

HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ DỰA TRÊN MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY SỬ DỤNG ANTEN THÔNG MINH

LOCALIZATION SYSTEMS BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORK USING SMART ANTENNA

Bùi Thị Duyên, Đoàn Thị Hương Giang

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 18/05/2021, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2021, Phản biện: PGS TS. Nguyễn Quang Hoan

Tóm tắt:

Bài báo trình bày giải pháp định vị vô tuyến dựa trên mạng cảm biến không dây sử dụng chuẩn IEEE 802.15.4. Các nút cảm biến tích hợp Anten thông minh có khả năng chuyển búp sóng ở bốn vị trí và có búp sóng hẹp tới 21° . Đề xuất hệ thống định vị sử dụng Anten thông minh có khả năng phủ được không gian rộng. Hệ thống sử dụng phương pháp dấu vân tay và đạt được sai số định vị nhỏ là 0,75 m trong vùng định vị 32 m^2 .

Từ khóa:

Anten thông minh, mạng cảm biến không dây, dấu vân tay (DVT).

Abstract:

This paper presents the solution for a radio frequency localization system based on a wireless sensor network (WSN) using the IEEE 802.15.4 standard. The nodes are integrated in a smart antenna (SA) which four positions could be scanned with narrow beam-width as small as 21° . Our system utilizes a smart antenna that is able to cover wide space. Furthermore, this system uses fingerprinting methods that obtains an average localization error down to 0,75 m in the coverage area of 32 m^2 .

Keywords:

Smart antenna, Wireless sensor network, Fingerprinting.

1. MỞ ĐẦU

Mạng cảm biến không dây là một trong những giải pháp truyền thông không dây có nhiều ưu điểm như: giá thành thấp, năng lượng tiêu thụ không cao, dễ triển khai và khả thi cho các ứng dụng trong quân đội, công nghiệp, gia đình, y tế, nông nghiệp. Đặc biệt, trong giám sát môi trường để đưa ra những cảnh báo sớm,

cứu hộ trong những tình huống khẩn cấp. WSN thực hiện nhiều chức năng khác nhau như: thu thập thông tin đo, xử lý dữ liệu, truyền thông không dây, xác định vị trí... [1]. Các nút cảm biến thường được chôn dưới đất để giám sát địa chấn; treo tại các khu vực giám sát môi trường như: rừng, biển, sông hồ, nhà xưởng, bệnh viện, khu công nghiệp, trang trại...; gắn

vào động vật hoang dã, vật nuôi... để giám sát hành vi, thói quen, sự di chuyển [2]; gắn vào người hoặc robot nhằm định hướng dẫn đường và giao tiếp với người khiếm thị, người khuyết tật, người già hay trẻ em [3]; gắn vào xe trong điều khiển giao thông thông minh [4]. Như vậy, các thông tin đo được của nút cảm biến (nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, ánh sáng, độ ô nhiễm...) không có ý nghĩa khi không biết vị trí của nút. Việc xác định vị trí của nút cảm biến là yếu tố quan trọng, liên quan đến tính hiệu quả của hệ thống. Thách thức chủ yếu của hệ định vị dựa trên mạng cảm biến không dây là độ chính xác, độ ổn định, thời gian đáp ứng và độ phức tạp khi triển khai [5].

Các phương pháp định vị thường dựa vào khoảng cách, hướng sóng tới hoặc sử dụng phương pháp đầu vân tay. Tín hiệu dùng để ước lượng vị trí 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), hướng sóng tới (AoA-Angle of Arrival) hoặc kết hợp các tín hiệu này [6]. Trong đó, ToA và TDoA không phù hợp với các nút cảm biến, vì yêu cầu phần cứng phức tạp. RSS được sử dụng phổ biến nhất bởi tính đơn giản và giá thành thấp, tuy nhiên độ chính xác không cao, khó khăn khi xây dựng mô hình hóa đường truyền trong môi trường động. Việc kết hợp RSS và AoA giúp nâng cao độ chính xác cho hệ định vị [7-9]. Theo [10] dựa trên RSS đo được, độ chính xác đạt được 1,2 m trong vùng 25 m²; [11]

dựa trên RSS, sử dụng phương pháp đầu vân tay và đạt độ chính xác trung bình 2 m trong vùng định vị 63 m²; công bố [7] đề xuất tích hợp anten thông minh cho nút cảm biến nhằm giảm số nút, giảm tắc nghẽn truyền thông trong mạng, từ đó giảm năng lượng cấp cho mạng, tăng thời gian sống cho các nút cảm biến; bài báo [8] ước lượng vị trí nút cảm biến dựa trên thông tin đo RSS và ước lượng AoA đạt độ chính xác cao 1,24 m trong vùng định vị rộng 100 m²; [9] sử dụng anten thông minh sai số trung bình 1,1 m trong vùng 42 m².

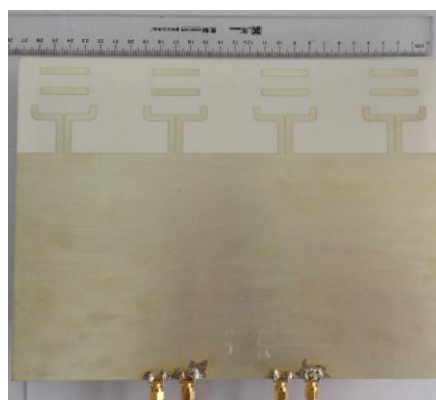
Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu và triển khai hệ thống mạng cảm biến gồm ba nút cố định được tích hợp anten thông minh (SA-Smart Antenna) đề xuất. Hệ thống định vị nút di động trong vùng rộng, giảm thiểu độ phức tạp về truyền thông trong mạng, nâng cao độ chính xác cho hệ định vị và giảm giá thành hệ thống. Bài toán sử dụng phương pháp đầu vân tay để ước lượng vị trí đối tượng dựa trên thuật toán K láng giềng gần nhất có trọng số.

2. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG CỦA HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ

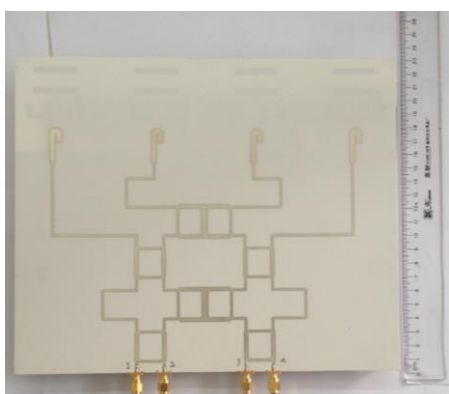
Anten thông minh đề xuất

Trong bài báo [12] tác giả đã đề xuất anten thông minh chuyển mạch búp sóng. Ưu điểm nổi bật của anten thông minh này có độ rộng búp sóng hẹp, hiệu suất bức xạ cao và cấu trúc phẳng dễ lắp đặt vào thiết bị trong hệ thống. Anten đề xuất đã được chế tạo, đo kiểm với hình ảnh và

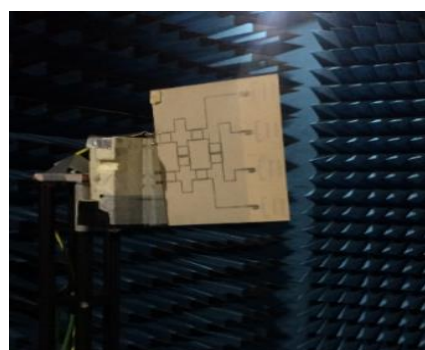
đồ thị bức xạ của anten được mô tả trên hình 1 và hình 2. Các búp sóng được đo kiểm tương đồng với kết quả mô phỏng dựa trên phần mềm CST (Computer Simulation Technology). Anten đạt được độ lợi là 9,8 dBi; băng thông rộng 400 MHz với tần số trung tâm 2,45 GHz; độ rộng búp sóng theo phương ngang đạt $21^\circ \div 28^\circ$. Độ rộng búp sóng hẹp tới 21° là một ưu điểm nổi bật, giúp cho việc định vị chính xác hơn theo mặt phẳng ngang.



b) Mặt dưới

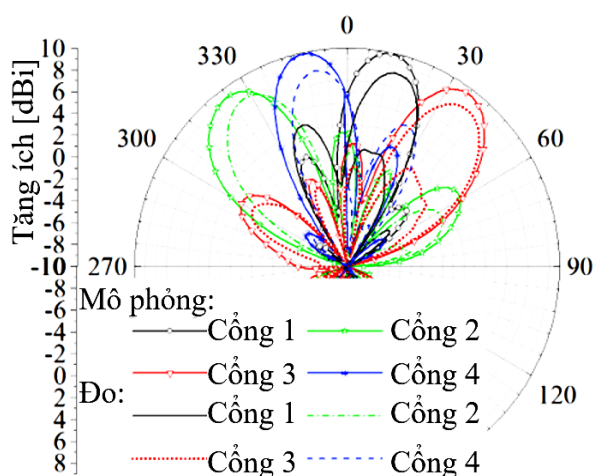


a) Mặt trên

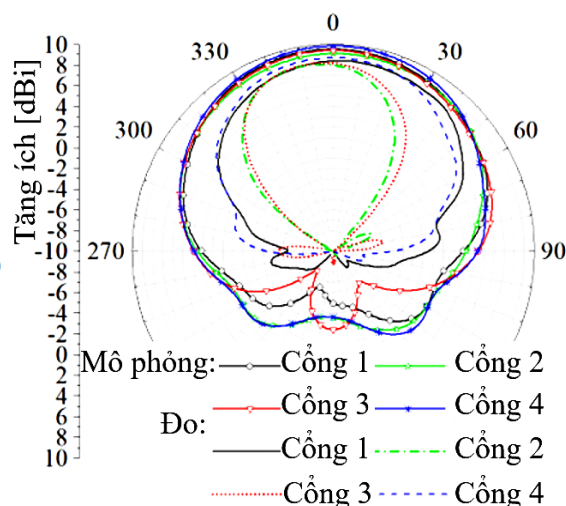


c) Hình ảnh đo SA

Hình 1. Hình ảnh anten thông minh được chế tạo và đo kiểm



a) Mặt phẳng xoy



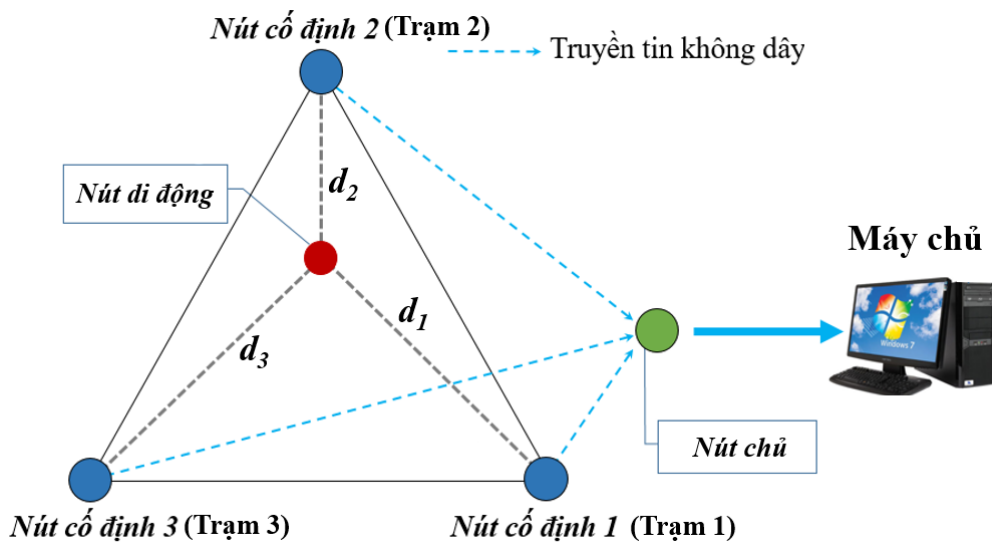
b) Mặt phẳng yoz

Hình 2. Kết quả mô phỏng và đo đạc đồ bức xạ của anten thông minh

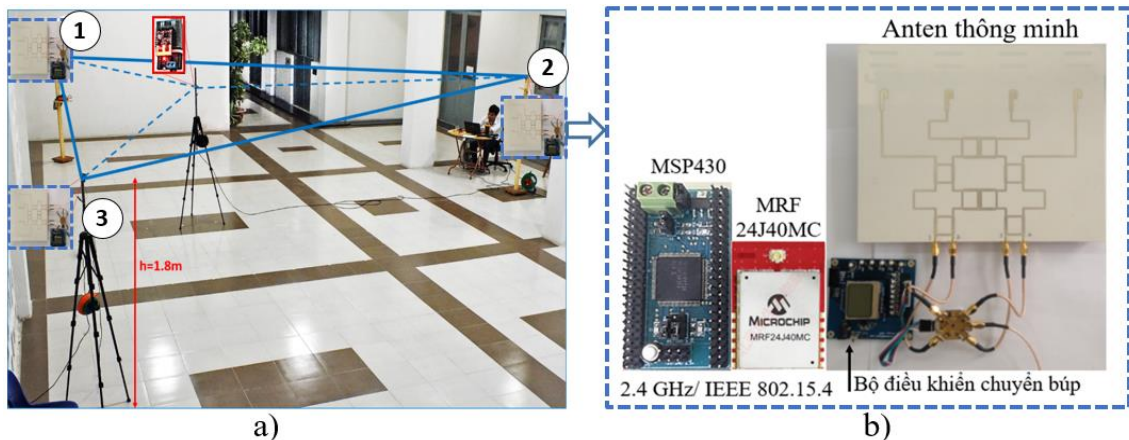
Cấu hình của hệ thống định vị

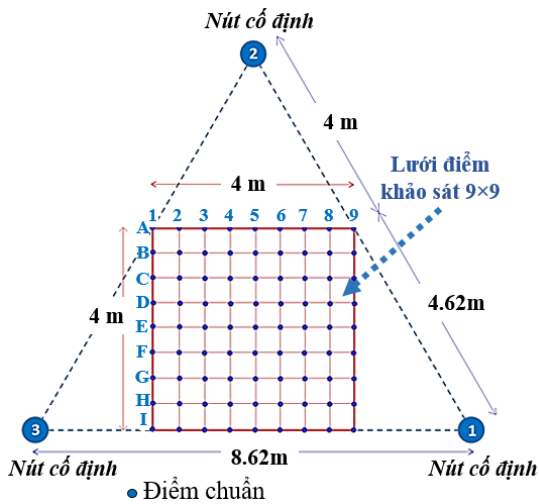
Hệ thống định vị dựa trên chuẩn IEEE 802.15.4, cấu trúc của hệ thống gồm ba nút cố định có nhiệm vụ thu tín hiệu vô tuyến từ nút di động. Tín hiệu RSSI thu được bởi nút chủ gửi về máy tính trung tâm, để xử lý tính toán vị trí nút di động. Trong đó, nút di động được tích hợp Anten đa hướng, nút cố định tích hợp SA. Các nút được kết nối với nhau theo cấu trúc mạng hình cây đơn giản được thể hiện

như hình 3. Hoạt động của mạng được triển khai như hình 4 và được thể hiện ở biểu đồ trình tự trong hình 5. **Error! Reference source not found.** với tốc độ 250 kbit/giây. Các nút cảm biến, sử dụng bộ điều khiển MSP430 và bộ thu phát vô tuyến MRF24J40MC. Nút chủ có nhiệm vụ trung gian thu tín hiệu cường độ sóng gửi về máy tính, từ đó ước lượng vị trí của nút di động.



Hình 3. Cấu hình hệ định vị ba trạm sử dụng WSN



Hình 4. a) Hệ thống định vị được triển khai và b) Nút cảm biến tích hợp SA**Hình 5. a) Lưới điểm chuẩn 9x9 và b) Biểu đồ trình tự thực hiện của WSN**

3. THUẬT TOÁN ĐỊNH VỊ VÀ KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

Có nhiều phương pháp định vị dựa trên sóng vô tuyến như đã trình bày trong mục 1:

(1) Với phương pháp giao khoảng cách cần xác định mô hình truyền sóng, thể

hiện mối quan hệ giữa công suất truyền - nhận và khoảng cách truyền tín hiệu sóng vô tuyến trong môi trường truyền thẳng không vật cản đã được tác giả trình bày trong bài [13]. Kết quả của bài báo đã được công bố cho thấy sai số của hệ thống định vị sử dụng anten thông minh giảm so với việc sử dụng anten đa hướng truyền thống. Tác giả đã triển khai thực nghiệm và xác định sai số trung bình khi sử dụng anten đa hướng là 2,54 m. Khi thay thế anten đa hướng bằng anten thông minh để suất, sai số trung bình chỉ còn 1,67 m dựa trên thuật toán bình phương nhỏ nhất (LS-Least Squares) [14] và 1,64 m dựa trên thuật toán lặp tham lam (BGI-Bilateral Greed Iteration) [15].

(2) Với phương pháp giao góc tác giả đã thực nghiệm và đạt được sai số là 1,1 m [13].

(3) Với phương pháp dấu vân tay, luôn có ưu điểm về độ chính xác cao hơn so với hai phương pháp trên. Tuy nhiên, trong phương pháp này yêu cầu thêm giai đoạn đo, tạo cơ sở dữ liệu từ trước rất công phu và mất thời gian.

Trong giới hạn của bài báo này, chúng tôi trình bày phương pháp sử dụng dấu vân tay để xác định vị trí của nút cảm biến di động. Có nhiều thuật toán được sử dụng để ước lượng vị trí được áp dụng cho phương pháp này: (i) tiêu biểu cho hướng tiếp cận tiên định là thuật toán K láng giềng gần nhất (KNN - K Nearest Neighbors) [16], (ii) hướng tiếp cận thống

kê phải kể đến áp dụng phương pháp phân lớp của Naive Bayes [17] hoặc (iii) hướng sử dụng kỹ thuật mạng nơron nhân tạo/học sâu, học máy [18]. Trong bài báo, tác giả sử dụng thuật toán K láng giềng gần nhất có trọng số (WKNN-Weighted K Nearest Neighbor). Đây là phương pháp được sử dụng rộng rãi với khả năng cho độ chính xác cao hơn phương pháp KNN [18][19] và có ưu điểm là tính toán không quá phức tạp.

Phương pháp dấu vân tay được chia làm hai giai đoạn: giai đoạn ngoại tuyến (off-line) có chức năng thu thập, đào tạo hay huấn luyện cơ sở dữ liệu và giai đoạn trực tuyến (online) thực hiện nhiệm vụ tính toán ước lượng vị trí đối tượng.

a) Giai đoạn ngoại tuyến: Cơ sở dữ liệu trong giai đoạn ngoại tuyến được thu thập từ kết quả đo cường độ tín hiệu sóng vô tuyến (RSSI-Received Signal Strength Indicator) của 81 điểm chuẩn như minh họa trong hình 6a. Trong giai đoạn trực tuyến, tiến hành thử nghiệm với 10 điểm thử (các chấm tròn màu đỏ trên hình 6a), chúng được bố trí trên một đường chéo trong không gian định vị, để đảm bảo tính công bằng và khách quan cho việc thử nghiệm. Mật lưới có độ rộng 0,5 m hay giữa các điểm chuẩn cách nhau 0,5 m được sắp xếp theo cột từ 1 đến 9 và hàng từ A đến I. Tại mỗi điểm chuẩn tiến hành lấy 50 mẫu RSSI ứng với một búp sóng của mỗi *nút cố định*. Như vậy, mỗi *nút cố định* sẽ thu thập được $50 \text{ mẫu} \times 4 \text{ búp} = 200 \text{ mẫu } (R_{ij})$. Các dữ liệu thu thập đó

được truyền về *Nút chủ*, gửi lên máy tính chủ để tạo cơ sở dữ liệu.

b) Giai đoạn trực tuyến: Với tín hiệu RSS đo được từ đối tượng di động ứng với các búp sóng (r_j), sử dụng thuật toán định vị như minh họa trong hình 6b để từ đó ước lượng ra vị trí của đối tượng. Tham số liên quan đến vị trí đối tượng thường được xác định bởi các vector độ lệch hay còn gọi là khoảng cách. Khoảng cách ở đây được xác định là hiệu của tín RSS đo trong giai đoạn trực tuyến và RSS được thu thập từ các điểm chuẩn trong bộ cơ sở dữ liệu. Khoảng cách Euclidean là loại hay được sử dụng chúng được xác định như công thức (1), trong đó $L = 81$ là các điểm chuẩn; $N = 4$ là tổng số búp sóng ứng với một trạm. Trong K láng giềng gần nhất là những điểm chuẩn gần đối tượng (khoảng cách nhỏ), có những điểm xa đối tượng (khoảng cách lớn). Việc thêm trọng số cho các điểm gần đối tượng sẽ mang lại vị trí ước lượng có độ chính xác cao hơn, được gọi là phương pháp KNN có trọng số hay WKNN. Trọng số được xác định dựa trên khoảng cách tìm được từ (1) và được tính theo công thức (2). Như vậy, với D_i càng nhỏ thì trọng số ứng với điểm láng giềng đó càng lớn. Sau khi khảo sát thực tế với $K = 1$ đến $K = 10$; nhận thấy $K = 4$ đạt sai số nhỏ nhất nên bài toán đã chọn với $K = 4$.

Ứng với mỗi trạm, lựa chọn được 4 láng giềng gần nhất, tổng bài toán tìm được 12 láng giềng gần nhất ứng với 3 trạm của hệ thống. Từ đó xác định trọng số của từng

láng giếng gần nhất và ước lượng vị trí đối tượng di động theo tọa độ hai chiều xoy, được tính theo (3). Trong đó w_i là

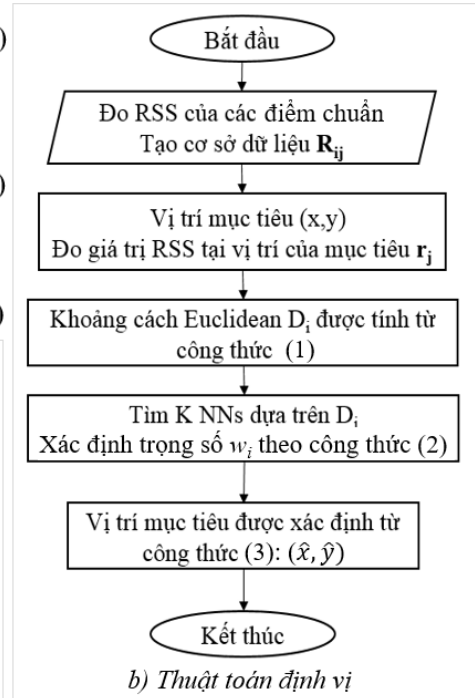
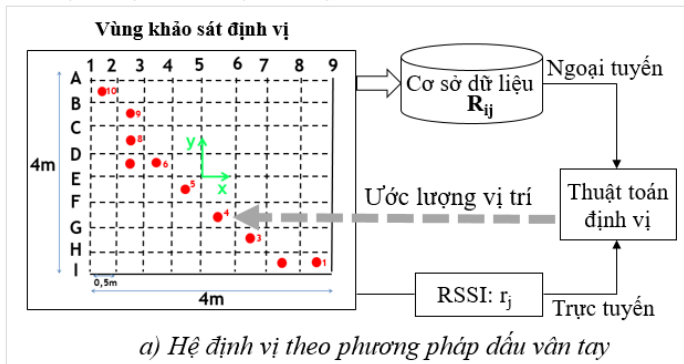
$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^N |r_j - R_{ij}|^2}; i = 1 \div L; j = 1 \div N \quad (1)$$

Với i là thứ tự các điểm chuẩn; j là thứ tự búp sóng

$$w_i = \frac{1/D_i}{\sum_{i=1}^K (1/D_i)}, i = 1, 2, 3 \dots K \quad (2)$$

Trong đó K là số láng giếng gần nhất

$$(\hat{x}, \hat{y}) = w_i \cdot (x_i, y_i) \quad (3)$$



Hình 6. Hệ định vị theo phương pháp DVT (a) và lưu đồ thuật toán K láng giếng gần nhất có trọng số (b)

Kết quả ước lượng đạt được sai số trung bình là 0,75 m; sai số nhỏ nhất là 0,11 m và sai số lớn nhất là 1,9 m. Cùng kích bản như trên, nếu sử dụng phương pháp giao góc có sai số trung bình là 1,1 m, nếu sử dụng phương pháp giao khoảng cách có sai số trung bình là 1,64 m. Như vậy, phương pháp dấu vân tay cho kết quả sai số định vị trung bình nhỏ nhất.

Hệ thống được đánh giá thông qua việc so sánh sai số hệ thống định vị đề xuất với các công bố khác có liên quan được thể hiện trong bảng 1. Trong quá trình so sánh, sẽ dựa trên phương pháp định vị, số

trọng số ứng với từng láng giếng gần nhất và (x_i, y_i) là tọa độ của các láng giếng gần nhất đó.

lượng trạm và không gian định vị để có được sự đánh giá khách quan. Đối với phương pháp định vị dấu vân tay còn phải dựa trên cơ sở dữ liệu mà đặc trưng là độ dày của lưới điểm chuẩn khảo sát. Do đó, chỉ số đánh giá được xác định thông qua tỷ số giữa sai số trung bình và vùng diện tích khảo sát (SSTB/A), nếu chỉ số càng nhỏ hệ thống càng đạt chất lượng tốt.

So với các công bố [20] tác giả nhận thấy rằng kết quả hệ thống định vị đề xuất hiệu quả hơn khi xét trên cùng phương pháp. Nghiên cứu [21] và [22] có ưu điểm cấu hình đơn giản vì hệ thống chỉ sử dụng duy

nhất một trạm. Tuy nhiên, vùng định vị sẽ không thể mở rộng hơn nên chỉ sử dụng trong các phòng hẹp. So với hệ thống định vị đề xuất và hai nghiên cứu trên có lưới điểm chuẩn như nhau đều là 0,5 m. Công bố [22] sử dụng SA bức xạ ngang về hai

phía, do đó trong hệ thống phải gắn thêm màn chắn từ phía sau, tránh gây hiện tượng đa đường như vậy cấu trúc phức tạp hơn. Công bố [21] sử dụng anten SA Hive5 búp sóng rộng, góc phân cực tròn hẹp nên sai số còn đạt ở mức cao.

Bảng 1. So sánh với các công bố có liên quan trên thế giới

Nghiên cứu	Tham số	Phương pháp	Thuật toán	Phần cứng		SSTB (m)	A (m ²)	SST B/A
				Số trạm	Anten			
[20]; 2011	RSS	DVT	MinMax	6	Đa hướng	1,22	32,26	0,037
[21]; 2013	RSS	DVT; Lưới 0,5m	ANN	1	SA (5 phần tử)	0,99	28	0,035
[22]; 2017	AoA	DVT; Lưới 0,5m	KNN	1	SA (10 phần tử)	0,85	14	0,061
Đề xuất	RSSI	DVT; Lưới 0,5m	WKNN	3	SA (4 phần tử)	0,75	32	0,023

SSTB: sai số trung bình; DVT: dấu vân tay; A: diện tích vùng định vị;

ANN: mạng nơron nhân tạo; WKNN: K láng giềng gần nhất có trọng số

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã trình bày anten thông minh có búp sóng hình dải quạt tại tần số 2,45 GHz. Dựa trên anten thông minh đề xuất, đã tiến hành thử nghiệm hệ định vị ba trạm dựa trên chuẩn IEEE 802.15.4. Bài báo đã sử dụng phương pháp dấu vân tay và thuật toán định vị K láng giềng gần nhất có trọng số. Sai số định vị trung bình đạt 0,75 m trên diện tích vùng định vị 32 m². Với cấu

hình ba trạm đề xuất, hệ thống định vị có thể dễ dàng mở rộng được vùng không gian định vị bằng cách dịch chuyển các trạm. Thật vậy, căn cứ vào hệ số tăng ích 9,8 dBi của SA, căn cứ vào RSSI khảo sát trong môi trường trong nhà, nền nhiễu nhỏ -80 dB, phương trình truyền sóng và dự trù khi đối tượng sử dụng anten mạch in có hệ số tăng ích thấp thì vùng định vị tối đa của hệ thống lên tới 173 m² ứng với công suất phát 18 dBm của nút cảm biến.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Han, H. Xu, T.Q. Duong, J. Jiang, and T. Hara, "Localization algorithms of Wireless Sensor Networks: a survey," *Telecommun. Syst.*, vol. 52, no. 4, pp. 2419–2436, Apr. 2013, doi: 10.1007/s11235-011-9564-7.
- [2] Y. Miao, H. Wu, and L. Zhang, "The Accurate Location Estimation of Sensor Node Using Received Signal Strength Measurements in Large-Scale Farmland," *J. Sens.*, vol. 2018, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1155/2018/2325863.

- [3] A. Booranawong, N. Jindapetch, and H. Saito, "A System for Detection and Tracking of Human Movements Using RSSI Signals," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 6, pp. 2531–2544, Mar. 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2795747.
- [4] M. Usman, M.R. Asghar, I.S. Ansari, F. Granelli, and K.A. Qaraqe, "Technologies and Solutions for Location-Based Services in Smart Cities: Past, Present, and Future," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 22240–22248, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2826041.
- [5] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, Nov. 2007, doi: 10.1109/TSMCC.2007.905750.
- [6] S.A. Zekavat and R.M. Buehrer, Eds., *Handbook of Position location: theory, practice and advances*. Hoboken, N.J: Wiley-IEEE Press, 2012.
- [7] A. Erdogan, V. Coskun, and A. Kavak, "The Sectoral Sweeper Scheme for Wireless Sensor Networks: Adaptive Antenna Array Based Sensor Node Management and Location Estimation," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 39, no. 4, pp. 415–433, Dec. 2006, doi: 10.1007/s11277-006-9058-1.
- [8] J.-R. Jiang, C.-M. Lin, F.-Y. Lin, and S.-T. Huang, "ALRD: AoA Localization with RSSI Differences of Directional Antennas for Wireless Sensor Networks," *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 9, no. 3, p. 529489, Mar. 2013, doi: 10.1155/2013/529489.
- [9] S. Maddio, M. Passafiume, A. Cidronali, and G. Manes, "A Distributed Positioning System Based on a Predictive Fingerprinting Method Enabling Sub-Metric Precision in IEEE 802.11 Networks," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 63, no. 12, pp. 4567–4580, Dec. 2015, doi: 10.1109/TMTT.2015.2496196.
- [10] P. Cherntanomwong and D. J. Suroso, "Indoor localization system using wireless sensor networks for stationary and moving target," in *Communications & Signal Processing*, Singapore, Dec. 2011, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICICS.2011.6173554.
- [11] B. Goold and H. Zhou, "Performance analysis of localization algorithms in a WSN-based monitoring system," in *10th International Conference on Signal Processing and Communication Systems*, Gold Coast, QLD, Australia, Dec. 2016, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICSPCS.2016.7843336.
- [12] Bùi Thị Duyên, "Thiết kế anten điều hướng cho hệ thống định vị trong nhà", *Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng*, vol. 22, no. 22, pp. 12–21, Apr. 2020.
- [13] B. Thị Duyên, L. Minh Thùy, N. Quốc Cường, N. Trì, "Định vị trong môi trường hẹp dựa trên mạng cảm biến không dây theo chuẩn IEEE 802.15.4," *J. Mil. Sci. Technol.*, vol. 2018, no. 56, pp. 126–133, Aug. 2018, [Online]. Available: <http://www.jmst.info/archives/cac-so-nam-2018/so55xuatbanthang06nam2018-1>.
- [14] W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*. Chichester, West Sussex, U.K. ; Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- [15] J. Yang, Y. Li, and W. Cheng, "An improved geometric algorithm for indoor localization," *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 14, no. 3, p. 155014771876737, Mar. 2018, doi: 10.1177/1550147718767376.
- [16] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," 2000, vol. 2, pp. 775–784, doi: 10.1109/INFCOM.2000.832252.

- [17] M.A. Youssef, A. Agrawala, and A. Udaya Shankar, "WLAN location determination via clustering and probability distributions," in *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003)*, Fort Worth, TX, USA, 2003, pp. 143–150, doi: 10.1109/PERCOM.2003.1192736.
- [18] A. Khalajmehrabadi, N. Gatsis, and D. Akopian, "Modern WLAN Fingerprinting Indoor Positioning Methods and Deployment Challenges," *ArXiv161005424 Cs*, Oct. 2016, Accessed: Feb. 26, 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1610.05424>.
- [19] Muhammad Al Amin Amali Mazlan, M.H. Md Khir, Naufal M. Saad, and S.C. Dass, "Wifi fingerprinting indoor positioning with multiple access points in a single base station using probabilistic method," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 6, pp. 1102–1113, 2017.
- [20] 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," *Adv. Eng. Inform.*, vol. 25, no. 2, pp. 355–363, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.aei.2010.09.003.
- [21] L. Brás, N. Borges Carvaloh, and P. Pinho, "Evaluation of a sectorised antenna in an indoor localisation system," *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 7, no. 8, pp. 679–685, Jun. 2013, doi: 10.1049/iet-map.2012.0309.
- [22] S. Wielandt *et al.*, "2.4 GHz single anchor node indoor localization system with angle of arrival fingerprinting," in *Wireless Days*, Porto, Portugal, Mar. 2017, pp. 152–154, doi: 10.1109/WD.2017.7918132

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Bùi Thị Duyên tốt nghiệp đại học chuyên ngành kỹ thuật đo và tin học công nghiệp năm 2004; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành tự động hóa năm 2007; bảo vệ luận án tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật điều khiển và tự động hóa tháng 01 năm 2020 tại Trường 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.

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

