

ระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth Accelerometer Sensor

พงษ์พันธ์ สมแพง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม วิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยี

และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2561

2-Dimension Falling Detection Using Bluetooth Accelerometer Sensor

Pongpan Sompang

A Thesis Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Computer and Telecommunication Engineering

College of Innovative Technology And Engineering,

Dhurakij Pundit University

2018

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วยBluetooth Accelerometer Sensor
ชื่อผู้เขียน	พงษ์พันธ์ สมแพง
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชนัญ จารุวิทย์โกวิท
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

การล้มเป็นสาเหตุหนึ่งของการเจ็บป่วยและเสียชีวิตของผู้สูงอายุ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความรุนแรงที่เกิดจากการล้มคือทิศทางการล้ม จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนหนึ่งไม่สามารถตรวจจับทิศทางการล้มได้ บางงานวิจัยตรวจจับทิศทางการล้มได้แต่ไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวของผู้ล้มภายหลังการล้มงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth accelerometer sensor ที่สามารถตรวจจับการล้ม บอกลักษณะการล้มในรูปแบบว่า ล้มไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้าย และด้านหลังขวา ระบบสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวของผู้ล้มภายหลังการล้ม ทำให้ผู้ช่วยเหลือสามารถประเมินความรุนแรงที่เกิดจากการล้มได้ งานวิจัยนี้เลือกใช้ Bluetooth accelerometer sensor ซึ่งมีเซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน (3-axis accelerometer) ส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ 4.0 ไปยังสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ android 4.3 ขึ้นไปเพื่อประมวลผลด้วยโปรแกรมตรวจจับการล้มที่งานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยใช้หลักการต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) เมื่อเกิดเหตุการณ์ล้ม โปรแกรมจะเก็บข้อมูลการล้มและแจ้งเตือนขอความช่วยเหลือในรูปแบบเสียง และข้อความแจ้งเตือนที่สมาร์ตโฟนของผู้ล้มเพื่อขอความช่วยเหลือจากผู้ที่อยู่ใกล้เคียง พร้อมกับส่งข้อความแจ้งลักษณะการล้ม และตำแหน่งที่ล้มไปยังหมายเลขโทรศัพท์ผู้ติดต่อฉุกเฉินที่ตั้งค่าไว้เพื่อการช่วยเหลือผู้ล้มได้อย่างรวดเร็ว

ระบบตรวจจับการล้มที่พัฒนาขึ้นได้ถูกทดสอบและศึกษาผลของตำแหน่งที่ตั้งเซนเซอร์ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิกติดบริเวณหัวเข็มขัดบริเวณหน้าอกลักษณะเป็นเข็มกลัด และบริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ ผลการทดสอบตรวจจับความถูกต้องการล้มบริเวณเอวลักษณะเป็นคลิกติดบริเวณหัวเข็มขัดอยู่ในระดับ 83.33% - 90.00% บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดอยู่ในระดับ 83.33% - 90.00% และบริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคออยู่ในระดับ 50.00% - 80.00% ส่วนผลการทดสอบตรวจจับความถูกต้องการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวอยู่ในระดับ 100% และความเร็วในการแจ้งเตือนไม่เกิน 4 วินาทีทั้ง 3 ตำแหน่งที่ได้ทดสอบ

Thesis Paper Title	2-Dimension Falling Detection Using Bluetooth Accelerometer Sensor
Author	Pongpan Sompang
Thesis Paper Advisor	Dr. Tanun Jaruvitayakovit
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2017

ABSTRACT

Falling is one of the main causes of illness and death of the elderly. Factor that effected the severely of falling is the direction of the fall. Some of related research has not been able to detect the falling direction. Some of the research can detect the direction of the fall but could not detect the motion consciousness of the one who fell after the fall. This research have developed the concept of a fall detection system with 2dimensional bluetooth accelerometer sensor that can detect the falling direction e.g. front, back, left, right, front left, front right, rear left and rear right. In addition, the developed system can detect motion consciousness who fell after the fall. Then, the savior can predict the severity resulting from the fall. This research use bluetooth accelerometer sensor which has 3 axis acceleration sensor data transmission over bluetooth 4.0 to smartphones with operating system Android 4.3 or above. Then the program will process to detect the falling by using the principle of falling detection decision tree. The program will automatically collect data of the fall and alert for help in audio and text. The smartphone of those who falling down will alert in order to ask for help from people nearby along with the message to inform falling position and appearance to an emergency contact phone number that are set to help the fallen down person in pace.

Fall detection systems which were developed by testing the effectiveness of the 3-position sensors which is a small clip that can be attached to the buckle, brooch on the chest or the neck as a necklace. The test results fall detection accuracy as a clip attached to the buckle is 83.33% - 90.00%, brooch on the chest is 83.33% - 90.00% and a necklace is 50.00% - 80.00%. The test detects the consciousness is 100% and the speed of notification are under 4 seconds for all the 3 positions that are tested.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ ดร.ชนัญ จารุวิทย์โกวิท ที่ปรึกษาการทำวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิดที่เป็นประโยชน์ในการเขียน และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีตลอดมา ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์ และ ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบ ตรวจสอบแก้ไขการทำวิทยานิพนธ์และ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์และโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้ความรู้ในด้านวิชาการและ สามารถปรับปรุงความคิดแบบระบบบูรณาการ ให้สามารถนำความรู้ที่ได้มา ประยุกต์ใช้ในการทำ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นแรงบันดาลใจในการศึกษา มาโดยตลอดจนกระทั่งการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พงษ์พันธ์ สมแพง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	23
3.1 โครงสร้างและการทำงานระบบ.....	23
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิจัยและพัฒนา.....	25
3.3 ความสัมพันธ์ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกับรูปแบบการล้ม.....	25
3.4 ขั้นตอนวิธีของโปรแกรมตรวจจับการล้ม.....	31
3.5 การออกแบบการทำงานของโปรแกรม.....	35
3.6 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์.....	36
4. ทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ.....	43
4.1 ทดสอบการทำงานของระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด.....	43
4.2 ทดสอบการทำงานของระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด.....	55
4.3 ทดสอบการทำงานของระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ.....	57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4 ทดสอบการใช้พลังงาน Bluetooth accelerometer sensor.....	59
4.5 การเปรียบเทียบผลทดสอบการล้ม.....	60
4.6 ทดสอบการทำงานระบบโดยปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์ท่ามมองศาเดียวกับ พื้นโลก.....	65
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	74
ก ผลการทดสอบการล้ม.....	75
ข การใช้งานระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth Accelerometer Sensor	94
ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	6
2.2	20
3.1	31
3.2	32
4.1	50
4.2	55
4.3	56
4.4	57
4.5	58
4.6	59
4.7	59
4.8	60
4.9	62
4.10	64

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.11	ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลก ไปด้านซ้ายจากภาคผนวก ก.....	66
4.12	ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลก ไปด้านขวาจากภาคผนวก ก.....	67
4.13	ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลก ไปด้านหน้าจากภาคผนวก ก.....	67
4.14	ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลก ไปด้านหลังจากภาคผนวก ก.....	67



สารบัญภาพ

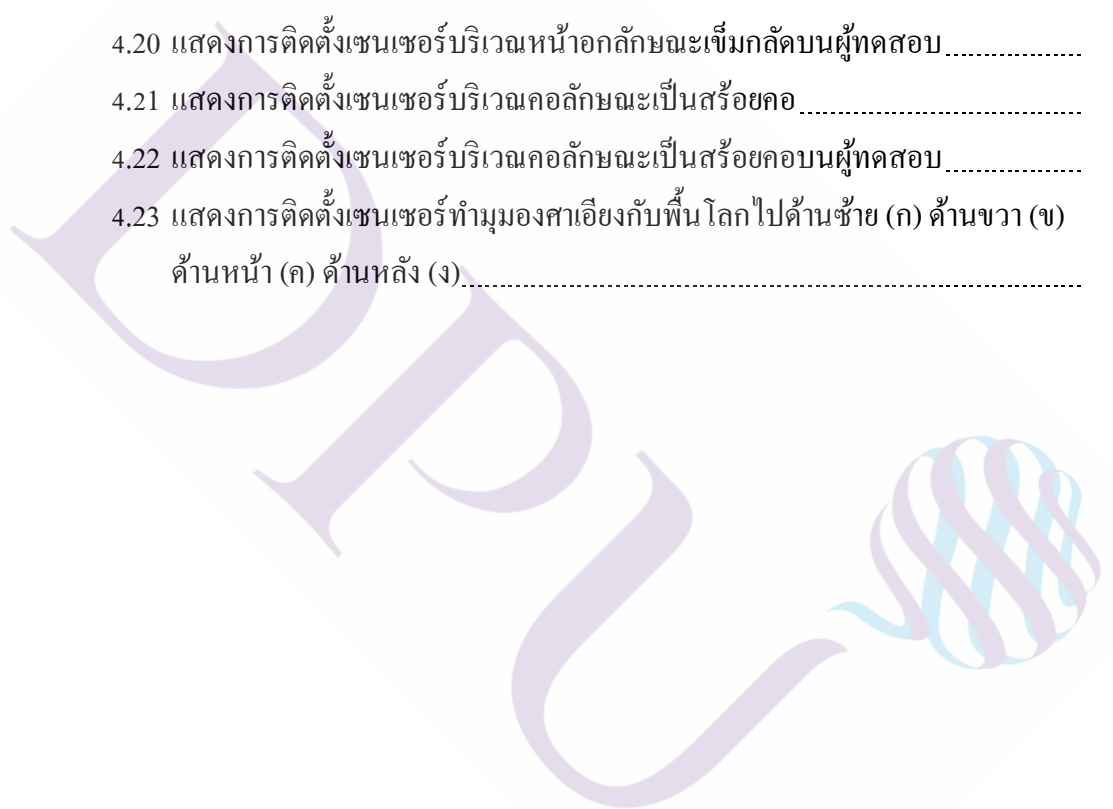
ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงบอร์ด Bluetooth accelerometer sensor.....	5
2.2 แสดงการส่งสัญญาณค้นหาอุปกรณ์.....	9
2.3 แสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบเล็ก.....	9
2.4 แสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบกระจาย.....	10
2.5 แสดงแผนภาพตัวอย่างการตัดสินใจแบบต้นไม้.....	12
2.6 แสดงโครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์.....	14
3.1 แสดงโครงสร้างของระบบ.....	23
3.2 แสดงการทำงานของระบบ.....	24
3.3 แสดงลักษณะการติดตั้ง Bluetooth accelerometer sensor.....	25
3.4 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านหน้า.....	26
3.5 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านหลัง.....	26
3.6 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านขวา.....	27
3.7 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านซ้าย.....	28
3.8 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านหน้าขวา.....	28
3.9 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านหน้าซ้าย.....	29
3.10 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านหลังขวา.....	30
3.11 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลี้มนำไปด้านหลังซ้าย.....	30
3.12 แสดงรูปแบบลักษณะการลี้มนำ.....	33
3.13 แสดงแผนภาพการตัดสินใจแบบต้นไม้การตรวจจับการลี้มนำ.....	34
3.14 แสดงการทำงานของโปรแกรม.....	35
3.15 แสดงส่วนต่อประสานโปรแกรมบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์.....	37
3.16 แสดงหน้าเมนูหลัก.....	38
3.17 แสดงหน้าตั้งค่า SMS.....	39
3.18 แสดงหน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor.....	39
3.19 แสดงหน้าตรวจจับการลี้มนำ (ก) หน้าลือกหน้าจ้อโทรศัพท์ (ข).....	40
3.20 แสดงหน้าแจ้งเตือนการลี้มนำ (ก) หน้าส่งข้อความอัตโนมัติ (ข).....	41
3.21 แสดงหน้ารายงาน.....	41

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.22 แสดงหน้าความรู้การล้ม.....	42
4.1 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด.....	44
4.2 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดบนผู้ทดสอบ.....	45
4.3 แสดงการล้มไปด้านหน้าติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	45
4.4 แสดงการล้มไปด้านหลังติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	46
4.5 แสดงการล้มไปด้านหลังแล้วมีความรู้สึกตัวลักษณะลุกขึ้นนั่งได้/ยืนได้ (ก) แจ็งเตือน (ข).....	46
4.6 แสดงการล้มไปด้านขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	47
4.7 แสดงการล้มไปด้านขวาแล้วมีความรู้สึกตัวลักษณะนอนอยู่ (ก) แจ็งเตือน (ข).....	47
4.8 แสดงการล้มไปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	48
4.9 แสดงการล้มไปด้านขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	48
4.10 แสดงการล้มไปด้านหน้าซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	49
4.11 แสดงการล้มไปด้านหลังขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	49
4.12 แสดงการล้มไปด้านหลังซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	50
4.13 แสดงการนอนลงไปด้านขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	51
4.14 แสดงการนอนลงไปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	51
4.15 แสดงการนอนลงไปด้านหลังติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	52
4.16 แสดงการลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ็งเตือนการล้ม (ข).....	53

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 แสดงการลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้นติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิก ติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข).....	53
4.18 แสดงการขึ้นแล้วก้มลงเก็บของติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิกบริเวณ หัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข).....	54
4.19 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด.....	55
4.20 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดบนผู้ทดสอบ.....	56
4.21 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ.....	57
4.22 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอบนผู้ทดสอบ.....	58
4.23 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมมองเสาเอียงกับพื้นโลกไปด้านซ้าย (ก) ด้านขวา (ข) ด้านหน้า (ค) ด้านหลัง (ง).....	66



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การหกล้ม [1] เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับสองในกลุ่มของการบาดเจ็บโดยไม่ตั้งใจ รองจากอุบัติเหตุทางถนน ทั่วโลกมีผู้เสียชีวิตจากการหกล้มประมาณปีละ 424,000 คนหรือเฉลี่ยวันละ 1,160 คน ประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตจากการหกล้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2557 มีผู้เสียชีวิตจากการหกล้มสูงถึง 2,007 คน หรือเฉลี่ยวันละ 6 คน ซึ่งเป็นผู้สูงอายุมากถึง 909 คน หรือเฉลี่ยวันละ 3 คน

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ในปี 2568 [2] ซึ่งมีผู้สูงอายุ 20 % ของประชากรในประเทศ ปัญหาสำคัญของผู้สูงอายุคือการหกล้ม สาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวกับการหกล้มของผู้สูงอายุได้แก่ ด้านความสามารถทางร่างกายของผู้สูงอายุที่ลดลง เช่น การมองเห็น การเดิน การทรงตัว การรับรู้ และการเจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังต่างๆ ด้านพฤติกรรมการใช้ยาที่เสี่ยงต่อการหกล้ม เช่น ยานอนหลับ ยาแก้ปวดประสาท ยาลดความดันโลหิต หรือได้รับยาตั้งแต่ 4 ชนิดขึ้นไป ขาดการออกกำลังกาย การสวมใส่รองเท้าและเสื้อผ้าไม่พอดี ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น พื้นและบันไดลื่น พื้นต่างระดับไม่เรียบ แสงสว่างไม่เพียงพอ มีสิ่งกีดขวาง ไม่มีราวจับบริเวณบ้าน บันได ห้องน้ำ ด้านเศรษฐกิจและสังคม เช่น การเข้าถึงการบริการสุขภาพน้อยรวมถึงขาดการสนับสนุนจากชุมชนซึ่งจากการพยากรณ์การหกล้มของผู้สูงอายุในประเทศไทยปี พ.ศ. 2560 – 2564 ของสำนักควบคุมโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข พบว่าในปี พ.ศ. 2560 มีประชากรผู้สูงอายุหกล้มประมาณ 3,030,900 – 4,714,800 คน แล้วเสียชีวิตโดยประมาณ 5,700 – 8,900 คน อัตราการเสียชีวิตจากการล้มในผู้สูงอายุสูงกว่าทุกกลุ่มอายุกว่า 3 เท่า โดยเพศชายมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่าเพศหญิง 3 เท่า ทั้งนี้ผู้สูงอายุเพศหญิงมีการหกล้มสูงกว่าเพศชาย 1.5 เท่า มีการบาดเจ็บจากการล้มสูงกว่าเพศชาย 1.6 เท่า โดยเพศหญิงร้อยละ 55 หกล้มในบ้านและบริเวณบ้าน ขณะที่เพศชายส่วนใหญ่ ร้อยละ 60 หกล้มบริเวณนอกบ้านขณะเดินทางและในสถานที่ทำงาน นอกจากนี้ผู้สูงอายุร้อยละ 60 ลื่น สะดุด หรือก้าวพลาดบนพื้นระดับเดียวกัน มีเพียงร้อยละ 5 ที่ตกหรือล้มจากบันได การหกล้มในกลุ่มผู้สูงอายุ ส่งผลให้คุณภาพชีวิตลดลงจากความพิการช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ หรือต้องพึ่งพาผู้อื่นและอัตราการเสียชีวิตเพิ่มสูงขึ้นตามอายุ นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับการรักษาและนอนโรงพยาบาลที่มีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มสูงขึ้น

จากปัญหาการหกล้มของผู้สูงอายุซึ่งมักกล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะ ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับการล้มโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับการล้มที่มีขนาดเล็ก ประหยัด พลังงาน สามารถติดตัวผู้สูงอายุไปได้ทุกที่ สามารถตรวจจับการล้ม บอกทิศทางการล้มได้ว่า ล้มไป ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้าย และด้านหลังขวา เพื่อให้ทราบถึงทิศทางของการล้ม สามารถบอกตำแหน่งที่เกิดการล้ม แจ้งเตือนเพื่อขอความช่วยเหลืออย่างทันทีทันใด ลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหลังจากการล้ม เช่น ลดอัตราการบาดเจ็บ สาหัส ลดอาการแทรกซ้อน และลดอัตราการเสียชีวิต หลังจากเกิดการล้มแล้ว ระบบสามารถ ตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวของผู้ล้ม ทำให้สามารถประเมินความรุนแรงที่เกิดจากการล้มได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับการล้มด้วยBluetooth Accelerometer Sensor

1.2.2 เพื่อตรวจจับการล้ม บอกลักษณะการล้มได้ว่า ล้มไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้าย และด้านหลังขวาพร้อมกับบอกตำแหน่งที่อยู่ของการล้มแจ้งเตือนการล้ม หลังจากเกิดการล้มแล้วสามารถบอกลักษณะการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบประกอบด้วย

1.3.1.1 Bluetooth Accelerometer Sensor เป็นอุปกรณ์ตรวจจับการล้ม

1.3.1.2 Smart phone Android 4.3 ขึ้นไปที่รองรับ Bluetooth4.0 ในการรับสัญญาณ ข้อมูลประมวลผลตรวจจับการล้มและส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านระบบโทรศัพท์

1.3.2 ซอฟต์แวร์พัฒนาด้วยAndroid studio เป็นแอปพลิเคชันซึ่งจะรับข้อมูลจาก Bluetooth Accelerometer Sensor ประมวลผลตรวจจับการล้มด้วยหลักการตัดสินใจแบบต้นไม้ และแจ้งเตือนการล้มผ่านระบบโทรศัพท์

1.3.3 ระบบสามารถบอกลักษณะการล้มที่ตรวจจับได้ว่า ล้มไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้าย และด้านหลังขวาพร้อมกับบอกตำแหน่งที่อยู่ของการล้มด้วยตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด แจ้งเตือนการล้ม หลังจากเกิดการล้มแล้วสามารถบอกลักษณะการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้

1.3.4 งานวิจัยนี้ศึกษาผลของตำแหน่งของ Bluetooth Accelerometer Sensor ว่ามีผลต่อ ความถูกต้องในการรายงานการล้มหรือไม่ โดยติดตั้ง Bluetooth Accelerometer Sensor ตามรูปแบบ

แนวแกน X,Z ขนานกับพื้นโลกและ Y ตั้งฉากกับพื้นโลกทำมุม 90 องศา ทดสอบการล้ม 3 ตำแหน่ง ได้แก่ สร้อยสวมใส่บริเวณคอ เข็มกลัดติดบริเวณหน้าอก เป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

1.3.5 งานวิจัยนี้ทดสอบระบบด้วยวิธีจำลองลักษณะการล้ม โดยเดินหรือยืนแล้วล้มนอนไปด้านต่างๆ ด้วยหุ่นที่มีรูปร่างเหมือนมนุษย์จริง ผู้ทดสอบจริงและกล่องสี่เหลี่ยมขนาดความสูงเท่ามนุษย์จริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เรียนรู้หลักการพัฒนา โปรแกรมเชื่อมต่อสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณ Bluetooth 4.0 มาตรฐาน IEEE 802.15.1

1.4.2 สามารถนำระบบไปช่วยเหลือผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุการล้ม และแจ้งเตือนขอความช่วยเหลือเมื่อเกิดการล้มได้อย่างทันท่วงที

1.4.3 ระบบสามารถบอกลักษณะการล้มได้ว่า ล้มไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าซ้าย ด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้าย และด้านหลังขวาพร้อมกับบอกตำแหน่งที่อยู่ของการล้ม แจ้งเตือนการล้ม หลังจากเกิดการล้มแล้วสามารถบอกลักษณะการรู้สึกตัวเคลื่อนไหว ทำให้สามารถประเมินความรุนแรงหลังจากการล้มได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Bluetooth accelerometer sensor [3]

Bluetooth accelerometer sensor ผลิตโดยบริษัท April Brother เป็นบอร์ดที่สามารถตรวจวัดความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก และสามารถตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณโดยรอบ โดยใช้บลูทูธ 4.0 ในการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายผ่านเทคโนโลยีบลูทูธแบบประหยัดพลังงานสามารถสื่อสารข้อมูลกับสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ iOS 7.0 ขึ้นไปหรือ Android 4.3 ขึ้นไปเป็นบอร์ดเซนเซอร์ที่ใช้พลังงานต่ำ ระยะการสื่อสารมาตรฐานอยู่ที่ระยะ 10 เมตร มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาตามภาพที่ 2.1 ฮาร์ดแวร์หลักที่สำคัญประกอบด้วย

หมายเลข (1) ไอซี Microcontroller มีหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของบอร์ด เช่น ควบคุมอ่านค่าข้อมูลจากไอซีเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกและวัดอุณหภูมิ ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆภายในบอร์ดควบคุมการใช้พลังงานของบอร์ด Bluetooth accelerometer sensor ควบคุมการแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณบลูทูธ

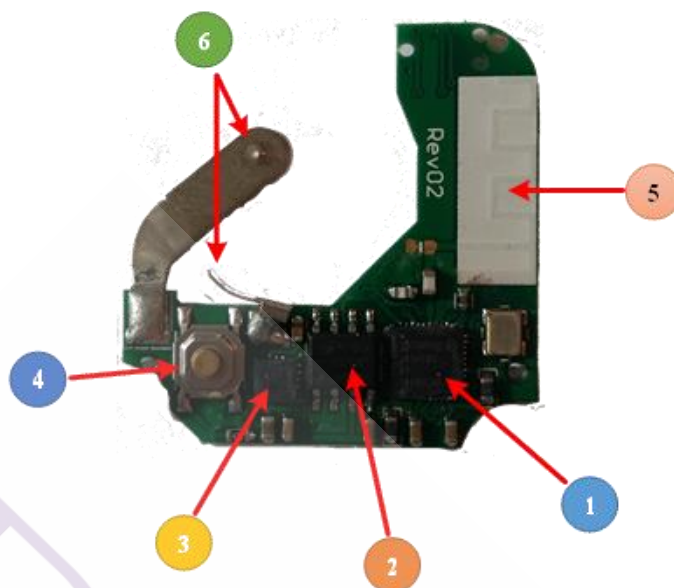
หมายเลข (2) ไอซีบลูทูธ 4.0 ทำหน้าที่แปลงข้อมูลความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกและวัดอุณหภูมิ และข้อมูลต่างๆ ของบอร์ดเป็นแพ็คเกจแล้วส่งเป็นสัญญาณบลูทูธเพื่อการสื่อสารกับอุปกรณ์ที่รองรับการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ 4.0

หมายเลข (3) ไอซีเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกและวัดอุณหภูมิ ทำหน้าที่วัดความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกและวัดอุณหภูมิบริเวณโดยรอบส่งให้ Microcontroller

หมายเลข (4) สวิตซ์ทำหน้าที่ปิด-เปิดการทำงานของบอร์ด

หมายเลข (5) สายอากาศทำหน้าที่ส่งสัญญาณบลูทูธในรูปแบบคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz

หมายเลข (6) ขารับแบตเตอรี่แบบ CR2032 ทำหน้าที่เชื่อมต่อการจ่ายพลังงานไฟเลี้ยง 3.0 VDC แก่บอร์ดในการทำงาน



ภาพที่ 2.1 แสดงบอร์ด Bluetooth accelerometer sensor

ที่มา: <https://blog.aprbrother.com/product/asensor>

คุณสมบัติของ Bluetooth accelerometer sensor

1. มีเซนเซอร์วัดความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 3 แกนและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ
2. ย่านความไว (Sensitivity) ในการวัดความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g ได้ 4 ย่าน คือ $\pm 2, 4, 8, 16g$
3. ขนาดเล็ก 37.3mm X 37.3mm X 7mm
4. น้ำหนักเบา 0.1 กรัม
5. รองรับการสื่อสารข้อมูลแบบบลูทูธ 4.0 เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ iOS 7.0 ขึ้นไปหรือ Android 4.3 ขึ้นไป
6. หนึ่งสวิตช์ปุ่มกดสำหรับเปิดปิดการทำงาน
7. พลังงานไฟเลี้ยง 3.0VDC จากแบตเตอรี่ CR2032
8. ซอฟต์แวร์สามารถปรับกำลังส่งสัญญาณ 0dBm ปกติและ -20dBm สำหรับการใช้งาน

ระยะสั้น

9. ใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษด้วยเทคโนโลยี Bluetooth low energy
10. อัปเดตซอฟต์แวร์ด้วยวิธี Over-the-Air (OTA)
11. ช่วงเวลาในการแพร่กระจายข้อมูล ปรับได้ 100 ถึง 1,285 ms ค่ามาตรฐาน 1,285ms
12. ระยะการสื่อสารข้อมูลแบบบลูทูธ 4.0 สามารถปรับได้สูงสุด 35 เมตร ระยะมาตรฐาน 10 เมตร

ตารางที่ 2.1 แพ็กเก็ตข้อมูลที่สำคัญของ Bluetooth accelerometer sensor

Byte(s)	Name	Value	Notes
9, 10	Company ID	0xD2, 0x00	ID for Dialog semi
16	Mac Address	-	-
17	Firmware Version	0x02	-
18	Related Temperature	-	-
19	Is Sensor Motion	0x00	When move, the value = 0x01. when still the value = 0x00
20	X Acceleration	-	-
21	Y Acceleration	-	-
22	Z Acceleration	-	-
23	Current Motion Duration	0x00	Current motion time in second
24	Last Motion Duration	0x00	Last motion time in second
25	Battery Level	0x64	Battery level in percent
26	Measured Power	-	-

จากตารางแพ็กเก็ตข้อมูล Bluetooth accelerometer sensor สามารถอธิบายได้ดังนี้

Byte 9, 10 ค่าไอดีของบริษัทผู้ผลิต

Byte 16 ค่า Mac Address ของ Bluetooth accelerometer sensor

Byte 17 ค่าออฟเซตเฟิร์มแวร์ของ Bluetooth accelerometer sensor

Byte 18 ค่าอุณหภูมิ

Byte 19 ค่าการเคลื่อนไหวเมื่อเคลื่อนไหวมีค่าเป็น 0x01 และหยุดหนึ่งอยู่กับที่มีค่าเป็น 0x00

Byte 20 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในแนวแกน X

Byte 21 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในแนวแกน Y

Byte 22 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในแนวแกน Z

Byte 23 ค่าการเคลื่อนไหวปัจจุบันเป็นวินาที

Byte 24 ค่าการเคลื่อนไหวสุดท้ายเป็นวินาที

Byte 25 ค่าพลังงานแบตเตอรี่เป็นเปอร์เซ็นต์

Byte 26 ค่ากำลังการส่งสัญญาณ

ส่วน Byte ที่ไม่ได้กล่าวถึงจะเป็น Byte มาตรฐานของ Bluetooth 4.0 Core ที่ใช้ในการสื่อสาร

2.1.2 การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1 [4]

บลูทูธเป็นมาตรฐานการสื่อสารระยะใกล้ สำหรับการสื่อสารในเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network) กำหนดโดยกลุ่ม Bluetooth special interest Group (Bluetooth SIG) เป็นหน่วยงานกำหนดมาตรฐาน โดยเน้นการเชื่อมต่อสื่อสารไร้สายระหว่างอุปกรณ์ เช่น โทรศัพท์ที่เชื่อมต่อกับ หูฟังบลูทูธ ลำโพงบลูทูธ กล้องดิจิทัล เครื่องพิมพ์ และเครื่องฉายโปรเจกเตอร์ เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายบลูทูธเป็นการสื่อสารระยะใกล้รัศมี 0.01 -100 เมตร ใช้ความถี่คลื่นวิทยุแทนการสื่อสารแบบสายสัญญาณ โดยใช้คลื่นความถี่ย่าน 2.4 GHz ในการสื่อสารแต่มีการแยกย่อยออกไปตามการใช้งานในแต่ละประเทศ เช่น ทวีปยุโรปและอเมริกา ใช้คลื่นความถี่ 2.400 ถึง 2.483 GHz ครอบคลุมทั้งประเทศฝรั่งเศส และสเปน แบ่งช่องสัญญาณคลื่นความถี่เป็น 79 ช่อง ใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ส่งข้อมูลแบบสลับไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาทีในการสื่อสาร ส่วนทวีปเอเชียอย่างเช่นประเทศญี่ปุ่นใช้คลื่นความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz แบ่งช่องสัญญาณความถี่เป็น 23 ช่องเป็นต้น บลูทูธใช้การผสมสัญญาณ (Modulation) แบบ Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) และการลดทอนสัญญาณรบกวนแบบ Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) ในการสื่อสารมีอัตราเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล 1 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ถ่ายโอนข้อมูลได้ทั้ง ภาพ เสียง และ ไฟล์ข้อมูล นอกจากนี้บลูทูธยังใช้พลังงานไฟเลี้ยงในการทำงานต่ำทำให้สามารถใช้งานได้นาน สามารถแบ่งระดับการส่งข้อมูลตามกำลังส่งของคลื่นวิทยุดังนี้

ระดับ Class 1 กำลังส่งสูงสุด 100 มิลลิวัตต์หรือ 20 มิลลิเดซิเบล ระยะประมาณ 100 เมตร

ระดับ Class 2 กำลังส่งสูงสุด 2.5 มิลลิวัตต์หรือ 4 มิลลิเดซิเบล ระยะประมาณ 10 เมตร

ระดับ Class 3 กำลังส่งสูงสุด 1 มิลลิวัตต์หรือ 0 มิลลิเดซิเบล ระยะประมาณ 1 เมตร

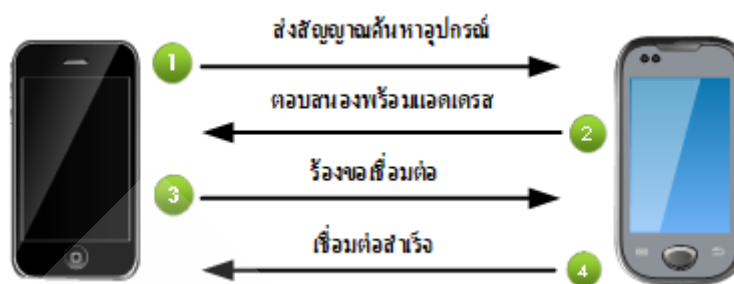
2.1.2.1 หลักการทำงาน และสถาปัตยกรรม[4]

การสื่อสารไร้สายบลูทูธจะมีอุปกรณ์หนึ่งตัวทำหน้าที่เป็นตัวแม่ข่าย (Master) ควบคุมการทำงานประสานงานกับอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่นในเครือข่ายเดียวกัน โดยจะมีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเป็นตัวลูกข่าย (Slave) ซึ่งการทำงานของบลูทูธนี้จะคล้ายกับระบบบัสอนุกรมแบบใช้ร่วมของเครื่องคอมพิวเตอร์ (USB) ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ คีบอร์ด เมาท์ เป็นต้น แต่ต่างกันที่อุปกรณ์บลูทูธสามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งตัวแม่ข่ายหรือตัวลูกข่ายตามความเหมาะสมของเครือข่ายซึ่งจะมีการจัดการกันเองอัตโนมัติด้วยโพรโทคอลมาตรฐาน อุปกรณ์บลูทูธจะมีแอดเดรส (Address) เป็นรหัสประจำตัวไม่ซ้ำกับอุปกรณ์อื่นมีขนาด 48 บิต ในการจำแนกอุปกรณ์แต่ละตัวและใช้ในการระบุความถี่ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์บลูทูธตัวนั้นๆ ใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่สาธารณะ (Unlicensed frequency) ในการสื่อสารไม่ต้องขออนุญาตใช้จากหน่วยงานที่กำหนด ทำให้การใช้งานคลื่นความถี่นี้ถูกรบกวนได้ง่าย

การค้นหาอุปกรณ์บลูทูธในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บลูทูธอื่นเป็นครั้งแรก โดยอุปกรณ์ที่ต้องการเชื่อมต่อจะทำการส่งการร้องขอการเชื่อมต่อแบบกระจาย (Broadcast) โดยมีรูปแบบที่เข้าใจกันระหว่างอุปกรณ์ เมื่ออุปกรณ์บลูทูธอื่นที่ได้รับการร้องขอในระยะรัศมีของสัญญาณคลื่นวิทยุจะตอบสนองการร้องขอได้สองรูปแบบคือ

1. รูปแบบที่หนึ่งหากผู้ใช้อุปกรณ์บลูทูธกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์เป็นการอำพรางตัว (Hidden Node) ตัวอุปกรณ์จะไม่ตอบสนองการร้องขอ

2. รูปแบบที่สองอุปกรณ์จะตอบสนองด้วยแอดเดรส 48 บิตในรูปเลขฐานสิบหกหรือชื่อที่ผู้กำหนด เมื่ออุปกรณ์ตอบรับการร้องขอขั้นต่อไปคือการจับคู่อุปกรณ์ โดยการจับคู่ต้องมีการป้องกันการเชื่อมต่อเพื่อไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตทำการเชื่อมต่อ จึงต้องมีการแลกเปลี่ยนรหัสเชื่อมต่อ (Passkey) เมื่ออุปกรณ์ตอบรับส่งรหัสเชื่อมต่อที่เหมือนกันแล้วการเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธก็จะเสร็จสมบูรณ์ และหากมีการเชื่อมต่อในครั้งที่สองสามารถตั้งค่าให้เชื่อมต่ออัตโนมัติได้จากภาพที่ 2.2 เริ่มจากสมาร์ตโฟนเครื่องที่ (1)ส่งสัญญาณค้นหาอุปกรณ์บลูทูธใกล้เคียงสมาร์ตโฟนเครื่องที่ (2)พบสัญญาณจะตอบสนองกลับด้วยการส่งแอดเดรสประจำเครื่องไปยังสมาร์ตโฟนเครื่องที่ (1)สมาร์ตโฟนเครื่องที่ (1)ร้องขอการเชื่อมต่อ สมาร์ตโฟนเครื่องที่ (2)ตอบรับการเชื่อมต่อจะเสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ 2.2 แสดงการส่งสัญญาณค้นหาอุปกรณ์

ที่มา: http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Bluetooth_and_Zigbee/index.php

2.1.2.2 การเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายอุปกรณ์บลูทูธ[4]

สามารถเชื่อมต่อได้สองลักษณะดังนี้

1) การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบเล็ก (Piconet) ลักษณะการเชื่อมต่อต้องมีอุปกรณ์บลูทูธเป็นตัวแม่ข่ายที่หน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่เป็นลูกข่ายโดยอุปกรณ์แม่ข่ายหนึ่งตัวสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ลูกข่ายได้มากที่สุดไม่เกิน 7 ตัว ดังภาพที่ 2.3 กำหนดเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์แม่ข่าย และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บลูทูธเช่น หูฟังไร้สายสมาร์ทโฟน เครื่องพิมพ์ เป็นอุปกรณ์ลูกข่าย



ภาพที่ 2.3 แสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบเล็ก

ที่มา: http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Bluetooth_and_Zigbee/index.php

2) การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบกระจาย (Scatternet) เป็นการนำการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบเล็ก หลายโครงข่ายมาเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ขึ้น โดยอุปกรณ์บลูทูธตัวแม่ข่ายในหนึ่งโครงข่ายแบบเล็กจะเป็นตัวลูกข่ายในอีกโครงข่ายหนึ่ง เช่น การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ตัวแม่ข่ายกับอุปกรณ์ตัวแม่ข่าย หรืออุปกรณ์ตัวแม่ข่ายกับอุปกรณ์ลูกข่ายที่อยู่ในโครงข่ายแบบเล็กที่ต่างกันดังภาพที่ 2.4 โครงข่ายแบบเล็กประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์แม่ข่ายเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ลูกข่าย หูฟังไร้สาย สมาร์ทโฟนและเชื่อมต่อกับอีกโครงข่ายแบบเล็กซึ่งประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์แม่ข่าย เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ลูกข่าย หูฟังไร้สาย กล้องถ่ายรูป เครื่องพิมพ์ เป็นโครงข่ายแบบกระจาย



ภาพที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบกระจาย

ที่มา: http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Bluetooth_and_Zigbee/index.php

2.1.2.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายบลูทูธ 4.0[5]

บลูทูธ 4.0 เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบประหยัดพลังงาน (Bluetooth low energy: BLE) มีเป้าหมายในการใช้งานสำหรับอุปกรณ์บลูทูธขนาดเล็กที่ใช้พลังงานต่ำเพื่อการใช้งานที่หลากหลาย เช่น อุปกรณ์บลูทูธในงานดูแลสุขภาพ การออกกำลังกาย การรักษาความปลอดภัย เป็นต้น โดยใช้พลังงานต่ำกว่าบลูทูธแบบมาตรฐาน ซึ่งมีการออกแบบโปรโตคอลเพื่อให้

สามารถมีรอบการทำงานต่ำ (Low duty cycle) พร้อมพิจารณาการใช้งานในกรณีต่างๆ ของอุปกรณ์บลูทูธ มีจุดมุ่งหมายให้อัตราการใช้พลังงานโดยรวมต่ำลง โดยหลักการคือการทำให้อุปกรณ์รับส่งข้อมูลอุปกรณ์บลูทูธแบบประหยัดพลังงานจะใช้พลังงานกระแสไฟลิติปมิลลิแอมป์เท่ากับบลูทูธแบบมาตรฐาน แต่การทำงานช่วงพัก (Sleep mode) จะลดพลังงานกระแสไฟเหลือเพียง ลิบนาโนแอมป์ทำให้อาศัยพลังงานจากถ่านกระดุม (Button Cell) ก็ยังสามารถทำงานได้นานเป็นปี อุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีบลูทูธแบบประหยัดพลังงานทำงานในช่วงคลื่นความถี่ช่วงเดียวกันกับ เทคโนโลยีบลูทูธแบบมาตรฐานคือ 2.400 ถึง 2.483 GHz แต่ใช้ช่องสัญญาณคนละชุด โดยแทนที่จะใช้ช่องสัญญาณกว้าง 79.1 MHz ตามเทคโนโลยีมาตรฐานแต่เทคโนโลยีบลูทูธแบบประหยัดพลังงานจะใช้ช่องสัญญาณกว้าง 40.2 MHz แทน และใช้วิธีการกระโดดข้ามช่องสัญญาณแตกต่างจากเทคโนโลยีบลูทูธแบบมาตรฐาน จากการกระจายช่วงคลื่นแบบกระโดดข้ามความถี่ เป็นวิธีการกระจายช่วงคลื่นแบบลำดับโดยตรง (Direct-sequence Spread Spectrum: DSSS) แทนสำหรับวิธีการกระจายช่วงคลื่นแบบลำดับโดยตรงจะต่างออกไปจากเทคนิคการกระจายช่วงคลื่นแบบกระโดดข้ามความถี่ ซึ่งข้อมูลที่จะส่งนั้นจะถูกปรับให้เป็นดิจิทัลคือ 0 กับ 1 เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบความถูกต้องแล้วนำข้อมูลมาขยายด้วยการใช้ S Pseudo Code Sequent แทนบิต 0 กับ 1 ของข้อมูลเทคโนโลยีบลูทูธแบบประหยัดพลังงานสามารถสร้างการเชื่อมต่อสื่อสารได้สองโหมดคือโหมดเดี่ยว (Single - mode) การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น สมาร์ทโฟนเชื่อมต่อกับหูฟังนาฬิกา สายรัดข้อมืออัตราการเต้นของหัวใจ เป็นต้น มีการใช้พลังงานต่ำกว่าการเชื่อมต่อแบบโหมดคู่ (Dual - mode) โหมดคู่ใช้กับการสื่อสารข้อมูลระหว่างสมาร์ทโฟนกับสมาร์ทโฟน หรือคอมพิวเตอร์กับสมาร์ทโฟน เป็นต้น เทคโนโลยีบลูทูธแบบประหยัดพลังงานจะใช้เสาอากาศและคลื่นความถี่เดียวกับเทคโนโลยีบลูทูธแบบมาตรฐาน จึงทำให้สามารถพัฒนาอุปกรณ์บลูทูธแบบมาตรฐานให้มีความสามารถประหยัดพลังงานได้

2.1.3 เทคนิคการตัดสินใจแบบต้นไม้[6]

การตัดสินใจแบบต้นไม้ (Decision Tree) นิยมใช้เมื่อมีเหตุการณ์ตั้งแต่สองเหตุการณ์ขึ้นไปเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน หรือกรณีที่มีการตัดสินใจซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน โดยมีทางเลือกหลายทาง แต่ไม่ทราบผลลัพธ์ของแต่ละทางเลือก และการตัดสินใจในครั้งหลังขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจที่เกิดขึ้นก่อนหน้า โดยจะมีลักษณะการทำงานเป็นเหมือน โครงสร้างต้นไม้ การสร้างต้นไม้ตัดสินใจเป็นการแสดงขบวนการตัดสินใจซึ่งจะบอกทางเลือกการตัดสินใจ ความน่าจะเป็นของแต่ละทางเลือก เพื่อให้ได้ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละทางเลือก การวิเคราะห์นำมาแสดงให้เห็นในรูปแบบ กิ่งก้านสาขาของต้นไม้ตัดสินใจ โดยเริ่มจากจุดที่ต้องตัดสินใจ รากของต้นไม้ตัดสินใจแต่ละโหนด

(Node) แสดงค่า (Attribute) แต่ละกิ่งก้านลิฟโนด (Leaf Node) แสดงค่าคลาส (Class) ของต้นไม้ตัดสินใจซึ่งจะใช้แทนทางเลือกต่างๆเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการเรียนรู้และทำความเข้าใจสามารถแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลและผลลัพธ์แปลงเป็นกฎต่างๆได้ เช่น การเล่นเกมฟากอล์ฟ ถ้า อากาศ “ฝนตก” และอุณหภูมิ “ต่ำ” และความชื้น “สูง” และลม “แรง” ผลลัพธ์คือไม่เล่นเกมฟากอล์ฟ เป็นต้น ขั้นตอนการวิเคราะห์เทคนิคการตัดสินใจแบบต้นไม้

1. ระบุปัญหา
2. ร่างโครงสร้างการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบต้นไม้
3. ระบุความน่าจะเป็นของทางเลือก
4. ประเมินผลที่คาดหวังของแต่ละทางเลือก
5. วิเคราะห์ผลที่คาดว่าจะได้รับ ด้วยการคำนวณย้อนหลังไปจากทางขวาสุดของ

ต้นไม้มาช่วยสุด

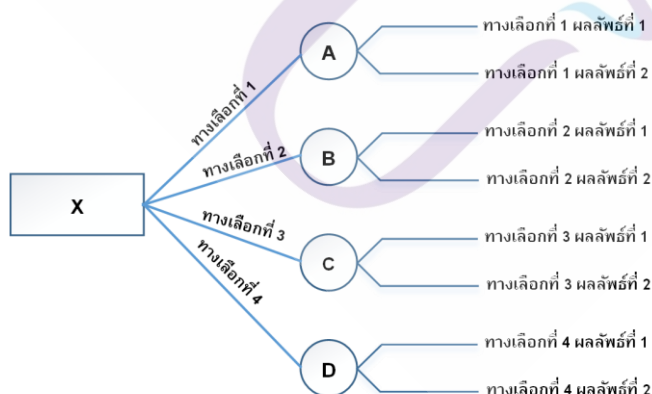
การตัดสินใจแบบต้นไม้สามารถเขียนแผนภาพโดยใช้สัญลักษณ์ดังนี้

เส้นตรง เป็นทางเลือกที่เกิดขึ้น

สี่เหลี่ยม เป็นจุดที่ต้องมีการตัดสินใจ เส้นตรงหลังสี่เหลี่ยมคือทางเลือกที่ตัดสินใจ

วงกลม เป็นจุดที่เกิดผลลัพธ์ต่างๆขึ้น เส้นตรงหลังวงกลมคือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น

สามารถแสดงตัวอย่างการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้ดังภาพที่ 2.5 สี่เหลี่ยม X เป็นจุดเริ่มต้นทางเลือกที่เกิดขึ้นมีสี่ทางเลือกคือ 1, 2, 3 และ 4 และผลลัพธ์ของทางเลือกมีได้สองผลลัพธ์



ภาพที่ 2.5 แสดงแผนภาพตัวอย่างการตัดสินใจแบบต้นไม้

ที่มา: <https://www.lucidchart.com/pages/decision-tree>

2.1.4 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2.1.4.1 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ [7]

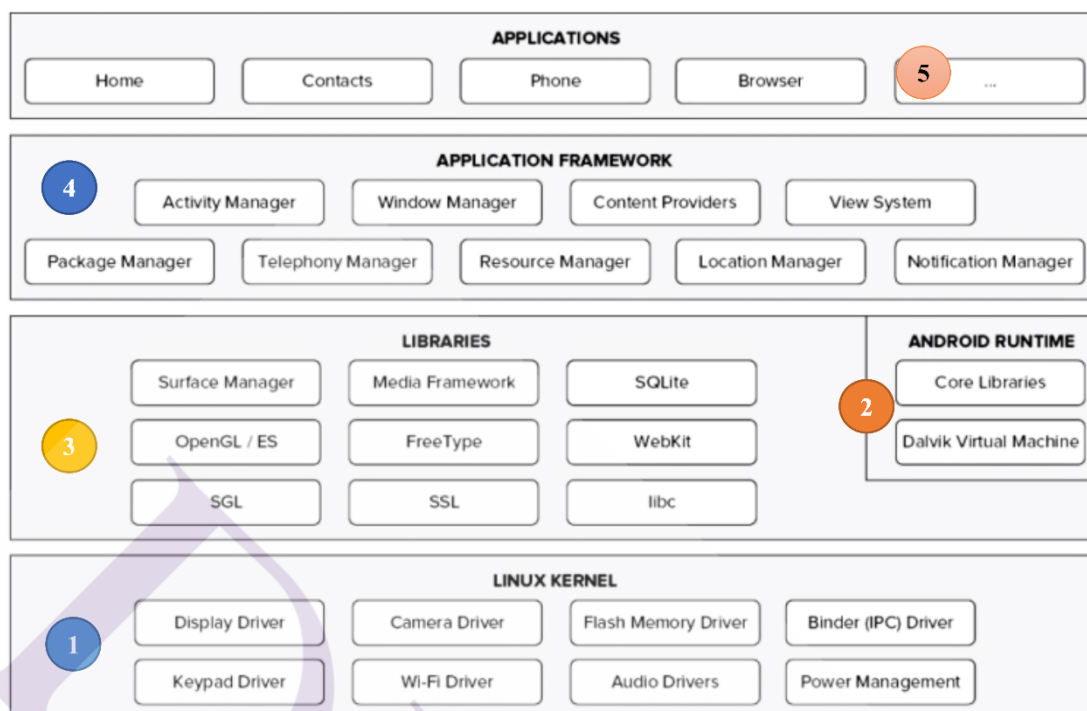
โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เป็นส่วนสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจเพราะถ้านักพัฒนาโปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน สามารถทำความเข้าใจภาพโดยรวมของระบบได้ทั้งหมด จะให้สามารถเข้าใจถึงกระบวนการทำงาน และสามารถนำไปช่วยในการออกแบบโปรแกรมที่ต้องการพัฒนา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน จากภาพที่ 2.6 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จะสังเกตได้ว่า มีการแบ่งออกมาเป็นส่วนๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยส่วนล่างสุดจะเป็นส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์โดยผ่านทาง Linux Kernel จากนั้นก็จะลำดับขึ้นไปตามองค์ประกอบอื่นๆตามลำดับ และสุดท้ายจะเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานทำการติดต่อโดยตรงโครงสร้างของแอนดรอยด์ อธิบายได้ดังนี้

1. Linux Kernel เป็นส่วนล่างสุดที่ทำหน้าเป็นส่วนสำคัญ ในจัดการกับบริการหลักของระบบปฏิบัติการ เช่น เรื่องหน่วยความจำ พลังงาน ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ความปลอดภัย เครือข่าย โดยแอนดรอยด์ได้นำเอาส่วนนี้มาจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์ รุ่น 2.6

2. Android Runtime เป็นส่วนที่สองถัดขึ้นมาคือ Dalvik Virtual Machine ที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานบนอุปกรณ์ที่มี หน่วยความจำหน่วยประมวลผลกลางและพลังงานที่จำกัด ซึ่งการทำงานของ Dalvik Virtual Machine จะทำการแปลงไฟล์ที่ต้องการทำงาน ไปเป็นไฟล์ .DEX ก่อนการทำงาน เหตุผลก็เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งานกับ หน่วยประมวลผลกลางที่มีความเร็วไม่มาก ส่วนต่อมาคือ Core Libraries เป็นส่วนรวบรวมคำสั่งและชุดคำสั่งสำคัญ เขียนด้วยภาษาจาวา

3. Libraries เป็นส่วนที่สามถัดขึ้นมาเป็นชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วย C/C++ โดยแบ่งชุดคำสั่งออกเป็นกลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น Surface Manage จัดการเกี่ยวกับการแสดงผล Media Framework จัดการเกี่ยวกับการการแสดงผลภาพและเสียง Open GL | ES และ SGL จัดการเกี่ยวกับภาพ 3มิติ และ 2มิติ SQLite จัดการเกี่ยวกับระบบฐานข้อมูล

4. Application Framework เป็นส่วนที่สี่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยผู้พัฒนาไม่จำเป็นต้องพัฒนาในส่วนที่มีความยุ่งยาก เพียงแค่ทำการศึกษาถึงวิธีการเรียกใช้งาน Application Framework ในส่วนที่ต้องการใช้งาน แล้วนำมาใช้งาน ซึ่งมีหลายกลุ่มด้วยกัน เช่น



ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ที่มา: <http://www.webgeometrics.com/android-os-architecture-explained-for-non-techies>

- 4.1) Activities Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่จัดการเกี่ยวกับวงจรการทำงานของหน้าต่างโปรแกรม
- 4.2) Content Providers เป็นกลุ่มของชุดคำสั่ง ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลของโปรแกรมอื่น และสามารถแบ่งปันข้อมูลให้โปรแกรมอื่นเข้าถึงได้
- 4.3) View System เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับการจัดการ โครงสร้างของหน้าจอที่แสดงผลในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน
- 4.4) Telephony Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลด้านโทรศัพท์ เช่นหมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น
- 4.5) Resource Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งในการเข้าถึงข้อมูลที่เป็น ข้อความรูปภาพ
- 4.6) Location Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ที่ระบบปฏิบัติการได้รับค่าจากอุปกรณ์

4.7) Notification Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่จะถูกเรียกใช้เมื่อโปรแกรม ต้องการแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน ผ่านทางแถบสถานะของหน้าจอ

5. Applications ส่วนบนสุดหรือส่วนของโปรแกรมที่มีมากับระบบปฏิบัติการ หรือเป็นกลุ่มของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานได้ทำการติดตั้งไว้ โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้โปรแกรมต่างๆได้โดยตรง ซึ่งการทำงานของแต่ละโปรแกรมจะเป็นไปตามที่ผู้พัฒนาโปรแกรมได้ออกแบบและเขียนโค้ดโปรแกรมเอาไว้

2.1.4.2 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.3 ขึ้นไป [8]

บริษัทกูเกิลได้เปิดตัวระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.3 ใช้ชื่อว่า เจลลีบีน ในปี 2556 วันที่ 24 กรกฎาคม โดยโทรศัพท์เน็กซ์ส 7 รุ่นที่ 2 เป็นอุปกรณ์แรกที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.3 ซึ่งมาพร้อมกับความสามารถเพิ่มขึ้นหลายอย่าง หนึ่งในนั้นก็คือ สนับสนุนรองรับการใช้งานบลูทูธ 4.0 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีบลูทูธแบบประหยัดพลังงานในการติดต่อสื่อสารเชื่อมต่อไร้สายระยะสั้นส่วนบุคคลระหว่างโทรศัพท์กับอุปกรณ์บลูทูธ เช่น การเชื่อมต่อกับสายรัดวัดอัตราการเต้นของหัวใจ นาฬิกา และหูฟัง เป็นต้น บลูทูธ 4.0 ทำให้อุปกรณ์บลูทูธที่เชื่อมต่อสื่อสารทำงานได้นานขึ้น โดยการออกแบบโปรโตคอลแบบมีรอบการทำงานต่ำเพื่อให้งานใช้พลังงานของอุปกรณ์บลูทูธต่ำลง โดยระบบระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.3 เป็นต้นไปจะสนับสนุนรองรับการใช้งานบลูทูธ 4.0

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 A Simple Design of Wearable Device for Fall Detection with Accelerometer and Gyroscope[9]

M.IrwanNari และคณะปี 2016 ได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการล้มโดยสร้างอุปกรณ์ขึ้นจาก Arduino nano ร่วมกับ Sensor Accelerometer Gyroscope mcu-6050 สื่อสารด้วย Bluetooth HC-05 ส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์ประมวลผลด้วยหลักการ Signal Vector Magnitude (SVM) โดยติดอุปกรณ์บริเวณเข็มขัดที่เอวตรวจวัดพฤติกรรม การเดิน วิ่ง นั่ง ยืน นั่งลง ยืนขึ้น ล้ม ความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 86.7

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ สร้างอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นเองความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 86.7

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ตรวจจับที่สร้างขึ้นมีขนาดใหญ่ ลักษณะเป็นเข็มขัด ตรวจจับการล้มได้เพียงว่าล้มไม่สามารถบอกทิศทางการล้มได้

2.2.2 Smartphone-based Fall Detection Algorithm Using Feature Extraction [10]

Yu-Wei Hsu และคณะ ปี 2016 ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับการล้มโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง ที่มีอยู่ในสมาร์ตโฟนมาพิจารณา พฤติกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ ใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยอัลกอริทึม Support Vector Machine(SVM)ซึ่งผลที่ได้พบว่าให้ผลความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 95

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ วิธีการตรวจจับการล้มมีความถูกต้องสูงอยู่ที่ร้อยละ 95

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับเป็นสมาร์ตโฟนมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถบอกทิศทางการล้มได้

2.2.3 A Smart Phone-Based Pocket Fall Accident Detection, Positioning, and Rescue System [11]

Lih-Jen Kau และคณะปี 2015 ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับการล้มโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งและเข็มทิศดิจิทัล ที่มีอยู่ในสมาร์ตโฟนมาพิจารณา ซึ่งใช้วิธีการกรองสัญญาณแบบ High-Pass Filtering และ Discrete Wavelet Transform (DWT) จากนั้นนำผลที่ได้จากการกรองสัญญาณมาประมวลผลด้วยอัลกอริทึม Support Vector Machine(SVM) ซึ่งผลที่ได้พบว่าให้ผลความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 92

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ วิธีการตรวจจับการล้มมีความถูกต้องสูงอยู่ที่ร้อยละ 92

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับเป็นสมาร์ตโฟนมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถบอกทิศทางการล้มได้

2.2.4 Human activity recognition modelbased on Decision tree[12]

Lin Fan และ Zhongmin Wang ปี 2013 ได้นำเสนอวิธีการตัดสินใจแบบต้นไม้มาคัดแยกรูปแบบพฤติกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยใช้สมาร์ตโฟนเก็บค่าความถี่ของแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้น และนำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างกันก่อนนำมาสร้างเงื่อนไขของการตัดสินใจแบบต้นไม้ Decision treeจำแนกรูปแบบพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ มีความแม่นยำที่ร้อยละ 80.29

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆของมนุษย์ได้มีความแม่นยำที่ร้อยละ 80.29

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับเป็นสมาร์ตโฟนมีขนาดใหญ่ เป็นเพียงการวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆของมนุษย์

2.2.5 Fall Detection based on Movement and Smart Phone Technology[13]

Quang Viet และคณะปี 2012 ได้สร้างระบบการตรวจจับการล้มผ่านสมาร์ตโฟน โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง และเซนเซอร์ที่วัดมุมมองภายในสมาร์ตโฟน มาทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการ

ล้ม โดยอาศัยค่าสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง ผ่านกระบวนการค่าขีดแบ่ง Threshold Algorithm ความถูกต้องของการตรวจจับการล้มอยู่ที่ร้อยละ 80 และความถูกต้องของการตรวจจับพฤติกรรมอื่นๆที่ร้อยละ 96.25 ซึ่งใช้สมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับการล้ม โดยมีเงื่อนไขในการพกพาเช่นจะต้องกำหนดการวางแนวของสมาร์ทโฟนและตำแหน่งที่ใช้พกพาเป็นต้น

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการล้มแยกออกจากพฤติกรรมอื่นๆ ความถูกต้องของการตรวจจับการล้มอยู่ที่ร้อยละ 80

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับเป็นสมาร์ทโฟนมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถบอกทิศทางการล้มได้

2.2.6 Developing a Mobile Phone-based Fall Detection System on Android Platform [14]

Fang และคณะปี 2012 ได้นำสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มาเป็นอุปกรณ์ในการช่วยตรวจจับการล้ม โดยอาศัยเซนเซอร์วัดความเร่ง วัดค่าความเร่ง และค่าองศาการเปลี่ยนแปลงของสมาร์ทโฟนมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการล้มแยกออกจากพฤติกรรมอื่นๆ ผ่านกระบวนการค่าขีดแบ่ง โดยทำการทดลองหาตำแหน่งในการพกพาสมาร์ทโฟนในบริเวณใต้กระเป๋าสีบริเวณหน้าอก พกไว้ที่เอว และใส่กระเป๋าทางเบริเวณต้นขา ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าตำแหน่งที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดคือกระเป๋าสีบริเวณหน้าอก ให้ค่าความถูกต้องของการตรวจจับอยู่ที่ร้อยละ 73.78

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการล้มแยกออกจากพฤติกรรมอื่นๆ ได้

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับเป็นสมาร์ทโฟนมีขนาดใหญ่ ต้องพกพาสมาร์ทโฟนในบริเวณที่กำหนด ไม่สามารถบอกทิศทางการล้มได้ ความถูกต้องที่ต่ำกว่าร้อยละ 75

2.2.7 Pre-impact Detection of Falls Using Wireless Body Sensor Network [15]

Liang และคณะปี 2012 ได้ทำการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการล้มบนร่างกายมนุษย์โดยกำหนดตำแหน่งที่ใช้ทดสอบในการติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้ บริเวณหัวไหล่เอว หน้าแข้ง และต้นขา วิเคราะห์การล้มใน 3 รูปแบบ คือ ล้มแบบธรรมชาติปกติ ล้มไปด้านหน้า และล้มไปด้านหลัง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง และไจโรสโคปนำสัญญาณ ที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 วิเคราะห์ผ่านกระบวนการค่าขีดแบ่ง 2 ค่า Two Threshold Algorithm

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือสร้างอุปกรณ์ขึ้นประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง และไจโรสโคปวิเคราะห์การล้มได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ ล้มแบบธรรมชาติปกติ ล้มไปด้านหน้า และล้มไปด้านหลัง

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีขนาดใหญ่ มีสายไฟในการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมาก

2.2.8 System for monitoring and fall detection of patients using mobile 3-axis accelerometers sensors[16]

Mostaracและคณะปี 2011 ได้นำเสนอระบบตรวจจับเฝ้าระวังการล้มในลักษณะของการล้มไปด้านหน้าและล้มไปด้านหลัง โดยอาศัยการหาค่ามุมที่เปลี่ยนไปของสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์วัดความเร่งขนาด 3 แกน จำนวน 2 ตัวที่สร้างขึ้นติดตั้งบนร่างกายมนุษย์บริเวณหน้าอกและบริเวณเอว ซึ่งตัวหนึ่งทำการตรวจจับในแนวแกนนอน อีกตัวหนึ่งตรวจจับในแนวแกนตั้ง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร่งของเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวก็จะนำค่าความเร่งที่ได้ไปผ่านกระบวนการขีดแบ่งค่า วิเคราะห์ว่าเป็นการล้มหรือไม่ในเวลา 2 วินาที และหากค่าความเร่งนั้นเป็นการล้มอุปกรณ์ส่งสัญญาณขนาดเล็ก (ZigBee) ก็จะทำการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือผ่านเครือข่ายไร้สาย ในบ้าน ส่งต่อไปยังผู้ให้บริการทางด้านสุขภาพ ต้องติดตั้งอุปกรณ์ให้ครบทั้ง 2 ตัวจึงจะสามารถตรวจจับการล้มได้ การแจ้งเตือนเพื่อขอความช่วยเหลือนั้น จะต้องทำการติดตั้งเครือข่ายไร้สาย ไว้ภายในบ้าน

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ สร้างอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นเองประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งจำนวน 2 ตัว ระบบสามารถแจ้งเตือนเพื่อขอความช่วยเหลือได้ บอกลักษณะการล้มไปด้านหน้าและล้มไปด้านหลังได้ ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ตรวจจับที่สร้างขึ้นมีขนาดใหญ่

2.2.9 FallDetection with Wearable Sensors - SAFE (SmArt Fall dEtection) [17]

Ojetolaและคณะปี 2011 ได้สร้างอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวคือ เซนเซอร์วัดความเร่งขนาด 3 แกน และไจโรสโคป ส่งข้อมูลประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์และตรวจจับการล้ม 4 ลักษณะ ได้แก่ ล้มไปทางด้านหน้าล้มไปทางด้านหลังล้มไปทางด้านซ้ายและล้มไปทางด้านขวา ใช้วิธีการMachine learning และการตัดสินใจแบบต้นไม้ในการตรวจจับการล้ม โดยความถูกต้องในการตรวจจับแบ่งเป็น เกิดเหตุการณ์การล้มแล้วจับได้ว่าล้มถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 81 และไม่แจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์อื่นถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 92

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือ สร้างอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นเอง สามารถตรวจจับการล้มว่าล้ม ไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 81

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์เป็นลักษณะของเข็มขัดรัดที่บริเวณหน้าอก และมีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดความรำคาญแก่ผู้สวมใส่

2.2.10 Approaches and Principles of Fall Detection for Elderly and Patient [18]

X. Yu ปี 2008 ได้ทำการศึกษา และสำรวจเกี่ยวกับ ลักษณะท่าทางการล้ม และวิธีการตรวจจับการล้ม โดยจากการสำรวจวิธีการตรวจจับการล้มใน 3 แนวทาง คือ หนึ่งการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับการล้มแบบสวมใส่ สองใช้กล้องในการตรวจจับ และ สามการใช้ Ambience device โดยมีทั้งการติดเซนเซอร์ไว้ที่พื้น หรือที่เตียง เป็นต้น โดยผลจากการศึกษาทำให้เข้าใจ และทราบถึงกระบวนการการทำงานของการตรวจจับการล้มได้อย่างชัดเจน และเพื่อให้ง่ายต่อการประยุกต์การใช้งาน

2.2.11 Accelerometer Signal-based Human Activity Recognition Using

Augmented Autoregressive Model Coefficients and Artificial Neural [19]

A. M. Khan และคณะปี 2008 ได้ทำการศึกษาหาความแม่นยำของข้อมูลเมื่อข้อมูลส่งจากอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความเร่งที่ติดตั้งไว้บริเวณกลางหน้าอกที่สร้างขึ้นไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ประมวลผลได้ถูกต้อง โดยงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของข้อมูลอยู่ในระดับความถูกต้องที่ต่ำกว่าร้อยละ 75 ไม่สามารถนำมาใช้งานได้

ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือสร้างอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นเองประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งเพียงชนิดเดียว ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืออุปกรณ์ตรวจจับมีขนาดใหญ่ ติดไว้กลางหน้าอก ไม่สามารถบอกทิศทางการล้มได้ ความถูกต้องที่ต่ำกว่าร้อยละ 75

2.2.12 Implementation of the Personal Emergency Response System using a 3-axial Accelerometer [20]

A. Y. Jeon และคณะปี 2007 ได้ทำการออกแบบพัฒนาระบบการตอบสนองฉุกเฉินส่วนบุคคลเป็นงานวิจัยที่ใช้แจ้งขอความช่วยเหลือเวลาเกิดอุบัติเหตุ โดยสร้างอุปกรณ์ตรวจจับที่ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งต่อพ่วงกับเครื่อง PDA เพื่อใช้ขอความช่วยเหลือ โดยนำค่าความเร่งมาประมวลผลด้วยวิธีการตัดสินใจแบบต้นไม้จำแนกค่าต่างๆที่แตกต่างกันอย่างไรวิธีการนี้สามารถส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือได้ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ต่อเข้ากับเครื่อง PDA เท่านั้น ข้อดีของงานวิจัยนี้ คือสร้างอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นเอง สามารถแจ้งขอความช่วยเหลือเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือไม่สามารถใช้งานได้สะดวก อุปกรณ์ตรวจจับมีขนาดใหญ่

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบบทความงานวิจัย

บทความงานวิจัย	วิธีตรวจจับการล้ม	เซนเซอร์ที่ใช้	ขนาดอุปกรณ์ตรวจจับการล้ม	บอกลักษณะการล้ม	ความรู้สึกดัวหลังการล้ม	ร้อยละความถูกต้อง	แจ้งเตือนการล้ม
[9]	Signal Vector Magnitude (SVM)	Accelerometer Gyroscope	สร้างชิ้น (ใหญ่)	ล้ม	X	86.7	X
[10]	Support Vector Machine (SVM)	Accelerometer	สมาร์ท โฟน (ใหญ่)	ล้ม	X	95	X
[11]	Support Vector Machine (SVM)	Accelerometer Compass	สมาร์ท โฟน (ใหญ่)	ล้ม	X	92	X
[12]	Decision tree	Accelerometer	สมาร์ท โฟน (ใหญ่)	ล้ม	X	80.29	X
[13]	Threshold	Accelerometer Orientation	สมาร์ท โฟน (ใหญ่)	ล้ม	X	80	X
[14]	Threshold	Accelerometer Orientation	สมาร์ท โฟน (ใหญ่)	ล้ม	X	73.78	X

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบบทความงานวิจัย(ต่อ)

บทความงานวิจัย	วิธีตรวจจับการล้ม	เซนเซอร์ที่ใช้	ขนาดอุปกรณ์ตรวจจับการล้ม	บอกลักษณะการล้ม	ความรู้สึกรู้สึกตัวหลังการล้ม	ร้อยละความถูกต้อง	แจ้งเตือนการล้ม
[15]	Two Threshold	Accelerometer Gyroscope	สร้างขึ้น (ใหญ่)	ล้มไปด้านหน้า, หลัง	X	NA	X
[16]	Threshold	Accelerometer	สร้างขึ้น (ใหญ่)	ล้ม	X	NA	X
[17]	Machine learning, Decisions tree	Accelerometer Gyroscope	สร้างขึ้น (ใหญ่)	ล้มไปด้านหน้า, หลัง, ซ้าย, ขวา	X	81	ได้
[18]	สำรวจวิธีตรวจจับการล้ม	กล้อง, เซนเซอร์, Ambience device	NA	ล้ม	X	NA	X
[19]	วัดค่าความถูกต้อง	Accelerometer	สร้างขึ้น (ใหญ่)	NA	X	NA	X
[20]	Decisions tree	Accelerometer	สร้างขึ้น (ใหญ่)	ล้ม	X	75	ได้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบบทความงานวิจัย(ต่อ)

บทความงานวิจัย	วิธีตรวจจับการล้ม	เซนเซอร์ที่ใช้	ขนาดอุปกรณ์ตรวจจับการล้ม	บอกลักษณะการล้ม	ความรู้สึกรู้สึกตัวหลังการล้ม	ร้อยละความถูกต้อง	แจ้งเตือนการล้ม
งานวิจัยที่นำเสนอ	Decisions tree	Accelerometer	เล็ก,เบา, ประหยัดพลังงาน	ล้มไปด้านหลัง,ซ้าย,ขวา,หน้าซ้าย, หน้าขวา, หลังซ้าย, หลังขวา	ได้ 2 ลักษณะ คือ ลูกขึ้นนั่งหรือยืนได้,นอนอยู่	83.33 – 90	ได้ 2 ครั้ง คือ 1 ลักษณะการล้ม,2 ความรู้สึกรู้สึกตัวหลังล้ม

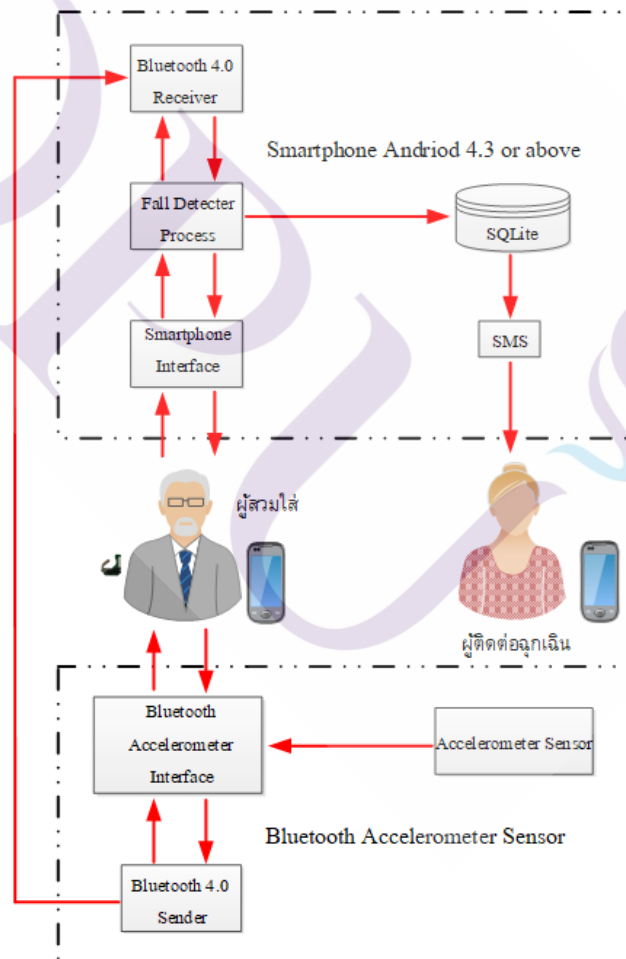
หมายเหตุ: เครื่องหมาย :X (ทำไม่ได้), NA ข้อมูลไม่ชัดเจน

บทที่ 3

วิธีวิจัยและการออกแบบพัฒนาระบบ

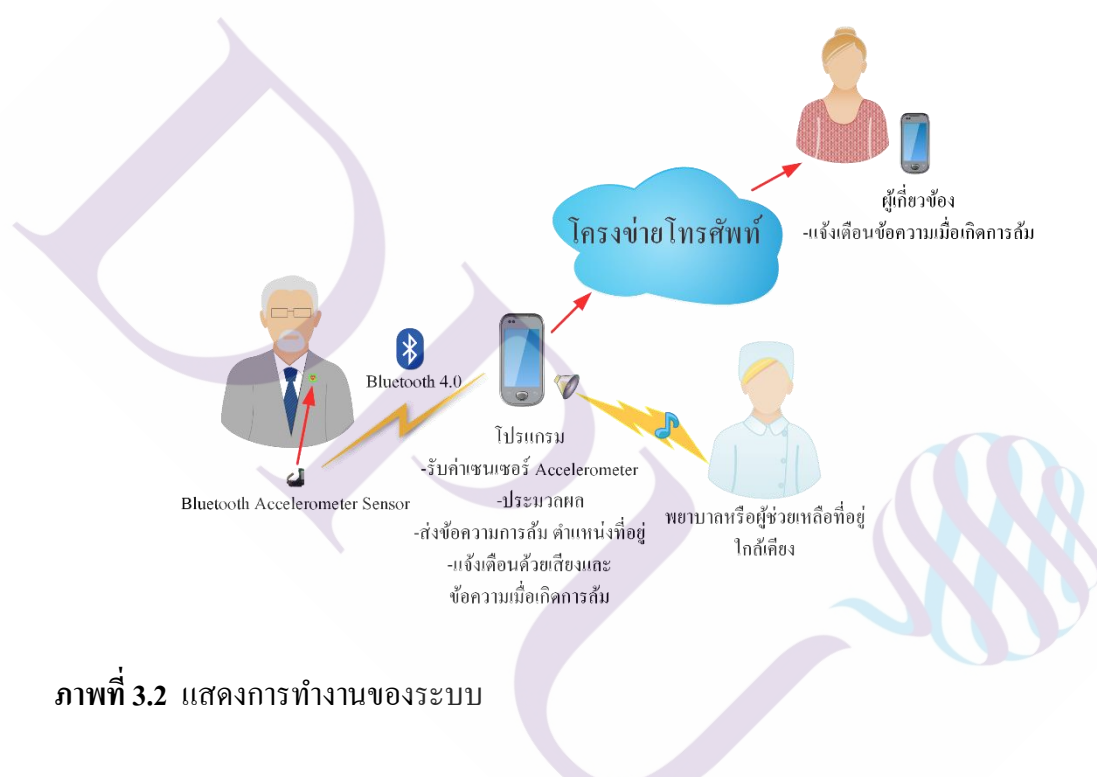
3.1 โครงสร้างและการทำงานของระบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างของระบบไว้ดังภาพที่ 3.1 สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน เริ่มจากส่วนแรกเป็นสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ Android 4.3 ขึ้นไป โดยมี Bluetooth 4.0 Receiver รับข้อมูลจาก Bluetooth accelerometer sensor แล้วส่งไปประมวลผลที่ Fall Detector Process ซึ่งจะประมวลผล



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของระบบ

ว่าเป็นลักษณะการล้มแบบใด เมื่อทราบลักษณะการล้ม ระบบจะส่งข้อมูลการล้มไปเก็บที่ฐานข้อมูล SQLite เพื่อเก็บข้อมูลลักษณะการล้ม วัน เวลา ตำแหน่งที่ล้มเป็น ละติจูด ลองจิจูด และส่งข้อความลักษณะการล้ม ตำแหน่งที่อยู่ไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉิน พร้อมเสียงแจ้งเตือน แสดงข้อความลักษณะการล้มที่ Smartphone Interface ส่วนที่สองคือ Bluetooth accelerometer sensor ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งวัดค่าความเร่งแกน X, Y และ Z ส่งข้อมูลไปยัง Bluetooth Accelerometer Interface และส่งต่อข้อมูลในรูปแบบการสื่อสารไร้สายไปยังสมาร์ตโฟนด้วย Bluetooth 4.0 Sender

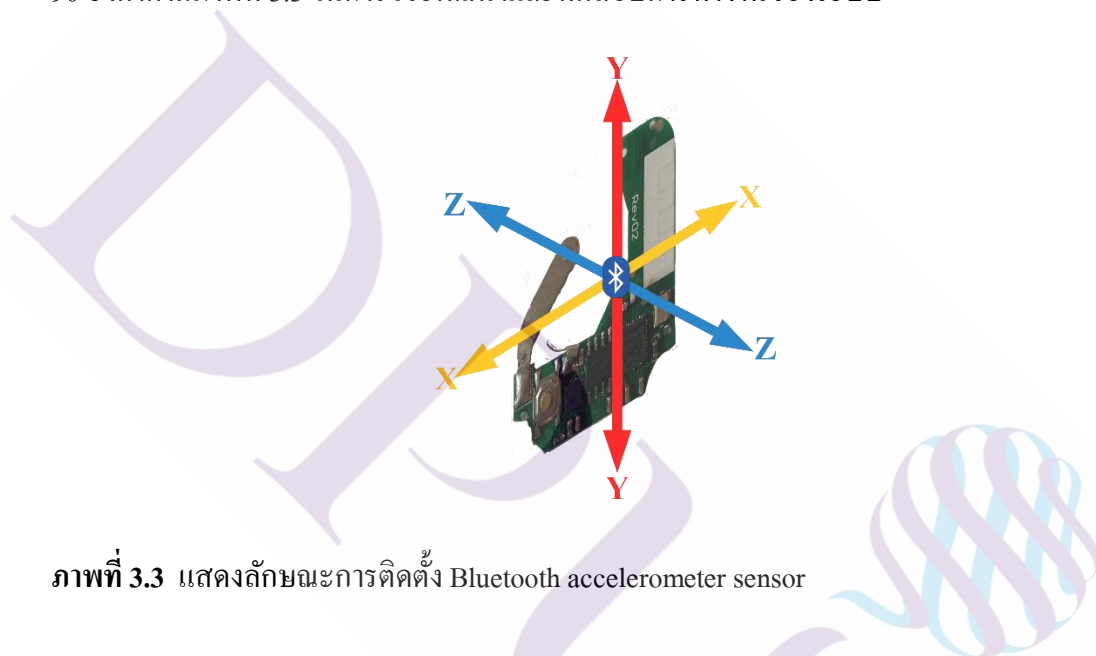


ภาพที่ 3.2 แสดงการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 3.2 เริ่มโดยติดตั้ง Bluetooth accelerometer sensor บริเวณหน้าอก เปิดโปรแกรมเชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูธ 4.0 เลือกเซนเซอร์เพื่อตรวจจับการล้ม Bluetooth accelerometer sensor จะส่งข้อมูลให้กับโปรแกรมทำการประมวลผลเมื่อมีการล้มเป็นไปตามโปรแกรมกำหนดจะเก็บค่าลักษณะการล้ม ตำแหน่งที่อยู่ วัน เวลา ลงในฐานข้อมูลของสมาร์ตโฟนพร้อมแสดงผล ส่งเสียงแจ้งเตือนที่สมาร์ตโฟนของผู้ล้มเพื่อขอความช่วยเหลือจากผู้ที่อยู่ใกล้เคียง และส่งข้อความลักษณะการล้ม ตำแหน่งที่อยู่การล้ม ไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉินเพื่อขอความช่วยเหลือ ผู้ติดต่อฉุกเฉินเปิดข้อความก็จะทราบลักษณะการล้ม ตำแหน่งที่อยู่การล้มสามารถค้นหาตำแหน่งผู้ล้มจาก Google map ได้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิจัยและพัฒนา

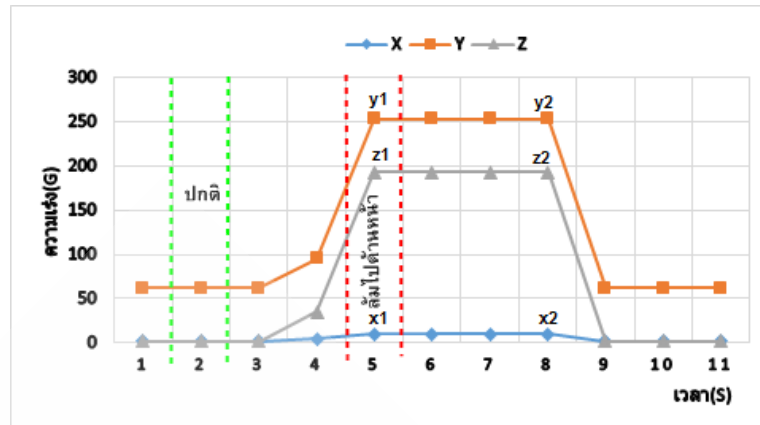
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนา มี 2 ชนิดคือ สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ android 4.3 ขึ้นไปรองรับการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ 4.0 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูลค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแล้วประมวลผลโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและ Bluetooth accelerometer sensor เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งข้อมูลค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกรองรับการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ 4.0 โดยกำหนดการติดตั้ง Bluetooth accelerometer sensor ในการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามแนวแกน X, Zขนานกับพื้นโลกและ Y ตั้งฉากกับพื้นโลกทำมุม 90 องศาตามภาพที่ 3.3 ในการวิจัยพัฒนาและทดสอบการทำงานของระบบ



ภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะการติดตั้ง Bluetooth accelerometer sensor

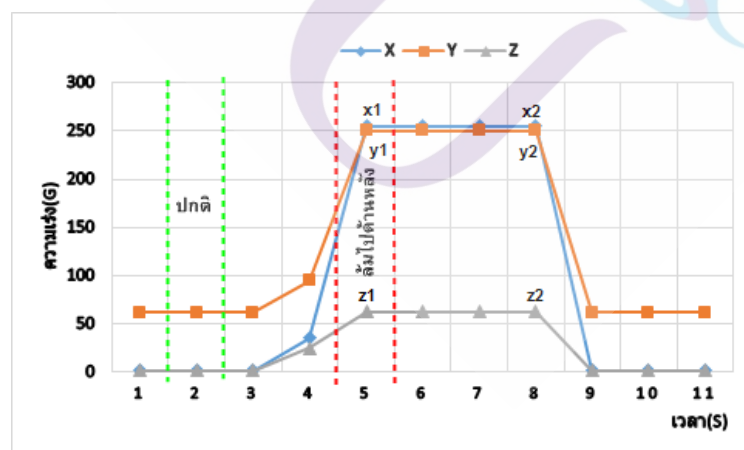
3.3 ความสัมพันธ์ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกกับรูปแบบการล้ม

เซนเซอร์วัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกทำหน้าที่วัดความเร่งโดยอาศัยการวัดแรงที่กระทำต่อน้ำหนัก อ่างอิงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งแรงโน้มถ่วงของโลกจะชี้ไปที่แกนกลางโลกเสมอผู้วิจัยได้ทำการเก็บค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g โดยนำเอาที่พุดิจิตอลเลขฐานสองแปดบิตแปลงเป็นเลขฐานสิบตามแนวแกน X, Y และ Z ที่ได้จาก Bluetooth accelerometer sensor นำมาประมวลผลตรวจจับการล้มโดยไม่ได้แปลงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นหน่วย m/s^2 ซึ่งทำการทดลองล้มในแต่ละรูปแบบจำนวน 30 ครั้งแล้วนำมาค่าเฉลี่ย เช่น ยืนปกติ ล้มไปด้านหน้า ด้านขวา ด้านซ้าย ด้านหลัง ด้านหน้าซ้ายด้านหน้าขวา ด้านหลังซ้ายด้านหลังขวาดังภาพที่ 3.4 ถึง 3.11 ตามลำดับ



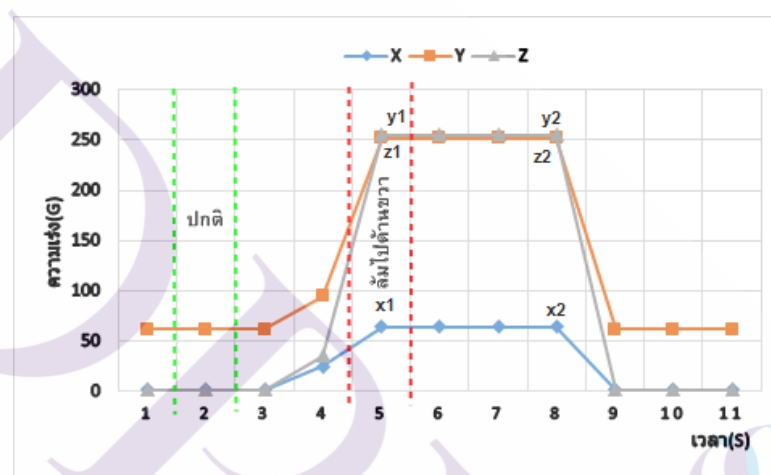
ภาพที่ 3.4 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลึกลงไปด้านหน้า

จากภาพที่ 3.4 กรณีลึกลงไปด้านหน้า ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อลึกลงไปด้านหน้าที่จุด x1, y1, z1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 7 แกน Y ประมาณ 253 และแกน Z ประมาณ 192.02 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด 2 แกนคือ แกน Y และ Z ส่วนแกน X มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ลึกลงแล้วยืนนิ่งถึงจุด x2, y2 และ z2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาทีที่ค่าความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่



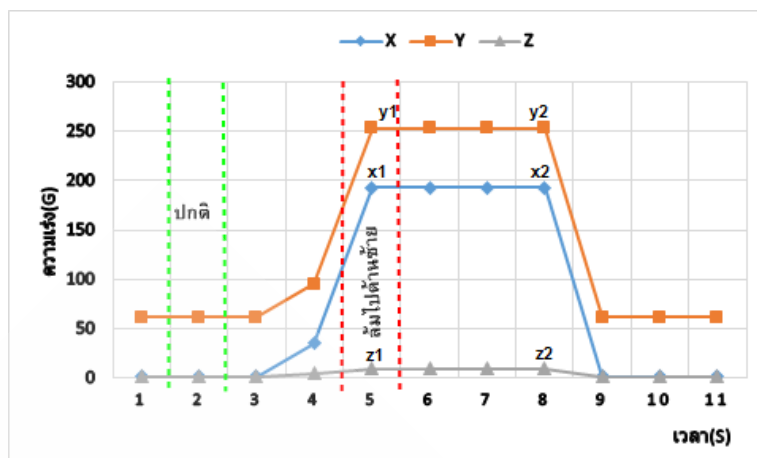
ภาพที่ 3.5 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลึกลงไปด้านหลัง

จากภาพที่ 3.5 กรณีลัมไปด้านหลัง ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อลัมไปด้านหลังที่จุด x_1, y_1, z_1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 255 แกน Y ประมาณ 249.52 และแกน Z ประมาณ 62.62 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 แกน ลัมแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x_2, y_2 และ z_2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาที ค่าความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่



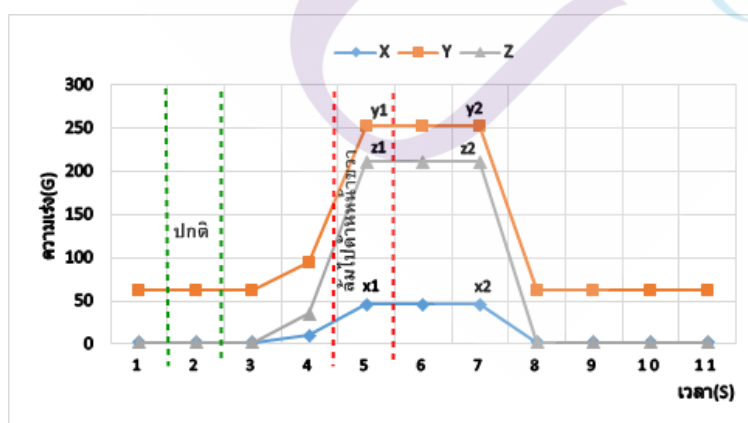
ภาพที่ 3.6 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีลัมไปด้านขวา

จากภาพที่ 3.6 กรณีลัมไปด้านขวา ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อลัมไปด้านขวาที่จุด x_1, y_1, z_1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 254.1 แกน Y ประมาณ 254.1 และแกน Z ประมาณ 254.1 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 แกน ลัมแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x_2, y_2 และ z_2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาที ค่าความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่



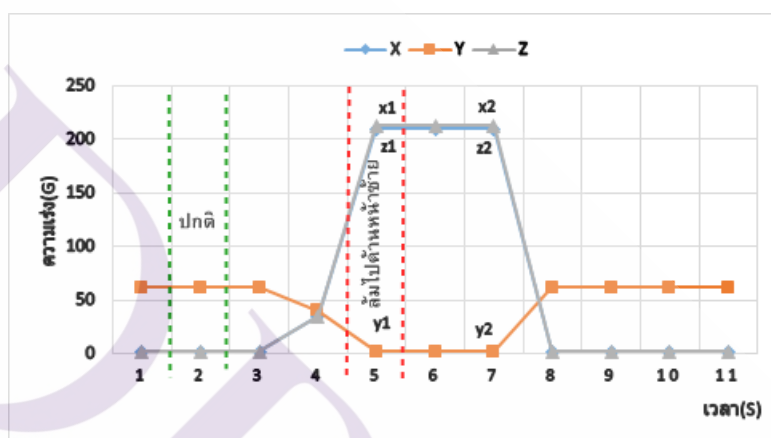
ภาพที่ 3.7 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีล๊ิมไปด้านซ้าย

จากภาพที่ 3.7 กรณีล๊ิมไปด้านซ้าย ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ขึ้นปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อล๊ิมไปด้านซ้ายที่จุด x1, y1, z1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 193 แกน Y ประมาณ 253.02 และแกน Z ประมาณ 7 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด 2 แกนคือ แกน X และ Y ส่วนแกน Z มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ล๊ิมแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x2, y2 และ z2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือขึ้นปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาทีค่าความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z ลดลงกลับมากังที่



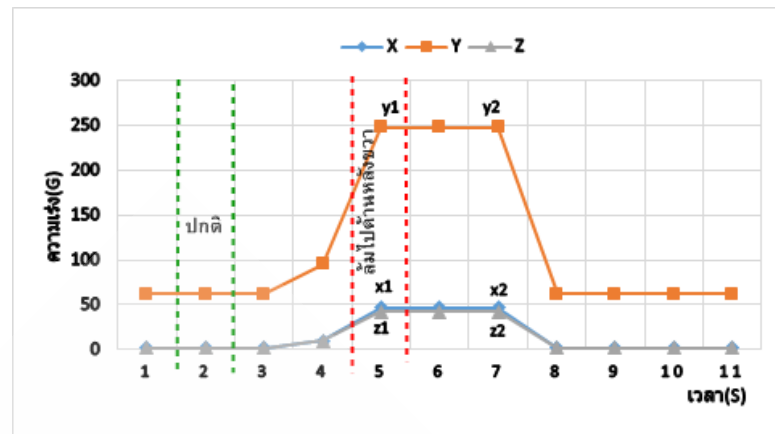
ภาพที่ 3.8 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีล๊ิมไปด้านหน้าขวา

จากภาพที่ 3.8 กรณีลัมไปด้านหน้าขวา ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อลัมไปด้านหน้าขวาที่จุด x_1, y_1, z_1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 45.68 แกน Y ประมาณ 252.84 และแกน Z ประมาณ 210.94 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 แกน ลัมแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x_2, y_2 และ z_2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาทีค่าความเร่งตามแนวแกน X,Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่



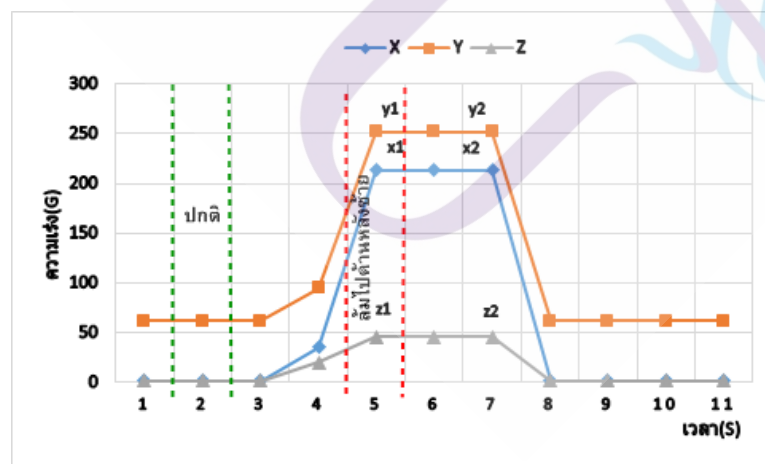
ภาพที่ 3.9 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Zกรณีลัมไปด้านหน้าซ้าย

จากภาพที่ 3.9 กรณีลัมไปด้านซ้าย ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อลัมไปด้านซ้ายที่จุด x_1, y_1, z_1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 209.52 แกน Y ประมาณ 2 และแกน Z ประมาณ 212.62 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด 2 แกนคือ แกน X และ Z ส่วนแกน Z มีการเปลี่ยนแปลงลดลง ลัมแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x_2, y_2 และ z_2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาทีค่าความเร่งตามแนวแกน X,Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่



ภาพที่ 3.10 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีล้มไปด้านหลังขวา

จากภาพที่ 3.10 กรณีล้มไปด้านหลังขวา ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อล้มไปด้านหลังขวาที่จุด x1, y1, z1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 46.94 แกน Y ประมาณ 248 และแกน Z ประมาณ 41.94 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 แกน ล้มแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x2, y2 และ z2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาทีที่ค่าความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่



ภาพที่ 3.11 แสดงค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแกน X, Y, Z กรณีล้มไปด้านหลังซ้าย

จากภาพที่ 3.11 กรณีลัมไปด้านหลังซ้าย ที่เวลา 1 วินาทีถึงเวลา 3 วินาที ยืนปกติมีค่าความเร่งเฉลี่ยแกน X และ Z ประมาณ 2 แกน Y ประมาณ 62 คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อลัมไปด้านหลังซ้ายที่จุด x_1, y_1, z_1 ค่าความเร่งเฉลี่ยของแกน X ประมาณ 212.82 แกน Y ประมาณ 251.98 และแกน Z ประมาณ 45.48 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 แกน ลัมแล้วอยู่นิ่งถึงจุด x_2, y_2 และ z_2 ที่เวลา 5 วินาทีถึงเวลา 8 วินาที แล้วลุกขึ้นนั่งหรือยืนปกติที่เวลา 9 วินาทีถึงเวลา 11 วินาทีค่าความเร่งตามแนวแกน X,Y และ Z ลดลงกลับมาคงที่

จากภาพที่ 3.4ถึงภาพที่ 3.11แสดงให้เห็นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแต่ละแกน มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันตามรูปแบบการลัมแต่ละลักษณะจึงใช้การเปลี่ยนแปลงนี้ในการสร้างเงื่อนไขการตัดสินใจแบบต้นไม้ขึ้น สามารถนำมาเขียนเป็นตารางความสัมพันธ์ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกับรูปแบบการลัมได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ค่าความเร่งเฉลี่ยเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกับรูปแบบการลัม

ลักษณะการลัม	ความเร่งเฉลี่ยแกน X	ความเร่งเฉลี่ยแกน Y	ความเร่งเฉลี่ยแกน Z
ลัมไปด้านหน้า	7	253	192.02
ลัมไปด้านหลัง	255	249.52	62.62
ลัมไปด้านขวา	64	252	254.1
ลัมไปด้านซ้าย	193	253.02	7
ลัมไปด้านหน้าขวา	45.68	252.84	210.94
ลัมไปด้านหน้าซ้าย	209.52	2	212.62
ลัมไปด้านหลังขวา	46.94	248	41.94
ลัมไปด้านหลังซ้าย	212.82	251.98	45.48

3.4 ขั้นตอนวิธีของโปรแกรมตรวจจับการลัม

ร่างกายมนุษย์มีลักษณะร่างกายที่แตกต่างกันตามลักษณะเพศชาย เพศหญิง ตามขนาดร่างกายอ้วน ผอม ทำให้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกับรูปแบบการลัมในลักษณะต่างๆมีค่าได้หลายค่าผู้วิจัยจึงได้ศึกษาลักษณะร่างกาย ขนาดร่างกายแล้วทดสอบปรับจูน (Trial and Error) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกับรูปแบบการลัมในการเขียนโปรแกรมเป็นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปรับจูนค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกับรูปแบบการล้ม

ลักษณะการล้ม	ความเร่งเฉลี่ยแกน X	ความเร่งเฉลี่ยแกน Y	ความเร่งเฉลี่ยแกน Z
ล้มไปด้านหน้า	230-10	210-30	185-210
ล้มไปด้านหลัง	230-10	210-30	50-70
ล้มไปด้านขวา	50-70	210-30	230-10
ล้มไปด้านซ้าย	185-210	210-30	230-10
ล้มไปด้านหน้าขวา	35-49	210-30	205-220
ล้มไปด้านหน้าซ้าย	205-220	210-30	205-220
ล้มไปด้านหลังขวา	35-49	210-30	35-49
ล้มไปด้านหลังซ้าย	205-220	210-30	35-49

ผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการตรวจจับการล้มด้วยหลักการตัดสินใจแบบต้นไม้โดยเริ่มจากการเชื่อมต่อ Bluetooth accelerometer sensor เข้ากับโปรแกรมผ่านการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ 4.0 รับค่าเริ่มต้นคือความเร่งการยืน เดิน ที่ร่างกายตั้งฉากกับพื้น โลกระบบจะเริ่มการตรวจจับการล้มตามที่โปรแกรมไว้ โปรแกรมมีความสามารถตรวจสอบความแตกต่างระหว่างการนอนลงในด้านต่าง ๆ ปกติกับการล้มในด้านต่าง ๆ ซึ่งถ้าเป็นการนอนลงปกติจะไม่เกิดการแจ้งเตือน โดยเปรียบเทียบเงื่อนไขตามสมการ

$$Fall_n = M \wedge X \wedge Y \wedge Z \quad (1)$$

หลังเกิดเหตุการณ์ล้มขึ้นแล้วสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวได้ว่ารู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ในลักษณะนอนอยู่ตามสมการ (2) หรือลักษณะลุกขึ้นนั่งหรือยืนได้ตามสมการ (3)

$$L = 3(M \wedge Y) \quad (2)$$

$$U = M \wedge Y \quad (3)$$

เมื่อ n = รูปแบบลักษณะการล้ม

\wedge = ตัวเชื่อมประพจน์ตรรกศาสตร์ “และ”

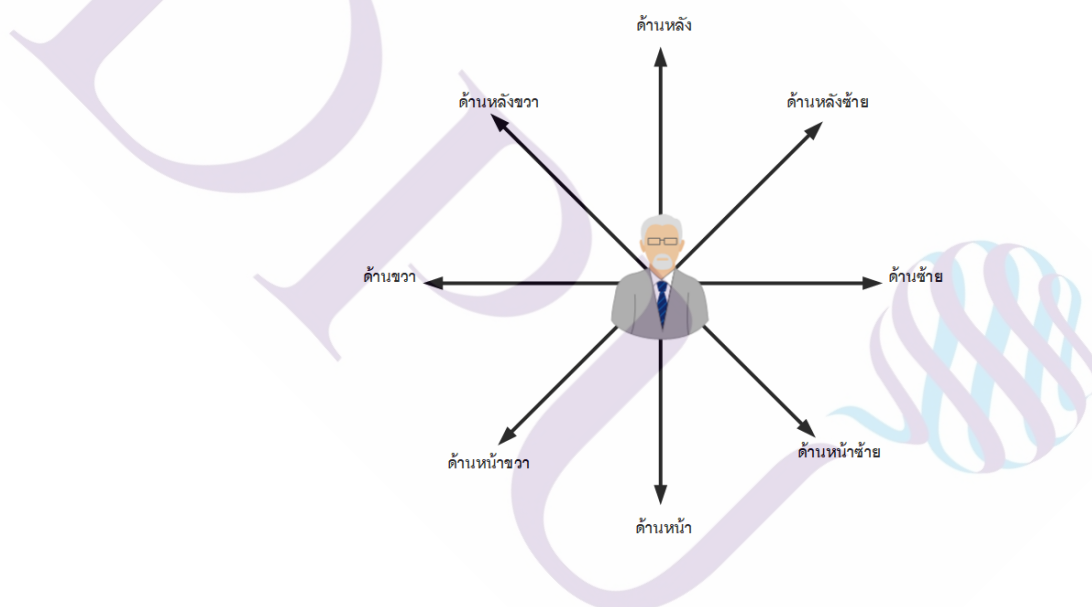
M = ค่าการเคลื่อนไหวที่จาก Bluetooth accelerometer sensor เมื่อเคลื่อนไหวที่ $M = 1$ อยู่กับที่ $M = 0$

X = ค่าความเร่งแกน x จาก Bluetooth accelerometer sensor

Y = ค่าความเร่งแกน y จาก Bluetooth accelerometer sensor

Z = ค่าความเร่งแกน z จาก Bluetooth accelerometer sensor

ถ้า $Fall_{ij}$ เป็นจริงตามสมการ (1) เช่น ล้มไปด้านหลัง $Fall_B$ ด้านขวา $Fall_R$ ด้านซ้าย $Fall_L$ ด้านหลัง $Fall_B$ และด้านอื่นที่อาจเป็นไปได้คือ ล้มไปด้านหน้าทางซ้าย $Fall_{FL}$ ด้านหน้าทางขวา $Fall_{FR}$ ด้านหลังทางซ้าย $Fall_{BL}$ ด้านหลังทางขวา $Fall_{BR}$ ตามภาพที่ 3.12 จะทำการเก็บค่าการล้ม ส่งเสียงแจ้งเตือนพร้อมส่งข้อความลักษณะการล้ม ตำแหน่งที่อยู่การล้มไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉิน หลังเกิดเหตุการณ์ล้มขึ้นแล้วยังรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้สามครั้งจะส่งข้อความแจ้งเตือนอีกครั้งว่ารู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ในลักษณะนอนอยู่ หรือลักษณะลุกขึ้นนั่งหรือยืนได้ หรือถ้าหลังเกิดเหตุการณ์ล้มขึ้นแล้วไม่มีการแจ้งเตือนเลยแสดงว่าผู้ล้มไม่มีความรู้สึกตัวหรือหมดสติ



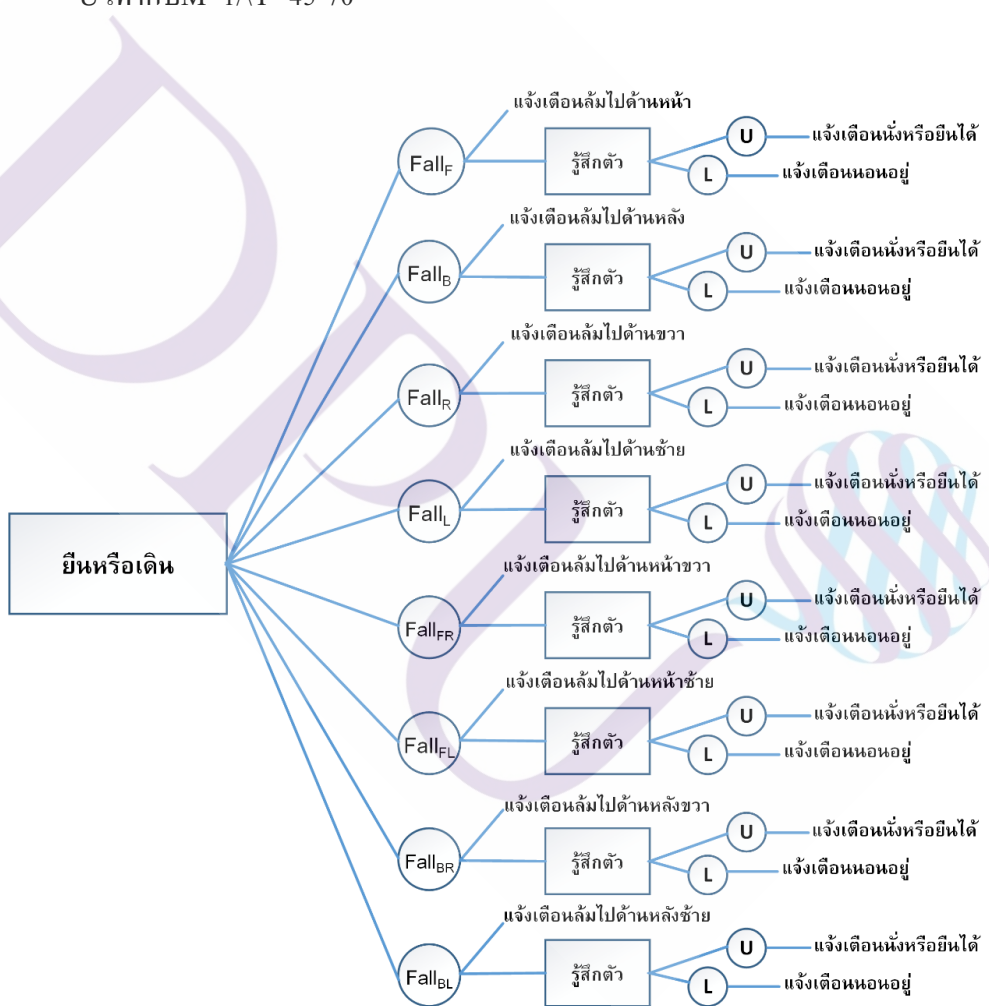
ภาพที่ 3.12 แสดงรูปแบบลักษณะการล้ม

ขั้นตอนวิธีของโปรแกรมตรวจจับการล้มทำโดยนำค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกับรูปแบบการล้มที่ทดสอบปรับจูนค่าตามตารางที่ 3.2 ลงในสมการ (1) และตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวลงในสมการ (2) และ (3) โดยใช้ค่าการเคลื่อนที่ $M = 1$ และสร้างการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้ตามภาพที่ 3.13

$$Fall_F \text{ เท่ากับ } M=1 \wedge X=230-10 \wedge Y=210-30 \wedge Z=185-210$$

$$Fall_B \text{ เท่ากับ } M=1 \wedge X=230-10 \wedge Y=210-30 \wedge Z=50-70$$

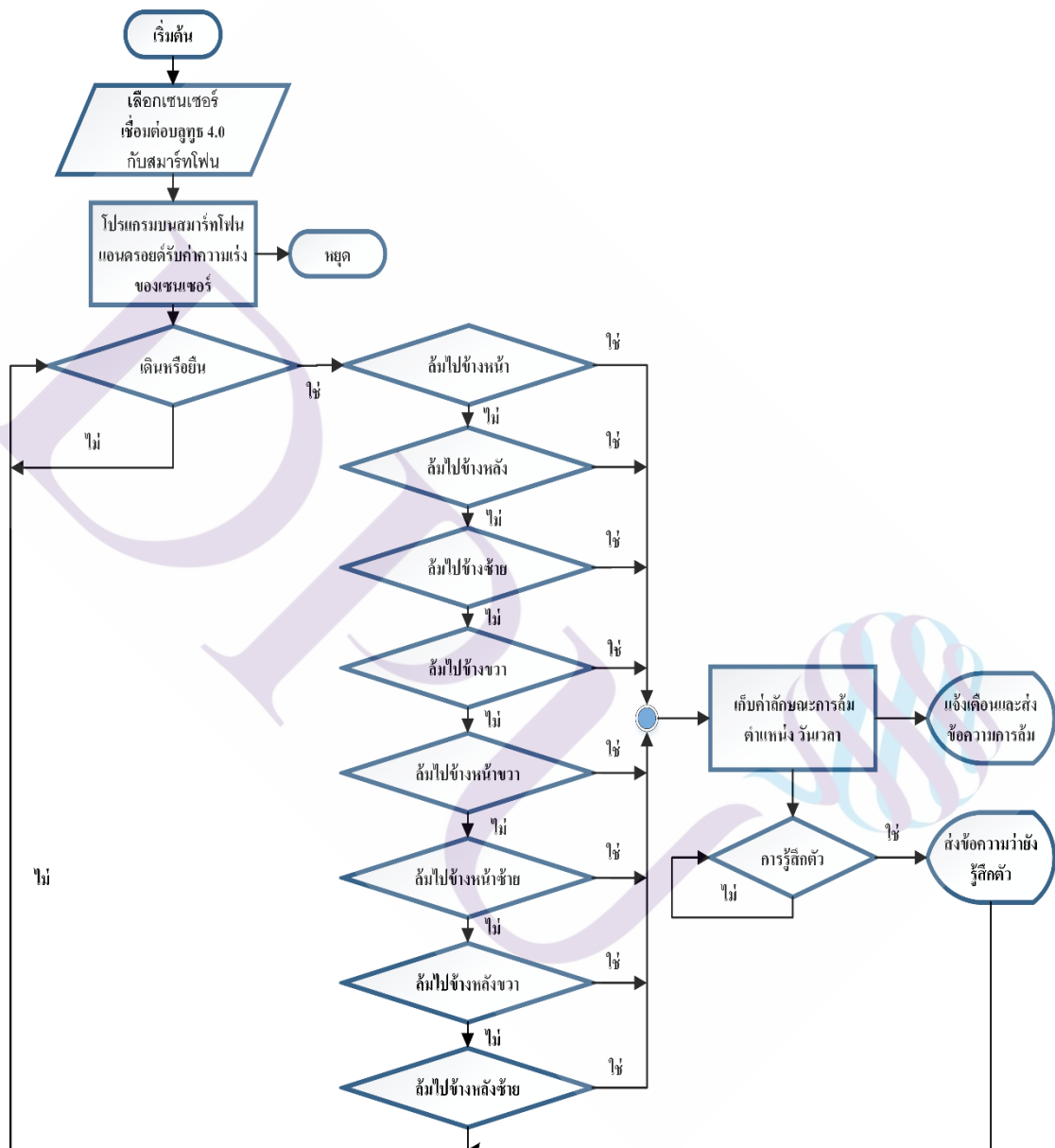
- Fall_R เท่ากับ $M=1 \wedge X=50-70 \wedge Y=210-30 \wedge Z=230-10$
- Fall_L เท่ากับ $M=1 \wedge X=185-210 \wedge Y=210-30 \wedge Z=230-10$
- Fall_{FR} เท่ากับ $M=1 \wedge X=35-49 \wedge Y=210-30 \wedge Z=205-220$
- Fall_{FL} เท่ากับ $M=1 \wedge X=205-220 \wedge Y=210-30 \wedge Z=205-220$
- Fall_{BR} เท่ากับ $M=1 \wedge X=35-49 \wedge Y=210-30 \wedge Z=35-49$
- Fall_{BL} เท่ากับ $M=1 \wedge X=205-220 \wedge Y=210-30 \wedge Z=35-49$
- L เท่ากับ $3(M=1 \wedge Y \neq 45-70)$
- U เท่ากับ $M=1 \wedge Y=45-70$



ภาพที่ 3.13 แสดงแผนภาพการตัดสินใจแบบต้นไม้การตรวจจับการล้ม

3.5 การออกแบบการทำงานของโปรแกรม

เริ่มจากเลือกBluetooth accelerometer sensor เชื่อมต่อเข้ากับโปรแกรมบนสมาร์ทโฟน แอนดรอยด์ผ่านการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ 4.0



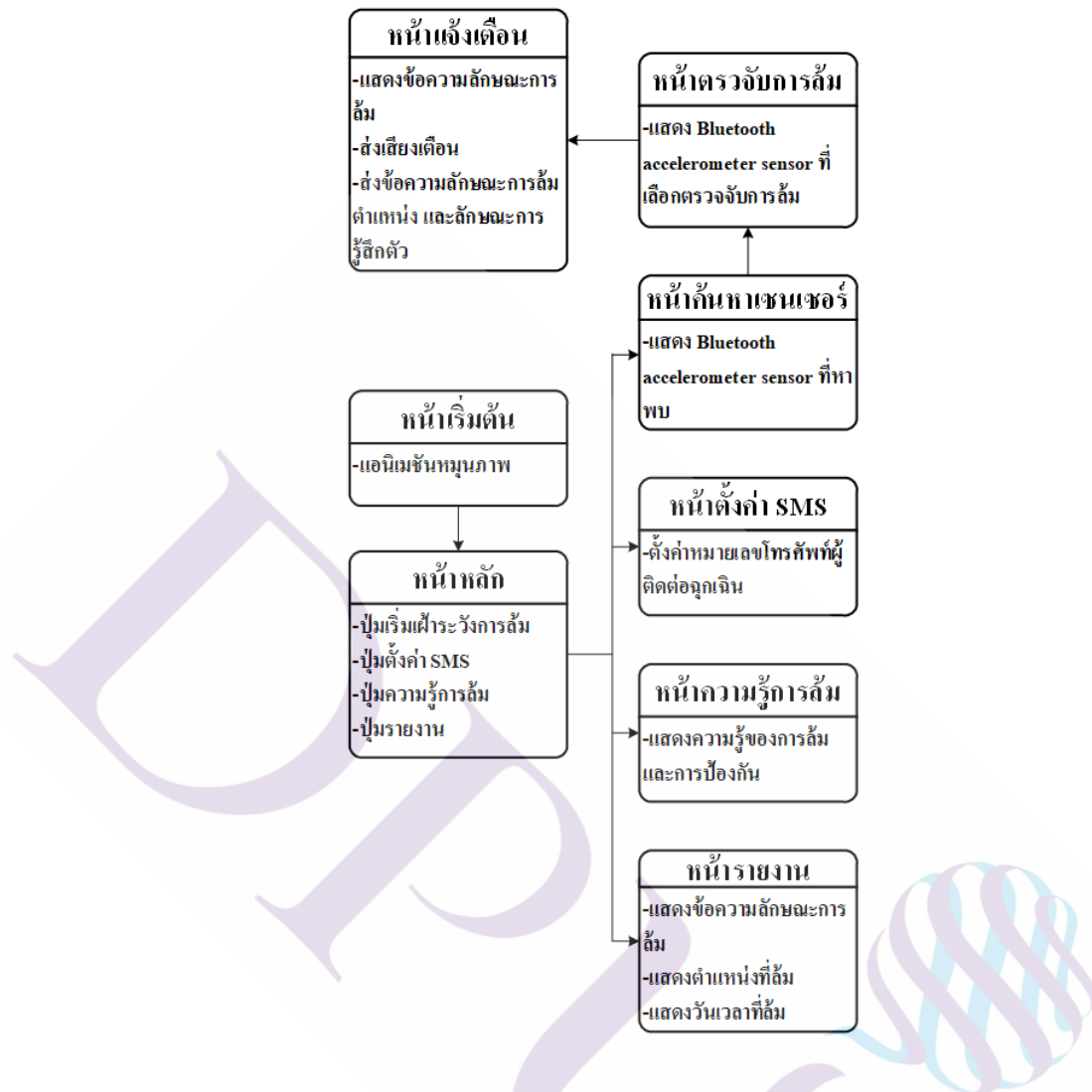
ภาพที่ 3.14 แสดงการทำงานของโปรแกรม

รับค่าเริ่มต้นการตรวจจับคือความเร่งที่เกิดจากการขึ้น เดิน โปรแกรมจะเริ่มการตรวจจับ การล้มถ้าเกิดการล้มเป็นไปตามลักษณะรูปแบบที่โปรแกรมไว้ เช่น ล้มไปด้านซ้ายโปรแกรมก็จะ

เก็บค่าลักษณะการล้มไปด้านซ้าย ตำแหน่ง วันเวลาของการล้มลงในฐานข้อมูลของสมาร์ตโฟน แล้วส่งข้อความลักษณะการล้มไปด้านซ้าย ตำแหน่ง ไปยังสมาร์ตโฟนของผู้ติดต่อฉุกเฉินที่ตั้งค่าไว้ พร้อมกับแสดงข้อความแจ้งเตือนว่า ล้มไปด้านซ้ายและเสียงที่ตั้งค่าไว้ในสมาร์ตโฟนของผู้ล้ม เพื่อขอความช่วยเหลือจากผู้ที่อยู่ใกล้เคียง หลังจากเกิดการล้มแล้วโปรแกรมจะตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัว ถ้าผู้ล้มรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้โปรแกรมจะส่งข้อความลักษณะการรู้สึกตัวแจ้งเตือนไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉินอีกครั้ง เมื่อผู้ล้มลุกขึ้นยืนหรือเดินได้โปรแกรมจะเริ่มตรวจจับการล้มใหม่อีกครั้งดังภาพที่ 3.14

3.6 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์

ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมบนสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์ โดยประกอบด้วย หน้าเริ่มต้น หน้าหลัก หน้าค้นหาเซนเซอร์ หน้าตรวจจับการล้ม หน้าแจ้งเตือน หน้าตั้งค่า SMS หน้าความรู้ การล้ม หน้ารายงานตามภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 แสดงส่วนต่อประสานโปรแกรมบนสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์

3.6.1 การออกแบบหน้าเมนูหลัก

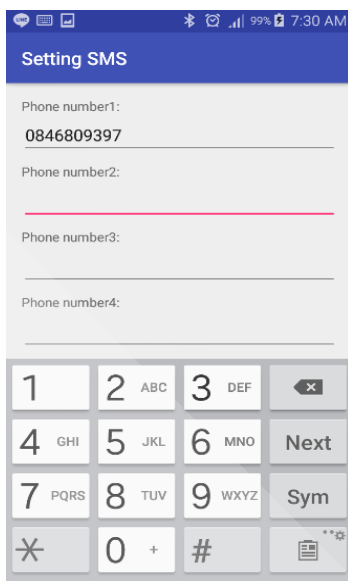
หน้าเมนูหลักของโปรแกรม ประกอบด้วย 4 เมนู คือ เริ่มเฟียร์ะวังการล้ม ตั้งค่าข้อความความรู้การล้ม รายงาน เมื่อกดปุ่มตั้งค่าข้อความสามารถตั้งการส่งข้อความไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉินได้ กดปุ่มเริ่มเฟียร์ะวังการล้ม โปรแกรมจะเริ่มค้นหา Bluetooth accelerometer sensor เมื่อค้นหพบแล้วเลือก Bluetooth accelerometer sensor เพื่อเริ่มเฟียร์ะวังตรวจจับการล้ม กดปุ่มความรู้การล้มเพื่ออ่านวิธีปฏิบัติและวิธีป้องกันการล้มและสามารถกดปุ่มรายงานตรวจสอบบันทึกเหตุการณ์ล้มย้อนหลังได้ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แสดงหน้าเมนูหลัก

3.6.2 การออกแบบหน้าตั้งค่า SMS

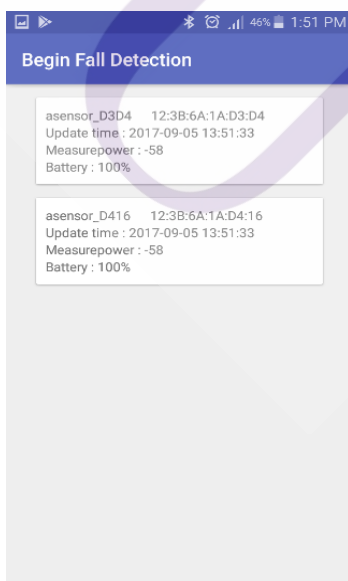
หน้าตั้งค่า SMS ของโปรแกรม สามารถตั้งค่าเบอร์โทรศัพท์เพื่อส่งข้อความลักษณะการล้มพร้อมกับตำแหน่งที่อยู่การล้มเป็น ละติจูด ลองจิจูด ไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉินเมื่อเกิดการล้ม และหลังจากเกิดการล้มแล้วเมื่อตรวจจับการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะนอนอยู่ ลุกนั่งหรือยืนได้ ก็จะส่งข้อความไปยังเบอร์โทรศัพท์ผู้ติดต่อฉุกเฉินที่ตั้งค่าไว้อีกครั้ง และสามารถที่จะไม่ตั้งค่าเบอร์โทรศัพท์ได้เมื่อมีผู้ดูแลอยู่ใกล้หรืออยู่บริเวณเดียวกันดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 แสดงหน้าตั้งค่า SMS

3.6.3 การออกแบบหน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor

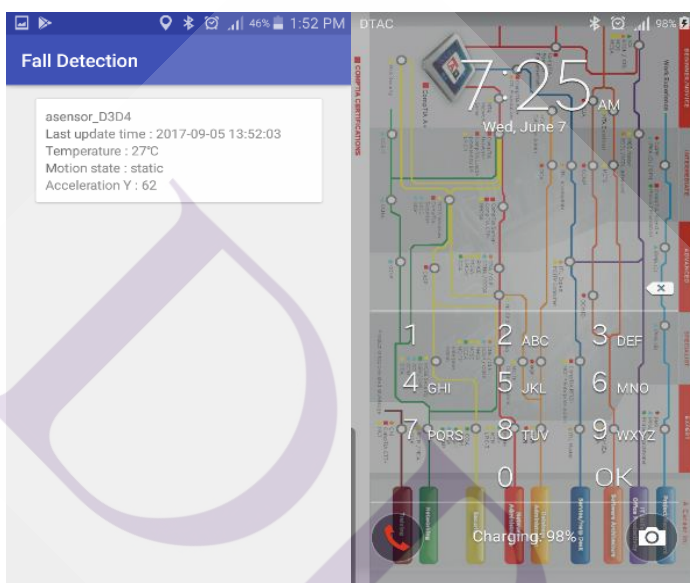
หน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor ของโปรแกรม เมื่อกดปุ่มเริ่มเฟิร์มแวร์ การลิมที่หน้าเมนูหลัก โปรแกรมจะเริ่มค้นหา Bluetooth accelerometer sensor เมื่อค้นหาพบแล้ว เลือก Bluetooth accelerometer sensor เพื่อเริ่มเฟิร์มแวร์ตรวจสอบการลิมต่อไปดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดงหน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor

3.6.4 การออกแบบหน้าตรวจจับการล้ม

เมื่อเลือกเซนเซอร์จากหน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor โปรแกรมจะทำการตรวจจับการล้มดังภาพที่ 3.19 (ก) สามารถล็อกหน้าจอโทรศัพท์เพื่อความปลอดภัยดังภาพที่ 3.19 (ข)

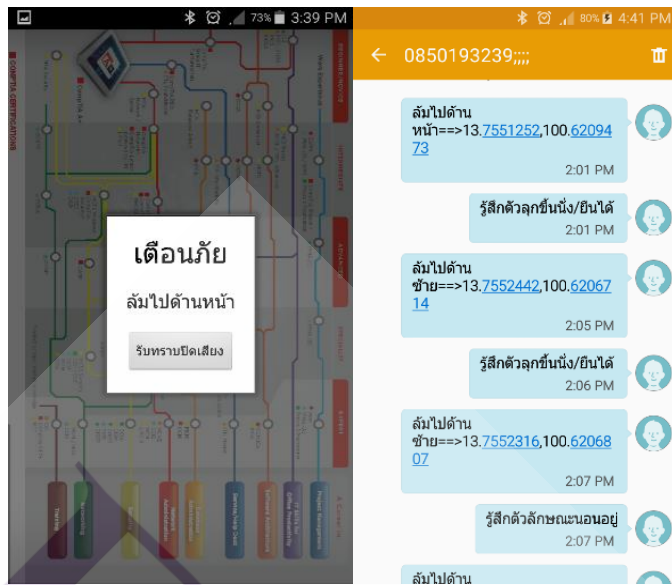


(ก)(ข)

ภาพที่ 3.19 แสดงหน้าตรวจจับการล้ม (ก) หน้าล็อกหน้าจอโทรศัพท์(ข)

3.6.5 การออกแบบหน้าแจ้งเตือนการล้ม

เมื่อตรวจพบการล้ม โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือนข้อความลักษณะการล้มพร้อมเสียงแจ้งเตือนดังภาพที่ 3.20 (ก) และส่งข้อความอัตโนมัติบอกลักษณะการล้มพร้อมกับตำแหน่งที่อยู่การล้มในครั้งแรก เมื่อตรวจจับการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะนอนอยู่ ลูกนั่งหรือยืนได้ ก็จะส่งข้อความไปยังเบอร์โทรศัพท์ผู้ติดต่อฉุกเฉินที่ตั้งค่าไว้อีกครั้งดังภาพที่ 3.20 (ข)

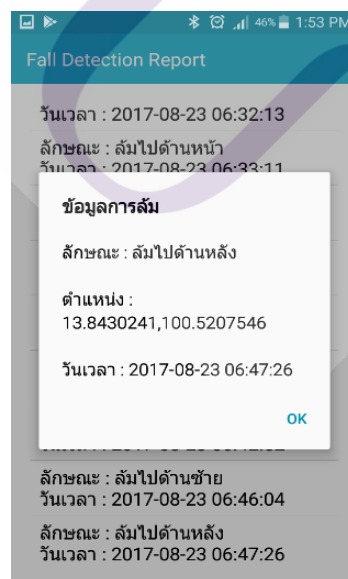


(ก)(ข)

ภาพที่ 3.20 แสดงหน้าแจ้งเตือนการล้ม (ก) หน้าส่งข้อความอัตโนมัติ(ข)

3.6.6 การออกแบบหน้ารายงาน

เมื่อตรวจพบการล้ม โปรแกรมจะทำการเก็บลักษณะการล้ม วัน เวลา ตำแหน่งที่เกิดการล้มลงในฐานข้อมูลของสมาร์ตโฟนสามารถค่นุ้รายงานเพื่อเรียกดูข้อมูลการล้มย้อนหลังได้ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 แสดงหน้ารายงาน

3.6.7 การออกแบบหน้าความรู้การล้ม

หน้าความรู้การล้มเป็นการให้ความรู้ปัจจัยเสี่ยงและวิธีการป้องกันการล้มในผู้สูงอายุ สามารถกดปุ่มความรู้การล้มเพื่ออ่านได้ดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 แสดงหน้าความรู้การล้ม

บทที่ 4

ทดสอบการทำงานของระบบและผลทดสอบ

ผู้วิจัยได้จำลองลักษณะการเดินหรือยืนแล้วล้มนอนไปด้านต่างๆ ด้วยหุ่นที่มีรูปร่างเหมือนมนุษย์จริง ผู้ทดสอบจริงและกล้องสี่เหลี่ยมขนาดความสูงเท่ามนุษย์จริง เนื่องจากการล้มไปด้านหน้าและด้านหลังอาจเป็นอันตรายกับผู้ทดสอบจริงจึงใช้หุ่นทดสอบแทน โดยทดสอบให้หุ่นยืนแล้วล้มไปด้านหลัง ด้านหน้า ผู้ทดสอบจริงเดินยืนแล้วล้มไปด้านซ้าย ด้านขวา และใช้กล้องสี่เหลี่ยมขนาดความสูงเท่ามนุษย์จริงทดสอบการล้มไปด้านหลังซ้าย ด้านหลังขวา ด้านหน้าซ้าย และด้านหน้าขวา จำนวน 30 ครั้งต่อลักษณะการล้ม และได้ทดสอบลักษณะอื่นที่ไม่ใช่การล้ม ได้แก่ นั่งแล้วนอนลงไปทางซ้าย ทางขวา ด้านหลัง การลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนเก้าอี้ ยืนแล้วนั่งลงบนพื้นยืนแล้วก้มลงเก็บของ จำนวน 30 ครั้งต่อลักษณะอื่นที่ไม่ใช่การล้มโดยติดตั้ง Bluetooth Accelerometer Sensor แนวแกน X, Y และ Z ตามภาพที่ 3.3 ในการทดสอบการทำงานของระบบไว้ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ สร้อยสวมใส่บริเวณคอ เข็มกลัดติดบริเวณหน้าอก เป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด ผลการทดสอบความถูกต้องการล้มและความถูกต้องการรู้สึกตัวหาค่าได้จากสมการ

$$A_n = T_n/N \times 100 \quad (4)$$

$$A_s = T_s/T_n \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ n แทน	รูปแบบลักษณะการล้ม
S แทน	รูปแบบลักษณะนอนอยู่หรือลักษณะลุกขึ้นนั่งหรือยืนได้หลังจากเกิดการล้ม
T _n แทน	จำนวนครั้งที่ตรวจจับการล้มได้ตรงลักษณะการล้มพร้อมแจ้งเตือน
T _s แทน	จำนวนครั้งที่ตรวจจับได้หลังการล้มแล้วรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ตรงลักษณะนอนอยู่หรือลักษณะลุกขึ้นนั่งหรือยืนได้พร้อมแจ้งเตือน
N แทน	จำนวนครั้งที่ทดสอบ
A _n แทน	ความถูกต้องการล้ม (%)
A _s แทน	ความถูกต้องการรู้สึกตัว (%)

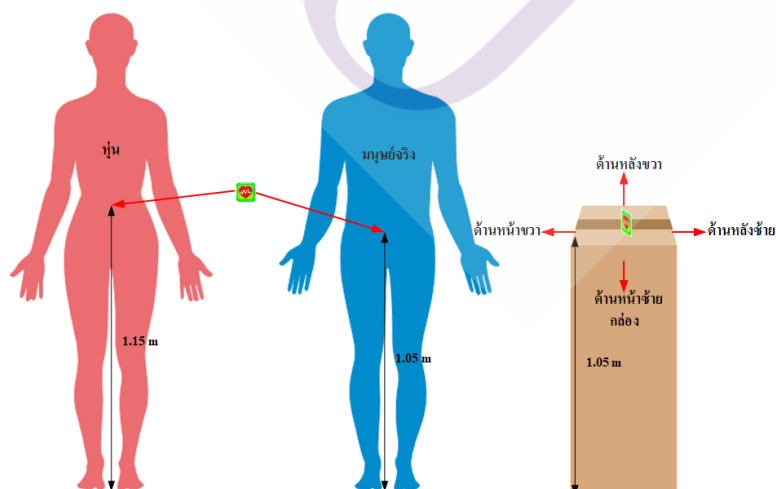
การเปรียบเทียบความแตกต่างของการทดสอบการล้มเฉลี่ย 2 กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน โดยใช้ค่าแจกแจง t -test แบบ Dependent Samples ดังสมการ

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}; \text{ df} = n-1(6)$$

เมื่อ	t	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาใน t -distribution
	D	แทน	ความแตกต่างของผลทดสอบแต่ละคู่
	N	แทน	จำนวนคู่ของผลการทดสอบ
การทดสอบแบบที่ 2	$\sum D$	แทน	ผลรวมทั้งหมดของผลต่างของการทดสอบแบบที่ 1 และ
	$\sum D^2$	แทน	ผลรวมของกำลังสองของผลต่างของการทดสอบแบบที่ 1 และการทดสอบแบบที่ 2

4.1 ทดสอบการทำงานระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

ทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดดังภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบตามตารางภาคผนวก ก ทดสอบการล้ม ไปล้มไปด้านหลัง ด้านหน้า ด้านซ้าย ด้านขวา ล้มไปด้านหลังซ้าย ด้านหลังขวา ด้านหน้าซ้าย และด้านหน้าขวา

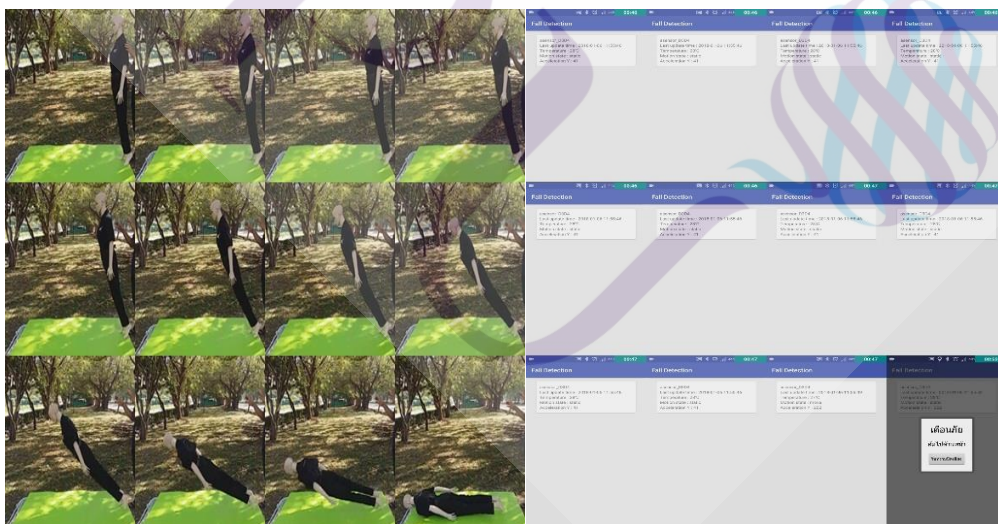


ภาพที่ 4.1 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



ภาพที่ 4.2 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดบนผู้ทดสอบ

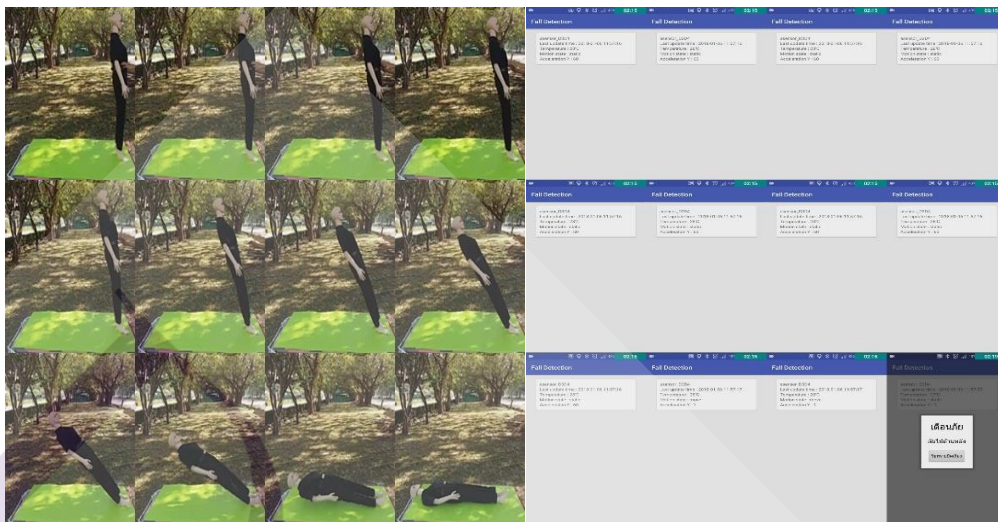
4.1.1 ทดสอบการล้มไปด้านหลังจำนวน 30 ครั้ง โดยใช้หุ่นติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็น คลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

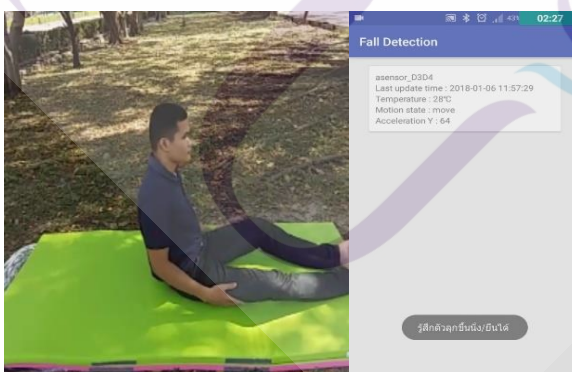
ภาพที่ 4.3 แสดงการล้มไปด้านหลังติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ้งเตือนการล้ม (ข)

4.1.2 ทดสอบการล้มไปด้านหลังจำนวน 30 ครั้งโดยใช้หุ่นติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว ลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.4 แสดงการล้มไปด้านหลังติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ้งเตือนการล้ม (ข)



(ก)(ข)

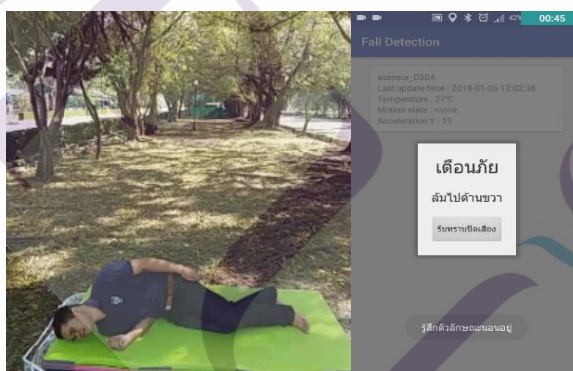
ภาพที่ 4.5 แสดงการล้มไปด้านหลังแล้วมีความรู้สึกตัวลักษณะลุกขึ้นนั่งได้/ขึ้นได้ (ก) แจ้งเตือน (ข)

4.1.3 ทดสอบการล้มไปด้านขวาจำนวน 30 ครั้งโดยใช้นุขย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว ลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.6 แสดงการล้มไปด้านขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ้งเตือนการล้ม (ข)



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.7 แสดงการล้มไปด้านขวาแล้วมีความรู้สึกตัวลักษณะนอนอยู่ (ก) แจ้งเตือน (ข)

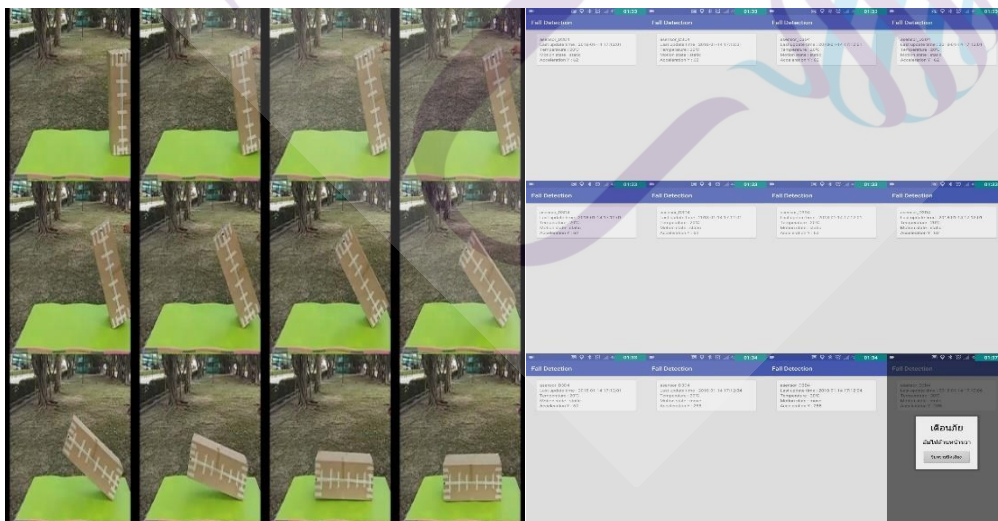
4.1.4 ทดสอบการล้มไปด้านซ้ายจำนวน 30 ครั้ง โดยใช้หุ่นยนต์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.8 แสดงการล้มไปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) แจ้งเตือนการล้ม (ข)

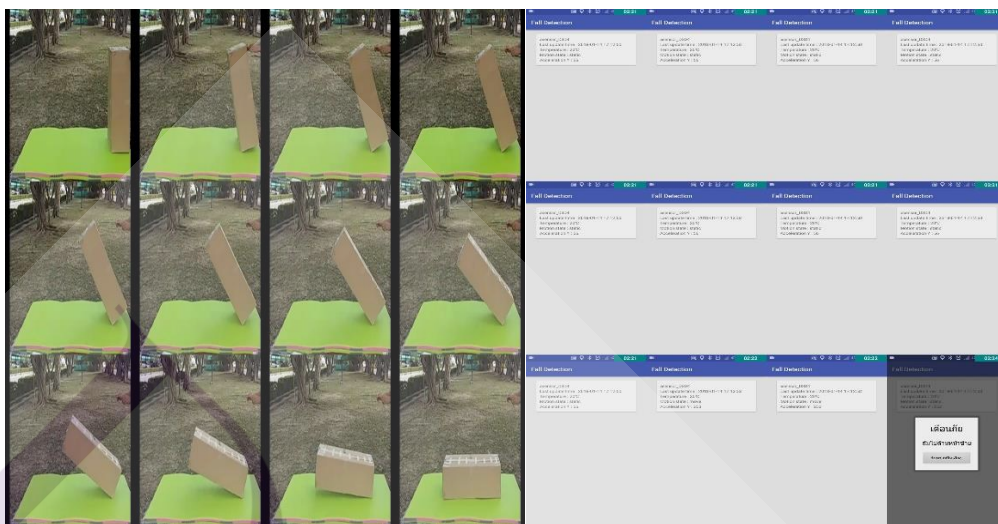
4.1.5 ทดสอบการล้มไปด้านหน้าขวาจำนวน 30 ครั้งโดยใช้กล่องติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.9 แสดงการล้มไปด้านหน้าขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ้งเตือนการล้ม (ข)

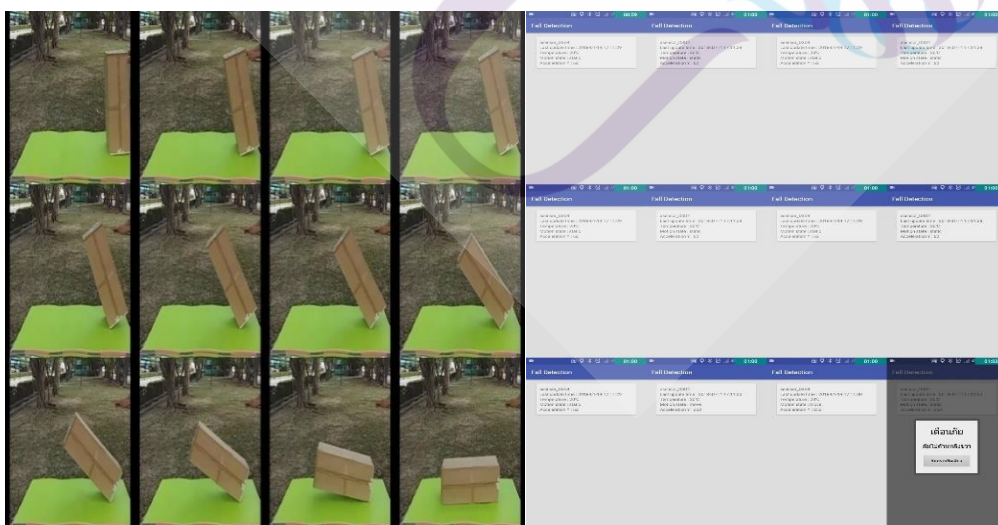
4.1.6 ทดสอบการล้มไปด้านหน้าซ้ายจำนวน 30 ครั้งโดยใช้กล่องติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.10 แสดงการล้มไปด้านหน้าซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข)

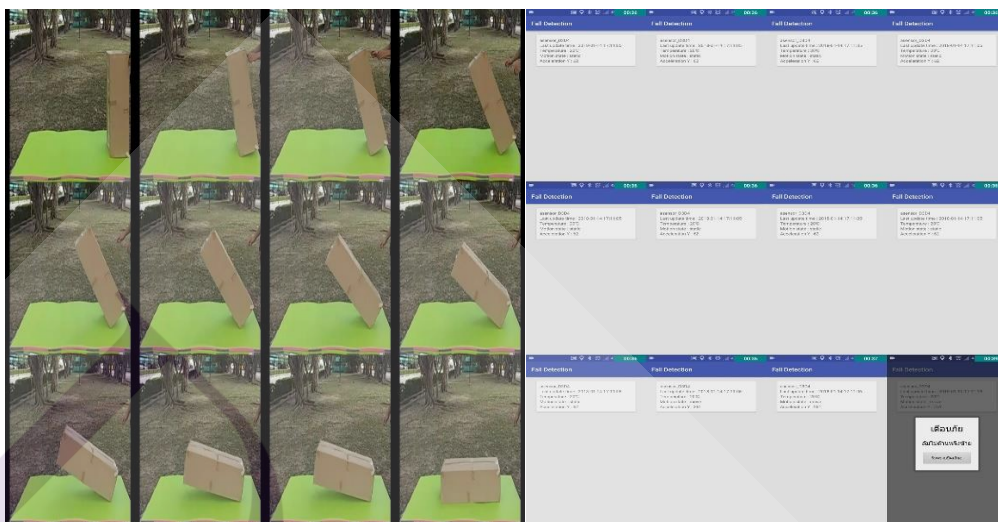
4.1.7 ทดสอบการล้มไปด้านหลังขวาจำนวน 30 ครั้งโดยใช้กล่องติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.11 แสดงการล้มไปด้านหลังขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข)

4.1.8 ทดสอบการล้มไปด้านหลังซ้ายจำนวน 30 ครั้ง โดยใช้กล่องติดตั้งเซนเซอร์บริเวณ
เอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



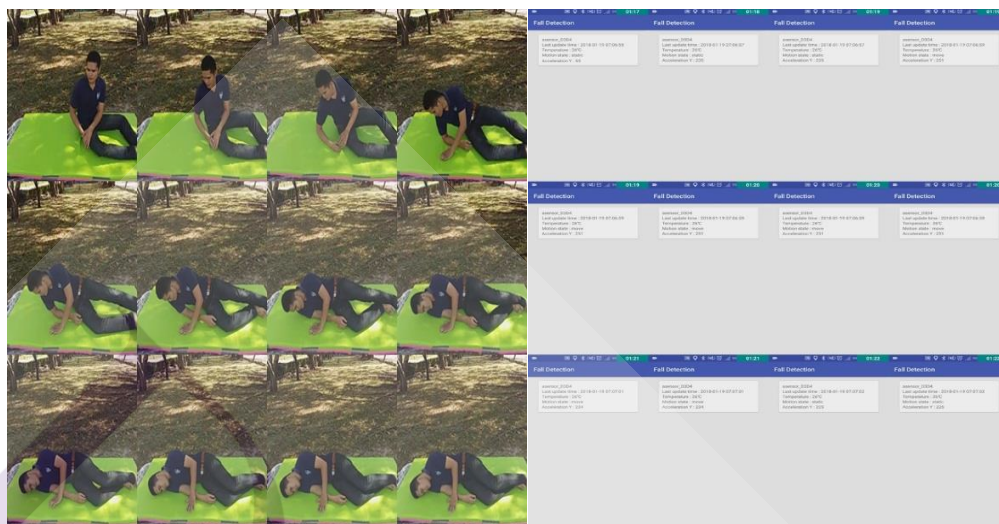
(ก)(ข)

ภาพที่ 4.12 แสดงการล้มไปด้านหลังซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอว (ก) แจ็งเตือนการล้ม (ข)

ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็น
คลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดจากภาคผนวก ก

ลักษณะการล้ม	ตรวจจับการล้มได้(ครั้ง)	%	ตรวจจับการรู้สึกรู้ตัว				เวลาแจ้งเตือน (S)
			นั่งหรือยืนได้	%	นอนอยู่	%	
ล้มไปด้านหน้า	26	86.66	11	100	15	100	3.44
ล้มไปด้านหลัง	27	90.00	14	100	13	100	3.44
ล้มไปด้านขวา	26	86.66	14	100	12	100	3.44
ล้มไปด้านซ้าย	25	83.33	13	100	12	100	3.42
ล้มไปด้านหน้าขวา	27	90.00	13	100	14	100	3.40
ล้มไปด้านหน้าซ้าย	26	86.66	12	100	14	100	3.39
ล้มไปด้านหลังขวา	26	86.66	14	100	12	100	3.33
ล้มไปด้านหลังซ้าย	27	90.00	13	100	14	100	3.36

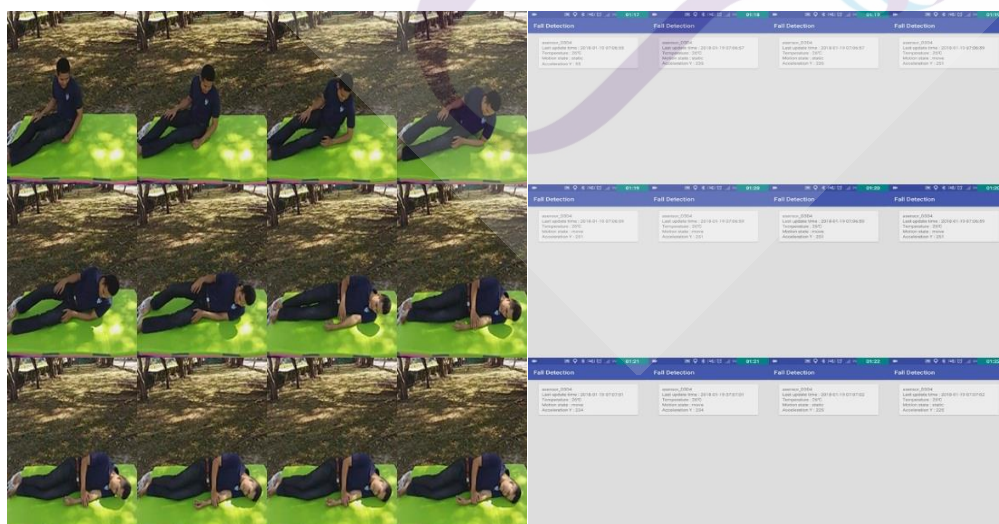
4.1.9 ทดสอบการนอนลงไปด้านขวาจำนวน 30 ครั้งโดยใช้มนุษย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.13 แสดงการนอนลงไปด้านขวาติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข)

4.1.10 ทดสอบการนอนลงไปด้านซ้ายจำนวน 30 ครั้งโดยใช้มนุษย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.14 แสดงการนอนลงไปด้วยตัวติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข)

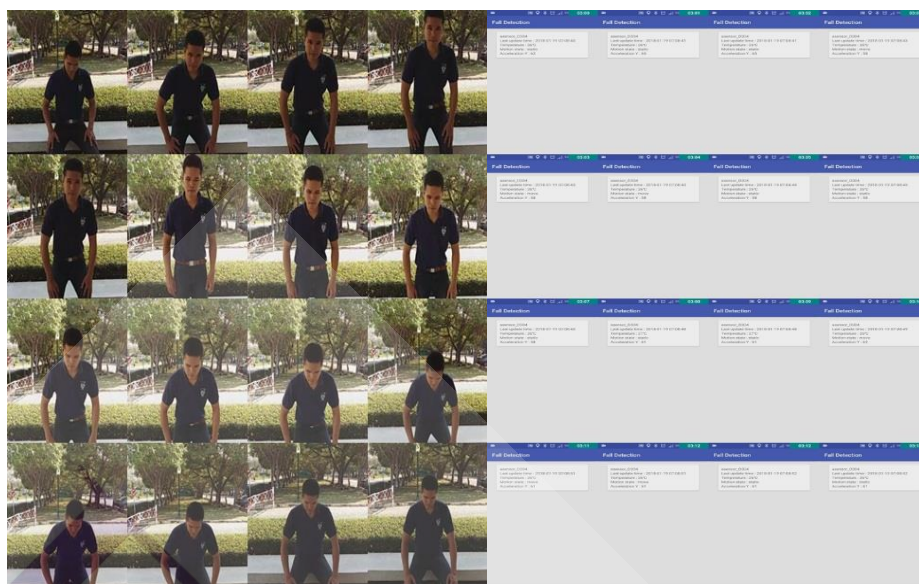
4.1.11 ทดสอบการนอนลงไปด้วยตัวหลังจำนวน 30 ครั้งโดยใช้มนุษย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.15 แสดงการนอนลงไปด้วยตัวติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข)

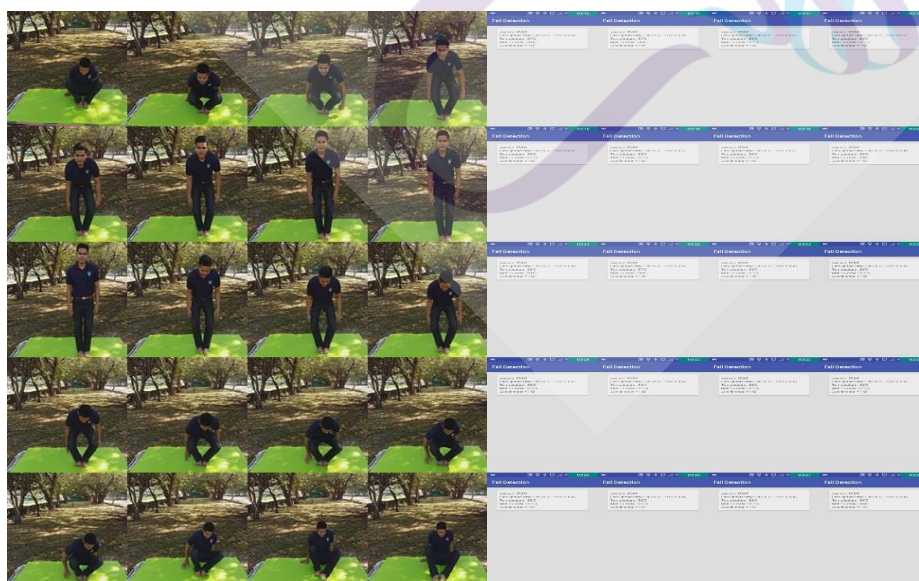
4.1.12 ทดสอบการลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้จำนวน 30 ครั้งโดยใช้มนุษย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.16 แสดงการลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข)

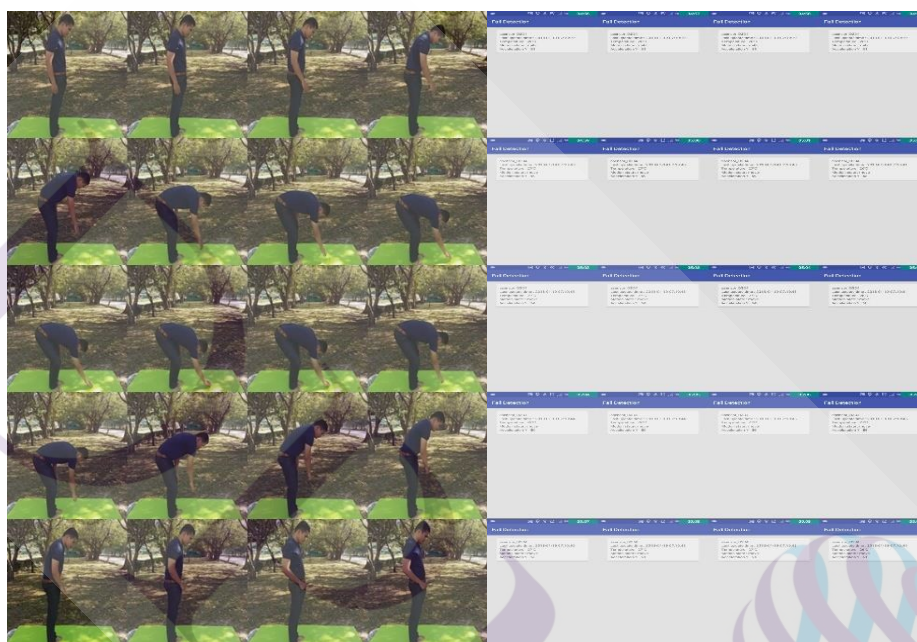
4.1.13 ทดสอบการลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้นจำนวน 30 ครั้งโดยใช้นุ้ยยัดติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

ภาพที่ 4.17 แสดงการลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้นติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข)

4.1.14 ทดสอบการยืนแล้วก้มลงเก็บของจำนวน 30 ครั้งโดยใช้มนุษย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



(ก)(ข)

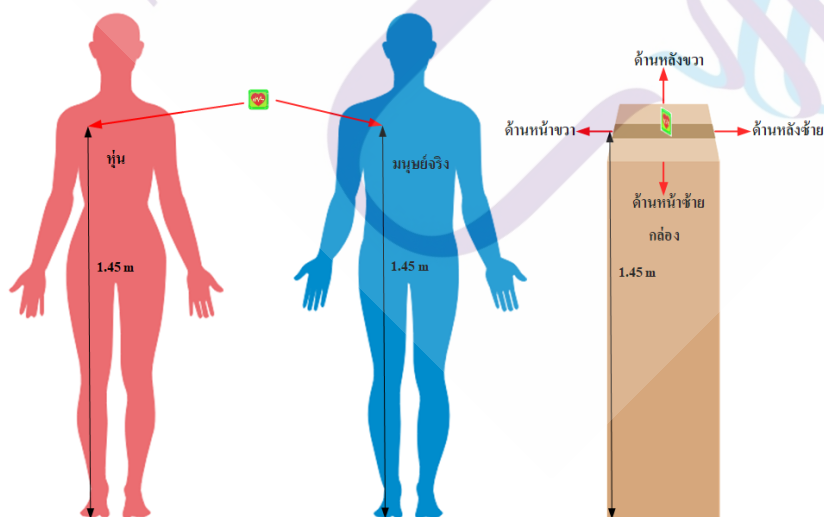
ภาพที่ 4.18 แสดงการยืนแล้วก้มลงเก็บของติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด (ก) ไม่แจ้งเตือนการล้ม (ข)

ตารางที่ 4.2 ผลทดสอบลักษณะพฤติกรรมอื่นๆ โดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดจากภาคผนวก ก

ลักษณะพฤติกรรมอื่นๆ	แจ้งเตือนการล้ม	%	ไม่แจ้งเตือน	%
นอนลงไปด้านขวา	0	0	30	100
นอนลงไปด้านซ้าย	0	0	30	100
นอนลงไปด้านหลัง	0	0	30	100
ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้	0	0	30	100
ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้น	0	0	30	100
ยืนแล้วก้มลงเก็บของ	0	0	30	100

4.2 ทดสอบการทำงานระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

ทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดดังภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบตามตารางภาคผนวก ก ทดสอบการล้มไปล้มไปด้านหลัง ด้านหน้าด้านซ้าย ด้านขวา ล้มไปด้านหลังซ้าย ด้านหลังขวา ด้านหน้าซ้าย และด้านหน้าขวาจำนวน 30 ครั้งในแต่ละลักษณะการล้ม เช่นเดียวกับการทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด



ภาพที่ 4.19 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด



ภาพที่ 4.20 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดบนผู้ทดสอบ

ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบตรวจจับการลี้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดจากภาคผนวก ก

ลักษณะการลี้ม	ตรวจจับการลี้มได้(ครั้ง)	%	ตรวจจับการรู้สึกรู้ตัว				เวลาเฉลี่ยเดือน (S)
			นั่งหรือยืนได้	%	นอนอยู่	%	
ลี้มไปด้านหน้า	26	86.66	12	100	14	100	3.69
ลี้มไปด้านหลัง	26	86.66	13	100	13	100	3.63
ลี้มไปด้านขวา	25	83.33	12	100	13	100	3.65
ลี้มไปด้านซ้าย	25	83.33	12	100	13	100	3.67
ลี้มไปด้านหน้าขวา	26	86.66	12	100	14	100	3.59
ลี้มไปด้านหน้าซ้าย	26	86.66	12	100	14	100	3.61
ลี้มไปด้านหลังขวา	27	90.00	14	100	13	100	3.57
ลี้มไปด้านหลังซ้าย	27	90.00	13	100	14	100	3.57

ทดสอบลักษณะอื่นที่ไม่ใช่การลี้ม ได้แก่ นั่งแล้วนอนลงไปทางซ้าย ทางขวา ด้านหลัง การลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนเก้าอี้ ยืนแล้วนั่งลงบนพื้น ยืนแล้วก้มลงเก็บของจำนวน 30 ครั้งในแต่ละ

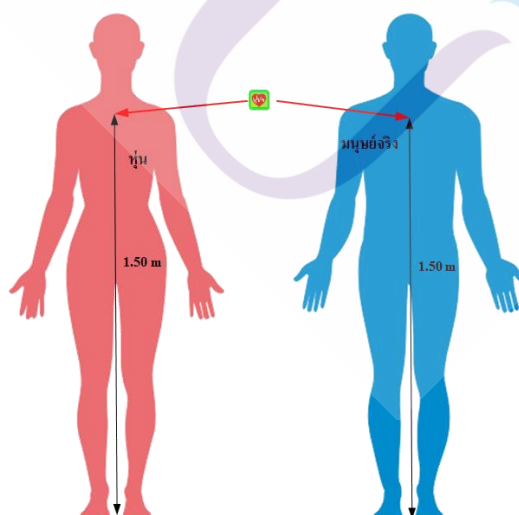
ลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบรวมลักษณะพฤติกรรมอื่นๆ โดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดจากภาคผนวก ก

ลักษณะพฤติกรรมอื่นๆ	แจ้งเตือนการล้ม	%	ไม่แจ้งเตือน	%
นอนลงไปด้านขวา	0	0	30	100
นอนลงไปด้านซ้าย	0	0	30	100
นอนลงไปด้านหลัง	5	16.66	25	83.33
ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้	0	0	30	100
ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้น	0	0	30	100
ยืนแล้วก้มลงเก็บของ	1	3.33	29	96.66

4.3 ทดสอบการทำงานระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ

ทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอตั้งภาพที่ 4.23 ผลการทดสอบตามตารางภาคผนวก ก ทดสอบการล้มไปล้มไปด้านหลัง ด้านหน้าด้านซ้ายและด้านขวา จำนวน 30 ครั้งในแต่ละลักษณะการล้มโดยติดตั้งห่างจากคอ 1 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.21 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ



ภาพที่ 4.22 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอบนผู้ทดสอบ

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบตรวจจับการลี้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอจากภาคผนวก ก

ลักษณะการลี้ม	ตรวจจับการลี้มได้(ครั้ง)	%	ตรวจจับการรู้ดีกตัว				เวลาแจ้งเตือน (S)
			นั่งหรือยืนได้	%	นอนอยู่	%	
ลี้มไปด้านหน้า	15	50.00	6	100	9	100	3.47
ลี้มไปด้านหลัง	26	86.67	12	100	14	100	3.48
ลี้มไปด้านขวา	23	76.67	12	100	11	100	3.46
ลี้มไปด้านซ้าย	24	80.00	12	100	12	100	3.45

ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบลักษณะพฤติกรรมอื่นๆ โดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็น
สร้อยคอจากภาคผนวก ก

ลักษณะพฤติกรรมอื่นๆ	แจ้งเตือนการล้ม	%	ไม่แจ้งเตือน	%
นอนลงไปด้านขวา	0	0	30	100
นอนลงไปด้านซ้าย	0	0	30	100
นอนลงไปด้านหลัง	3	10.00	27	90.00
ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้	0	0	30	100
ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้น	0	0	30	100
ยืนแล้วก้มลงเก็บของ	0	0	30	100

4.4 ทดสอบการใช้พลังงานBluetooth accelerometer sensor

การทดสอบการใช้พลังงาน Bluetooth accelerometer sensor จากแบตเตอรี่ CR2032 แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือทดสอบให้ Bluetooth accelerometer sensor เคลื่อนที่ตลอดเวลาแล้ววัดการใช้พลังงานทดสอบให้เคลื่อนที่ 12 ชม.แล้วหยุดนิ่งแล้ววัดการใช้พลังงานและทดสอบให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ตลอดเวลาแล้ววัดการใช้พลังงาน

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการใช้พลังงาน Bluetooth accelerometer sensor เป็นเวลา 1 เดือน

วันที่	เคลื่อนที่ตลอดเวลา พลังงานคงเหลือ (%)	เคลื่อนที่ 12 ชม.แล้ว หยุดนิ่งพลังงาน คงเหลือ (%)	หยุดนิ่งอยู่กับที่ ตลอดเวลาพลังงาน คงเหลือ (%)
1 ถึง 30	100	100	100
รวมคงเหลือพลังงาน	100	100	100

จากตารางตารางแสดงผลทดสอบการใช้พลังงาน Bluetooth accelerometer sensor เป็นเวลา 1 เดือนแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของ Bluetooth accelerometer sensor สามารถใช้งานได้นานมากกว่า 1 เดือนขึ้นไป

4.5 การเปรียบเทียบผลทดสอบการล้ม

4.5.1 เปรียบเทียบการทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดกับการทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดจากการทดสอบจำนวน 30 ครั้ง

ลักษณะการล้ม

1 แทน ล้มไปด้านหน้า

2 แทน ล้มไปด้านหลัง

3 แทน ล้มไปด้านขวา

4 แทน ล้มไปด้านซ้าย

ผลทดสอบตำแหน่งของ Bluetooth Accelerometer Sensor

แบบที่ 1 แทนผลทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

แบบที่ 2 แทนผลทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดกับผลการทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

ลักษณะการล้ม	1	2	3	4	
แบบที่ 1	26	27	26	25	รวม =104
แบบที่ 2	26	26	25	25	รวม =102
D	0	1	1	0	$\sum D = 2$
D^2	0	1	1	0	$\sum D^2 = 2$

ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_2 = \mu_1$

$H_1 : \mu_2 < \mu_1$

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}; \quad df = n-1 \quad (6)$$

กำหนด $\alpha = 0.05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_1 : \mu_2 < \mu_1$) ค่าวิกฤตของ t ณ $df = 3$ และ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่าวิกฤตของ $t(t_{\text{ตาราง}}) = 2.353$

คำนวณค่าสถิติตามสูตร

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$$

$$t = \frac{2}{\sqrt{\frac{4(2) - (2)^2}{4-1}}} = \frac{2}{\sqrt{\frac{8-4}{3}}}$$

$$t = \frac{2}{\sqrt{\frac{4}{3}}} = \frac{2}{\sqrt{1.333}} = \frac{2}{1.154}$$

$$t = 1.733$$

พิจารณาเมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} < t_{\text{ตาราง}}$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{ตาราง}}$ จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

เนื่องจาก $t_{\text{คำนวณ}} = 1.733 < t_{\text{ตาราง}} = 2.353$ ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ผลทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดมีความถูกต้องน้อยกว่าผลทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.5.2 เปรียบเทียบการทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดกับทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอผลทดสอบตำแหน่งของ Bluetooth Accelerometer Sensor

แบบที่ 1 แทนผลทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด
แบบที่ 2 แทนผลทดสอบตรวจจับการล้มของระบบ โดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็น
สร้อยคอ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบทดสอบการล้ม โดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณ
หัวเข็มขัดกับทดสอบตรวจจับการล้มของระบบ โดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็น
สร้อยคอ

ลักษณะการล้ม	1	2	3	4	
แบบที่ 1	26	27	26	25	รวม=104
แบบที่ 2	15	26	23	24	รวม= 88
D	11	1	3	1	$\sum D = 16$
D^2	121	1	9	1	$\sum D^2 = 132$

ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_2 = \mu_1$

$H_1 : \mu_2 < \mu_1$

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}; \quad df = n-1 \quad (6)$$

กำหนด $\alpha = 0.05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_1 : \mu_2 < \mu_1$) ค่าวิกฤตของ t ณ $df = 3$ และ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่าวิกฤตของ $t(t_{\text{ตาราง}}) = 1.669$

คำนวณค่าสถิติตามสูตร

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$$

$$t = \frac{16}{\sqrt{\frac{4(132) - (16)^2}{4-1}}} = \frac{16}{\sqrt{\frac{528 - 256}{3}}}$$

$$t = \frac{16}{\sqrt{\frac{272}{3}}} = \frac{16}{\sqrt{90.666}} = \frac{16}{9.521}$$

$$t = 1.680$$

พิจารณา เมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} < t_{\text{ตาราง}}$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{ตาราง}}$ จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

เนื่องจาก $t_{\text{คำนวณ}} = 1.680 < t_{\text{ตาราง}} = 2.353$ ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ผลทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอมีความถูกต้องน้อยกว่าผลทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.5.3 เปรียบเทียบการทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดกับทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ

ผลทดสอบตำแหน่งของ Bluetooth Accelerometer Sensor

แบบที่ 1 แทนผลทดสอบการล้มของระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

แบบที่ 2 แทนผลทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดกับ
ทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ

ลักษณะการล้ม	1	2	3	4	
แบบที่ 1	26	26	25	25	รวม = 102
แบบที่ 2	15	26	23	24	รวม = 88
D	11	0	2	1	$\sum D = 15$
D^2	121	0	4	1	$\sum D^2 = 126$

ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_2 = \mu_1$

$H_1 : \mu_2 < \mu_1$

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}; \quad df = n-1(6)$$

กำหนด $\alpha = 0.05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_1 : \mu_2 < \mu_1$) ค่าวิกฤตของ t ณ $df = 3$ และ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่าวิกฤตของ t ($t_{\text{ตาราง}}$) = 2.353

คำนวณค่าสถิติตามสูตร

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$$

$$t = \frac{15}{\sqrt{\frac{4(126) - (15)^2}{4-1}}} = \frac{15}{\sqrt{\frac{504 - 225}{3}}}$$

$$t = \frac{15}{\sqrt{\frac{279}{3}}} = \frac{15}{\sqrt{93}} = \frac{15}{9.643}$$

$$t = 1.555$$

พิจารณา เมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} < t_{\text{ตาราง}}$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{ตาราง}}$ จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

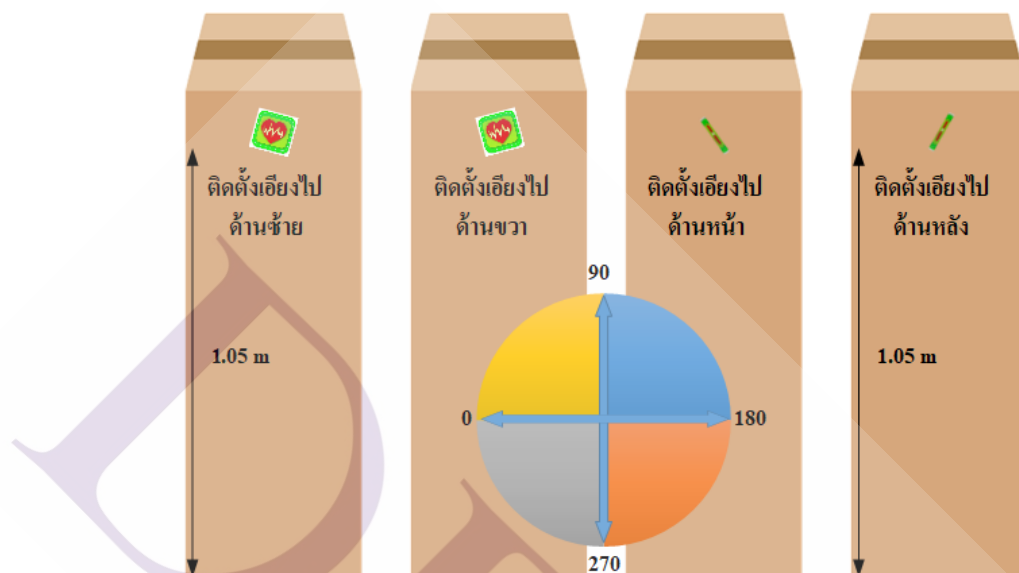
เนื่องจาก $t_{\text{คำนวณ}} = 1.555 < t_{\text{ตาราง}} = 2.353$ ดังนั้น ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ผลทดสอบตรวจจับการล้มของระบบโดยรวมติดตั้งเซนเซอร์บริเวณลักษณะคอเป็นสร้อยคอมีความถูกต้องน้อยกว่าผลทดสอบการล้มโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากการเปรียบเทียบผลทดสอบทางสถิติหัวข้อ 4.5.1 ถึง 4.5.3 การติดตั้ง Bluetooth Accelerometer Sensor บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้องสูงกว่าการติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดและบริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ผลต่อการตรวจจับการล้มของระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth accelerometer sensor ที่พัฒนาขึ้นได้แก่ การติดตั้งเซนเซอร์ยึดติดแน่นมั่นคง ทำให้ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้องสูงกว่าการติดตั้งเซนเซอร์ไม่ยึดแน่นมั่นคงการติดตั้งเซนเซอร์ที่ระดับความสูงจากพื้นดินสูงมากขึ้นทำให้ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้องมากขึ้นและการติดตั้งเซนเซอร์ยึดติดแน่นมั่นคงมีผลต่อการตรวจจับการล้มของระบบตรวจจับการล้มที่พัฒนาขึ้นมากกว่าการติดตั้งเซนเซอร์ความสูงจากพื้นดินที่ระดับความสูงมากขึ้น

4.6 ทดสอบการทำงานระบบโดยปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเดียวกับพื้นโลก

การทดสอบการล้มปกติติดตั้งเซนเซอร์ตามภาพที่ 3.3 แต่ในการใช้งานจริงอาจติดตั้งเซนเซอร์ไม่เป็นไปตามแนวแกนที่กำหนดหรืออาจมีการติดตั้งคลาดเคลื่อนจึงได้ทดสอบการติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเดียวกับพื้นโลกเพื่อหาความคลาดเคลื่อนการติดตั้งเซนเซอร์ที่ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้อง 4 ด้าน ดังนี้คือ ด้านซ้ายเริ่มทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 5 องศา เพิ่มองศาขึ้นไปจนไม่สามารถตรวจจับการล้มได้ ด้านขวาเริ่มทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 175 องศา ลดองศาลงไปจนไม่สามารถตรวจจับการล้มได้ ด้านหน้าเริ่มทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 85 องศา ลดองศาลงไปจนไม่สามารถตรวจจับการล้มได้และด้านหลัง

เริ่มทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 95 องศา เพิ่มองศาขึ้นไปจนไม่สามารถตรวจจับการล้มได้ดังภาพที่ 4.23 โดยใช้กล้องในการทดสอบการล้มจำนวน 10 ครั้ง ไปด้วยด้านหน้า ด้านหลังด้านขวา และด้านซ้าย



(ก)(ข)(ค)(ง)

ภาพที่ 4.23 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านซ้าย (ก) ด้านขวา (ข) ด้านหน้า (ค) ด้านหลัง (ง)

ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านซ้ายจากภาคผนวก ก

มุมมองเอียง	5°	%	10°	%	15°	%	20°	%
ล้มไปด้านหน้า	9	90.00	9	90.00	8	80.00	0	0
ล้มไปด้านหลัง	8	80.00	9	90.00	9	90.00	0	0
ล้มไปด้านขวา	9	90.00	8	80.00	9	90.00	0	0
ล้มไปด้านซ้าย	8	80.00	9	90.00	9	90.00	0	0

ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมมองเสาเอียงกับพื้นโลกไป
ด้านขวาจากภาคผนวก ก

มุมมองเสาเอียง	175°	%	170°	%	165°	%	160°	%
ลี้มไปด้านหน้า	8	80.00	9	90.00	9	90.00	0	0
ลี้มไปด้านหลัง	9	90.00	8	80.00	9	90.00	0	0
ลี้มไปด้านขวา	9	90.00	8	80.00	8	80.00	0	0
ลี้มไปด้านซ้าย	8	80.00	8	80.00	9	90.00	0	0

ตารางที่ 4.13 ผลทดสอบรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมมองเสาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหน้า
จากภาคผนวก ก

มุมมองเสาเอียง	85°	%	80°	%	75°	%	70°	%
ลี้มไปด้านหน้า	9	90.00	9	90.00	8	80.00	0	0
ลี้มไปด้านหลัง	9	90.00	8	80.00	9	90.00	0	0
ลี้มไปด้านขวา	8	80.00	9	90.00	8	80.00	0	0
ลี้มไปด้านซ้าย	9	90.00	8	80.00	9	90.00	0	0

ตารางที่ 4.14 ผลทดสอบโดยรวมการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมมองเสาเอียงกับพื้นโลกไปด้าน
หลังจากภาคผนวก ก

มุมมองเสาเอียง	95°	%	100°	%	105°	%	110°	%
ลี้มไปด้านหน้า	9	90.00	8	90.00	9	90.00	0	0
ลี้มไปด้านหลัง	8	80.00	8	80.00	9	90.00	0	0
ลี้มไปด้านขวา	9	90.00	9	90.00	9	90.00	0	0
ลี้มไปด้านซ้าย	9	90.00	8	90.00	8	80.00	0	0

จากผลการทดสอบตารางที่ 4.11 ถึง 4.14 แสดงให้ทราบว่าระบบตรวจจับการลี้มที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับการลี้มได้ถูกต้องเมื่อติดตั้งเซนเซอร์คลาดเคลื่อนทำมุมมองเสาเอียงกับพื้นโลกไปด้านซ้ายได้ไม่เกิน 15 องศา ทำมุมมองเสาเอียงไปด้านขวาได้ไม่เกิน 165 องศา ทำมุมมองเสาเอียงไปด้านหน้าได้ไม่เกิน 75 องศา และทำมุมมองเสาเอียงไปด้านหลังได้ไม่เกิน 105 องศา



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth accelerometer sensor ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับการล้ม บอกลักษณะการล้มว่า ล้มไปด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าขวาด้านหน้าซ้ายด้านหลังขวาด้านหลังซ้ายระบบสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวรู้สึกตัวของผู้ล้มภายหลังการล้มได้ ทำให้ผู้ติดต่อฉุกเฉินสามารถประเมินความรุนแรงที่เกิดขึ้นได้จากผลการทดสอบพบว่าติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดและติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดระบบสามารถตรวจจับความถูกต้องการล้มอยู่ในระดับ 83.33% - 90.00% ความถูกต้องการรู้สึกตัว 100 % ความเร็วในการแจ้งเตือนไม่เกิน 4 วินาทีติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอระบบสามารถตรวจจับความถูกต้องการล้มอยู่ในระดับ 50.00% - 80.00% ความถูกต้องการรู้สึกตัว 100 % ความเร็วในการแจ้งเตือนไม่เกิน 4 วินาทีการติดตั้งเซนเซอร์ยึดติดแน่นมั่นคง ระดับความสูงจากพื้นดินที่ติดตั้งเซนเซอร์สูงมากขึ้น ทำให้ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้องมากขึ้นและการติดตั้งเซนเซอร์ยึดติดแน่นมั่นคงมีผลต่อการตรวจจับการล้มของระบบตรวจจับการล้มที่พัฒนาขึ้นมากกว่าการติดตั้งเซนเซอร์ที่ระดับความสูงจากพื้นดินสูงมากขึ้นระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้องเมื่อติดตั้งเซนเซอร์คลาดเคลื่อนทำมุมองศาเดียวกับพื้น โลกไปด้านซ้ายได้ไม่เกิน 15 องศา ทำมุมองศาเอียงไปด้านขวาได้ไม่เกิน 165 องศา ทำมุมองศาเอียงไปด้านหน้าได้ไม่เกิน 75 องศา และทำมุมองศาเอียงไปด้านหลังได้ไม่เกิน 105 องศา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ระบบที่พัฒนายังมีข้อจำกัดในการตรวจจับการล้มเนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อผิดพลาดในการตรวจจับบ้างครั้งไม่สามารถตรวจจับการล้มได้เกิดจากการเขียน โปรแกรมของผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยจะทำการหาข้อบกพร่องและแก้ไขพัฒนาเพื่อให้สามารถตรวจจับการล้มได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในอนาคต

5.2.2 การติดตั้งBluetooth accelerometer sensorในการตรวจจับการล้มต้องติดตั้งในรูปแบบทิศทางแกน X, Y และ Z ตามลักษณะที่กำหนดในงานวิจัยนี้กับเข็มขัดลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัดและติดตั้งเซนเซอร์บนเสื้อผ้าบริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัดให้ยึดติดแน่นมั่นคงเพื่อการตรวจจับการล้มได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพมากที่สุด การติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอต้องออกแบบสร้อยคอแบบพิเศษเพื่อการตรวจจับการล้มได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยจะพัฒนาออกแบบในอนาคต

5.2.3ระบบที่พัฒนายังมีข้อจำกัดเรื่องการส่งข้อมูลที่ล่าช้าจาก Bluetooth accelerometer sensorไปยังสมาร์ตโฟน ในกรณีที่สมาร์ตโฟนและ Bluetooth accelerometer sensor อยู่ห่างกันเกินกว่าสิบเมตร เนื่องจากความแรงของสัญญาณบลูทูธลดลงทำให้ส่งข้อมูลได้ไม่ต่อเนื่อง ทำให้การตรวจจับการล้มต้องอยู่ในระยะไม่เกินสิบเมตร

5.2.4งานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยจะพัฒนาความสามารถของระบบให้สามารถตรวจจับการล้มจากBluetooth accelerometer sensor มากกว่า 1 ตัวในระบบเดียว เพื่อการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุ ผู้ที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ ให้ได้จำนวนมากขึ้นในสมาร์ตโฟนเครื่องเดียว



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค. (2560, 1 มีนาคม). การพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ. สืบค้นจาก <http://www.thaincd.com/2016/mission4?tid=39>
- [2] สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค. (2560, 1 มีนาคม). การพยากรณ์การพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 – 2564. สืบค้นจาก <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents-detail.php?id=12095&tid=&gid=1-027>
- [3] Aprbrother, Bluetooth accelerometer sensor. (2560, 1 มกราคม). สืบค้นจาก <https://blog.aprbrother.com/product/asensor>
- [4] โทรคมนาคมไทย. (2560, 7 พฤศจิกายน). เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้. สารานุกรมออนไลน์. สืบค้นจาก http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Bluetooth_and_Zigbee/index.php
- [5] Bluetooth, Bluetooth Low Energy. (2560, 7 พฤศจิกายน). สืบค้นจาก <http://www.bluetooth.com>
- [6] มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ระบบ ระดับที่ 1. (2553, ตุลาคม). (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: ผู้แต่ง.
- [7] จักรชัย โสอินทร์, และพงศธร จันทร์ยอย. (2555, กันยายน). *Basic Android App Development*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด.
- [8] Wikipedia. (2560, 7 พฤศจิกายน). Android version history. สืบค้นจาก https://en.wikipedia.org/wiki/Android_version_history
- [9] Ilman H, Kusumah., M. Irwan. Nari., SenaS, Suprpto., & Widyawardana, Adiprawita. (2016). *A Simple Design of Wearable Device for Fall Detection with Accelerometer and Gyroscope* (pp.88-91). Indonesia: International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD) November 29-30.
- [10] Fu-Shan, Jaw., Jing-Jung, Yang., Kuang-Hsuan, Chen., & Yu-Wei, Hsu. (2016). *Smartphone-based Fall Detection Algorithm Using Feature Extraction* (pp.1535-1540). Taiwan: 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics(CISP-BMEI 2016).
- [11] Lih-Jen Kau, et all. (2015). *A Smart Phone-Based Pocket Fall Accident Detection, Positioning, and Rescue System* (vol.19, no.1). IEEE journal of biomedical and health informatics.

- [12] Lin, Fan., & Zhongmin,Wang. (2013). *Human activity recognition modelbased on Decision tree* (pp. 64-68). International Conference on AdvancedCloud and Bid Data.
- [13] D. Choi., & V. Q. Viet, G. Lee. (2012). *Fall Detection based on Movement and Smart Phone Technology* (pp.1-4). Ho Chi Minh City: IEEE RIVF Int. Conf. on Computing and Communication Technologies,Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF).
- [14] K-M. Chiu., S-H. Fang., & Y-C. Liang. (2012). *Developing a Mobile Phone-based Fall Detection System on Android Platform* (pp. 143-146). Hong Kong: IEEE Conf.on Computing, Communications and Applications (ComComAp)
- [15] D. Liang., G. Zhao., L. Wang., & Y. Guo. (2012). *Pre-impact Detection of Falls Using Wireless Body Sensor Network* (pp.763-766). Hong Kong, Shenzhen & China: in Proc. IEEE-EMBS Int. Conf. on Biomedical and Health Informatics (BHI).
- [16] A. L-Ekuakille., H. Hegedus., M. Jurcevic., P. Mostarac., P. Vergallo., & R. Malaric. (2011). *System for monitoring and fall detection of patients using mobile 3-axis accelerometers sensors* (pp. 456-459). Bari: in IEEE Int. Workshop on Medical Measurements and Applications Proceedings(MeMeA).
- [17] E. I. Gaura., J. Brusey., & O. Ojetola. (2011). *Fall Dection with Wearable Sensors – SAFE (SmArt Fall dEtecton)* (pp. 318-321). Nottingham: in 7th IEEE Int. Conf. on Intelligent Environments.
- [18] X. Yu. (2008). *Approaches and Principles of Fall Detection for Elderly and Patient* (pp.42-47). Singapore: 10th Int.Conf. of IEEE e-health Networking Applications and Services (HealthCom).
- [19] A. M. Khan., T.-S. Kim., & Y.K. Lee. (2008). *Accelerometer Signal-based Human Activity Recognition Using Augmented Autoregressive Model Coefficients and Artificial Neural* (pp.5172-5175). Canada: 30th Annual International IEEE EMBS Conference 2008.
- [20] A. Y. Jeon., B. C. Kim., B. J. Shin., G. R. Jeon., I. C. Kim., J. H. Jung., J. H. Kim., J. M. Son., J. H. Ro., S. H. Yoon., & S. Y. Ye. (2008). *Implementation of the Personal Emergency Response Systemusing a 3-axial Accelerometer* (pp.223-226). Tokyo: 6th International Special TopicConference on ITAB 2007.



ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบการดื่ม



1 ทดสอบการทำงานระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

1.1 ทดสอบการล้มนำ ล้มไปด้านหลังล้มไปด้านขวา ล้มไปด้านซ้ายจำนวน 30 ครั้งโดยใช้หุ่นติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็น คลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด เมื่อตรวจจับการล้มได้ จะทดสอบตรวจจับการรู้สึกตัวนั่งหรือยืนได้ในครั้งที่ทดสอบเลขคี่ และทดสอบตรวจจับการรู้สึกตัวนอนอยู่ในครั้งที่ทดสอบเลขคู่

ตารางภาคผนวกที่ 1 ตารางแสดงผลทดสอบล้มนำ ล้มไปด้านหลังล้มไปด้านขวา ล้มไปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

ครั้งที่	ล้มนำ				ล้มไปด้านหลัง				ล้มไปด้านขวา				ล้มไปด้านซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.6	✓	✓		3.4
2	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.3
3	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5
4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
6	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4
7	✗				✓	✓		3.6	✓	✓		3.4	✗			
8	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3
9	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5
10	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
11	✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✗			
12	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4
13	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
14	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
15	✓	✓		3.5	✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.4
16	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✗				✗			
17	✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5

ตารางภาคผนวกที่ 1 ตารางแสดงผลทดสอบล้มไปด้านหน้า ล้มไปด้านหลังล้มไปด้านขวา ล้มไปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด(ต่อ)

ครั้งที่	ล้มไปด้านหน้า				ล้มไปด้านหลัง				ล้มไปด้านขวา				ล้มไปด้านซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
18	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4
19	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✗				✗			
20	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5
21	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5
22	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4
23	✓	✓		3.4	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.5
24	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✗				✗			
25	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4
26	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
27	✗				✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.4
28	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5
29	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✗				✓	✓		3.4
30	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5
รวม	26	11	15	3.44	27	14	13	3.44	26	14	12	3.44	25	13	12	3.42

หมายเหตุ: A คือ ตรวจจับการล้ม B คือ ตรวจจับการรู้สึกตัวนั่งหรือยืนได้ C คือ ตรวจจับการรู้สึกตัวนอนอยู่ D คือ เวลาในการแจ้งเตือน (วินาที) ✓ คือ ตรวจจับได้ ✗ คือ ตรวจจับไม่ได้

1.2 ทดสอบการล้มไปด้านหน้าขวา ด้านหน้าซ้ายซ้ายล้มไปด้านหลังขวาล้มไปด้านหลังซ้ายจำนวน 30 ครั้ง โดยใช้กล่องติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

ตารางภาคผนวกที่ 2 ตารางแสดงผลทดสอบลัมไปด้านหน้าขวา ด้านหน้าซ้ายซ้ายลัมไปด้านหลัง
ขวาลัมไปด้านหลังซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิปติดบริเวณหัวเข็มขัด

ครั้งที่	ลัมไปด้านหน้าขวา				ลัมไปด้านหน้าซ้าย				ลัมไปด้านหลังขวา				ลัมไปด้านหลังซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	✓	✓		3.3	✓	✓		3.5	✓	✓		3.3	✓	✓		3.3
2	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4
3	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.3	✓		✓	3.3	✓		✓	3.3
5	✓	✓		3.3	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
6	✗				✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.3
7	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✓	✓		3.3	✓	✓		3.4
8	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✗				✗			
9	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
10	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4
11	✓	✓		3.4	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.3
12	✗				✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4
13	✓	✓		3.3	✓	✓		3.4	✓	✓		3.3	✗			
14	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3
15	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
16	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.3
17	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.3	✗			
18	✓		✓	3.4	✗				✗				✓		✓	3.4
19	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.3	✓	✓		3.4
20	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4
21	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.3	✓	✓		3.4
22	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
23	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.3	✓	✓		3.4
24	✓		✓	3.4	✓		✓	3.3	✓		✓	3.3	✓		✓	3.4

ตารางภาคผนวกที่ 3 ตารางแสดงผลทดสอบนอนลงไปด้านขวาด้านซ้ายด้านหลังลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้ ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้น ยืนแล้วก้มลงเก็บของติดตั้งเซนเซอร์บริเวณเอวลักษณะเป็นคลิกติคบริเวณหัวเข็มขัด(ต่อ)

ครั้งที่	A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1
29		✓		✓		✓		✓		✓		✓
30		✓		✓		✓		✓		✓		✓
รวม	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30

หมายเหตุ: A1 คือ นอนลงไปด้านขวา A2 คือ นอนลงไปด้านซ้าย A3 คือ นอนลงไปด้านหลัง A4 คือ ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้ A5 คือ ลุกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้น A6 คือ ยืนแล้วก้มลงเก็บของ B1 คือ แข็งเดือนว่าล้ม C1 คือ ไม่แข็งเดือนว่าล้ม

2 ทดสอบการทำงานระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

2.1 ทดสอบการล้มไปด้านหน้าล้มไปด้านหลังล้มไปด้านขวาล้มไปด้านซ้ายจำนวน 30 ครั้งโดยใช้มนุษย์ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด เมื่อตรวจจับการล้มได้ จะทดสอบตรวจจับการรู้สึกตัวนั่งหรือยืนได้ในครั้งที่ทดสอบเลขที่ และทดสอบตรวจจับการรู้สึกตัวนอนอยู่ในครั้งที่ทดสอบเลขคู่

ตารางภาคผนวกที่ 4 ตารางแสดงผลทดสอบล้มไปด้านหน้าล้มไปด้านหลังล้มไปด้านขวาล้มไปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

ครั้งที่	ล้มไปด้านหน้า				ล้มไปด้านหลัง				ล้มไปด้านขวา				ล้มไปด้านซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5
2	✓		✓	3.5	✓		✓	3.7	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6

ตารางภาคผนวกที่ 4 ตารางแสดงผลทดสอบลิ้มไปด้านหน้าลิ้มไปด้านหลังลิ้มไปด้านขวาลิ้มไป
ด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด(ต่อ)

ครั้งที่	ลิ้มไปด้านหน้า				ลิ้มไปด้านหลัง				ลิ้มไปด้านขวา				ลิ้มไปด้านซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
3	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✗			
4	✓		✓	3.8	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5
5	✓	✓		3.5	✗				✓	✓		3.7	✓	✓		4
6	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.6
7	✗				✓	✓		3.6	✗				✗			
8	✓		✓	3.8	✗				✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
9	✓	✓		3.9	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7	✓	✓		3.8
10	✓		✓	4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.7
11	✓	✓		3.5	✓	✓		3.6	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7
12	✓		✓	3.6	✗				✓		✓	3.8	✓		✓	3.9
13	✓	✓		3.5	✓	✓		3.8	✗				✓	✓		4
14	✓		✓	3.4	✓		✓	3.7	✓		✓	4	✓		✓	3.7
15	✓	✓		3.7	✓	✓		3.8	✓	✓		3.8	✓	✓		3.8
16	✓		✓	3.6	✓		✓	3.7	✓		✓	3.7	✓		✓	3.5
17	✓	✓		3.8	✓	✓		4	✓	✓			✓	✓		3.7
18	✓		✓	4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.9	✗			
19	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		4	✓	✓		3.5
20	✗				✓		✓	4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6
21	✓	✓		3.7	✗				✓	✓		3.7	✓	✓		3.7
22	✓		✓	4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.7
23	✗				✓	✓		3.6	✗				✓	✓		3.6
24	✓		✓	3.8	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.8
25	✓	✓		3.5	✓	✓		3.8	✓	✓		3.5	✗			

ตารางภาคผนวกที่ 4 ตารางแสดงผลทดสอบลิ้มไปด้านหน้าลิ้มไปด้านหลังลิ้มไปด้านขวาลิ้มไป
ด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด(ต่อ)

ครั้งที่	ลิ้มไปด้านหน้า				ลิ้มไปด้านหลัง				ลิ้มไปด้านขวา				ลิ้มไปด้านซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
26	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.7	✓		✓	3.5
27	✓	✓		3.6	✓	✓		3.4	✓	✓		3.8	✓	✓		3.7
28	✓		✓	4	✓		✓	4	✗				✓			3.8
29	✗				✓	✓		3.6	✓	✓		3.6	✓	✓		3.7
30	✓		✓	3.8	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5
รวม	26	12	14	3.69	26	13	13	3.63	25	12	13	3.65	25	12	13	3.67

2.2 ทดสอบการลิ้มไปด้านหน้าขวาลิ้มไปด้านหน้าซ้ายลิ้มไปด้านหลังขวาลิ้มไป
ด้านหลังซ้ายจำนวน 30 ครั้งโดยใช้กล่องติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

ตารางภาคผนวกที่ 5 ตารางแสดงผลทดสอบลิ้มไปด้านหน้าขวาลิ้มไปด้านหน้าซ้ายลิ้มไปด้านหลัง
ขวาลิ้มไปด้านหลังซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข็มกลัด

ครั้งที่	ลิ้มไปด้านหน้าขวา				ลิ้มไปด้านหน้าซ้าย				ลิ้มไปด้านหลังขวา				ลิ้มไปด้านหลังซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	✓	✓		3.7	✓	✓		3.6	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5
2	✓		✓	3.4	✓		✓	3.7	✓		✓	3.6	✓		✓	3.6
3	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✗			3.6
4	✓		✓	3.6	✓		✓	3.6	✓		✓	3.8	✓		✓	3.5
5	✓	✓		3.7	✓	✓		3.7	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5
6	✓		✓	3.6	✗				✓		✓	3.5	✓		✓	3.6
7	✓	✓		3.5	✓	✓		3.6	✓	✓		3.6	✗			
8	✓		✓	3.7	✓		✓	3.7	✗				✓		✓	3.5
9	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.6

ตารางภาคผนวกที่ 5 ตารางแสดงผลทดสอบลิ้มไปด้านหน้าขวา ลิ้มไปด้านหน้าซ้าย ลิ้มไปด้านหลัง
ขวา ลิ้มไปด้านหลังซ้าย ติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอก ลักษณะเข้มกลัด(ต่อ)

ครั้งที่	ลิ้มไปด้านหน้าขวา				ลิ้มไปด้านหน้าซ้าย				ลิ้มไปด้านหลังขวา				ลิ้มไปด้านหลังซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
10	✓		✓	3.7	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5	✓		✓	3.7
11	✓	✓		3.6	✓	✓		3.8	✓	✓		3.6	✓	✓		3.7
12	✗				✗				✓		✓	3.7	✓		✓	3.8
13	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5
14	✓		✓	3.9	✓		✓	3.7	✓		✓	3.6	✗			
15	✓	✓		3.5	✓	✓		3.6	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4
16	✓		✓	3.4	✓		✓	3.7	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5
17	✓	✓		3.5	✓	✓		3.8	✓	✓		3.5	✓	✓		3.3
18	✓		✓	3.4	✗				✓		✓	3.6	✓		✓	3.5
19	✓	✓		3.6	✓	✓		3.7	✓	✓		3.7	✓	✓		3.6
20	✗				✓		✓	3.5	✗				✓		✓	3.4
21	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7
22	✓		✓	3.6	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5
23	✓	✓		3.7	✓	✓		3.5	✗				✓	✓		3.5
24	✓		✓	3.7	✗				✓		✓	3.6	✓		✓	3.6
25	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7	✓	✓		3.7	✓	✓		3.7
26	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.8	✓		✓	3.7
27	✗				✓	✓		3.7	✓	✓		3.5	✓	✓		3.7
28	✓		✓	3.7	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5
29	✓	✓		3.5	✓	✓		3.6	✓	✓		3.7	✓	✓		3.6
30	✓		✓	3.7	✓		✓	3.7	✓		✓	3.5	✓		✓	3.7
รวม	26	12	14	3.59	26	12	14	3.61	27	14	13	3.57	27	12	14	3.57

ตารางภาคผนวกที่ 6 ตารางแสดงผลทดสอบนอนลงไปด้านขวา ด้านซ้าย ด้านหลัง ลูกขึ้นยืนแล้วนั่งบนเก้าอี้ ลูกขึ้นยืนแล้วนั่งลงบนพื้น ยืนแล้วก้มลงเก็บของติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเข้มกัลด(ต่อ)

ครั้งที่	A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1
19		✓		✓		✓		✓		✓		✓
20		✓		✓		✓		✓		✓		✓
21		✓		✓		✓		✓		✓		✓
22		✓		✓		✓		✓		✓		✓
23		✓		✓		✓		✓		✓		✓
24		✓		✓		✓		✓		✓		✓
25		✓		✓		✓		✓		✓		✓
26		✓		✓		✓		✓		✓		✓
27		✓		✓	✓			✓		✓		✓
28		✓		✓		✓		✓		✓		✓
29		✓		✓		✓		✓		✓		✓
30		✓		✓		✓		✓		✓		✓
รวม	0	30	0	30	5	25	0	30	0	30	0	25

3 ทดสอบการทำงานระบบโดยติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ

3.1 ทดสอบการล้มไปด้านหน้า ล้มไปด้านหลังล้มไปด้านขวา ล้มไปด้านซ้ายจำนวน 30 ครั้ง โดยใช้หุ่นติดตั้งเซนเซอร์บริเวณหน้าอกลักษณะเป็นสร้อยคอ เมื่อตรวจจบการล้มได้จะทดสอบตรวจจับการรู้สึกตัวนั่งหรือยืนได้ในครั้งที่ทดสอบเลขคี่ และทดสอบตรวจจับการรู้สึกตัวนอนอยู่ในครั้งที่ทดสอบเลขคู่

ตารางภาคผนวกที่ 7 ตารางแสดงผลทดสอบลัมโปด้านหน้า ลัมโปด้านหลังลัมโปด้านขวา ลัมโปด้านซ้ายติดตั้งเซนเซอร์บริเวณคอลักษณะเป็นสร้อยคอ

ครั้งที่	ลัมโปด้านหน้า				ลัมโปด้านหลัง				ลัมโปด้านขวา				ลัมโปด้านซ้าย			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.4
2	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4
3	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5
4	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5
5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✗			
6	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4	✗				✓		✓	3.4
7	✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✗			
8	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5	✓		✓	3.6	✓		✓	3.4
9	✗				✓	✓		3.4	✗				✓	✓		3.5
10	✗				✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4
11	✗				✗				✗				✓	✓		3.4
12	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✓		✓	3.4	✗			
13	✗				✓	✓		3.4	✓	✓		3.3	✓	✓		3.5
14	✓		✓	3.5	✓		✓	3.5	✗				✓			3.4
15	✗				✓	✓		3.6	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5
16	✗				✓		✓	3.4	✓		✓	3.5	✗			
17	✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4
18	✗				✓		✓	3.6	✓		✓	3.4	✓		✓	3.5
19	✓	✓		3.4	✗				✓	✓		3.5	✓	✓		3.4
20	✓		✓	3.6	✓		✓	3.5	✗				✓			3.5
21	✓	✓		3.5	✓	✓		3.4	✓	✓		3.5	✓	✓		3.5
22	✗				✓		✓	3.6	✓		✓	3.4	✓		✓	3.4
23	✓	✓		3.4	✗				✓	✓		3.5	✗			

ตารางภาคผนวกที่ 8 ตารางแสดงผลทดสอบนอนลงไปด้านขวา ด้านซ้าย ด้านหลัง ติดตั้ง เซนเซอร์ บริเวณคอ ลักษณะเป็นสร้อยคอ(ต่อ)

ครั้งที่	A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1	B1	C1
7		✓		✓		✓		✓		✓		✓
8		✓		✓		✓		✓		✓		✓
9		✓		✓		✓		✓		✓		✓
10		✓		✓		✓		✓		✓		✓
11		✓		✓		✓		✓		✓		✓
12		✓		✓		✓		✓		✓		✓
13		✓		✓		✓		✓		✓		✓
14		✓		✓		✓		✓		✓		✓
15		✓		✓	✓			✓		✓		✓
16		✓		✓		✓		✓		✓		✓
17		✓		✓		✓		✓		✓		✓
18		✓		✓		✓		✓		✓		✓
19		✓		✓		✓		✓		✓		✓
20		✓		✓		✓		✓		✓		✓
21		✓		✓		✓		✓		✓		✓
22		✓		✓		✓		✓		✓		✓
23		✓		✓	✓			✓		✓		✓
24		✓		✓		✓		✓		✓		✓
25		✓		✓		✓		✓		✓		✓
26		✓		✓		✓		✓		✓		✓
27		✓		✓		✓		✓		✓		✓
28		✓		✓		✓		✓		✓		✓
29		✓		✓		✓		✓		✓		✓
30		✓		✓		✓		✓		✓		✓
รวม	0	30	0	30	3	27	0	30	0	30	0	30

4. ทดสอบการทำงานระบบโดยปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลก

4.1 ทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านซ้ายปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 5 องศา เพิ่มองศาขึ้นไปจนไม่สามารถตรวจจับการลัมได้

ตารางภาคผนวกที่ 9 ตารางแสดงผลทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านซ้าย

ครั้งที่	ลัมไปด้านหน้า				ลัมไปด้านหลัง				ลัมไปด้านขวา				ลัมไปด้านซ้าย			
	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H
1	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
3	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
4	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗
5	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗
6	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
7	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
8	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
9	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
10	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗
รวม	9	9	8	0	8	9	9	0	9	8	9	0	8	9	9	0

หมายเหตุ: E คือมุม 5° F คือมุม 10° G คือมุม 15° H คือมุม 20°

4.2 ทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านขวาทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 175 องศา ลดองศาลงไปจนไม่สามารถตรวจจับการลัมได้

ตารางภาคผนวกที่ 10 ตารางแสดงผลทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านขวา

ครั้งที่	ลิ่มไปด้านหน้า				ลิ่มไปด้านหลัง				ลิ่มไปด้านขวา				ลิ่มไปด้านซ้าย			
	I	J	K	L	I	J	K	L	I	J	K	L	I	J	K	L
1	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
3	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
4	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗
5	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗
6	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
7	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
8	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗
9	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗
10	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
รวม	8	9	9	0	9	8	9	0	9	8	8	0	8	8	9	0

หมายเหตุ: I คือมุม 175° J คือมุม 170° K คือมุม 165° L คือมุม 160°

4.3 ทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหน้าเริ่มทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 85 องศา ลดลงเรื่อยๆ ไปจนไม่สามารถตรวจจับการลิ่มได้

ตารางภาคผนวกที่ 11 ตารางแสดงผลทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหน้า

ครั้งที่	ลิ่มไปด้านหน้า				ลิ่มไปด้านหลัง				ลิ่มไปด้านขวา				ลิ่มไปด้านซ้าย			
	M	N	O	P	M	N	O	P	M	N	O	P	M	N	O	P
1	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
3	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗

ตารางภาคผนวกที่ 11 ตารางแสดงผลทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหน้า (ต่อ)

ครั้งที่	ลัมไปด้านหน้า				ลัมไปด้านหลัง				ลัมไปด้านขวา				ลัมไปด้านซ้าย			
	M	N	O	P	M	N	O	P	M	N	O	P	M	N	O	P
4	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
5	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗
6	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗
7	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗
8	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
9	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗
10	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
รวม	9	9	8	0	9	8	9	0	8	9	8	0	9	8	9	0

หมายเหตุ: M คือมุม 85° N คือมุม 80° O คือมุม 75° P คือมุม 70°

4.4 ทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหลังทำสอบปรับองศาการติดตั้งเซนเซอร์จาก 95 องศาเพิ่มองศาขึ้นไปจนไม่สามารถตรวจจับการลัมได้

ตารางภาคผนวกที่ 12 ตารางแสดงผลทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหลัง

ครั้งที่	ลัมไปด้านหน้า				ลัมไปด้านหลัง				ลัมไปด้านขวา				ลัมไปด้านซ้าย			
	Q	R	S	T	Q	R	S	T	Q	R	S	T	Q	R	S	T
1	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
3	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
4	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗

ตารางภาคผนวกที่ 12 ตารางแสดงผลทดสอบการปรับองศาติดตั้งเซนเซอร์ทำมุมองศาเอียงกับพื้นโลกไปด้านหลัง (ต่อ)

ครั้งที่	ลัมไปด้านหน้า				ลัมไปด้านหลัง				ลัมไปด้านขวา				ลัมไปด้านซ้าย			
	Q	R	S	T	Q	R	S	T	Q	R	S	T	Q	R	S	T
5	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗
6	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
7	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗
8	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗
9	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗
10	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗
รวม	9	8	9	0	8	8	9	0	9	9	9	0	9	8	8	0

หมายเหตุ: Q คือมุม 95° R คือมุม 100° S คือมุม 105° T คือมุม 110°

ภาคผนวก ข

การใช้งานระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth

Accelerometer Sensor



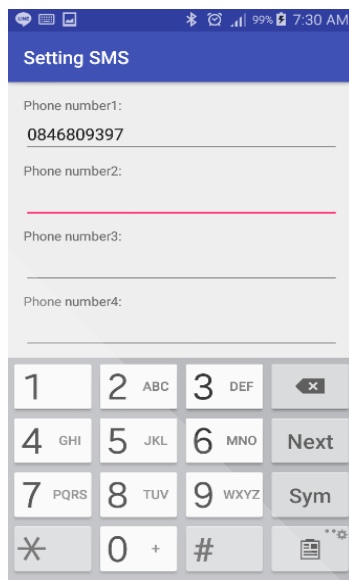
การใช้งานระบบตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติด้วย Bluetooth Accelerometer Sensor

1) ติดตั้งเซนเซอร์ตามรูปแบบและบริเวณที่กำหนด เริ่มต้นการทำงาน โปรแกรมเป็นแอนิเมชันหมุนภาพแล้วเข้าสู่หน้าเมนูหลักของโปรแกรม ประกอบด้วย 4 เมนู คือ เริ่มเฟ้าระวังการล้ม ตั้งค่าข้อความ ความรู้การล้ม รายงาน เมื่อกดปุ่มตั้งค่าข้อความสามารถตั้งการส่งข้อความไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉินได้ กดปุ่มเริ่มเฟ้าระวังการล้ม โปรแกรมจะเริ่มค้นหา Bluetooth accelerometer sensor เมื่อค้นหาพบแล้วเลือก Bluetooth accelerometer sensor เพื่อเริ่มเฟ้าระวังตรวจจับการล้ม กดปุ่มความรู้การล้มเพื่ออ่านวิธีปฏิบัติและวิธีป้องกันการล้มและสามารถกดปุ่มรายงานตรวจดูบันทึกเหตุการณ์ล้มย้อนหลังได้ดังภาพภาคผนวกที่ 1



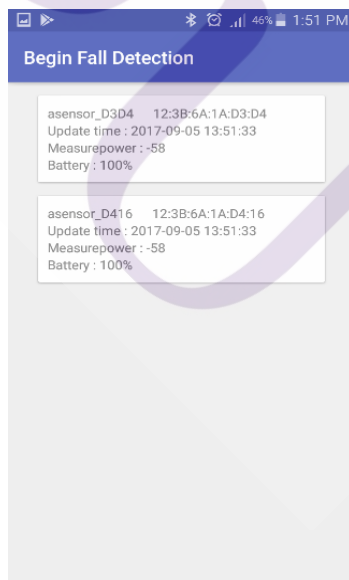
ภาพภาคผนวกที่ 1 แสดงหน้าเมนูหลัก

2) ตั้งค่า SMS ของโปรแกรม สามารถตั้งค่าเบอร์โทรศัพท์เพื่อส่งข้อความลักษณะการล้มพร้อมกับตำแหน่งที่อยู่การล้มเป็น ละติจูด ลองจิจูด ไปยังผู้ติดต่อฉุกเฉินเมื่อเกิดการล้ม และหลังจากเกิดการล้มแล้วเมื่อตรวจจับการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะนอนอยู่ ลูกนั่งหรือยืนได้ ก็จะส่งข้อความไปยังเบอร์โทรศัพท์ผู้ติดต่อฉุกเฉินที่ตั้งค่าไว้อีกครั้ง และสามารถที่จะไม่ตั้งค่าเบอร์โทรศัพท์ก็ได้เมื่อมีผู้ดูแลอยู่ใกล้หรืออยู่บริเวณเดียวกันดังภาพภาคผนวกที่ 2



ภาพภาคผนวกที่ 2 แสดงหน้าหน้าต่างค่า SMS

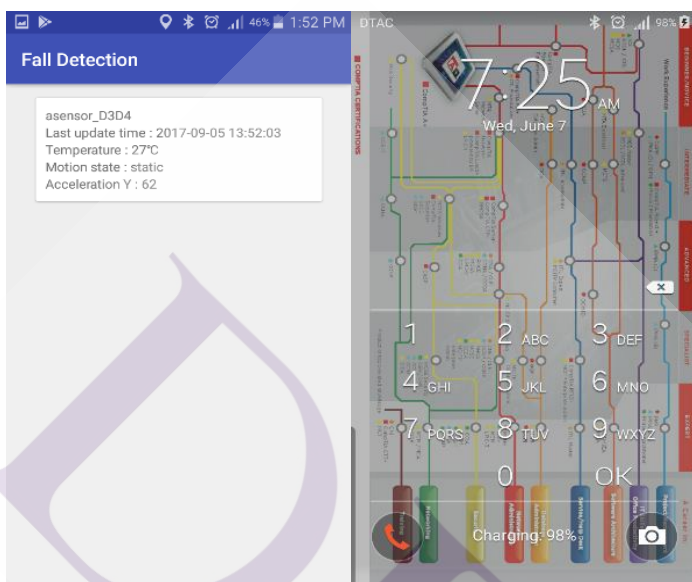
3) ค้นหา Bluetooth accelerometer sensor เมื่อกดปุ่มเริ่มเฟิร์มแวร์การล้มที่หน้าเมนูหลักโปรแกรมจะเริ่มค้นหา Bluetooth accelerometer sensor เมื่อค้นหาพบแล้วเลือก Bluetooth accelerometer sensor เพื่อเริ่มเฟิร์มแวร์ตรวจสอบการล้มต่อไปดังภาพภาคผนวกที่ 3



ภาพภาคผนวกที่ 3 แสดงหน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor

4) เลือก sensor จากหน้าค้นหา Bluetooth accelerometer sensor โปรแกรมจะทำการตรวจจับการล้ม

ดังภาพภาคผนวกที่ 4 (ก) สามารถล็อกหน้าจอโทรศัพท์เพื่อความปลอดภัยดังภาพภาคผนวกที่ 4 (ข)

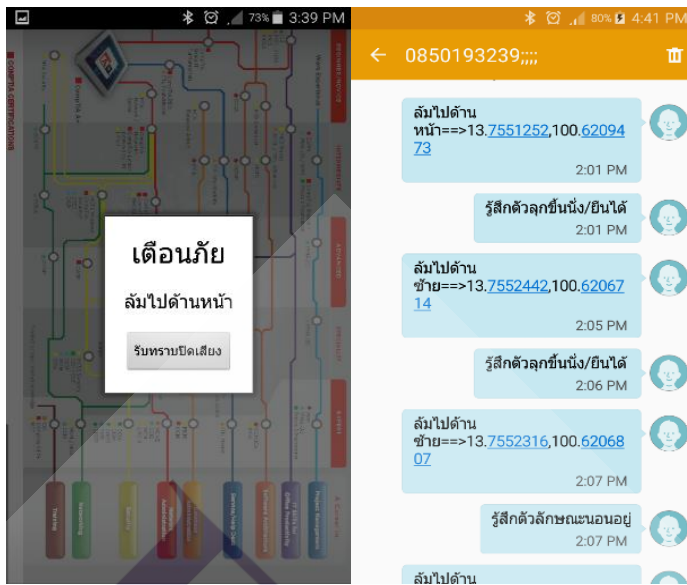


(ก)(ข)

ภาพภาคผนวกที่ 4 แสดงหน้าตรวจจับการล้ม (ก) หน้าล็อกหน้าจอโทรศัพท์ (ข)

5) เมื่อตรวจพบการล้ม โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือนข้อความลักษณะการล้มพร้อมเสียงแจ้งเตือนดังภาพภาคผนวกที่ 5 (ก) และส่งข้อความอัตโนมัติบอกลักษณะการล้มพร้อมกับตำแหน่งที่อยู่การล้มในครั้งแรก เมื่อตรวจจับการรู้สึกตัวเคลื่อนไหวได้ในลักษณะนอนอยู่ ลูกนั่งหรือยืนได้ ก็จะส่งข้อความไปยังเบอร์โทรศัพท์ผู้ติดต่อฉุกเฉินที่ตั้งค่าไว้อีกครั้งดังภาพภาคผนวกที่

5 (ข)



(ก)(ข)

ภาพภาคผนวกที่ 5 แสดงหน้าแจ้งเตือนการล้ม (ก) หน้าส่งข้อความอัตโนมัติ (ข)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

นายพงษ์พันธ์ สมแพง

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์)

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

นักวิเคราะห์นโยบายและแผนปฏิบัติการ

กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก

กระทรวงสาธารณสุข

