

Cải thiện độ chính xác của hệ thống định vị trong nhà PDR sử dụng mã QR

Nguyễn Hoàng Dương và Trần Thị Thúy Quỳnh
Khoa Điện Tử - Viễn Thông, Trường Đại học Công Nghệ-ĐHQGHN
Email: dn09922@gmail.com, quynhttt@vnu.edu.vn

Tóm tắt nội dung—Hệ thống định vị trong nhà PDR (Precise Dead Reckoning) là hệ thống định vị tự trị cho đối tượng di chuyển tốc độ thấp (đi bộ) dựa trên dữ liệu thu thập từ các cảm biến. Nhược điểm chính của hệ thống là sai số tích lũy trong quá trình định vị. Bài báo thực hiện việc cải thiện độ chính xác của hệ PDR bằng cách sử dụng mã QR tại một số điểm chuẩn để loại bỏ sai số tích lũy. Hệ thống kết hợp giữa PDR và mã QR được thực hiện trên điện thoại thông minh có sai số trung bình khoảng 0,65 m tốt hơn so với hệ PDR không kết hợp mã QR khoảng 6,4 lần.

Từ khóa—Hệ thống định vị trong nhà, định vị tự trị, mã QR.

I. INTRODUCTION

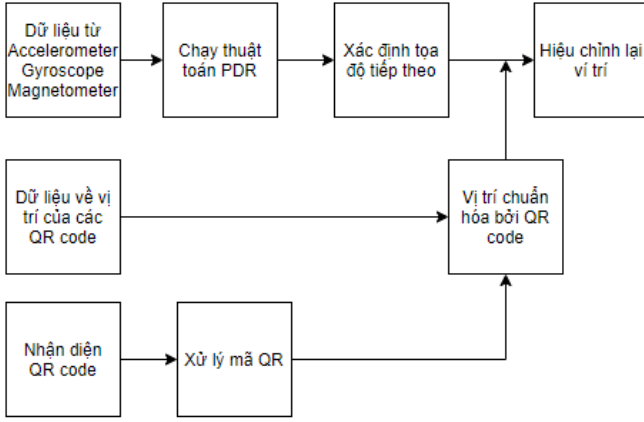
Hiện nay, bên cạnh việc phát triển các hệ truyền tin tốc độ cao, các hướng nghiên cứu về kết nối vạn vật, trí tuệ nhân tạo, ô tô tự hành,... cũng thu hút được sự chú ý đặc biệt của các nhà nghiên cứu và các công ty công nghệ. Để có thể phát triển các hệ thống thông minh (nhà thông minh, nhà máy thông minh, thành phố thông minh,...), vị trí của đối tượng cần phải được xác định. Các đối tượng này thường tập trung trong nhà, di chuyển với tốc độ chậm và được gắn nhiều cảm biến để thu thập dữ liệu. Khi đó, hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System) vốn hiệu quả trong môi trường ngoài trời không còn phù hợp nữa. Hệ thống GPS có thể hoạt động ngoài trời khi trời quang với độ chính xác khoảng 4,9 m và kém hơn nhiều khi ở trong các tòa nhà do tín hiệu bị suy giảm và không có tia nhìn thẳng. Như vậy, cần phải phát triển một hệ thống riêng cho các ứng dụng định vị trong nhà, được gọi là hệ thống IPS (Indoor Positioning System).

Có nhiều phương pháp định vị được nghiên cứu và ứng dụng cho hệ thống IPS như: định vị dựa trên dấu hiệu nhận dạng (cường độ tín hiệu WiFi, Bluetooth, thông tin kênh, hình ảnh, âm thanh,...), xác định hướng/thời gian sóng đến, và tự trị dựa trên các cảm biến [1]. Các phương pháp dựa trên dấu hiệu nhận dạng gặp phải vấn đề xây dựng cơ sở dữ liệu nhận dạng rất tốn công sức. Ngoài ra một số hệ thống sử dụng BLE, camera,... cần phải xây dựng mới hạ tầng tại các tòa nhà. Với các hệ thống định vị dựa trên hướng/thời gian sóng đến, thông tin kênh,...cũng cần lắp đặt các thiết bị đặc biệt có tính năng cung cấp các thông số này (Ví dụ Cisco Aironet 3700 Wi-Fi,...). Đối với các hệ thống thông minh, được tích hợp sẵn nhiều cảm biến, **phương pháp định vị tự trị PDR** được coi là ưu việt.

Phương pháp định vị tự trị PDR xác định vị trí của đối tượng dựa trên việc đếm số bước chân, ước lượng kích thước bước chân, và hướng chuyển động của đối tượng. Các thông

số này được ước lượng dựa trên dữ liệu thu thập từ các cảm biến gia tốc, con quay hồi chuyển,... Tuy nhiên, các cảm biến thường rất nhạy với môi trường nhiễu, cũng như cần phải căn chuẩn,... dẫn đến sai số hệ thống định vị sử dụng cảm biến do lỗi tín hiệu. Lỗi này tích lũy theo thời gian [2]. Đây chính là lý do khiến phương pháp PDR chỉ có độ chính xác cao khi khoảng cách định vị ngắn.

Để có thể hoạt động trên phạm vi rộng, cần kết hợp PDR với các kỹ thuật khác. Một số kỹ thuật kết hợp với PDR gồm PDR và WiFi [3], PDR và Bluetooth [4], PDR và kiến trúc tòa nhà [5],... Các phương pháp này có sai số ước lượng thường lớn hơn 1m. Mục đích của nhóm nghiên cứu là xây dựng hệ thống IPS có sai số ước lượng nhỏ hơn 1m với cấu trúc phần cứng đơn giản đồng thời giảm tải tính toán phần mềm. Một trong những hệ thống được quan tâm nghiên cứu là **PDR kết hợp với mã QR**. Liên quan chặt chẽ đến hệ thống kết hợp này là công trình [2]. Công trình thực hiện việc xác định vị trí đối tượng dựa trên PDR (gồm đếm bước, tính chiều dài bước chân, và hướng dựa trên cảm biến) và chuẩn hóa vị trí bởi các mã QR được dán trên sàn nhà sau mỗi 10m. Hệ thống này có một số nhược điểm sau: mã QR dán trên sàn nhà cho độ thẩm mỹ kém, dễ bị mờ theo thời gian; mã cũng được dán tại các góc rẽ giúp tăng độ chính xác của hệ thống. Hệ thống này có độ chính xác khoảng 0,64m. Khác với công trình này, qua các nghiên cứu về việc ước lượng bước chân trong công trình nghiên cứu [6], nhóm tác giả nhận thấy việc xác định kích thước bước chân với độ chính xác cao cho nhiều đối tượng là khó thực hiện do các phương pháp không chỉ dựa vào tín hiệu thu được từ các cảm biến mà còn phải dựa vào hình thái học của mỗi đối tượng (chiều cao, vận tốc di chuyển,...). Hơn nữa, với chiều cao trung bình của người Việt Nam (nam: 1,64m và nữ 1,53m), kích thước bước chân (tương ứng $1,64m \times 0,415 = 0,68m$ và $1,53m \times 0,413 = 0,63m$) không khác nhau nhiều. Độ chính xác của hệ thống PDR dựa vào độ chính xác của việc xác định số bước, kích thước bước và hướng của đối tượng. Qua phân tích ở trên có thể thấy rằng, sai số 1 bước dẫn đến sai số khoảng cách khoảng 0,6m trong khi đó sai số kích thước bước giữa các đối tượng chỉ dẫn đến sai số khoảng cách khoảng 0,04m. Dựa trên những phân tích này, nhóm tác giả nhận thấy sai số của hệ PDR chủ yếu dựa vào sai số xác định số bước và sai số hướng. Hay nói cách khác, nhóm tác giả đã loại bỏ độ phức tạp của hệ thống bằng cách loại bỏ phần ước lượng kích thước bước chân, các sai số tích lũy tổng cộng được loại bỏ dựa trên việc chuẩn hóa vị trí sử dụng mã QR được dán trên tường tại các vị trí



Hình 1. Hệ thống PDR kết hợp mã QR.

ngẫu nhiên. Hệ thống đạt được sai số khoảng cách 0,65m trên quãng đường 61m.

Chi tiết các nội dung nghiên cứu được trình bày như sau: phần hai mô tả hệ thống PDR kết hợp mã QR và nguyên lý hoạt động, phần ba trình bày các kết quả thực nghiệm và thảo luận, và phần cuối là một số kết luận.

II. PDR KẾT HỢP MÃ QR VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG

Hệ thống định vị trong nhà PDR kết hợp với mã QR được biểu diễn trên hình 1 gồm 2 phần:

- Vị trí xác định từ hệ thống PDR.
- Vị trí xác định từ hệ thống PDR được hiệu chỉnh dựa trên thông tin biết trước về vị trí của mã QR.

2.1 Hệ thống định vị trong nhà PDR

Sơ đồ hoạt động của hệ thống định vị tự trị PDR được biểu diễn trên hình 2. Trong hệ thống PDR, vị trí của đối tượng được xác định dựa trên việc xử lý dữ liệu thu thập từ các cảm biến. Cụ thể, hệ thống thiết kế sử dụng cảm biến gia tốc để phát hiện bước chân và cảm biến vận tốc góc để xác định hướng của đối tượng. Phương trình được sử dụng để cập nhật vị trí của đối tượng như sau:

$$p_n = p_{n-1} + \vec{l}_{step} \quad (1)$$

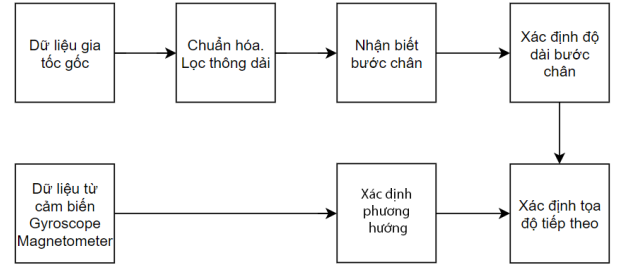
trong đó, p_n , p_{n-1} , \vec{l}_{step} lần lượt là vị trí tại thời điểm hiện tại, vị trí trước đó, và vector chiều dài bước chân (có biên độ bằng 0,62m - kích thước bước được đặt cố định và góc nghiêng tương ứng với hướng của đối tượng).

2.1.1 Xác định bước dựa trên dữ liệu cảm biến gia tốc

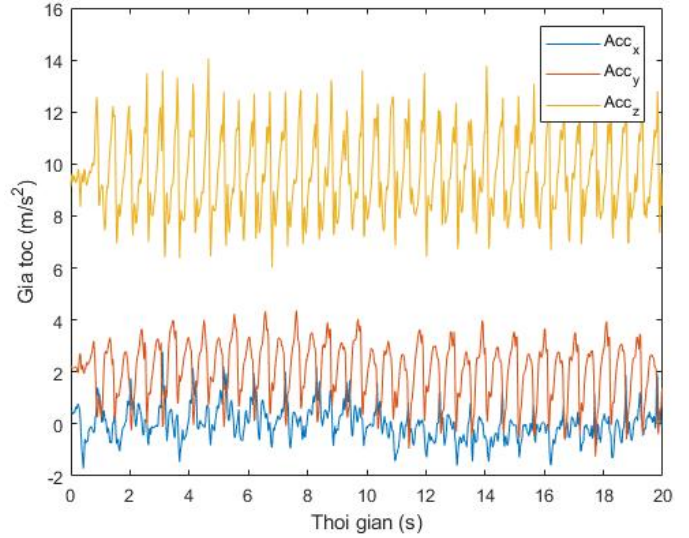
Dữ liệu thô thu từ cảm biến gia tốc (gắn trên máy di động có tần số lấy mẫu $F_s = 40Hz$) gồm 3 thành phần theo ba hướng là Acc_x , Acc_y và Acc_z như biểu diễn trên hình 3.

Dữ liệu thô này có một số đặc điểm: Tín hiệu lặp lại tương ứng với bước chân, tín hiệu bị ảnh hưởng của nhiễu. Như vậy có thể dựa trên tín hiệu thu được từ cảm biến gia tốc để xác định bước chân. Tuy nhiên, để đánh giá được toàn diện hơn (điện thoại song song và vuông góc với mặt đất) [7], biên độ vector gia tốc được xem xét:

$$|Acc| = \sqrt{Acc_x^2 + Acc_y^2 + Acc_z^2} \quad (2)$$



Hình 2. Hệ thống PDR.



Hình 3. Dữ liệu thô thu được từ cảm biến gia tốc.

Tín hiệu $|Acc|$ trong miền thời gian và miền tần số được biểu diễn lần lượt trên hình 4 và 5. Dựa trên phổ tín hiệu thu được, nhóm tác giả đã thiết kế bộ lọc thông dải Butterworth có dải thông [1, 2]Hz để loại bỏ nhiễu và thành phần một chiều. Hàm truyền của bộ lọc biểu diễn bởi:

$$H(z) = \frac{b_1 + b_2z^{-1} + b_3z^{-2} + b_4z^{-3} + b_5z^{-4}}{a_1 + a_2z^{-1} + a_3z^{-2} + a_4z^{-3} + a_5z^{-4}} \quad (3)$$

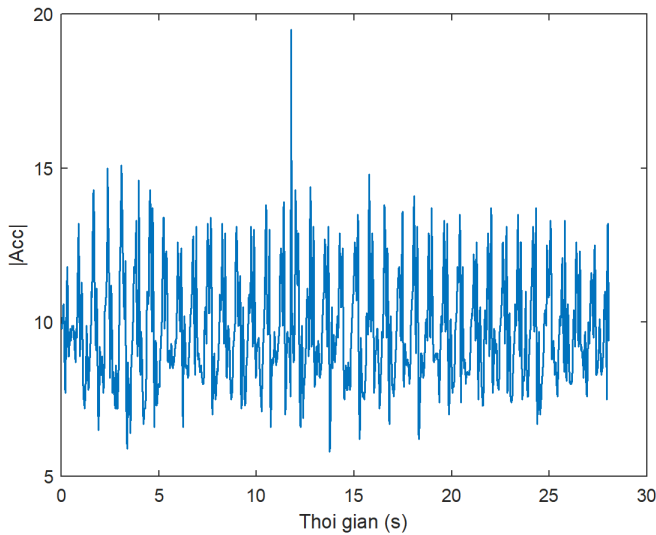
với

$$A = 0.0055; 0.00000; -0.0111; 0.00000; 0.0055 \quad (4)$$

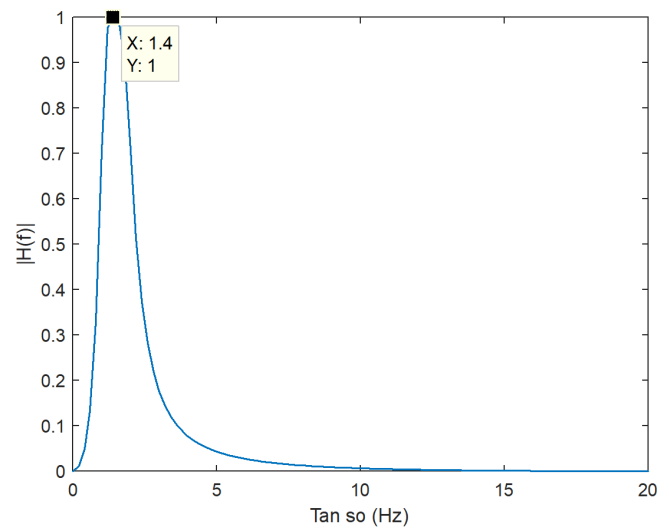
$$B = 1.0000; -3.6856; 5.1840; -3.2970; 0.8008 \quad (5)$$

Tín hiệu sau khi qua bộ lọc được biểu diễn trên hình 7 (hình trên).

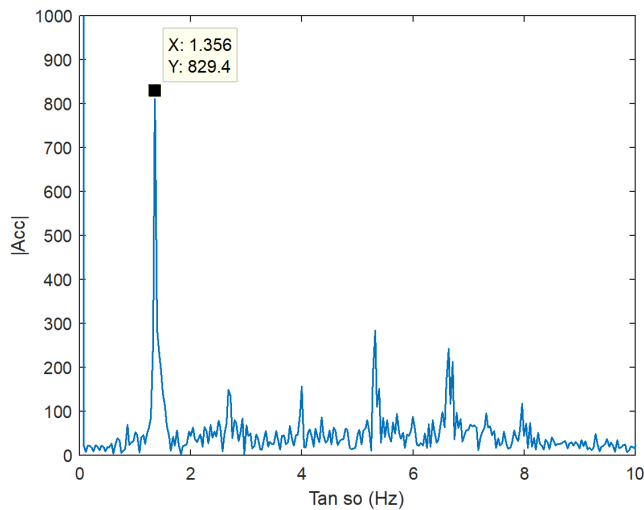
Dựa trên tín hiệu $|Acc|$ sau khi lọc, có một số phương pháp xác định bước như: dựa trên thay đổi phương sai, phát hiện điểm không, phát hiện đỉnh. Phương pháp phát hiện đỉnh dễ triển khai, và có thể phát triển thành "phân tích đỉnh" để phân tích bước chân mở rộng về sau. Nên nhóm tác giả lựa chọn phương pháp phát hiện đỉnh và kết quả được biểu diễn trên hình 7 (hình dưới).



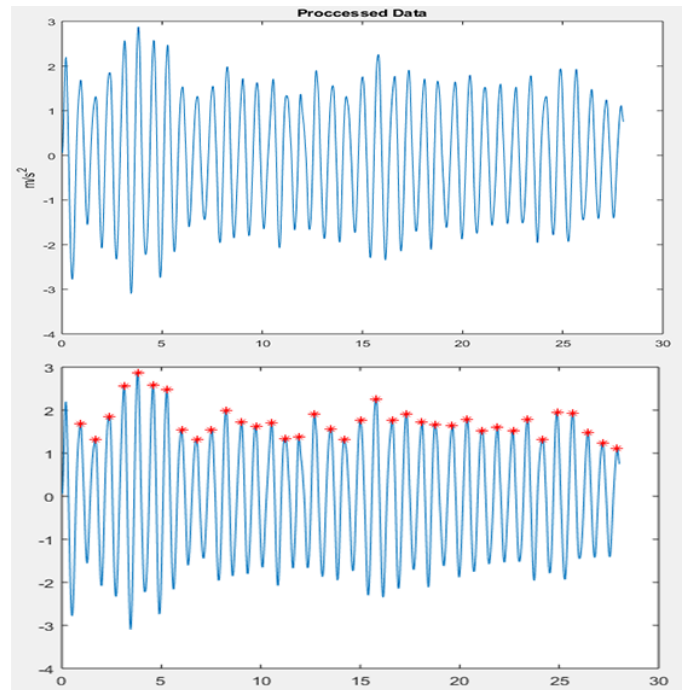
Hình 4. Tín hiệu $|Acc|$ thô trong miền thời gian.



Hình 6. Đáp ứng biên độ của bộ lọc thông dải.



Hình 5. Tín hiệu $|Acc|$ thô trong miền tần số.



Hình 7. Tín hiệu $|Acc|$ thô sau khi qua bộ lọc (hình trên), và Tín hiệu $|Acc|$ được xác định đỉnh (hình dưới).

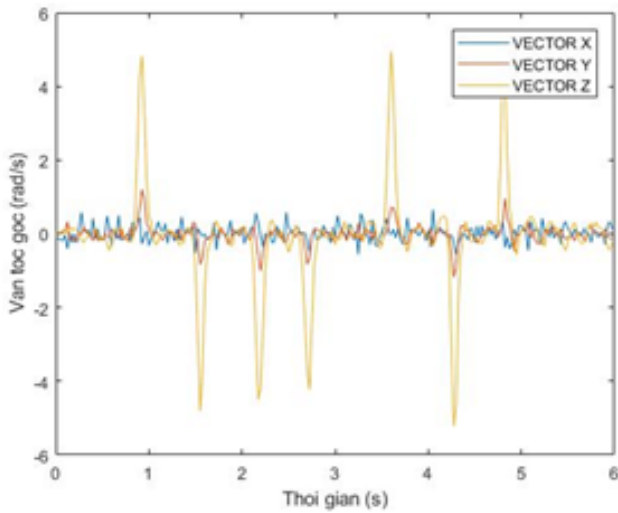
2.1.2 Xác định chiều dài bước chân dựa trên dữ liệu cảm biến gia tốc

Hệ thống PDR truyền thống thường yêu cầu việc xác định chiều dài bước chân để tăng độ chính xác. Các sai chân phụ thuộc vào một số yếu tố như vận tốc đi bộ, tần số bước, và chiều cao của người đi,... sai chân không phải là hằng số và có thể thay đổi theo các yếu tố phụ thuộc. Do đó, tham số chiều dài bước phải được xác định liên tục trong quá trình đi bộ để có được khoảng cách di chuyển chính xác. Phương pháp xác định độ dài bước cũng thu được bằng cách phân tích mối quan hệ giữa sai bước, giai đoạn bước, và sự tăng tốc [6]. Trong quá trình thực nghiệm, nhóm tác giả nhận thấy các phương pháp xác định chiều dài bước phức tạp, dễ dẫn đến sai số và không ảnh hưởng nhiều đến sai số tổng cộng so với sai số gây ra do xác định bước. Vì vậy, để hệ thống đơn giản, nhóm tác giả lựa chọn kích thước bước cố định bằng $0,6m$.

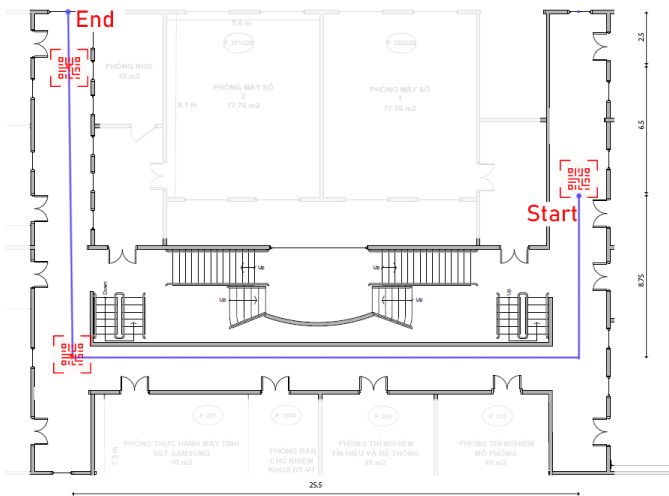
2.1.3 Xác định hướng của đối tượng Hướng của đối tượng thông thường có thể được xác định bởi tín hiệu thu được từ cảm biến vận tốc góc như trên hình 8 với các đỉnh tương ứng với rẽ trái (giá trị dương) và rẽ phải (giá trị âm). Tuy nhiên, để có giá trị góc chính xác hơn, nhóm tác giả sử dụng thông tin về hướng đối tượng từ cảm biến la bàn (kết hợp của cảm biến vận tốc góc và cảm biến từ).

2.2 Hệ thống PDR kết hợp mã QR

Như đã phân tích ở trên, PDR là hệ thống định vị trong nhà cho độ chính xác tương đối tốt so với các phương pháp khác



Hình 8. Tín hiệu vận tốc góc thô.



Hình 9. Mã QR trên bản đồ định vị.

nhưng chỉ trong khoảng cách ngắn. Để nâng cao độ chính xác của hệ thống, trong phần này, hệ thống PDR sẽ được kết hợp với mã QR.

Mã QR là một loại mã vạch hai chiều, hiện nay được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng do làm đơn giản hóa việc nhập dữ liệu (được thay thế bởi việc quét mã). Mã QR có thể được tạo ra bằng phần mềm có sẵn và phổ biến trên mạng.

Trong hệ thống PDR kết hợp mã QR, các thông tin về vị trí chuẩn hóa khi đối tượng quét mã được lưu trữ trong mã QR.

Khi được sử dụng kết hợp với mã QR, các kết quả xác định vị trí từ hệ thống PDR sẽ được điều chỉnh lại mỗi khi mã QR được quét. Việc điều chỉnh này sẽ loại bỏ các sai số tích lũy vốn có của hệ thống. Mã QR được dán càng nhiều, độ chính xác của hệ thống càng lớn. Tuy nhiên, việc quét mã QR thường xuyên sẽ gây bất tiện cho đối tượng sử dụng. Mã QR chỉ nên được dán với mật độ phù hợp với sai số cho phép của

hệ thống.

Cụ thể là chỉ nên dán khi sai số từ hệ thống định vị bằng PDR quá mức yêu cầu. Hệ thống PDR sai số từ sai số xác định hướng và sai số tích lũy trên quãng đường dài. Nên nhóm tác giả đặt mã QR tại một vài các ngã rẽ và một số điểm trên một quãng đường thẳng dài.

III. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành tại tầng 2, tòa nhà G2, Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội với 3 mã QR được dán tại các vị trí ngẫu nhiên như trên hình 9. Khoảng cách giữa các mã lớn hơn 15m. Tổng chiều dài khảo sát là 61m. Mục đích nhóm nghiên cứu chọn ngã rẽ để kiểm tra độ định hướng và quãng đường đủ dài để khảo sát sai số.

Nhóm nghiên cứu đã thực hiện việc viết ứng dụng trên điện thoại thông minh có hệ điều hành Android (theo thống kê số máy di động sử dụng hệ điều hành Android là nhiều nhất). Các cảm biến cần sử dụng cho hệ PDR là phổ biến và được tích hợp sẵn trên các loại điện thoại thông minh hiện nay.

Hệ thống thực nghiệm:

- Quãng đường thực hiện: Dọc theo hành lang như trên hình 9
- Người tham gia: Hai người tham gia (gọi là C và J)
- Thiết bị: Hai loại điện thoại thông minh được cài ứng dụng thực nghiệm:
 - Sony Z5: hệ điều hành Android 7.0, 3 GB Ram/32 GB Rom
 - OnePlus 6T: hệ điều hành Android 9.0, 8 GB Ram/256 GB Rom
- Quy trình thực hiện
 - Tại điểm "Start", quét mã QR từ ứng dụng.
 - Sau đó tiến hành đi theo lộ trình đến điểm "End".
 - Quét các mã QR trên đường đi.
 - Khi đến điểm "End" thì lưu kết quả (là vị trí được dự đoán bằng hệ thống).
 - Từ kết quả đã lưu, tính sai số giữa vị trí dự đoán và vị trí chính xác.

3.2. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

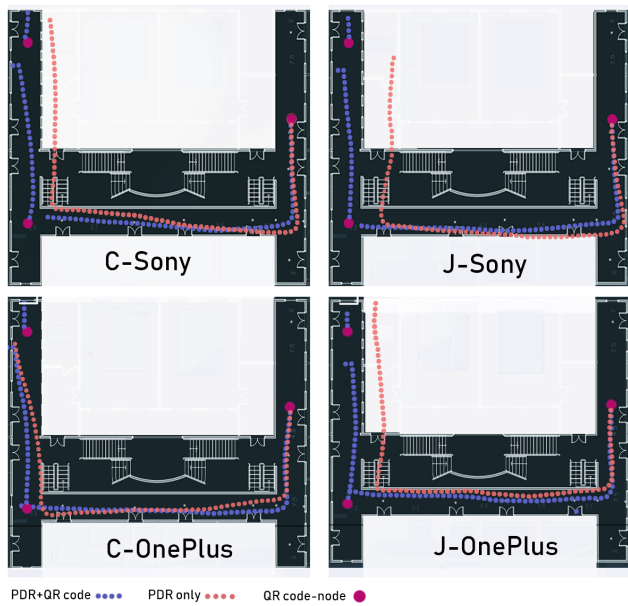
Kết quả thực nghiệm được biểu diễn bằng hình ảnh trên hình 10 và sai số thống kê trên bảng I.

Như biểu diễn trên hình 10, xét đại diện hình trên bên trái (C-Sony), dấu chấm thể hiện việc xác định bước, các chấm đỏ biểu diễn quỹ đạo của hệ PDR trong khi đó quỹ đạo của các chấm xanh là của hệ PDR kết hợp với mã QR. Nhìn chung, hệ thống PDR kết hợp mã QR cho kết quả gần quỹ đạo thực hơn hệ thống PDR truyền thống. Kích thước bước cố định 0.6m phù hợp với đối tượng C hơn. Hướng đối tượng được xác định chính xác.

Lỗi ước lượng vị trí của hệ PDR và PDR kết hợp mã QR (ký hiệu là PDR-mã QR) được đánh giá bởi biểu thức:

$$RMSE = \sqrt{(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_e)^2} \quad (6)$$

với (x_r, y_r) và (x_e, y_e) lần lượt là vị trí thực tế và vị trí ước lượng tại điểm đích (cuối hành lang bên trái của hình 9).



Hình 10. Quỹ đạo thực tế của đối tượng C (bên trái) và J (bên phải) trong trường hợp hệ thống PDR có (màu xanh) và không có (màu đỏ) mã QR.

Bảng I

BẢNG SO SÁNH LỖI ƯỚC LƯỢNG VỊ TRÍ CỦA HỆ PDR VÀ PDR-MÃ QR

Đối tượng/Thiết bị	Phương pháp	Trung bình lỗi (m)	Phương sai lỗi (m)
C-Sony	PDR	4,22	2,55
	PDR - mã QR	0,60	1,60
J-Sony	PDR	5,70	2,90
	PDR - mã QR	0,71	0,49
C-OnePlus	PDR	2,83	3,93
	PDR - mã QR	0,64	1,19
J-OnePlus	PDR	3,97	3,77
	PDR - mã QR	0,63	0,32
Tổng cộng	PDR	4,18	3,28
	PDR - mã QR	0,65	0,90

Bảng I biểu diễn giá trị trung bình và phương sai sai số ước lượng của hệ thống PDR và hệ thống PDR kết hợp mã QR trong 10 lần thử đối với các đối tượng và các loại điện thoại khác nhau.

Từ các số liệu trên bảng I có thể thấy rằng:

- Đối với quãng đường thực nghiệm là 61m, hệ PDR và PDR kết hợp mã QR cho trung bình và phương sai sai số ước lượng vị trí tổng cộng (đối tượng và loại điện thoại khác nhau) lần lượt là 4,18m và 3,28m trong khi hệ PDR kết hợp mã QR là 0,65m và 0,90m. Số liệu này phản ánh rằng lỗi ước lượng của hệ PDR kết hợp mã QR nhỏ (khoảng 6,4 lần) và ổn định hơn so với hệ PDR (do trung bình và phương sai của sai số đều nhỏ). Lỗi ước lượng này là lỗi tích lũy từ mã QR cuối cùng đến cuối hành trình.

Bảng II
BẢNG SO SÁNH VỚI NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Nội dung	Đề xuất	Tài liệu tham khảo [8]
Quãng đường	60 (m)	40 (m)
Số ngã rẽ	2	2
Số lượng mã QR	3	5
Số mã QR tại ngã rẽ	1	2
Sai số	0,65 (m)	0,64 (m)

- Hệ PDR sử dụng điện thoại Sony cho sai số ước lượng lớn hơn điện thoại OnePlus nhưng hệ PDR-mã QR không có hiện tượng này.

Hệ thống đề xuất cũng được so sánh với hệ thống tương đương trong tài liệu tham khảo [8]. Các so sánh chi tiết được biểu diễn trên bảng II. Với sai số tương đương, hệ thống đề xuất có mật độ mã QR ít hơn.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo thực hiện việc xây dựng hệ thống định vị trong nhà sử dụng hệ thống định vị tự trị PDR và loại bỏ sai số tích lũy của hệ thống bằng cách kết hợp với mã QR. Việc loại bỏ sai số này làm tăng độ chính xác của hệ thống đồng thời giúp đơn giản hóa hệ thống (không cần thực hiện ước lượng kích thước bước) mà vẫn đảm bảo sai số ước lượng nhỏ (khoảng 0,65m). Một số vấn đề có thể thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo gồm: tăng độ chính xác của việc phát hiện bước, xác định kích thước bước cố định phù hợp, đánh giá khoảng cách tối ưu sử dụng mã QR.

TÀI LIỆU

- [1] Jiang Xiao, Zimu Zhou, and Youwen Yi, Lionel M. NI, A Survey on Wireless Indoor Localization from the Device Perspective, *ACM Computing Surveys*, Vol. 49, No. 2, Article 25, June 2016.
- [2] Vinjohn V Chirakkal, Myungchul Park, and Dong Seog Han, Exploring Smartphone-Based Indoor Navigation: A QR Code Assistance-Based Approach, *ACM Computing Surveys*, IEIE Transactions on Smart Processing and Computing, vol. 4, no. 3, June 2015.
- [3] Thong Ho-Sy, Filippo Sanfillippo, Vinh Truong-Quang, A Hybrid Algorithm Based on Wifi for Robust and Effective Indoor Positioning, *19th International Symposium on Communications and Information Technologies*, 24-27 September 2019, Ho Chi Minh, Vietnam.
- [4] Ning Yu, Xiaohong Zhan, Shengnan Zhao, Yinfeng Wu, Renjian Feng, A Precise Dead Reckoning Algorithm Based on Bluetooth and Multiple Sensors, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, Issue: 1, Feb. 2018.
- [5] H. Wang, S. Sen, A. Elgohary, M. Farid, M. Youssel, and R.r. Choudhury, No need to war-drive: unsupervised indoor localization, *International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 2012, pp. 197-210.
- [6] Đỗ Đức Trung, *Thực thi hệ thống IPS trên điện thoại thông minh*, Luận văn thạc sĩ, Đại học Công nghệ - ĐHQGHN, 2019.
- [7] Qingchi Zeng, Biao Zhou, Changqiang Jing, Nammoon Kim, Youngok Kim, A Novel Step Counting Algorithm Based on Acceleration and Gravity Sensors of a Smart-Phone, *International Journal of Smart Home*, Vol. 9, (No. 4), pp. 211-224, 2015.
- [8] Vinjohn V Chirakkal, Myungchul Park, and Dong Seog Han, Exploring Smartphone-Based Indoor Navigation: A QR Code Assistance-Based Approach, *IEIE Transactions on Smart Processing and Computing*, vol. 4, no. 3, June 2015.