

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**



Nguyễn Xuân Tiến

**NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ THIẾT BỊ HỖ TRỢ
NGƯỜI GIÀ SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ ZIGBEE VÀ
CẢM BIẾN GIA TỐC 3 TRỤC**

KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật Cơ điện tử

Hà Nội - 2018

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

Nguyễn Xuân Tiến

**NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ THIẾT BỊ HỖ TRỢ
NGƯỜI GIÀ SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ ZIGBEE VÀ
CẢM BIẾN GIA TỐC 3 TRỤC**

KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY

Ngành: Công nghệ Kỹ thuật Cơ điện tử

Cán bộ hướng dẫn: ThS Hoàng Văn Mạnh

Hà Nội -2018

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp của mình, em đã nhận được rất nhiều sự giúp đỡ, động viên và chia sẻ của gia đình các thầy cô giáo, các anh chị và các bạn.

Đầu tiên, em xin chân thành cảm ơn Ths. Hoàng Văn Mạnh, người hướng dẫn trực tiếp em thực hiện đề tài này. Thầy đã có những định hướng, góp ý, hướng dẫn và trao đổi quý báu với em trong suốt quá trình thực hiện.

Tiếp đến, em cũng xin gửi lời cảm ơn đến các thầy, các cô giáo Trường Đại học Công nghệ - ĐHQGHN, cũ như các thầy cô trong Khoa Cơ học kỹ thuật và Tự động hóa đã nhiệt tình giảng dạy và truyền đạt những kiến thức bổ ích, kinh nghiệm quý giá trong suốt những năm tháng vừa qua.

Cuối cùng, em xin chân thành cảm ơn gia đình và bạn bè, đã luôn tạo điều kiện, quan tâm, giúp đỡ, động viên em trong suốt quá trình học tập và hoàn thành khoá luận tốt nghiệp.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Hà Nội, ngày 22 tháng 04 năm 2018

Sinh viên

Nguyễn Xuân Tiến

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ THIẾT BỊ HỖ TRỢ NGƯỜI GIÀ SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ ZIGBEE VÀ CẢM BIẾN GIA TỐC 3 TRỤC

Nguyễn Xuân Tiến

Khóa QH-2014-I/CQ, ngành Công nghệ Kỹ thuật Cơ điện tử

Tóm tắt khóa luận tốt nghiệp:

Việc thiết kế và phát triển một thiết bị có khả năng phát hiện trạng thái té ngã của một người với kích thước nhỏ gọn, mang theo người, có khả năng tích hợp công nghệ IoT là phù hợp với xu hướng công nghệ hiện nay. Khóa luận này trình bày một mô hình hệ thống thiết bị có chức năng phát hiện trạng thái té ngã của một người. Mô hình hệ thống này bao gồm thiết bị đeo trên người và phần mềm quản lý và giám sát trạng thái té ngã của các đối tượng.

Thiết bị đeo: Có thể mang theo dễ dàng và thoải mái bên hông với kích thước nhỏ gọn. Bo mạch được thiết kế với Vi điều khiển STM32F103C8T6 để xử lý dữ liệu gia tốc, vận tốc, góc quay từ cảm biến gia tốc 3 trục MPU6050 nhằm phát hiện trạng thái té ngã. Thông tin trạng thái sau đó được truyền tải tới bộ phận quản lý dữ liệu được xây dựng dựa trên nền tảng máy tính nhúng Raspberry Pi 3 thông qua mạng không dây Zigbee.

Hệ thống phần mềm: Cơ sở dữ liệu được thiết kế dựa trên Raspberry Pi 3 để lưu trữ và có thể truy cập dữ liệu từ xa thông qua mạng Internet. Phần mềm phản lý cho thép thêm và cấu hình thiết bị dễ dàng. Có chức năng thông báo trạng thái ngã để dễ dàng ứng cứu và xử lý.

Từ khóa: Gia tốc 3-trục, Vi điều khiển, Zigbee, Phát hiện ngã.

LỜI CAM ĐOAN

Em xin cam đoan là khóa luận này là công trình nghiên cứu của em, những nội dung và kết quả trong đề tài này hoàn toàn trung thực

Tất cả các bài báo khoa học, các tài liệu, bộ công cụ, phần mềm của các tác giả khác được sử dụng trong khóa luận này đều đã được chỉ dẫn tường minh và đều có trong danh sách tài liệu tham khảo

Hà Nội, Ngày 22 tháng 04 năm 2018
Sinh viên

Nguyễn Xuân Tiến

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU	2
1.1. Té ngã và những vấn đề nó gây ra	2
1.3. Đề xuất phương pháp phát hiện trạng thái té ngã.....	4
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	5
2.1. Cảm biến gia tốc ba trục	5
2.1.1. Giới thiệu cảm biến 3-trục MPU-6050 [4]	5
2.1.2. Thông số kỹ thuật [5]	5
2.1.3. Sơ đồ khối và sơ đồ chân của cảm biến [5][6]	6
2.1.4. Kết nối và đọc giá trị MPU-6050 [6].....	7
2.2. Vi điều khiển STM103C8T6 [7].....	9
2.2.1. Giới thiệu về dòng Vi điều khiển ARM	9
2.2.2. Mô hình thiết kế ARM [7]	10
2.2.3. Vi điều khiển STM32F103C8T [8]	11
2.3. Mạng truyền thông Zigbee	13
2.3.1. Giới thiệu tổng quan [9].....	13
2.3.2. Ưu điểm và nhược điểm của Zigbee [9]	14
2.3.3. Kiến trúc Zigbee [10].....	15
2.3.4. Mô hình mạng Zigbee [10].....	16
2.3.5. Các phiên bản Zigbee [10]	17
2.3.6. Zigbee CC2530 [11]	17
2.4. Máy tính nhúng Raspberry PI [12]	20
2.4.1. Giới thiệu Raspberry PI	20
2.4.2. Cấu hình phần cứng	20
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG VÀ XÂY DỰNG PHẦN MỀM	22
3.1. Mô hình sản phẩm của khóa luận	22
3.2. Phân tích giá trị gia tốc	22

3.2.1.	<i>Cơ chế nhận biết trạng thái té ngã</i>	22
3.2.2.	<i>Những giá trị đọc được từ cảm biến gia tốc</i>	24
3.2.3.	<i>Phân tích dữ liệu bằng thuật toán ngưỡng</i>	25
3.3.	Thiết kế phần cứng	27
3.4.	Thiết kế cơ sở dữ liệu và phần mềm giám sát	29
3.4.1.	<i>Thiết kế cơ sở dữ liệu MySQL trên chủ Raspberry Pi 3</i>	29
3.4.2.	<i>Giao diện giám sát</i>	31
3.5.	Các giá trị thực nghiệm	33
3.6.	Hình ảnh tổng quan sản phẩm của khóa luận.	35
KẾT LUẬN		37
TÀI LIỆU THAM KHẢO		38

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Phát Hiện té ngã bằng phương pháp xử lý hình ảnh	3
Hình 1.2. Phát Hiện té ngã bằng phương pháp sử dụng thiết bị đeo.....	3
Hình 2.1. Cảm biến hệ MEMS.....	5
Hình 2.2. Sơ đồ tổng quan cảm biến MPU6050.....	5
Hình 2.3. Sơ đồ khối chức năng cảm biến.....	7
Hình 2.4. Sơ đồ chân cảm biến MPU-6050.....	7
Hình 2.5. Giao tiếp I ² C trên MPU-6050	8
Hình 2.6. Đọc dữ liệu MPU-6050 ở chế độ DMP.....	8
Hình 2.7. Thanh ghi trong dòng ARM	11
Hình 2.8. Sơ đồ chân vi điều khiển STM32F103C8T6.....	13
Hình 2.9. Kiến trúc OSI 7 lớp sử dụng trong mạng Zigbee	15
Hình 2.10. Các mô hình mạng Zigbee	16
Hình 2.11. Sơ đồ khối chức năng của chip Zigbee CC2530	19
Hình 2.12. Hình ảnh mạch Zigbee trong thực tế.....	19
Hình 2.13. Mạch Raspberry Pi 3	20
Hình 3.1. Sơ đồ khối chức năng sản phẩm của khóa luận	22
Hình 3.2. Hình ảnh người đeo thiết bị trước khi ngã và sau khi ngã.....	23
Hình 3.3. Góc xoay trọng lực khi ngã	23
Hình 3.4. Lưu đồ thuật toán phân tích dữ liệu	25
Hình 3.5. Sơ đồ khối chức năng mạch in thiết bị đo	27
Hình 3.6: Mạch nguyên lý thiết bị đeo	28
Hình 3.7. Mạch PCB của thiết bị đo	28
Hình 3.8. Hình ảnh mạch thiết bị đo trên thực tế.....	29
Hình 3.9. Thiết bị đeo có gắn dây đai trong thực tế.....	29
Hình 3.10. Sơ đồ bảng cơ sở dữ liệu MySQL.....	30
Hình 3.11. Thiết bị máy chủ cơ sở dữ liệu Raspberry Pi 3.	30
Hình 3.12. Giao diện đăng nhập cơ sở dữ liệu	31
Hình 3.13. Giao diện chính phần mềm.....	32
Hình 3.14. Giao diện quản lý các thiết bị trong hệ thống	32
Hình 3.15. Giao diện thêm thiết bị vào hệ thống.	33
Hình 3.16. Mạch thiết bị đeo, thiết bị đeo và máy chủ cơ sở dữ liệu.	35
Hình 3.17. Tổng thể hệ thống.	36

DANH MỤC BẢNG BIỂU

<i>Bảng 2.1. Thông số Vi điều khiển STM32F103C8T6.....</i>	<i>11</i>
<i>Bảng 3.1. Phân biệt các trạng thái ngã.....</i>	<i>26</i>
<i>Bảng 3.2. Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã sắp.</i>	<i>33</i>
<i>Bảng 3.3. Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã giữa.....</i>	<i>34</i>
<i>Bảng 3.4 Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã trái.</i>	<i>34</i>
<i>Bảng 3.5 Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã phải.....</i>	<i>34</i>

KÍ TỰ VIẾT TẮT

A	
ADC	Anolog to Digital Converter
ARM	Advanced RISC Machine
D	
DMP	Digital Motion Processor
F	
FIFO	First-in and First-out
I	
IoT	Internet of Thing
I2C	Inter - Integrated Circuit
P	
PHY	Physical layer
M	
MAC	Media access control
MEMS	Microelectromechanical systems
W	
WPAN	Wireless personal area network
Z	
ZDO	Zigbee Device Object

MỞ ĐẦU

Tính cần thiết của đề tài

Phát hiện ngã là một thách thức lớn trong lĩnh vực y tế công cộng, đặc biệt là với người già do sự suy giảm thể lực của họ. Người cao tuổi ngã có thể gây ra chấn thương như gãy xương, chấn thương não và tê liệt và việc phát hiện cứu hộ muộn có thể làm tình trạng trầm trọng hơn, vì vậy việc phát hiện sớm sẽ giúp cho người cao tuổi tránh được những mối nguy hiểm do tình trạng té ngã gây ra. Do đó, việc giám sát kịp thời và đáng tin cậy là cần thiết để giảm thiểu tác động tiêu cực của việc té ngã.

Khóa luận này đề xuất một ý tưởng đó là nghiên cứu và thiết kế một mô hình thiết bị hỗ trợ phát hiện trạng thái té ngã có thể sử dụng được trong các viện dưỡng lão hay trong các bệnh viện. Sản phẩm có khả năng thông báo để có sự hỗ trợ xử lý ứng cứu khi có tình trạng té ngã xảy ra.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Khóa luận mang tính chất nghiên cứu, thiết kế một mô hình thiết bị dựa trên nền tảng công nghệ mới như Zigbee, máy tính nhúng...

Ý nghĩa thực tiễn: Việc nghiên cứu, thiết kế và tiến đến là triển khai thực tế là hết sức cần thiết. Điều này sẽ giúp cho những người cao tuổi có được sự chăm sóc tốt nhất khi không phải lúc nào cũng có các bác sĩ hay người nhà bên cạnh.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu các tài liệu liên quan để từ đó thiết kế, chế tạo một thiết bị có khả năng hỗ trợ phát hiện trạng thái té ngã ở người già. Sau khi thiết bị được chế tạo sẽ được kiểm thử, hiệu chỉnh để đánh giá tính chính xác và khả thi của sản phẩm.

Nội dung nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu của Khóa luận được trình bày cụ thể trong các chương như dưới đây:

Chương 1: Giới thiệu về các hệ lụy do té ngã gây ra ở người cao tuổi, các phương pháp được sử dụng để phát hiện té ngã và đề xuất phương pháp giải quyết vấn đề.

Chương 2: Trình bày lý thuyết liên quan tới cảm biến gia tốc 3 trục, Vi điều khiển STM32F103C8T6, máy tính nhúng Raspberry Pi 3 và mạng truyền thông Zigbee.

Chương 3: Nghiên cứu, thiết kế phần cứng, viết phần mềm nhúng, xây dựng cơ sở dữ liệu và phần mềm giám sát và quản lý thông tin trạng thái của các đối tượng.

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU

1.1. Té ngã và những vấn đề nó gây ra

Té ngã là một trong những nguyên nhân chính gây chấn thương nghiêm trọng ở người lớn tuổi. Theo báo cáo của trung tâm phòng chống và kiểm soát y tế của Hoa Kỳ (CDC), việc té ngã không cố ý thường xảy ra ở 30% người già trên 65 tuổi mỗi năm. Những thương tích liên quan đến việc té ngã là một trong những nguyên nhân gây ra tử vong ở người trên 65 tuổi, khoảng 41 trường hợp tử vong do té ngã trong 100,000 người mỗi năm.[3]

Người già khi đã ngã một lần sẽ có tâm lý sợ té, sợ di chuyển, từ đó rơi vào trường hợp thụ động, cách ly với xã hội. Thêm vào đó, chi phí để giải quyết hậu quả do té ngã gây ra cũng rất cao, từ việc thêm người chăm sóc cho đến việc điều trị, bảo hiểm y tế. Những hậu quả nghiêm trọng của té ngã có thể tránh được nếu nạn nhân được phát hiện và cấp cứu kịp thời; do đó, hệ thống phát hiện té ngã tự động với độ chính xác cao có thể là một giải pháp cải thiện cuộc sống của người già.

1.2. Các phương pháp để nhận biết té ngã [3]

Hệ thống phát hiện té ngã có thể được thiết kế và chế tạo dựa trên hai phương pháp chính: Xử lý ảnh và sử dụng cảm biến đeo trên người.

Đối với trường hợp sử dụng cảm biến hình ảnh thì hệ thống camera được thiết lập trong môi trường dò tìm và sử dụng phương pháp xử lý ảnh để nhận biết trạng thái của đối tượng trong ảnh. Phương pháp này không cần người sử dụng đeo bất kỳ thiết bị nào, nhưng ảnh có thể khó xử lý chính xác do độ sáng cao hoặc do nhiễu.

Trong những năm gần đây, sự phát triển của công nghệ chế tạo cảm biến vi cơ điện tử, vi xử lý và giao tiếp không dây đã tạo điều kiện cho những nghiên cứu liên quan đến hoạt động vật lý của con người. Một trong những ứng dụng là hệ thống phát hiện té ngã sử dụng cảm biến gia tốc, con quay hồi chuyển... Những cảm biến này độ chính xác cao, nhỏ gọn, có thể đeo ở nhiều vị trí trên cơ thể. Phương pháp này được thiết kế dựa trên ba giai đoạn. Giai đoạn đầu là thu thập dữ liệu từ cảm biến. Đây là một tín hiệu thay đổi theo thời gian. Giai đoạn thứ hai đó là xác định những thông số đặc trưng cần thiết cho việc phát hiện té ngã từ của tín hiệu. Nhiều loại đặc trưng của tín hiệu đã được áp dụng như giá trị gia tốc của ba trục X, Y, Z, góc nghiêng... Giai đoạn thứ ba đó là sử dụng các ngưỡng giá trị để đánh giá và xử lý trong các trường hợp xảy ra ngã và không xảy ra ngã. Để từ đó đưa ra các quyết định tương ứng.

Vấn đề cần thảo luận ở đây chính là làm cách nào xác định được đối tượng đeo cảm biến đã ngã. Có hai phương pháp phổ biến dùng để nhận dạng té ngã là phương pháp phân tích ngưỡng và phương pháp phân loại.



Hình 1.1. Phát Hiện té ngã bằng phương pháp xử lý hình ảnh



Hình 1.2. Phát Hiện té ngã bằng phương pháp sử dụng thiết bị đeo

1.3. Đề xuất phương pháp phát hiện trạng thái té ngã

Trong khóa luận này, một cảm biến gia tốc được sử dụng để thu thập dữ liệu gia tốc từ đối tượng đeo thiết bị có tích hợp cảm biến. Phương pháp xử lý phân tích ngưỡng được áp dụng để nhận dạng trạng thái té ngã hay không. Trước tiên, tín hiệu sẽ được thu thập trên cảm biến ba trục của người đeo thiết bị trong các hành động té ngã và các hành động hằng ngày như đi đứng ngồi sẽ được thu thập so sánh với ngưỡng đã quy định về góc nghiêng, gia tốc các trục, vận tốc góc các trục để xử lý đưa ra trạng thái ngã và loại ngã và các hoạt động thông thường.

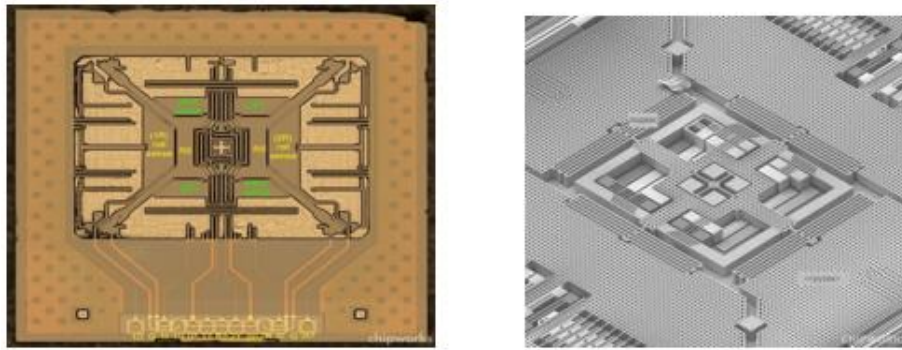
Một phần mềm và một hệ thống mạng truyền thông Zigbee được xây dựng để hỗ trợ thông báo, kết nối, định danh thiết bị riêng biệt. Khi thiết bị phân tích được trạng thái ngã, một bản tin sẽ được truyền tới cơ sở dữ liệu thông qua mạng không dây Zigbee và được cập nhật lên phần mềm quản lý, Khi đó có một báo hiệu tạo ra và người quản lý có thể đưa ra đánh giá và hỗ trợ kịp thời nhất.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Cảm biến gia tốc ba trục

2.1.1. Giới thiệu cảm biến 3-trục MPU-6050 [4]

Cảm biến gia tốc 3-trục MPU-6050 là một hệ thống Vi cơ điện tử (MEMS) sử dụng công nghệ quang khắc để tạo thành một bề mặt trên một tấm nitrit silic (Si_3N_4) sau đó dùng hóa học ăn mòn để thu được một khối tâm, các trục nổi tâm và tấm nền của cảm biến vì thế cảm biến rất nhỏ và có điện năng tiêu thụ nhỏ.



Hình 2.1. Cảm biến hệ MEMS

MPU-6050 của hãng InvenSense là một trong những giải pháp cảm biến chuyển động đầu tiên trên thế giới có tới 6 trục cảm biến tích hợp trong một chip duy nhất và một bộ xử lý chuyển động số được tích hợp bên trong, giúp cho việc lấy dữ liệu từ cảm biến trở nên dễ dàng.



Hình 2.2. Sơ đồ tổng quan cảm biến MPU6050

2.1.2. Thông số kỹ thuật [5]

- Sử dụng nguồn 2.375V đến 3.46V
- Sử dụng kết nối I2c với vi điều khiển qua địa chỉ 0x68
- 3-trục cảm biến gia tốc (3-axis MEMS accelerometer).
- 3-trục con quay hồi chuyển (3-axis MEMS gyroscope).

- 1 bộ xử lý chuyển động số (DMP- Digital Motion Processor).
- 1 bộ nhớ đệm FIFO có giá trị 1024 byte.

Ngoài ra, MPU-6050 có một đơn vị tăng tốc phần cứng chuyên xử lý tín hiệu (Digital Motion Processor – DMP) do cảm biến thu thập và thực hiện các tính toán cần thiết. Điều này giúp giảm bớt đáng kể phần xử lý tính toán của vi điều khiển, cải thiện tốc độ xử lý và cho ra phản hồi nhanh hơn. Đây chính là 1 điểm khác biệt đáng kể của MPU-6050 so với các cảm biến gia tốc và gyro khác.

MPU-6050 có thể kết hợp với cảm biến từ trường (bên ngoài) để tạo thành bộ cảm biến 9 góc đầy đủ thông qua giao tiếp I2C.

Các cảm biến bên trong MPU-6050 sử dụng bộ chuyển đổi tương tự - số (Analog to Digital Converter - ADC) 16-bit cho ra kết quả chi tiết về góc quay, tọa độ... Với 16-bit bạn sẽ có $2^{16} = 65536$ giá trị cho 1 cảm biến.

Tùy thuộc vào yêu cầu của người sử dụng, cảm biến MPU-6050 có thể hoạt động ở chế độ tốc độ xử lý cao hoặc chế độ đo góc quay chính xác (chậm hơn). MPU-6050 có khả năng đo ở phạm vi:

- Con quay hồi chuyển (Gyroscope): $\pm 250 \ 500 \ 1000 \ 2000 \text{ dps}$
- Gia tốc (accelerometer): $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16g$

Hơn nữa, MPU-6050 có sẵn bộ đệm dữ liệu 1024 byte cho phép vi điều khiển phát lệnh cho cảm biến, và nhận về dữ liệu sau khi MPU-6050 tính toán xong.

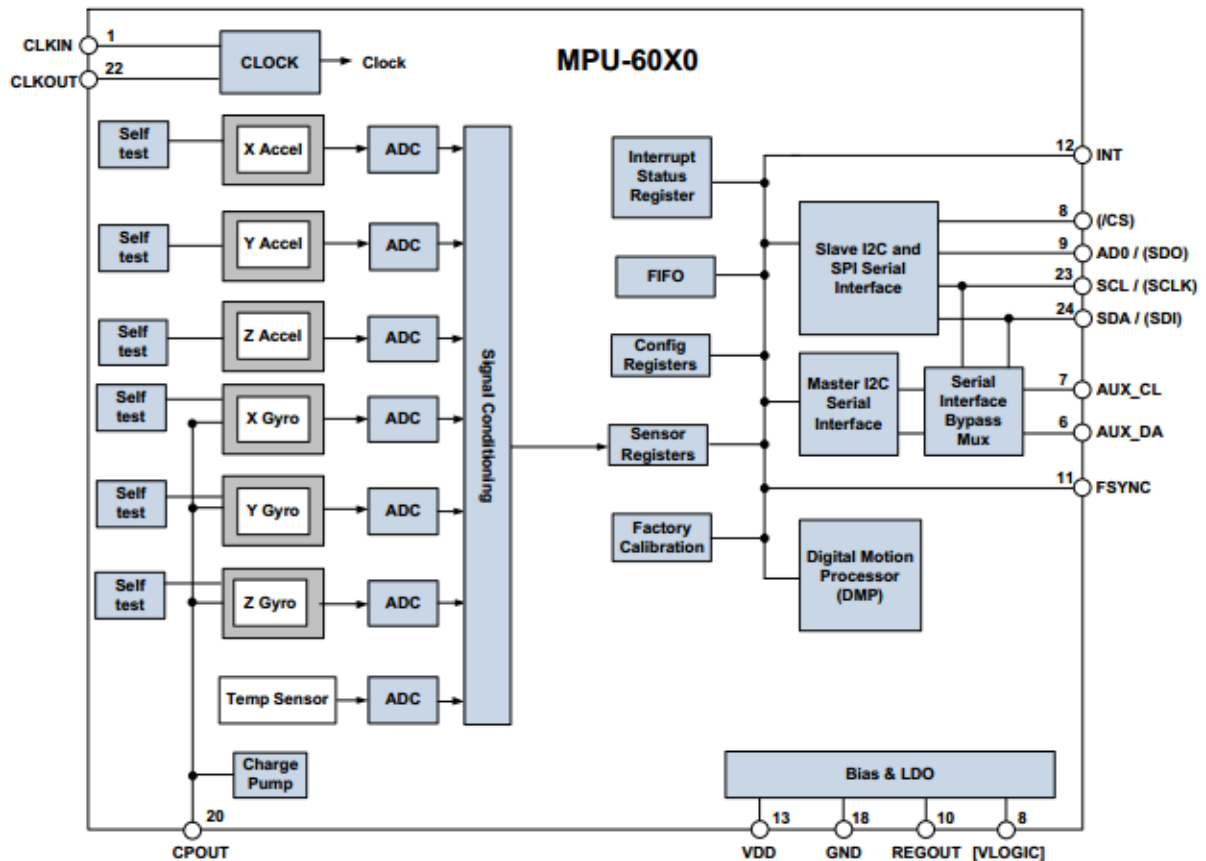
Thông số dòng tiêu thụ:

- Với tính năng Gyroscope:
 - Dòng điện tiêu thụ khi hoạt động: 3.6mA
 - Dòng điện tiêu thụ khi standby: 5 μ A
- Với tính năng accelerometer.
 - Dòng điện tiêu thụ khi hoạt động: 500 μ A

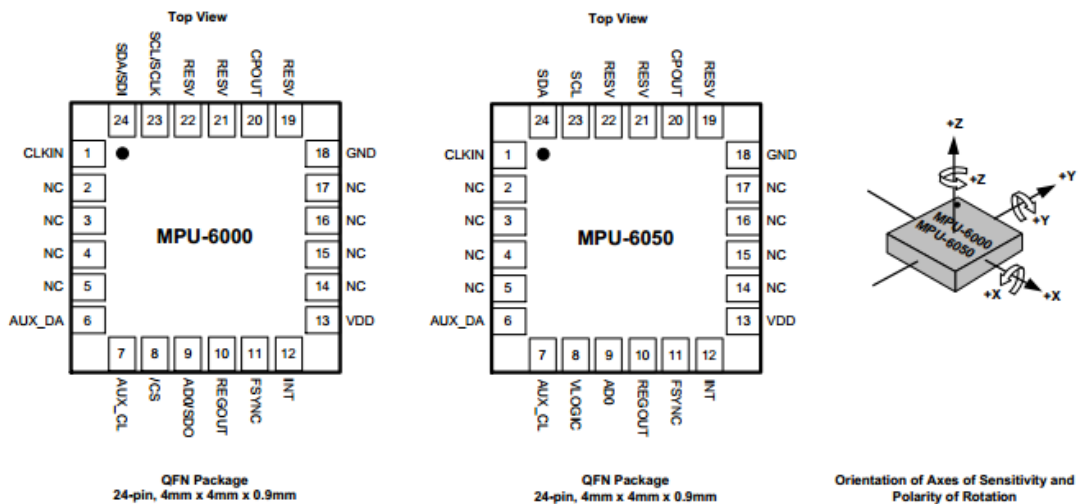
MPU6050 có thể đưa vào chế độ ngủ để tiết kiệm pin.

2.1.3. Sơ đồ khối và sơ đồ chân của cảm biến [5][6]

Sơ đồ khối chức năng và sơ đồ chân của cảm biến 3-trục MPU-6050 được trình bày trong Hình 2.3 và Hình 2.4 dưới đây.



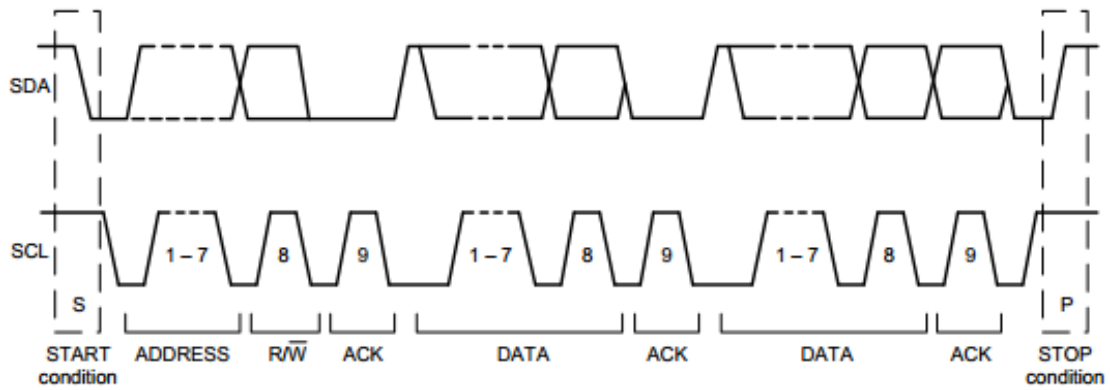
Hình 2.3. Sơ đồ khối chức năng cảm biến



Hình 2.4. Sơ đồ chân cảm biến MPU-6050

2.1.4. Kết nối và đọc giá trị MPU-6050 [6]

MPU-6050 sử dụng giao tiếp I²C để giao tiếp với vi điều khiển. Với địa chỉ được quy định bởi chân A0. Khi A0 ở mức thấp MPU-6050 sử dụng địa chỉ 0x68, còn khi A0 ở mức cao thì MPU-6050 sử dụng địa chỉ 0x69. Do đó có thể sử dụng hai chip MPU-6050 trên một đường I²C.



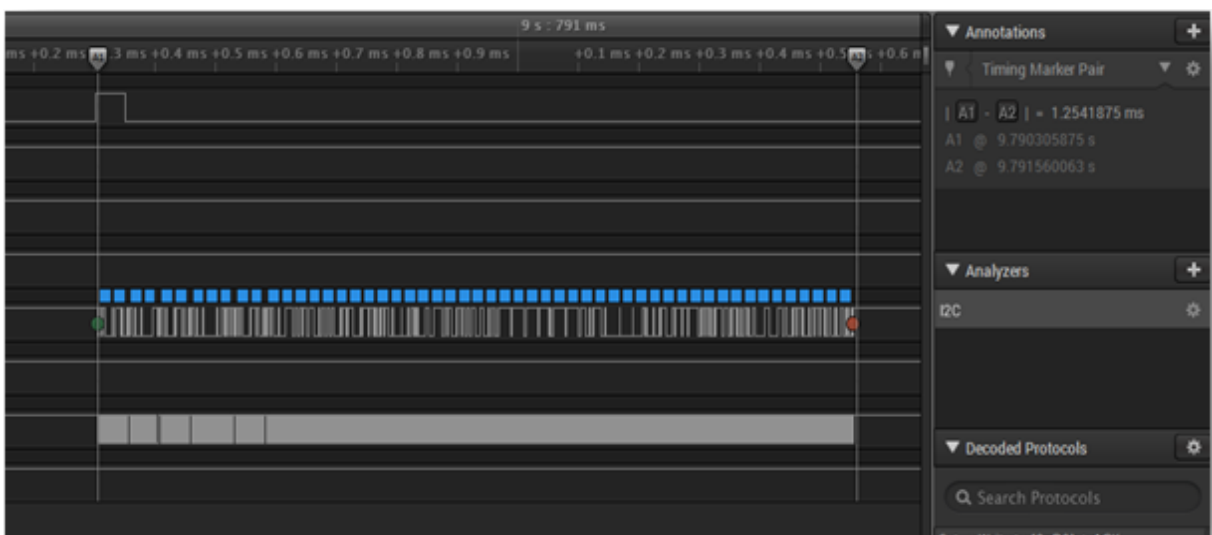
Hình 2.5. Giao tiếp I²C trên MPU-6050

Khi đọc giá trị của MPU6050 cần cấu hình trạng thái, các cấu hình cần thiết:

- Cấu hình phạm vi cho gia tốc (accelerometer): $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ và $\pm 16g$.
- Cấu hình phạm vi cho vận tốc góc (gyroscope): $\pm 250 \pm 500$, ± 1000 , $\pm 2.000^\circ/s$
- Cấu hình sử dụng phát xung ngắt.
- Cấu hình vào chế độ đo.

Nếu sử dụng chức năng xử lý chuyển động số (Digital Motion Processor – DMP) của MPU-6050 cần cấu hình cho bộ này hoạt động.

Giao tiếp I²C trên MPU-6050 với STM32F103C8T6. Vi điều khiển mất 1,254ms để đọc được dữ liệu gia tốc, vận tốc góc, giá trị góc hiện thời trên MPU6050.



Hình 2.6. Đọc dữ liệu MPU-6050 ở chế độ DMP

2.2. Vi điều khiển STM103C8T6 [7]

2.2.1. Giới thiệu về dòng Vi điều khiển ARM

Việc thiết kế ARM được bắt đầu từ năm 1983 trong một dự án phát triển của công ty máy tính Acorn. Nhóm thiết kế, dẫn đầu bởi Roger Wilson và Steve Furber, bắt đầu phát triển một bộ vi xử lý có nhiều điểm tương đồng với kỹ thuật MOS 6502 tiên tiến. Acorn đã từng sản xuất nhiều máy tính dựa trên 6502, vì vậy việc tạo ra một Vi xử lý như vậy là một bước tiến đáng kể của công ty này. Nhóm thiết kế hoàn thành việc phát triển mẫu gọi là ARM1 vào năm 1985, và vào năm sau, nhóm hoàn thành sản phẩm ARM 2. ARM 2 có đường truyền dữ liệu 32bit, không gian địa chỉ 26bit tức cho phép quản lý đến 64 Mbyte địa chỉ và 16 thanh ghi 32 bit. Một trong những thanh ghi này đóng vai trò là bộ đếm chương trình với 6bit có giá trị cao nhất và 2bit có giá trị thấp nhất lưu giữ các cờ trạng thái của bộ vi xử lý. Thế hệ sau, ARM 3 được tạo ra với 4KB bộ nhớ đệm và có chức năng được cải thiện tốt hơn nữa. Vào những năm cuối thập niên 80, hãng máy tính Apple Computer bắt đầu hợp tác với Acorn để phát triển các thế hệ lõi ARM mới. Công việc này trở nên quan trọng đến nỗi Acorn nâng nhóm thiết kế trở thành một công ty mới gọi là Advanced RISC Machines. Từ lý do đó hình thành chữ viết tắt ARM của Advanced RISC Machines thay vì Acorn RISC Machine. Về sau, Advanced RISC Machines trở thành công ty ARM Limited. Kết quả sự hợp tác này là ARM6. Mẫu đầu tiên được công bố vào năm 1991 và Apple đã sử dụng bộ vi xử lý ARM 610 dựa trên ARM6 làm cơ sở cho PDA hiệu Apple Newton. Vào năm 1994, Acorn dùng ARM 610 làm CPU trong các máy vi tính RiscPC của họ. Trải qua nhiều thế hệ nhưng lõi ARM gần như không thay đổi kích thước. ARM2 có 30.000 transistors trong khi ARM6 chỉ tăng lên đến 35.000. Ý tưởng của nhà sản xuất lõi ARM là sao cho người sử dụng có thể ghép lõi ARM với một số bộ phận tùy chọn nào đó để tạo ra một CPU hoàn chỉnh, một loại CPU mà có thể tạo ra trên những nhà máy sản xuất bán dẫn cũ và vẫn tiếp tục tạo ra được sản phẩm với nhiều tính năng mà giá thành vẫn thấp. Thế hệ khá thành công của hãng là lõi xử lý ARM7TDMI, với hàng trăm triệu lõi được sử dụng trong các máy điện thoại di động, hệ thống video game cầm tay ARM đã thành một thương hiệu đứng đầu thế giới về các ứng dụng sản phẩm nhúng đòi hỏi tính năng cao, sử dụng năng lượng ít và giá thành thấp. Chính nhờ sự nổi trội về thị phần đã thúc đẩy ARM liên tục được phát triển và cho ra nhiều phiên bản mới. Những thành công quan trọng trong việc phát triển ARM: Giới thiệu ý tưởng về định dạng các tập lệnh được nén lại (Thumb) cho phép tiết kiệm năng lượng và giảm giá thành ở những hệ thống nhỏ. Các ứng dụng cho hệ thống nhúng dựa trên lõi xử lý ARM ngày càng trở nên

rộng rãi. Hầu hết các nguyên lý của hệ thống trên Vi xử lý và cách thiết kế bộ xử lý hiện đại được sử dụng trong ARM, ARM còn đưa ra một số khái niệm mới như giải nén động các dòng lệnh. Việc sử dụng ba trạng thái nhận lệnh giải mã thực thi trong mỗi chu kỳ máy mang tính quy phạm để thiết kế các hệ thống xử lý thực. Do đó, lõi xử lý ARM được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống phức tạp.

Các đặc tính của ARM bao gồm:

- Cấu trúc nạp / lưu trữ.
- Hỗ trợ tập lệnh trực giao.
- Thanh ghi lớn.
- Hầu hết các lệnh được thực hiện trong 1 chu kỳ CPU.
- Chiều dài mã máy cố định, do đó dễ dàng thực hiện đường ống hóa (pipeline).

2.2.2. Mô hình thiết kế ARM [7]

- Program Counter (PC): Bộ đếm chương trình: giữ địa chỉ của lệnh hiện tại.
- Thanh ghi tích lũy (ACC): giữ giá trị dữ liệu khi đang làm việc.
- Đơn vị xử lý số học (ALU): thực thi các lệnh nhị phân như cộng, trừ, gia tăng...
- Thanh ghi lệnh (IR): giữ tập lệnh hiện tại đang thực thi.

Lõi xử lý MU0 được phát triển đầu tiên và là lõi xử lý đơn giản, có tập lệnh dài 16-bit, với 12-bit địa chỉ và 4bit mã hóa. Cấu trúc tập lệnh lõi MU0 có dạng: Mô hình thiết kế đường truyền dữ liệu đơn giản của lõi xử lý MU0 được mô tả trong Hình 2.11. Việc thiết kế ở cấp chuyển đổi mức thanh ghi (RTL): Bộ đếm chương trình (PC) chỉ đến tập lệnh cần thực thi, nạp vào thanh ghi lệnh (IR), giá trị chứa trong IR chỉ đến vùng địa chỉ ô nhớ, nhận giá trị, kết hợp với giá trị đang chứa trong thanh ghi tích lũy (ACC) qua đơn vị xử lý số học (ALU) để tạo giá trị mới, chứa vào ACC. Mỗi một lệnh như vậy, tùy vào số lần truy cập ô nhớ mà tốn số chu kỳ xung nhịp tương đương. Sau mỗi lệnh thực thi, PC sẽ được tăng thêm.

Để phục vụ mục đích của người dùng: r0 ÷ r14 là 15 thanh ghi đa dụng, r15 là thanh ghi Program Counter (PC), thanh ghi trạng thái chương trình hiện tại (CPSR-Current Program Status Register). Các thanh ghi khác được giữ lại cho hệ thống (như thanh ghi chứa các ngắt).

- Thanh ghi CPSR được người dùng sử dụng chứa các bit điều kiện.

- N: Negative- cờ này được bật khi bit cao nhất của kết quả xử lý ALU bằng 1.
- Z: Zero- cờ này được bật khi kết quả cuối cùng trong ALU bằng 0.
- V: Overflow- cờ báo tràn sang bit dấu.
- Thanh ghi SPSR (Save Program Status Register) dùng để lưu giữ trạng thái của thanh ghi CPSR khi thay đổi chế độ
- C: Carry - cờ này được bật khi kết quả cuối cùng trong ALU lớn hơn giá trị 32-bit và tràn.



Hình 2.7. Thanh ghi trong dòng ARM

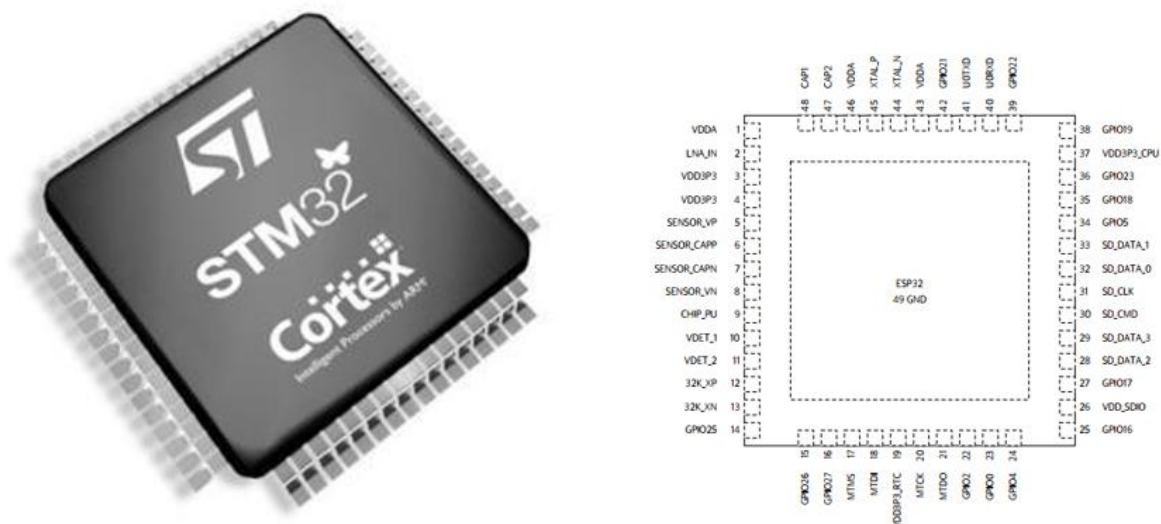
2.2.3. Vi điều khiển STM32F103C8T [8]

Thông số kỹ thuật của Vi điều khiển STM32F103C8T được mô tả như trong Bảng 2.1 dưới đây:

Bảng 2.1. Thông số Vi điều khiển STM32F103C8T6

Loại	Miêu tả
Tốc độ Vi xử lý	Tốc độ có thể lên tới 72MHZ, 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1)
Bộ nhớ	<ul style="list-style-type: none"> • 64 or 128 Kbytes of Flash memory • 20 Kbytes of SRAM
Xung đồng hồ, Điện áp nguồn	<ul style="list-style-type: none"> • 2.0 to 3.6 V application supply and I/Os

	<ul style="list-style-type: none"> • POR, PDR, and programmable voltage detector (PVD) • 4-to-16 MHz crystal oscillator • Internal 8 MHz factory-trimmed RC • Internal 40 kHz RC • PLL for CPU clock • 32 kHz oscillator for RTC with calibration
Chế độ tiết kiệm năng lượng	<ul style="list-style-type: none"> • Step – chế độ ngủ • Stop – dừng không hoạt động • Standby – Ngủ tạm thời
Ngoại vi	<ul style="list-style-type: none"> • 16 kênh ADC 12bit • 7 kênh DMA • SPI • I2c • UART (baudrate lên tới 115200) • Hỗ trợ ngắt ngoài tất cả các chân • CAN, LIN • USB 2.0
Debug	Serial wire debug (SWD) & JTAG
Đồng hồ	<ul style="list-style-type: none"> • 3 timer 16-bit dùng để đếm hoặc tính xung của encoder bấm xung với PWM • chương trình watchdog timer dùng reset khi treo • 1 đồng hồ hệ thống chạy trên core 24bit



Hình 2.8. Sơ đồ chân vi điều khiển STM32F103C8T6

Giống như các dòng vi điều khiển khác ARM cũng có thể lập trình bằng assembly hoặc bằng C. Để dễ dàng lập trình thì trong khóa luận này, ngôn ngữ C được sử dụng để viết chương trình. Trên thị trường cũng có nhiều mã nguồn mở dùng để viết các chương trình cho arm. Trong số đó có keilc là 1 trong những compiler được nhiều người yêu thích vì tính đa dạng và hỗ trợ nhiều dòng vi điều khiển khác nhau. Giao diện cũng dễ nhìn và dễ sử dụng. Phần mềm cũng hỗ trợ các công cụ debug với dòng arm như ST-link. Chúng ta có thể dễ dàng tìm mua ở các cửa hàng linh kiện điện tử.

Phần mềm KeilC arm V5 hỗ trợ đầy đủ các dòng Vi xử lý của arm. Cung cấp các thư viện và hàm cơ bản cho thanh ghi. Quá trình cho người mới bắt đầu keilc cũng có một vài ví dụ cho người đọc hiểu chức năng của các tác dụng của các hàm. Ngoài ra chương trình còn hỗ trợ nhiều công cụ debug ngoài ST-link. Khi lập trình nếu sai về định dạng code ngay lập tức phần mềm sẽ báo lại mà chưa cần build. Điều này sẽ giúp cảnh báo cho người sử dụng những lỗi không cần thiết. Giao diện dễ dung là một điểm cộng cho công cụ lập trình này. Ngoài phần mềm KeilC ra chúng ta có thể sử dụng IAR, coscos code ide... Làm trình biên dịch code. Chúng ta cũng có thể sử dụng assembly là ngôn ngữ lập trình hoặc nạp trực tiếp file.hex hoặc.bin vào bộ nhớ của vi xử lý thông qua các giao tiếp UART tạo các bootloader cho vi xử lý.

2.3. Mạng truyền thông Zigbee

2.3.1. Giới thiệu tổng quan [9]

Zigbee thuộc trong nhóm sản phẩm được phát triển bởi webee. ZigBee được tạo ra dựa trên tiêu chuẩn 802.15.4 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). 802.15.4 là một tiêu chuẩn sử dụng mạng không dây tốc độ thấp dựa trên song radio, và

cấu trúc của 802.15.4 dựa trên mô hình OSI với lớp là lớp vật lý, lớp MAC (medium Access Control) và lớp cao hơn. Ở lớp vật lý dùng để quản lý năng lượng kênh và các tín hiệu thu phát RF. Sau đó có thể điều khiển dựa trên Lớp MAC sẽ liên kết trực tiếp với lớp vật lý để điều khiển các lớp con. Zigbee hoạt động trên các dải tần:

- 868.0-868.6 MHz tại Châu Âu
- 902-928 MHz tại Bắc Mỹ
- 784 MHz tại Trung Quốc

Tiêu chuẩn xác định hai loại nút mạng.

Đầu tiên là thiết bị chức năng đầy đủ. Nó có thể phục vụ như là điều phối viên của một mạng lưới khu vực cá nhân giống như nó có thể hoạt động như một nút thông thường. Nó thực hiện một mô hình truyền thông chung cho phép nó nói chuyện với bất kỳ thiết bị khác: nó cũng có thể chuyển tiếp tin nhắn, trong trường hợp đó nó được gọi là điều phối viên (điều phối viên khi nó phụ trách toàn bộ mạng).

Mặt khác, có các thiết bị chức năng giảm. Đây là những thiết bị cực kỳ đơn giản với yêu cầu nguồn lực và truyền thông khiêm tốn; do đó, họ chỉ có thể giao tiếp với FFD và không bao giờ có thể đóng vai trò điều phối.

2.3.2. Ưu điểm và nhược điểm của Zigbee [9]

Ưu điểm và nhược điểm của giao thức Zigbee và sự so sánh với truyền thông bằng Bluetooth có thể theo dõi qua bảng bên dưới đây:

Bảng 2.1. Ưu nhược điểm của giao thức Zigbee

Ưu điểm	Nhược điểm
<ul style="list-style-type: none"> - Giá thành thấp - Tiêu thụ công suất nhỏ - Kiến trúc mạng linh hoạt - Được hỗ trợ bởi nhiều công ty - Số lượng các nút lớn (65k) 	<ul style="list-style-type: none"> - Lỗi ở một điểm chính có thể gây lỗi hệ thống - Tốc độ truyền thấp

Bảng 2.2. So sánh giữa chuẩn Zigbee và chuẩn không dây Bluetooth

Đặc tính	Zigbee	Bluetooth
----------	--------	-----------

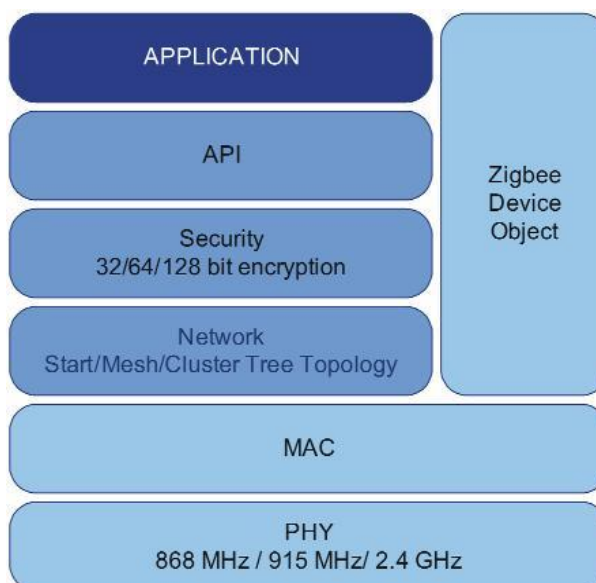
Tiêu thụ công suất	10mA	100mA
Giá thành (đầu 2005)	1,1 \$	3\$
Độ nhạy	-92dbm (0,63pW)	-62dbm (6,2pW)
Độ linh hoạt	65536 nút (trong sơ đồ sao)	7 nút (trong sơ đồ sao)
Độ an toàn	128 bit mã hóa	64/128 bit mã hóa
Vùng làm việc	Hiệu quả ở 10 - 75m	Hiệu quả ở < 10m

Do đó, với những ứng dụng cho nhiều phần tử, yêu cầu độ linh hoạt cao, giá thành thấp, tiêu thụ công suất nhỏ như sản phẩm của khóa luận thì dùng chuẩn Zigbee là rất phù hợp.

2.3.3. Kiến trúc Zigbee [10]

Cũng giống như trong truyền thông công nghiệp, khi thực hiện một giao thức truyền thông, người ta thường phải dựa trên một mô hình kiến trúc chuẩn. Bất kỳ một giao thức truyền thông nào đều có thể qui chiếu tới một lớp nào đó trong mô hình của kiến trúc tương ứng. Trong truyền thông công nghiệp ta đã biết đến đó là mô hình qui chiếu OSI 7 lớp.

Trong giao thức Zigbee, người ta cũng định nghĩa một kiến trúc giao tiếp, đó là kiến trúc Zigbee. Có thể hiểu kiến trúc này cũng tương tự như kiến trúc OSI 7 lớp trong truyền thông công nghiệp, xem hình dưới.



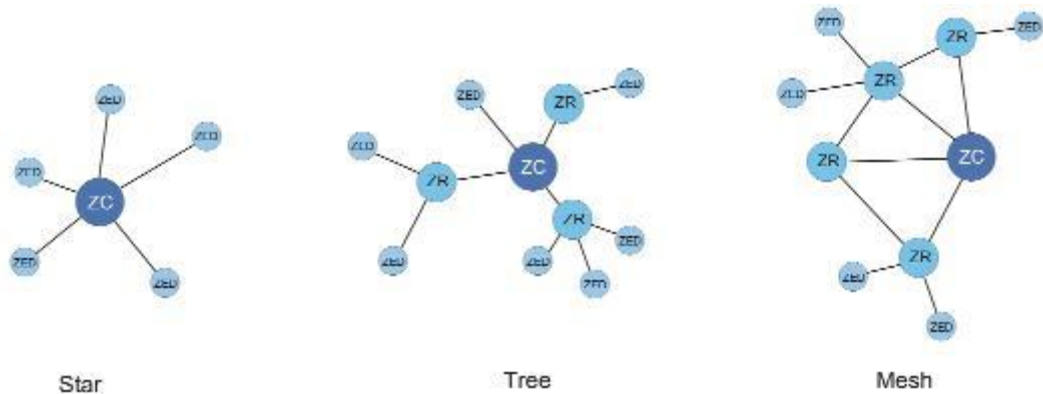
Hình 2.9. Kiến trúc OSI 7 lớp sử dụng trong mạng Zigbee

Zigbee được xây dựng ở trên của hai lớp MAC (Medium Access Control) và lớp vật lý PHY. Lớp MAC và lớp PHY được định nghĩa theo chuẩn IEEE 802.15.4 dành cho các ứng dụng WPAN tốc độ thấp. Đặc tính kỹ thuật Zigbee sau đó thêm vào 4 lớp chính: lớp mạng, lớp ứng dụng, lớp các đối tượng thiết bị Zigbee (ZDO) và lớp các đối tượng người dùng cho phép tùy biến, linh động trong chuẩn đó.

Bên cạnh việc tích hợp thêm hai lớp mức cao hơn trên các lớp nền, một sự tích hợp rất quan trọng nữa là thêm vào các ZDO (Zigbee Device Object). Các ZDO chịu trách nhiệm cho nhiều tác vụ, trong đó bao gồm: định nghĩa vai trò của các thiết bị, tổ chức và yêu cầu để truy nhập vào mạng, bảo mật cho thiết bị...

2.3.4. Mô hình mạng Zigbee [10]

Trong truyền thông dùng giao thức Zigbee thường hỗ trợ 3 mô hình mạng chính: mạng hình sao, mạng hình cây và mạng sơ đồ lưới.



Hình 2.10. Các mô hình mạng Zigbee

Trong lớp mạng Zigbee cho phép 3 kiểu thiết bị:

- *Zigbee Coordinator (ZC)*: Chỉ có duy nhất 1 ZC trong bất kỳ mạng Zigbee nào và nó có chức năng chính là kích hoạt thông tin về mạng thông qua cấu hình các kênh, PAN ID và hiện trạng ngăn xếp.
- *Zigbee Router (ZR)*: Là một thành phần của hệ thống mạng mà chức năng của nó là thực hiện việc vận chuyển các gói tin trong mạng. Nó thực hiện các bảng kết nối cũng như định vị địa chỉ cho các ZED của nó.
- *Zigbee End Device (ZED)*: Là một thành phần của hệ thống mạng nhưng không tham gia vào quá trình vận chuyển tin. Nó có được tối ưu sao cho công suất tiêu thụ là nhỏ nhất nhờ các chế độ bất tín hiệu và kỹ thuật "sleep".

Quá trình thiết lập trong một mạng Zigbee như sau:

- *Quét mạng (Network Scan)*: Các thiết bị trong mạng sẽ quét các kênh tín hiệu, ví dụ nếu dùng dải tần 2,4GHz thì sẽ có 16 kênh để quét, sau đó thiết bị sẽ chọn kênh phù hợp nhất để giao tiếp trong mạng. Ta gọi đó là sự chiếm chỗ: ocupacy.

- *Thiết lập/Gia nhập mạng*: Thiết bị có thể tạo ra một mạng trên một kênh hoặc gia nhập vào một mạng đã tồn tại sẵn.

- *Phát hiện thiết bị*: Thiết bị sẽ yêu cầu mạng phát hiện ra địa chỉ của mình trên các kênh được kích hoạt.

- *Phát hiện dịch vụ*: Thiết bị quét các dịch vụ được hỗ trợ trên thiết bị trong phạm vi mạng.

- *Liên kết*: Thiết bị giao tiếp với nhau thông qua các lệnh, các tin nhắn điều khiển.

2.3.5. Các phiên bản Zigbee [10]

Các phiên bản Zigbee được liệt kê trong bảng dưới đây.

Bảng 2.3. Các phiên bản Zigbee

Phiên bản	Chi tiết
ZigBee 2004	Đây là phiên bản đầu tiên của ZigBee – được gọi là ZigBee 1.0, ra đời vào tháng 6/2005.
ZigBee 2006	Phiên bản này giới thiệu khái niệm chùm, được ra đời vào tháng 9/2006.
ZigBee 2007	Phiên bản tiếp theo ra đời tháng 10/2007 và có 2 loại hình dạng khác nhau.
ZigBee PRO	Phiên bản này là 1 phiên bản của năm 2007 nhưng được nâng cấp lên để cài đặt nhanh hơn và tăng tính bảo mật cho hệ thống.
RF4CE	Là dạng tần sóng vô tuyến cho các thiết bị điện tử có ứng dụng âm thanh nghe nhìn, ra đời năm 2009.

2.3.6. Zigbee CC2530 [11]

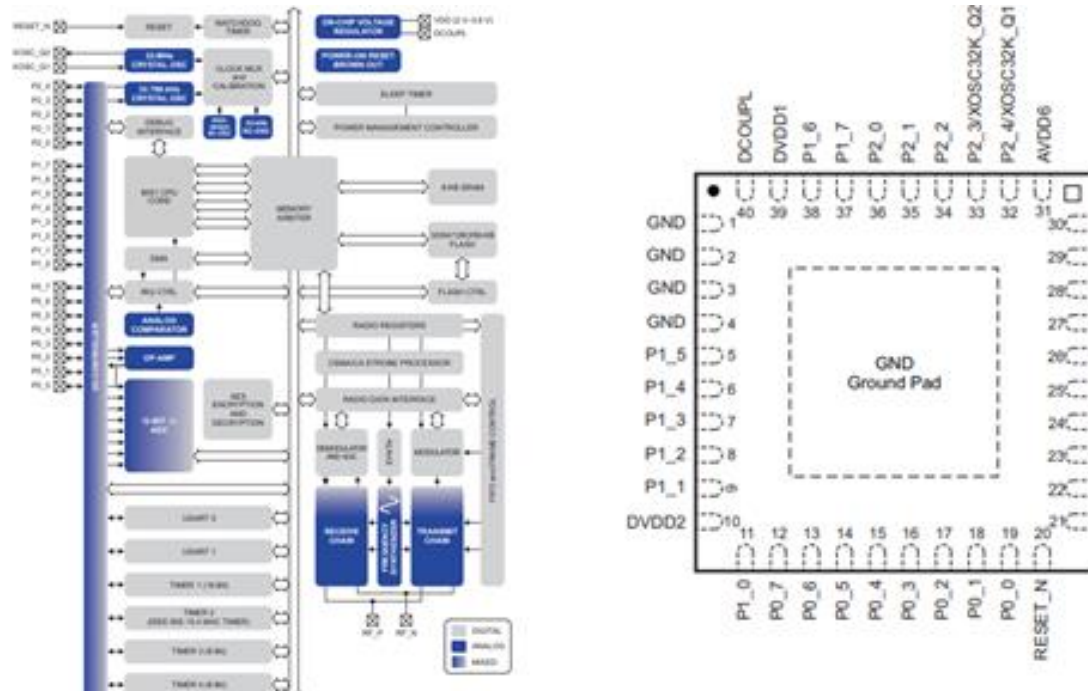
Đây là phiên bản hỗ trợ đa nền tảng. So với các phiên bản Zigbee khác thì CC2530 đang được sử dụng nhiều hơn với chi phí thấp hơn. Vì xử lý hiệu năng cao và tiết kiệm

năng lượng. Số lượng chân nhiều hỗ trợ nhiều ngoại vi mà không dùng các vi điều khiển khác hay ra chân. phiên bản nâng cấp có thêm ic Khuếch đại PACC2591. Tốc độ truyền tối đa: 3300Bps (Byte per second) (bằng 26400 bit/s). Đối với các ứng dụng Stream như truyền dẫn video hoặc voice (chất lượng thấp) thì bạn có thể sử dụng với tốc độ lên tới 7000 Bps (có thể sẽ mất mát dữ liệu). Độ nhạy truyền: 20dbm. Cùng với đó module cũng được cấp 1 cọc anten giúp phạm vi truyền xa hơn với các module khác.

Bảng 2.4. Thông số kỹ thuật của Zigbee CC2530

Loại	Miêu tả chi tiết
Radio RF	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4-GHz IEEE 802.15.4 kết hợp với sóng RF • Tín hiệu tốt, khả năng chống gần như tuyệt đối • Kích thước 6-mm × 6-mm
Tiết kiệm năng lượng	<ul style="list-style-type: none"> • Chế độ nhận dữ liệu RX (CPU Idle): 24 mA • Chế độ gửi dữ liệu TX at 1 dBm (CPU Idle): 29 mA • Chế độ thức dậy: 0.2 mA • Chế độ ngủ: 1 μA Chế độ gửi dữ liệu TX at 1 dBm (CPU Idle): 29 mA • Chế độ thức dậy: 0.2 mA • Chế độ ngủ: 1 μA • Chế độ ngắt: 0.4 μA • Điện áp cung cấp trong khoảng (2 V–3.6 V)
Vi điều khiển	<ul style="list-style-type: none"> • Xử dụng vi điều khiển 8051 tiết kiệm năng lượng • 32-, 64-, 128-, or 256-KB cho bộ nhớ flash • 8-KB RAM • Phần cứng hỗ trợ debug
Ngoại vi	<ul style="list-style-type: none"> • Với 5 kênh DMA • IEEE 802.15.4 MAC Timer, 2 bộ Timers 16-Bit và 8-Bit • Hỗ trợ CSMA/CA • Tính toán số RSSI/LQI • Điều khiển năng lượng and cảm biến nhiệt độ • 8 kênh ADC 12-Bit

Loại	Miêu tả chi tiết
	<ul style="list-style-type: none"> • Chuẩn bảo mật AES • 2 UART • 21 chân i/o • Watchdog timer



Hình 2.11. Sơ đồ khối chức năng của chip Zigbee CC2530



Hình 2.12. Hình ảnh mạch Zigbee trong thực tế

Sau khi kết nối với mô-đun Zigbee ta có thể cài đặt cấu hình cho module bằng các dòng lệnh AT

Bảng 2.5. Lệnh AT dùng cho cài đặt Zigbee

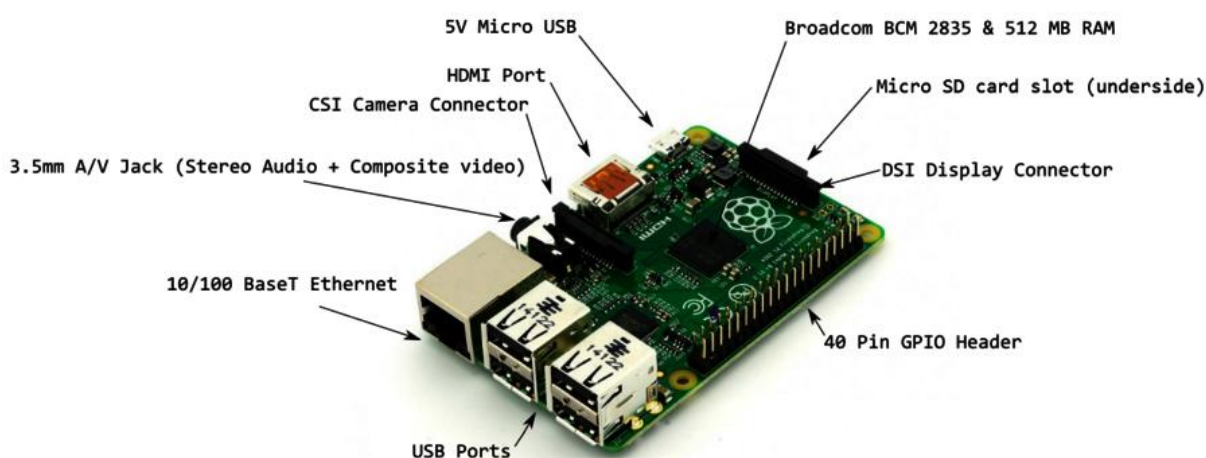
Lệnh AT	Miêu tả chi tiết
AT+GETCFG	Lấy toàn bộ thông tin module Baudrate, địa chỉ, kênh
AT+GETCHN	Lấy thông tin kênh
AT+GETIEEE	Lấy địa chỉ IEEE
AT+GETPANID	Lấy thông tin địa chỉ của module
AT+SETUART 0 115200 0	Cài đặt baudrate

2.4. Máy tính nhúng Raspberry PI [12]

2.4.1. Giới thiệu Raspberry PI

Raspberry Pi là chiếc máy tính kích thước nhỏ được tích hợp nhiều phần cứng mạnh mẽ đủ khả năng chạy hệ điều hành và cài đặt được nhiều ứng dụng trên nó. Với giá chỉ vài chục USD, Raspberry hiện đang là mini computer nổi bật nhất hiện nay. Ban đầu, tổ chức Raspberry Pi Foundation phát triển dự án Raspberry với mục tiêu chính là giảng dạy máy tính cho trẻ em và tạo ra một công cụ giá rẻ (chỉ vài chục USD) để sinh viên nghiên cứu học tập. Tuy nhiên, sau khi xuất hiện, Raspberry Pi được cộng đồng đánh giá cao về tính ứng dụng với phần cứng được hỗ trợ tốt, Pi đã nhanh chóng phát triển một cách rộng rãi. Pi phù hợp cho những ứng dụng cần khả năng xử lý mạnh mẽ, đa nhiệm hoặc giải trí và đặc biệt cần chi phí thấp. Hiện nay đã có hàng ngàn ứng dụng đa dạng được cài đặt trên Raspberry Pi.

2.4.2. Cấu hình phần cứng



Hình 2.13. Mạch Raspberry Pi 3

Raspberry Pi có hai phiên bản, Model A và Model B. Model B như hình trên thông dụng hơn cả. Model B bao gồm những phần cứng và những cổng giao diện

- SoC 700MHz với 512MB RAM.
- 1 cổng HDMI cho đầu ra âm thanh / video số.
- 1 cổng video RCA cho đầu ra video Analog.
- Jack Headphone Stereo 3.5mm cho đầu ra âm thanh Analog.
- 02 cổng USB.
- 01 đầu đọc thẻ nhớ SD để tải hệ điều hành.
- 01 cổng Ethernet LAN.
- 01 giao diện GPIO (General Purpose Input/Output).

Model A cũng gần tương tự như Model B nhưng có sự thay đổi như: 1 cổng USB, không có cổng Ethernet vì thế người dùng phải thêm Adapter USB Wi-Fi hoặc Ethernet nếu cần kết nối mạng, 256MB RAM.

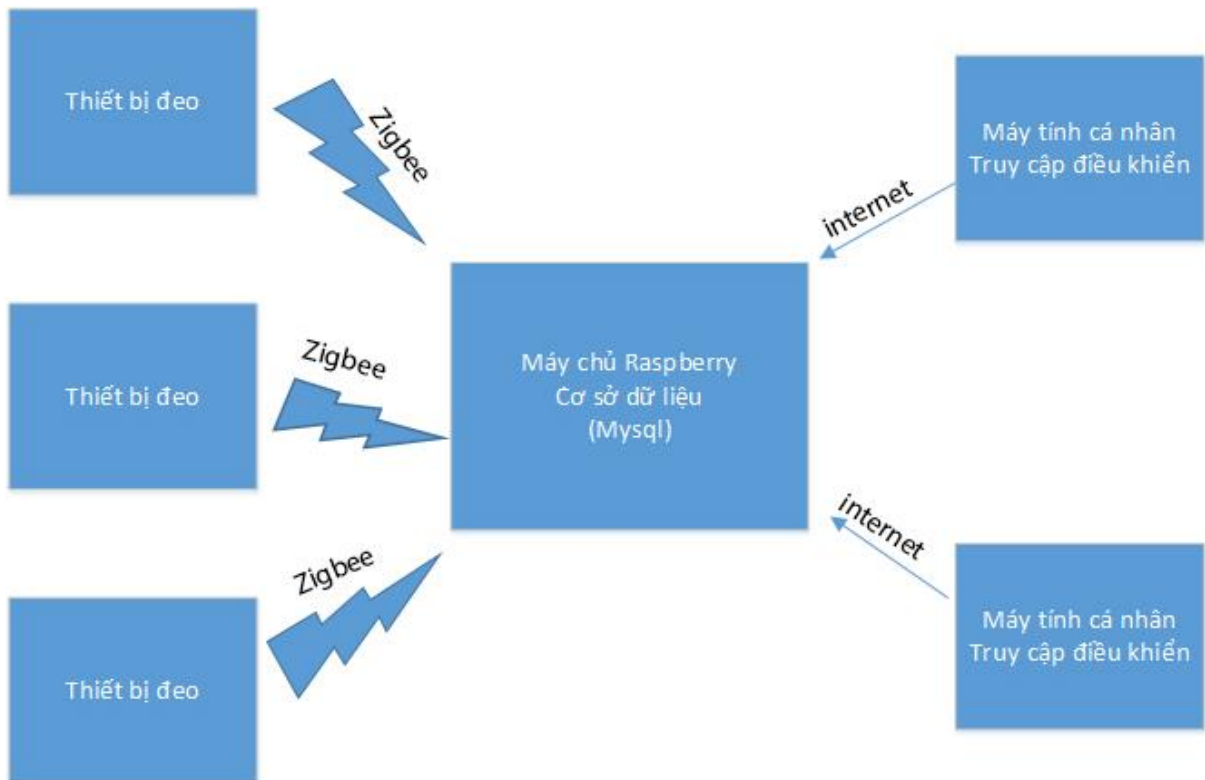
Trong mỗi hệ thống Cơ sở dữ liệu là thành phần thiết yếu đóng vai trò quan trọng. Cơ sở dữ liệu thiết kế một cách khoa học, lưu trữ trên một thiết bị ổn định sẽ giúp các ứng dụng truy cập cũng như phần mềm thực thi mượt mà hơn. Raspberry Pi 3 là một máy tính nhúng đáp ứng được yêu cầu thiết yếu về phần cứng. Hơn thế nữa về kích thước Raspberry còn rất nhỏ gọn có thể đóng hộp tạo thành một thiết bị có thể gắn ở bất kỳ đâu. Raspberry cho phép cài lên đó cơ sở dữ liệu MySQL và thực hiện kết nối như một cơ sở dữ liệu từ xa.

CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG VÀ XÂY DỰNG PHẦN MỀM

3.1. Mô hình sản phẩm của khóa luận

Hệ thống gồm các thiết bị đeo được kết nối với một máy chủ cơ sở dữ liệu Raspberry thông qua mạng zigbee. Một phần mềm trên máy tính được viết lên để giao tiếp với cơ sở dữ liệu, có thể giao tiếp trên mạng lan hoặc internet để thông báo các bản tin mà thiết bị đeo gửi về. đồng thời phần mềm có thể quản lý các thiết bị qua ID thiết bị, cho phép và không cho phép nhận bản tin của bất kì thiết bị nào trong mạng.

Hệ thống cho phép tối đa 65535 thiết bị được kết nối trên mạng Zigbee và lưu trữ thông báo lên cơ sở dữ liệu. Mạng Zigbee được sử dụng cấu hình ở dạng tree theo trong hình 3.10. Loại mạng này có kết nối rất xa và độ ổn định cao với mật độ thiết bị đeo lớn.



Hình 3.1. Sơ đồ khối chức năng sản phẩm của khóa luận

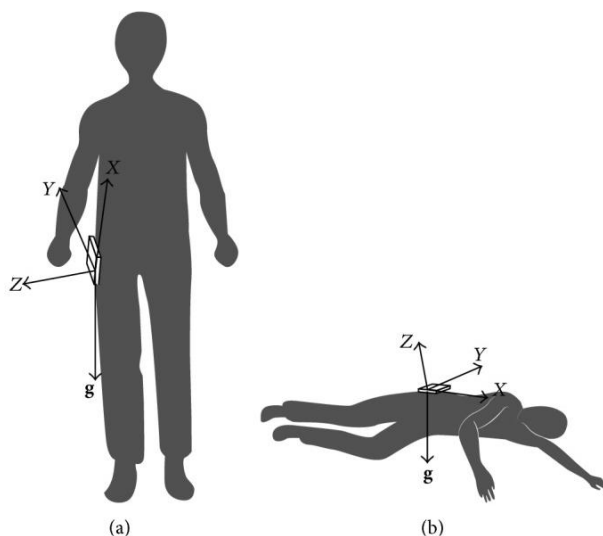
3.2. Phân tích giá trị gia tốc

3.2.1. Cơ chế nhận biết trạng thái té ngã

Thuật toán được sử dụng để nhận biết các trạng thái ngã dựa trên các ngưỡng của giá trị gia tốc trung bình a và góc quay. Khi Trạng thái ngã xảy ra, va chạm giữa cơ thể và mặt đất sẽ làm cho giá trị gia tốc a tăng cao và giảm đột ngột có thể lên tới $4g$. Việc tăng khi ngã này là một dấu hiệu quan trọng để nhận biết trạng thái.

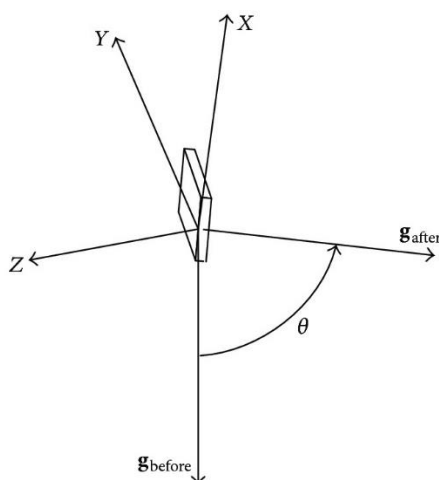
$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Thế nhưng với những trạng thái hoạt động mạnh như chạy, nhảy cũng làm trực gia tốc này tăng đột ngột, do đó cần thêm những yếu tố khác nữa để nhận biết trạng thái ngã.



Hình 3.2. Hình ảnh người đeo thiết bị trước khi ngã và sau khi ngã.

Dấu hiệu thứ 2 cũng không thể là gia tốc của bất kì trục nào, vì gia tốc này thay đổi rất nhanh bởi những chuyển động như đi lại. Nhận thấy việc ngã có tạo ra một chuyển động đột ngột, tạo ra một góc lớn trên trục x khi ngã, góc này có thể lên tới 90 độ. Việc tính toán góc này dựa vào gia tốc và vận tốc góc tạo nên sai số và độ trôi lớn lên tới 10 đến 20 độ trong một giây tùy thuộc và cảm biến gia tốc. Vấn đề ở đây là tính được chính xác góc xoay trước khi ngã và sau khi ngã. Bằng cách lấy các thông số của thành phần trọng lực g ở trước và sau khi ngã chúng ta có thể tìm ra được giá trị góc quay của các trục



Hình 3.3. Góc xoay trọng lực khi ngã

Vậy, cơ chế phát hiện trạng thái ngã là sự thay đổi đột ngột của gia tốc và sự thay đổi của giá trị góc của các trục.

3.2.2. Những giá trị đọc được từ cảm biến gia tốc

Từ cơ chế nhận biết trên, Cần đọc được trên thiết bị cảm biến là gia tốc 3 trục x, y, z và giá trị góc xoay của ba trục này. Giá trị gia tốc có thể đọc dễ dàng trên các thanh ghi của cảm biến nhưng với góc xoay của các trục thì để đọc trực tiếp về hoàn toàn là không thể.

Các thông số trên đều cần phải tính toán lại từ dữ liệu đọc được của cảm biến. Với gia tốc cảm biến MPU6050 đưa về một dạng số 16 bit. Bằng cách cấu hình cho cảm biến ở các chế độ đọc $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ và $\pm 16g$ sẽ có các hệ số chia tương ứng là 16384, 8192, 4096, 2048. Giá trị đọc được từ cảm biến chia cho hệ số này sẽ được giá trị gia tốc 3 trục tương ứng. Từ gia tốc tương ứng 3 trục chúng ta tính giá trị gia tốc trung bình qua công thức được nêu ở trên.

Trên lý thuyết là vậy nhưng đối với mỗi một cảm biến sẽ có các giá trị độ trôi của cảm biến riêng. Việc căn chỉnh độ trôi này rất cần thiết để đạt được độ ổn định và chính xác nhất của dữ liệu. Tìm được giá trị này cần đưa thiết bị ở trạng thái cài đặt một thời gian để tính tham số trôi.

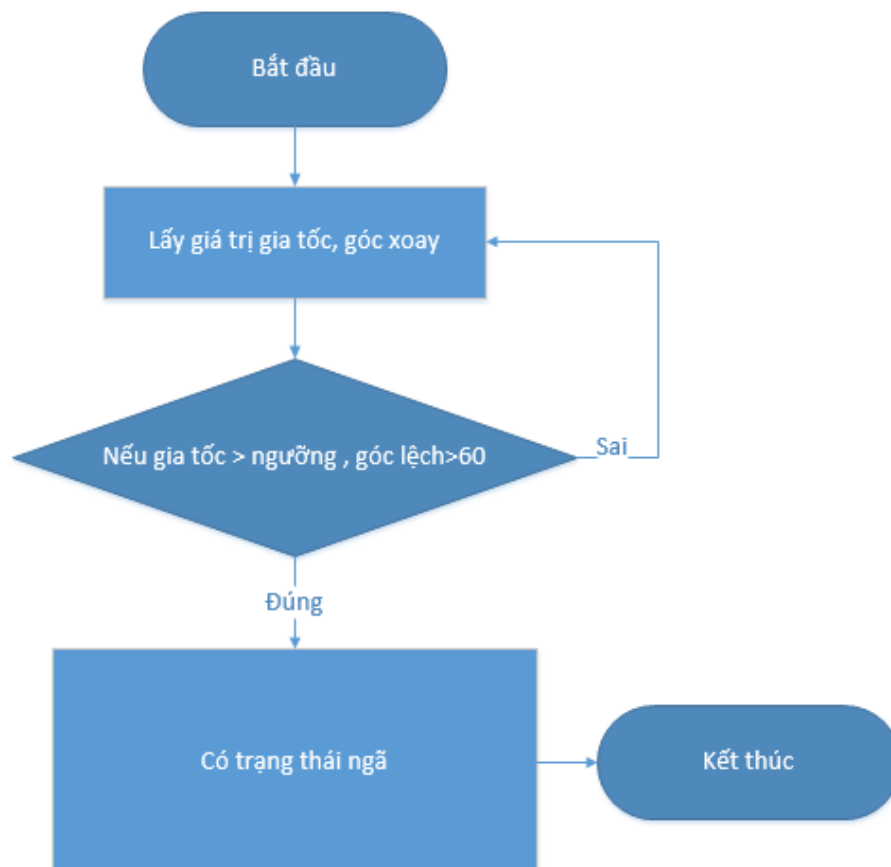
Với dữ liệu góc đọc và tính toán được lại càng khó khăn hơn. Để đo được góc thiết bị đã cấu hình cho cảm biến sử dụng bộ phân tích dữ liệu Digital Motion Processor (DMP). Digital Motion Processor (DMP) cho phép tính toán sơ bộ và đưa ra một đối tượng Quaternion lưu vào bộ nhớ FIFO của cảm biến. Có một cờ ngắt để thông báo cho vi điều khiển lúc nào bộ phân tích đã làm việc xong và lúc nào vi điều khiển được phép đọc dữ liệu về. dữ liệu đọc về là một ma trận 4x4 bằng các phép toán ma trận ta tính ra được giá trị quay của các góc so với trục đứng, ví dụ như khi qua trục z một góc 90 độ cùng chiều kim đồng hồ, góc tính toán ra cũng sẽ là 90 độ.

Cũng giống như dữ liệu gia tốc, dữ liệu về góc cũng có những tham số trôi của các trục. Để có được giá trị góc tốt và ổn định cũng cần phải cấu hình tham số trôi cho bộ Digital Motion Processor (DMP). Do đó cần một thời gian cài đặt ban đầu để tính toán được các giá trị cài đặt này. Việc cài đặt các tham số cho bộ Digital Motion Processor (DMP) không phải là đơn thuần tác động đến thanh ghi mà nó là việc sắp xếp dữ liệu vào bộ nhớ FIFO cho chính xác nhất. Bộ phân tích dữ liệu Digital Motion Processor (DMP) được khởi động chỉ khi có đủ các tham số cấu hình. Do đó chỉ được bật sau khi tìm được tham số trôi các trục.

MPU6050 cho phép đọc dữ liệu ở mật độ lớn. với các giá trị gia tốc, tốc độ góc chúng ta có thể đọc với mật độ tối đa 400 mẫu trong một giây. Với giá trị góc việc đọc dữ liệu được quy định qua việc cấu hình Digital Motion Processor (DMP). Digital Motion Processor (DMP) cho phép cấu hình tối đa 100 mẫu trong một giây. Với các số liệu đọc mẫu này thì cần phải tính toán để lựa chọn tối ưu các phép toán và lựa chọn vi điều khiển phù hợp. Ví dụ như với vi điều khiển STM32F407GT6 chạy ở tần số tối đa 168Mhz có thể xử lý được 400 mẫu gia tốc, vận tốc góc và 100 mẫu góc quay trong một giây nhưng với STM32F103C8T6 con chip lựa chọn cho thiết bị đeo thì chỉ xử lý được 200 mẫu vận tốc gia tốc góc và 100 mẫu góc quay. Nhưng điều cần ở thiết bị đeo lại là việc chip có tiết kiệm điện năng và xử lý đúng chức năng yêu cầu hay không.

3.2.3. Phân tích dữ liệu bằng thuật toán ngưỡng

Cấu hình ban đầu cho vi điều khiển là trạng thái người thẳng đứng. Với dữ liệu ngưỡng được đưa vào, vi điều khiển đọc dữ liệu cảm biến hiện tại và tính toán so sánh với giá trị ngưỡng trong một thời gian nhất định để phân tích trạng thái ngã và loại ngã.



Hình 3.4. Lưu đồ thuật toán phân tích dữ liệu

Việc phân tích một trạng thái hay một loại dữ liệu có nhiều chỉ số thì phân tích được

càng nhiều chỉ số sẽ cho chúng ta được kết quả chính xác nhất. Trong việc phân tích dữ liệu trạng thái hoạt động ở khóa luận này, thiết bị cần nhận biết các trạng thái ngã sấp, ngã ngửa, ngã trái, ngã phải. bằng các đặc tính trục và đặc tính biến đổi của gia tốc đã chọn ra được 5 thông số mà khi phân tích thông số này càng chi tiết thì kết quả đạt càng cao. Các thông số sử dụng để phân tích:

- Gia tốc trung bình 3 trục.
- Gia tốc trục z.
- Góc quay trục x.
- Góc quay trục y.
- Thời gian phân tích mẫu tính từ khi có hiện tượng ngã (đạt ngưỡng một trong 4 giá trị phân tích ở trên)

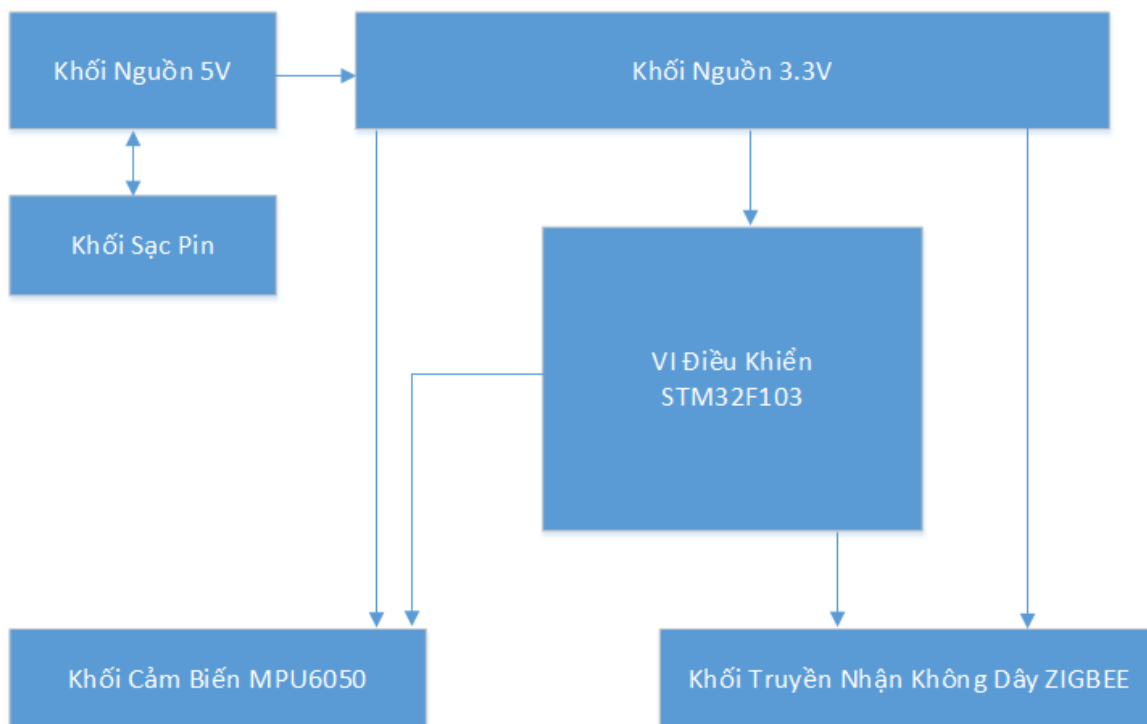
Thời gian phân tích mẫu là thời gia một lần xảy ra té ngã. Để nhận được các trạng thái ngã thì trong thời gian này các thông số dữ liệu phân tích cần phải đạt đến ngưỡng so sánh. Các trạng thái ngã được nhận biết thông qua bảng 3.1 dưới đây.

Bảng 3.1. Phân biệt các trạng thái ngã.

Loại ngã	Gia tốc trung bình 3 trục	Gia tốc trục z	Góc xoay trục x	Góc xoay trục y
Ngã sấp	Tăng	Không thay đổi	Giảm	Tăng
Ngã ngửa	Tăng	Không thay đổi	Tăng	Tăng
Ngã trái	Tăng	Tăng	Không thay đổi	Tăng
Ngã phải	Tăng	Giảm	Không thay đổi	Tăng

3.3. Thiết kế phần cứng

Thiết bị được thiết kế với sơ đồ khối chức năng của phần cứng như hình sau:



Hình 3.5. Sơ đồ khối chức năng mạch in thiết bị đo

Do đây là một thiết bị đeo nên tính di động rất cao. Vì thế lựa chọn các thành phần vật lý tiết kiệm điện cũng như lựa chọn nguồn pin phù hợp là điều rất cần thiết. Trong sơ đồ trên có một khối mạch sạc pin sử dụng pin lipo 360mA nhỏ gọn hiện tại chưa có tối ưu công suất trong chip (bật tắt một số chế độ tiết kiệm điện) thì thiết bị đeo có thể sử dụng liên tục trong 6 giờ cho mỗi lần sạc đầy. Khối cảm biến MPU-6050 và Zigbee đó là hai công nghệ cảm biến và không dây tiết kiệm điện bấy giờ.

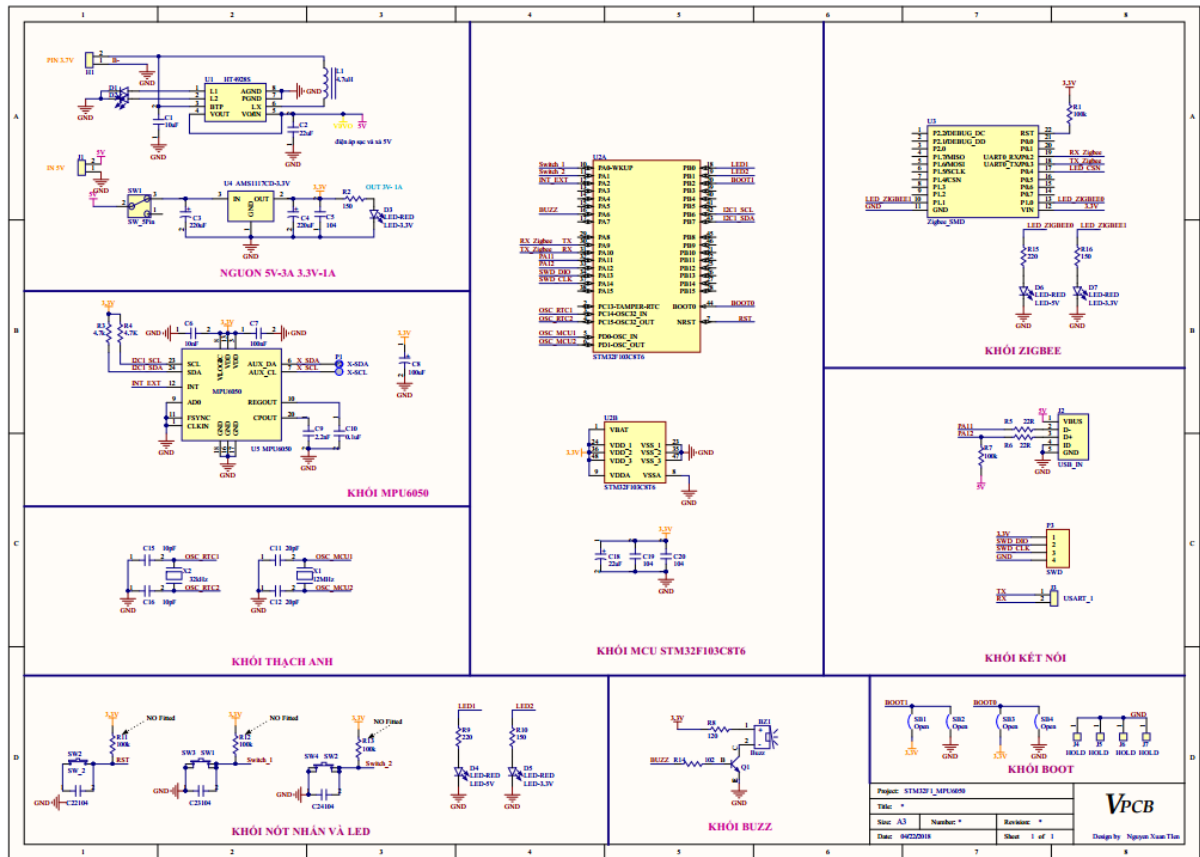
Nguồn sử dụng cấp cho các khối vi điều khiển, khối cảm biến, khối truyền nhận không dây là chung một nguồn 3,3V. Việc chọn được các linh kiện dùng chung này đã giúp cho vi mạch có thể nhỏ hơn và việc kết nối các bus tín hiệu đơn giản hơn, không cần qua các transceiver chuyển đổi truyền dẫn.

Vi điều khiển chính sử dụng là chip STM32F103C8T6 đó là cấu trúc ARM có tần số cấp cho bộ xử lý lên tới 42Mhz rất phù hợp cho việc xử lý dữ liệu nhất là loại dữ liệu có tính thời gian thực.

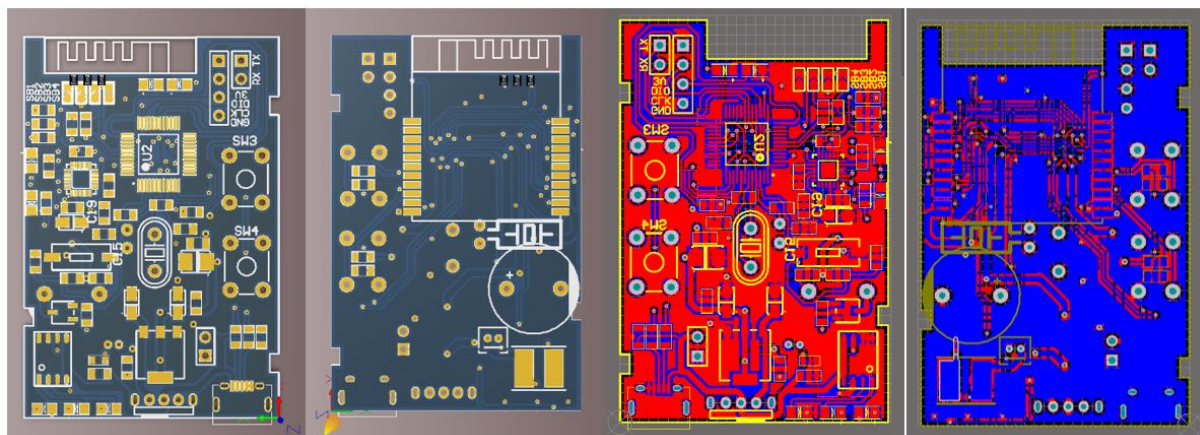
Khối cảm biến MPU-6050 được kết nối với khối vi điều khiển qua giao tiếp I²C. Trên đường truyền này các thiết bị giao tiếp ổn định với nhau ở clock lên tới 400khz có

nghĩa là tốc độ truyền lên tới 50 kbyte/s. Có một thực nghiệm được thử với clock lên tới 1.15Mhz. Ở thực tế đây là mức clock cao nhất mà vẫn có thể giao tiếp với cảm biến so với 400khz trong tài liệu kỹ thuật đã nêu.

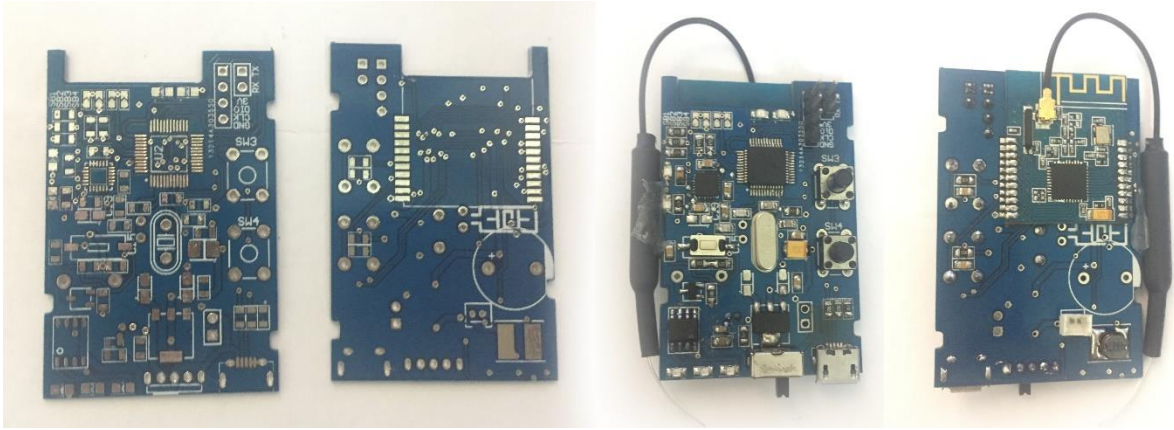
Khối mạch không dây Zigbee có kết nối tới vi điều khiển qua đường giao tiếp UART với tốc độ baud lên tới 115200.



Hình 3.6: Mạch nguyên lý thiết bị đo

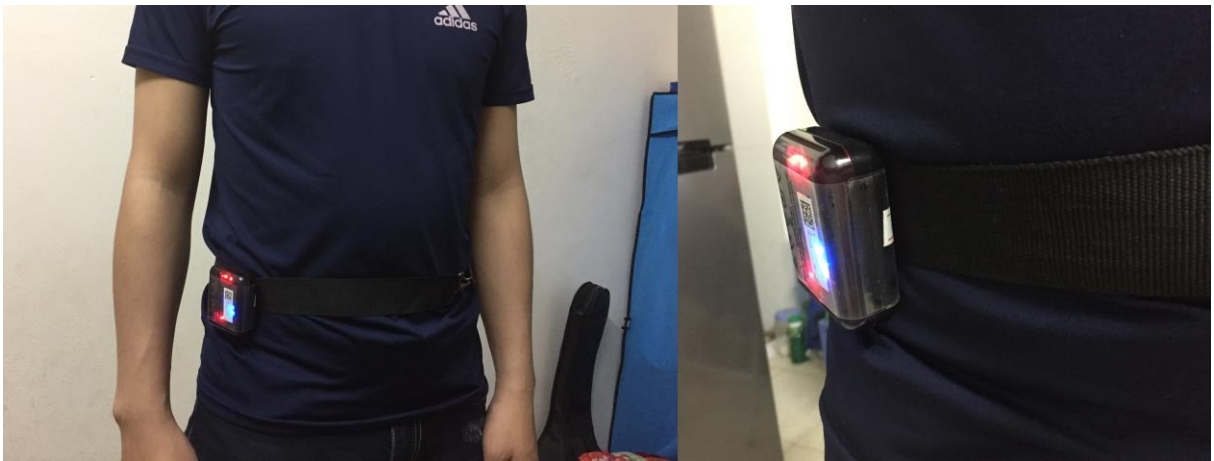


Hình 3.7: Mạch PCB của thiết bị đo



Hình 3.8. Hình ảnh mạch thiết bị đo trên thực tế

Thiết bị đeo trong thực tế kèm dây đai được đeo dễ dàng bên hông.



Hình 3.9. Thiết bị đeo có gắn dây đai trong thực tế.

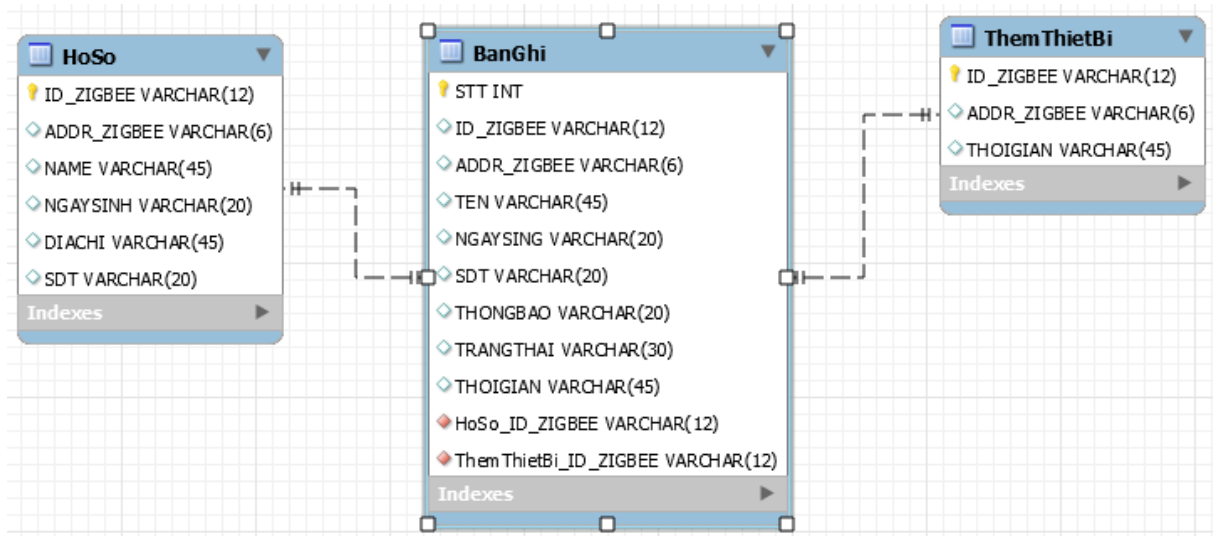
3.4. Thiết kế cơ sở dữ liệu và phần mềm giám sát

Hệ thống sử dụng Raspberry Pi 3 để làm một máy chủ thu thập dữ liệu đồng thời lưu trữ dữ liệu. Raspberry Pi 3 có kết nối thêm một module zigbee để các thiết bị đeo có thể gửi các bản tin thông báo đến.

3.4.1. Thiết kế cơ sở dữ liệu MySQL trên chủ Raspberry Pi 3

Cơ sở dữ liệu là xương sống của một hệ thống. Cơ sở dữ liệu nếu tốt thì hoạt động hệ thống sẽ tốt. Nếu không tốt hệ thống cơ sở dữ liệu phải thực hiện công việc bảo trì cơ sở dữ liệu thường xuyên hơn. Mysql là lựa chọn tối ưu nhất do tính dễ thiết kế, đây là một cơ sở dữ liệu cho phép truy xuất dữ liệu nhanh chóng có thể phân luồng truy xuất dễ dàng, hơn nữa đây cũng là một cơ sở dữ liệu hỗ trợ đa nền tảng lập trình. Chúng ta có thể lập trình web bằng php, lại cũng có thể lập trình ứng dụng sử dụng C# hay java, ... và nhiều ngôn ngữ khác nữa. Đa phần Mysql được thiết lập trên server và thích hợp

với các cơ sở dữ liệu cần truy cập từ xa. Raspberry Pi 3 chạy Mysql là tối ưu nhất để có được một cơ sở dữ liệu đơn giản dễ thực hiện nhưng đem lại lợi ích lớn. Cơ sở dữ liệu được thiết kế như sau.



Hình 3.10. Sơ đồ bảng cơ sở dữ liệu MySQL

Thiết bị máy chủ cơ sở dữ liệu Raspberry Pi 3 với kích thước nhỏ gọn là trung tâm của hệ thống. Thực hiện công việc nhận dữ liệu trên mạng, lưu trữ và thông báo.



Hình 3.11. Thiết bị máy chủ cơ sở dữ liệu Raspberry Pi 3.

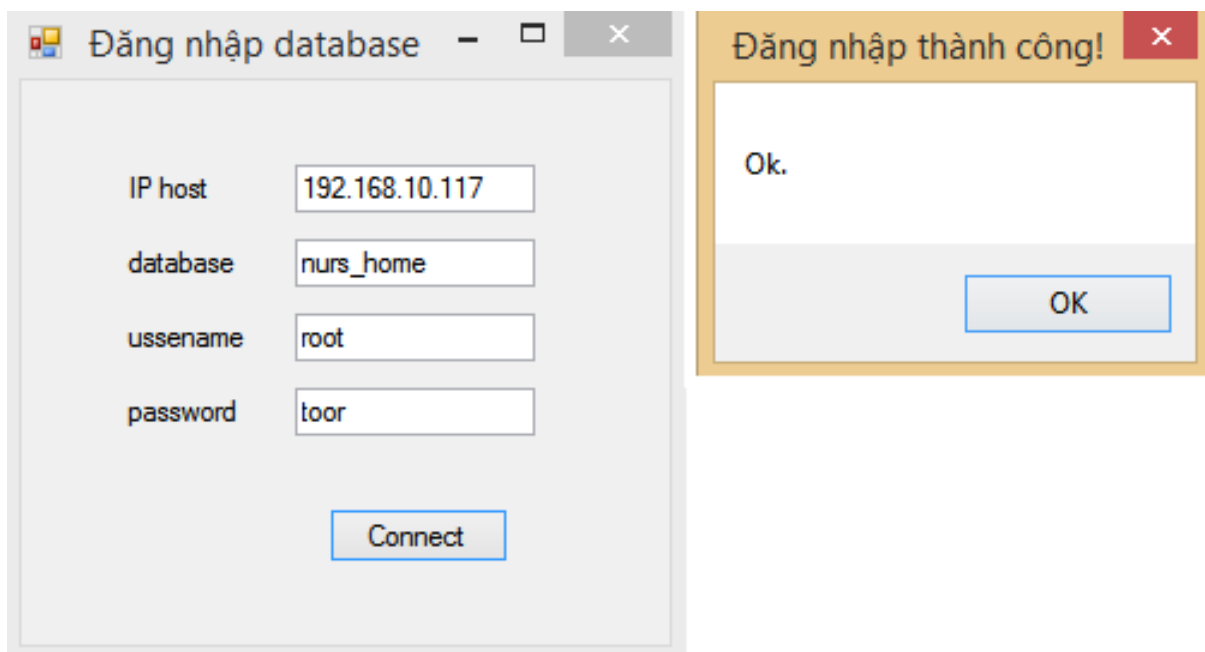
Máy chủ cơ sở dữ liệu có thể đáp ứng tối đa 65535 thiết bị đeo trong hệ thống. có nghĩa chúng ta có thể quản lý được tối đa 65535 thiết bị đeo.

3.4.2. *Giao diện giám sát*

Các nhà máy, các dây chuyền lớn, hay các hệ thống lớn để chạy ổn định nhất đều cần phải có những bộ phận hiển thị, điều khiển và cấu hình. Đây còn được coi như là con tim của hệ thống. Hệ thống thiết bị nhận diện trạng thái ngã cũng vậy, cũng cần có bộ phận hiển thị các trạng thái, bộ phận cấu hình. Bộ phận hiển thị cần giao tiếp với cơ sở dữ liệu để lấy được các thông tin dữ liệu thông báo hay là cấu hình lại một thiết bị trong mạng. Giao diện hiển thị có thể là một trang web hay một ứng dụng trên di động truy cập vào cơ sở dữ liệu. Nhưng việc thực thi và thao tác trên các nền tảng này sẽ khó khăn cho những người quản lý sử dụng. Do đó thiết nghĩ việc thiết kế giao diện trên máy tính tạo ra một phần mềm quản lý mà người dùng dễ sử dụng là điều cần thiết.

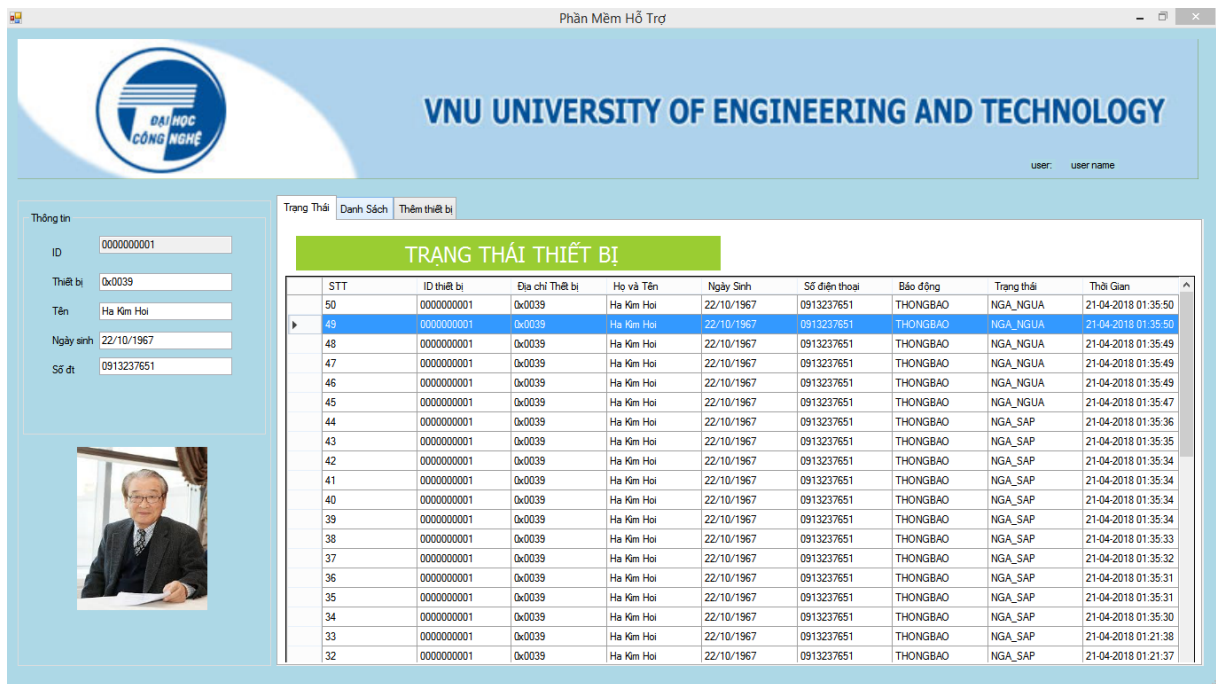
Có nhiều công cụ xây dựng phần mềm quản lý trên máy tính như java, C, C++, Matlab, LabView... Tuy nhiên lựa chọn được một ngôn ngữ vừa thân thiện vừa đảm bảo tính mạnh mẽ trong tính toán phân tích thì C# là một công cụ hợp lý.

Giao diện đăng nhập cơ sở dữ liệu: Cho phép người dùng truy cập vào cơ sở dữ liệu từ xa, có quyền quản lý chỉnh sửa cơ sở dữ liệu.



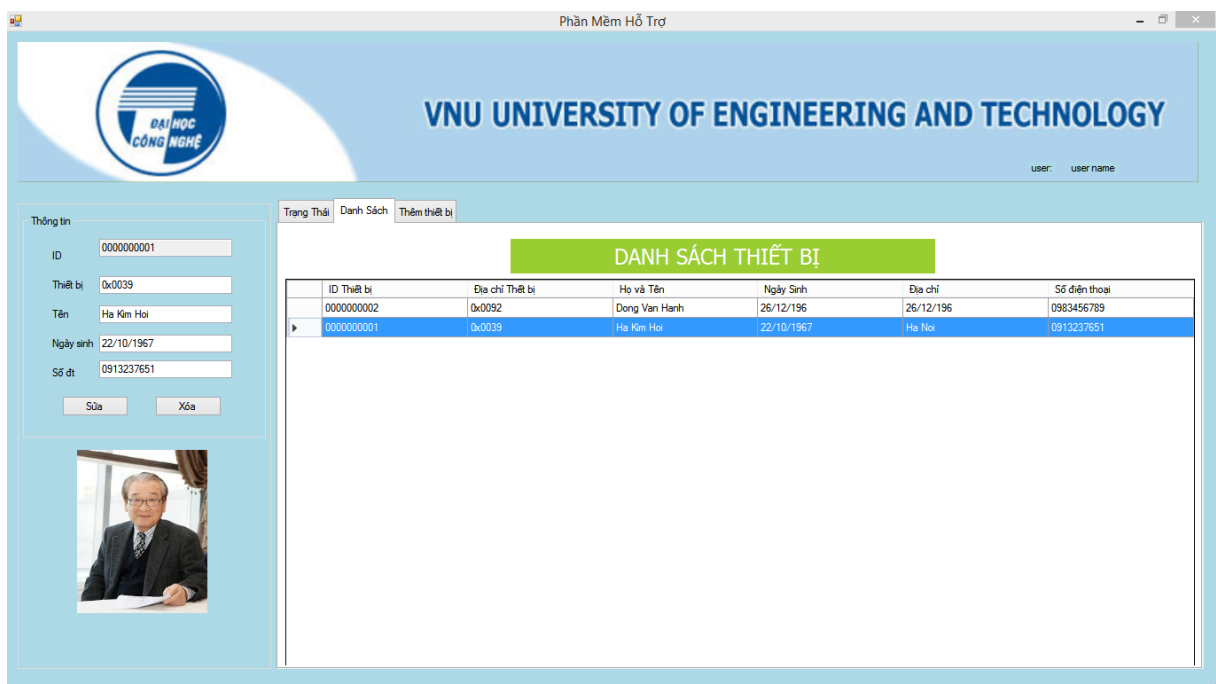
Hình 3.12. *Giao diện đăng nhập cơ sở dữ liệu*

Giao diện chính: Nơi hiển thị các thông báo trạng thái nếu có trạng thái ngã từ thiết bị đeo.



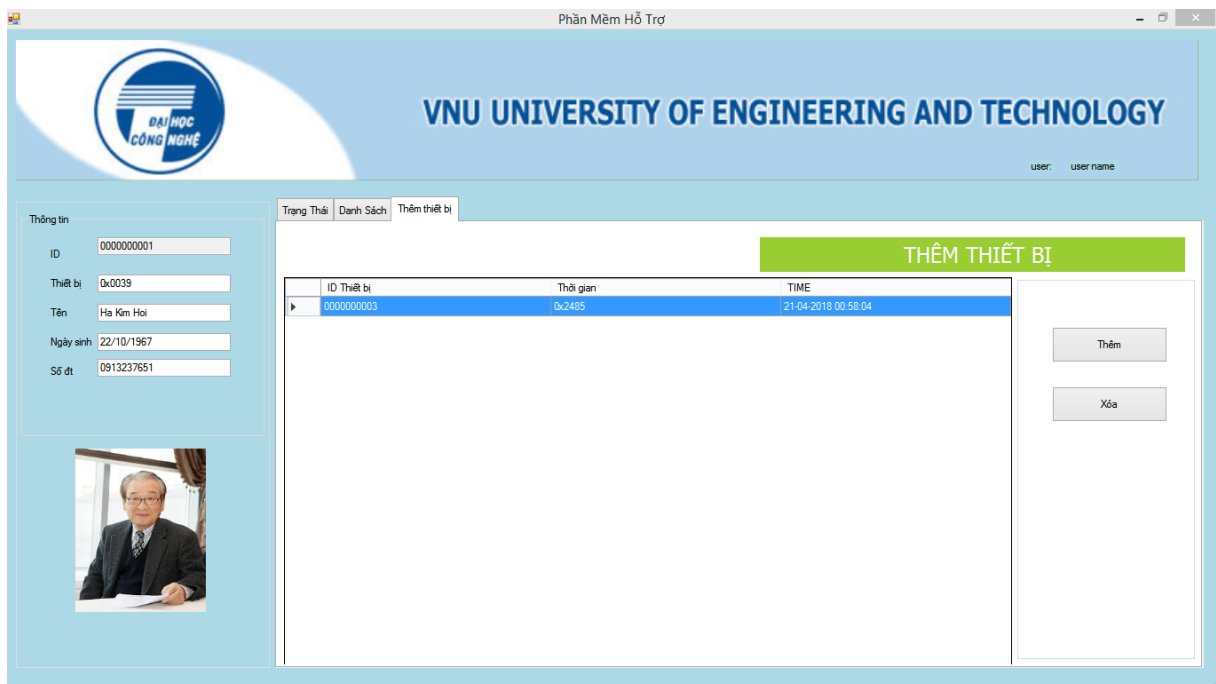
Hình 3.13. Giao diện chính phần mềm

Giao diện danh sách thiết bị: Cho phép xem sửa thông tin của các thiết bị cấu hình trong hệ thống.



Hình 3.14. Giao diện quản lý các thiết bị trong hệ thống

Giao diện thêm thiết bị: hệ thống có thể nhận ra thiết bị mới và từ đó quản lý có thể thêm thiết bị đó vào cơ sở dữ liệu. Từ đó thiết bị mới có thể gửi thông tin trạng thái lên hệ thống.



Hình 3.15. Giao diện thêm thiết bị vào hệ thống.

3.5. Các giá trị thực nghiệm

Như phần 3.2 đã trình bày về 4 tham số sử dụng để phân tích dữ liệu cho độ chính xác cao nhất. Với thuật toán so sánh ngưỡng chúng ta có độ chính xác với các thông số phân tích được lựa chọn như trong các bảng dưới đây.

- Với 10 lần ngã sắp trong mỗi thay đổi ngưỡng.

Bảng 3.2. Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã sắp.

Gia tốc trung bình	3g	3g	2g
Gia tốc trục z	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$
Góc xoay trục x	70 độ	65 độ	50 độ
Góc xoay trục y	70 độ	65 độ	50 độ
Thời gian phân tích	3 giây	2 giây	2 giây
Độ chính xác	4/10	7/10	9/10

- Với 10 lần ngã ngửa trong mỗi thay đổi ngưỡng.

Bảng 3.3. Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã ngửa.

Gia tốc trung bình	3g	3g	2g
Gia tốc trục z	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$
Góc xoay trục x	70 độ	65 độ	50 độ
Góc xoay trục y	70 độ	65 độ	50 độ
Thời gian phân tích	3 giây	2 giây	2 giây
Độ chính xác	3/10	5/10	8/10

- Với 10 lần ngã trái trong mỗi thay đổi ngưỡng.

Bảng 3.4 Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã trái.

Gia tốc trung bình	3g	3g	2g
Gia tốc trục z	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$
Góc xoay trục x	70 độ	65 độ	50 độ
Góc xoay trục y	70 độ	65 độ	50 độ
Thời gian phân tích	3 giây	2 giây	2 giây
Độ chính xác	4/10	6/10	10/10

- Với 10 lần ngã phải trong mỗi thay đổi ngưỡng.

Bảng 3.5 Giá trị thực nghiệm với 10 lần ngã phải.

Gia tốc trung bình	3g	3g	2g
Gia tốc trục z	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$	$\pm 1.2g$
Góc xoay trục x	70 độ	65 độ	50 độ
Góc xoay trục y	70 độ	65 độ	50 độ
Thời gian phân tích	3 giây	2 giây	2 giây
Độ chính xác	7/10	8/10	8/10

Nhận xét: bảng trên cho chúng ta thấy độ chính xác khi thay đổi các tham số ngưỡng. Với thiết bị đeo sử dụng thuật toán được căn chỉnh ngưỡng hợp lý thiết bị sẽ có được độ tin cậy cao.

Để nhận biết các loại ngã khác nhau thì sử dụng các cặp dữ liệu khác nhau được quy định ở bảng các trạng thái ngã phần 3.2.3. Thời gian phân tích có thể coi như là thời gian ngã. Trong thời gian này giá trị các cặp trục phân tích cần đạt ngưỡng thì sẽ được xem như là ngã.

Độ chính xác được tính bằng số lần nhận biết và phân biệt ngã

Với thiết bị đeo và hệ thống đã cho chạy demo và thử với 3 sinh viên cho thấy thiết bị đeo đo đạt phân tích chính xác với độ chính xác cao và gửi thông báo tới cơ sở dữ liệu và tới phần mềm rất ổn định.

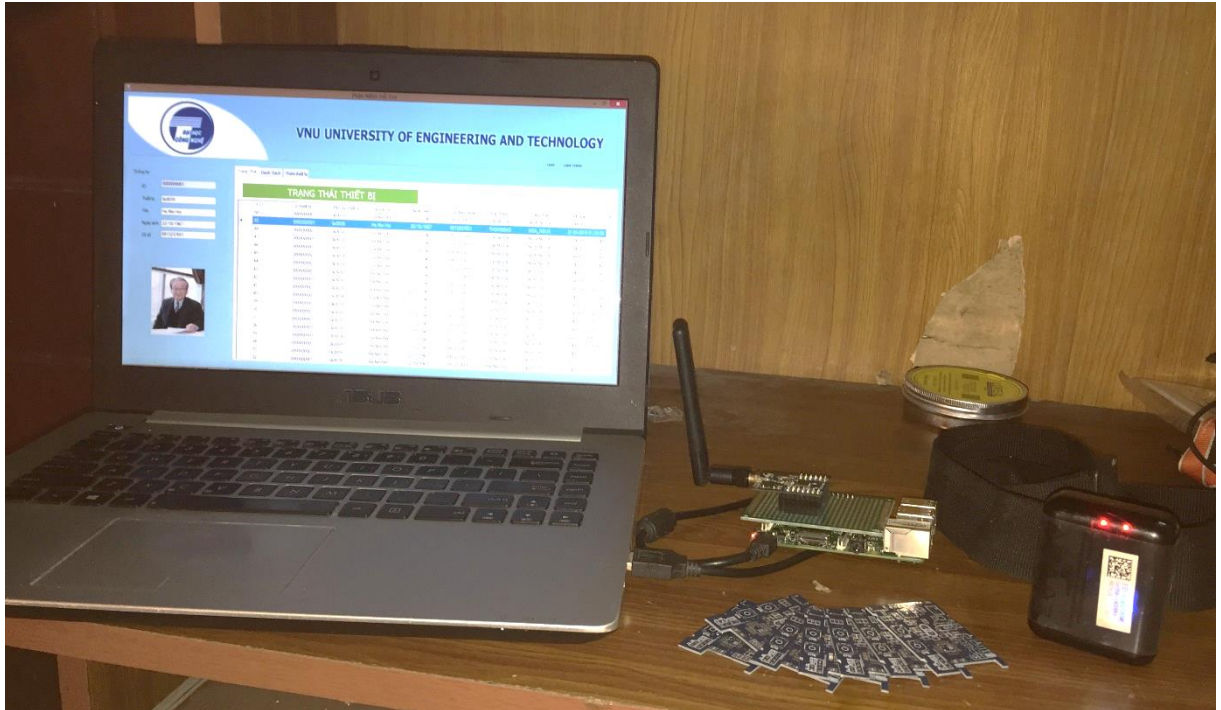
3.6. Hình ảnh tổng quan sản phẩm của khóa luận.

Mạch thiết bị đeo, thiết bị đeo và máy chủ cơ sở dữ liệu. Hiện tại mới chỉ có một thiết bị đeo, nhưng hệ thống có thể chấp nhận tối đa 65535 thiết bị đo do cấu trúc cơ sở dữ liệu.



Hình 3.16. Mạch thiết bị đeo, thiết bị đeo và máy chủ cơ sở dữ liệu.

Tổng thể hệ thống gồm thiết bị đeo, máy chủ cơ sở dữ liệu và phần mềm quản lý.



Hình 3.17. Tổng thể hệ thống.

KẾT LUẬN

Qua quá trình nghiên cứu thực hiện đề tài khóa luận “Nghiên cứu, thiết kế thiết bị hỗ trợ người già sử dụng công nghệ Zigbee và cảm biến gia tốc 3 trục” dưới sự hướng dẫn của Thầy Hoàng Văn Mạnh em đã hiểu thêm được rất nhiều công nghệ, và biết thêm cách áp dụng thiết kế một hệ thống hoặc một sản phẩm phục vụ cho nhu cầu cuộc sống.

Khóa luận đã thiết kế được một thiết bị đeo nhỏ gọn có pin sử dụng được trong 8 tiếng và có thể sạc lại. Các linh kiện được chọn theo xu hướng tiết kiệm pin. Về phát hiện trạng thái ngã, thiết bị đã phát hiện được những trạng thái ngã như ngã sắp, ngã ngửa, ngã trái, ngã phải. Hoạt động với độ tin cậy cao. Có thể truyền dẫn bản tin qua mạng zigbee chính xác lên cơ sở dữ liệu.

Bên cạnh Thiết bị đeo, khóa luận còn mang đến một phần mềm quản lý và thiết bị cơ sở dữ liệu có kết nối zigbee, thiết bị hoạt động ổn định. Về Phần mềm, tuy giao diện còn chưa chăm chút nhiều nhưng phần nào đã đáp ứng được nhu cầu. Có thể thông báo trạng thái ngã, thêm các thiết bị, chỉnh sửa các thông tin của thiết bị.

Hệ thống và sản phẩm có thể phát triển thêm và đưa ra ứng dụng tại các viện dưỡng lão cũng như các bệnh viện cần theo dõi hỗ trợ các vấn đề về ngã.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt:

- [1] Ngô Diên Tập, *Vi điều khiển với lập trình C*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà nội.
- [2] Huỳnh Đức Thắng, *Cẩm nang thực hành vi mạch tuyến tính, TTL/LS, CMOS*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà nội, 1994.

Tài liệu tiếng Anh:

- [3] <https://ieeexplore.ieee.org>, *Automatic Monocular System for Human Fall Detection Based on Variations in Silhouette Area* Page(s): 427 - 436, 20 November 2012.
- [4] <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050>
- [5] MPU-6000-Datasheet.pdf
- [6] MPU-6000-Register-Map1.pdf
- [7] http://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-mainstream-mcus/stm32f1-series/stm32f103.html
- [8] en.CD00171190.pdf, *STM32F1xx Reference manual*
- [9] <http://processors.wiki.ti.com/index.php/Category:Zigbee>
- [10] <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0>
- [11] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>
- [12] <https://raspberrypi.vn/danh-muc/mach-raspberry-pi>