

NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ SỬ DỤNG THIẾT BỊ DẪN ĐƯỜNG BLUETOOTH NĂNG LƯỢNG THẤP

Phạm Thành Nam^{1*}

¹Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền Thông Thái Nguyên

TÓM TẮT

Gần đây, các ứng dụng sử dụng các kỹ thuật định vị trong nhà ngày càng thu hút được sự quan tâm nghiên cứu, đặc biệt là phương pháp định vị sử dụng thiết bị Blue-tooth Low Energy (BLE) năng lượng thấp. Tuy nhiên, hệ thống sử dụng các thiết bị BLE đang phải đối mặt với vấn đề là tín hiệu RSSI thu được không ổn định trong môi trường trong nhà. Kết quả này dẫn đến độ chính xác định vị chưa cao. Để nâng cao độ chính xác của hệ thống định vị trong nhà sử dụng BLE, chúng tôi đề xuất sử dụng chồng chéo nhiều thiết bị dẫn đường BLE đặt tại cùng một vị trí để lọc ra độ lệch RSSI, từ đó giảm sự không ổn định của tín hiệu RSSI. Chúng tôi cũng đưa ra mô hình toán học của phương pháp đề xuất để tính toán ra vị trí của người dùng. Kết quả triển khai thử nghiệm cho thấy hệ thống đã cải thiện được độ chính xác định vị đáng kể so với các hệ thống khác.

Từ khóa: Định vị trong nhà; Thiết bị BLE; Tín hiệu RSSI; Thuật toán định vị; Lỗi định vị

Ngày nhận bài: 28/10/2019; Ngày hoàn thiện: 26/11/2019; Ngày đăng: 29/11/2019

INCREASE THE ACCURACY OF THE INDOOR LOCATION SYSTEM USING THE BLUETOOTH LOW ENERGY DEVICES

Phạm Thanh Nam

University of Information And Communication Technology - TNU

ABSTRACT

Recently, the commercial applications using indoor positioning techniques are increasing rapidly, including many systems using Bluetooth Low Energy (BLE) devices. However, these systems are facing the problem that the RSSI signal received is not stable in the indoor environment. This result leads to low positioning accuracy. In order to improve the accuracy of the indoor positioning system using BLE, we propose using multiple BLE devices to filter out the RSSI deviation, thereby reducing the instability of the RSSI signal. We also give the mathematical model to calculate the user's location. Our results show that the system has improved the positioning accuracy significantly compared to other systems.

Keyword: Indoor Positioning System; Bluetooth Low Energy Beacon; RSSI signal; Positioning algorithm; Positioning error.

Received: 28/10/2019; Revised: 26/11/2019; Published: 29/11/2019

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

1. Giới thiệu

Các hệ thống định vị trong nhà hiện nay đang được phát triển nhanh và trở thành một công nghệ quan trọng trong nhiều hệ thống ứng dụng. Công nghệ định vị toàn cầu truyền thống (GPS) không đủ đảm bảo độ chính xác để định vị các đối tượng bị che khuất trong các tòa nhà bởi vì độ chính xác trung bình của nó khoảng 10 mét và tín hiệu GPS sẽ bị suy giảm mạnh đối với môi trường trong nhà. Do đó, chúng ta cần tìm ra các công nghệ mới giống như GPS giúp định vị chính xác các đối tượng trong nhà. Đã có rất nhiều giải pháp cho vấn đề định vị trong nhà này như Bluetooth [1-4, 7], Wi-Fi [5], Ultrasound [6], QR code [8], Xử lý ảnh [9]. Tuy nhiên, các hệ thống này đang phải đối mặt với các hạn chế như là chi phí cao, tiêu thụ năng lượng lớn, tín hiệu thu được thường xuyên không ổn định do nhiễu của môi trường trong nhà dẫn tới độ chính xác thấp. Gần đây, sự phát triển của các thiết bị cầm tay thông minh, đặc biệt là điện thoại thông minh với khả năng nhận tín hiệu RSSI thông qua kết nối Bluetooth hứa hẹn mang đến một giải pháp hiệu quả cho việc tiết kiệm năng lượng đối với các hệ thống định vị trong nhà. Dựa trên tín hiệu RSSI nhận được, hệ thống có thể ước lượng ra vị trí tương đối của người dùng. Với sự ra đời của công nghệ Blue-tooth Low Energy (BLE) hoặc Bluetooth 4.0 sẽ là một điểm nhấn quan trọng cho các truyền thông tiết kiệm năng lượng. Thiết bị dẫn đường BLE có nhiều ưu điểm như là chi phí thấp và tiêu thụ năng lượng ít, do đó chúng ta có thể lắp đặt nhiều thiết bị này trong các tòa nhà lớn. Các thiết bị BLE này dễ dàng kết nối với điện thoại thông minh của người dùng thông qua kết nối Bluetooth, do đó người dùng có thể biết được vị trí của họ tại bất kỳ thời điểm nào.

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất phương pháp sử dụng nhiều thiết bị dẫn đường BLE đặt tại cùng một vị trí để giải quyết vấn đề tín hiệu RSSI không ổn định. Nếu sử dụng duy nhất một thiết bị dẫn đường sẽ xảy ra hiện tượng độ lệch tín hiệu RSSI dẫn đến sai số

định vị lớn, tuy nhiên nếu sử dụng nhiều thiết bị dẫn đường thì xác suất xảy ra là rất nhỏ. Tại cùng một vị trí, độ mạnh tín hiệu được phát ra từ nhiều thiết bị dẫn đường là gần giống nhau. Nếu sự khác biệt giữa độ mạnh tín hiệu vượt qua một giá trị ngưỡng, chúng tôi sẽ phát hiện được ra lỗi này và loại bỏ giá trị RSSI bị lỗi này. Với mỗi giá trị trung bình RSSI nhận được chúng tôi sẽ tính toán ra khoảng cách của người dùng đến các điểm đặt thiết bị BLE này từ đó tìm ra vị trí của người dùng trong căn phòng. Do hệ thống luôn đạt được độ ổn định của giá trị RSSI nên đạt được độ chính xác cao hơn so với hệ thống khác. Bài báo của chúng tôi bao gồm các phần: Phần 1 là giới thiệu, Phần 2 là mô tả phương pháp đề xuất, Phần 3 là các kết quả thực nghiệm, Phần 4 là kết luận.

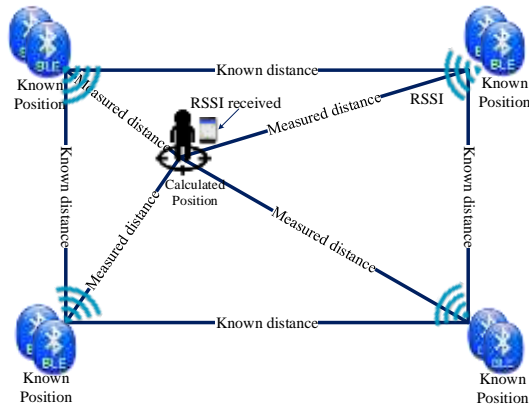
2. Phương pháp đề xuất

2.1. Kiến trúc hệ thống

Kiến trúc hệ thống bao gồm các thiết bị dẫn đường BLE và phần mềm ứng dụng chạy trên điện thoại di động của người dùng. Thiết bị dẫn đường sẽ định kì phát quảng bá tín hiệu RSSI vào khoảng không gian định vị và thiết bị di động của người dùng sẽ thu các tín hiệu này sau đó phân tích dữ liệu để tính ra vị trí của người dùng. Kiến trúc hệ thống như được mô tả trong Hình 1. Thiết bị di động của người dùng sẽ liên tục thu tín hiệu từ các thiết bị dẫn đường và lọc ra độ lệch RSSI. Phần mềm ứng dụng sẽ xác định được trạng thái người dùng đang di chuyển hoặc đứng yên. Trạng thái người dùng là một tham số quan trọng trong việc đánh giá hiệu năng của hệ thống đề xuất.

Không giống với các hệ thống trước đã triển khai như trong các nghiên cứu [1], [3], trong hệ thống của chúng tôi, mỗi góc của căn phòng sẽ được lắp đặt nhiều hơn một thiết bị dẫn đường. Trong phần triển khai thực nghiệm hệ thống, chúng tôi đã lắp đặt hai thiết bị dẫn đường tại cùng một vị trí và đóng vai trò như một thiết bị dẫn đường. Phương thức này cho phép tín hiệu RSSI nhận được có độ ổn định cao hơn, khắc phục được những

nhược điểm của các hệ thống chỉ sử dụng một thiết bị dẫn đường BLE trước đây. Theo lý thuyết, số lượng thiết bị dẫn đường và lỗi định vị sẽ tỉ lệ nghịch với nhau. Tuy nhiên, khi số lượng thiết bị dẫn đường nhiều lên sẽ dẫn tới thời gian tính toán kết quả lâu hơn và chi phí triển khai hệ thống tốn kém hơn.



Hình 1. Kiến trúc hệ thống đề xuất

2.2. Giải thuật đề xuất và mô hình toán học

Để xây dựng nên mô hình toán học của hệ thống, chúng tôi đã triển khai 8 thiết bị dẫn đường BLE tại 4 góc trong một căn phòng hình chữ nhật. Các thiết bị dẫn đường được đặt tên là b_i , $i = 1, 2 \dots 8$. Dựa trên giá trị RSSI thu được từ các thiết bị dẫn đường này, chúng tôi sẽ ước lượng vị trí của người dùng. Giá trị RSSI nhận được tại mỗi thiết bị dẫn đường sẽ là giá trị trung bình của 10 lần thu được từ nó. Đối với dữ liệu thu thập nhỏ hơn 10 giá trị, chúng tôi sẽ sử dụng các dữ liệu đã có để tính toán giá trị RSSI trung bình. Nếu số lượng giá trị dữ liệu nhận được lớn hơn 10 giá trị, thì chúng tôi sẽ lấy 10 giá trị sớm nhất thu được để tính giá trị RSSI trung bình. Số lượng giá trị dữ liệu có thể được thay đổi tùy vào các trường hợp khác nhau. Khi người dùng di chuyển, số lượng các giá trị sẽ giảm xuống. Một giá trị dữ liệu mới nhận được sẽ được so sánh với giá trị trung bình đã có. Nếu độ lệch không vượt quá một ngưỡng cho trước, dữ liệu này sẽ được lưu lại và được sử dụng để tính toán giá trị RSSI trung bình mới. Nếu vượt quá ngưỡng, giá trị RSSI này sẽ bị loại bỏ.

Các giá trị trung bình của 8 thiết bị dẫn đường được đặt tên là r_i , $i = 1, 2 \dots 8$. Sau khi xếp chồng các thiết bị dẫn đường, chúng ta sẽ có 4 thiết bị dẫn đường mới được đặt tên là B_i , $i = 1, 2, 3, 4$ (trong trường hợp này, hai thiết bị dẫn đường BLE sẽ được xếp chồng tại một góc phòng). R_i là giá trị RSSI của thiết bị dẫn đường B_i (như trong biểu thức 1). Để xác định vị trí của người dùng trong phòng, chúng ta sẽ dựa trên giá trị RSSI thu được tại các thiết bị dẫn đường. Giải thuật của chúng tôi bao gồm 2 bước. Bước 1, chúng ta cần có được giá trị R_i được tạo ra bởi trung bình của các tín hiệu r_i, r_{i+4} . Thuật toán đề xuất cho tính toán giá trị của R_i và lọc ra độ lệch RSSI như sau:

Giải thuật: Lọc độ lệch RSSI

```

1: for each  $r_i \in [1, 4]$  do
2:   if  $r_i - r_{i+4} \leq \text{deviation value}$ 
then
    $R_i = \text{Average}(r_i, r_{i+4}, \text{time})$ 
3: end if
4: end

```

Trong đó, $\text{Average}(r_i, r_{i+4}, \text{time})$ là biểu thức để tính giá trị của R_i từ r_i và r_{i+4} , time là trung bình số lần thực thi. Trong trường hợp này, r_i và r_{i+4} được xếp chồng tại cùng một góc. Công thức để tính giá trị trung bình là:

$$\text{Average}(r_i, r_{i+4}, \text{time}) = \frac{\sum((r_i + r_{i+4})/2)}{\text{time}} \quad (1)$$

Bước 2, trong Hình 2, kí hiệu a biểu thị thiết bị dẫn đường với giá trị RSSI lớn nhất và được coi là một dữ liệu. Chúng tôi giả sử rằng hai thiết bị dẫn đường nằm cạnh với a là b và d . Trong đó, $b = a + 1 \pmod 4$ và $d = a - 1 \pmod 4$. Ví dụ, giả sử rằng B_1 là thiết bị dẫn đường với giá trị RSSI lớn nhất, do đó B_1 là a và B_2 là b và B_4 là d . Chúng tôi biểu thị S_i là giá trị tương đối tương ứng với các điểm dữ liệu mô tả vị trí của người dùng. Thông qua phương pháp này, chúng tôi sẽ chuyển đổi dữ liệu hệ tọa độ 3D sang dữ liệu hệ tọa độ 2D. D_i biểu diễn khoảng cách tương đối (D) giữa thiết bị dẫn đường B_i và người dùng trong mặt phẳng không gian và một tham số P sẽ ảnh

hướng tới độ chính xác của phương pháp định vị. Bằng cách sử dụng phương pháp *Trilateration* [4-5] để xác định tọa độ của người dùng, chúng tôi sẽ suy ra tọa độ của x và y . Nếu $a + 1$ là số lẻ thì các tọa độ của trục x là từ D_a tới D_d và trục y là từ D_a tới D_b . Nếu $a + 1$ là số chẵn, các tọa độ của trục x sẽ là từ D_a tới D_b và trục y là từ D_a tới D_d .

Giả sử P là số dấu phẩy động, công thức để tính toán giá trị tương đối của S_i được cho bởi:

$$S_j = \lfloor R_j - (\max(R_i) + P) \rfloor, j = 1, \dots, 4. \quad (2)$$

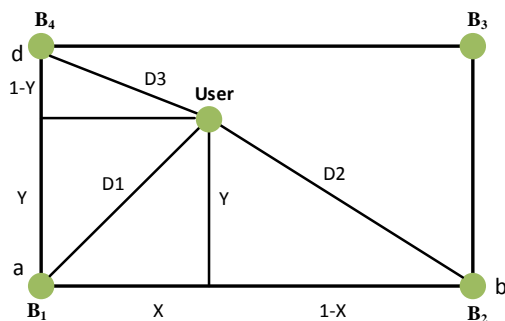
Như trong Hình 2, chúng ta có thể tính toán vị trí hiện tại của người dùng $U(X, Y)$ (giả thuyết độ dài cạnh của phòng bằng 1) sử dụng định lý Pythagoras trong tam giác:

$$U(X, Y) = \begin{cases} X = \frac{\left(\frac{S_x}{S_x + S_y}\right)^2 - \left(\frac{S_y}{S_x + S_y}\right)^2 + 1}{2}, \\ Y = \frac{\left(\frac{S_x}{S_x + S_z}\right)^2 - \left(\frac{S_z}{S_x + S_z}\right)^2 + 1}{2}, & \text{nếu } a \bmod 2 = 1: x = a, y = b \text{ và } z = d \\ \\ X = \frac{\left(\frac{S_x}{S_x + S_y}\right)^2 - \left(\frac{S_y}{S_x + S_y}\right)^2 + 1}{2}, \\ Y = \frac{\left(\frac{S_x}{S_x + S_z}\right)^2 - \left(\frac{S_z}{S_x + S_z}\right)^2 + 1}{2}, & \text{nếu } a \bmod 2 = 0: x = a, y = d \text{ và } z = b \end{cases} \quad (3)$$

Hình 2 biểu diễn thuật toán của phương pháp đề xuất. Khoảng cách tương đối giữa người dùng và các thiết bị dẫn đường được tính bởi:

$$D_1 = \frac{S_a}{S_a + S_b},$$

$$D_2 = \frac{S_b}{S_a + S_b}, D_3 = \frac{S_d}{S_a + S_d}.$$



Hình 2. Phương pháp định vị của hệ thống.

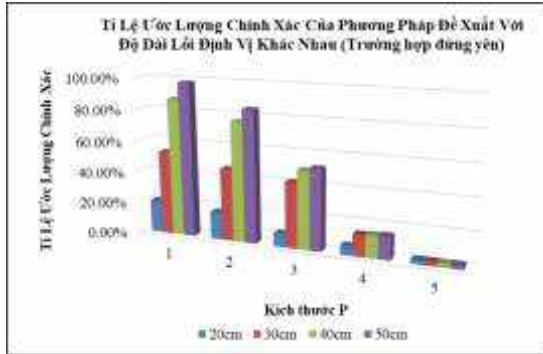
3. Kết quả thực nghiệm

Chúng tôi chọn một căn phòng để triển khai hệ thống thực nghiệm đã đề xuất. Kích thước của căn phòng là 10.1m x 8.8m x 3.2m. Trong thực nghiệm này, chúng tôi xây dựng một phần mềm ứng dụng để tính toán và hiển thị thông tin định vị tới người dùng. Tần số mà các thiết bị dẫn đường truyền gói dữ liệu là 0.3 giây/gói, và thuật toán của chúng tôi sẽ ước lượng vị trí sau mỗi 0.3 giây. Tại biểu thức (2), tham số P là một tham số quan trọng, nó sẽ ảnh hưởng tới kết quả thực nghiệm hệ thống. Thực tế P phản ánh kích thước vật thể căn định vị. Trạng thái của người dùng và kích thước P sẽ ảnh hưởng tới độ chính xác trong kết quả định vị. Trong thực nghiệm, chúng tôi thiết lập P sẽ có các tập giá trị là 1, 10, 20, 30, 40 sau đó chúng tôi quan sát giá trị chính xác lớn nhất trong mỗi nhóm ứng với các P này. Giá trị sai số định vị kỳ vọng mong muốn là 20, 30, 40, 50 cm. Nếu vị trí dự đoán nằm ngoài dải phạm vi này, thì vị trí đó được xem như lỗi. Trong trường hợp người dùng di chuyển, chúng tôi giả sử rằng người dùng di chuyển trong phòng với các vận tốc 1, 3, 5, 7, 9 km/h. Để so sánh độ chính xác của phương pháp chúng tôi đã đề xuất và phương pháp định vị khác, chúng tôi cũng triển khai các thuật toán định vị trong các nghiên cứu [1], [3] và cũng đánh giá trong cả hai trường hợp người dùng đứng yên và di chuyển.

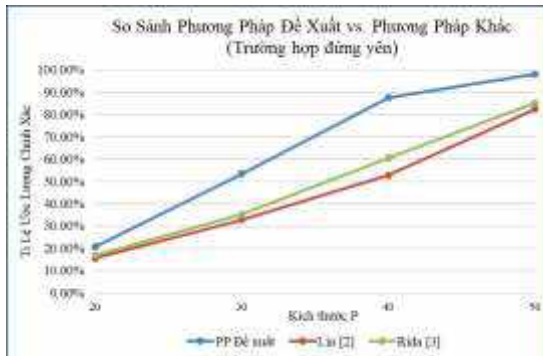
3.1. Trường hợp người dùng đứng yên

Giả sử người dùng đứng lại tại giữa phòng. Tọa độ x và y của vị trí giữa phòng là 5.05m và 4.4m. Nếu chúng ta cho phép sai số định vị là 50 cm, khi đó phạm vi hợp lệ của x và y là $455 < x < 555$ and $390 < y < 490$ và chúng tôi thu được kết quả như trong Hình 3. Chúng ta có thể thấy rằng giá trị lớn hơn của P sẽ cho tỉ lệ ước lượng chính xác lớn hơn. Trong tập P đầu tiên, độ chính xác với sai số 50 cm lên tới 98.2% và độ chính xác với sai số 20 cm là 20.8%. Trong tập P thứ hai, độ chính xác định vị với sai số 50 cm là 84.4% và với sai số 20 cm là 17.5%. Với các phương pháp trong nghiên cứu [1], [3], tại mỗi vị trí góc chỉ đặt một

thiết bị dẫn đường. Do đó, giá trị RSSI thu được trong các nghiên cứu này không đạt được độ tin cậy. Trong Hình 4, chúng tôi so sánh tỉ lệ ước lượng chính xác (CER) của phương pháp chúng tôi đã đề xuất và các phương pháp trong [1], [3]. Các kết quả chỉ ra rằng phương pháp của chúng tôi luôn luôn đạt được giá trị CER cao nhất trong 3 phương pháp.



(a) Tỉ lệ ước lượng chính xác của phương pháp đề xuất so với các độ dài lỗi định vị khác nhau khi kích thước của P thay đổi.



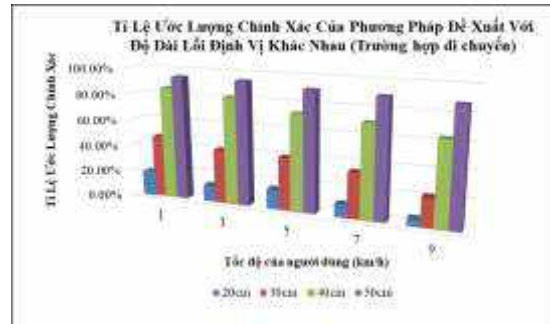
(b) So sánh tỉ lệ ước lượng chính xác của phương pháp đề xuất, Lin [1], và Rida [3] trong trường hợp đứng yên.

Hình 3. Phân tích tỉ lệ ước lượng chính xác trong trường hợp người dùng đứng yên.

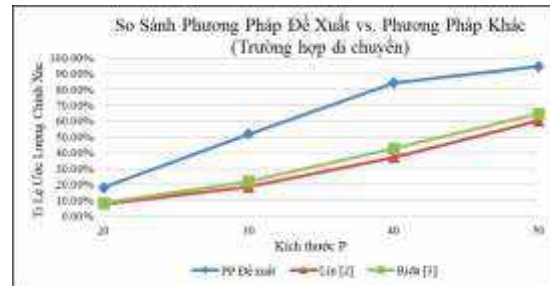
3.2. Trường hợp người dùng di chuyển

Giả sử rằng người dùng đang di chuyển trong khu vực định vị. Chúng tôi cũng xem xét ảnh hưởng của P đến độ chính xác của phương pháp định vị. Trong Hình 4 (a), chúng tôi giả sử kích thước P là 40 và vận tốc di chuyển của người dùng là 1, 3, 5, 7, 9 km/h. Với vận tốc 1 km/h, độ chính xác định vị với sai số 50 cm có thể lên tới 94.6% và với sai số 20 cm là khoảng 18%. Trong nghiên cứu của chúng tôi, chúng tôi áp dụng phương pháp lọc ra độ

lệch của giá trị RSSI, tuy nhiên trong các nghiên cứu [1], [3] không áp dụng phương pháp này. Khi người dùng di chuyển, độ ổn định của tín hiệu là rất quan trọng. Trong Hình 4 (b), chúng tôi so sánh tỉ lệ ước lượng chính xác của phương pháp đề xuất và các nghiên cứu trong [1], [3]. Phương pháp của chúng tôi luôn đạt được độ chính xác cao nhất trong các trường hợp.



(a) Tỉ lệ ước lượng chính xác của phương pháp đề xuất với độ dài lỗi định vị khác nhau trong trường hợp người dùng di chuyển



(b) So sánh tỉ lệ ước lượng chính xác của phương pháp đề xuất, Lin [1], và Rida [3] trong trường hợp người dùng di chuyển

Hình 4. Phân tích tỉ lệ ước lượng chính xác trong trường hợp người dùng di chuyển.

4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một phương pháp định vị trong nhà sử dụng thiết bị dẫn đường BLE năng lượng thấp. Hệ thống của chúng tôi sử dụng nhiều thiết bị dẫn đường đặt tại cùng một vị trí thay vì một thiết bị tại mỗi góc trong mặt phẳng định vị, do đó làm giảm sự biến đổi của tín hiệu RSSI thu được và làm tăng cường tỉ lệ ước lượng chính xác. Mô hình toán học đề xuất và các kết quả triển khai thử nghiệm cho thấy phương pháp của chúng tôi đạt được hiệu năng tốt hơn so với các phương pháp khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. X. Y. Lin, T. W. Ho, C. C. Fang, Z. S. Yen, B. J. Yang, and F. Lai, "A mobile indoor positioning system based on ibeacon technology", *In 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 4970–4973, Aug 2015.
- [2]. S. Kajioka, T. Mori, T. Uchiya, I. Takumi, and H. Matsuo, "Experiment of indoor position presumption based on rssi of Bluetooth le beacon", *In IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 337–339, Oct 2014.
- [3]. M. E. Rida, F. Liu, Y. Jadi, A. A. A. Algawhari, and A. Askourih, "Indoor location position based on bluetooth signal strength", *In 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, pp. 769–773, April 2015.
- [4]. H. Park, J. Noh, S. Cho, "Three-dimensional positioning system using Bluetooth low-energy beacons", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
- [5]. Z. Wang, S. Pheng, C. Xu, J. Huang, L. Lu, Z. Shi, "Indoor Position Algorithm Based on the Fusion of Wifi and Image", *Eleventh International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI)*, June 2019.
- [6]. L. C. Png, L. Chen, S. Liu, W. K. Peh, "An Arduino-based indoor positioning system (IPS) using visible light communication and ultrasound", *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, May 2014.
- [7]. A. Satan, "Bluetooth-based indoor navigation mobile system", *In 19th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 2018.
- [8]. Y. Zhuang, Y. Kang, L. Huang, Z. Fang, "A Geocoding Framework for Indoor Navigation based on the QR Code", *In IEEE Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services (UPINLBS)*, 2018.
- [9]. J. Dong, M. Noreikis, Y. Xiao, A. Ylä-Jääski, "ViNav: A Vision-Based Indoor Navigation System for Smartphones", *In IEEE Transactions on Mobile Computing*, Volume 18, Issues 6, pp. 1461 – 1475, 2019.