

Thiết kế chế tạo thiết bị đeo cho người khiếm thị

Design and Implement a Wearable Device for Visually Impaired People

Trần Hải Nam*, Nguyễn Minh Đức, Đỗ Hạnh

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội – Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 10-7-2017; chấp nhận đăng: 25-01-2018

Tóm tắt

Chữ nổi và gậy dò đường là hai công cụ đặc biệt quan trọng trong đời sống của người khiếm thị. Chữ nổi giúp người khiếm thị có thể học tập, làm việc và cập nhật các thông tin để họ không bị lạc hậu so với xã hội, gậy dò đường giúp người khiếm thị di chuyển mà không phải dựa vào sự trợ giúp của người khác. Trong bài báo này chúng tôi đề xuất một thiết bị đeo cho người khiếm thị có khả năng kết nối không dây với điện thoại di động thông minh để gửi hoặc nhận và hiển thị dưới dạng chữ nổi các thông tin xuất hiện trên điện thoại. Hơn nữa, thiết bị đeo còn có tính năng hỗ trợ di chuyển cho người khiếm thị thông qua việc phát hiện các chướng ngại vật và giúp họ trở lại đúng hướng đi ban đầu sau khi đã vượt qua chúng.

Từ khóa: Người khiếm thị, Chữ nổi Braille, Thiết bị đeo, Bluetooth năng lượng thấp, Android, Điện thoại di động thông minh.

Abstract

Braille language and white cane are the especially important tools in visually impaired people's life. Braille helps visually impaired people learn, work and update information to integrate them into normal social life. White cane assists them to walk confidently without supporting from other people. In this paper, we propose a wearable device for visually impaired people which is able to communicate with smartphone via Bluetooth connection to send or receive information, then display that information by Braille language. In addition, this device also has the moving assistance function for the visually impaired by detecting obstacles and guiding them to return to their way after passing those obstacles.

Keywords: Visually impaired people, Braille, Wearable device, Bluetooth Low Energy, Android, Smart phone.

1. Đặt vấn đề

Theo thống kê của Tổ chức y tế thế giới, hiện trên thế giới có khoảng 285 triệu người khiếm thị với hơn 90% trong số đó đang sống ở những quốc gia đang phát triển hoặc có thu nhập thấp, vì thế cơ hội cho một nền giáo dục, việc làm và hội nhập xã hội trong một thời gian dài trước đây là rất hiếm và vượt quá mong đợi của hầu hết những người khiếm thị trên toàn thế giới [1,2].

Trong những năm qua, có rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm phát triển các thiết bị điện tử trợ giúp cho người khiếm thị. Trong lĩnh vực hiển thị chữ nổi có thể kể đến thiết bị do R. Sarkar và các cộng sự đề xuất giúp người khiếm thị có thể đọc được các tin nhắn mà người khác gửi đến điện thoại di động của mình. Nhược điểm của thiết bị này là không có tính di động do phải gắn với một máy tính cá nhân [3]. Trong lĩnh vực hỗ trợ di chuyển cũng có rất nhiều nghiên cứu đáng quan tâm, K. Laubhan và các cộng sự phát triển một thiết bị với một hệ thống cảm biến siêu âm giúp phát hiện các chướng ngại vật nằm trên đường di chuyển của người khiếm thị, thông tin về khoảng cách tới chướng ngại vật được xử lý và thông

báo cho người khiếm thị thông qua tai nghe không dây [4]. Nhược điểm của thiết bị này là người khiếm thị phải luôn tập trung nghe để nhận được các thông tin trợ giúp, và như vậy họ khó có thể nghe được các âm thanh khác từ môi trường xung quanh, trong khi điều này lại đặc biệt quan trọng do người khiếm thị luôn cần sử dụng thính giác để có một hình dung tổng quan về môi trường mà họ đang di chuyển. M. Nassih và các cộng sự đề xuất gắn một đầu đọc RFID lên gậy dẫn đường truyền thống, bộ xử lý trung tâm của thiết bị sẽ đọc các thẻ RFID được gắn trên đường di chuyển của người khiếm thị và qua đó xác định được vị trí hiện tại của họ. Tuy nhiên giá thành của hệ thống này tương đối cao do yêu cầu phải gắn thẻ RFID dọc theo các tất cả các con đường [5].

Ngoài ra, việc thiếu thông tin tham khảo từ môi trường do mất khả năng thị giác làm người khiếm thị có xu hướng di chuyển thành vòng tròn [6]. Do đó, ngay từ khi còn nhỏ người khiếm thị đã được huấn luyện sử dụng gậy dò đường để tìm kiếm các dấu hiệu chỉ dẫn trên hàng gạch lát vỉa hè đặc biệt dành riêng cho họ, tuy nhiên ở các quốc gia đang phát triển, các hàng gạch lát kiểu này chưa được trang bị nhiều, thêm vào đó mật độ các phương tiện giao thông lớn và số lượng các chướng ngại vật trên đường dày đặc làm cho việc di chuyển của người khiếm thị

Địa chỉ liên hệ: Tel: 0904302237
Email: nam.tranhai@hust.edu.vn

trở nên tương đối khó khăn và tiềm ẩn nhiều nguy hiểm.

Chính vì vậy mục đích nghiên cứu này của chúng tôi là thiết kế một thiết bị đeo kết hợp được cả hai chức năng hiển thị chữ nổi và hỗ trợ di chuyển cho người khiếm thị đồng thời khắc phục nhược điểm của các thiết bị kể trên. Cụ thể hơn, thiết bị đeo được đề xuất có khả năng kết nối không dây với điện thoại di động thông minh để gửi hoặc nhận và hiển thị dưới dạng chữ nổi các thông tin xuất hiện trên điện thoại cũng như hỗ trợ cho người khiếm thị khi di chuyển thông qua việc phát hiện các chướng ngại vật và đưa ra cảnh báo đồng thời giúp họ trở lại hướng đi ban đầu sau khi vượt qua được chướng ngại vật.

Để đạt được hiệu quả cao về độ tin cậy, mức độ tiêu thụ năng lượng, tính di động và giá thành, các tiêu chí sau đây sẽ được xem xét trong quá trình thiết kế [7]:

- Không yêu cầu người khiếm thị phải giữ thiết bị trong lòng bàn tay, giúp họ có thể sử dụng đôi tay của mình một cách chủ động.
- Không yêu cầu người khiếm thị phải nghe các hướng dẫn hay cảnh báo bằng âm thanh, giúp họ có thể sử dụng thính giác trong việc xây dựng cảm nhận tổng quan về môi trường xung quanh.
- Đeo được để làm tăng độ linh hoạt cho người sử dụng khi di chuyển.
- Dễ dùng và không yêu cầu quá trình huấn luyện phức tạp để có thể sử dụng.
- Giá thành rẻ để người khiếm thị có thu nhập thấp cũng có khả năng tiếp cận và sử dụng được.

2. Triển khai hệ thống

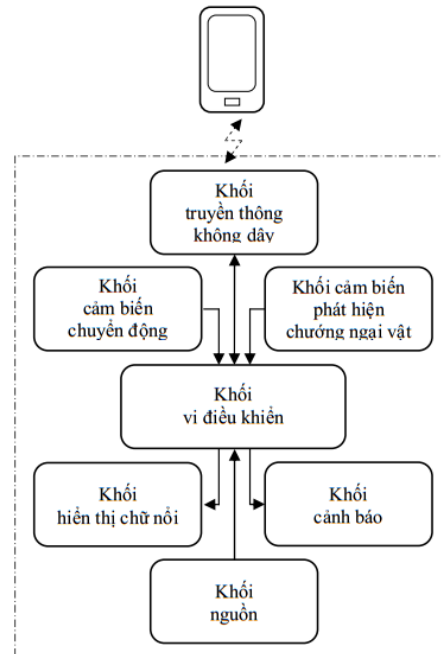
2.1. Thiết kế phần cứng

Dựa trên các tiêu chí tổng quát đã nêu ở phần trên, chúng tôi xây dựng bộ chỉ tiêu kỹ thuật cho thiết bị như được mô tả trong bảng 1.

Bảng 1. Bộ chỉ tiêu kỹ thuật của thiết bị

Bộ xử lý trung tâm	ATmega1280
Giao tiếp không dây	Bluetooth LE
Cảm biến phát hiện chướng ngại vật	Hồng ngoại, phạm vi 20 ÷ 150 cm
Cảm biến chuyển động	Con quay hồi chuyển, 3 trục
Chế độ hiển thị	Chữ nổi, 2 ký tự
Chế độ cảnh báo	Rung, 2 động cơ
Dòng điện tiêu thụ	~ 450 mA
Loại pin	Li-po, 1800 mAh
Cổng sạc	Micro USB
Kích thước	60x50x30 mm
Trọng lượng	210 g

Cấu trúc của toàn bộ hệ thống được mô tả trong hình 1.



Hình 1. Cấu trúc của hệ thống

Khối vi điều khiển: Khối vi điều khiển có chức năng nhận thông tin từ các khối truyền thông không dây, cảm biến phát hiện chướng ngại vật, cảm biến chuyển động, xử lý rồi gửi các kết quả đến khối hiển thị chữ nổi và khối cảnh báo. Vi điều khiển được sử dụng trong nghiên cứu này là ATmega1280 của Atmel do có kích thước nhỏ, mức độ tiêu thụ năng lượng trong chế độ hoạt động chỉ khoảng 20 mA tại điện áp đầu vào 5v và tần số đồng hồ 16 Mhz. Ngoài ra vi điều khiển ATmega1280 còn được trang bị 128KB Flash đủ để lưu trữ toàn bộ chương trình điều khiển cho thiết bị, 8KB RAM, 4KB EEPROM cùng các chức năng như ADC, Timer, PWM cũng như các giao tiếp I2C, SPI, UART [8].

Khối truyền thông không dây: Khối truyền thông không dây có chức năng nhận các nội dung thông tin xuất hiện trên điện thoại di động thông minh như tin nhắn, thông báo của các chương trình ứng dụng rồi gửi chúng đến khối vi điều khiển và gửi các thông tin trả lời từ khối vi điều khiển đến điện thoại di động thông minh. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng module RFBM-S02 với thiết kế dựa trên chip CC2540 của Texas Instruments, đây là một module cung cấp giải pháp truyền thông không dây tiên tiến hiện nay là Bluetooth Low Energy rất thích hợp với các thiết bị di động với mức độ tiêu thụ năng lượng trong chế độ hoạt động chỉ khoảng 24 mA [9-13].

Khối hiển thị chữ nổi: Khối hiển thị chữ nổi có chức năng hiển thị thông tin giúp người khiếm thị có

thể đọc được thông qua xúc giác, một ký tự chữ nổi được tạo thành từ sáu chốt chia làm hai cột, mỗi cột ba chốt, các chốt được điều khiển đẩy nhô lên hoặc hạ xuống so với bề mặt của thiết bị theo một quy tắc nhất định tạo thành một ký tự [14]. Để thực hiện việc này chúng tôi sử dụng một cụm sáu nam châm điện kích thước nhỏ để điều khiển vị trí của các chốt trong một ký tự chữ nổi.

Khối cảm biến phát hiện chướng ngại vật: Có hai công nghệ cảm biến được sử dụng phổ biến để phát hiện các chướng ngại vật nằm trên đường di chuyển của người khiếm thị là cảm biến siêu âm và cảm biến hồng ngoại. Tuy nhiên, do yêu cầu cần phải tích hợp vào một thiết bị đeo nên cảm biến được lựa chọn phải có kích thước nhỏ gọn, mức độ tiêu thụ năng lượng thấp để đảm bảo thiết bị hoạt động được lâu dài. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng cảm biến hồng ngoại GP2Y0A02YK0F của Sharp. Đây là một cảm biến có phạm vi hoạt động vừa đủ để đảm bảo khoảng không gian phía trước giúp người khiếm thị di chuyển một cách an toàn. Các đặc tính kỹ thuật chính của cảm biến hồng ngoại GP2Y0A02YK0F được mô tả trong bảng 2 [15].

Bảng 2. Các đặc tính kỹ thuật của cảm biến hồng ngoại GP2Y0A02YK0F

Điện áp hoạt động	4.5 ÷ 5v DC
Dòng điện tiêu thụ	33 ÷ 50 mA
Phạm vi hoạt động	20 ÷ 150 cm
Thời gian trễ của phép đo	~ 5 ms
Kích thước cảm biến	44.5 x 21.6 x 18.9 mm

Khối cảm biến chuyển động: Khối cảm biến chuyển động có chức năng xác định vận tốc góc của người khiếm thị qua đó phát hiện hiện tượng lệch hướng khi di chuyển để đưa ra các hướng dẫn giúp họ trở lại đúng hướng đi ban đầu. Trên thực tế để xác định vận tốc góc chỉ cần sử dụng thông tin từ cảm biến con quay hồi chuyển là đủ, tuy nhiên trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng chip cảm biến chuyển động MPU 6050 của Invensense, đây là một chip tích hợp cả cảm biến con quay hồi chuyển 3 trục và cảm biến gia tốc 3 trục với mức độ tiêu thụ năng lượng trong chế độ hoạt động chỉ khoảng 3.9 mA, hơn nữa cảm biến này được trang bị giao tiếp I2C nên rất thuận tiện trong việc trao đổi thông tin với khối vi điều khiển [16]. Việc tích hợp thêm cảm biến gia tốc cho phép phát triển trong tương lai các ứng dụng tiện ích cho thiết bị đeo như đếm số bước chân, tính lượng calo tiêu thụ v.v.. giúp người khiếm thị có thể giám sát tình trạng vận động hoặc thực hiện các bài tập thể dục của mình một cách tốt hơn.

Khối cảnh báo: Khối cảnh báo dựa trên các tín hiệu từ khối vi điều khiển đưa đến để tạo ra các rung động cơ học với các nhịp độ khác nhau tác động lên tay của người khiếm thị tương ứng với các tình huống

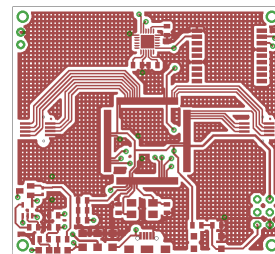
xảy ra. Chúng tôi sử dụng hai động cơ rung cỡ nhỏ kích thước 3.9 mm x 14 mm bố trí ở hai mặt bên của thiết bị để thực hiện các chức năng cảnh báo với các tình huống được mô tả trong bảng 3.

Bảng 3. Các tình huống phát tín hiệu cảnh báo

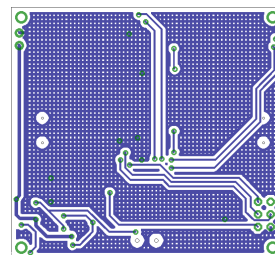
Các tình huống	Tín hiệu cảnh báo
Có thông tin mới được gửi tới từ điện thoại	Hai động cơ rung, một nhịp ngắn 0.5 s
Chướng ngại vật phía trước cách 150 cm	Hai động cơ rung, một nhịp dài 2 s
Chướng ngại vật phía trước cách 100 cm	Hai động cơ rung, hai nhịp dài 2 s
Chướng ngại vật phía trước cách 50 cm	Hai động cơ rung, liên tục
Điều hướng, rẽ trái	Động cơ trái rung, một nhịp ngắn 1 s
Điều hướng, rẽ phải	Động cơ phải rung, một nhịp ngắn 1 s

Khối nguồn: Việc thiết kế khối nguồn đóng vai trò rất quan trọng với mục đích kéo dài thời gian hoạt động liên tục của thiết bị giữa hai lần sạc pin. Vì lý do này chúng tôi sử dụng pin sạc Lithium Polymer dung lượng 1800 mA, đây là loại pin có kích thước nhỏ và dòng xả lớn nên rất thích hợp cho các thiết bị đeo, việc quản lý nguồn điện và điều khiển sạc được thực hiện thông qua chip quản lý điện năng MCP73831 của Microchip.

Hình 2 và hình 3 mô tả lớp trên và lớp dưới bản mạch in chủ của thiết bị đeo.



Hình 2. Lớp trên bản mạch in chủ của thiết bị đeo



Hình 3. Lớp dưới bản mạch in chủ của thiết bị đeo

2.2. Thiết kế phần mềm

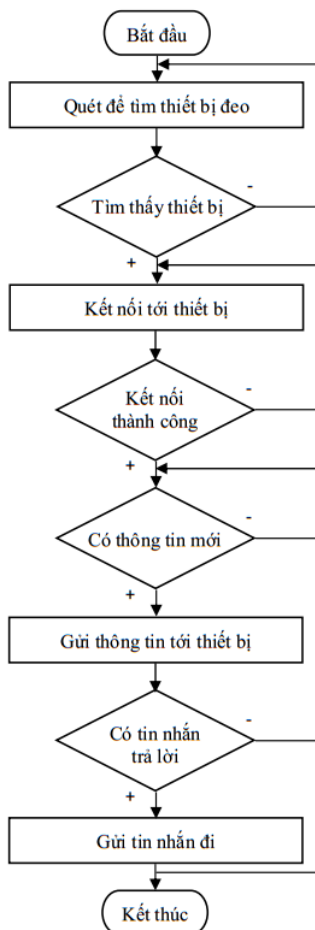
Chương trình ứng dụng trên điện thoại di động thông minh

Hệ điều hành Android được lựa chọn làm nền tảng để phát triển ứng dụng thiết bị đeo cho người khiếm thị do điện thoại di động thông minh chạy hệ điều hành Android đang trở nên rất phổ biến với giá thành ngày càng giảm giúp người khiếm thị có thể dễ dàng tiếp cận và sử dụng chúng phục vụ đời sống của họ [17,18].

Chương trình ứng dụng chạy trên điện thoại di động thông minh có các chức năng sau:

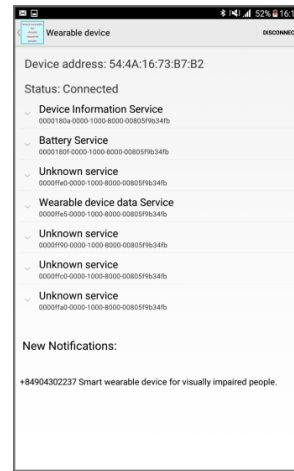
- Quét và kết nối tới thiết bị đeo nếu thiết bị đó đang nằm trong vùng phủ sóng Bluetooth của điện thoại.
- Lắng nghe các tin nhắn được gửi tới điện thoại hoặc các thông báo của các chương trình ứng dụng v.v..
- Gửi các thông tin này tới thiết bị đeo.
- Nếu người sử dụng có tin nhắn trả lời thì gửi tin nhắn qua mạng viễn thông đến người nhận.

Lưu đồ thuật toán của chương trình ứng dụng được mô tả trong hình 4.



Hình 4. Lưu đồ thuật toán của chương trình ứng dụng

Hình 5 mô tả màn hình làm việc của chương trình ứng dụng khi có tin nhắn mới được gửi đến, tin nhắn này sau đó sẽ được chuyển tiếp tới thiết bị đeo thông qua kết nối Bluetooth.

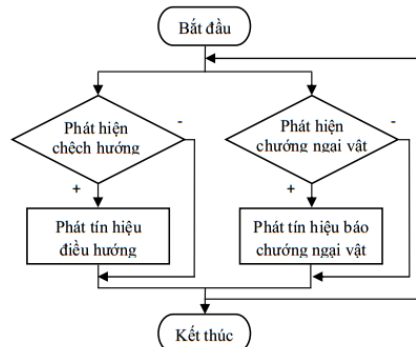


Hình 5. Màn hình của chương trình ứng dụng

Chương trình điều khiển trên thiết bị đeo:

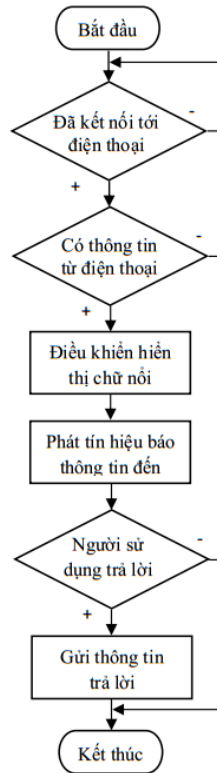
Chương trình điều khiển chạy trên thiết bị đeo có các chức năng sau:

- Chờ yêu cầu kết nối và nhận dữ liệu từ điện thoại di động thông minh.
- Chuẩn hóa dữ liệu nhận được theo quy tắc của hệ chữ nổi.
- Điều khiển hiển thị chữ nổi.
- Cho phép người khiếm thị trả lời tin nhắn bằng cách sử dụng phím bấm trên thiết bị để lựa chọn một trong số các câu trả lời có sẵn.
- Dò tìm các chướng ngại vật nằm trên đường đi chuyển và phát ra tín hiệu cảnh báo cho người khiếm thị.
- Phát hiện chệch hướng và phát ra tín hiệu điều hướng cho người khiếm thị trở lại đúng hướng đi chuyển ban đầu.



Hình 6. Lưu đồ thuật toán của chức năng phát hiện chướng ngại vật và điều hướng

Lưu đồ thuật toán của chức năng phát hiện chương ngại vật và điều hướng được mô tả trong hình 6.



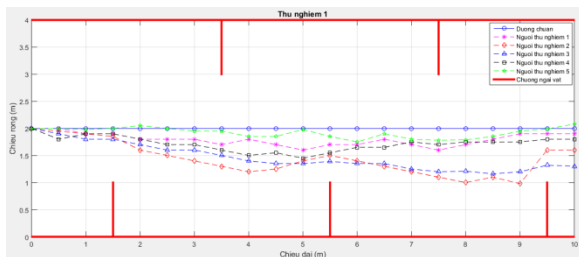
Hình 7. Lưu đồ thuật toán của chức năng nhận thông tin và điều khiển hiển thị chữ nổi

Lưu đồ thuật toán của chức năng nhận thông tin và điều khiển hiển thị chữ nổi được mô tả trong hình 7.

3. Các kết quả thử nghiệm

Để đánh giá hiệu quả về khả năng hỗ trợ di chuyển và hiển thị chữ nổi của thiết bị đeo, chúng tôi tiến hành hai thử nghiệm trong môi trường trong nhà có các chương ngại vật được sắp đặt trước trên mặt sàn được chia ô và ghi tọa độ. Một nhóm năm người thử nghiệm đeo băng bị mất lần lượt sử dụng thiết bị đeo để di chuyển trong khi các tin nhắn được gửi ngẫu nhiên đến điện thoại di động thông minh của họ.

Thử nghiệm thứ nhất:

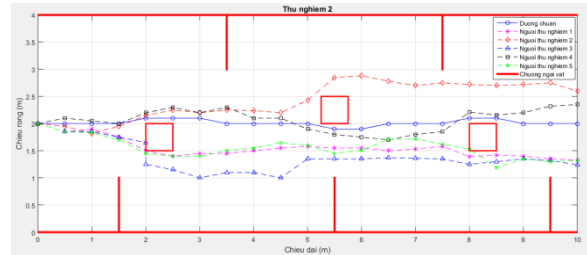


Hình 8. Thử nghiệm thứ nhất

Trong thử nghiệm này, các chương ngại vật được bố trí nằm ở hai bên chiều dài của căn phòng, mục đích chính là để kiểm tra khả năng phát hiện lệch hướng và điều hướng của thiết bị.

Thử nghiệm thứ hai:

Trong thử nghiệm này, ngoài các chương ngại vật như trong thử nghiệm thứ nhất còn có thêm một số chương ngại vật được bố trí ngay trên trục giữa của căn phòng, mục đích chính là để kiểm tra khả năng phát hiện chương ngại vật của thiết bị.



Hình 8. Thử nghiệm thứ hai

Các kết quả về quãng đường di chuyển của mỗi người thử nghiệm được ghi lại và so sánh với quãng đường di chuyển lý tưởng do một người có thị lực bình thường thực hiện được mô tả trong bảng 4.

Bảng 4. So sánh quãng đường di chuyển trong thử nghiệm với đường di chuyển lý tưởng (%)

Người thử nghiệm	Thử nghiệm 1	Thử nghiệm 2
1	4.06	4.12
2	8.75	5.31
3	4.13	6.87
4	4.68	6.56
5	2.81	7.21

4. Kết luận

Bài báo đã mô tả quá trình thiết kế và chế tạo một thiết bị đeo cho người khiếm thị có khả năng kết nối không dây với điện thoại di động thông minh để gửi hoặc nhận và hiển thị dưới dạng chữ nổi các thông tin xuất hiện trên điện thoại cũng như hỗ trợ cho người khiếm thị khi di chuyển.

Thiết bị có kích thước nhỏ, trọng lượng nhẹ và dễ sử dụng mà không yêu cầu quá trình huấn luyện phức tạp. Qua các thử nghiệm cho thấy thiết bị có khả năng phát hiện chương ngại vật và điều hướng cho người khiếm thị với quãng đường phải di chuyển thêm so với quãng đường di chuyển lý tưởng là không nhiều, tuy nhiên nhược điểm của thiết bị là chưa phát hiện được các chương ngại vật nằm trên cao. Trong tương lai, chúng tôi sẽ trang bị thêm cảm biến cho thiết bị để khắc phục nhược điểm này cũng như phát triển thêm các ứng dụng tiện ích như đếm số

bước chân, tính toán lượng calo tiêu thụ nhằm giúp người khiếm thị có thể sử dụng thiết bị như một công cụ theo dõi sức khỏe cá nhân.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội thông qua đề tài cấp Trường mã số T2016-PC-121.

Tài liệu tham khảo

- [1] World Health Organization. Visual impairment and blindness. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>
- [2] World Blind Union. Status of the White Cane. [Online]. Available: [http://www.worldblindunion.org/English/resources/Documents/Status of the White Cane.doc](http://www.worldblindunion.org/English/resources/Documents/Status%20of%20the%20White%20Cane.doc)
- [3] R. Sarkar, S. Das, D. Rudrapal. A low cost microelectromechanical Braille for blind people to communicate with blind or deaf blind people through SMS subsystem. IEEE International Advance Computing Conference (IACC). Feb. 2013.
- [4] K. Laubhan, M. Trent, B. Root, A. Abdelgawad, K. Yelamarthi. A wearable portable electronic travel aid for blind. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). March 2016.
- [5] M. Nassih, I. Cherradi, Y. Maghous, B. Ouriaghli, Y. Salih-Alj. Obstacles Recognition System for the Blind People Using RFID. International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST). Sept. 2012.
- [6] Jan L. Souman, Ilja Frissen, Manish N. Sreenivasa, Marc O. Ernst. Walking Straight into Circles. Current Biology, 19(18). Sept. 2009.
- [7] D. Dakopoulos, Nikolaos G. Bourbakis. Wearable Obstacle Avoidance Electronic Travel Aids for Blind: A Survey. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 40(1). Jan. 2010.
- [8] Atmel Corporation. Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash. [Online]. Available: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf.
- [9] Texas Instruments. Bluetooth Low Energy CC2540 datasheet. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2540.pdf>
- [10] Texas Instruments. CC2540/41 System-on-Chip Solution for 2.4-GHz Bluetooth® low energy Applications. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ug/swru191f/swru191f.pdf>.
- [11] C. Gomez, J. Oller, J. Paradells. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. Sensors, 12(9). 2012.
- [12] E. Mackensen, M. Lai, T.M. Wendt. Performance analysis of an Bluetooth Low Energy sensor system. International Symposium on Wireless Systems (IDAACS-SWS). Sept. 2012.
- [13] Shenzhen RF-Star Technology. RF-BM-S02 Bluetooth Smart Module. [Online]. Available: <http://www.szrfstar.com/en>
- [14] C. Risjord. Instruction Manual for Braille Transcribing, Library of Congress, National Library Service for the Blind and Physically Handicapped. 2009.
- [15] Sharp corporation. Device specification for Distance measuring sensor Model No. GP2Y0A02YK. Electronic components group. March 2001.
- [16] Invensense Inc. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. [Online]. Available: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [17] Gartner Q4 2016 results: Android rules, Windows 10 Mobile dies, Blackberry is long dead. [Online]. Available: <https://www.neowin.net/news/gartner-q4-2016-results-android-rules-windows-10-mobile-dies-blackberry-is-long-dead>
- [18] The Smartphone Price Gap. [Online]. Available: <https://www.statista.com/chart/4954/smartphone-average-selling-prices>.