

XÂY DỰNG HỆ THỐNG XÁC ĐỊNH ĐỘ CAO BÊN TRONG NHÀ VÀ CÔNG TRÌNH SỬ DỤNG ĐA CẢM BIẾN ÁP SUẤT

Hoàng Thế Hợp¹, Phạm Văn Thành^{1,2}, Trần Thị Thúy Quỳnh¹, Nguyễn Hữu An², Nguyễn Tuấn Khải¹, Trần Đức Tân¹

¹Đại học Công Nghệ - Đại học Quốc Gia Hà Nội

²Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy

Email: hop97.hh@gmail.com, phamvanthanh1209@gmail.com, quynhk9d1@gmail.com,

trangkhuyetnguyen@gmail.com, ntkhai666@gmail.com, tantd@vnu.edu.vn

Tóm tắt— Định vị độ cao đóng vai trò quan trọng trong bài toán định vị bên trong nhà và công trình. Các phương pháp định vị trong nhà trước đây hầu hết tập trung vào xác định vị trí trên mặt phẳng nằm ngang mà chưa chỉ ra vị trí theo phương thẳng đứng. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất thuật toán xác định vị trí theo độ cao hỗ trợ cho các hệ thống định vị trong nhà và công trình. Bên cạnh đó, những tác động của môi trường như độ ẩm, nhiệt độ đến áp suất cũng được xem xét và loại bỏ. Bài báo đề xuất hệ thống sử dụng đa cảm biến áp suất kết hợp thuật toán căn chỉnh “Standard Deviation” để hạn chế nhiễu do môi trường tác động lên độ chính xác của kết quả đo. Phương pháp đề xuất đã được thử nghiệm nhiều lần ở các khu vực khác nhau và đạt kết quả rất tốt.

Từ khóa— Định vị độ cao, cảm biến áp suất, định vị trong nhà, tình huống khẩn cấp.

I.

II. GIỚI THIỆU

Định vị trong nhà đang là xu hướng nghiên cứu được nhiều nhà khoa học trong nước và trên thế giới quan tâm. Hệ thống định vị trong nhà (IPS) đang được ứng dụng rất nhiều trong thực tế hiện nay như: tìm địa điểm của người trong nhà và công trình, hỗ trợ định vị trong các tình huống khẩn cấp,... Tuy nhiên, để đáp ứng được các yêu cầu trên đòi hỏi các nhà nghiên cứu xây dựng hệ thống IPS có độ chính xác cao với chi phí thấp và không phải thiết lập trước các điều kiện môi trường.

GPS là công nghệ định vị được ứng dụng rộng rãi hiện nay để định vị vị trí, tìm đường,... Mặc dù vậy, đối với môi trường trong nhà và công trình, GPS không thể ứng dụng được bởi vì sự suy hao lớn do tường, các vật cản của tòa nhà. Để khắc phục nhược điểm của công nghệ này, nhiều công trình nghiên cứu đã đề xuất các giải pháp khác nhau, điển hình như công trình công bố [1] đề xuất kết hợp cảm biến áp suất và công nghệ GPS. Tuy nhiên, đối với phương pháp này, những thay đổi về điều kiện môi trường sẽ dẫn đến sự sai lệch lớn trong kết quả đo được, độ tin cậy của hệ thống thấp. Một hướng nghiên cứu khác đề xuất xây dựng hệ thống IPS dựa vào cường độ tín hiệu thu được (RSSI) từ các thiết bị đã lắp đặt trước để xác định vị trí theo độ cao [2] hoặc xác định thời gian sóng đến (ToA) và góc sóng đến (AoA) [3] để xác định vị trí của người theo chiều dọc. Các phương pháp thiết lập trước các điều kiện này có ưu điểm là độ chính xác cao. Tuy nhiên, hệ thống yêu cầu phải lắp

đặt trước các điểm phát sóng (access points) trong nhà và công trình. Các phương pháp này cần chi phí lắp đặt lớn đồng thời khi có những thay đổi vị trí thiết bị phát sóng trong tòa nhà thì hệ thống sẽ xác định sai thông tin về vị trí của người bên trong nhà và công trình. Điều này không phù hợp khi triển khai trên diện rộng hoặc những trường hợp khẩn cấp ví dụ như hỏa hoạn, cứu nạn, cứu hộ.

Một hướng nghiên cứu khác đang thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trên thế giới đó là sử dụng cảm biến áp suất [4-14] để xác định vị trí của người bên trong nhà và công trình dựa trên giá trị áp suất đo được từ cảm biến. Hướng nghiên cứu này không đòi hỏi phải thiết lập trước các điểm thu phát sóng giúp giảm giá thành của hệ thống, có độ linh hoạt cao và phù hợp để định vị độ cao trong những môi trường không biết trước. Điển hình như công trình nghiên cứu [5] sử dụng một cảm biến áp suất để xác định vị trí theo chiều cao, phương pháp đề xuất này dễ bị tác động bởi thời tiết, khi nhiệt độ, độ ẩm thay đổi sẽ làm sai lệch thông tin về vị trí thu được. Để khắc phục vấn đề này, nhóm tác giả đề xuất sử dụng đa cảm biến áp suất trong quá trình xác định vị trí của người theo độ cao, việc kết hợp thông tin từ nhiều cảm biến áp suất giúp hạn chế các tác động từ điều kiện thời tiết và do đó tăng độ chính xác của hệ thống. Bằng cách sử dụng tín hiệu thu được từ nhiều cảm biến áp suất để tự động căn chỉnh cảm biến giúp hệ thống ổn định ngay cả khi có sự thay đổi về các tham số của môi trường như nhiệt độ, độ ẩm hoặc thực hiện đo đạc, thu thập dữ liệu tại các vị trí khác nhau.

Bố cục của bài báo được tổ chức như sau: phần I nêu tổng quan các phương pháp định vị vị trí theo chiều cao; phần II, miêu tả mô hình đề xuất. Trong phần III, trình bày thuật toán đề xuất sử dụng trong bài báo. Phần IV trình bày các kết quả mô phỏng và thảo luận. Cuối cùng, kết luận bài báo được nêu trong phần V.

III. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

1. Cơ sở lý thuyết

Dễ dàng nhận thấy rằng áp suất không khí giảm đi khi chúng ta lên cao với cùng điều kiện nhiệt độ. Hiện tượng này được mô tả bởi công thức được đề cập trong công trình công bố [10]. Bằng cách sử dụng cảm biến áp suất để xác định độ lớn áp suất không khí, ta hoàn toàn xác định được độ chênh lệch chiều cao tương ứng. Công trình công bố số [10] giúp chúng ta dễ dàng tính được chiều cao tương đối của một đối tượng so với một điểm mốc tham chiếu:

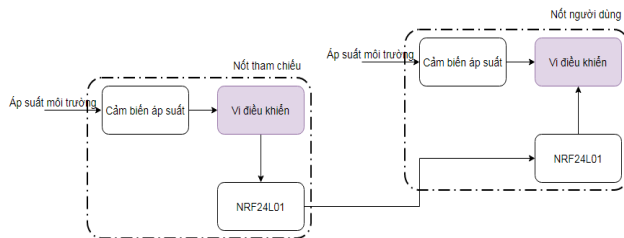
$$p(z) = p(0) \exp\left(-\frac{mgz}{kT}\right) \quad (1)$$

trong đó, $p(z)$ là áp suất tại chiều cao z , $p(0)$ là áp suất tại điểm tham chiếu, m là khối lượng phân tử của không khí khô, g là độ lớn gia tốc trọng trường, k là hằng số Boltzmann và T là nhiệt độ. Công thức trên giả định rằng nhiệt độ ở chiều cao $p(0)$ và $p(z)$ là bằng nhau. Để phù hợp với việc tính toán chiều cao dựa trên áp suất chúng ta sử dụng công thức đã được nêu ra trong [11][12]:

$$\text{Độ cao} = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{5.255}}\right) \quad (2)$$

2. Thiết kế hệ thống

Hệ thống gồm có ba thành phần chính: Kit Aduino Uno, cảm biến BMP180, bộ thu phát không dây NRF24L01. Một tổ hợp của Kit Aduino Uno, cảm biến BMP180 và NRF24L01 tạo thành một nút để truyền nhận và xử lý dữ liệu. Đầu tiên, hai cảm biến sẽ được căn chỉnh tại thời điểm ban đầu. Dữ liệu áp suất sẽ được thu từ cảm biến BMP180 và được lưu trữ, xử lý bởi Aduino Uno. Sau đó, dữ liệu áp suất của nút tham chiếu được truyền đến nút của người dùng. Dữ liệu áp suất này cùng với áp suất đo được từ nút người dùng sẽ được so sánh để xác định độ chênh lệch giữa nút người dùng và nút tham chiếu tại thời điểm ban đầu. Giá trị chênh lệch này được sử dụng để căn chỉnh hai cảm biến trong quá trình ước lượng chiều cao tương đối. Sau khi căn chỉnh, dữ liệu từ cảm biến của nút tham chiếu, nút người dùng và dữ liệu căn chỉnh được kết hợp để xác định chiều cao của người dùng đang đứng so với vị trí tham chiếu. Cuối cùng, thông tin vị trí người dùng được tính toán dựa trên chiều cao tương đối, thông tin độ cao các tầng, độ cao của nhà/công trình để xác định vị trí tầng hiện tại của người dùng.



Hình 1. Sơ đồ khối của hệ thống

Các thành phần phần cứng của hệ thống:

- Aduino Uno: một board mạch xử lý giúp xây dựng ứng dụng tương tác với nhau hoặc với môi trường.
- Cảm biến BMP180: Cảm biến đo áp suất tích hợp nhiệt độ.
- NRF24L01: Mô-đun truyền phát sóng vô tuyến.

IV. THUẬT TOÁN

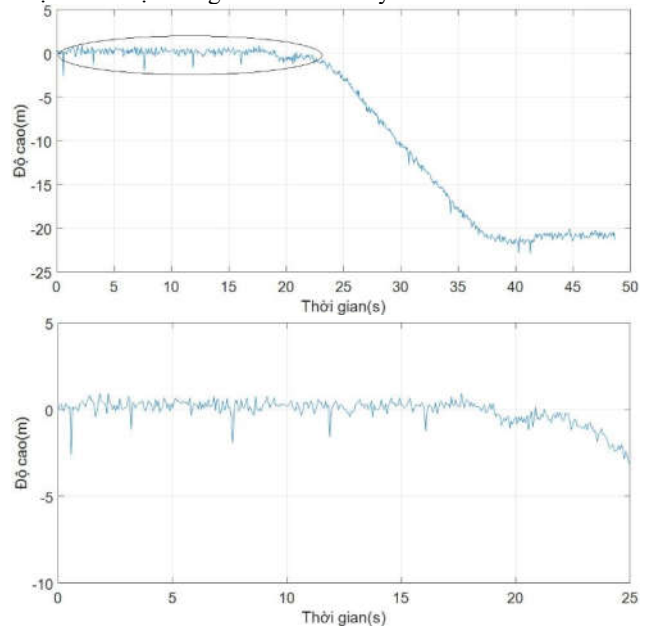
1. Căn chỉnh cảm biến

a. Tần số lấy mẫu và cửa sổ thời gian

Tần số lấy mẫu và cửa sổ thời gian quyết định một phần không nhỏ đến độ chính xác của giá trị áp suất đo được cũng như giá trị độ cao xác định. Từ một loạt các thí nghiệm về giá trị của cửa sổ thời gian được thực hiện trong [14], chúng tôi thu được kết luận rằng cửa sổ thời gian với giá trị càng lớn thì càng giúp loại bỏ được các thành phần tín hiệu bất thường. Ở một khía cạnh khác, tăng giá trị của cửa sổ thời gian cũng đồng nghĩa với khối lượng tính toán lớn, hệ thống sẽ đáp ứng với sự thay đổi giá trị độ cao chậm hơn dẫn tới không đảm bảo tính thời gian thực. Vì vậy, việc lựa chọn cửa sổ có độ lớn phù hợp đóng vai trò rất quan trọng. Qua các thực nghiệm và tính toán, cửa sổ có khung thời gian 1.5s và tần số lấy mẫu 10Hz là giá trị cửa sổ và tần số lấy mẫu phù hợp, điều này đã chỉ ra trong công trình công bố [14] của nhóm tác giả.

b. Xử lý sự sai lệch gây ra bởi điều kiện môi trường

Một trong những nhược điểm của cảm biến áp suất là loại cảm biến này rất nhạy với sự thay đổi của môi trường. Các luồng không khí chuyển động ngẫu nhiên (các cơn gió, sự tác động của con người, ...) trong môi trường gây ra những sai lệch không mong muốn lên giá trị áp suất. Sự sai lệch này được minh họa trong Hình 2 dưới đây:

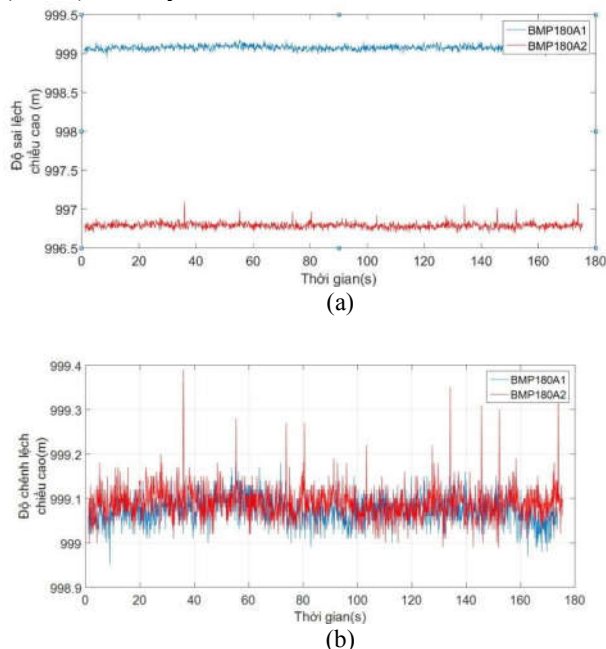


Hình 2. Sự sai lệch do sự tác động của các dòng không khí chuyển động ngẫu nhiên

Độ chính xác của hệ thống bị tác động rất lớn bởi những sự sai lệch gây ra bởi điều kiện môi trường. Như trên Hình 2, trong khoảng thời gian 22 giây đầu, người dùng đứng yên nhưng giá trị cảm biến có sự dao động lớn, đôi lúc sai số theo chiều cao lên đến 2.5m (xem Hình 2). Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi sử dụng phương pháp lọc giúp loại bỏ những tác động không mong muốn lên tín hiệu này. Phương pháp này đã được nêu ra trong công trình [14] của chúng tôi.

c. Bù đắp sai lệch giữa các cảm biến tại thời điểm ban đầu

Sự khác nhau trong quá trình chế tạo khiến các cảm biến đo được các giá trị khác nhau dù được đặt trong cùng một điều kiện [13]. Hình số 3(a) cho thấy sự chênh lệch của giá trị áp suất đo được của hai cảm biến BMP180 ở cùng một độ cao trong trạng thái tĩnh. Qua các quá trình đo đạc thực nghiệm, nhóm tác giả thu được kết luận rằng giá trị chênh lệch này có xu hướng không đổi nếu các cảm biến được đặt trong cùng một điều kiện mặc dù ở các chiều cao khác nhau. Do đó giá trị này cần được bù trừ tại thời điểm ban đầu của hệ thống để tránh những sai lệch về sau. Hình 3(b) biểu diễn kết quả thu được sau khi bù trừ hai cảm biến, cảm biến BMP180A2 (BMP2) được lấy làm mốc tham chiếu.



Hình 3. (a) Giá trị áp suất đo được từ hai cảm biến BMP180A1 (BMP1) và BMP180A2 (BMP2); (b) Cảm biến BMP2 được dùng làm chuẩn và căn chỉnh cảm biến BMP1.

2. Thuật toán đề xuất

Hình 4 là lưu đồ thuật toán được đề xuất trong bài báo, căn cứ trên lưu đồ thuật toán thấy rằng, ban đầu các cảm biến BMP180 sẽ thu thập các giá trị áp suất và nhiệt độ. Tại pha đầu tiên của quá trình đo đạc, dữ liệu nhiệt độ được sử dụng để căn chỉnh cho từng cảm biến BMP180. Tín hiệu áp suất của nốt người dùng và tín hiệu áp suất tham chiếu sau đó sẽ kết hợp với thuật toán “Standard Deviation” đã được công bố trong công trình số [14] của nhóm tác giả. Thuật toán “Standard Deviation” được sử dụng để loại bỏ các thành phần tín hiệu bất thường thu được từ cảm biến. Dữ liệu từ nốt tham chiếu (BMP1) và dữ liệu của nốt người dùng (BMP2) sau khi được căn chỉnh với giá trị nhiệt độ và xử lý lọc bằng thuật toán “Standard Deviation”, sẽ được truyền về khối xử lý trung tâm tại nốt người dùng. Khối xử lý trung tâm sẽ so sánh dữ liệu thu

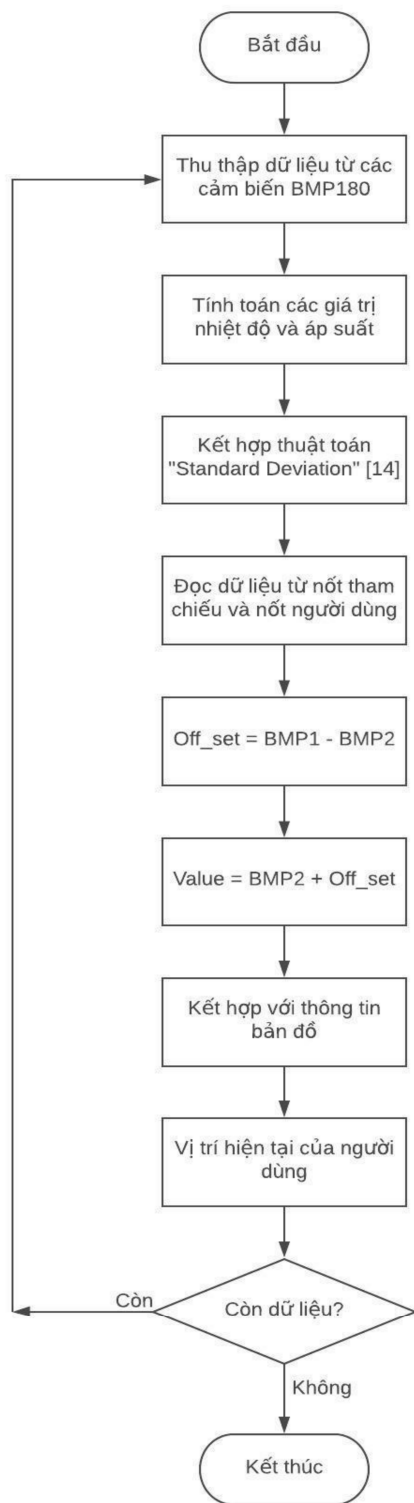
được từ 2 cảm biến để tính ra giá trị Off_set (giá trị Off_set là giá trị áp suất khác nhau giữa 2 cảm biến BMP180 tại cùng 1 vị trí và thời điểm). Giá trị Off_set được dùng để kết hợp với tín hiệu thu được từ nốt cảm biến của người dùng để căn chỉnh vị trí gốc tọa độ ban đầu của người dùng bởi công thức dưới đây:

$$Off_set = BMP1_{window_size} - BMP2_{window_size} \quad (3)$$

trong đó, Off_set là giá trị khác biệt trung bình giữa tín hiệu áp suất thu được từ nốt tham chiếu BMP1 và nốt người dùng BMP2 trong khung cửa sổ $window_size$. Trong bài báo này, kích thước cửa sổ $window_size$ dùng trong quá trình căn chỉnh cảm biến ở thời điểm ban đầu được chọn bằng 10 mẫu tín hiệu.

$$Value = BMP2 + Off_set \quad (4)$$

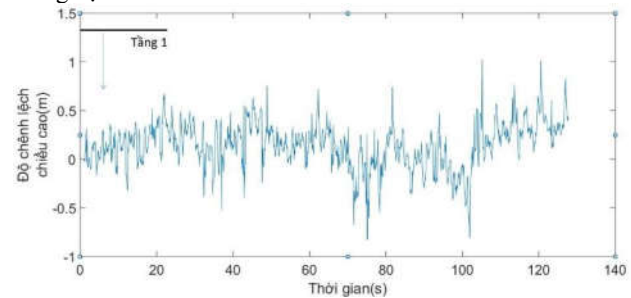
$Value$ là giá trị áp suất thu được từ nốt người dùng sau khi căn chỉnh với nốt tham chiếu. Tại pha thứ hai của quá trình đo đạc, sau khi loại bỏ các thành phần tín hiệu không mong muốn và căn chỉnh giá trị off_set , độ chênh lệch áp suất của các nốt được tính để xác định chiều cao (thông qua công thức số 2) so với vị trí tham chiếu. Thông tin độ cao được kết hợp với thông tin bản đồ của nhà/công trình để tìm ra vị trí hiện tại của người sử dụng ở bên trong nhà/công trình. Lưu đồ thuật toán chi tiết như Hình 4.



Hình 4. Thuật toán xác định độ cao kết hợp thông tin của 2 cảm biến BMP180

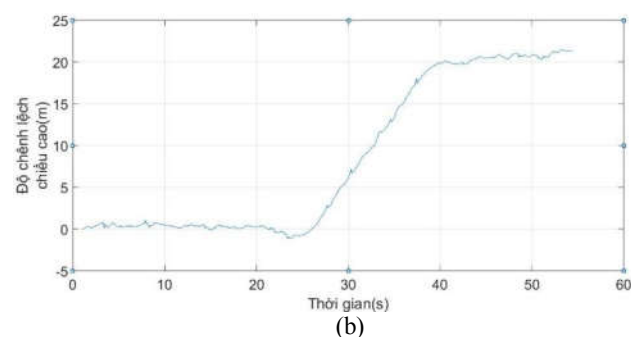
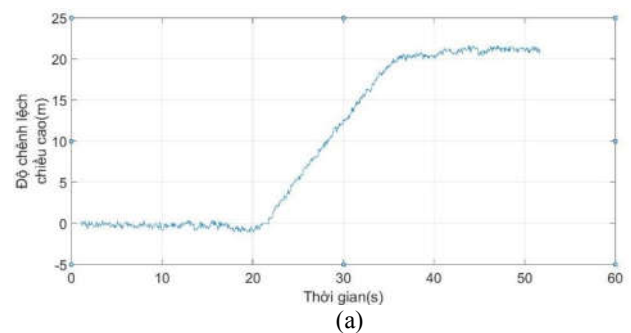
V. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thực nghiệm được tiến hành tại tòa nhà E3 của Đại học Công Nghệ, tòa nhà 4 tầng và nhà 7 tầng – trường Đại học Phòng cháy chữa cháy. Nốt tham chiếu được đặt tại tầng 1 của các tòa nhà. Trong quá trình thực nghiệm, nốt người dùng được cầm trên tay để di chuyển lên các tầng bằng thang máy và thang bộ.



Hình 5. Độ chênh lệch áp suất giữa hai cảm biến tại vị trí ban đầu.

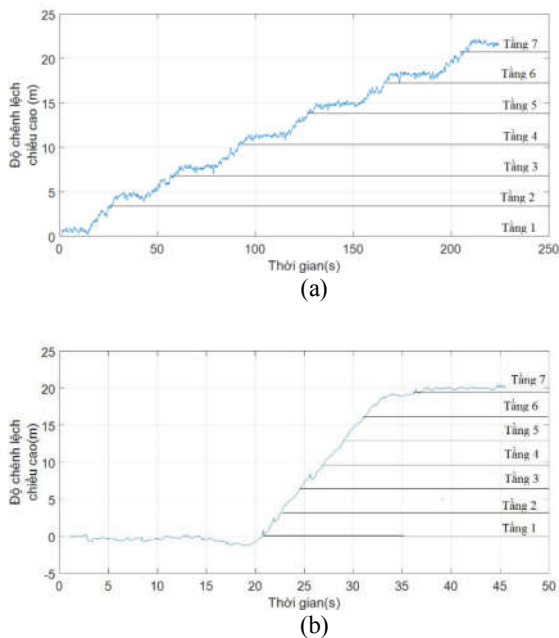
Tại tầng 1 của tòa nhà, các căn chỉnh cảm biến được thực hiện và thu được kết quả như Hình 5 Kết quả này cho thấy sự dao động của giá trị chênh lệch chiều cao vào khoảng 0.4m, giá trị cao nhất là 1m. với một ngôi nhà cao tầng có độ cao từ sàn đến trần vào khoảng 3.2m đến 3.5m, độ sai lệch này hoàn toàn có thể chấp nhận được.



Hình 6 Độ chênh lệch chiều cao thu được từ phép đo bằng 1 cảm biến áp suất (a) và hệ thống tích hợp 2 cảm biến áp suất (b).

Khi so sánh với hệ thống chỉ gồm một cảm biến áp suất, hệ thống sử dụng 2 cảm biến áp suất cho kết quả tốt hơn hẳn. Hình 6(a) biểu diễn độ chênh lệch chiều cao giữa áp suất đo được tại vị trí của người dùng sử dụng 1 cảm biến áp suất; Hình 6(b) là kết quả hệ thống xác định độ cao sử dụng 2 cảm biến áp suất.

Hình 7 dưới đây là kết quả thực nghiệm đo được tại nhà 7 tầng, mỗi tầng của tòa nhà cao 3,2m – trường Đại học Phòng cháy chữa cháy bao gồm kịch bản đi cầu thang bộ và đi thang máy từ tầng 1 lên tầng 7. Các thực nghiệm này đều cho kết quả chính xác trong việc xác định độ cao. Trong quá trình lấy mẫu, đôi lúc có sự thay đổi đột ngột của áp suất do tốc độ đi của người lấy mẫu chưa thực sự đều đặn. Tuy nhiên, độ sai lệch này là rất nhỏ, không ảnh hưởng đến độ chính xác của hệ thống. Trong thực nghiệm xác định vị trí độ cao khi sử dụng thang máy, do hệ thống quạt gió trong thang máy, lúc trước khi bước vào thang, áp suất của cảm biến ở nốt người dùng đột nhiên tăng mạnh sau đó là quá trình thang máy di chuyển. Độ dao động của các giá trị đo không nhiều, vị trí của người sử dụng theo chiều cao bên trong nhà và công trình được xác định một cách chính xác như Hình 7 dưới đây:



Hình 7. Kết quả đo thực nghiệm xác định tầng của hệ thống (a) đi bộ, (b) đi thang máy.

VI. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mô hình, thuật toán loại bỏ sự sai lệch do tác động của các dòng không khí bất chợt, sự thay đổi của các điều kiện môi trường. Kết quả cho thấy độ chính xác của hệ thống xác độ cao là rất tốt và hoàn toàn có thể ứng dụng được trong tương lai phục vụ cho các hệ thống định vị trong nhà và công trình. Trong nghiên cứu tiếp theo chúng tôi sẽ tích hợp hệ thống xác định độ cao này vào hệ thống định vị trong nhà mà chúng tôi đang nghiên cứu để nâng cao hiệu quả định vị của hệ thống trong nhà (IPS).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zaliva, V., and Franchetti, F. "Barometric and GPS altitude sensor fusion", In *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Florence, Italy, 2014, 7575–7579.
- [2] Firas Alsehly, Tughrul Arslan and Zankar Sevak, "Indoor positioning with floor determination in multi-story buildings", In *2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, Portugal, 21-23 Sept. 2011
- [3] J. A. del Peral-Rosado, M. Bavaro, J. A. Lopez-Salcedo, G. SecoGranados, P. Chawdhry, J. Fortuny-Guasch, P. Crosta, F. Zanier, and M. Crisci, "Floor Detection with Indoor Vertical Positioning in LTE Femtocell Networks" in *IEEE Globecom Workshops*, Dec 2015.
- [4] Bollmeyer, C.; Esemann, T.; Gehring, H.; Hellbruck, H. "Precise indoor altitude estimation based on differential barometric sensing for wireless medical applications". In *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Body Sensor Networks (BSN)*, Cambridge, MA, USA, 6–9 May 2013.
- [5] Bolanakis, D. E., Kotsis, K. T., and Laopoulos, T. "A prototype wireless sensor network system for a comparative evaluation of differential and absolute barometric altimetry". *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 30(2015), 20 – 28.
- [6] Liu, K., Wang, Y., and Wang, J. "Differential barometric altimetry assists floor identification in WLAN location fingerprinting study". In *Principle and Application Progress in Location – Based Services*. New York: Springer International Publishing, 2014, pp 21 – 29.
- [7] Bollmeyer, C., Pelka, M., Gehring, H., and Hellbruck, H. "Evaluation of radio based, optical and barometric localization for indoor altitude estimation in medical applications". In *Proceedings of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, Bexco, Busan, Korea, 2014.
- [8] Hamid Mohammed Ali, Alaa Hamza Omran. "Floor identification using smartphone barometer sensor for indoor positioning". In *International journal of engineering sciences and research indoor positioning*, Ali, 2015.
- [9] L. Binghao, B. Harvey, and T. Gallagher, "Using barometers to determine the height for indoor positioning". In *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 2013, pp. 1-7.
- [10] Berberan-Santos, M.N.; Bodunov, E.N.; Pogliani, L. On the barometric formula. *Am. J. Phys.* 1997, 65, 404 – 412.
- [11] Dimosthenis E. Bolanakis. "MEMS Barometers Toward Vertical Position Detection Background Theory, System Prototyping, and Measurement Analysis", 2017.
- [12] H. Xia, X. Wang, Y. Qiao, J. Jian, and Y. Chang, "Using Multiple Barometers to Detect the Floor Location of Smart Phones with Built-in Barometric Sensors for Indoor Positioning," *Sensors*, Vol. 14, No. 4, 21015, pp. 7857-7877.
- [13] D. E. Bolanakis, "Evaluating performance of MEMS barometric pressure sensors in differential altimetry systems" *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 32, no. 9, pp. 34-39, 2017.
- [14] Nguyen Van Duong, Pham Van Thanh, Tran Van An, Nguyen Tuan Khai, Duong Thi Thuy Hang, Hoang The Hop, Tran Duc Tan, "Elevator Motion States Recognition Using BarometerSupport Indoor Positioning System", *International Conference in Vietnam on the Development of Biomedical Engineering*, Ho Chi Minh City, Vietnam, June 2018.