựa trên đồ thị (graph-based SLAM), với việc triển khai cụ thể bằng gói công cụ SLAM Toolbox.

Bối cảnh kiểm thử được thiết kế để mô phỏng một hành lang bệnh viện điển hình, với chiều rộng tương đối hẹp, dao động từ 2,0 đến 2,5 mét. Môi trường này bao gồm các đặc điểm gây khó khăn cho việc định vị, như một khúc cua 90 độ. Hiệu suất hệ thống được đánh giá thông qua một quỹ đạo di chuyển định sẵn: robot thực hiện hành trình đi thẳng trước khi được điều hướng rẽ tại các giao lộ chữ T theo kịch bản thử nghiệm.

2.3. Lọc bậc nhất cho lệnh vận tốc

Tín hiệu vận tốc từ bộ lập kế hoạch hoặc điều khiển từ xa được xử lý qua một bộ lọc bậc nhất rời rạc trước khi gửi đến driver. Việc này giúp làm mượt quá trình thay đổi vận tốc, từ đó giảm thiểu sự biến dạng dữ liệu LiDAR và ngăn ngừa hiện tượng trượt trong quá trình so khớp dữ liệu quét. Cụ thể, tại mỗi chu kỳ Δt , lệnh sau lọc u_t (với $u_t \in \{v, \omega\}$) được cập nhật theo quy tắc làm mượt

$$u_t = u_{t-1} + \beta (u_t^{\text{ref}} - u_{t-1}), 0 < \beta < 1 \quad (10)$$

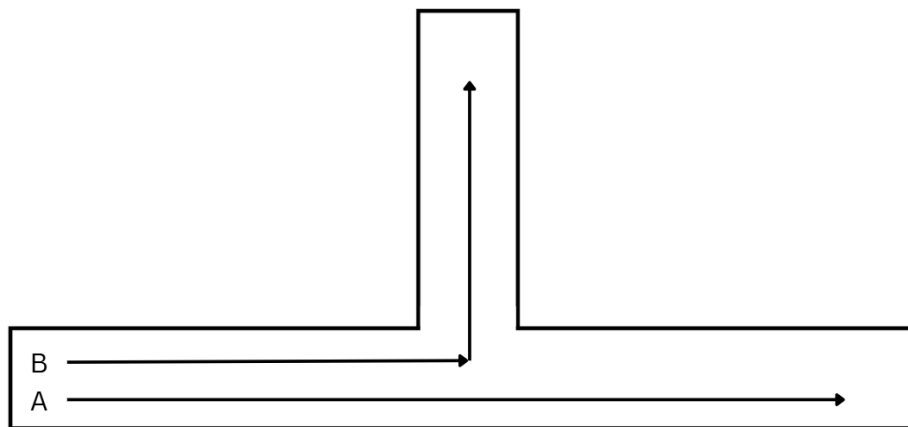
trong đó β đóng vai trò như một hệ số trộn giữa giá trị hiện tại và tham chiếu tức thời: β càng nhỏ thì đáp ứng càng mượt (hạn chế thành phần tần số cao của lệnh), còn β quá lớn khiến tín hiệu gần như theo sát tham chiếu và dễ xuất hiện đỉnh gia tốc/giật. Ở góc nhìn điều khiển, đây là một bộ lọc thông thấp một cực với hằng số thời gian xấp xỉ $\tau \approx \frac{1-\beta}{\beta} \Delta t$; chọn τ cùng bậc với thời gian quét/chu kỳ cập nhật của cảm biến-bộ điều khiển sẽ giúp triệt tốt nhiều tần số cao nhưng vẫn giữ được độ linh hoạt khi điều hướng.

Để xác định bộ tham số tối ưu, thay vì tinh chỉnh theo kinh nghiệm, nghiên cứu đã tiến hành một thử nghiệm có cấu trúc (khảo sát dạng lưới - grid search) trên các quỹ đạo kiểm chứng. Các tiêu chí định lượng được sử dụng để đánh giá bao gồm: cực tiểu hóa tỷ lệ thất bại của bộ so khớp quét (scan-matching failure rate) và đảm bảo độ trễ đáp ứng động học (response delay) nằm trong giới hạn cho phép. Thông qua quá trình khảo sát, hai hệ số β_v và β_ω được tinh chỉnh độc lập với ràng buộc bắt buộc là $\beta_\omega > \beta_v$ nhằm duy trì phản ứng góc đủ nhanh. Đồng thời, tín hiệu được kẹp biên an toàn sau lọc theo $v \in [0, v_{\max}]$, $|\omega| \leq \omega_{\max}$ nhằm tôn trọng giới hạn cơ điện của đế di chuyển và đảm bảo an toàn tương tác. Cơ chế này được triển khai trong một node trung gian `cmd_vel_filter` trên ROS: node đọc `/cmd_vel` (từ `planner/teleop`), áp dụng lọc bậc nhất và kẹp biên, rồi phát ra `/cmd_vel_filtered` cho `base_controller` để quy đổi thành tốc độ bánh; cách chèn không đòi hỏi thay đổi ở `planner` hay thuật toán SLAM nên dễ tích

hợp với hệ thống hiện hữu. Dựa trên kết quả định lượng từ thử nghiệm với chu kỳ $\Delta t = 0,02 - 0,05$ s, dải tham số $\beta_v \approx 0,20 - 0,35$ và $\beta_\omega \approx 0,25 - 0,40$ đã được lựa chọn làm bộ thông số tối ưu. Các giá trị này được chứng minh định lượng là đủ mượt để giảm spike vận tốc ở pha tăng/giảm tốc và khi vào cua, qua đó giảm méo chuyển động trên dữ liệu quét và làm ổn định so khớp. Khi cần phản ứng nhanh hơn (ví dụ, tránh chướng ngại đột ngột), có thể tăng nhẹ β hoặc giảm Δt ; ngược lại, nếu còn thấy rung gập ở góc cua thì giảm thêm β hoặc hạ v_{max} trong khu vực đó. Toàn bộ dữ liệu lệnh trước/sau lọc được ghi lại (rosbag) để đối chiếu với chỉ số vận hành (tỷ lệ hoàn thành, thời gian hoàn thành, sai số đích) và – khi cần – các chỉ số quỹ đạo như ATE/RPE, giúp chứng minh tác dụng trực tiếp của thao tác làm mượt lên pipeline SLAM trong điều kiện tốc độ trung bình–cao.

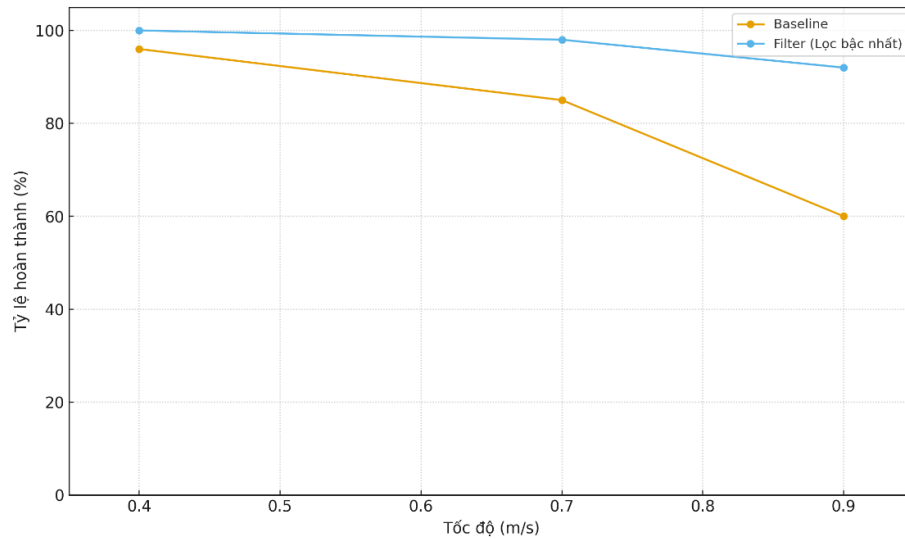
3. Kết quả và thảo luận

Quá trình kiểm thử được thực hiện trên hai tuyến đường đại diện cho hành lang bệnh viện, như được minh họa ở Hình 6: (A) hành lang thẳng dài 15-20 m và (B) hành lang 8-10 m \rightarrow rẽ 90° \rightarrow thẳng tiếp 6-8 m. Ba mức tốc độ mục tiêu được đặt ở 0,4 / 0,7 / 0,9 m/s để bao phủ dải vận hành thường gặp. Với mỗi tổ hợp tuyến \times tốc độ, thí nghiệm lặp lại tối thiểu 10 lần; thứ tự các lần chạy được xáo trộn ngẫu nhiên để giảm thiên lệch do nhiệt độ động cơ, mức pin hay ma sát sàn. Hai cấu hình được so sánh: Baseline (không lọc) và Filter (chèn bộ lọc bậc nhất cho lệnh v và ω ; hệ số làm mượt đặt $\beta_v \in [0,20; 0,35]$, $\beta_\omega \in [0,25; 0,40]$, chu kỳ điều khiển $\Delta t = 20 - 50$ ms). Để tránh “điều chỉnh theo số liệu”, β được hiệu chỉnh trước trên một đoạn đường khác và giữ cố định trong toàn bộ phép thử.



Hình 6. Bản đồ di chuyển của robot với 2 tuyến đường A và B.

Tất cả các topic chính (`/cmd_vel`, `/cmd_vel_filtered`, `/scan`, `/odom`, `/tf`, trạng thái SLAM) được ghi bằng rosbag. Thời gian được đồng bộ theo đồng hồ ROS; tốc độ thực tế được ước lượng từ encoder để kiểm tra độ bám tốc độ mục tiêu. Sai số vị trí đích đo tại mốc cố định (AprilTag hoặc tọa độ chuẩn đã khảo sát), tính khoảng cách Euclid giữa vị trí robot khi dừng và mốc đích.



Hình 7. Biểu đồ tỷ lệ hoàn thành theo tốc độ.

Phân tích ảnh hưởng của bộ lọc bậc nhất ở Hình 7 cho v và ω , cho thấy tác động đáng kể đến độ tin cậy khi vận hành ở tốc độ cao. Đường màu xanh lá (có lọc) thể hiện khả năng giữ nhịp vượt trội, với tỷ lệ hoàn thành nhiệm vụ duy trì ở mức 98-100% cho tốc độ 0,4 và 0,7 m/s, và chỉ giảm nhẹ xuống 92% ở 0,9 m/s. Ngược lại, đường màu vàng (Baseline) suy giảm nghiêm trọng, từ 96% xuống 85% và cuối cùng là 60%. Khoảng cách hiệu suất trở nên đặc biệt lớn ở tốc độ cao, với lợi ích +13 điểm phần trăm tại 0,7 m/s và lên đến +32 điểm phần trăm tại 0,9 m/s. Ý nghĩa vận hành ở đây rất rõ ràng: bộ lọc cho phép robot chạy ở 0,9 m/s mà vẫn đảm bảo độ tin cậy trên 90%. Nếu không có nó, robot buộc phải vận hành chậm hơn (khoảng 0,7 m/s) để đạt được sự an toàn tương tự. Ở tốc độ thấp 0,4 m/s, chênh lệch chỉ là +4 điểm phần trăm, xác nhận rằng vấn đề chủ yếu phát sinh từ các cú giật vận tốc khi chạy nhanh. Tóm lại, bộ lọc đóng vai trò như một "bộ đệm" làm giảm độ nhạy của hệ thống với tốc độ, giúp giảm rủi ro thất bại nhiệm vụ trong các hành lang đòi hỏi di chuyển nhanh.

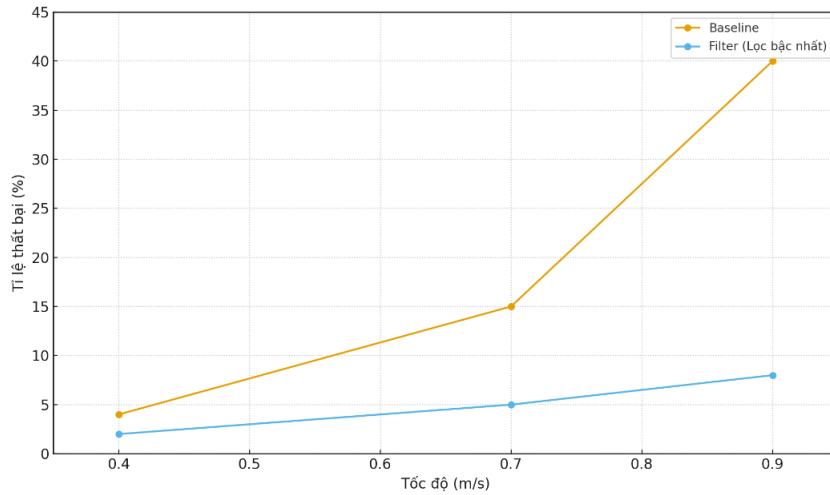
Hình 8 cung cấp một cái nhìn sâu hơn, làm rõ cơ chế đằng sau kết quả tích cực đã thấy ở Hình 7. Khi không sử dụng bộ lọc (Baseline), tỷ lệ thất bại (failure rate) leo thang rõ rệt theo tốc độ, lần lượt là 4%, 15% và 40% ở các mức 0,4; 0,7 và 0,9 m/s. Đây là dấu hiệu cho thấy bộ so khớp quét thường xuyên bị "trượt". Nguyên nhân là do các khung quét bị méo và có độ chồng phủ (overlap) kém khi robot tăng hoặc giảm tốc đột ngột.

Ngược lại, khi áp dụng bộ lọc bậc nhất, đường màu xanh lá cho thấy tỷ lệ thất bại được giữ ở mức rất thấp và ổn định: chỉ 2%, 5%, và 8% ở các tốc độ tương ứng. Điều này tương đương với việc giảm tỷ lệ thất bại một cách ấn tượng: 50%, $\approx 67\%$, và 80% (tương ứng giảm tuyệt đối 2, 10, và 32 điểm phần trăm) so với Baseline.

Cơ chế cốt lõi ở đây là: việc làm mượt lệnh điều khiển giúp giới hạn hiệu quả độ giật. Điều này khiến cho sự biến thiên về tư thế của robot trong khoảng thời gian một vòng quay của LiDAR là nhỏ hơn, giúp các khung quét liên tiếp có độ chồng phủ cao hơn. Hệ quả là số lần so khớp thất bại hoặc phải khởi tạo lại bộ định vị giảm đi đáng kể.

Kết quả này giải thích trực tiếp cho việc tỷ lệ hoàn thành nhiệm vụ ở Hình 7 tăng mạnh: khi scan-matcher hoạt động bền vững, robot ít bị "dừng khựng" tại các đoạn di chuyển khó, đặc biệt là khi vận hành ở tốc độ cao 0,7-0,9 m/s.

Về mặt thực tiễn, việc duy trì $\beta_\omega > \beta_v$ được khuyến nghị để đảm bảo phản ứng góc luôn linh hoạt. Đồng thời, các giá trị β nên được tinh chỉnh trong khoảng 0,25–0,40 (đối với góc) và 0,20–0,35 (đối với tịnh tiến) nhằm đạt được sự cân bằng tối ưu giữa độ mượt và khả năng đáp ứng theo điều kiện thực tế.



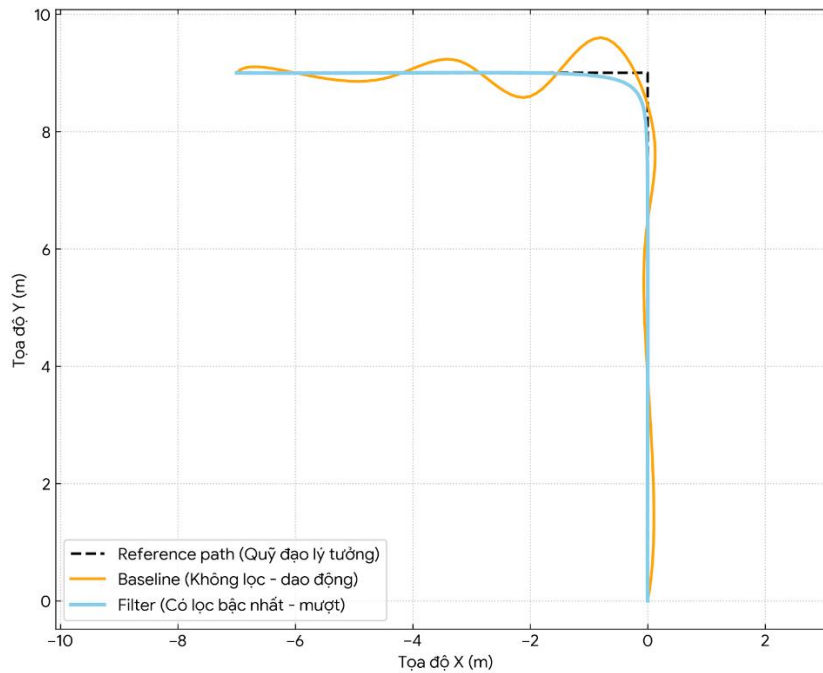
Hình 8. Biểu đồ tỷ lệ thất bại khi scan theo tốc độ.

Bên cạnh tỷ lệ hoàn thành nhiệm vụ, phân tích thống kê cơ bản về sai số vị trí đích (khoảng cách Euclid từ vị trí dừng thực tế đến tọa độ đích lý tưởng) qua 10 lần thử nghiệm lặp lại được tổng hợp tại Bảng 1. Dữ liệu thống kê cho thấy, khi hệ thống vận hành mà không có bộ lọc (Baseline), độ lệch chuẩn tăng vọt theo tốc độ (lên đến $\pm 0,12$ m tại 0,9 m/s), minh chứng cho sự bất ổn định và khả năng lặp lại thấp. Ngược lại, khi áp dụng giải pháp làm mượt (Filter), không chỉ giá trị trung bình của sai số giảm đáng kể, mà độ phân tán dữ liệu cũng được thu hẹp gắt gao ($\pm 0,03$ m tại 0,9 m/s). Kết quả định lượng này khẳng định bộ lọc thông thấp bậc nhất giúp hệ thống duy trì độ tin cậy nhất quán ngay cả trong điều kiện vận hành động học cao.

Bảng 1. Phân tích thống kê sai số vị trí đích (Trung bình \pm Độ lệch chuẩn).

Tốc độ mục tiêu (m/s)	Sai số vị trí – Baseline (m)	Sai số vị trí – Filter (m)	Mức độ cải thiện trung bình
0,4	$0,05 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,01$	20%
0,7	$0,15 \pm 0,06$	$0,06 \pm 0,02$	60%
0,9	$0,28 \pm 0,12$	$0,08 \pm 0,03$	70%

Hình 9 minh họa trực quan quỹ đạo di chuyển 2D của robot trong thực tế: đi thẳng 9 mét, rẽ trái 90° và tiếp tục di chuyển thẳng. Đồ thị tiến hành so sánh trực tiếp quỹ đạo tham chiếu lý tưởng (đường nét đứt màu đen) với đáp ứng của hệ thống nguyên bản (đường màu cam) và hệ thống có tích hợp giải pháp đề xuất (đường màu xanh lam). Có thể quan sát rõ, đối với cấu hình Baseline không được lọc tín hiệu, sự thay đổi lệnh vận tốc đột ngột tại góc cua đã dẫn đến hiện tượng vọt lố (overshoot) đáng kể do quán tính. Sau khi rẽ, robot mất một khoảng cách dài và liên tục dao động mạnh mới có thể nấn chỉnh lại hướng đi. Chính những dao động cơ học bất ổn này là nguyên nhân cốt lõi làm méo dạng khung quét LiDAR, gây thất bại cho quá trình so khớp bản đồ. Ngược lại, khi áp dụng bộ lọc thông thấp bậc nhất, tín hiệu vận tốc được làm mượt giúp quá trình chuyển hướng diễn ra êm ái hơn hẳn. Quỹ đạo robot bo góc trơn tru, triệt tiêu hoàn toàn hiện tượng văng lố và nhanh chóng hội tụ, bám sát đường tham chiếu ban đầu. Kết quả này cung cấp minh chứng động học rõ ràng cho tính hiệu quả của chiến lược điều khiển được đề xuất trong việc duy trì tính ổn định cho nền tảng định vị SLAM.



Hình 9. Quỹ đạo của robot khi đi thẳng và rẽ trái 90° ở vận tốc 0,9m/s.

Để làm rõ tính ưu việt của giải pháp đề xuất, cần xem xét phương pháp này trong tương quan với các chiến lược điều khiển hiện hành. Phần lớn các nghiên cứu nâng cao độ ổn định cho robot di động thường tập trung vào các bộ điều khiển bám quỹ đạo phức tạp, điển hình như SMC [9] hay Điều khiển dự báo mô hình (MPC). Các phương pháp này có ưu điểm là độ chính xác bám quỹ đạo cực cao; tuy nhiên, chúng đòi hỏi mô hình động học/động lực học phải được xác định toán học một cách chính xác tuyệt đối, đồng thời tiêu tốn tài nguyên tính toán lớn từ hệ thống nhúng. Ngược lại, giải pháp lọc thông thấp bậc nhất được đề xuất trong nghiên cứu này mang lại tính ưu việt vượt trội về mặt triển khai thực tiễn: chi phí tích hợp và tính toán gần như bằng không. Thay vì phải can thiệp sâu vào mã nguồn của bộ lập kế hoạch hay thuật toán SLAM cốt lõi, bộ lọc hoạt động độc lập như một node trung gian. Mặc dù tính chất toán học đơn giản, sự đánh đổi thu lại là rất lý tưởng: hệ thống vẫn đạt được mức cải thiện độ tin cậy định vị ấn tượng (từ 60% lên 92% ở vận tốc 0,9 m/s) mà không gây quá tải cho bộ xử lý trung tâm. Điều này làm cho chiến lược đề xuất trở nên đặc biệt phù hợp và ưu việt đối với các nền tảng robot y tế thương mại yêu cầu tính ổn định cao nhưng bị giới hạn về năng lực phần cứng.

Bên cạnh các kịch bản hành lang tiêu chuẩn, khả năng ứng dụng thực tế của phương pháp đề xuất còn chịu chi phối bởi các điều kiện vận hành phức tạp đặc thù của môi trường bệnh viện. Do đó, việc thiết lập chiến lược tinh chỉnh tham số cần tuân thủ nguyên tắc đánh đổi giữa độ mượt động học (tối ưu cho SLAM) và độ nhạy thời gian thực (tối ưu cho an toàn). Cụ thể:

Thứ nhất, trong điều kiện sàn trơn trượt (ví dụ: khu vực vừa được vệ sinh), ma sát suy giảm làm tăng sai số quán tính (odometry) do hiện tượng trượt bánh. Trong tình huống này, giải pháp làm mượt vận tốc đề xuất phát huy tác dụng tích cực bằng cách triệt tiêu các xung gia tốc đột ngột—tác nhân chính gây mất bám đường. Để tối ưu, nguyên tắc điều chỉnh là tăng cường độ lọc (giảm β) và hạ giới hạn vận tốc tối đa (v_{max} , ω_{max}) nhằm đảm bảo robot chuyển trạng thái một cách từ từ, duy trì độ bám ma sát tĩnh.

Thứ hai, đối mặt với môi trường có mật độ vật cản động/tĩnh cao (bệnh nhân, xe đẩy y tế), yêu cầu tối thượng là khả năng phản ứng tức thời (emergency stop hoặc local avoidance). Bộ lọc bậc nhất, về bản chất, đưa vào hệ thống một độ trễ pha (phase delay). Nếu giữ tham số lọc quá nhỏ (quá mượt), robot có thể phản hồi chậm trễ và dẫn đến va chạm. Nguyên tắc ở đây là giảm độ lọc (tăng β tiến gần về 1) khi thuật toán dẫn đường cục bộ (local planner) phát hiện vùng có bản đồ chi phí (costmap) dày đặc vật cản, ưu tiên thời gian đáp ứng lên trên độ êm ái.

Thứ ba, về yếu tố điều kiện ánh sáng thay đổi (chói nắng hoặc khu vực tối), hệ thống ít chịu tác động tiêu cực do thiết bị đo lường chủ đạo là cảm biến LiDAR dToF dựa trên nguyên lý quang phi thời gian

bay, hoàn toàn độc lập với cường độ sáng môi trường nội thất. Tuy nhiên, nếu nâng cấp hệ thống với camera chiều sâu (RGB-D), các tham số về ngưỡng tin cậy của cảm biến quang học cần được kết hợp với bộ điều khiển vận tốc để tự động giảm tốc khi tầm nhìn bị hạn chế.

Từ những phân tích trên, một cơ chế tự động tinh chỉnh β theo thời gian thực (adaptive smoothing) dựa trên mật độ vật cản và cảnh báo độ trượt sẽ là định hướng phát triển tất yếu trong tương lai nhằm hoàn thiện tối đa tính tự chủ cho robot y tá.

4. Kết luận

Bài báo đề xuất một phương pháp tiếp cận đơn giản nhưng mang lại hiệu quả cao: tích hợp bộ lọc thông thấp bậc nhất vào luồng tín hiệu điều khiển v , ω ngay trước tầng điều khiển cơ sở. Cơ chế này giúp làm mượt chuyển động, giảm thiểu độ giật và hạn chế đáng kể hiện tượng méo dạng dữ liệu LiDAR do rung động cơ học.

Kết quả thực nghiệm trong môi trường hành lang bệnh viện với ba mức vận tốc (0,4; 0,7 và 0,9 m/s) cho thấy phương án có lọc cải thiện vượt trội các chỉ số vận hành so với phương án đối chứng (Baseline). Sự khác biệt thể hiện rõ rệt nhất tại kịch bản rẽ 90° với tốc độ cao 0,9 m/s: tỷ lệ hoàn thành nhiệm vụ tăng mạnh từ 60% lên 92%, trong khi tỷ lệ thất bại của bộ so khớp quét (scan-matcher) giảm sâu từ 40% xuống còn 8% (tương đương mức giảm tương đối 80%). Ở các dải tốc độ thấp hơn, sự cải thiện vẫn được ghi nhận dù ở mức độ vừa phải. Điều này phù hợp với giả thuyết ban đầu: việc triệt tiêu các thành phần tần số cao trong lệnh điều khiển giúp tăng độ chồng phủ giữa các khung quét liên tiếp, từ đó đảm bảo sự ổn định cho quá trình đóng vòng và giúp robot di chuyển mượt mà, hạn chế tình trạng ngắt quãng.

Ưu điểm nổi bật của giải pháp này là tính thực tiễn cao với chi phí tích hợp gần như bằng không. Hệ thống chỉ yêu cầu một node trung gian (cmd_vel_filter) để xử lý, kẹp biên tín hiệu từ /cmd_vel và phát lại qua /cmd_vel_filtered, hoàn toàn không đòi hỏi can thiệp vào bộ lập kế hoạch hay thay đổi thuật toán SLAM hiện hữu. Dựa trên kết quả nghiên cứu, bộ tham số tối ưu cho quá trình triển khai thực nghiệm được đề xuất như sau: chu kỳ $\Delta t = 20 - 50\text{ms}$, hệ số $\beta_v = 0,20 - 0,35$ và $\beta_\omega = 0,25 - 0,40$. Cần lưu ý nguyên tắc duy trì $\beta_\omega > \beta_v$ để đảm bảo robot vẫn phản hồi góc đủ nhanh tại các khúc cua. Mặc dù thử nghiệm được thực hiện trên cơ cấu dẫn động vi sai, phương pháp này độc lập với hệ thống truyền động và hoàn toàn có thể áp dụng hiệu quả cho các nền tảng robot đa hướng trong môi trường y tế nội bộ.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh theo hợp đồng số 189/HĐ-DCT ký ngày 01 tháng 7 năm 2025. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh và Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

Xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I. Mehta, H. Y. Hsueh, S. Taghipour, W. Li, and S. Saeedi, "UV disinfection robots: A review," *Robot. Auton. Syst.*, vol. 161, art. no. 104332, 2023.
- [2] C. Rondoni, F. S. D. Luzio, C. Tamantini, N. L. Tagliamonte, M. Chiurazzi, G. Ciuti, and L. Zollo, "Navigation benchmarking for autonomous mobile robots in hospital environment," *Sci. Rep.*, vol. 14, art. no. 18334, 2024.
- [3] G. P. Huang, A. I. Mourikis, and S. I. Roumeliotis, "Observability-based rules for designing consistent EKF-SLAM estimators," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 29, no. 5, pp. 502–528, 2010.
- [4] S. Thrun, M. Montemerlo, D. Koller, B. Wegbreit, J. Nieto, and E. Nebot, "FastSLAM: An efficient solution to the simultaneous localization and mapping problem with unknown data association," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 4, pp. 1199–1224, 2003.
- [5] M. Kaess, H. Johannsson, R. Roberts, V. Ila, J. J. Leonard, and F. Dellaert, "iSAM2: Incremental smoothing and mapping using the Bayes tree," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 31, no. 2, pp. 216–235, 2012.
- [6] L. Carlone, G. C. Calafiore, C. Tommolillo, and F. Dellaert, "Planar pose graph optimization: Duality, optimal solutions, and verification," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 32, no. 3, pp. 545–565, 2016.
- [7] C. Sprunk, B. Lau, and W. Burgard, "An accurate and efficient navigation system for omnidirectional robots in industrial environments," *Auton. Robots*, vol. 41, no. 2, pp. 473–493, 2017.
- [8] K. Burnett, A. P. Schoellig, and T. D. Barfoot, "Do we need to compensate for motion distortion and Doppler effects in spinning radar navigation?," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 771–778, 2021.
- [9] G. K. Nghiem, T. L. Le, T. C. Phung, and Q. H. Dinh, "A study on the optimal control strategy using sliding mode controller for Mecanum-wheeled omnidirectional mobile robot," *Measurement*, vol. 255, art. no. 118113, 2025.

- [10] Y. Zheng, J. Zheng, K. Shao, H. Zhao, H. Xie, and H. Wang, "Adaptive trajectory tracking control for nonholonomic wheeled mobile robots: A barrier function sliding mode approach," *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*, vol. 11, pp. 1007–1021, 2024.
- [11] S. Vera, L. Chuquimarca, and D. Plaza, "Kalman filter applied to a differential robot," in *Proc. Int. Conf. Circuits, Power and Intelligent Systems (CCPIS)*, 2023, pp. 1–6.
- [12] P. Tang, M. Cui, L. Zhou, S. Chen, R. Wen, and W. Liu, "PSO-based optimal tracking control of mobile robots with unknown wheel slipping," *Electronics*, vol. 14, art. no. 3427, 2025.
- [13] V. T. Ha, T. T. Thuong, N. T. Thanh, and V. Q. Vinh, "Research on some control algorithms to compensate for the negative effects of model uncertainty parameters, external interference, and wheeled slip for mobile robot," *Actuators*, vol. 13, art. no. 31, 2024.
- [14] H. D. Whyte and T. Bailey, "Simultaneous localization and mapping: Part I," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 13, no. 2, pp. 99–110, 2006.
- [15] C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid, and J. J. Leonard, "Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 32, no. 6, pp. 1309–1332, 2016.

Quoc-Cuong Pham received the Engineer's degree in Thermal Engineering Technology in 2013 and the Master's degree in Mechanical Engineering in 2017 from Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam. From 2018 to 2020, he was a lecturer at the Faculty of Automotive Engineering Technology, Binh Duong University, Vietnam. From 2020 to 2023, he was a lecturer at the Faculty of Technology, Binh Duong Trade Union Technical and Professional Vocational School, Vietnam. From 2023 to present, he has been a lecturer at the Faculty of Electrical and Electronics, Bach Khoa Sai Gon College, Vietnam. His research interests include mobile robotics, artificial intelligence (AI), computer vision, deep learning, and autonomous control systems. His research focuses on the integration of AI and IoT in healthcare service robots, with an emphasis on SLAM-based navigation and omnidirectional motion control for nurse-assistive robotic systems.

Email address: 6003240002@huit.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6615-0105>

Thanh-Long Le received engineer's degree in Mechanical engineering, in 2011 from Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM, and PhD's degree in Mechanical Engineering, in 2016 from National Central University (NCU), Taiwan. From 2017 to present, he was a lecturer in Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM, Vietnam. He is the author of many articles related to microfluidics, computational fluid dynamics, mechatronics and mechanical engineering. Assoc.Prof. Le received the first prize in mechanical engineering for the excellent Vietnamese researcher in Taiwan, 2016 and the best paper award in IC3MT 2018, in ISAE 2023, and Science and Technology Award Golden Globe 2022.

Email address: tlong@hcmut.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5238-4171>

Huy-Hoang Pham received engineer's degrees in Mechanical engineering (1991) and in Computer science (1997) from Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT). One year later, he received master degree in mechanical engineering also from HCMUT. He got PhD's degree in Mechanical Engineering in 2005 from Nanyang Technological University - Singapore. He was a lecturer at Faculty of Mechanical Engineering, HCMUT, VNU-HCM, Vietnam from 1991 to 2022. Since 2023, Assoc. Prof. Huy-Hoang Pham has worked at Ho Chi Minh City University of Industry and Trade (HUIT). He is specialized in micro motion flexure mechanisms and their application, kinematics and dynamics, mechatronics and mechanical engineering.

Email address: hoangph@huit.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7738-348X>

Huu-Dung Nguyen is currently an undergraduate student majoring in Mechatronics Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), VNU-HCM, Vietnam. His research interests include robotics, artificial intelligence (computer vision and deep learning), and automatic control systems. He is the author of articles related to the application of AI, IoT, and SLAM in healthcare and nurse-assistive robots. He received the Third Prize in the Science and Technology Awards for Students in Higher Education Institutions from the Ministry of Education and Training in 2025, along with the Pony Chung Scholarship (2025) and the Nitori Scholarship (2024).

Email address: dung.nguyenhuu1207@hcmut.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2042-7055>

Thanh-Huy Phung received his Engineer's Degree in Mechatronics from Ho Chi Minh University of Technology (HCMUT), VNU-HCM, Vietnam, in 2015. In 2020, he earned his PhD from Soonchunhyang University, South Korea. He is currently a lecturer in the Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM. His research focuses on advanced manufacturing techniques, additive manufacturing, applied artificial intelligence, computer vision, and robotics.

Email address: huypt@hcmut.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6088-7940>