

DESIGNING AN INDOOR POSITIONING SYSTEM USING ULTRA-WIDE BAND

Tran Xuan Trong*, Bui Van Tung, Tran Van Dung

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	30/5/2022	Today, modern autonomous vehicles cannot function fully without a positioning system. In many cases, some vehicles even require their own positioning system to ensure their accuracy and stability in movement. In this paper, the authors present the design of an indoor positioning system (IPS) using Ultra-Wide Band combined with Triangulation method. The system consists of 3 Anchor nodes used as waypoints and 1 Tag node attached to the object. Through the distance from the Tag node to different waypoints, IPS figures out the position of the object in real time. After the design, the system was tested by experimental methods combined with specialized software. The results indicate that the positioning system has located the object with an error of less than 10 cm. This error is much smaller than that of the Global Positioning System (GPS). With the design parameters achieved, the positioning system is suitable for application in the navigation system for Robots and autonomous vehicles.
Revised:	29/7/2022	
Published:	01/8/2022	
KEYWORDS		
Triangulation		
Indoor Positioning		
UWB		
Design		
Accuracy		

THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ SỬ DỤNG SÓNG SIÊU CAO TẦN BĂNG THÔNG RỘNG

Trần Xuân Trọng*, Bùi Văn Tùng, Trần Văn Dũng

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	30/5/2022	Ngày nay, các phương tiện tự hành không thể thực hiện đầy đủ chức năng nếu chúng thiếu hệ thống định vị. Trong nhiều trường hợp, một số phương tiện đòi hỏi phải có hệ thống định vị riêng để đảm bảo độ chính xác và tính ổn định khi vận hành. Trong bài báo này, nhóm tác giả đưa ra thiết kế của hệ thống định vị trong nhà IPS (Indoor Positioning System) sử dụng sóng siêu cao tần băng thông rộng kết hợp với phép đo ba cạnh. Hệ thống gồm 3 nút Anchor được dùng làm các điểm mốc và 1 nút Tag được gắn trên đối tượng cần định vị. Thông qua khoảng cách từ nút Tag đến 3 điểm mốc, IPS xác định được vị trí của đối tượng theo thời gian thực. Sau thiết kế, hệ thống được đánh giá bằng phương pháp thực nghiệm kết hợp với phần mềm chuyên dụng. Kết quả cho thấy hệ thống định vị đã xác định được đối tượng với sai lệch dưới 10 cm. Sai số này có giá trị nhỏ hơn nhiều so với sai số của hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System). Với các thông số thiết kế đạt được, hệ thống định vị phù hợp để ứng dụng vào hệ thống dẫn đường cho Robot và xe tự hành.
Ngày hoàn thiện:	29/7/2022	
Ngày đăng:	01/8/2022	
TỪ KHÓA		
Phép đo 3 cạnh		
Định vị trong nhà		
Băng thông rộng		
Thiết kế		
Chính xác		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.6070>

* Corresponding author. Email: txtrong@ictu.edu.vn

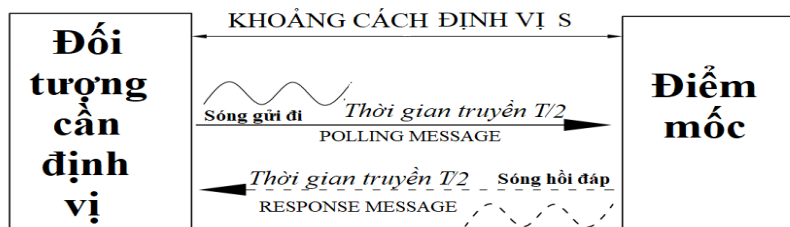
1. Giới thiệu

Ngày nay, với sự phát triển ngày càng mạnh của robot và xe tự hành, vai trò của các hệ thống định vị trở lên cực kỳ quan trọng [1]. Trong các hệ thống định vị, hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System) được sử dụng phổ biến nhất [2], GPS có thể dùng để xác định vị trí, ghi lại quỹ đạo chuyển động của một đối tượng hoặc phương tiện giao thông nào đó [2]. Tuy nhiên, GPS gặp khó khăn trong việc định vị đòi hỏi độ chính xác cao (sai số định vị dưới 10 cm) [3], [4], hoặc định vị các đối tượng trong môi trường có mái che [3] – [5]. Vì vậy, hệ thống định vị trong nhà IPS (Indoor Positioning System) ra đời để giải quyết bài toán định vị chính xác theo thời gian thực trong không gian kín [6]. IPS phù hợp ứng dụng trong việc định vị, định hướng, lập quỹ đạo chuyển động cho phương tiện tự hành, tìm kiếm người, đồ vật trong tòa nhà, hầm ngầm, kho bãi, [6].

Hệ thống định vị trong nhà hiện nay có thể được xây dựng dựa trên các công nghệ khác nhau như sử dụng sóng hồng ngoại, sóng siêu âm [4], [7]. IPS sử dụng sóng hồng ngoại có ưu điểm là tiết kiệm năng lượng nhưng nhược điểm dễ bị ảnh hưởng bởi đèn điện, nhiệt độ môi trường và phạm vi làm việc hẹp do sóng hồng ngoại có khả năng đâm xuyên kém [8], [9]. Trong khi đó IPS dùng sóng siêu âm mặc dù có chi phí thấp nhưng lại bị mất tín hiệu bởi vật cản và dễ bị nhiễu âm thanh tần số cao tác động [8]. Do đó, để khắc phục nhược điểm của các hệ thống IPS trên, đồng thời giúp cải thiện độ chính xác, phạm vi làm việc và tính linh hoạt của IPS [4] – [6], nhóm tác giả lựa chọn xây dựng hệ thống định vị trong nhà dựa trên công nghệ sóng điện từ siêu cao tần băng thông rộng (UWB) kết hợp phép đo 3 cạnh (Triangulation) [5], [8].

2. Hệ thống định vị trong nhà sử dụng sóng siêu cao tần băng thông rộng

Về cơ bản, UWB là giao thức truyền thông không dây sử dụng những tín hiệu xung có tần số rất cao (từ 3,1 tới 10,6 GHz) để truyền dữ liệu thông qua băng thông cực rộng mà không cần quá trình điều chế cao tần như các hệ thống sử dụng công nghệ RF (Radio Frequency) [8]. Khi ứng dụng UWB vào IPS, hệ thống sử dụng các bộ thu phát sóng UWB gắn trên đối tượng cần định vị và các điểm mốc để xác định khoảng cách chính xác giữa đối tượng định vị và điểm mốc thông qua thời gian truyền sóng TOF (Time of Fly) [5].



Hình 1. Đo khoảng cách dựa theo thời gian truyền sóng (TOF)

Theo Hình 1, giả sử bỏ qua thời gian xử lý của thiết bị, khoảng cách S từ đối tượng cần định vị đến điểm mốc sẽ được tính như sau: $S = C.T/2$; Với C là vận tốc ánh sáng, T là thời gian tính từ thời điểm đối tượng định vị phát xung đến khi thu được xung phản hồi [5]. Tuy nhiên, để đảm bảo tọa độ của đối tượng cần định vị là duy nhất trong mặt phẳng thì cần biết khoảng cách của đối tượng đó đến ít nhất 3 điểm mốc biết trước tọa độ (Triangulation) [3], [5], [9] như Hình 2.

Theo Hình 2, tọa độ cần định vị đối tượng là (x, y) được xác định thông qua tọa độ 3 điểm mốc (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) theo các phương trình (4), (5):

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = S_1 \quad (1)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = S_2 \quad (2)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = S_3 \quad (3)$$

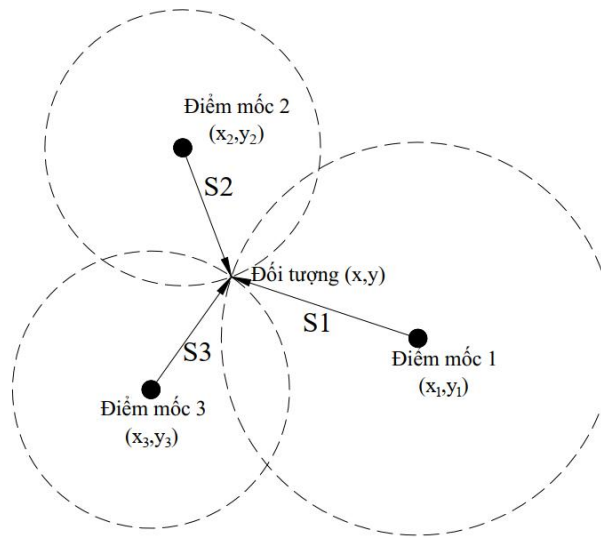
$$x = \frac{(y_2 - y_1) \cdot \alpha_1 + (y_2 - y_3) \cdot \alpha_2}{2 \cdot ((x_2 - x_3) \cdot (y_2 - y_1) + (x_1 - x_2) \cdot (y_2 - y_3))} \quad (4)$$

$$y = \frac{(x_2 - x_1) \cdot \alpha_1 + (x_2 - x_3) \cdot \alpha_2}{2 \cdot ((x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_3) + (x_2 - x_3) \cdot (y_1 - y_2))} \quad (5)$$

Trong đó:

$$\alpha_1 = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + S_3^2 - S_2^2 \quad (7)$$

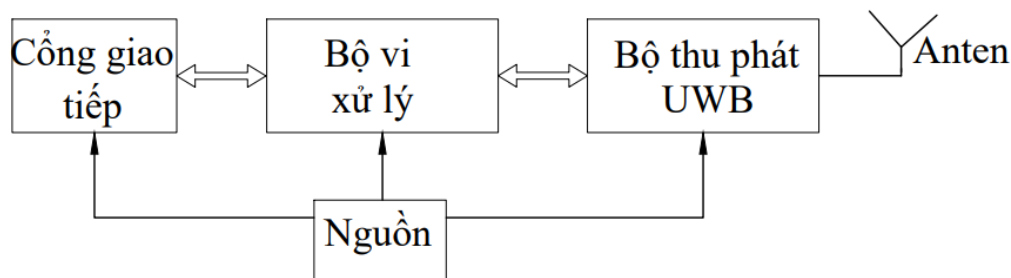
$$\alpha_2 = x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + S_2^2 - S_1^2 \quad (8)$$



Hình 2. Phương pháp Triangulation xác định tọa độ đối tượng dựa vào tọa độ 3 điểm mốc

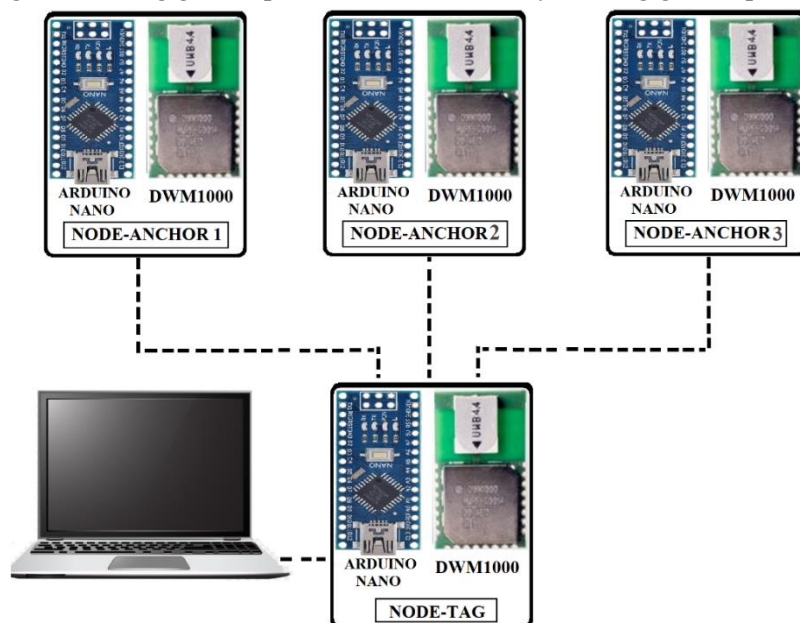
3. Thiết kế và chế tạo hệ thống định vị trong nhà

Thông thường, khi xây dựng hệ thống định vị UWB theo phương pháp Triangulation, cần phải thiết kế thiết bị gắn trên đối tượng gọi là Node-Tag và ít nhất 3 bộ thiết bị đặt cố định làm điểm mốc gọi là Node-Anchor [4], [5]. Trong nghiên cứu cơ bản, cấu tạo phần cứng của Node-Tag và Node-Anchor tương tự nhau. Chúng gồm có 5 thành phần cơ bản như Hình 3, gồm: Nguồn điện; Anten dùng để khuếch đại tín hiệu sóng siêu cao tần; Bộ thu phát sóng UWB có chức năng điều khiển quá trình tạo và nhận xung siêu cao tần; Bộ Vi xử lý dùng để tính toán, xử lý thông tin và giao tiếp với thiết bị khác; Cổng giao tiếp có chức năng hỗ trợ trao đổi thông tin giữa các vi điều khiển với nhau.



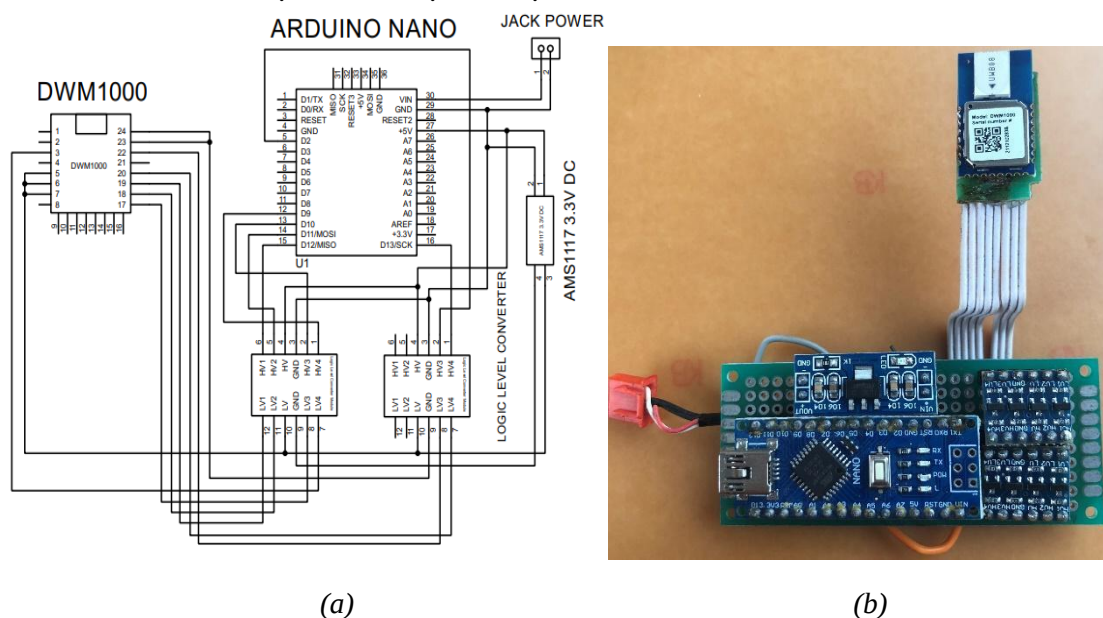
Hình 3. Cấu trúc cơ bản của Node định vị IPS

Trong thiết kế, nhóm tác giả đề xuất xây dựng hệ thống định vị gồm 4 Node định vị như Hình 4. Trong đó, mỗi Node sử dụng 1 Module DWM1000 tích hợp sẵn anten của hãng Decawave làm bộ thu phát sóng UWB [10], bo mạch Arduino Nano [11] xây dựng trên nền Atmega328p tích hợp sẵn các cổng I/O và cổng giao tiếp UART làm bộ vi xử lý và cổng giao tiếp.



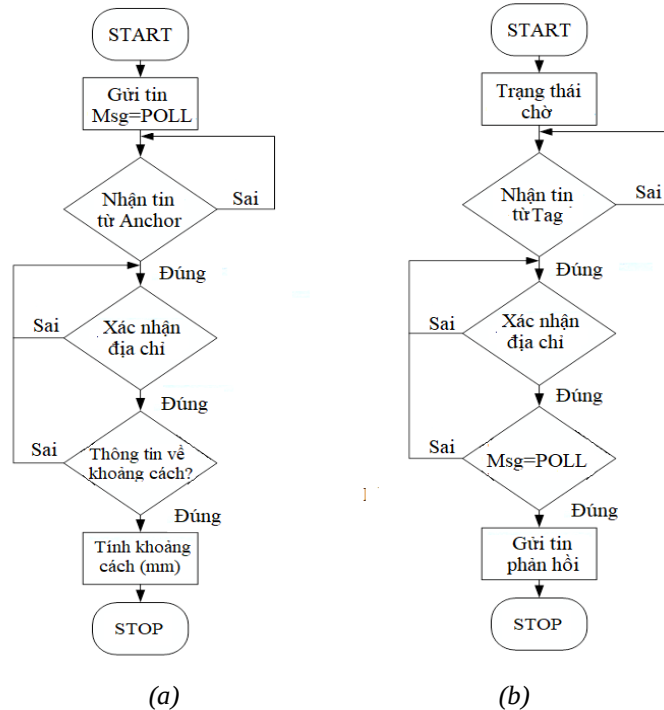
Hình 4. Các Node định vị trong hệ thống định vị

Ngoài các thiết bị chính, trong quá trình chế tạo Node định vị, để đảm bảo tính tương thích về mức điện áp tín hiệu và công suất nguồn nuôi cho các thiết bị, nhóm tác giả đã sử dụng thêm 2 IC chuyển đổi mức logic (Logic Level Converter) và chip đổi nguồn AMS1117. Các linh kiện được kết nối như Hình 5a và mạch sau chế tạo thể hiện trên Hình 5b.



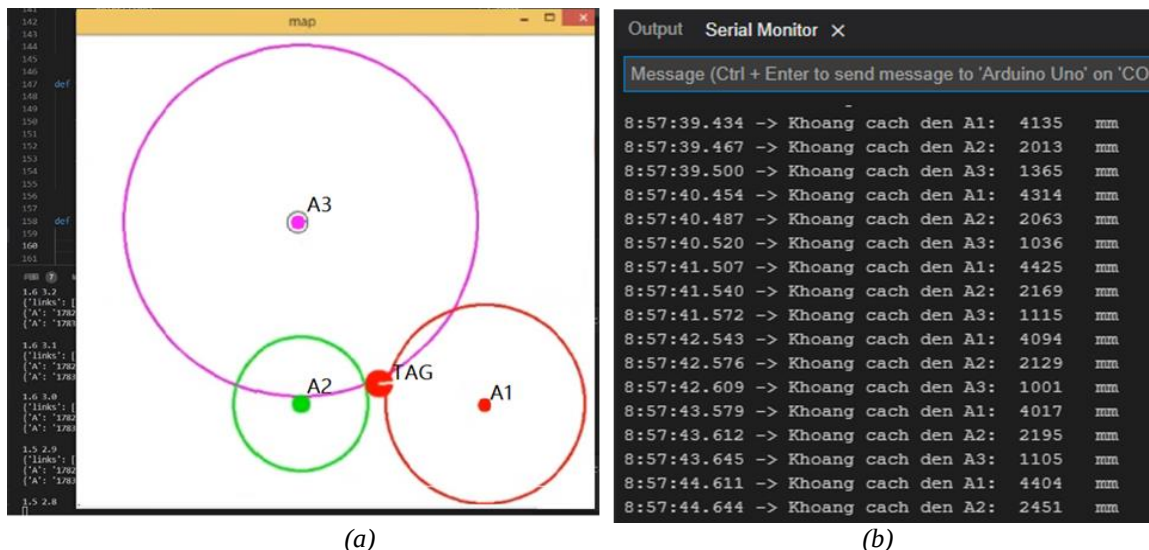
Hình 5. Node định vị: (a) Mạch nguyên lý và (b) ảnh chụp

Căn cứ vào chức năng của các Node định vị, chương trình phần mềm tương ứng được nạp vào các Node này. Node-Tag được nạp chương trình theo lưu đồ thuật toán ở Hình 6a. Nó định kỳ gửi yêu cầu phản hồi đến từng Node-Anchor. Khi nhận được gói tin phản hồi từ đúng Anchor có địa chỉ yêu cầu, vi điều khiển tính toán đưa ra kết quả định vị. Node-Anchor hoạt động theo lưu đồ thuật toán ở Hình 6b. Các Node này luôn ở trạng thái chờ, khi nhận được bản tin yêu cầu của Node-Tag, Node-Anchor sẽ kiểm tra địa chỉ và thực hiện gửi tin hiệu phản hồi cho Node-Tag.



Hình 6. Lưu đồ thuật toán định vị: (a) Node-Tag và (b) Node-Anchor

4. Kết quả và bàn luận



Hình 7. Giao diện định vị trên máy tính: (a) Dạng đồ họa và (b) Dạng số liệu

Nhằm đánh giá thực nghiệm hoạt động của hệ thống định vị, Tác giả đã tiến hành thiết lập hệ thống định vị cho căn phòng hình chữ nhật có chiều dài các cạnh là 530 cm và 570 cm. Các Node-Anchor được đặt ở 3 góc phòng, trong đó Node-Anchor A2 có tọa độ trùng với gốc tọa độ, Node-Anchor A1 đặt trên trục Ox cách A2 là 530 cm, Anchor A3 đặt trên trục Oy cách A2 là 570 cm. Node-Tag kết nối với máy tính thông qua cổng UART-USB để hiển thị kết quả trực quan lên màn hình. Kết quả thử nghiệm có thể hiển thị theo dạng đồ họa như Hình 7a, hoặc dạng số liệu trên Hình 7b.

Để tăng độ tin cậy khi đánh giá, nhóm tác giả đã tiến hành lấy kết quả định vị đối tượng tại nhiều vị trí khác nhau trong phòng kín. Đồng thời trong thực nghiệm, do GPS không thể định vị được đối tượng có khoảng cách dịch chuyển dưới 15 m [2], [3], nên kết quả định vị của hệ thống được đối sánh với kết quả đo thủ công thực tế và được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm hệ thống định vị trong nhà

Vị trí đặt vật		Vị trí định vị được		Sai số theo trục tọa độ	
<i>X (cm)</i>	<i>Y (cm)</i>	<i>X (cm)</i>	<i>Y (cm)</i>	<i>X (cm)</i>	<i>Y (cm)</i>
300	250	306	243,8	6	6,2
200	150	194,7	147,3	5,3	2,7
100	50	106,5	54,2	6,5	4,2
50	25	46,9	28,2	3,1	3,2

Kết quả thực nghiệm trên cho thấy, hệ thống định vị hoạt động được trong môi trường phòng kín. Giá trị định vị ổn định, sai số định vị ít phụ thuộc vào vị trí của đối tượng trong phòng, độ lệch định vị theo các trục quy ước không vượt quá 7 cm.

5. Kết luận

Nội dung bài báo đề xuất được thiết kế của hệ thống định vị trong nhà sử dụng UWB và phương pháp đo 3 cạnh. Kết quả định vị có độ chính xác cao có thể ứng dụng trong hệ thống dẫn đường cho xe tự hành hoặc robot trong nhà [1]. Tuy nhiên, sai số của hệ thống định vị vẫn có, chủ yếu do tốc độ tính toán và độ trễ xử lý của vi điều khiển gây ra. Trong thời gian tới, nhóm tác giả dự định phát triển xe tự hành đi theo quỹ đạo lập trình trước dựa trên hệ thống định vị đã thiết kế.

Lời cảm ơn

Công trình nghiên cứu này được tài trợ bởi nguồn kinh phí của Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – Đại học Thái Nguyên qua đề tài khoa học và công nghệ cấp cơ sở năm 2022 mã số: T2022-07-15.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] M. Zhong, Y. Yang, S. Sun, Y. Zhou, O. Postolache, and Y.-E. Ge, "Priority-based speed control strategy for automated guided vehicle path planning in automated container terminals," *SAGE Journals*, vol. 42, no. 16, pp. 3079-3090, 2020, doi: 10.1177/0142331220940110.
- [2] N. Kanabar, U. Doshi, S. Jha, and A. Bhargava, "Global Positioning System," *International Journal of Engineering Research & Technology (ijert)*, vol. 6, no. 12, pp. 1-3, 2018.
- [3] W. Branford, J. Parkinson, and J. Spilker, "Global Positioning System: Theory and Applications", volume 1, Amer Inst of Aeronautics, Lincoln, NE, U.S.A. 1996
- [4] C. Randell and H. Muller, "Low Cost Indoor Positioning System," in *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2201. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001, pp. 42 – 48, doi: 10.1007/3-540-45427-6_5.
- [5] D. Pan and Y. Yu, "Design of Indoor Position System Based on DWM1000 Modules," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 585: 5th Annual International Workshop on Materials Science and Engineering, Hunan, Changsha, China, 17–18 May 2019.

-
- [6] H. Koyuncu and S. H. Yang, "A Survey of Indoor Positioning and Object Locating Systems," *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 10, no. 5, pp. 121-127, May 2010.
 - [7] B.-G. Lee, Y.-S. Lee, and W.-Y. Chung, "3D Navigation Real Time RSSI-based Indoor Tracking Application," *Journal of Ubiquitous Convergence Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 67-77, November 2008.
 - [8] A. Alarifi, A. M. Al-Salman, M. Alsaleh, and A. Alnafessah, "Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances," *Sensors*, vol. 16, no. 5, 2016, Art. no. 707, doi: 10.3390/s16050707.
 - [9] M. S. Svalastog, "Indoor Positioning-Technologies, Services and Architectures," Cand Scient Thesis, University of Oslo, Oslo, Norway, 2007.
 - [10] Decawave, "DWM1000 Datasheet," Decawave Limited, 2016.
 - [11] A.-M. Hani, A.-D. Ali, F. Mohamed, and S. D. Mohammad, "A Study on New Arduino NANO Board for WSN and IoT Applications," *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 29, no. 4, pp.10223 – 10230, 2020.