

GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC ĐỊNH VỊ CHO ROBOT DI ĐỘNG TRONG NHÀ ENHANCING INDOOR LOCALIZATION ACCURACY FOR MOBILE ROBOTICS

Bùi Thị Duyên, Nguyễn Ngọc Trung

Trường Đại Học Điện Lực

Ngày nhận bài: 12/6/2025, Ngày chấp nhận đăng: 11/8/2025

Tóm tắt:

Bài báo trình bày về một đề xuất loại anten sử dụng cho robot, đối tượng cần định vị nhằm nâng cao độ chính xác cho hệ thống định vị đối tượng trong nhà. Hệ thống sử dụng anten thông minh làm trạm phát trong đó anten thông minh gồm bảy búp sóng. Phương pháp ước lượng vị trí robot trong hệ thống định vị dựa trên phương pháp phân tích mẫu. Bài báo khảo sát loại anten tích hợp cho robot di động và đề xuất loại anten cho robot để đạt được độ chính xác cao. Hệ thống được triển khai thực nghiệm trong phòng có diện tích $6m \times 6,5m \times 3,5m$ và đạt sai số nhỏ tới $0,72m$.

Từ khóa:

Định vị trong nhà, anten thông minh, phân tích mẫu.

Abstract:

This paper presents a proposal for an antenna design intended for use on mobile robots that require localization, with the goal of improving the accuracy of indoor object positioning systems. The system employs a smart antenna as the transmitter, where the antenna array consists of seven fixed directional beams. Object position estimation is based on a pattern analysis technique. The paper investigates different antenna types suitable for mobile robots and proposes an optimal antenna configuration to achieve high localization accuracy. The system was experimentally deployed in a cluttered laboratory environment with human activity, and achieved a positioning error as low as 0.72 m .

Keywords:

Indoor localization system, smart antenna, scene analysis.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong thời đại hiện nay, ứng dụng phổ biến của bài toán định vị trong môi trường hẹp đó là xác định vị trí của các robot di chuyển hàng hóa, trang thiết bị trong nhà kho, xưởng, nhà máy hoặc dẫn đường trong bảo tàng, siêu thị, bệnh viện, trung tâm triển lãm, thư viện, khu liên hiệp thể thao... Trong các hệ thống nói trên, hầu hết tất cả các nhiệm vụ mà robot thực hiện thường là những nhiệm vụ xuất phát từ các câu hỏi như: Tôi ở đâu? Tôi đang đi đâu?

Tôi làm thế nào để đến được đó? Như vậy yêu cầu thông tin về vị trí robot là cần thiết phải xác định, từ đó có thể trả lời được các câu hỏi nói trên và dẫn đường cho robot thực hiện các công việc được giao [2]. Bệnh viện là một trong những thị trường nổi trội cho ứng dụng định vị như: xác định vị trí robot hỗ trợ bệnh nhân để dẫn đường đến các vị trí thăm khám, giám sát bệnh nhân nếu điều trị nội trú, định vị nhằm hỗ trợ kịp thời trong trường hợp khẩn cấp [3]. Trong các lĩnh vực khác như công nghiệp,

nông nghiệp, bán hàng, logistics, quân đội, hầm mỏ, giáo dục đều cần định vị các đối tượng di động [5] để theo dõi và điều khiển hợp lý cho từng đối tượng cụ thể. Theo Medium số lượng đối tượng sử dụng dùng thiết bị di động tích hợp hệ thống phục vụ dựa trên vị trí trong những năm 2013 là 123 tỉ người sử dụng và đã tăng lên 242 tỉ người sử dụng tính đến 2018 [6].

Hình 1: Hệ định vị robot di động trong môi trường trong nhà

Việc sử dụng công nghệ sóng vô tuyến



trong các hệ thống định vị trong nhà là một thể mạnh, do sự phổ biến của các thiết bị, bộ thu-phát sóng vô tuyến được tích hợp trong hầu hết các trang thiết bị thông thường đặc biệt là trong các nhà thông minh, thành phố thông minh hay trong các khu vực công cộng, du lịch, trường học. Sóng vô tuyến có khả năng xuyên qua hầu hết các vật nên được ứng dụng phổ biến và rộng rãi. Theo [7] đã khảo sát: công nghệ sóng RF chiếm tỷ lệ lớn 66% , công nghệ hồng ngoại 9%, công nghệ UWB 6%, GPS 4%, công nghệ ảnh 1%, công nghệ từ trường 1%. Mọi nơi đều có sóng vô tuyến vì thế các hệ thống định vị trong nhà dựa trên sóng vô tuyến phát triển dựa trên cơ sở hạ tầng sẵn có là một lợi thế [8, 10].

Các tham số vị trí thường sử dụng như cường độ tín hiệu RSS (Received signal strength), thời gian tới ToA (Time of arrival), độ lệch thời gian tới TDoA (Time difference of arrival) và hướng góc tới AoA (Angle of arrival). Trong đó, khi sử dụng tham số ToA và TDoA mang lại sai số nhỏ nhưng giá thành rất cao và khó triển khai rộng [17, 21]. Các tham số RSS và AoA nổi trội về sự đơn giản dễ thực hiện bởi không cần đồng bộ, không yêu cầu các trang thiết bị đặc thù. Việc kết hợp tham số cường độ tín hiệu RSS hoặc RSSI (Received Signal Strength Indicator) và AoA sẽ làm cho độ chính xác cao hơn so với sử dụng một loại tham số. Khi dùng tham số AoA hệ thống xác định hướng đối tượng nhưng yêu cầu phải sử dụng anten định hướng hoặc anten thông minh.

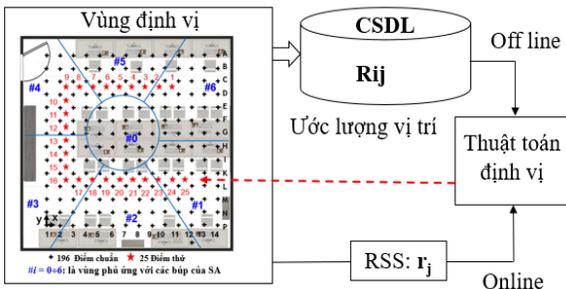
Môi trường trong nhà, tín hiệu vô tuyến phức tạp gồm nhiều tín hiệu nhiễu đa đường (truyền thẳng, phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ...), trong đó tín hiệu truyền thẳng là tín hiệu mạnh nhất. Bên cạnh đó, tính chất phân cực của anten cũng ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ thu-phát tín hiệu vô tuyến. Trên cơ sở đó bài báo đưa ra đề xuất mới liên quan đến khảo sát loại anten sử dụng cho robot di động cần định vị. Bài báo sẽ trình bày kịch bản thử nghiệm, phân tích tính toán để nhận thấy độ chính xác của hệ thống định vị có liên quan đến loại anten tích hợp cho robot di động trong nhà cần định vị.

Nội dung tiếp theo của bài báo gồm: phương pháp định vị dựa trên phân tích mẫu cho robot di động được trình bày trong mục 2; cấu hình hệ thống định vị

được trình bày trong mục 3; mục 4 là kết luận của bài báo.

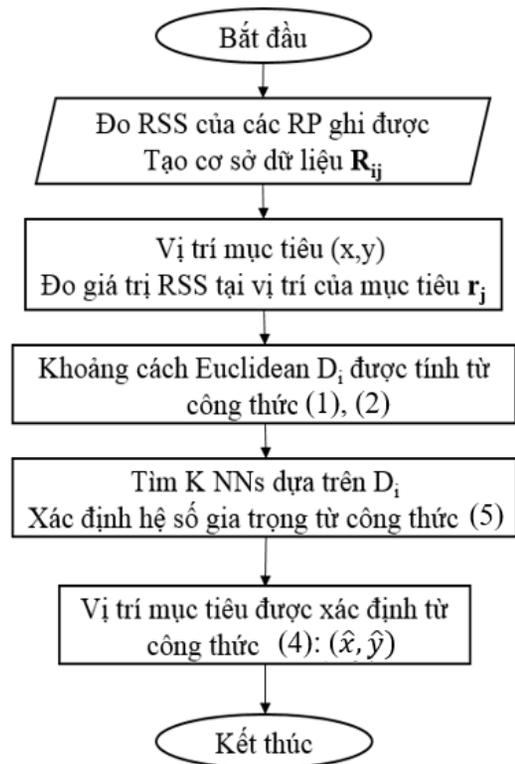
2. PHƯƠNG PHÁP ĐỊNH VỊ CHO ROBOT

Việc mô hình hóa chính xác quá trình truyền sóng trong môi trường trong nhà là thách thức do sự tồn tại của nhiều loại nhiễu vô tuyến. Phương pháp phân tích mẫu được đánh giá cao nhờ khả năng định vị chính xác mà không yêu cầu phần cứng chuyên dụng. Phương pháp này tận dụng các thiết bị phổ biến thu phát tín hiệu vô tuyến và dựa trên các tham số như cường độ tín hiệu RSS, địa chỉ MAC, và SSID. Một trong những phương pháp phân tích mẫu đó là dấu vân tay (fingerprinting). Triển khai hệ thống dựa trên fingerprinting được chia làm 2 giai đoạn [17] như Hình 2 và thuật toán như Hình 3: giai đoạn thu thập và huấn luyện (training, off-line) và giai đoạn tính toán ước lượng vị trí đối tượng (online) [17], [18].



Hình 2: Hệ định vị theo phương pháp fingerprinting

(1) - Giai đoạn huấn luyện, thu thập dữ liệu (training, off-line): Tạo lưới điểm chuẩn để thu thập cơ sở dữ liệu (CSDL) ứng với một hệ tọa độ ban đầu. Lưới điểm chuẩn (Reference Point-RP) càng dày cho độ chính xác càng cao, tuy nhiên đánh đổi là thời gian công sức thu thập dữ liệu nhiều, khối lượng tính toán lớn và mất thời gian.



Hình 3: Thuật toán định vị

Thu thập tham số vị trí RSS hay RSSI. Càng nhiều mẫu cho mỗi điểm chuẩn thì độ chính xác càng cao, đánh đổi là thời gian và tính toán nhiều. Giá trị R_{ij} là giá trị cường độ RSS trung bình từ các mẫu đã đo. Có thể lọc hoặc hiệu chỉnh các tham số đo, tạo CSDL chuẩn hóa. Tập dữ liệu trên mỗi điểm chuẩn gồm thông tin tọa độ và giá trị RSS ứng với các trạm đã biết trước do đó chúng còn gọi là bản đồ sóng vô tuyến [19]. Dựa trên tham số vị trí đối tượng đo được $RSS/RSSI$ theo thời gian thực đo được $r_{SS_i} = \{r_{SS_1}, r_{SS_2}, \dots, r_{SS_i}, \dots, r_{SS_N}\}$, sử dụng các phương pháp, thuật toán để ước lượng vị trí đối tượng. Việc phân tích, ước lượng tìm ra vị trí đối tượng có nhiều phương pháp, thuật toán khác nhau [20]. Trong bài báo này tác giả đề xuất hướng tiền định để triển khai thử nghiệm. Bản

chất của quá trình này là ước lượng vị trí thông qua việc lựa chọn điểm chuẩn (Reference Point-RP) đã biết trước và gần đối tượng, nghĩa là giá trị RSS đo được gần với giá trị RSS của điểm chuẩn trong CSDL. Để ước lượng tăng độ chính xác, chỉ lựa chọn K điểm gần đối tượng gọi là điểm gần nhất (Nearest Neighbor-NN) hoặc gọi là K hàng xóm gần nhất [21, 23]. Tham số liên quan đến vị trí đối tượng thường được xác định bởi các vec-tơ độ lệch hay thường gọi là khoảng cách, độ

lệch ở đây là hiệu của RSS đo trong giai đoạn trực tuyến và RSS sẵn có của các điểm chuẩn. Xác định khoảng cách đó có nhiều phương pháp xác định khác nhau, tuy nhiên khoảng cách Euclidean và Sorensen hay được sử dụng vì tính hiệu quả về tính toán cũng như độ chính xác, chúng lần lượt được xác định như công thức (1) và (2) [24, 26] để xác định K điểm lân cận.

$$\text{Euclidean: } D_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (rss_i - \overline{rss}_{i,j})^2}; \text{ với: } i = 1 \div N, j = 1 \div M \quad (1)$$

(N : số trạm, M : số điểm chuẩn)

$$\text{Sorensen: } D_j = \frac{\sum_{j=1}^N |rss_i - \overline{rss}_{i,j}|}{\sum_{j=1}^N |rss_i + \overline{rss}_{i,j}|}; \text{ với: } i = 1 \div N, j = 1 \div M \quad (2)$$

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\sum_{j=1}^K \frac{x_j}{K}, \sum_{j=1}^K \frac{y_j}{K} \right) \quad (3)$$

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \operatorname{argmin} \sum_{j=1}^K [(\hat{x} - x_j)^2 + (\hat{y} - y_j)^2] \quad (4)$$

$$w_j = \frac{1/D_j}{\sum_{j=1}^K (1/D_j)}, j = 1, 2, 3 \dots K \quad (5)$$

$$(\hat{x}, \hat{y}) = w_j \cdot (x_j, y_j) \quad (6)$$

$$w_i = \exp\left(\frac{-\|x - x_i\|_k}{\sigma^2}\right) \quad (7)$$

Từ K điểm lân cận dùng các thuật toán khác nhau để ước lượng vị trí như: tìm trọng số của các điểm lân cận dựa trên khoảng cách Euclidean (K nearest neighbour-WKNN), tìm trọng tâm dựa trên tổng bình phương khoảng cách nhỏ nhất (minimizes the sum of square-MSoS) theo

(4) hay phương pháp khoảng cách Minkowski (7) với $k=2$. Các giá trị gamma σ^2 được khảo sát ứng với $\sigma^2 = 5, 10$ và 25 (Gama5, Gama10 và Gama25).

Khoảng cách nhỏ nhất sẽ là vị trí cần ước lượng với $K = 1$, nếu lấy $K \neq 1$ khi đó

vị trí sẽ được ước tính bằng các phương pháp tìm trọng tâm của K điểm như: trung bình tọa độ coi K điểm như nhau công thức (3), bình phương khoảng cách nhỏ nhất như công thức (4)

Trong K điểm lân cận, có những điểm gần đối tượng (khoảng cách nhỏ), có những điểm xa đối tượng (khoảng cách lớn). Do đó, thêm trọng số cho các điểm gần hơn sẽ mang lại vị trí ước lượng tốt hơn hay giảm sai số vị trí. Trường hợp này gọi là phương pháp KNN có trọng số hay WKNN (Weight K Nearest Neighbor). Một trong các cách tính trọng số có thể căn cứ vào khoảng cách tìm được ở trên và được xác định theo công thức (5), từ đó ước lượng vị trí đối tượng theo công thức (6). Tham số $K=1$ thường không đạt được độ chính xác tốt nhất, K sẽ biến đổi theo mẫu và theo kịch bản, do vậy K được lựa chọn theo thực nghiệm để sai số định vị là nhỏ nhất [27]. Hoặc K được khảo sát theo phân bố sai số và được chọn ứng với sai số nhỏ nhất hoặc sai số nhỏ và K nhỏ để giảm quá trình tính toán cho hệ thống [25]. Phương pháp WKNN chiếm ưu thế với số trạm nhỏ, rời rạc, RADAR là hệ thống nổi tiếng đã sử dụng phương pháp này [22] [28].

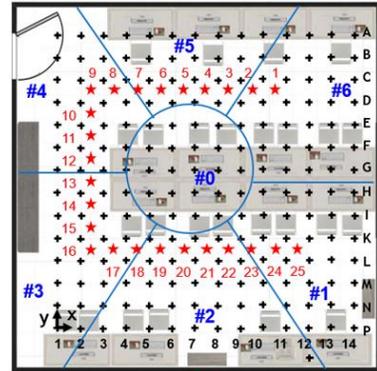
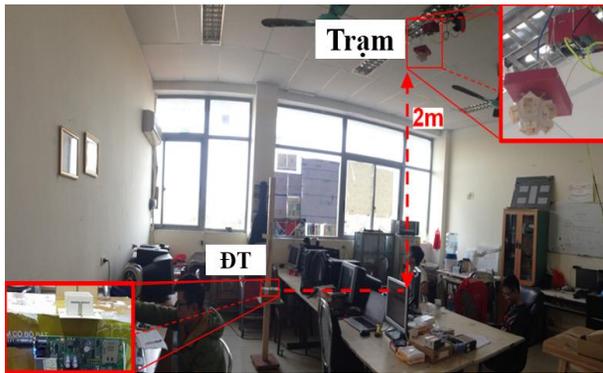
3. CẤU HÌNH HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ

3.1. Kịch bản khảo sát

Trong mục này, anten trạm phát là anten thông minh (SA) được gắn trên trần

nhà, có hệ số tăng ích của SA là 9,8dBi, công suất phát 0dBm, xét trong phòng với kích thước $6 \times 6,5 \times 3,5$ m³ như Hình 4. Tiến hành khảo sát 2 trường hợp khác nhau của anten được tích hợp trong robot: anten phân cực tròn TDAA và anten đẳng hướng LC-ĐaH đặt ngang (LC-ĐaH-N) được thể hiện như Hình 5.

Theo cuộc khảo sát RSS trong phòng trước đó tác giả chọn công suất phát của trạm trong kịch bản để 0dBm. Nếu không do ảnh hưởng của các tín hiệu đa đường, đối tượng thuộc vùng nào sẽ nhận được RSS mạnh ở vùng đó tương ứng với búp phát tín hiệu của SA. Nếu năng lượng bị phân tán không theo vùng sẽ rất khó xác định vị trí đối tượng hay dẫn đến sai số lớn trong xác định vị trí. Để đánh giá sơ bộ hệ thống, có thể quan sát phân bố mật độ năng lượng thu được khi trạm phát tín hiệu. Đo cường độ sóng vô tuyến RSS tại các vị trí của 196 điểm chuẩn, mỗi điểm đo 30 mẫu để tạo CSDL. Mật độ năng lượng thực nghiệm thu được cho từng trường hợp được mô tả như trên Hình 6. Từ đó nhận thấy trong cả 2 trường hợp, mật độ năng lượng sóng điện từ thu được đều phân thành vùng khá rõ rệt. Tuy nhiên, với anten bức xạ đẳng hướng theo phương ngang, năng lượng thu được thấp nhất và không tập trung thành vùng ứng với hướng từng búp của SA. Với trường hợp sử dụng TDAA còn lại mức độ tập trung năng lượng theo vùng tốt hơn và nhận được cường độ RSS mạnh hơn.

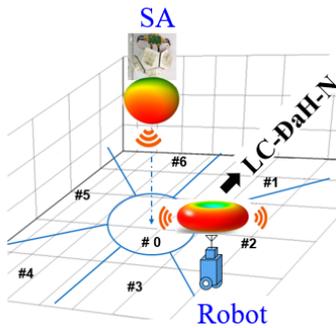


+ 196 Điểm chuẩn * 25 Điểm thử
#i = 0+6: là vùng phủ ứng với các búp của SA

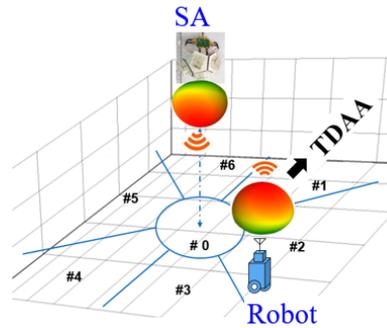
a) Kích bản của hệ định vị tại C1-413 ĐHBK Hà Nội

b) Lưới 196 điểm chuẩn trong hệ định vị

Hình 4: Vùng định vị khảo sát thực nghiệm

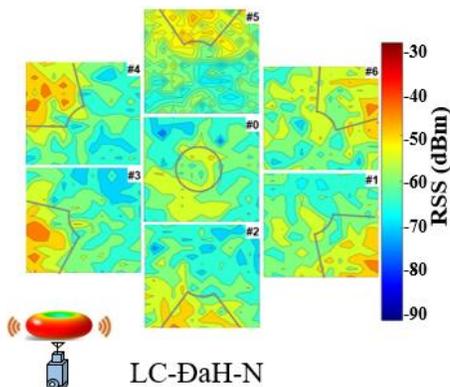


a) Đối tượng tích hợp anten đẳng hướng-ngang

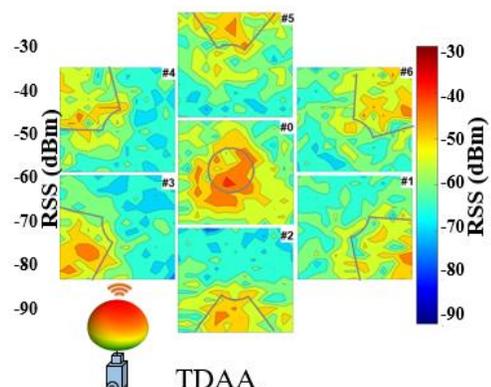


b) Đối tượng tích hợp anten TDAA

Hình 5. Hai trường hợp anten khác nhau được tích hợp cho đối tượng

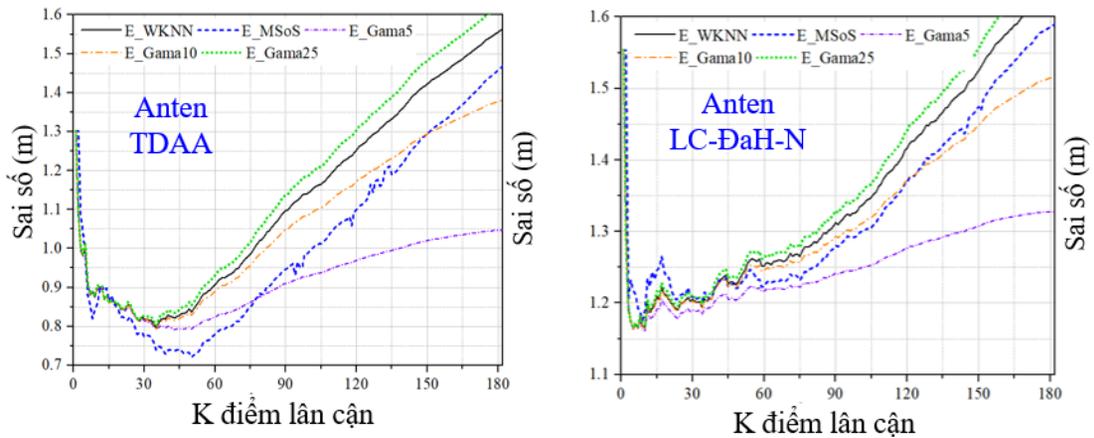


a) Robot tích hợp anten đẳng hướng - ngang

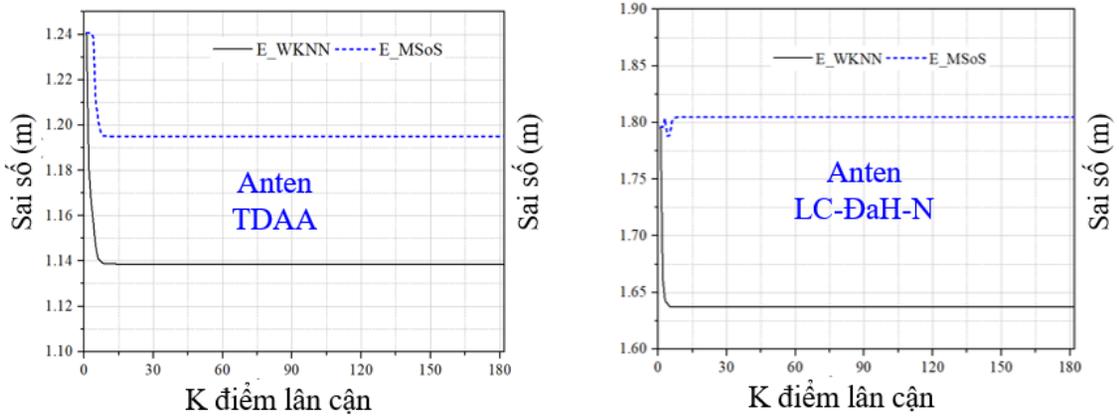


b) Robot tích hợp anten TDAA

Hình 6. Mật độ RSS



Hình 7. Mật độ RSS thu được từ 196 điểm chuẩn



Hình 8. Sai số trung bình theo K điểm lân cận với dựa trên xác suất thống kê

Bảng 1: Sai số trung bình của hệ thống trong các trường hợp (đơn vị: mm)

Hướng tiếp cận	Số điểm gần nhất K	Thuật toán tìm trọng tâm	Đối tượng tích hợp các anten	
			TDAA	LC-ĐaH-N
WKNN	K = 1	E_WKNN	1,3	1,55
		E_MSoS	1,3	1,55
		E_Gama5	1,3	1,55
	Sai số nhỏ nhất /K tương ứng	E_WKNN	0.79/ K=35	1,16/K=5
		E_MSoS	0.72/ K=50	1,18/ K=9
Bayes	K=1	E_WKNN	1,24	1,8
		E_MSoS	1,24	1,8
		E_Gama5	0.79/ K=35	1,16/ K=9
	Sai số nhỏ nhất /K tương ứng	E_WKNN	1,14/ K=6	1,64/ K=6
		E_MSoS	1,2/ K=6	1,79/ K=4

3.2. Kết quả định vị

Khi robot tích hợp các anten khác nhau, thu được CSDL từ 196 điểm chuẩn trong giai đoạn ngoại tuyến. Trong giai đoạn trực tuyến, ước lượng vị trí đối tượng với 25 điểm thử dựa trên thuật toán WKNN và sử dụng xác suất thống kê dựa trên công thức Bayes. Với mỗi thuật toán, sai số phụ thuộc vào K điểm lân cận được lựa chọn, để chọn được K tối ưu, tác giả khảo sát các trường hợp của K. Hình 7 là hình ảnh khảo sát K điểm lân cận với thuật toán WKNN, Hình 8 là hình ảnh khảo sát K điểm lân cận (K điểm có xác suất cao nhất). Hình 7 nhận thấy rằng với $K=1$ chưa phải là con số tối ưu cho sai số nhỏ nhất, khi K tăng dần sai số giảm dần, nếu tăng quá thì sai số lại tăng rất nhanh. Dựa vào quá trình khảo sát K ứng với các thuật toán khác nhau trên Hình 7 xác định được K để sai số định vị nhỏ nhất và được mô tả trong Bảng 1. Khi tối ưu hóa K bằng thực nghiệm, sai số nhỏ nhất có thể đạt tới 0,72m với $K = 50$ ứng với trường hợp robot tích hợp anten TDAA. Hình 8 cho thấy với $K = 1$ sai số lớn, tuy nhiên trong hầu hết các trường hợp với $K > 6$ thì sai số luôn cố định với giá trị thấp nhất. Do vậy, ở phương pháp này sẽ dễ dàng để lựa chọn K điểm xác suất cao nhất.

Thuật toán WKNN:

Các sai số trong các trường hợp không lệch nhau quá lớn, trường hợp đối tượng

tích hợp LC-ĐaH-N cho sai số lớn hơn do phương truyền - nhận sóng giữa thu và phát trực giao nhau. Sai số trong trường hợp còn lại khi robot tích hợp TDAA nhỏ hơn. Sai số nhỏ nhất đạt 0,72m với K điểm lân cận được khảo sát trong dải từ 9 đến 50 trên Hình 8 và tóm tắt trên Bảng 1.

Thuật toán dựa trên công thức Bayes:

Có sai số lớn hơn so với thuật toán dựa trên WKNN tiên định. Khuyến cáo nên chọn $K=6$, K nhỏ nhất và vẫn đạt được sai số nhỏ nhất theo khảo sát trên Hình 8 và tổng hợp tóm tắt trên Bảng 1

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất hệ thống định vị vô tuyến trong nhà sử dụng anten chuyển mạch búp sóng với 7 búp sóng cố định. Bài báo cũng đã phân tích phương pháp fingerprinting là một trong những phương pháp phổ biến được đánh giá mang lại độ chính xác cao nhất.

Nội dung chính tác giả đề xuất giải pháp mới là khảo sát loại anten tích hợp cho robot di động cần định vị với môi trường trong nhà phức tạp. Kết quả thực nghiệm cho thấy giải pháp đã chọn loại anten phân cực tròn TDAA tích hợp cho robot thì đạt độ chính xác cao vượt trội, với sai số trung bình xuống tới 0,72m trong không gian định vị là phòng thí nghiệm $6m \times 6,5m \times 3,5m$ tại phòng 413 nhà C1 Đại học Bách Khoa Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Pahlavan and P. Krishnamurthy, *Principles of wireless access and localization*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Inc, 2013.
- [2] P. Jensfelt, 'Approaches to mobile robot localization in indoor environments', Royal Institute of Technology, Switzerland, 2001.
- [3] A. H. Ismail, H. Kitagawa, R. Tasaki, and K. Terashima, 'WiFi RSS fingerprint database construction for mobile robot indoor positioning system', in *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Budapest, Hungary: IEEE, Oct. 2016, pp. 001561–001566. doi: 10.1109/SMC.2016.7844461.
- [4] © ELEDIA Research Center, 'ELEDIA Wireless Indoor Localization', ELEDIA WaLK. [Online]. Available: <http://www.eledia.org/showcase/walk/>
- [5] P. Harrop, 'Mobile phone indoor positioning systems create \$10bn market'. [Online]. Available: <https://www.idtechex.com/research/articles/mobile-phone-indoor-positioning-systems-create-10bn-market-00006207.asp>
- [6] '7 Examples of Location-Based Services Apps'. [Online]. Available: https://medium.com/@the_manifest/7-examples-of-location-based-services-apps-82b8be3bdcac
- [7] C. Esposito and M. Ficco, 'Deployment of RSS-Based Indoor Positioning Systems', *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 18, no. 4, pp. 224–242, Dec. 2011, doi: 10.1007/s10776-011-0131-7.
- [8] A. Yassin *et al.*, 'Recent Advances in Indoor Localization: A Survey on Theoretical Approaches and Applications', *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp. 1–1, 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2632427.
- [9] S. Doiphode, J. W. Bakal, and M. Gedam, 'Survey of Indoor Positioning Measurements, Methods and Techniques', *International Journal of Computer Applications*, vol. 140, no. 7, pp. 1–4, Apr. 2016.
- [10] P. Davidson and R. Piche, 'A Survey of Selected Indoor Positioning Methods for Smartphones', *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 1347–1370, 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2637663.
- [11] G. Mao and B. Fidan, Eds., *Localization algorithms and strategies for wireless sensor networks*. Hershey, PA: Information Science Reference, 2009.
- [12] F. Zafari, A. Gkelias, and K. K. Leung, 'A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies', *Cornell university library*, Sep. 2017, [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1709.01015>
- [13] W. Sakpere, M. Adeyeye Oshin, and N. B. Mlitwa, 'A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies', *South African Computer Journal*, vol. 29, no. 3, Dec. 2017, doi: 10.18489/sacj.v29i3.452.
- [14] A. A. Khudhair, S. Q. Jabbar, M. Qasim Sulttan, and D. Wang, 'Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 2, p. 392, Aug. 2016, doi: 10.11591/ijeecs.v3.i2.pp392-409.
- [15] Bai, Y, Wu, S, Wu, H and Zhang, K, 'Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology', in *Proceedings of the Geospatial Science_2*, Melbourne, Australia: RMIT University, Dec. 2012, pp. 1–10. [Online]. Available: <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:20622>
- [16] X. Li, Z. D. Deng, L. T. Rauchenstein, and T. J. Carlson, 'Contributed Review: Source-localization algorithms and applications using time of arrival and time difference of arrival measurements', *Review of Scientific Instruments*, vol. 87, no. 4, p. 041502, Apr. 2016, doi: 10.1063/1.4947001.
- [17] S. He and S.-H. G. Chan, 'Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning: Recent Advances and Comparisons', *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 466–490, 2016, doi: 10.1109/COMST.2015.2464084.
- [18] C. Basri and A. El Khadimi, 'Survey on indoor localization system and recent advances of WIFI fingerprinting technique', in *2016 5th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Marrakech, Morocco: IEEE, Sep. 2016, pp. 253–259. doi: 10.1109/ICMCS.2016.7905633.
- [19] Ville HONKAVIRTA, Tommi PER ¨ AL ¨ A, Simo ALI-L ¨ OYTTY and Robert PICH' E, 'A Comparative Survey of WLAN Location Fingerprinting Methods', in *Proc. of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2009 (WPNC'09)*, Tampere University of Technology, Finland, 2009, pp. 243–251.
- [20] A. Khalajmehrabadi, N. Gatsis, and D. Akopian, 'Modern WLAN Fingerprinting Indoor Positioning Methods and Deployment Challenges', *arXiv:1610.05424 [cs]*, Oct. 2016, Accessed: Feb. 26, 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1610.05424>
- [21] Rong-Hong Jan and Yung Rong Lee, 'An indoor geolocation system for wireless LANs', in *2003 International Conference on Parallel Processing Workshops, 2003. Proceedings.*, Kaohsiung, Taiwan: IEEE Comput. Soc, 2003, pp. 29–34. doi: 10.1109/ICPPW.2003.1240350.
- [22] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, 'RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system', *IEEE*, 2000, pp. 775–784. doi: 10.1109/INFCOM.2000.832252.

- [23] A. Smailagic and D. Kogan, 'Location sensing and privacy in a context-aware computing environment', *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, no. 5, pp. 10–17, Oct. 2002, doi: 10.1109/MWC.2002.1043849.
- [24] I. Lee, M. Kwak, and D. Han, 'A Dynamic k -Nearest Neighbor Method for WLAN-Based Positioning Systems', *Journal of Computer Information Systems*, vol. 56, no. 4, pp. 295–300, Oct. 2016, doi: 10.1080/08874417.2016.1164000.
- [25] A. Ault, X. Zhong, and E. J. Coyle, 'K-Nearest-Neighbor Analysis of Received Signal Strength Distance Estimation Across Environments', in *Proceedings of First workshop on Wireless Network Measurements (WiNMee)*, Trentino, Italy: IEEE, 2005, pp. 1–6.
- [26] W. Chen, W. Wang, Q. Li, Q. Chang, and H. Hou, 'A Crowd-Sourcing Indoor Localization Algorithm via Optical Camera on a Smartphone Assisted by Wi-Fi Fingerprint RSSI', *Sensors*, vol. 16, no. 3, p. 410, Mar. 2016, doi: 10.3390/s16030410.
- [27] L. M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau, and A. P. Patil, 'LANDMARC: indoor location sensing using active RFID', in *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003)*, Fort Worth, TX, USA: IEEE Comput. Soc, 2003, pp. 407–415. doi: 10.1109/PERCOM.2003.1192765.
- [28] X. Luo, W. J. O'Brien, and C. L. Julien, 'Comparative evaluation of Received Signal-Strength Index (RSSI) based indoor localization techniques for construction jobsites', *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, no. 2, pp. 355–363, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.aei.2010.09.003.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Bùi Thị Duyên** tốt nghiệp đại học ngành Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ ngành Tự động hóa năm 2007, nhận bằng Tiến sĩ ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa năm 2020 tại Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay tác giả là giảng viên Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu chính: Hệ thống đo lường điều khiển, thiết kế các hệ thống nhúng ứng dụng trong điều khiển và tự động hóa, mạng cảm biến không dây, anten và mạch cao tần.



Tác giả **Nguyễn Ngọc Trung** tốt nghiệp đại học ngành Hệ thống điện, nhận bằng Thạc sĩ ngành Kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội vào các năm 2003 và 2006; nhận bằng tiến sĩ Kỹ thuật điện năm 2014 tại Đại học Palermo, Cộng hòa Italia. Hiện nay tác giả là giảng viên, Trưởng phòng tổ chức cán bộ, Trường Đại học điện lực

Hướng nghiên cứu chính: Lưới điện thông minh, giám sát đo lường điều khiển tự động hóa và bảo vệ trong hệ thống điện.