

Nghiên cứu, thiết kế hệ thống giám sát thời gian thực xe nâng hàng trong nhà máy sử dụng công nghệ băng thông siêu rộng

Nguyễn Quốc Hưng¹, Nguyễn Văn Dũng², Trần Hùng Mạnh¹, Nguyễn Hoàng Long¹, Trần Hà³, Nguyễn Văn Đưa^{1*}

¹Trung tâm Công nghệ Vi điện tử và Tin học, Viện Ứng dụng Công nghệ, C6, phường Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Công ty TNHH Phần mềm FPT, 10 Phạm Văn Bạch, phường Dịch Vọng, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Trung tâm Ươm tạo Công nghệ và Doanh nghiệp Khoa học Công nghệ, Viện Ứng dụng Công nghệ, C6, phường Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/7/2024; ngày chuyển phân biên 1/8/2024; ngày nhận phân biên 20/8/2024; ngày chấp nhận đăng 24/8/2024

Tóm tắt:

Hệ thống định vị thời gian thực (real-time locating system - RTLS) được ứng dụng rộng rãi trong các nhà máy giúp xác định, theo dõi và giám sát thời gian thực vị trí không gian của các thực thể được gắn thẻ bên trong nhà máy. Bằng cách cung cấp dữ liệu thời gian thực, RTLS nâng cao quy trình ra quyết định, cho phép phản ứng nhanh hơn với các điều kiện thay đổi và cải thiện an toàn trong môi trường sản xuất. Bài báo trình bày về nghiên cứu và thiết kế hệ thống quản lý, theo dõi thời gian thực các phương tiện di chuyển tại kho hàng trong nhà máy sử dụng công nghệ băng thông siêu rộng ultra-wideband (UWB) độ chính xác cao. Trong nghiên cứu này, hệ phần cứng và phần mềm được nhóm nghiên cứu tiến hành thiết kế và xây dựng. Hệ thống phần cứng định vị bao gồm các bộ xử lý trung tâm (anchor) và các thẻ (tag) định vị được gắn trên vật cần giám sát. Phần mềm quản lý giám sát được xây dựng trên nền tảng web có chức năng giám sát thời gian thực vật thể di chuyển, hiển thị lịch sử, tần suất di chuyển và cảnh báo khi thiết bị đi vào vùng cấm. Kết quả thử nghiệm cho thấy, hệ thống hoạt động ổn định với diện tích vùng thử nghiệm là 400 m² (với 4 anchor) và 1.200 m² (với 8 anchor), sai số vị trí nhỏ hơn 50 cm.

Từ khóa: băng thông siêu rộng, hệ thống định vị thời gian thực, xe nâng hàng.

Chỉ số phân loại: 1.2, 2.2, 2.3

Research and design of a real-time forklift monitoring system in factories using ultra-wideband technology

Quoc Hung Nguyen¹, Van Dung Nguyen², Hung Manh Tran¹, Hoang Long Nguyen¹,
Ha Tran³, Van Dua Nguyen^{1*}

¹Center for Microelectronics and Information Technology, National Center for Technological Progress, C6, Thanh Xuan Bac Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

²FPT Software Company Limited, 10 Pham Van Bach Street, Dich Vong Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

³Nacentech Technology and Business Incubator Center, National Center for Technological Progress, C6, Thanh Xuan Bac Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

Received 26 July 2024; revised 20 August 2024; accepted 24 August 2024

Abstract:

Real-time locating system (RTLS) is widely used in factories to identify, track, and monitor the real-time spatial location of tagged entities within the factory premises. By providing real-time data, RTLS enhances decision-making processes, enabling faster responses to changing conditions and improving safety within the manufacturing environment. This article presents the research and design of an advanced system for managing and monitoring the real-time movement of vehicles within a factory's warehouse using ultra-wideband (UWB) technology, known for its high precision in positioning applications. In this study, the authors designed and built both hardware and software components. The hardware system comprises central processing units (acting as anchors) and positioning tags attached to the monitored items. The management software, built on a web platform, includes functions to monitor the real-time movement of objects, display history, track movement frequency, and issue alerts when devices enter restricted areas. Test results show that the system operates stably in a test area of 400 m² (with 4 anchors) and 1,200 m² (with 8 anchors), with a position error of less than 50 cm.

Keywords: forklift, real-time locating system, ultra-wideband.

Classification numbers: 1.2, 2.2, 2.3

*Tác giả liên hệ: Email: nguyenduabka@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, việc ứng dụng công nghệ vào quản lý tập trung và số hóa nhà máy công nghiệp đã và đang giúp nâng cao năng suất vượt trội với các đơn vị áp dụng. Trong đó, giải pháp công nghệ định vị thời gian thực RTLS (real-time locating system) được ứng dụng rộng rãi vì những hiệu quả mang lại như: cập nhật thông tin một cách trực tiếp và nhất quán, nâng cao công tác quản lý nhà máy, đặc biệt ở các khâu sản xuất và lưu kho bãi nhờ việc theo dõi thời gian thực các đối tượng trong một phạm vi nhất định, từ đó có được thông tin chính xác về vị trí và tình trạng của đối tượng cần theo dõi, phát hiện ra các điểm nghẽn trong quy trình sản xuất để kịp thời cải tiến. Theo thống kê, chi phí bốc dỡ hàng hóa trong kho lớn dành cho xe nâng chiếm đến hơn 55% tổng chi phí vận hành của toàn bộ nhà kho [1, 2]. Đặc biệt trong những nhà kho cỡ vừa và lớn (diện tích trên 3000 m²), ngoài việc theo dõi và quản lý được số lượng nhập và xuất kho, việc tìm kiếm chính xác vị trí hàng hóa cần bốc dỡ, tránh sai sót trong quá trình xuất nhập cũng được quan tâm đặc biệt.

Trong việc quản lý kho hàng tại nhà máy hiện nay, công nghệ RTLS được dùng để quản lý vào/ra, di chuyển của một đối tượng (ví dụ như xe nâng, xe tự hành, người lao động) trong một không gian xác định. Các thông tin được định danh với đối tượng đó khi được phát hiện vào vùng hoạt động của thiết bị RTLS sẽ được cập nhật lên hệ thống quản lý tập trung. Việc giám sát đối tượng di chuyển trong kho hàng của nhà máy (như xe nâng, xe tự hành...) là vấn đề quan trọng giúp nâng cao hiệu quả giám sát, giảm tiêu hao và nâng cao hiệu suất lao động [1].

Hiện nay, một số công nghệ xác định vị trí chính xác trong nhà đã được áp dụng, như công nghệ định vị dựa vào cường độ sóng (received signal strength indicator - RSSI) bằng cách ứng dụng sóng Wi-Fi, sóng Bluetooth,... Phương pháp này sử dụng hệ thống định vị dựa trên Wi-Fi xác định vị trí của các thiết bị có Wi-Fi được kích hoạt (ví dụ: điện thoại thông minh, máy tính bảng) và thẻ Wi-Fi. Độ chính xác khi sử dụng công nghệ RSSI để định vị chỉ đạt $\pm 3-5$ m trong điều kiện lý tưởng trong nhà [3]. Độ chính xác định vị có thể đạt được phụ thuộc vào các điều kiện như phản xạ trong hành lang và sự che chắn của tín hiệu từ các bức tường hoặc cơ thể của chính người dùng. Do đó, công nghệ này không phù hợp để áp dụng tạo ra một hệ RTLS đòi hỏi độ chính xác cao và chống nhiễu tốt. Bên cạnh các phương pháp đã nêu, hệ thống định vị trong nhà cricket cũng được nhiều nhóm quan tâm nghiên cứu [4-6]. Cricket là một dịch vụ hỗ trợ định vị kết hợp giữa sóng RF và sóng siêu âm. Hệ thống cricket đo khoảng cách giữa thiết bị phát tín hiệu không dây, cố định (beacon) và thiết bị nhận tín hiệu (listener) dựa trên kỹ thuật đo thời gian chênh lệch của tín hiệu đến (TDOA - time difference of arrival) giữa tín hiệu radio (RF) và tín hiệu siêu âm và tính toán tọa độ của đối tượng. Với phương pháp này, hệ thống này có thể đạt được độ chính xác định vị nhỏ hơn 10 cm. Tuy nhiên, hệ thống cricket có hạn chế hơn về khả năng mở rộng hệ thống so với công nghệ định vị sử dụng UWB.

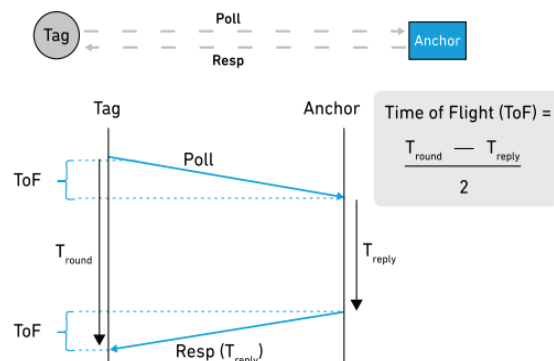
Việc ứng dụng UWB trong định vị, giám sát xe nâng hàng hoặc xe tự hành (AGV - automated guided vehicle) trong nhà máy có nhiều ưu điểm như: tốc độ truyền dẫn cao, tiêu thụ năng lượng thấp và khả năng miễn nhiễm đa đường cao [7]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra việc ứng dụng công nghệ định vị UWB trong giám sát xe nâng, AGV có thể giúp giám sát thời gian thực thiết bị và giúp đảm bảo an toàn trong nhà máy sản xuất [2, 8]. Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu tập trung vào thiết kế, chế tạo hệ thống bao gồm phần mềm và phần cứng thiết bị định vị sử dụng công nghệ băng thông rộng UWB và phương pháp định vị TWR (two way ranging). Hệ thống được tiến hành thử nghiệm và đánh giá độ ổn định, độ chính xác trong điều kiện môi trường không có vật cản và trong môi trường nhà máy.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp định vị TWR

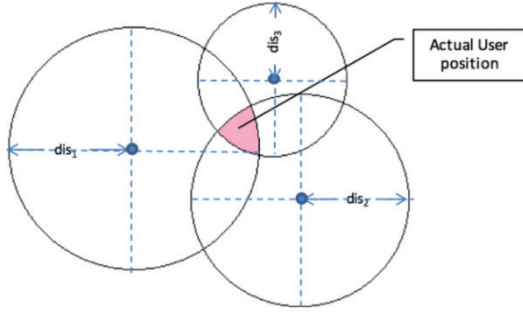
Trong các phương pháp định vị hiện nay, có bốn phương pháp thường được sử dụng là PDOA (phase difference of arrival), TDOA (time difference of arrival), TWR (two way ranging) và RSS (received signal strength). Trong đó, phương pháp PDOA và TDOA cho ra vị trí chính xác và ổn định hơn phương pháp TWR. Tuy nhiên, để thực hiện hai phương pháp trên cần có phần cứng tốt hơn và đảm bảo đồng bộ chính xác thời gian ở các thiết bị. Bên cạnh đó, việc tính toán và xử lý sẽ phức tạp hơn. Vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu lựa chọn phương pháp định vị TWR và sử dụng bộ lọc Kalman để xử lý dữ liệu.

Phương pháp TWR sử dụng thời gian truyền sóng của một tín hiệu giữa hai thiết bị thẻ (tag) và thiết bị mỏ neo (anchor), nguyên lý hoạt động được thể hiện ở hình 1. Quá trình giao tiếp được chia ra làm hai phần: (1) Tag thực hiện gửi một bản tin truy vấn (poll) đến một hoặc nhiều anchor; (2) Anchor sau khi nhận được bản tin poll sẽ phản hồi lại bản tin (bản tin resp) cho tag. Các mốc thời gian khi bắt đầu truyền và nhận các bản tin sẽ được lưu lại để tính được thời gian bay của bản tin, sau đó nhân với tốc độ của ánh sáng để thu được khoảng cách giữa hai thiết bị: $d = ToF \times c$. Trong đó, d là khoảng cách; ToF là thời gian truyền dữ liệu tín hiệu từ tag đến anchor; c là tốc độ ánh sáng.



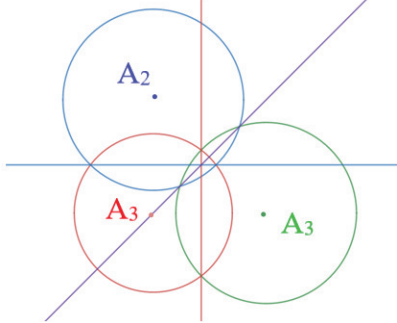
Hình 1. Minh họa hoạt động của TWR [9].

Phương pháp này chỉ yêu cầu các thiết bị xác định được thời gian truyền nhận tín hiệu chính xác, không yêu cầu các thiết bị cần đồng bộ thời gian với nhau. Khi biết được ít nhất ba khoảng cách tới ba anchor khác nhau, tag có thể tính được tọa độ của nó bằng phương pháp trilateration (hình 2).



Hình 2. Phương pháp trilateration.

Trong trường hợp lý tưởng, khoảng cách đo được chính xác giao điểm của ba đường tròn chính là vị trí cần tìm. Còn trong trường hợp có sai số, ba đường tròn sẽ không cắt nhau tại cùng một điểm mà cắt nhau từng đôi một. Lúc này, vị trí của vật nằm trong vùng giao nhau giữa ba đường tròn. Để chọn được tọa độ trong vùng này ta sẽ tiến hành biến đổi hệ phương trình đường tròn sang hệ phương trình đường thẳng (hình 3). Kết quả của hệ phương trình sẽ là tọa độ cần tính.



Hình 3. Minh họa tính toán của phương pháp trilateration.

Giả sử vị trí của ba mốc đặt cùng độ cao có tọa độ lần lượt là $A_1(x_1, y_1, z_0)$, $A_2(x_2, y_2, z_0)$, $A_3(x_3, y_3, z_0)$. Khoảng cách từ đối tượng đến ba mốc lần lượt là r_1, r_2, r_3 . Từ đó thu được hệ phương trình:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_0)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_0)^2 = r_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_0)^2 = r_3^2 \end{cases} \quad (1)$$

Khai triển hệ phương trình (1) ta thu được phương trình đường thẳng là giao điểm của các đường tròn:

$$\begin{cases} 2x(x_1 - x_2) + 2y(y_1 - y_2) = r_2^2 - r_1^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2 \\ 2x(x_1 - x_3) + 2y(y_1 - y_3) = r_3^2 - r_1^2 - x_1^2 + x_3^2 - y_1^2 + y_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

Giải hệ phương trình (2) bằng phương pháp Cramer ta được phương trình (3):

$$\begin{cases} Ax + By = C \\ Dx + Ey = F \end{cases} \quad (3)$$

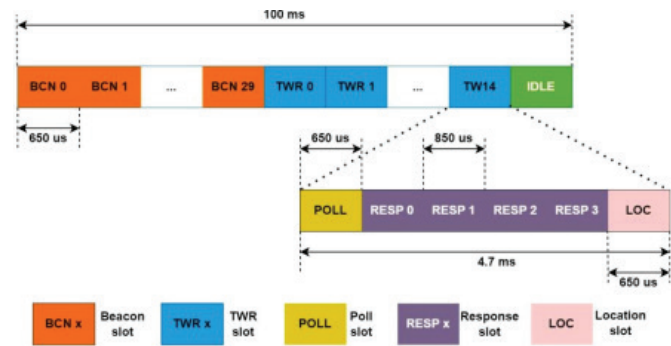
Như vậy tọa độ của đối tượng là:

$$\begin{cases} x = \frac{CE - FB}{EA - BD} \\ y = \frac{CD - AF}{BD - AE} \end{cases} \quad (4)$$

2.2. Phương pháp đa truy cập người dùng (time division multiple access - TDMA)

Hệ thống được thiết kế với nhiều tag và anchor truyền nhận dữ liệu bằng phương pháp TWR. Do đó, tại mỗi thời điểm, mỗi tag sẽ chủ động gửi các gói tin request đến anchor cụ thể, thu thập các tín hiệu phản hồi về từ các anchor đó và gửi đến hệ thống server để tính toán vị trí. Do các tag và anchor cùng hoạt động trên một dải tần số giống nhau, nên để hoạt động đồng thời, tránh xung đột đường truyền dẫn đến lỗi gói tin, gây nhiễu và giảm độ chính xác, nhóm nghiên cứu đã tiến hành giải quyết vấn đề trên bằng cách sử dụng phương pháp TDMA. TDMA sử dụng trong thiết kế này nhằm chia sẻ tài nguyên thời gian trên cùng một kênh truyền, điều phối hoạt động của từng thiết bị theo từng khoảng thời gian quy định. Từ đó, tại mỗi thời điểm chỉ có một thiết bị được phép truyền/nhận dữ liệu. Giúp khắc phục hoàn toàn vấn đề xung đột đường truyền, giúp hệ thống có thể mở rộng khả năng hoạt động đồng thời nhiều thiết bị.

Phương pháp này quy định tất cả các thiết bị trong mạng phải hoạt động theo một khung truyền chính (superframe - SF) được giữ nhịp bởi một thiết bị anchor chính (hình 4). Các khung SF này được chia thành các khe thời gian nhỏ (slot) và mỗi slot được quy định chức năng, độ dài cụ thể và được các thiết bị đăng ký. Các thiết bị sau khi đã đăng ký slot mới được phép truyền/nhận gói tin trong mạng. Trong đó, khoảng thời gian các anchor được phép truyền/nhận các gói tin để đồng bộ thời gian với anchor chính được gọi là beacon slot (BCN slot), khoảng thời gian các tag được phép truyền/nhận các gói tin TWR với các anchor được gọi là TWR slot.

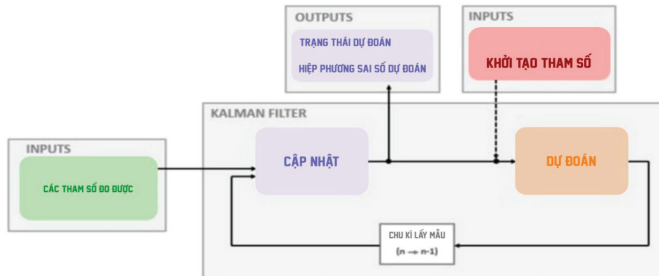


Hình 4. Cấu trúc khung truyền chính của hệ thống.

Trong thiết kế này, các khung SF được giữ một độ dài cố định, căn cứ theo tần số cập nhật của hệ thống, thông thường là 100 ms với tần số cập nhật là 10 Hz. Giả sử độ dài thời gian tối thiểu của 1 BCN slot và TWR slot lần lượt là T_{BCN} (ms) và T_{TWR} (ms), số lượng tag và anchor lần lượt là N_{tag} và N_{anchor} , ta có thể tính được tần số (F) cập nhật của hệ thống theo phương trình:

$$F = \frac{1000}{N_{Anchor} \times T_{BCN} + N_{Tag} \times T_{TWR}} \quad (5)$$

2.3. Bộ lọc Kalman



Hình 5. Sơ đồ khối của bộ lọc Kalman [10].

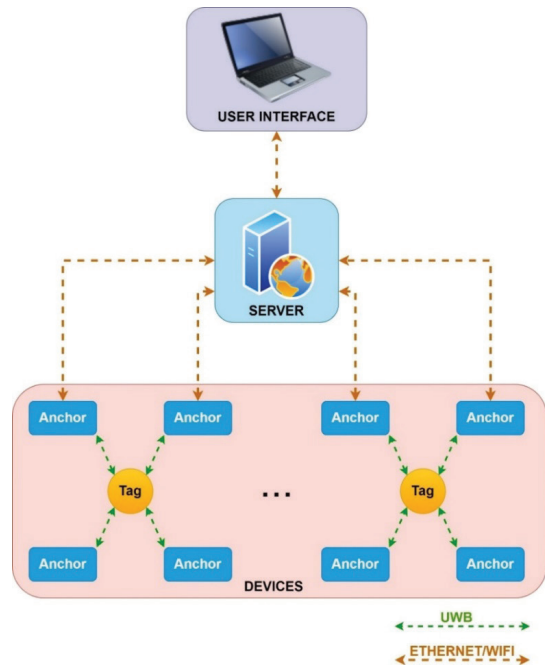
Thông thường, dữ liệu tính toán vị trí của tag không ổn định do ảnh hưởng của nhiễu và vật cản. Do đó, bộ lọc Kalman đơn giản được sử dụng để xử lý lại tọa độ của tag, nhằm nâng cao độ chính xác và ổn định của kết quả đo. Cấu trúc của bộ lọc Kalman đơn giản được mô tả trong hình 5.

Nguyên lý hoạt động của bộ lọc Kalman đơn giản [10] được thể hiện thông qua ba quá trình chính. Quá trình khởi tạo bộ lọc được thiết lập một lần duy nhất khi bắt đầu sử dụng, với việc thiết lập các giá trị ban đầu cho các biến trạng thái và ma trận hiệp phương sai. Tiếp theo, trong giai đoạn dự đoán, bộ lọc dựa trên trạng thái hiện tại và mô hình chuyển động để dự đoán trạng thái tiếp theo, đồng thời cập nhật ma trận hiệp phương sai dựa trên thông tin hiện tại và của quá trình chuyển đổi. Cuối cùng, trong quá trình cập nhật, bộ lọc tích hợp dữ liệu đo thực tế với các dự đoán trước đó để cải thiện ước lượng trạng thái. Độ lợi Kalman được tính toán, sử dụng để điều chỉnh ước lượng trạng thái và cập nhật ma trận hiệp phương sai nhằm tăng độ chính xác và ổn định của kết quả đo lường.

Trong thiết kế này, bộ lọc Kalman được sử dụng nhằm ổn định giá trị tính toán vị trí của tag thông qua phép tính trilateration của phương pháp TWR. Các tính toán vị trí bằng trilateration và bộ lọc Kalman đơn giản được chạy trên Server của hệ thống.

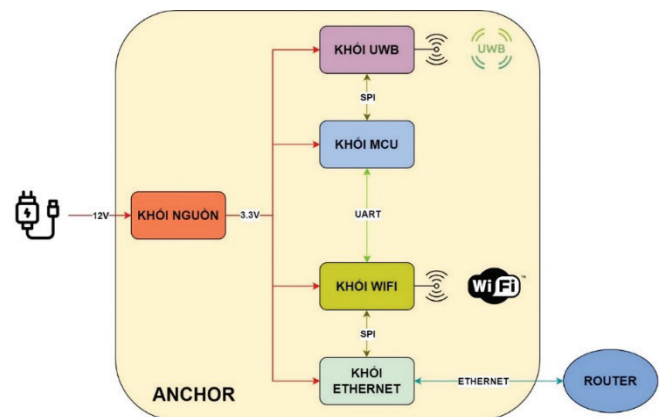
2.4. Thiết kế hệ thống

Mô hình hoạt động của hệ thống (hình 6) gồm hệ thiết bị phần cứng (bao gồm anchor và tag) và phần mềm quản lý giám sát. Trong đó, tag được gắn trên đối tượng hoặc người cần được theo dõi vị trí. Thiết bị định vị giao tiếp với anchor và tính toán vị trí của chúng dựa trên thời gian truyền nhận dữ liệu của tín hiệu. anchor là các thiết bị cố định trong không gian, được đặt ở vị trí đã biết trước và được sử dụng giao tiếp với tag xung quanh. Các anchor được đặt sao cho vùng phủ sóng UWB chồng lấn, đủ để có thể xác định vị trí của thiết bị định vị và hạn chế ảnh hưởng của vật cản nhất có thể. Dữ liệu từ các tag và anchor được gửi đến hệ thống xử lý và phân tích để tính toán vị trí thời gian thực. Kết quả có thể được hiển thị trên giao diện người dùng, bản đồ hoặc tích hợp với các hệ thống khác.



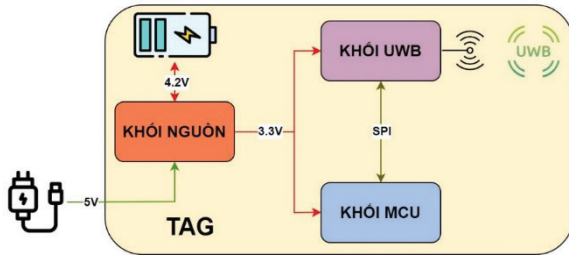
Hình 6. Mô hình hoạt động hệ thống sử dụng công nghệ UWB.

Hình 7 thể hiện sơ đồ khối của thiết bị anchor. Trong thiết kế này, mô đun DWM1000 sử dụng chip DW1000 của Qorvo được lựa chọn để sử dụng cho việc truyền nhận tín hiệu UWB. DWM1000 hỗ trợ hai phương pháp định vị là TWR và TDOA cho độ chính xác lên đến 10 cm. Module hỗ trợ 4 kênh truyền từ 3.5 GHz đến 6.5 GHz và giao tiếp với khối xử lý trung tâm qua giao thức SPI. Vi xử lý STM32F407VET6 được lựa chọn sử dụng để phục vụ tính toán, xử lý dữ liệu từ module DWM1000 trả về. Bên cạnh đó, thiết bị anchor có sử dụng đồng thời kết nối Wifi và Ethernet cho việc truyền nhận dữ liệu lên Server. Nguồn điện cung cấp cho thiết bị là nguồn một chiều 12 V.



Hình 7. Sơ đồ khối thiết bị anchor.

Hình 8 thể hiện sơ đồ khối của thiết bị tag. Trong thiết kế này, khối UWB sử dụng module DWM1000, vi xử lý trung tâm STM32F407VET6 được lựa chọn là khối xử lý trung tâm (MCU) cho thiết bị tag. Thiết bị tag sử dụng nguồn pin có chức năng sạc xả tích hợp trên mạch.

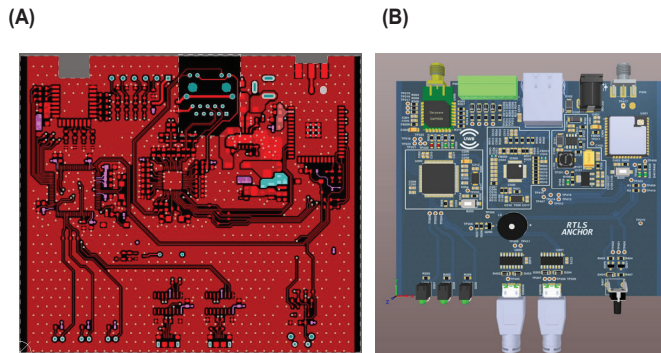


Hình 8. Sơ đồ khối thiết bị tag.

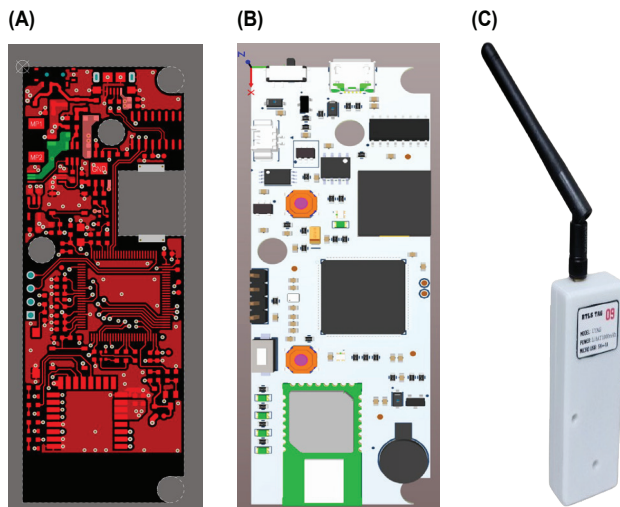
Trong hệ thống này, phần mềm quản lý và giám sát được thiết kế trên nền tảng WEB APP và sử dụng giao thức message queuing telemetry transport (MQTT) làm giao thức truyền nhận dữ liệu từ anchor về server. Phần mềm có các chức năng hiển thị bản đồ nhà máy, vị trí lắp đặt của các anchor; hiển thị vị trí thời gian thực các tag; hiển thị lịch sử quãng đường di chuyển của tag trên bản đồ.

3. Kết quả và bàn luận

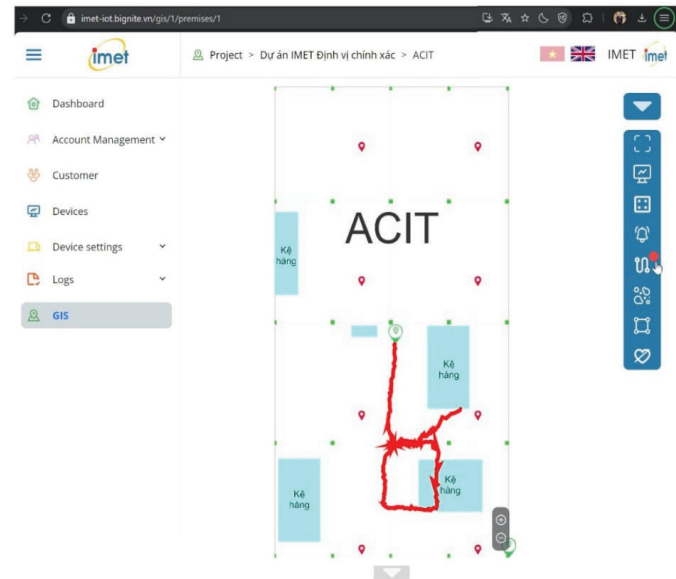
Hình 9 và 10 thể hiện bản vẽ mạch in, bản vẽ thiết kế 3D và thiết bị anchor, tag được nhóm thiết kế và chế tạo. Hình 11 thể hiện giao diện phần mềm theo dõi, giám sát và quản lý tại trung tâm.



Hình 9. Hình ảnh mạch in (A), thiết kế 3D (B).



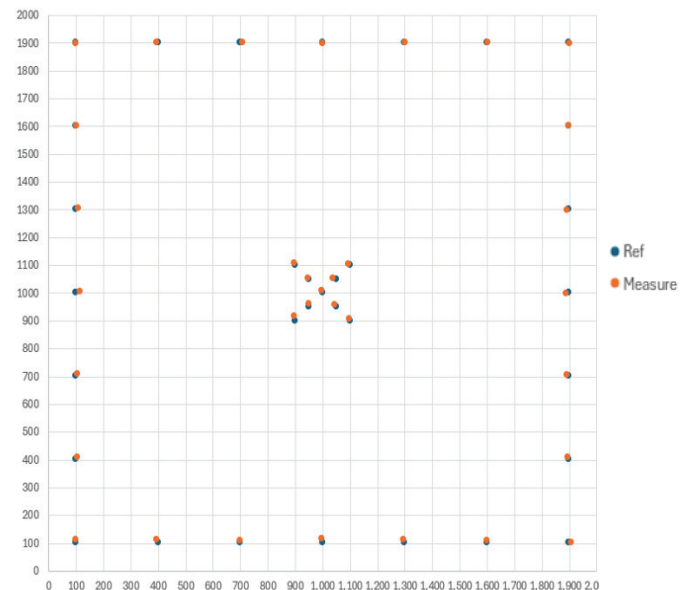
Hình 10. Hình ảnh mạch in (A), thiết kế 3D (B), thiết bị tag (C).



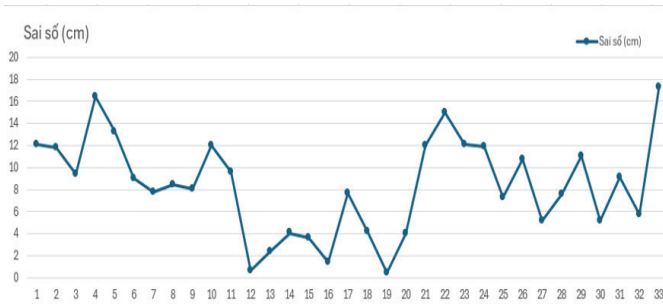
Hình 11. Giao diện phần mềm theo dõi, giám sát và quản lý.

3.1. Thử nghiệm 1: Thử nghiệm đánh giá sai số của thiết bị tag ở trạng thái tĩnh, trong môi trường không vật cản

Trong thử nghiệm này, nhóm tiến hành lắp đặt 4 anchor tại 4 góc của hình vuông có kích thước 20x20 m, cách mặt đất 1,5 m. Các thiết bị tag sau đó được di chuyển đến các điểm đo tĩnh theo các đường hình vuông kích thước 19x19 m, đồng tâm với hình vuông đặt 4 anchor, mỗi điểm cách nhau 3 m. Thực hiện tiến hành đo 05 lần cho các điểm đo và ghi nhận kết quả trả về từ phần mềm. Hình 12 và 13 thể hiện kết quả trả về giữa giá trị đo được và giá trị thực. Kết quả thử nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất của vị trí đo thiết bị trả về với vị trí thực tế không vượt quá 20 cm.



Hình 12. Kết quả hình vẽ thể hiện tương quan giữa giá trị vị trí tag trả về (chấm màu đỏ) và vị trí thực tế (chấm màu xanh).

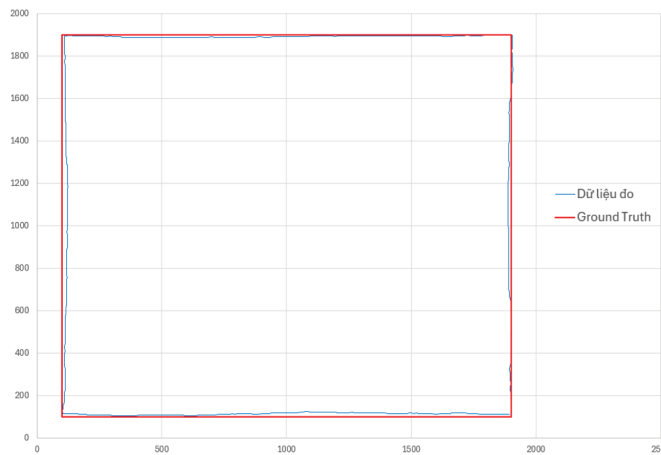


Hình 13. Đồ thị đánh giá sai số vị trí giữa thiết bị trả về và vị trí thực tế.

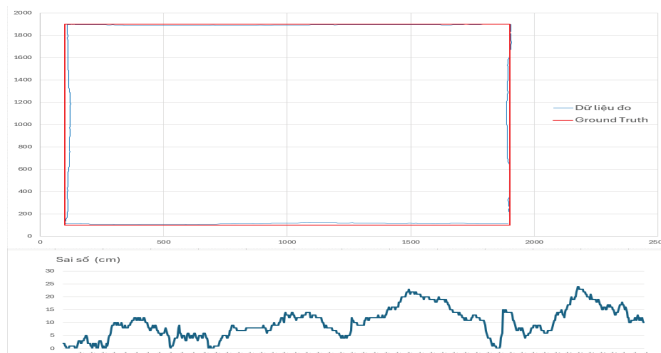
3.2. Thử nghiệm 2: Thử nghiệm đánh giá sai số của thiết bị tag ở trạng thái di chuyển, trong môi trường không vật cản

Trong thử nghiệm này, nhóm tiến hành đánh giá sai số của thiết bị khi di chuyển. Tiến hành lắp đặt 4 anchor tại 4 góc của hình vuông có kích thước 20x20 m và cách mặt đất 1,5 m. Thiết bị tag được di chuyển theo đường kẻ sẵn là các cạnh hình vuông kích thước 19x19 m, đồng tâm với hình vuông đặt 4 anchor. Giá trị thời gian thực dữ liệu trả về được nhóm ghi nhận và tiến hành đánh giá sai số của hệ thống.

Hình 14 và 15 thể hiện kết quả và sai số giữa thiết bị trả về và giá trị tham chiếu. Kết quả cho thấy, khi tag di chuyển theo đường tham chiếu cố định, thiết bị trả về có sai số không quá 25 cm.



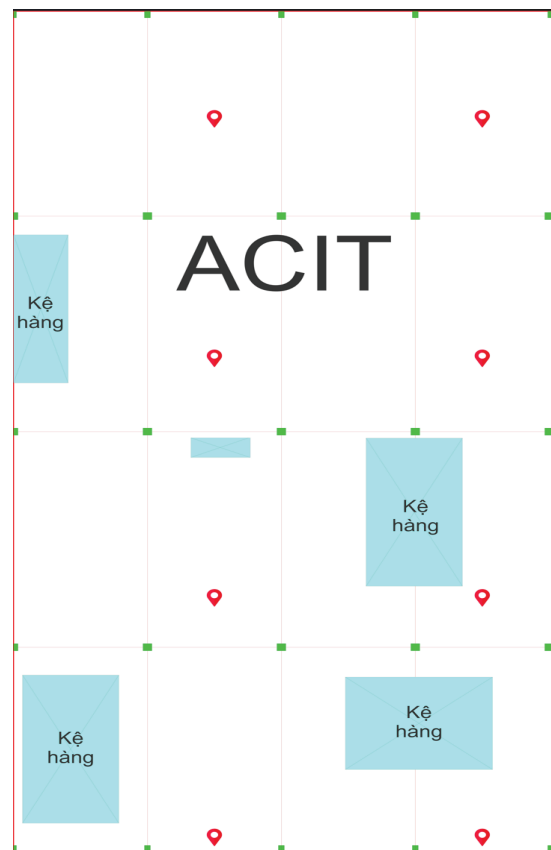
Hình 14. Kết quả hình vẽ thể hiện tương quan giữa giá trị trả về từ thiết bị tag (đường màu xanh) và đường tham chiếu (đường màu đỏ).



Hình 15. Sai số vị trí khi thiết bị tag di chuyển.

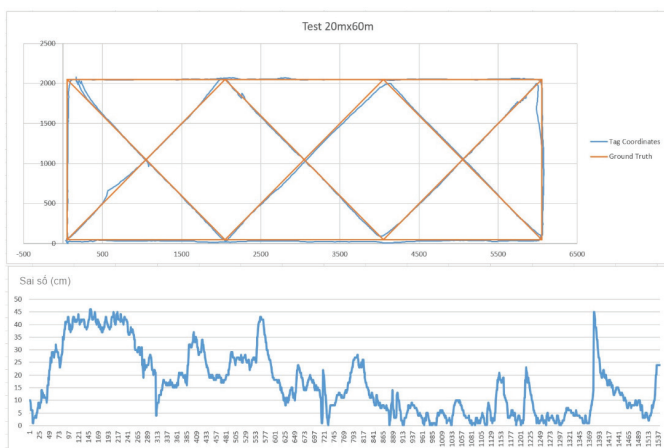
3.3. Thử nghiệm 3: Tiến hành thử nghiệm đánh giá hoạt động hệ thống trong môi trường nhà kho

Nhóm nghiên cứu tiến hành thử nghiệm hệ thống tại nhà kho T3, Công ty Cổ phần Kỹ thuật Công nghiệp Á Châu (AICT) tại Lô CN1-11B-3, khu CNC1, Khu Công nghệ cao Hòa Lạc, huyện Thạch Thất, TP Hà Nội. Vị trí lắp đặt 8 anchor được lắp đặt như trên hình 16. Các anchor được đặt cách nhau lần lượt 20 m, phạm vi định vị là 20x60 m. Chiều cao anchor là 5 m. Thiết bị tag được gắn trên cột cao 1,5 m và di chuyển theo đường biên đã định sẵn trên sàn. Đối với thử nghiệm xe nâng hàng, thiết bị tag được gắn trên nóc xe nâng hàng và di chuyển trong nhà máy với tốc độ nhỏ hơn 5 km/h. Kết quả vị trí được thể hiện trên phần mềm quản lý.

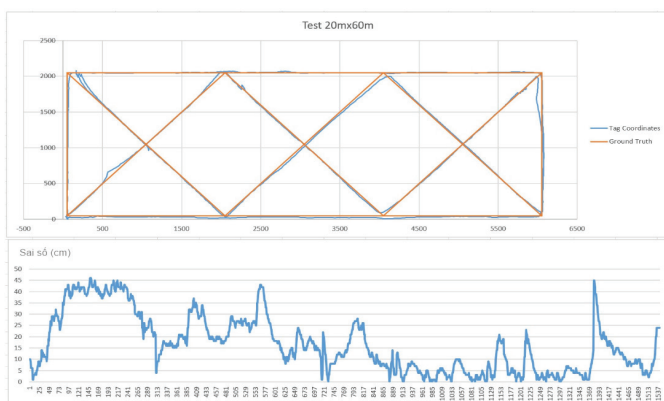


Hình 16. Bản đồ mặt bằng nhà kho T3.

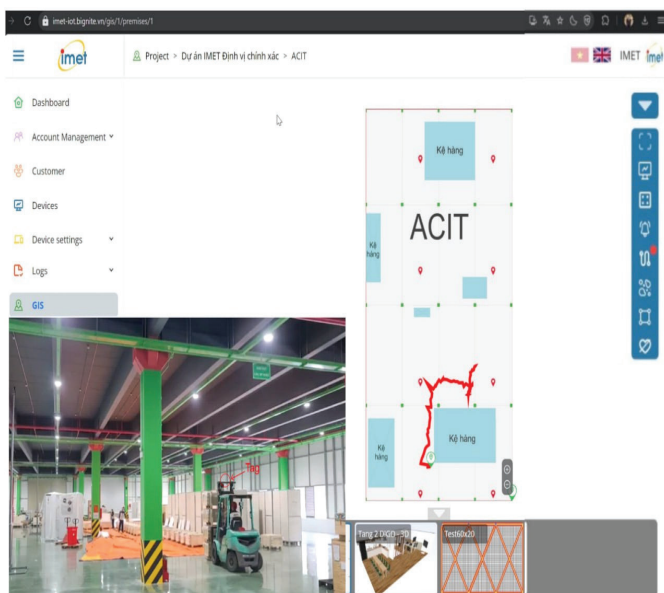
Nhận xét: kết quả thử nghiệm khi di chuyển tag theo đường tham chiếu màu cam (hình 17) và đồ thị sai số giữa thiết bị trả về với đường tham chiếu (hình 18) cho thấy trong môi trường nhà xưởng, có vật cản và không gian rộng thì sai số vị trí lớn nhất đạt 45 cm. Khi tiến hành lắp đặt lên xe nâng di chuyển với tốc độ nhỏ hơn 5 km/h, theo dõi trên phần mềm, hệ thống hoạt động ổn định (hình 19). Trong một số trường hợp, với các kệ hàng cao trên 1,5 m, che chắn tầm nhìn giữa tag và anchor thì kết quả trả về vị trí chậm và có sai lệch nhiều so với vị trí thực tế.



Hình 17. Hình ảnh tương quan giữa kết quả định vị trả về (đường màu xanh) với đường thử nghiệm tham chiếu (màu cam).



Hình 18. Sai số giữa giá trị thiết bị trả về so với đường thử nghiệm tham chiếu.



Hình 19. Lắp đặt vị trí tag lên xe nâng và theo dõi di chuyển trên phần mềm.

4. Kết luận

Bài báo trình bày về nghiên cứu, thiết kế hệ thống định vị thời gian thực cho xe nâng hàng sử dụng công nghệ định vị UWB. Hệ thống được thử nghiệm trong môi trường không có vật cản và trong môi trường nhà máy cho kết quả hệ thống hoạt động ổn định, diện tích bao phủ đạt đến 400 m² (với 4 anchor) và 1.200 m² (với 8 anchor). Sai số vị trí thử nghiệm nhỏ hơn 50 cm. Kết quả thử nghiệm cho thấy, hệ thống hoàn toàn đáp ứng để ứng dụng vào quản lý xe nâng trong nhà máy, giúp hỗ trợ tốt hơn công tác quản lý, vận hành xe nâng. Trong thời gian tới, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục phát triển các thuật toán xử lý trong trường hợp có vật cản và nghiên cứu sử dụng phương pháp định vị TDOA để nâng cao độ chính xác, kéo dài thời gian hoạt động cho thiết bị tag.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài cấp Bộ Khoa học và Công nghệ: “Nghiên cứu, ứng dụng công nghệ băng thông siêu rộng (ultra-wideband - UWB) độ chính xác cao trong quản lý theo dõi giám sát thời gian thực các phương tiện di chuyển tại kho hàng trong nhà máy” theo Hợp đồng số 12/2023/HĐ-ĐTCB ngày 20/02/2023. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Bottani, R. Montanari, M. Rinaldi, et al. (2015), *Intelligent Techniques in Engineering Management: Theory and Applications*, Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp.645-667, DOI: 10.1007/978-3-319-17906-3.
- [2] A. Motroni, A. Buffi, A. Nepa (2021), “Forklift tracking: Industry 4.0 implementation in large-scale warehouses through UWB sensor fusion”, *Appl. Sci.*, **11**(22), DOI: 10.3390/app112210607.
- [3] G. Oguntala, R.A. Alhameed, S. Jones, et al. (2018), “Indoor location identification technologies for real-time IoT-based applications: An inclusive survey”, *Comput. Sci. Rev.*, **30**, pp.55-79, DOI: 10.1016/j.cosrev.2018.09.001.
- [4] Z. Zou, Z. Wang, H. Xie, et al. (2018), “Indoor vehicle navigation by cricket location system with position estimation”, *IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)*, pp.1-6, DOI: 10.1109/RFID-TA.2018.8552769.
- [5] N.B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, et al. (2020), “The cricket location-support system”, *Proceedings of The 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, **6**(11), pp.32-43, DOI: 10.1145/345910.345917.
- [6] A.L. Crețu-Sîrcu, H. Schiøler, J.P. Cederholm, et al. (2022), “Evaluation and comparison of ultrasonic and UWB technology for Indoor localization in an industrial environment”, *Sensors*, **22**(8), DOI: 10.3390/s22082927.
- [7] L. Zhao, E.T. Psota, L.C. Perez (2014), “A comparison between UWB and TDOA systems for smart space localization”, *IEEE Int. Conf. Electro. Inf. Technol.*, pp.79-83, DOI: 10.3390/s22082927.
- [8] L.Z. Cadenas, I. Velez, J.E. Sierra-Garcia (2021), “UWB-based safety system for autonomous guided vehicles without hardware on the Infrastructure”, *IEEE Access*, pp.96430-96443, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3094279.
- [9] Qorvo (2024), “Ultra-wideband case study: Shedding more light on UWB”, <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/ultra-wideband-case-study-shedding-more-light-on-uw-b>, accessed 24 June 2024.
- [10] K. Filter (2024), *Kalman Filter in One Dimension*, <https://www.kalmanfilter.net/kalman1d.html>, accessed 24 June 2024.